



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

Gefördert durch:



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Klimaoptimierte Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft (optimierter Klimabetrieb)

Abschlussbericht

Stand: 25.06.2014

Zuwendungsempfänger: Fachhochschule Südwestfalen
Fachbereich Agrarwirtschaft
Lübecker Ring 2
59494 Soest
Tel.: 02921/378210 -211
Fax 02921/378200

Kooperationspartner: Julius Kühn-Institut,
Pflanzenbau und Bodenkunde
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Thünen-Institut
für Agrartechnologie
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences



Förderkennzeichen: 2810HS012
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2010 – 30.09.2013
Projektleitung: Bernhard C. Schäfer
Berichterstatter: Jürgen Braun
Joachim Brunotte
Ulrike Ernst
Jörg Greef
Franz-Ferdinand Gröblichhoff
Martin Heckmann
Karen Korte
Harald Laser
Sarah Lütke Börding
Viola Richter
Paul Schattschneider
Wolfgang Stauss
Thomas Weyer

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS	X
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XVI
1 ZIELE UND AUFGABENSTELLUNG DES VORHABENS	1
1.1 PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS	1
1.2 WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND, AN DEN ANGEKNÜPFT WURDE	4
2 GEMEINSAMES ZENTRALEXPERIMENT	9
2.1 MATERIAL UND METHODEN	9
2.2 ERGEBNISSE DES ZENTRALEXPERIMENTS.....	22
2.3 FAZIT ZENTRALEXPERIMENT.....	47
3 TEILPROJEKT ERTRAGSMODELLIERUNG UND RISIKOMINIMIERUNG	49
3.1 MATERIAL UND METHODEN	49
3.2 ERGEBNISSE	55
3.3 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE	68
3.4 FAZIT ERTRAGSMODELLIERUNG UND RISIKOMINIMIERUNG	71
4 TEILPROJEKTE BODENBEWIRTSCHAFTUNG	73
4.1 MATERIAL UND METHODEN	73
4.2 ERGEBNISSE	79
4.3 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE	101
4.4 FAZIT BODENBEWIRTSCHAFTUNG	105
5 TEILPROJEKT ÖKOBILANZIERUNG	107
5.1 MATERIAL UND METHODEN	107
5.2 ERGEBNISSE	111
5.3 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE	119
5.4 FAZIT ÖKOBILANZIERUNG	123
6 TEILPROJEKT ÖKONOMISCHE BEWERTUNG	124
6.1 MATERIAL UND METHODEN	124
6.2 ERGEBNISSE	127

6.3 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE	149
6.4 FAZIT ÖKONOMISCHE BEWERTUNG	150
7 GEGENÜBERSTELLUNG DER URSPRÜNGLICH GEPLANTEN ZU DEN TATSÄCHLICH ERREICHTEN ZIELEN MIT HINWEISEN AUF WEITERFÜHRENDE FRAGESTELLUNGEN	151
8 ZUSAMMENFASSUNG	154
9 LITERATUR.....	157
ANHANG	168

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Monatliche Durchschnittstemperaturen (°C) der Versuchsfläche Braunschweig in Sickte 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Braunschweig für die Jahre 1981 bis 2010 (DWD, 2011).....	12
Abb. 2:	Mittelwerte der monatlichen Globalstrahlung (MJ/m ²) der Versuchsfläche Braunschweig in Sickte 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Braunschweig für die Jahre 1961-1990 (DWD, 2011)	13
Abb. 3:	Mittelwerte der monatlichen Niederschlagsmengen (mm) der Versuchsfläche Braunschweig in Sickte 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Braunschweig für die Jahre 1961-1990 (DWD, 2011)	14
Abb. 4:	Monatliche Durchschnittstemperatur (°C) der Versuchsfläche Soest in Welter Merklingsen 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Soest für die Jahre 1981-2002	15
Abb. 5:	Mittelwerte der monatlichen Globalstrahlung (Watt/m ²) der Versuchsfläche Soest in Welter- Merklingsen 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte für die Jahre 2002-2010	16
Abb. 6:	Mittelwerte der monatlichen Niederschlagsmengen (mm) der Versuchsfläche Soest in Welter- Merklingsen 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Soest für die Jahre 1981-2002	17
Abb. 7:	Kornertrag Winterweizen der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau= unplanmäßige Frucht bzw. Vorfrucht].	23
Abb. 8:	Kornertrag Wintergerste der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau= ,unplanmäßige Vorfrucht].....	24
Abb. 9:	Kornertrag Winterraps der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau= ,unplanmäßige Vorfrucht].....	24
Abb. 10:	Kornertrag Ackerbohne der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau= ,unplanmäßige Vorfrucht]	25
Abb. 11:	Biomasseertrag Grünroggen im Erntejahr 2012 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8)	25
Abb. 12:	Biomasseertrag GPS-Roggen (in 2011 GPS-Triticale) der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau= unplanmäßige Vorfrucht]	26
Abb. 13:	Biomasseertrag Silomais der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau= unplanmäßige Vorfrucht]	27
Abb. 14:	Kornertrag Winterweizen der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8) (grau = unplanmäßige Frucht bzw. Vorfrucht) ..	28
Abb. 15:	Kornertrag Wintergerste der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)	29
Abb. 16:	Kornertrag Winterraps der Erntejahre 2012 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)	29
Abb. 17:	Kornertrag Ackerbohne der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)	30
Abb. 18:	Biomasseertrag Grünroggen im Erntejahr 2012 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)	31

Abb. 19:	Biomasseertrag GPS-Roggen (in 2011 GPS-Triticale) der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)	31
Abb. 20:	Biomasseertrag Silomais der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)	32
Abb. 21:	Nach Parzellen unterteilte N_{\min} -Werte (kg/ha) vom Frühjahr 2011	34
Abb. 22:	Nach Parzellen unterteilte N_{\min} -Werte (kg/ha) vom Herbst 2011 (linker Balken) und Frühjahr 2012 (rechter Balken)	35
Abb. 23:	Nach Parzellen unterteilte N_{\min} -Werte (kg/ha) vom Herbst 2012 (linker Balken) und Frühjahr 2013 (rechter Balken)	35
Abb. 26:	Vergleich der durchschnittlichen N_{\min} -Werte (kg/ha) der Anbausysteme im Frühjahr 2011	36
Abb. 25:	Vergleich der durchschnittlichen N_{\min} -Werte (kg/ha) der Anbausysteme im Herbst 2011 (linker Balken) und Frühjahr 2012 (rechter Balken)	36
Abb. 24:	Vergleich der durchschnittlichen N_{\min} -Werte (kg/ha) der Anbausysteme im Herbst 2012 (linker Balken) und Frühjahr 2013 (rechter Balken)	37
Abb. 29:	Nach Parzellen unterteilte N_{\min} -Werte (kg/ha) vom Frühjahr 2011 am Standort Soest	38
Abb. 28:	Nach Parzellen unterteilte N_{\min} -Werte (kg/ha) vom Herbst 2011 (linker Balken) und Frühjahr 2012 (rechter Balken) am Standort Soest	39
Abb. 27:	Nach Parzellen unterteilte N_{\min} -Werte (kg/ha) vom Herbst 2012 (linker Balken) und Frühjahr 2013 (rechter Balken) am Standort Soest	39
Abb. 30:	Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Winterweizen (n=40)	56
Abb. 31:	Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Wintergerste (n=26).....	56
Abb. 32:	Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Grünroggen (n=33).....	57
Abb. 33:	Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur GPS-Roggen (n=28)	57
Abb. 34:	Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Winterraps (n=30).....	58
Abb. 35:	Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Ackerbohne (n=27)	58
Abb. 36:	Gegenüberstellung der Biomasseerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Silomais (n=26)	59
Abb. 37:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Ackerbohne am Standort Braunschweig unter Annahme des Klimaszenarios STAR-A1B	60
Abb. 38:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen am Standort Braunschweig unter Annahme des Klimaszenarios STAR-A1B	61
Abb. 39:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Ackerbohne am Standort Soest unter Annahme des Klimaszenarios STAR-A1B.....	62

Abb. 40:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen am Standort Soest unter Annahme des Klimaszenarios STAR-A1B	63
Abb. 41:	Ertragsverteilung der Ernteerträge von Winterweizen, Wintergerste Winterraps und Ackerbohne am Standort Braunschweig in den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050.....	64
Abb. 42:	Ertragsverteilung der Ernteerträge von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen am Standort Braunschweig in den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050	64
Abb. 43:	Ertragsverteilung der Ernteerträge von Winterweizen, Wintergerste Winterraps und Ackerbohne am Standort Soest in den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050.....	65
Abb. 44:	Ertragsverteilung der Ernteerträge von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen am Standort Soest in den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 .	66
Abb. 45:	Häcksellängenverteilung im Feldversuch Nacherntemanagement in den Jahren 2011/2012 (links) und 2012/2013 (rechts).....	76
Abb. 46:	Häcksellängenverteilung des verwendeten Winterweizenstrohs im Klimakammerversuch	78
Abb. 47:	Ackerbohnenenerträge am Standort BS und SO in den Jahren 2011 bis 2013...	82
Abb. 48:	Strohbedeckungsgrade zu Vegetationsbeginn am Standort Braunschweig in den Jahren 2012 und 2013	83
Abb. 49:	Strohbedeckungsgrade zu Vegetationsbeginn am Standort Soest in den Jahren 2012 und 2013	84
Abb. 50:	Feldaufgang und Biomasseertrag von Winterraps 2011 in Abhängigkeit der Bedeckung mit Boden.....	84
Abb. 51:	Strohhaufen zu Vegetationsbeginn 2012 am Standort Soest	85
Abb. 52:	Strohhaufen zu Vegetationsbeginn 2013 an den Standorten Soest (linke Säule) und Braunschweig (rechte Säule).....	86
Abb. 53:	Feldaufgang von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	87
Abb. 54:	Feldaufgang von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	87
Abb. 55:	Feldaufgang von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	88
Abb. 56:	Feldaufgang von Senf im System Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	88
Abb. 57:	Biomasseertrag von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	89
Abb. 58:	Biomasseertrag von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	89

Abb. 59:	Biomassertrag von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	90
Abb. 60:	Biomassertrag von Senf in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	90
Abb. 61:	Biomassertrag von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	91
Abb. 62:	Biomassertrag von Senf in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der Stickstoff-Platzierung(Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	91
Abb. 63:	Stickstoffentzug von Senf im System Mulchsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.	92
Abb. 64:	Stickstoffentzug von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	92
Abb. 65:	Stickstoffentzug von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	93
Abb. 66:	Stickstoffentzug von Senf in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	93
Abb. 67:	Stickstoffentzug von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	94
Abb. 68:	Stickstoffentzug von Senf in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	94
Abb. 69:	Strohbedeckung zu Vegetationsbeginn in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	95
Abb. 70:	Strohbedeckung zu Vegetationsbeginn in der Mulchsaat im Jahr 2013 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	95
Abb. 71:	Strohbedeckung zu Vegetationsbeginn in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung und der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	96
Abb. 72:	Strohbedeckung zu Vegetationsbeginn in der Direktsaat im Jahr 2013 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung und der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	96
Abb. 73:	Strohhaufen zu Vegetationsbeginn in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05).	

	Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	97
Abb. 74:	Strohhaufen zu Vegetationsbeginn in der Mulchsaat im Jahr 2013 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	97
Abb. 75:	Strohhaufen zu Vegetationsbeginn in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	98
Abb. 76:	Strohhaufen zu Vegetationsbeginn in der Direktsaat im Jahr 2013 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	98
Abb. 77:	Biomasseveränderung von Regenwürmern nach neun Wochen in Abhängigkeit der mechanischen Zerkleinerung von Winterweizenstroh (Tukey n.s.)	99
Abb. 78:	Biomasseveränderung von Regenwürmern nach neun Wochen in Abhängigkeit der Zugabe von mineralischem Stickstoff (Tukey n.s.)	99
Abb. 79:	Strohabbau von Winterweizenstroh (t_0 : 7 g TM) nach neun Wochen in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.....	100
Abb. 80:	Strohabbau von Winterweizenstroh (t_0 = 7 g TM) nach neun Wochen in Abhängigkeit der Zugabe von mineralischem Stickstoff (Tukey α : 0,05).....	100
Abb. 81:	Systemgrenze für die Analyse der Anbauvarianten	108
Abb. 82:	Treibhauspotential pro Hektar und Jahr (Säulen) und pro Getreideeinheit (GE) (Kreuze) für die Anbausysteme, Erntejahr 2012 und 2013.....	114
Abb. 84:	Ergebnisse der Szenario-Berechnung mit der Annahme einer höheren N- Ausnutzung und emissionsmindernder Ausbringtechnik der Gärrückstände für das V-System.....	121
Abb. 85:	Ergebnisse der Szenario-Berechnung mit der Annahme einer höheren N- Ausnutzung und emissionsmindernder Ausbringtechnik der Gärrückstände für das O-System	121
Abb. 86:	Blockschaubild des LP-Modells.....	126
Abb. 87:	Standorte, Betriebsformen und Preisannahmen als Grundlage der Szenarien	129
Abb. 88:	Gewinnbeiträge Referenzszenarien, Ernte 2012 & standardisiert	131
Abb. 89:	Treibhauspotentiale pro GE und pro Hektar, Ernte 2012	132
Abb. 90:	Treibhauspotentiale pro GE und pro Hektar, Ernte standardisiert.....	133
Abb. 91:	Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotentiale MinMax- vs. Referenzszenario, Ernte 2012	135
Abb. 92:	Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotentiale MinMax- vs. Referenzszenario, Erntedaten standardisiert.....	136
Abb. 93:	Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotentiale MinMax_MastI- vs. Referenzszenario, Ernte 2012	137
Abb. 94:	Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotentiale MinMax_MastI- vs. Referenzszenario, Erntedaten standardisiert.....	139

Abb. 95:	Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotential MinMax_MastI_BG400- vs. Referenzszenario, Ernte 2012	140
Abb. 96:	Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotential MinMax_MastI_BG400- vs. Referenzszenario, Erntedaten standardisiert	141
Abb. 97:	Modellergebnisse "fehlende" Feldarbeitsstunden nach Klimagebiet und Bodenart	142
Abb. 98:	Einsatzmenge der Biogassubstrate im Referenzszenario, Ernte 2012	145
Abb. 99:	Rückgang der Verkaufserlöse im Referenzszenario, Erntedaten standardisiert	146
Abb. 100:	THG-Vermeidungskosten im O-Betrieb, Soest, Ernte 2012, Hochpreisniveau, MinMax_MastI_BG200-Szenario.....	147
Abb. 101:	THG-Vermeidungskosten im V-Betrieb, Soest, Ernte 2012, Hoch-preisniveau, MinMax_MastI_BG200-Szenario.....	147
Abb. 102:	Rückgang der produzierten Getreideeinheiten durch Reduktion der zulässigen Treibhauspotentiale im O-Betrieb, Soest, Ernte 2012, Hochpreisniveau, MinMax_MastI_BG200-Szenario	148
Abb. 103:	Kosten- und Ertragsprofile der Modellbetriebe im MinMax_MastI_BG200- Szenario, Tiefpreisniveau, Ernte 2012.....	149
Abb. 104:	Vergleich des gleitenden Durchschnitts (30-jährig) realer Wetterdaten mit den Ergebnissen regionaler Klimaszenarien für Deutschland – Temperatur Standort Braunschweig (Eigene Darstellung nach Daten des DWD)	171
Abb. 105:	Vergleich des gleitenden Durchschnitts (30-jährig) realer Wetterdaten mit den Ergebnissen regionaler Klimaszenarien für Deutschland – Niederschlag Standort Braunschweig (Eigene Darstellung nach Daten des DWD)	171
Abb. 106:	Vergleich des gleitenden Durchschnitts (30-jährig) realer Wetterdaten mit den Ergebnissen regionaler Klimaszenarien für Deutschland – Temperatur Standort Soest (Eigene Darstellung nach Daten des DWD)	172
Abb. 107:	Vergleich des gleitenden Durchschnitts (30-jährig) realer Wetterdaten mit den Ergebnissen regionaler Klimaszenarien für Deutschland – Niederschlag Standort Soest (Eigene Darstellung nach Daten des DWD)	172
Abb. 108:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterweizen am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	173
Abb. 109:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Wintergerste am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	173
Abb. 110:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterraps am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	174
Abb. 111:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Ackerbohnen am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	174
Abb. 112:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Silomais am Standort Braunschweig unter	

	Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	175
Abb. 113:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Grünroggen am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	175
Abb. 114:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von GPS-Roggen am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	176
Abb. 115:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterweizen am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	176
Abb. 116:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Wintergerste am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	177
Abb. 117:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterraps am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	177
Abb. 118:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Ackerbohnen am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	178
Abb. 119:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Silomais am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	178
Abb. 120:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Grünroggen am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	179
Abb. 121:	Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von GPS-Roggen am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B).....	179
Abb. 122:	Korn-Stroh-Verhältnis Winterweizen der Erntejahre 2011 bis 2013 am Standort Soest (Korn=1) inklusive Standardabweichung (n=8) [Im System M wurde 2011 im Fruchtfolgeglied M-(WR)-WG Wintergerste angebaut]	260
Abb. 123:	Korn-Stroh-Verhältnis Wintergerste der Erntejahre 2011 bis 2013 am Standort Soest (Korn=1) inklusive Standardabweichung (n=8)	260
Abb. 124:	Harvest-Index (%) Winterraps der Erntejahre 2012 und 2013 am Standort Soest [im Erntejahr 2011 wurde kein Raps angebaut].....	261
Abb. 125:	Harvest-Index (%) Ackerbohne der Erntejahre 2012 bis 2013 (Korn=1) [im Erntejahr 2011 erfolgte die Probenahme zur Bestimmung des Harvest-Index zu spät]	261

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Standortbeschreibung der Versuchsfläche in Braunschweig.....	10
Tab. 2:	Standortbeschreibung der Versuchsflächen in Soest.....	11
Tab. 3:	Fruchtfolgen der Beispielbetriebe.....	19
Tab. 4:	Qualitätsanalysen an Erntegut und Ernterückständen mit den dazu gehörigen Methoden	21
Tab. 5:	Ergebnisse der Gärrestuntersuchungen am Standort Braunschweig	34
Tab. 6:	Ergebnisse der Gärrestuntersuchungen am Standort Soest.....	37
Tab. 7:	Schwellenwerte für Extremwetter der angebauten Kulturen	54
Tab. 8:	Zusammenfassung statistischer Kennzahlen zur Modellvalidierung von APSIM	59
Tab. 9:	Veränderung des Anbaurisikos einzelner Kulturen zwischen den Anbauperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 aufgrund extremer Hitzeperioden am Standort Braunschweig	67
Tab. 10:	Veränderung des Anbaurisikos einzelner Kulturen zwischen den Anbauperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 aufgrund extremer Hitzeperioden am Standort Soest	67
Tab. 11:	Anzahl an Monaten mit potentiellm Trockenstress und deren prozentuale Veränderung zwischen den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 am Standort Braunschweig	67
Tab. 12:	Anzahl an Monaten mit potentiellm Trockenstress und deren prozentuale Veränderung zwischen den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 am Standort Soest	68
Tab. 13:	Korngrößenverteilung der Versuchsflächen im Feldversuch Nacherntemanagement	75
Tab. 14:	Prüffaktoren und Faktorstufen in den Feldversuchen.....	75
Tab. 15:	Kennwerte von Winterweizenstroh in den Jahren 2011/2012 (Bukbrei) bzw. 2012/2013 (Hambusch) im Feldversuch Nacherntemanagement	76
Tab. 16:	Verwendetes Bodensubstrat im Klimakammerversuch	77
Tab. 17:	Chemische und biologische Parameter des verwendeten Bodensubstrates im Klimakammerversuch	77
Tab. 18:	Prüffaktoren und Faktorstufen im Klimakammerversuch.....	78
Tab. 19:	Chemische Parameter des verwendeten Winterweizenstrohs im Klimakammerversuch	79
Tab. 20:	Berechnungsgrundlage für die Berechnung der Direkten Feldemissionen für die Ökobilanzierung	110
Tab. 21:	Berechnungsgrundlage der Wirkungskategorien für die Ökobilanzierung	110
Tab. 22:	Übersicht der wichtigsten Standort- und Produktionskennzahlen 2012 zur Berechnung mit der Ökobilanzmethode SALCA	111
Tab. 23:	Produktionskennzahlen, Erntejahr 2013	112
Tab. 24:	Ergebnisse zur Ökobilanzierung der Fruchtfolgen am Standort Soest und Braunschweig, Erntejahr 2012.....	115
Tab. 25:	Ergebnisse zur Ökobilanzierung der Fruchtfolgen am Standort Soest und Braunschweig, Erntejahr 2013.....	116
Tab. 26:	Standardisierte Ernteerträge der Standorte Soest und Braunschweig	127
Tab. 27:	Preisannahmen als Berechnungsgrundlagen für Modell-rechnungen.....	130

Tab. 28:	Anbauflächen im Referenz- und MinMax-Szenario	134
Tab. 29:	Veränderungen der Anbaufläche in Hektar, Referenz- zu MinMax-Szenario, Ernte 2012	136
Tab. 30:	Veränderungen der Anbaufläche in Hektar, Referenz- zu MinMax-Szenario, Erntedaten standardisiert	137
Tab. 31:	Veränderungen der Anbaufläche in Hektar, Referenz- zu Min-Max_MastI_BG200-Szenario, Ernte 2012	138
Tab. 32:	Veränderungen der Anbaufläche in Hektar, Referenz- zu Min-Max_MastI_BG200-Szenario, Erntedaten standardisiert	139
Tab. 33:	Veränderung Anbaufläche in Hektar, Referenz- zu Min-Max_MastI_BG400-Szenario, Ernte 2012	140
Tab. 34:	Veränderung Anbaufläche in Hektar, Referenz- zu Min-Max_MastI_BG400-Szenario, Erntedaten standardisiert	141
Tab. 35:	THG-Vermeidungskosten im Referenzszenario, Vergleich O-Betrieb zu V-Betrieb	144
Tab. 36:	Berechnete Eingabeparameter für die RUE im Modell APSIM	168
Tab. 37:	Verwendete Koeffizienten zur Berechnung der Transpirationseffizienz in APSIM	168
Tab. 38:	Kulturspezifisch angepasste Parameter in APSIM	168
Tab. 39:	Ermittelte Temperatursummen für APSIM	169
Tab. 40:	Statistische Auswertung der Prognosegenauigkeit von APSIM	170
Tab. 41:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Winterweizen in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig	180
Tab. 42:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Wintergerste in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig	181
Tab. 43:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Grünroggen und Roggen-GPS in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig	182
Tab. 44:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Silomais in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig	183
Tab. 45:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Winterraps in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig	184
Tab. 46:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Ackerbohne in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig	185
Tab. 47:	Düngung, Nmin und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig	186
Tab. 48:	Düngung, Nmin und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig	187
Tab. 49:	Düngung, Nmin und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig	188
Tab. 50:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Wintergerste im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig	189
Tab. 51:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Wintergerste im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig	190
Tab. 52:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Wintergerste im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig	191
Tab. 53:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig	192

Tab. 54:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	193
Tab. 55:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	193
Tab. 56:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tab. 57:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	195
Tab. 58:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	196
Tab. 59:	Düngung und Nmin in Winterraps im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig.....	197
Tab. 60:	Düngung und Nmin in Winterraps im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	198
Tab. 61:	Düngung und Nmin in Winterraps im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	199
Tab. 62:	Düngung und Nmin in Ackerbohne im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig.....	200
Tab. 63:	Düngung und Nmin in Ackerbohne im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	200
Tab. 64:	Düngung und Nmin in Ackerbohne im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	201
Tab. 65:	Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig.....	202
Tab. 66:	Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	202
Tab. 67:	Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	203
Tab. 68:	Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig.....	203
Tab. 69:	Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	204
Tab. 70:	Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	204
Tab. 71:	Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig.....	205
Tab. 72:	Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	205
Tab. 73:	Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	206
Tab. 74:	Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig.....	207
Tab. 75:	Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	207
Tab. 76:	Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	207
Tab. 77:	Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig.....	208

Tab. 78:	Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	208
Tab. 79:	Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	209
Tab. 80:	Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig.....	210
Tab. 81:	Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig.....	210
Tab. 82:	Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig.....	211
Tab. 83:	Ertrag und Qualität von Winterweizen in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig.....	212
Tab. 84:	Ertrag und Qualität von Wintergerste in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig.....	213
Tab. 85:	Ertrag und Qualität von Grünroggen und Roggen-GPS in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig.....	214
Tab. 86:	Ertrag und Qualität von Silomais in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig.....	215
Tab. 87:	Ertrag und Qualität von Winterraps in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig.....	216
Tab. 88:	Ertrag und Qualität von Ackerbohne in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig.....	217
Tab. 89:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Winterweizen in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	218
Tab. 90:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Wintergerste in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	219
Tab. 91:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Grünroggen und Roggen-GPS in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	220
Tab. 92:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Silomais in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	221
Tab. 93:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Winterraps in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	222
Tab. 94:	Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Ackerbohne in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	223
Tab. 95:	Düngung, Nmin und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest.....	224
Tab. 96:	Düngung, Nmin und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest.....	225
Tab. 97:	Düngung, Nmin und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest.....	226
Tab. 98:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Wintergerste im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest.....	227
Tab. 99:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Wintergerste im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest.....	228
Tab. 100:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Wintergerste im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest.....	229
Tab. 101:	Düngung, Nmin und Nitrachek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest.....	230

Tab. 102: Düngung, Nmin und Nitrachek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest.....	231
Tab. 103: Düngung, Nmin und Nitrachek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest.....	232
Tab. 104: Düngung, Nmin und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest.....	233
Tab. 105: Düngung, Nmin und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest.....	234
Tab. 106: Düngung, Nmin und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest.....	235
Tab. 107: Düngung, Nmin in Winterraps im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest	236
Tab. 108: Düngung, Nmin in Winterraps im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest	237
Tab. 109: Düngung, Nmin in Winterraps im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest	238
Tab. 110: Düngung, Nmin in Ackerbohne im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest	239
Tab. 111: Düngung, Nmin in Ackerbohne im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest	239
Tab. 112: Düngung, Nmin in Ackerbohne im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest	240
Tab. 113: Ertrag und Qualität von Winterweizen in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	241
Tab. 114: Ertrag und Qualität von Wintergerste in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	242
Tab. 115: Ertrag und Qualität von Grünroggen und Roggen-GPS in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest	243
Tab. 116: Ertrag und Qualität von Silomais in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	244
Tab. 117: Ertrag und Qualität von Winterraps in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	245
Tab. 118: Ertrag und Qualität von Ackerbohne in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest.....	246
Tab. 119: Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2010-2011 am Standort Soest.....	247
Tab. 120: Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2011-2012 am Standort Soest.....	248
Tab. 121: Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2012-2013 am Standort Soest.....	249
Tab. 122: Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2010-2011 am Standort Soest.....	250
Tab. 123: Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2011-2012 am Standort Soest.....	251
Tab. 124: Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2012-2013 am Standort Soest.....	252
Tab. 125: Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2010-2011 am Standort Soest.....	252
Tab. 126: Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2011-2012 am Standort Soest.....	253
Tab. 127: Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2012-2013 am Standort Soest.....	254
Tab. 128: Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest	254
Tab. 129: Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest	255

Tab. 130: Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest	255
Tab. 131: Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2011-2012 am Standort Soest.....	256
Tab. 132: Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2012-2013 am Standort Soest.....	257
Tab. 133: Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest	258
Tab. 134: Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest	258
Tab. 135: Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest	259
Tab. 136: Übersicht aller Ergebnisse zur Ökobilanzierung der Fruchtfolgen am Standort Soest und Braunschweig, Erntejahr 2012	262
Tab. 137: Übersicht aller Ergebnisse der Ökobilanzierung der Fruchtfolgen am Standort Soest und Braunschweig, Erntejahr 2013	263
Tab. 138: Ergebnis der Abschätzung auf die Wirkungskategorie „Bodenqualität“ für das Erntejahr 2012	263
Tab. 139: Referenzszenario, Ernte- & Ökobilanzdaten 2012.....	264
Tab. 140: Referenzszenario, Erntedaten standardisiert, Ökobilanz 2012	264
Tab. 141: Referenzszenario, Ernte- & Ökobilanzdaten 2013.....	264
Tab. 142: MinMax-Szenario, Ernte- & Ökobilanzdaten 2012	265
Tab. 143: MinMax-Szenario, Erntedaten standardisiert, Ökobilanz 2012	265
Tab. 144: MinMax-Szenario, Ernte- und Ökobilanzdaten 2013	265
Tab. 145: MinMax_Mastl_BG200-Szenario, Ernte 2012	266
Tab. 146: MinMax_Mastl_BG200-Szenario, Erntedaten standardisiert, Ökobilanz 2012.....	266
Tab. 147: MinMax_Mastl_BG200-Szenario, Ernte- und Ökobilanzdaten 2013	266
Tab. 148: MinMax_Mastl_BG400-Szenario, Ernte- & Ökobilanzdaten 2012	267
Tab. 149: MinMax_Mastl_BG400-Szenario, Erntedaten standardisiert, Ökobilanz 2012.....	267
Tab. 150: MinMax_Mastl_BG400-Szenario, Ernte- und Ökobilanzdaten 2013	267

Abkürzungsverzeichnis

AB	Ackerbohne
ADF	acid detergent fiber
ADL	acid detergent lignin
AHL	Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung
BS	Braunschweig
BSA	Bundessortenamt
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
C _{org}	Kohlenstoff (organisch)
DAP	Diammonphosphat
DS	Direktsaatversuch
DSV	Deutsche Saatveredelung
FA	Feldaufgang
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FM	Frischmasse
fS	Feinsand
fU	Feinschluff
GE	Getreideeinheit, 1 GE entspricht 100 kg Gerste
GPS	Ganzpflanzensilage
GPSRo	GPS-Roggen
gS	Grobsand
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kW	Kilowatt
LAI	Leaf Area Index
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
Lö	Löss
M	Marktfruchtbetrieb
mS	Mittelsand
MS	Mulchsaatversuch

Mt	Millionen Tonnen
mU	Mittelschluff
N	Stickstoff
n.s.	nicht signifikant
N ₂ O	Lachgas, Distickstoffmonoxid
NDF	neutral detergent fiber
NH ₃	Ammoniak
NN	Normal Null
NO	Stickoxid
O	optimierter Klimabetrieb
OECD	The Organisation for Economic Co-operation and Development
oTM	organische Trockenmasse
oTS	organische Trockensubstanz
SALCA	Swiss Agricultural Life Cycle Assessment
SIR	Substrat-induzierte Respiration
SM	Silomais
SO	Soest
THG	Treibhausgas
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
UFD	Unterfußdüngung
Ut	schluffiger Ton
V	Viehhaltender Betrieb mit Biogasanlage
VSE	Vorsaateinarbeitung
WG	Wintergerste
WR	Winterraps
WW	Winterweizen

1 Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Forschungsvorhaben „Klimaoptimierte Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft (optimierter Klimabetrieb)“ wurde zum 01.10.2010 mit einer zunächst auf drei Jahre befristeten Laufzeit aus Mitteln des BMELV und des MKULNV bewilligt.

Die Landwirtschaft ist mit Blick auf den Klimawandel sowohl Verursacher wie auch Betroffener. Laut anerkannter Klimaszenarien wird es zukünftig häufiger zu extremen Wetterereignissen mit signifikanten Auswirkungen auf die Ertragssicherheit heutiger Ackerbausysteme kommen. Die Effekte des Klimawandels können sich einerseits ertragsmindernd in Form von ausgedehnten Trockenperioden während der Wachstumsphasen im Frühjahr, Sturm- und Hagelereignissen oder starken Niederschlägen in Verbindung mit Überschwemmungen zeigen. Andererseits sind auch eine ertragssteigernde Wirkungen durch verlängerte Wachstumsperioden in Folge milderer Winter oder durch höhere CO₂-Gehalte in der Atmosphäre denkbar.

Übergeordnete Ziele des Projektes waren die Schaffung eines flexiblen Versuchsrahmens für angewandte Verbundforschung zur Entwicklung von Anpassungsstrategien an die sich ändernden Produktionsbedingungen für pflanzenbauliche Betriebe im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Auch sollte eine valide, verallgemeinerungsfähige Datengrundlage in praxisnahen Freilandversuchen für die computergestützte Modellierung von Handlungsoptionen unter zukünftigen Produktionsbedingungen geschaffen werden. Weiterhin stand die experimentelle Annäherung an klima- und kostenoptimierte Managementstrategien unter Berücksichtigung neuer Technologien und geeigneter Fruchtfolgen in verschiedenen Betriebstypen im Fokus. Ansätze zur Minimierung der durch zunehmende Witterungsextreme ausgelösten Risiken infolge von Ertragsschwankungen sollten entwickelt werden. Darüber hinaus sollte eine Verbesserung der Ressourceneffizienz (Wasser, Energie, Nährstoffe, Boden) bei gleichzeitiger Limitierung der klimarelevanten Emissionen aus der pflanzlichen Produktion erreicht werden.

Für das Projekt wurden drei Modellbetriebe konzipiert, die in ihren Fruchtfolgefeldern und mit ihren produktionstechnischen Maßnahmen praxisnah an zwei Standorten abgebildet wurden. Die aus diesen Systemversuchen gewonnenen Daten bilden die Grundlage für die in diesem Bericht wieder gegebenen Erkenntnisse, die in vier Teilprojekten ausgewertet wurden.

Ertragsmodellierung und Risikominimierung

Im ersten Teilprojekt „Ertragsmodellierung und Risikominimierung“ -wurden - mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Produktionsrisiko landwirtschaftlicher Nutzpflanzen identifiziert und praxisnahe Anpassungsstrategien für die betroffenen Ackerbaubetriebe erstellt -. Da sich klimatische Veränderungen über einen relativ langen Zeitraum erstrecken und die prognostizierten Klimaszenarien mit großer Unsicherheit behaftet sind, wird in diesem Projekt ein Modellansatz verwendet. Die Ertragsmodellierung mit dem australischen Modell „Agricultural Production Systems Simulator“ (APSIM) bietet die Vorteile, dass sich die wesentlichen Wachstumsabläufe einzelner Kulturen nach einer erfolgreichen Kalibrierung mit relativ geringem Aufwand darstellen lassen. Somit können unterschiedliche Szenarien und Anbausysteme miteinander verglichen und innerhalb kürzester Zeit Aussagen über mehrere Jahrzehnte getroffen werden.

Bodenbewirtschaftung

Im Teilprojekt „Bodenbewirtschaftung“ -wurden die Möglichkeiten zur Etablierung bodenschonender und „klimarobuster“ Bewirtschaftungssysteme untersucht und mit bestehenden konventionellen Systemen verglichen. Im Fokus steht dabei die Umsetzung der Direktsaat im Optimalen Klimabetrieb. Diese kann mit Blick auf die Einsparung fossiler Energieträger durch Reduktion von Überfahrten, mineralischer Düngung und evtl. auch Pflanzenschutz zu einer Senkung klimaschädlicher Emissionen beitragen. Darüber hinaus erfolgt eine Absicherung gegenüber Erosion und kann die dafür erforderliche erweiterte Fruchtfolge im Sinne einer Risikominimierung als Anpassungsstrategie gewertet werden. In diesem Kontext wird dem Bereich der Bodenbewirtschaftung, speziell der Direktsaat, eine hohe Bedeutung beigemessen. Durch eine Vielzahl an Wechselbeziehungen, vor allem im Bereich der Ernterückstände und der Bestandesetablierung, erfahren Direktsaatssysteme allerdings eine mit steigendem Ertragspotential korrelierte Restriktion. Im Teilprojekt Bodenbewirtschaftung sollen Ansätze und Lösungsvorschläge herausgearbeitet werden, Direktsaatssysteme auf Hohertragsstandorten zu etablieren und zu optimieren. Kernaufgaben sind dabei das Nachernte- und Nährstoffmanagement, um landwirtschaftliche Kulturen adäquat, auch nach hohen Ernterückständen der Vorfrucht, in Direktsaat etablieren zu können.

Ökobilanzierung

Da die Landwirtschaft die Grundlage der Nahrungsmittelproduktion ist, kommt dieser eine besondere Rolle und eine zentrale Aufgabe in der Gesellschaft zu. Durch steigende Bevölkerungszahlen wird eine hohe Produktivität immer wichtiger. Doch die Intensivierung der Landwirtschaft verursacht auch Umweltbelastungen. Unter anderem durch den steigenden Verbrauch von nicht erneuerbaren Energieträgern, die Belastung von Gewässern und empfindlichen Ökosystemen mit Nährstoffen, die möglichen Gefahren durch Pflanzenschutzmittel und die Verarmung der Biodiversität (Nemecek et al. 2005).

Ziel des Teilprojektes „Ökobilanzierung“ ist es, Ansätze zur Reduktion von klimaschädlichen Gasemissionen durch die Landwirtschaft zu erarbeiten sowie die Auswirkung auf ökologische Eckdaten abzuschätzen. Über die Abbildung der landwirtschaftlichen Systeme, speziell der Fruchtfolgen sollen empirische Daten von Mulch- und Direktsaatverfahren zur Abschätzung des THG-Einsparpotential und der betrieblichen Anwendbarkeit ermittelt werden. Daraus sollen Empfehlungen abgeleitet werden, die erhebliche Emissionsreduktionen erwarten lassen. Verschiedene pflanzenbauliche Maßnahmen bieten Potential für eine umweltschonendere Landwirtschaft mit dem Ziel des Klimaschutzes. Zu den Strategien zählen dabei:

- die konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat (mit ggf. abweichendem Pflanzenschutzmitteleinsatz zu konventioneller Bewirtschaftung)
- Erweiterung der Fruchtfolge und
- Einsparung von mineralischen Düngemitteln

Durch die Einschränkung der Bodenbearbeitung (Mulch- und Direktsaat) soll der Verbrauch fossiler Energieträger vermindert werden. Insbesondere die Effizienz der N-Düngung mit Einsatz von Gärrückständen und in Verbindung mit legum fixiertem Stickstoff soll die Treibhausgas-Belastung deutlich reduzieren. Ebenfalls ist die Auflockerung und Erweiterung der Fruchtfolge Voraussetzung für die Direktsaatetablierung. Die Kombination dieser Strategien sollen im Projekt umgesetzt werden und daraus mögliche Optimierungspotentiale aufgezeigt werden, so dass Handlungsempfehlungen abgeleitet werden können. Zur Beurteilung landwirtschaftlicher Anbausysteme und Verfahren hinsichtlich ihrer Umweltwirkung, bietet sich die Ökobilanzierung an.

Es ist erforderlich, die Systeme an Hand einer Vielzahl von Umweltwirkungen zu bewerten, da es nicht ausreicht nur einen Indikator, wie zum Beispiel das Treibhauspotential zu betrachten. Damit wird vermieden, dass ein Umweltproblem zu Lasten eines anderen gelöst wird. In der Ökobilanz werden viele relevante Umweltprobleme einbezogen und potentiell (nicht real) mittels verschiedener Modelle geschätzt. Damit ist sie als Instrument des Umweltmanagements unter vielerlei Bedingungen einsetzbar (Nemecek et al. 2005).

Ökonomische Bewertung

Im Fokus des vierten Teilprojektes stand die ökonomische Auswertung der Modellbetriebe. Hierbei sollte ebenfalls auf der Grundlage der realen Produktionsdaten eine Bewertung des wirtschaftlichen Erfolges der unterschiedlichen Modellbetriebe vorgenommen werden und gleichzeitig die Möglichkeiten für eine Anpassung an verschiedene Szenarien untersucht werden. Ferner sollte geprüft werden, wie sich die Minimierung der Emission klimaschädlicher Gase durch Anpassung der Modellbetriebe möglichst kostengünstig erreichen lässt. Für die Vorgehensweise wurde das Instrument der linearen Programmierung gewählt.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Nach IPCC-Schätzungen hatte die Landwirtschaft mit $6,1 \text{ Mt CO}_2\text{-}\ddot{\text{a}}\text{q a}^{-1}$ im Jahr 2005 weltweit einen Anteil von 10-12% an den gesamten Treibhausgasemissionen. Darunter sind von den anthropogenen Methan-(CH_4 -) bzw. Lachgas- (N_2O -) Emissionen 47% bzw. 58% landwirtschaftlich bedingt. Methan wird überwiegend bei der fermentativen Verdauung bei Wiederkäuern (32%) und durch die Lagerung der Exkremete freigesetzt. Aber auch aus dem Abbau organischen Materials auf landwirtschaftlichen Flächen unter sauerstoffarmen Bedingungen wird CH_4 frei. Lachgasemissionen entstehen überwiegend aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Diese sind mit etwa 38% die Hauptquelle aller landwirtschaftlich bedingten Emissionen (US-EPA 2006a zitiert in Smith et al. 2007). Die meisten Kohlenstoffdioxid-Emissionen entstehen durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe, ein kleiner Beitrag wird im Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft emittiert. Die CO_2 -Flüsse (Aufnahme durch Photosynthese, Abgabe aus Böden und Ernteresten) landwirtschaftlicher Flächen sind zwar hoch, der Netto-Fluss ist aber gering und hat mit

etwa 40 Mt CO₂-äq (im Jahr 2000) einen Anteil von weniger als 1% der globalen anthropogenen CO₂-Emissionen (US-EPA 2006b zitiert in Smith et al. 2007; IPCC 2007). Dennoch gehört CO₂ zu einem der wichtigsten anthropogenen Treibhausgase. Die weltweite Gesamtemission betrug für die Jahre 2000-2005 etwa 26,4 Gt CO₂ a⁻¹ (IPCC 2007).

Betrachtet man die Emissionen auf nationaler Ebene, liegt der Agrarsektor im Jahr 2008 mit etwa 7,7% zwar unter dem globalen Wert, dennoch leistet die deutsche Landwirtschaft an den gesamten Methan- und Lachgasemissionen mit 52,6% bzw. 78,2% einen deutlichen Beitrag an diesen bedeutenden Klimagasen. Dies entspricht in etwa 70 Mt CO₂-äq aus der Landwirtschaft (Umweltbundesamt 2013). Die Lachgasemissionen aus Düngung landwirtschaftlicher Böden und aus landwirtschaftlichen N-Überschüssen betragen rund 37 Mt CO₂-äq und 6,5 Mt CO₂-äq direkt aus der Nutzung fossiler Energieträger (Beheizung von Gewächshäusern und Ställen, wendende Bodenbearbeitung, Transporte) (BMELV 2008).

Haenel et al. (2010) zeigen für die Lachgasemissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden die Verteilung der verschiedenen Quellen auf. Im Jahr 2008 wurden etwa

- 26,9% aus dem Einsatz von Mineraldünger
- 18,7% aus Ernterückständen
- 14,9% aus der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern
- 12,2% durch die Bewirtschaftung organischer Böden
- 10,3% aus indirekten Emissionen durch Auswaschung und Oberflächenabfluss

emittiert. Die restlichen Emissionen stammen aus Weidegang, Klärschlamm, biologischer N-Fixierung sowie indirekten Emissionen aus der Deposition reaktiver N-Spezies. Darunter fallen Ammoniak- (NH₃-) und Stickstoffmonoxid- (NO-) Verluste unter anderem aus Wirtschaftsdüngermanagement und deren Ausbringung, aber auch aus dem Einsatz von Mineraldüngern, biologischer N-Fixierung und aus Ernteresten. Ammoniakemissionen tragen indirekt zu Lachgasemissionen bei. Für 2008 gingen 95,3% aller Ammoniakemissionen auf die deutsche Landwirtschaft zurück, dies entsprach etwa 559,4 Gg NH₃ (Haenel et al. 2010).

Diese Ausführungen zeigen die Relevanz für die Landwirtschaft einen Betrag zum Klimaschutz zu leisten. Die Komplexität und Heterogenität landwirtschaftlicher Treibhausgasflüsse ist groß. Daraus ergeben sich somit viele Ansatzpunkte und Möglichkeiten im Managementbereich landwirtschaftlicher Systeme, Klimaschutz zu betreiben (Smith et al.

2007). Durch die konservierende Bodenbearbeitung bzw. Bewirtschaftung im Direktsaat-system (No-Till) können der Energiebedarf und somit auch CO₂-Emissionen reduziert werden. Oftmals ist dadurch auch eine Erhöhung des Kohlenstoffgehalts im Boden zu erreichen (Smith et al. 2007; BMELV 2008). Auch eine Zufuhr von organischer Substanz (z.B. Einsatz von Wirtschaftsdünger, Verbleib von Ernteresten auf den Flächen) und eine gezielte Fruchtfolgegestaltung / Zwischenfruchtanbau führen zum Kohlenstoffaufbau, da organisches Material die Hauptquelle für Bodenkohlenstoff darstellt (Smith et al. 2007; Osterburg et al. 2009). Allerdings hat die reduzierte Bodenbearbeitung auch einen Effekt auf die Freisetzung von N₂O. Die genauen Auswirkungen auf den Nettoeffekt sind aber widersprüchlich und noch wenig quantifiziert, da Lachgasfreisetzungen stark abhängig von Boden- und Klimabedingungen sind (Smith et al. 2007).

Ein positiver Effekt lässt sich vor allem auch durch den effizienten und gezielten Einsatz von Stickstoff erzielen. Eine verbesserte Ausnutzung von Stickstoffdüngern, d.h. eine Vermeidung von unproduktiven N-Überschüssen bei Beibehaltung einer hohen Produktivität, führt zur Verringerung von direkten und indirekten N₂O-Emissionen (BMELV 2008; Osterburg et al. 2009; Bouwman 2001 zitiert in Smith et al. 2007). Dies ist durch:

- Bedarfsermittlung der jeweiligen Kulturen
- Einsatz von Techniken zur gezielten Ausbringung (precision farming)
- Bodennahe Ausbringung von Wirtschaftsdüngern
- Unverzögliche Einarbeitung flüssiger Wirtschaftsdünger
- Düngen zum geeigneten Zeitpunkt (nach Düngeverordnung)
- Einhaltung von Mindestabständen zu oberirdischen Gewässern
- Einsatz von abdriftarmen Geräten für flüssige Düngemittel
- Einsatz von Präzisionsstreuern für feste Düngemittel
- Reihendüngung (bei Reihenkulturen)
- Präzise Stickstoffplatzierung im Boden zur guten Erreichbarkeit für Wurzeln

zu erreichen. Durch diese Maßnahmen werden überschüssige Stickstoffanreicherungen im Boden vermieden. Denn dieser Stickstoff ist emissionsanfällig und auswaschunggefährdet (Nitrat auswaschung in Gewässer, gasförmige Ammoniak- und Lachgasemissionen). Auch indirekte Treibhausgase aus der Stickstoffdüngerproduktion können durch eine effiziente Ausnutzung und damit einhergehende Einsparung reduziert werden (Smith et al. 2007; BMELV 2008).

Die Einbindung von Leguminosen in der Fruchtfolge reduziert den Bedarf von Stickstoffdünger. Allerdings ist die legume N-Fixierung wiederum Quelle für N₂O-Emissionen. Andererseits kann durch den Anbau von Zwischenfrüchten, der ungenutzte, noch verfügbare Stickstoff der Vorfrucht genutzt und somit Emissionen vermindert werden (Smith et al. 2007).

Bisherige Studien zeigen die Bewertung einzelner Maßnahmen. So wurde bei Untersuchungen von Schaller et al. (2006) und Arman (2003) die konservierende Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflugeinsatz bilanziert. In beiden Studien stellte sich die konservierende Bodenbearbeitung in vielen Umweltwirkungen als günstiger im Vergleich zum Pflug dar. Im Bereich Ressourcenmanagement konnte Treibstoff eingespart werden und es zeigten sich positive Auswirkungen auf die Bodenqualität (Schaller et al. 2006) und den Bodenabtrag (Arman, 2003). Schaller et al. (2006) stellten auch in den Bereichen des Nährstoff- und Schadstoffmanagements eine verringerte Umweltwirkung für Direktsaat-systeme fest. Nur die Auswirkungen eines leicht erhöhten Bedarfs an Herbiziden seien weiter zu klären.

In weiteren Untersuchungen wurde die Integration von Leguminosen in die Fruchtfolge und deren Auswirkungen auf Umweltwirkungen geprüft. Dadurch konnten der Energiebedarf, das Treibhaus-, das Ozonbildungs- und das Versauerungspotential, sowie die Öko- und Humantoxizität reduziert werden. Nur das Auswaschungspotential war aufgrund der N-Fixierung erhöht (Nemecek et al. 2008; Hayer et al. 2009).

Der Einsatz organischer Düngemittel anstelle von Mineraldünger ergab nach Nemecek et al. (2005) zwar eine deutliche Reduktion des Ressourcenbedarfs und eine Verbesserung der Bodenqualität, allerdings schnitt die organische Düngung aufgrund höherer Nährstoffverluste im Bereich des Nährstoffmanagements ungünstiger ab. Allgemein wirkt sich eine Reduktion der Düngung in fast allen Umweltbereichen positiv aus. Es ist aber anzunehmen, dass dies zu Lasten der Wirtschaftlichkeit geht (Nemecek et al. 2005).

In einer umfangreichen Studie von Nemecek et al. (2005) wurden verschiedene Anbausysteme im schweizerischen Acker- und Futterbau hinsichtlich ihrer Umweltwirkung analysiert. Dabei wurde ein Vergleich zwischen biologisch-dynamisch, biologisch-organisch und konventionell-integriert wirtschaftenden Ackerbausystemen vorgenommen. Unterschie-

de waren dabei hauptsächlich die Düngungsart und die Düngungsstufen. Dabei schnitt die biologische Wirtschaftsweise in den Bereichen des Schadstoff- und Ressourcenmanagement positiver ab als die integrierte Landbauform. Allerdings wies bei einer produktbezogenen Betrachtung das Nährstoffmanagement der integrierten Produktion aufgrund höherer Erträge und minimierter Stickstoffverluste verringerte Werte auf. Im Vergleich von konventioneller und integrierter Produktion wurde die integrierte Produktion im Schadstoffmanagement besser beurteilt (Nemecek et al. 2005).

2 Gemeinsames Zentralexperiment

Um für alle Teilprojekte eine gemeinsame Datenbasis zu schaffen wurden im Zentralexperiment auf den beiden Standorten Soest und Braunschweig drei Betriebssysteme modellartig dargestellt.

2.1 Material und Methoden

2.1.1 Standortbeschreibung

Braunschweig

Die Versuchsflächen am Standort Braunschweig befinden sich auf einer arrondierten Fläche in der Samtgemeinde Sickte am Ortsausgang Salzdahlum in Richtung BS-Mascherode (52°16'N, 10°54'E; 80 m NN).

Auf dieser Fläche sind 14 Großparzellen von je 48 m x 100 m zzgl. begrünter Zufahrtswege angelegt worden. Der Standort Braunschweig repräsentiert im Projekt eine Region mit geringer und der Standort Soest eine Region mit hoher Niederschlagsintensität. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge pro Jahr liegt in Braunschweig mit 570 mm ca. 200 mm unter dem Wert der Soester Börde.

Nach der Bodenkundlichen Übersichtskarte im Maßstab 1:50 000 (BÜK 50) handelt es sich am Versuchsstandort Braunschweig um einen recht homogenen Ton-Verwitterungsboden (LBEG 2010). Geringfügige Unterschiede lassen sich anhand der Bodenarten zwischen dem westlichen und östlichen Bereich der Fläche feststellen, wobei der Schluffgehalt zu Gunsten eines erhöhten Sandanteils von Westen nach Osten leicht abnimmt, wohingegen der Tongehalt von Westen nach Osten geringfügig ansteigt. Somit besteht der Bearbeitungshorizont aus mittel tonigem Schluff bis schwach sandigem Lehm. Die Ackerzahlen liegen zwischen 51 und 56 Bodenpunkten. Tab. 1 fasst die wichtigsten Parameter zusammen.

Tab. 1: Standortbeschreibung der Versuchsfläche in Braunschweig

Versuchsfläche Braunschweig (Sickte)	
Naturraum:	Norddeutsches Tiefland
Höhenlage:	ca. 80 m ü. NN
Klima:	ca. 570 mm Niederschlag, Ø Jahrestemperatur 9,7 °C
Bodentyp:	Pseudogley-Parabraunerde / Pseudogley-Pelosol
Bodenart:	Stark schluffiger Ton (Tu4) (25-35 % Ton, 65-75 % Schluff, 0-10 % Sand)
Bonität:	Ackerzahl 51-56, T4V / T3DV
Eigenschaften:	Kurze Bearbeitungsfenster (Minutenboden), druckempfindlich, verschlammungsgefährdet, geringe bis mittlere Luft- und Wasserdurchlässigkeit, sehr geringe Erosionsgefährdung (LBEG 2010)

Soest

Der Versuchsstandort Soest liegt im Naturraum Soester Börde (Niederbörde) in der Gemeinde Welper und Soest (51°57'N, 08°00'E; 80 m NN) und entspricht dem Sommerregentyp. Die im langjährigen Mittel fallenden Jahresniederschläge von rund 750 mm weisen eine gute Verteilung mit einem Maximum in den Sommermonaten auf. Die vorherrschenden Bodenarten sind Ut3 mit einem Schluffanteil von über 80%. Als Bodentyp wird eine Pseudogley-Parabraunerde angegeben, die einen Humusgehalt von meist unter 2 % aufweist. Die Versuchsflächen sind auf zwei Schläge aufgeteilt und liegen ca. 80 m ü. NN. Während die beiden Modelbetriebe M (Marktfruchtbetrieb) und V (Viehhaltender Betrieb mit Biogasanlage) (siehe Kapitel 2.3) auf einem Schlag zusammengefasst werden konnten, wurde der O (Optimierter Klimabetrieb) auf einem separaten Schlag etabliert. Auf beiden Flächen ist im Oberboden ein Krümelgefüge vorherrschend. Sie sind druckempfindlich sowie verschlammungsgefährdet und weisen eine mittlere bis geringe Luft- und Wasserdurchlässigkeit bei mittlerer bis geringer Erosionsgefährdung auf. Die Bonität der Versuchsflächen bewegt sich zwischen 70-75 Bodenpunkten bei der Zustandsstufe L4 Lö, siehe Tab. 2.

Tab. 2: Standortbeschreibung der Versuchsflächen in Soest

Versuchsfläche Soest (Merklingsen)	
Naturraum:	Soester Börde
Höhenlage:	80 m ü. NN
Klima:	ca. 750 mm Niederschlag, Ø Jahrestemperatur 9,0 °C
Bodentyp:	Pseudogley-Parabraunerde
Bodenart:	Ut3, Schluffanteil ca. 80-85 %.
Bonität:	Bodenpunkte 70-75, Zustandsstufe L4 Lö
Eigenschaften:	druckempfindlich, verschlammungsgefährdet, mittlere bis geringe Luft- und Wasserdurchlässigkeit, mittlere bis geringe Erosionsgefährdung (Cramer 2006)

2.1.2 Witterung

Jede Versuchsfläche im Projekt besitzt eine eigene Wetterstation, um die Witterung im Jahresverlauf exakt zu erfassen. Nachdem die Stationen des Typs iMetos der Marke Pessl Instruments im ersten Projektjahr erfolgreich installiert werden konnten, liegen für das zweite und dritte Projektjahr lückenlose Wetteraufzeichnungen der wichtigsten Parameter vor. Die Parameter Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung und Niederschlag sind Bestandteile der Ertragsmodellierung und der Ökobilanzierung.

Witterung Braunschweig

In Abb. 1 sind die langjährigen Monatsdurchschnittstemperaturen zwischen 1981 und 2010 der Region Braunschweig im Vergleich zu denen aus den Anbauperioden 2010/2011, 2011/2012 und 2012/2013 dargestellt.

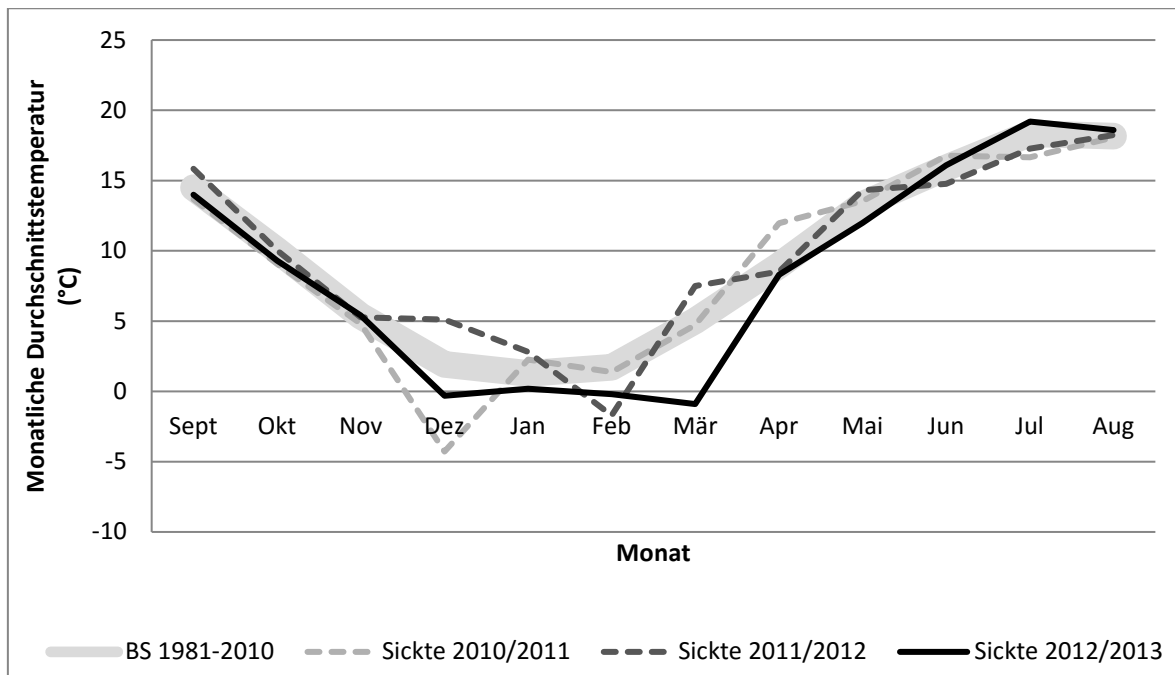


Abb. 1: Monatliche Durchschnittstemperaturen (°C) der Versuchsfläche Braunschweig in Sickinge 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Braunschweig für die Jahre 1981 bis 2010 (DWD 2011)

In den beiden ersten Projektjahren waren deutliche Temperaturschwübe in den Wintermonaten festzustellen. In der Anbauperiode 2010/2011 war der Dezember verhältnismäßig kalt. Demgegenüber konnte im darauffolgenden Jahr zunächst ein milder Winterverlauf zwischen November und Januar beobachtet werden, an den sich ab Ende Januar bis Ende Februar extreme Frostperioden anschlossen.

Im Vergleich zu den ersten beiden Projektjahren traten im Erntejahr 2012/2013 in den Wintermonaten keine extremen Frostperioden auf, in denen die Temperaturen dauerhaft unter minus 20 Grad Celsius lagen. Dafür lagen die monatlichen Durchschnittstemperaturen zwischen Ende November und Anfang April über einen relativ langen Zeitraum unter den erwarteten Durchschnittswerten. Die Folge war ein später Vegetationsstart im Frühjahr 2013, durch den sich die Frühjahrsentwicklung der Kulturen verzögerte. Ansonsten entsprachen die Temperaturen mit Ausnahme von leicht erhöhten Werten zwischen Ende Juni und Mitte August in etwa den erwarteten Mittelwerten der zurückliegenden Klimaperiode.

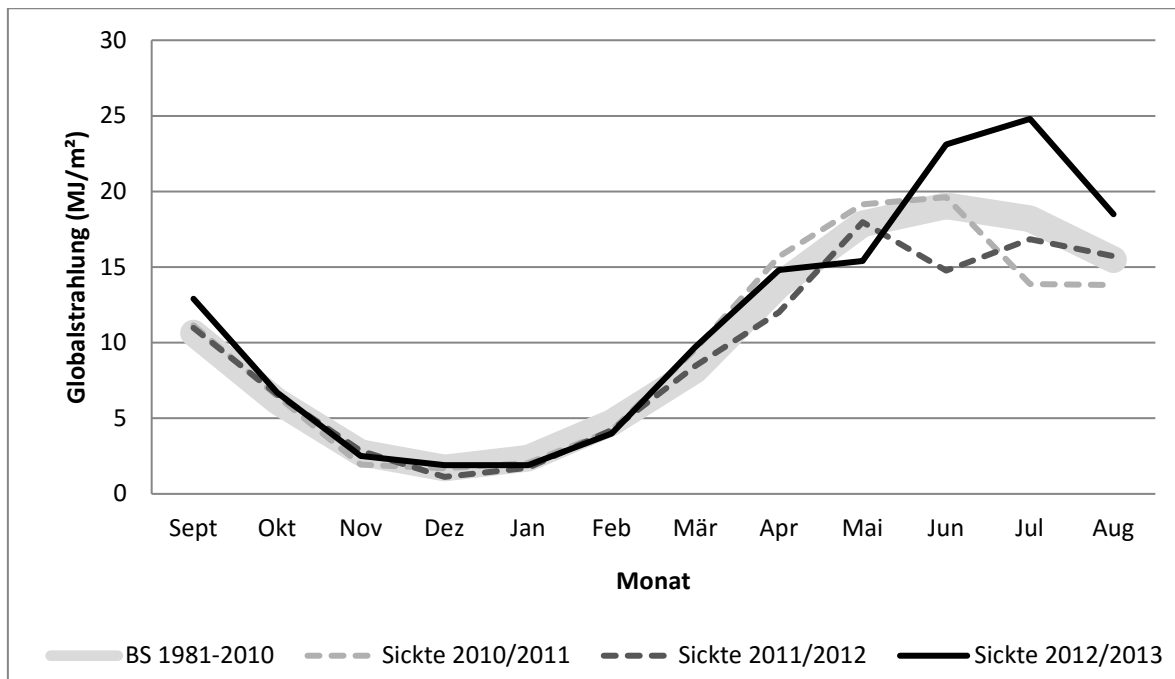


Abb. 2: Mittelwerte der monatlichen Globalstrahlung (MJ/m^2) der Versuchsfläche Braunschweig in Sickinge 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Braunschweig für die Jahre 1961-1990 (DWD 2011)

Ergänzend zu Darstellung der Durchschnittstemperaturen enthält Abb. 2 einen monatlichen Vergleich der mittleren Globalstrahlung aus den Anbauperioden 2010/2011, 2011/2012 und 2012/2013 sowie den Mittelwerten der Klimaperiode 1981 bis 2010. Im Anbaujahr 2010/2011 konnte zwischen März und Mai eine verhältnismäßig hohe und zwischen Juni und August eine relativ niedrige Strahlungsenergie gemessen werden. In der Periode 2011/2012 lagen die Werte ab Ende April unterhalb der durchschnittlichen Erwartungswerte.

Im Wesentlichen entspricht der Verlauf des letzten Anbaujahres 2012/2013 zwischen den Monaten Oktober und Februar den langjährigen Mittelwerten. Im September und zwischen März und April lagen die Werte geringfügig oberhalb der historischen Aufzeichnungen. Nachdem die auftreffende Strahlungsenergie zwischen April und Ende Mai kurzzeitig unterhalb der durchschnittlichen Globalstrahlung lag, wurden zwischen Juni und August deutliche Abweichungen nach oben festgestellt. Dies bestätigt die erhöhten Durchschnittstemperaturen in den genannten Monaten aus Abb. 1.

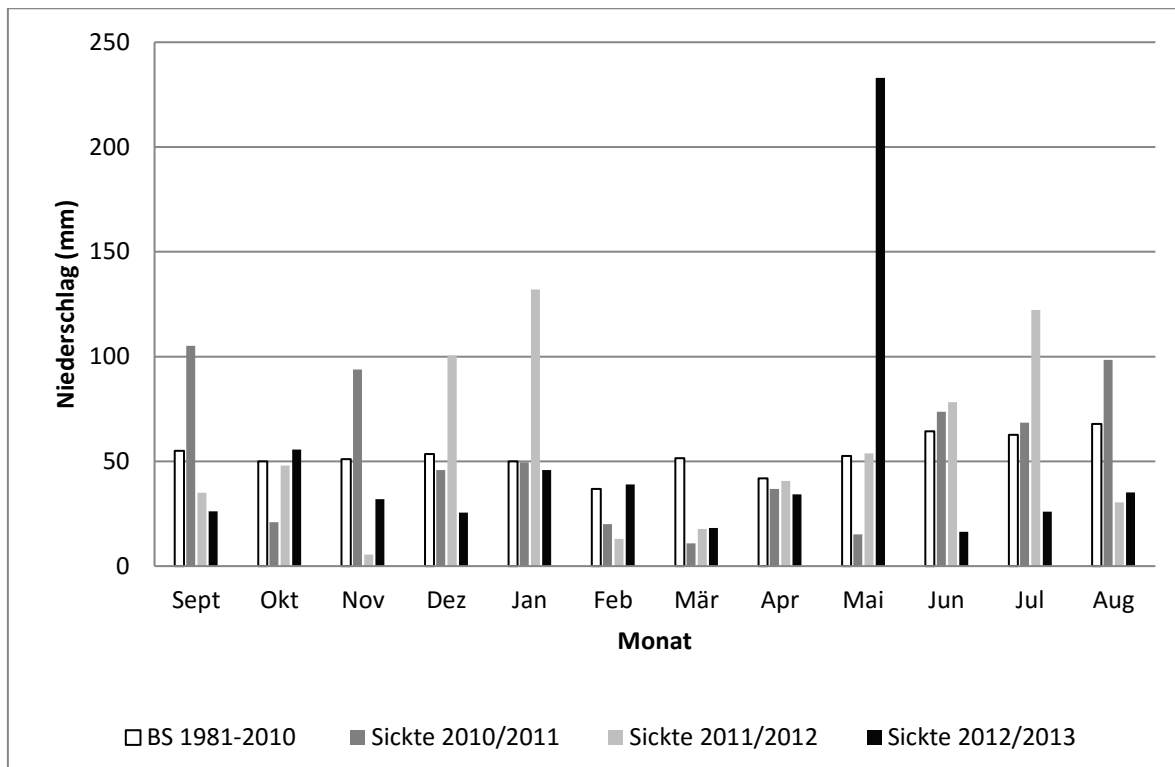


Abb. 3: Mittelwerte der monatlichen Niederschlagsmengen (mm) der Versuchsfläche Braunschweig in Sichte 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Braunschweig für die Jahre 1961-1990 (DWD 2011)

Der dritte wichtige Parameter ist der Niederschlag. Wie in der vorangegangenen Grafiken sind in Abb. 3 die monatlichen Niederschlagsmengen aus den zurückliegenden Projektjahren den mittleren Niederschlägen zwischen 1981 und 2010 gegenübergestellt. Generell konnten in allen drei Projektjahren höhere Jahresniederschlagsmengen mit deutlichen Abweichungen in den einzelnen Monaten verzeichnet werden, als dies die langjährigen Wetteraufzeichnungen erwarten ließen.

Im Anbaujahr 2010/2011 fielen im September und November äußerst hohe Niederschlagsmengen, wohingegen die Monate Februar bis Ende Mai äußerst trocken waren. Im zweiten Projektjahr konnten hohe Niederschläge im Dezember, Januar und Juli gemessen werden.

Nach dem späten Einsetzen der Frühjahrsvegetation 2013 aufgrund des langen Winters wurden im Mai des genannten Jahres enorme Niederschlagsmengen von fast 250 Millimetern gemessen. In den Monaten zwischen Juni und August desselben Jahres fielen dagegen kaum noch Niederschläge.

Witterung Soest

In Abb. 4 sind die langjährigen Monatsdurchschnittstemperaturen der Region von 1981-2002 und der Temperaturverlauf der drei Versuchsjahre dargestellt.

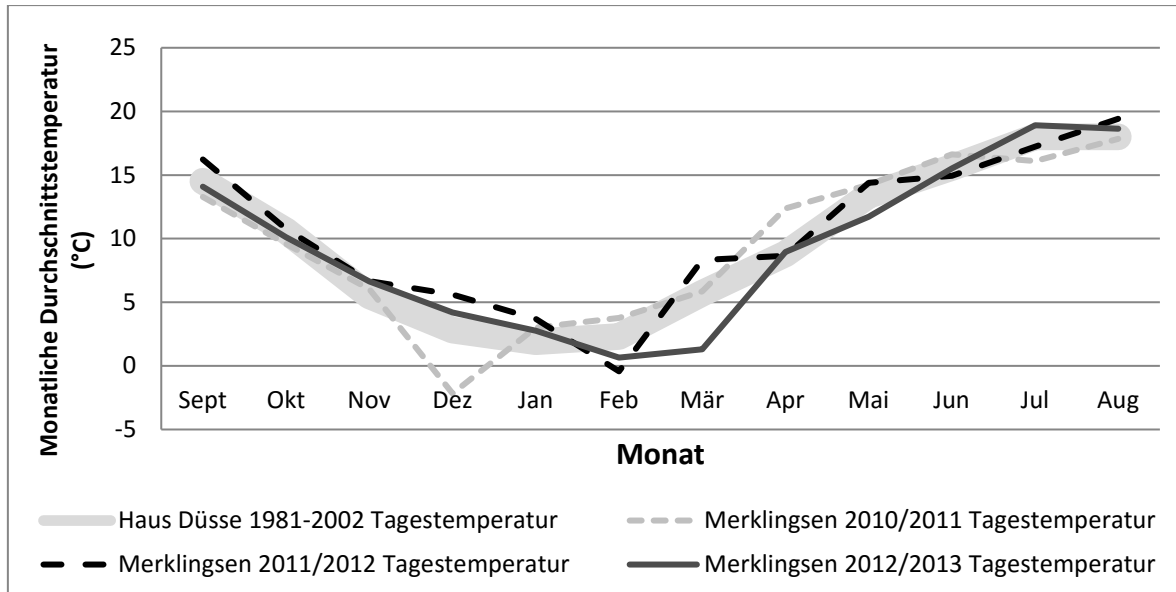


Abb. 4: Monatliche Durchschnittstemperatur (°C) der Versuchsfläche Soest in Welver Merklingsen 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Soest für die Jahre 1981-2002

Im ersten Projektjahr (2010/2011) waren die Temperaturen im Dezember sehr kühl und lagen weit unter dem Durchschnitt. Auch der Juli 2011 war verhältnismäßig kühl, ansonsten lagen die Temperaturen im Bereich des langjährigen Mittels der Region. Im folgenden Wirtschaftsjahr 2011/2012 waren die Wintermonate November-Januar im Vergleich relativ warm. Im Februar fielen die Temperaturen unter den Durchschnitt. Während die Durchschnittstemperatur im März wiederum darüber lag. Auch im zweiten Projektjahr lagen die Temperaturen der übrigen Monate in etwa im Bereich des langjährigen Mittels. Die Monate September und Oktober 2012 entsprachen in etwa dem langjährigen Mittel. Gegen Ende Oktober kam es zu einem ersten aber kurzen Wintereinbruch mit frostigen Nächten. Die Monate November und Dezember fielen dagegen wärmer aus, vor allem in der zweiten Dezemberhälfte lagen die durchschnittlichen Tagestemperaturen ungewöhnlich hoch. Der Januar war sehr unterschiedlich. Auf zunächst hohe Temperaturen in den ersten 10 Tagen folgte eine Frostperiode mit Tiefstwerten von -12°C . Im Schnitt lagen die Temperaturen aber dennoch über dem langjährigen Mittel. Der letzte Wintermonat (Februar) war etwas kälter als im Durchschnitt. Somit war der Winter 2012/2013 von den Temperaturen zwar wechselhaft aber in Summe geringfügig wärmer als im Mittel der Jahre. Dagegen war das Frühjahr 2013 sehr kühl, vor allem im März lag die durchschnittliche

Temperatur 4,5°C unter dem langjährigen Werten. Erst etwa ab dem 9. April wurde es milder. Während der Mai noch wechselhaft war, sorgte ein ausgeglichener Sommer ohne extreme Hitzephasen für gute Erntebedingungen.

Die Globalstrahlung, in Abb. 5 dargestellt, verläuft im Jahr 2012/2013 dem langjährigen Mittel mit einer Abweichung im Mai 2013. Dieser Monat startet zunächst sonnig, wechselte aber dann bis zum Monatsende in trübe Verhältnisse. Dies zog sich bis in den Juni hinein.

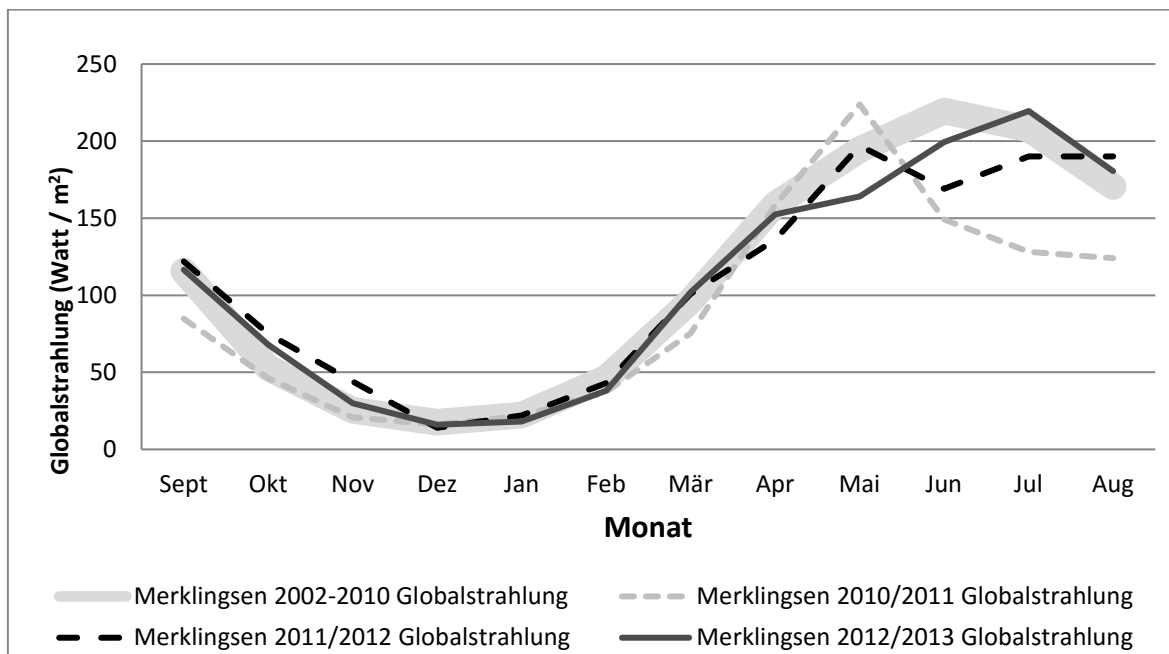


Abb. 5: Mittelwerte der monatlichen Globalstrahlung (Watt/m²) der Versuchsfläche Soest in Welper- Merklingsen 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte für die Jahre 2002-2010

In den ersten Projektjahren gab es im Monat Mai 2011 und 2012 einen Peak. Während der darauf folgenden Monate lag in beiden Jahren die Globalstrahlung unter dem langjährigen Mittel. Der Sommer 2013 war dann wie die oben dargestellten Temperaturen es erwarten lassen sehr sonnig.

Der Abb. 6 sind die monatlichen Niederschlagsmengen zu entnehmen. Für das erste Projektjahr lag die Niederschlagsmenge mit knapp 700 mm unter dem langjährigen Mittel von 750 mm. Im Jahr 2011/2012 fiel mit über 810 mm mehr Niederschlag als üblich. Auffällig für das letzte Projektjahr ist vor allem in fast allen Monaten ein Niederschlagsdefizit im Vergleich zum langjährigen Mittel. Insgesamt lag die Niederschlagssumme bei 600mm im Jahr 2012/2013. Vor allem der Sommer 2013 war im Vergleich zu den Vorjahren und zum langjährigen Mittel außergewöhnlich trocken. Im Wirtschaftsjahr 2011/2012 dagegen hat es in Sommer mehr geregnet als im Mittel der Region. In den Monaten Februar

und März ist in allen drei Projektjahren weniger Niederschlag gefallen als im langjährigen Mittel.

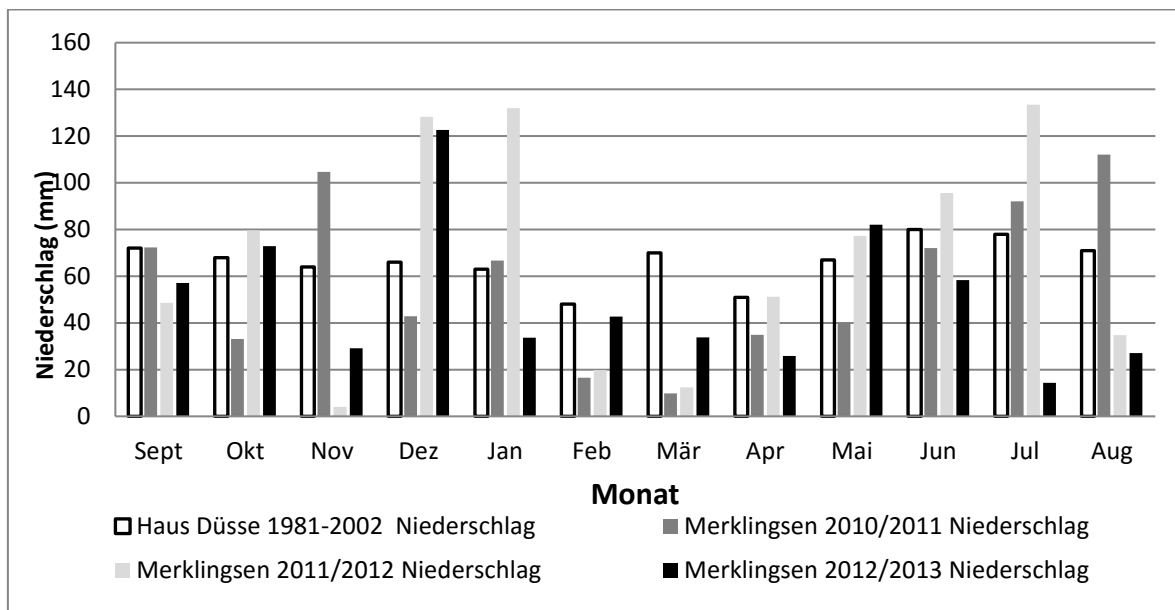


Abb. 6: Mittelwerte der monatlichen Niederschlagsmengen (mm) der Versuchsfläche Soest in Welper- Merklingsen 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und langjährige Mittelwerte der Region Soest für die Jahre 1981-2002

2.1.3 Anbausysteme

Auf jedem der beiden Standorte in Braunschweig und Soest werden drei Anbausysteme nebeneinander angelegt. Die Anbausysteme repräsentieren sowohl einen konventionellen Marktfruchtbetrieb im Folgenden als M-Betrieb bezeichnet als auch einen konventionellen Veredelungsbetrieb mit Biogasanlage (V-Betrieb) und einen Optimierten Klimabetrieb (O-Betrieb). In diesem Betrieb wird geprüft ob durch Nutzung der Vorteile einer vielseitigen Fruchtfolge in Kombination mit einer möglichst weitgehenden Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität die Emission klimaschädlicher Gase sowie das Risiko von extremen Witterungsereignissen gemindert werden kann. In den Anbausystemen wurden alle Fruchtfolgeglieder in jedem Jahr nebeneinander und in den Projektjahren zeitlich nacheinander angebaut, so dass in jedem Jahr ein vollständiger Vergleich der unterschiedlichen Anbausysteme möglich ist. Im modellhaften Betriebsvergleich ist jedes Anbausystem mit einer theoretischen LN von 200 ha ausgestattet.

Marktfruchtbetrieb (M):

Der Marktfruchtbetrieb bildet einen konventionellen Praxisbetrieb ohne Viehhaltung ab. Innerhalb der dreifeldrigen Anbaufolge aus Winterraps-Winterweizen-Winterweizen erfolgt zum Stoppelweizen sowie dem Winterraps eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Der Düngereinsatz erfolgt ausschließlich mineralisch und wird lediglich durch die Strohdüngung ergänzt. Mit Ausnahme der Ernterückstände verlassen alle produzierten Güter den Betrieb nach der Ernte.

In Braunschweig wurde 2010 auf der gesamten Versuchsfläche Winterraps nach konservierender Bodenbearbeitung angebaut.

Auf der Projektfläche in Soest standen zu Projektbeginn im September 2010 Zuckerrüben. Aufgrund der späten Ernte konnte im Herbst 2010 zu Versuchsbeginn kein Winterraps ausgesät werden, stattdessen wurden Ackerbohnen angebaut. Dadurch hatte auch zur Ernte 2012 der Blattfruchtweizen eine von der ursprünglichen Planung abweichende Vorfrucht. Statt des nicht möglichen Stoppelweizens wurde zur Ernte 2011 Winterweizen nach Zuckerrüben angebaut.

Viehhaltender Betrieb mit Biogasanlage (V):

Der Viehhaltende Betrieb mit Biogasanlage (V-Betrieb) entspricht einem konventionellen Praxisbetrieb mit Schweinemast und Biogasproduktion. Der Betrieb produziert auf 800 Mastplätzen Schweinefleisch sowie elektrischen Strom mittels einer 200 kW (elektrisch installierte Leistung) Biogasanlage. Die LN dient der Rohstoffbereitstellung für die Veredlungszweige Schweinemast und Biogas sowie der Verwertung der Gärreste. Das Prinzip der geschlossenen Nährstoffkreisläufe wird angestrebt. Fehlende Nährstoffe werden durch den Einsatz mineralischer Düngemittel ausgeglichen. Innerhalb der dreifeldrigen Fruchtfolge aus Winterweizen-Wintergerste-Grünroggen-Silomais erfolgt zu den Kulturen W-Weizen und W-Gerste eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Die übrigen Bodenbearbeitungsmaßnahmen beschränken sich auf eine konservierende Bodenbearbeitung.

Auch hier waren im ersten Projektjahr Kompromisse in der Fruchtfolge notwendig. Der Anbau von Grünroggen wurde erst zur Ernte 2012 in den Anbauplan aufgenommen. In Braunschweig wurden im Erntejahr 2011 alle Früchte nach Winterraps bestellt. In Soest wurde der Winterweizen nach Zuckerrüben und nach Winterweizen bestellt.

Optimierter Klimabetrieb (O):

Der optimierte Klimabetrieb (O-Betrieb) verfügt wie der V-Betrieb über Schweinemast und Biogasproduktion. Mit ebenfalls 800 Mastplätzen und einer 200 kW (elektrisch) Biogasanlage ist der O-Betrieb mit dem V-Betrieb seitens der Betriebsausstattung identisch. Im Gegensatz zum V-Betrieb praktiziert der O-Betrieb jedoch eine aufgelockerte Fruchtfolge bestehend aus acht Fruchtfeldern (siehe Tab. 3) sowie mit einer möglichst durchgängigen Direktsaat.

Tab. 3: Fruchtfolgen der Beispielbetriebe

Marktfucht- betrieb (M)	Konventioneller viehhaltender Betrieb mit Biogasanlage (V)		Optimierter Klimabetrieb mit Biogasanlage, Kreislaufwirtschaft (O)	
	Hauptfrucht	Zwischenfrucht	Hauptfrucht	Untersaat / Zwischenfrucht
1	Winterraps	Winterweizen	Winterraps	SO: Untersaat Deutsch Weidelgras BS: Zwischenfrucht TerraLife Rigol
2	Winterweizen	Wintergerste	Winterweizen	
3	Winterweizen	Grünroggen	Ackerbohnen	Grünroggen
4	Silomais		Wintergerste	
5			Silomais	
6			Winterweizen	Grünroggen
7			Silomais	
8			Hybridroggen (GPS)	

Ebenfalls identisch ist die Verwertung der LN. Sie dient wie im V-Betrieb der Rohstoffproduktion für die Betriebszweige Schweinemast und Biogasproduktion sowie der Verwertung der Gärreste. Auch im O-Betrieb werden fehlende Nährstoffe durch den Einsatz mineralischer Düngemittel ausgeglichen. Im Gegensatz zum V-Betrieb ist man im O-Betrieb jedoch bestrebt, durch den Einsatz von Leguminosen und der damit verbundenen leguminalen N-Fixierung den mineralischen Düngereinsatz zu reduzieren. Zusätzlich wird durch die mit der Direktsaat verbundene Verbesserung der Tragfähigkeit der Böden eine effizientere und gezieltere Verwertung der Gärreste angestrebt, weil die Ausbringungstermine optimiert werden können. In Soest bietet eine Untersaat mit Weidelgras im Weizen vor Ackerbohne gute Bedingungen für den Einsatz der Cross Slot-Technik und kann dazu beitragen, das Auflaufen von Unkräutern und Ungräsern in Ackerbohnen sowie den dafür erforderlichen Herbizideinsatz zu mindern.

In Braunschweig wird vor Ackerbohne das Zwischenfruchtgemenge „TerraLife-Rigol“ mit Zumischung eines tiefwurzelnden Rettichs (tillage radish, *Raphanus sativus*) von der Deutschen Saatveredlung (DSV) angebaut, welches aus den Kulturen Bitterlupine, Rauhafer, Sonnenblume, Sparriger Klee, Serradella, Phacelia, Öllein, Buchweizen und Leindotter besteht. Der abgefrorene Zwischenfruchtbestand bietet im Frühjahr gute Bedingungen für die Direktsaat mit Meißelscharen. Positive Nebeneffekte dieses Gemenges sind zusätzliche Nährstoffeinträge in das System und eine Lockerung des Bodens durch die unterschiedlichen Durchwurzelungstiefen der verschiedenen Kulturen. Ansonsten sind die Fruchtfolgen bis auf standortspezifische Sortenanpassungen an beiden Projektstandorten identisch.

Die Stickstoffdüngung wurde an beiden Standorten nach den Düngeempfehlungen der Landwirtschaftskammern Niedersachsen und NRW (Baumgärtel und Benke, 2009) nach der Sollwertmethode durchgeführt. Ausgehend von einer hohen Ertragserwartung wurden auf allen Parzellen die entsprechenden Sollwerte inklusive Zu- und Abschlägen für Standort und Bestandsentwicklung berechnet und die erforderliche Düngermenge ausgebracht (Düngung dokumentiert in Tabellen 47 bis 64 im Anhang). Durch engmaschige Beobachtungsintervalle und einen gezielten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutz dokumentiert in Tabellen 65 bis 82 im Anhang) konnten gesunde und homogene Bestände gewährleistet und negative Ertragseinflüsse durch Verunkrautung, Schädlinge oder Krankheiten minimiert werden.

2.1.4 Datenerfassung Ernte

Die Körnerernte von Ackerbohne und Getreide erfolgte mittels Parzellendrescher. Parallel zur Ernte mit dem Parzellendrescher wurden per Hand je Parzelle 8x1 m² der erntereifen Pflanzen geerntet, um den Strohertrag (Getreide) zu bestimmen. Außerdem wurde der maximale Biomasseaufwuchs von Raps und Ackerbohnen nach der Blüte zur Ableitung des Harvest-Index ermittelt. Zur Bestimmung des Strohertrages wurden die per Hand geernteten Quadratmeterernten an einer stationären Dreschmaschine ausgedroschen - - In den Maisparzellen in Braunschweig erfolgte die Ernte mit einem einreihigen Häcksler, indem jeweils acht einzelne Reihen über die gesamte Parzellenlänge von 100 m gehäckselt und gewogen wurden. Beim GPS-Roggen wurde zur Ertragsbestimmung eine Ganzpflanzenernte im Umfang von 8x1 m² durchgeführt. Die Trockenmassebestimmung erfolgte bei den Ernteproben nach 24 stündiger Trocknung bei 105 °C im Trockenschrank.

Für die Ertragserfassung der Maisparzellen in Soest kam ein vierreihiger Maishäcksler zum Einsatz. Es wurden 10 m² (vier Reihen à 3,33 m) zu acht Wiederholungen geerntet, zerkleinert und TS-korrigiert. Die Ertragserfassung der GPS-Getreide erfolgte hingegen mittels Futterpflanzenvollernter, ebenfalls in achtfacher Wiederholung.

Tab. 4: Qualitätsanalysen an Erntegut und Ernterückständen mit den dazu gehörigen Methoden

Parameter	Kulturen	Methode
Rohprotein (% TM)	AB, WG, WW, GPSRo	VDLUFA (1983), Methode 4.1.2, Dumas-Verbrennungsmethode, Faktor 6,25
	SM	NIRS, Gerät Foss 5000, trocken, auf 1 mm vermahlen
Stärke (% TM)	AB, WG, WW, GPSRo	VDLUFA (1983), Methode 7.2.1, polarimetrisch nach Evers
	SM	NIRS, Gerät Foss 5000, trocken, auf 1 mm vermahlen, Kalibrierung JKI
Kalium	AB, WG, WW, GPSRo, SM, WR	VDLUFA (2006), Methode 10.8.2, Mikrowellenaufschluß mit Salpetersäure und H ₂ O ₂ , ICP-OES
Phosphor	AB, WG, WW, GPSRo, SM, WR	VDLUFA (2006), Methode 10.8.2, Mikrowellenaufschluß mit Salpetersäure und H ₂ O ₂ , ICP-OES
Magnesium	AB, WG, WW, GPSRo, SM, WR	VDLUFA (2006), Methode 10.8.2, Mikrowellenaufschluß mit Salpetersäure und H ₂ O ₂ , ICP-OES
Ölgehalt (% TM) und Fettsäuremuster	WR	NIRS, Gerät Bruker MPA, Körner ganz, Kalibrierung nach Tillmann, VDLUFA, Stand 2011
TKM (g)	WR, AB, WG, WW	Bundessortenamt (2000)
HLG (kg/hl)	WG, WW	Kern Getreideprober (2000), Tafeln vom Deutschen Eichverlag (1967)
C, N, S (%)	Stroh: AB, WG, WW, WR	Elementar-Analyser

Um die Qualität des Erntegutes beurteilen zu können, sind an beiden Standorten entsprechende Qualitätsuntersuchungen durchgeführt worden, die sich an den gängigen Vermarktungskriterien orientieren. Tab. 4 enthält eine Zusammenfassungen der analysierten Parameter mit den dazugehörigen Methoden. Detaillierte Abbildungen dazu befinden sich im Anhang.

Darüber hinaus wurden projektbegleitende Bonituren (BSA 2000) wie die wöchentliche Dokumentation der Bestandesentwicklung während der Vegetationszeit, Auszählung des Bestandes zu Vegetationsende und –beginn, Messung des Kulturdeckungsgrades zu Vegetationsende und –beginn, Auszählung der Ähren, Messung der Bestandeshöhe vor Ernte, Messung von Wurzelhalsdurchmesser und Sproßlänge zum Vegetationsende bei Raps, Bestimmung der Biomasse bei Raps zu Vegetationsende und –beginn, Vorerntebonituren bei Getreide zur Beurteilung des Erfolges von Pflanzenschutzmaßnahmen, Phoma-Bonitur bei Raps, Auszählung von Bohrlöchern des Maiszünslers in den Stoppeln sowie Messungen des Nitratgehaltes im Pflanzensaft, (Nitrachek- Methode, NITSCH 2005) vorgenommen.

2.2 Ergebnisse des Zentralexperiments

Die Dokumentation der pflanzenbaulichen Maßnahmen sowie die Ergebnisse der Zählungen und Bonituren sowie der sonstigen Messungen sind im Anhang in Tab. 41 bis Tab. 135 sowie den Abb. 121 bis Abb. 124 zu finden.

2.2.1 Ernteerträge und Qualitätsparameter

Braunschweig

Abb. 7 bis Abb. 13 zeigen die Ergebnisse der Ertragserhebungen aus den Versuchspartellen über die gesamte Projektlaufzeit am Standort Braunschweig. Bei den Kulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Ackerbohne sind jeweils die Kornerträge mit einem Feuchtegehalt von 14 % (9 % bei Raps) dargestellt. Für die als Biogassubstrat verwendeten Kulturen Grünroggen, GPS-Roggen und Silomais sind die Biomasseerträge als Trockenmasse ausgewiesen.

Abb. 7 enthält die Kornerträge des Winterweizens. Die höchsten Weizenerträge konnten im Erntejahr 2013 geerntet werden. In allen Betrieben lagen die Spitzenerträge über 100 dt/ha. Der niedrigste Ertrag wurde im Jahr 2011 mit weniger als 80 dt/ha im O-Betrieb geerntet. Mit Blick auf die Vorfruchtwirkung von Winterraps konnten im O-Betrieb trotz dieser vorteilhaften Fruchtfolgestellung im Erntejahr 2011 und 2013 nicht die hohen Ertragsleistungen der vergleichbaren Kultur im M-Betrieb erreicht werden. In den Jahren 2012 und 2013 wurden dagegen nach Silomais im V- und O Betrieb vergleichbare Erträge gemessen.

Die Erträge des Versuchsjahres 2011 (Umstellungsphase auf die projektspezifische Fruchtfolge) sind hellgrau dargestellt. Im ersten Versuchsjahr hatten alle Betriebe die Vorfrucht Winterraps.

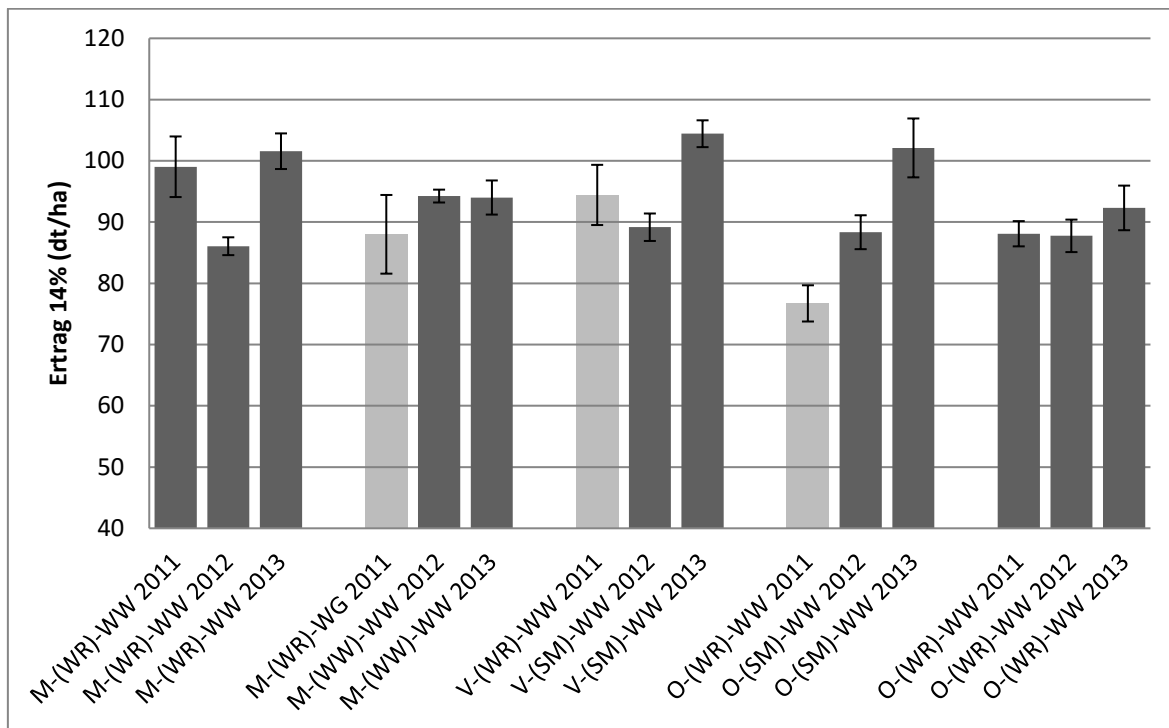


Abb. 7: Kornertag Winterweizen der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau= unplanmäßige Frucht bzw. Vorfrucht]

Bei den Ernteergebnissen der Wintergerste in Abb. 8 waren im Rahmen der Projektlaufzeit trotz unterschiedlicher Düngungsstrategien keine bedeutenden Ertragsunterschiede zwischen dem V- und O – Betrieb zu festzustellen. Der Unterschied bei den Düngergaben bestand darin, dass aufgrund der Vorfruchtstellung Ackerbohne im O-Betrieb anders als im V-Betrieb auf eine Güllegabe verzichtet wurde (vgl. 2.2.1 Gärrestuntersuchungen und N_{\min} -Werte).

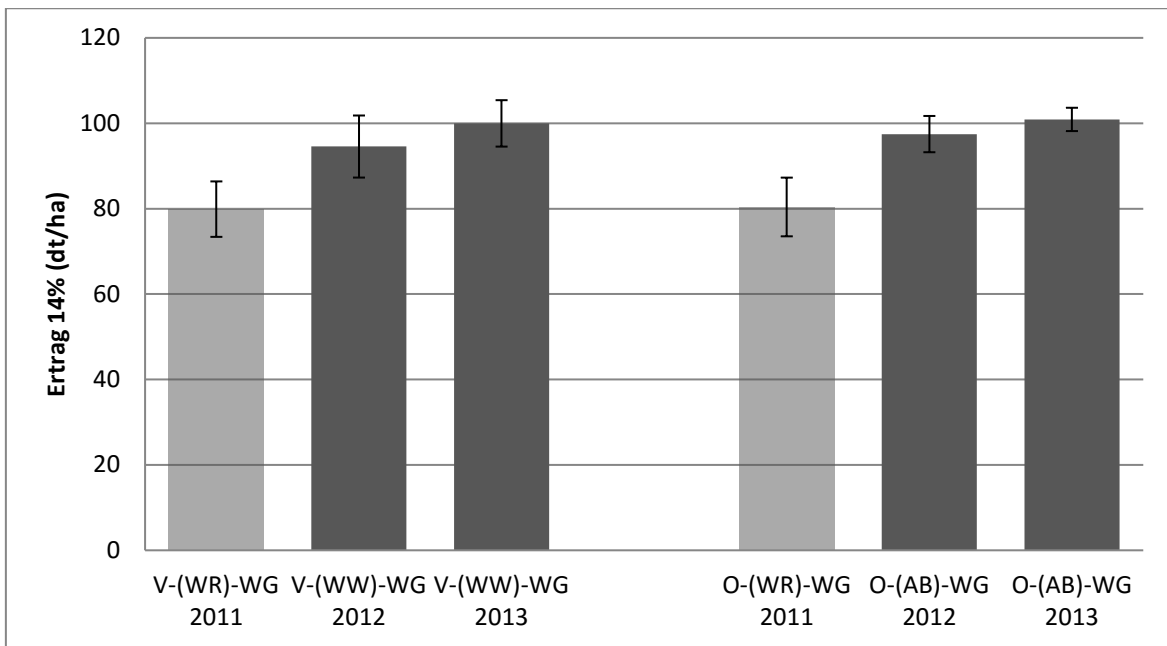


Abb. 8: Kornertrag Wintergerste der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau=unplanmäßige Vorfrucht]

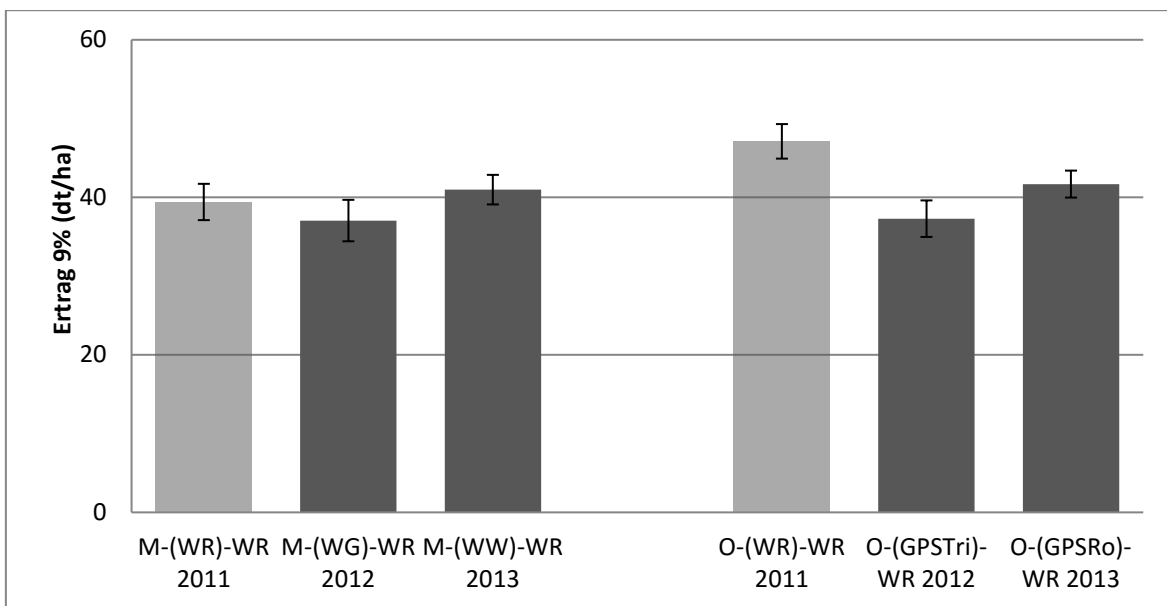


Abb. 9: Kornertrag Winterraps der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau=unplanmäßige Vorfrucht]

Auch beim Ertragsniveau von Winterraps (Abb. 9) konnten in den Versuchsjahren 2012 und 2013 keine Unterschiede erkannt werden. Die Erträge des Versuchsjahres 2011 (Umstellungsphase auf die projektspezifische Fruchtfolge) sind hellgrau dargestellt. Im ersten Versuchsjahr hatten alle Betriebe die Vorfrucht Winterraps.

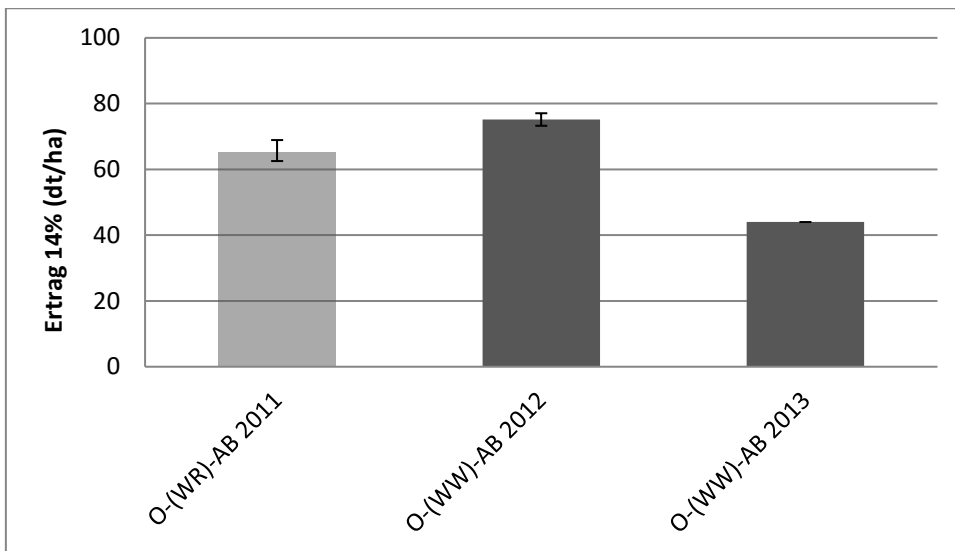


Abb. 10: Kornertrag Ackerbohne der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau= unplanmäßige Vorfrucht]

Beim Anbau der Ackerbohne wurde 2011 und 2012 ein hohes Ertragsniveau erreicht (Abb. 10). Besonders im Anbaujahr 2011/2012 wurde ein Spitzenertrag von 70 dt/ha erzielt. Demgegenüber konnten 2013 nur 44 Dezitonnen je Hektar geerntet werden.

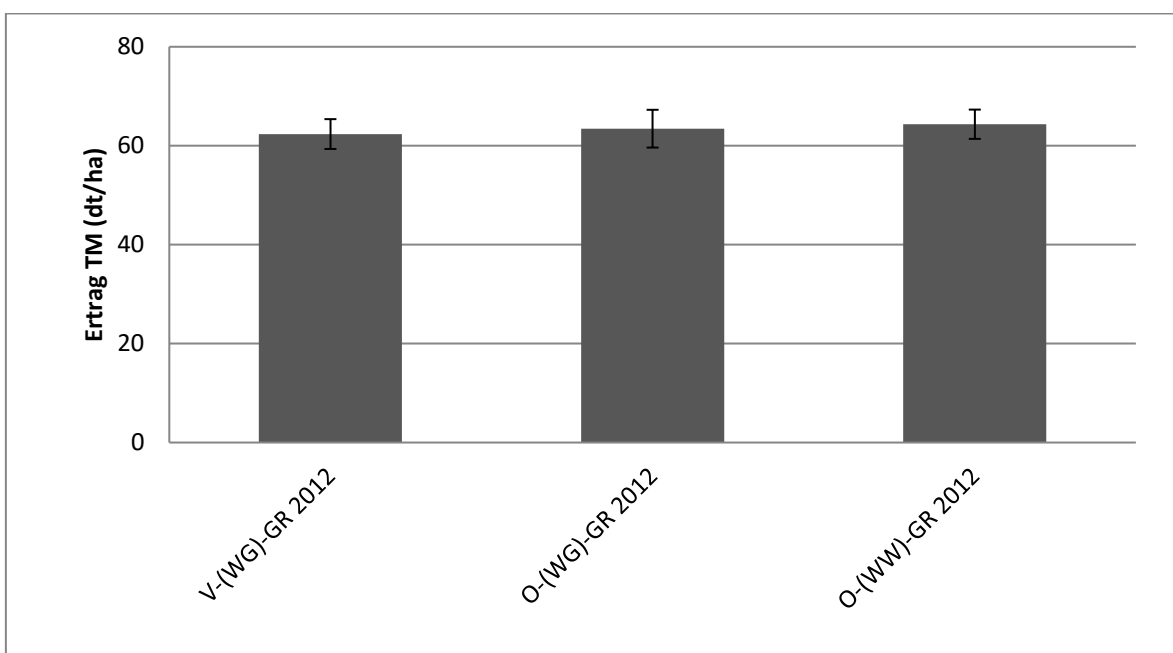


Abb. 11: Biomasseertrag Grünroggen im Erntejahr 2012 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8)

Der Grünroggen wurde erst nach einer Systemanpassung zur Herbstsaat 2012 als Vorfrucht zum Silomais in die V- und O-Betriebe aufgenommen. Da auf die Ernte des Grünroggens im Anbaujahr 2012/2013 aufgrund des späten Vegetationsbeginns im Frühjahr

und der bis dahin geringen Massebildung zugunsten einer termingerechten Maisaussaat verzichtet werden musste, sind in Abb. 11 nur die Erträge aus der Ernte 2012 abgebildet. - Der Grünroggenertrag bewegt sich in allen Systemen auf einem ähnlichen Niveau.

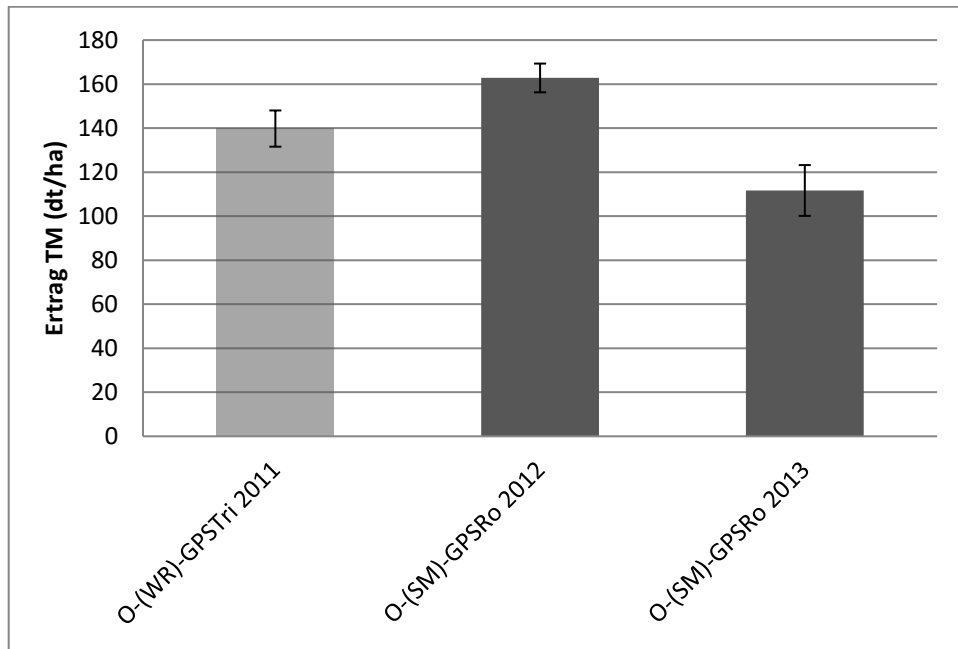


Abb. 12: Biomasseertrag GPS-Roggen (in 2011 GPS-Triticale) der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Grau= unplanmäßige Vorfrucht]

Abb. 12 enthält die gemessenen Felderträge des GPS-Roggens, der nur im System O angebaut wird. 2011 wurde anstatt eines Hybridroggens Wintertriticale angebaut, deren Ertragspotential in etwa vergleichbar mit dem des Roggens ist. Gegenüber den Ernteerträgen des Silomaises aus Abb. 13 liegt die Menge geernteter Trockenmasse beim GPS-Roggen im Erntejahr 2011 rund 40 dt/ha unter und 2012 rund 20 dt/ha über den TM-Erträgen des Silomaises im O-Betrieb. Im Erntejahr 2012 konnten nahezu identische Trockenmasseerträge wie beim Silomais im V-Betrieb erzielt werden. Einschränkend bei dieser Betrachtung ist zu bemerken, dass der Silomais im Erntejahr 2012 aufgrund der späten Grünroggenernte und einer feuchtkalten Witterung in dem engen verbleibenden Saatfenster nur schlecht etabliert werden konnte.

Außerdem kam es beim Grünroggen 2013 aufgrund einer schlechten Bestandesetablierung im Herbst und eines extrem verspäteten Vegetationsbeginns zu einer geringen, nicht erntewürdigen Pflanzenentwicklung dieser Kultur. Die bereits ausgebrachten Düngergaben des Roggens wurden in Folge von den geplanten Mengen beim Silomais abge-

zogen. Als Konsequenz dieser Entscheidung zeigten die Maispflanzen in Verbindung mit dem kühlen Frühjahr deutlich zu erkennenden Mangelercheinungen in der Nährstoffversorgung (Ergebnisse der Nitrachek-Tests in Tab. 58 im Anhang), die trotz theoretisch vorhandener Stickstoffmengen zu einem massiven Ertragsrückgang bei den Maiserträgen führten.

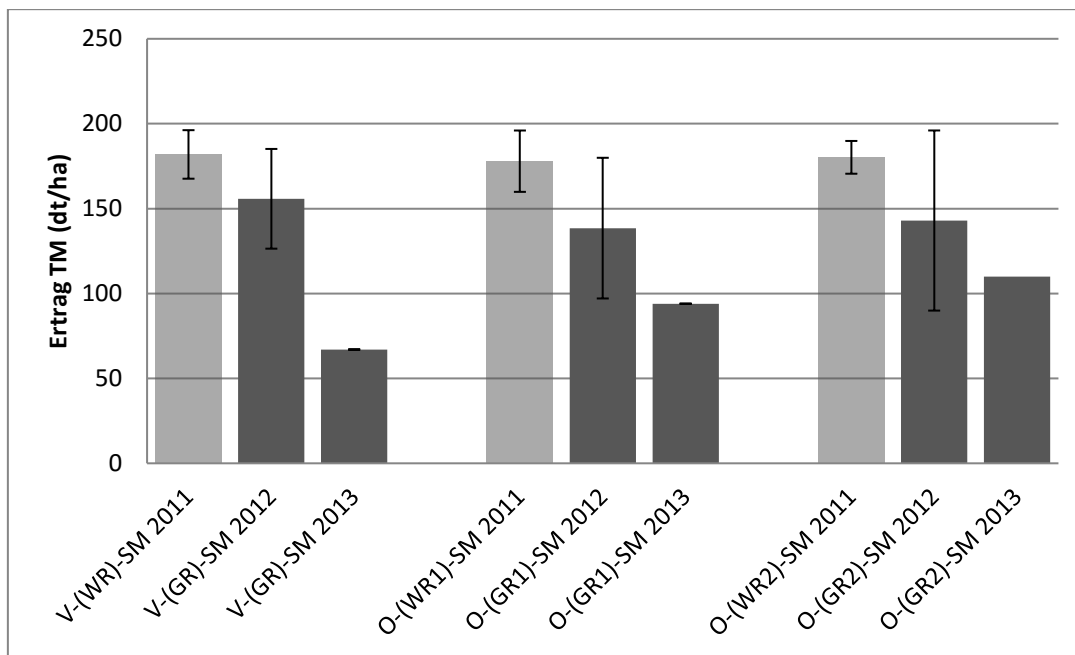


Abb. 13: Biomasseertrag Silomais der Erntejahre 2011 bis 2013 in Braunschweig inkl. Standardabweichung (n=8) [Gau= unplanmäßige Vorfrucht]

Soest

Abb. 14 bis Abb. 20 zeigen die Ergebnisse der Ertragserhebungen aus den Versuchspartellen über die gesamte Projektlaufzeit am Standort Soest. Am Standort Soest mussten aufgrund der Vorgeschichte der Feldschläge zur Ernte 2011 Anpassungen der Fruchtfolgen vorgenommen werden (siehe 2.1.3). In der kompletten ersten Projektlaufzeit lagen die Weizenerträge auf einem konstant hohen Niveau, ohne relevante Ertragsunterschiede zwischen den Anbausystemen. Lediglich der Weizenertrag des V-Betriebes im Jahr 2011 ist auffällig. Begründet ist dies darin, dass dieses Fruchtfolgefeld im ersten Jahr der Versuchsanstellung nach zwei unterschiedlichen Vorfrüchten (Zuckerrüben bzw. Winterwei-

zen) - angebaut werden musste. Der Ertrag nach Zuckerrüben weist keine Auffälligkeiten auf, der Ertrag des Stoppelweizens bleibt weit hinter den Erwartungen zurück.

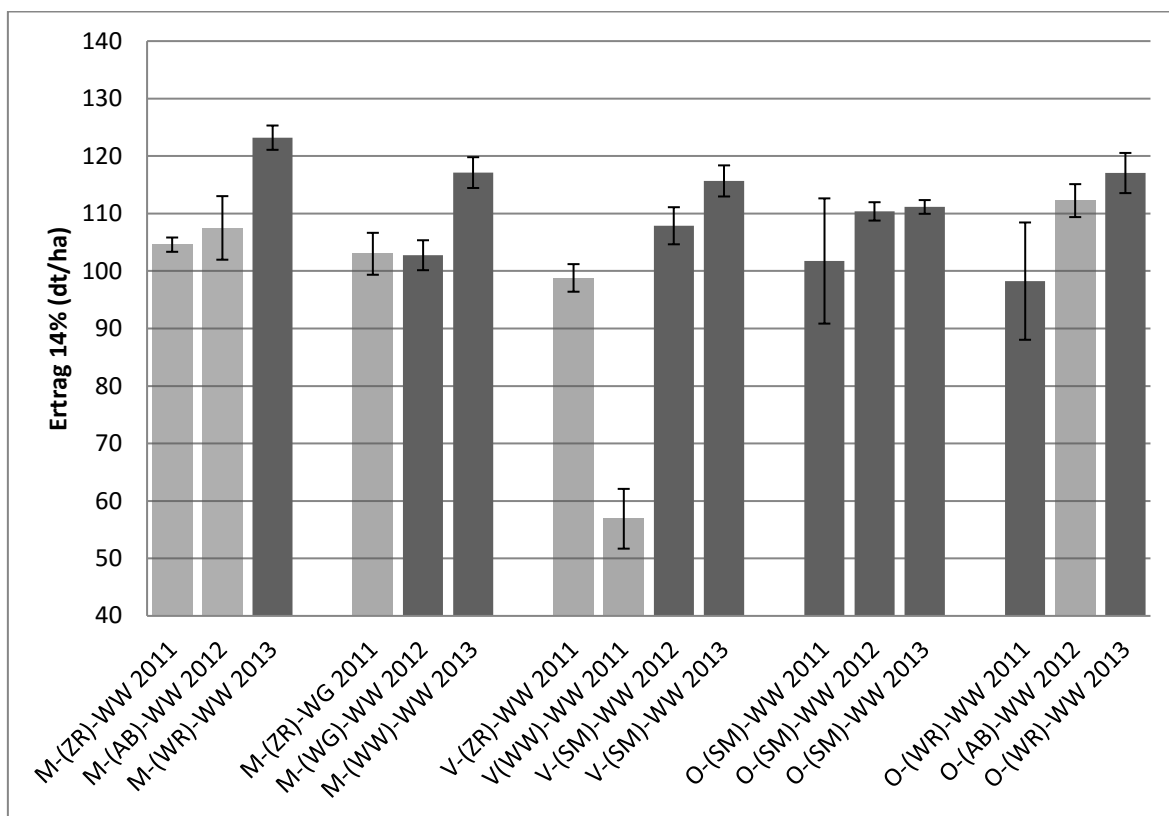


Abb. 14: Kornertrag Winterweizen der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8) (grau = unplanmäßige Frucht bzw. Vorfrucht)

Ebenfalls kaum relevante Unterschiede wurden zwischen den Gerstenerträgen festgestellt (Abb. 15). Allerdings lagen die Naturalerträge des O-Betriebes während der ersten Projektphase leicht über denen des V-Betriebes. Von Bedeutung in diesem Zusammenhang ist die Kenntnis darüber, dass die im O-Betrieb bestellten Winterungen stets in Kombination mit einer Unterfußdüngung in Form von 2,5 dt/ha eines Mehrnährstoffdüngers mit 12% N, 8% P₂O₅, 16% K₂O, 0,02%Bor und 0,06% Eisen bestellt wurden.

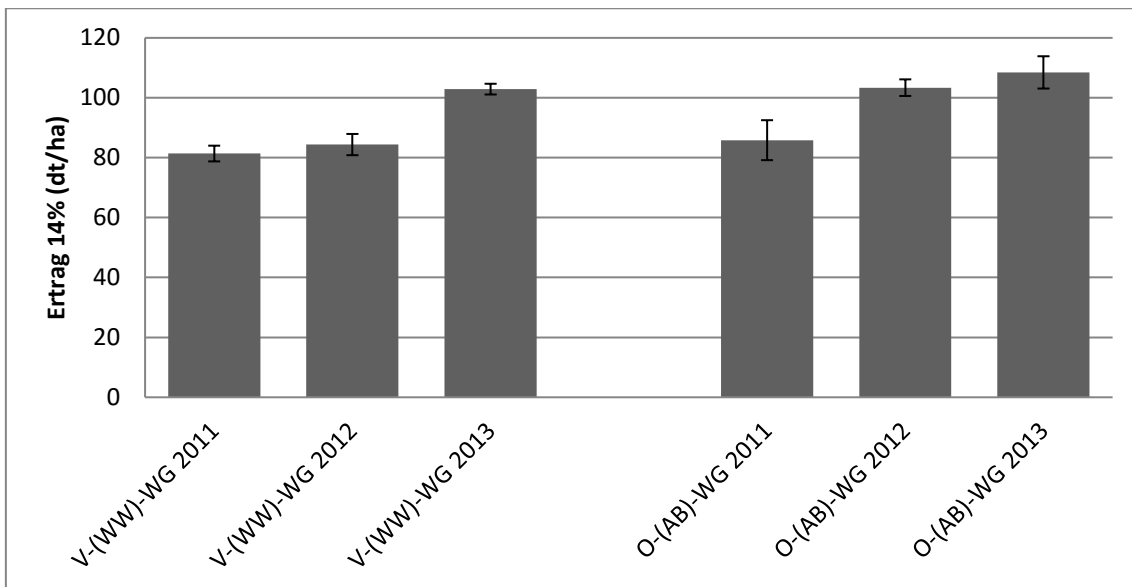


Abb. 15: Kornenertrag Wintergerste der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)

Dieser Aspekt war auch in den Rapsenerträgen am Standort Soest zu erkennen, mit zum Teil deutlicherer Ausprägung als bei den übrigen Winterungen (Abb. 16). Im Ersten Anbaujahr wurde am Standort Soest kein Winterraps etabliert, da das optimale Aussaatfenster dieser Kultur zu Projektbeginn bereits deutlich überschritten war.

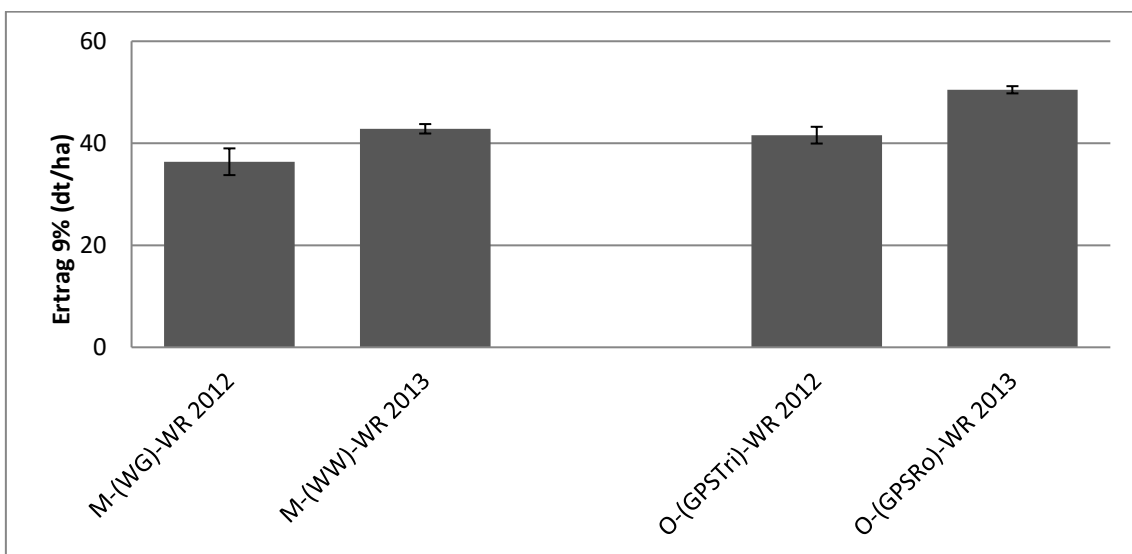


Abb. 16: Kornenertrag Winterraps der Erntejahre 2012 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)

Auf Grund dieser Tatsache wurde der Raps im ersten Anbaujahr durch Ackerbohnen substituiert, um der nachfolgenden Kultur ähnlich günstige Vorfruchtbedingungen bereitzustellen wie nach Raps und dem Projektanspruch somit weitestgehend zu entsprechen. Auffällig sind die gegenüber dem 2. und 3. Versuchsjahr erheblich geringeren Ackerbohnenenerträge des ersten Versuchsjahres (Abb. 17). Dies lässt sich durch eine sehr starke

Verunkrautung im zeitigen Frühjahr erklären. Aufgrund der Wirkungslücken sowie der geringen Zahl an Nachauflauf-Herbiziden für Körnerleguminosen war eine Behandlung nicht möglich und führte somit zu einem starken Konkurrenzdruck für die Ackerbohne. Durch die Modifizierung des Ackerbohnenanbaus, konnte dieser auf ein höheres Ertragsniveau angehoben werden. Begründet ist dies vor allem durch eine Integration einer Grasuntersaat in die vor den Ackerbohnen stehenden Weizenbestände. In Verbindung mit einer möglichst geringen mechanischen Eingriffsintensität in die bestehende Grasnarbe mit Hilfe der Direktsaattechnik wird eine effektive Unkrautunterdrückung erreicht.

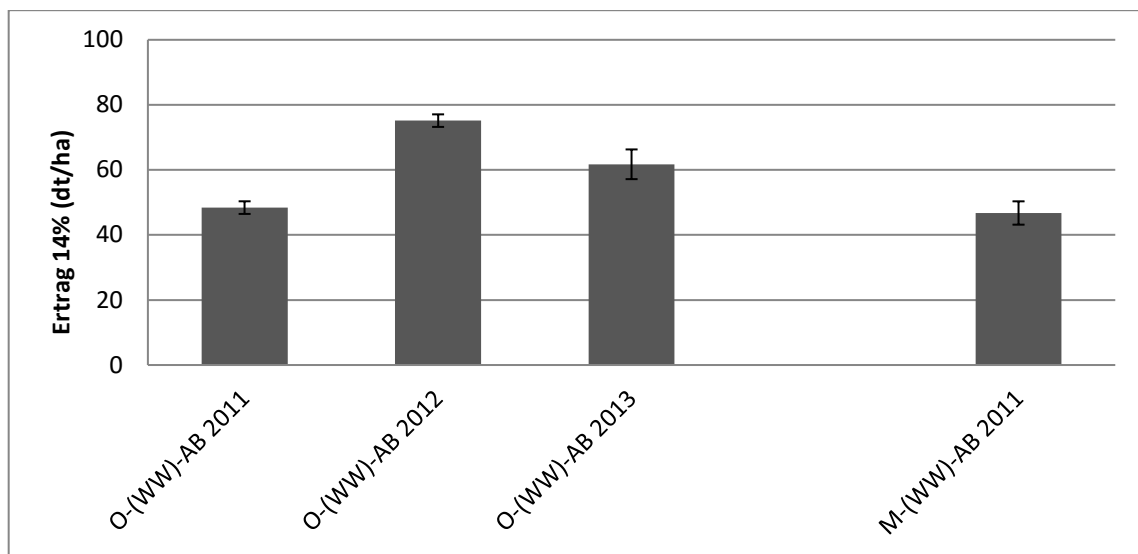


Abb. 17: Körnertrag Ackerbohne der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)

Grünroggen wurde in Soest wie in Braunschweig nur 2012 geerntet (Abb. 18). Im Unterschied zu diesem Standort lagen die Erträge des Grünroggens am Standort Soest 2012 im O-Betrieb jedoch leicht über denen im V. Die Unterfußdüngung als ein möglicher Grund für diesen Umstand im O-Betrieb wurde ebenfalls bereits beschrieben.

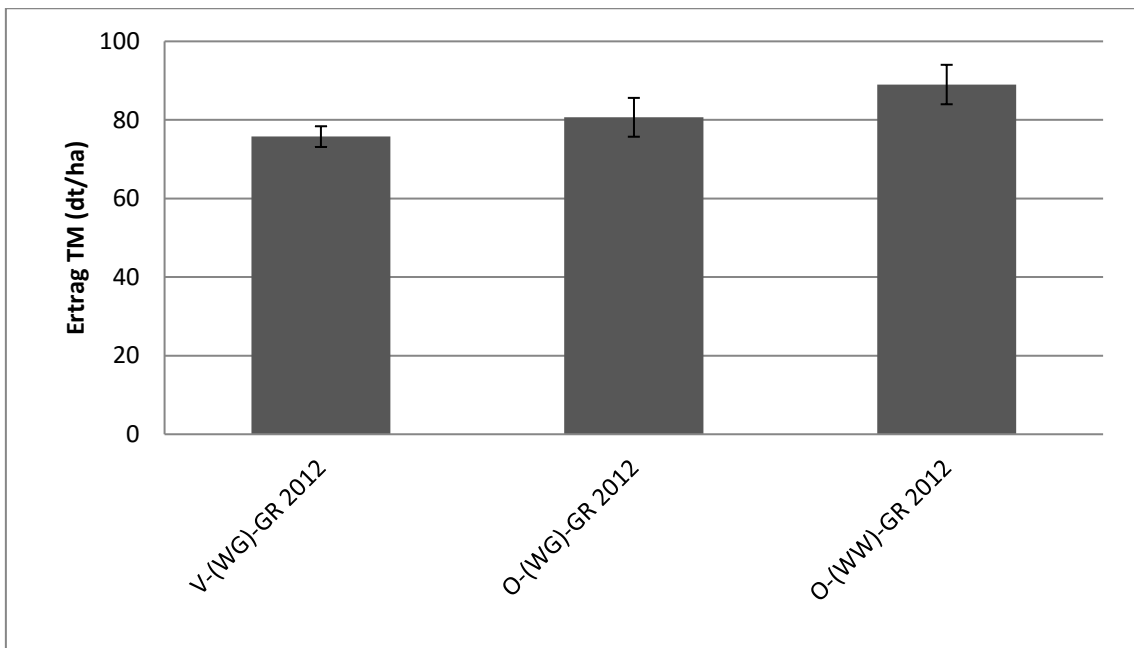


Abb. 18: Biomasseertrag Grünroggen im Erntejahr 2012 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)

Der wie auch in Braunschweig in Soest nur im O-Betrieb angebaute GPS-Roggen (2011 GPS-Triticale) erreichte in der ersten Projektphase ein sehr hohes Ertragsniveau mit einem sehr guten Biomasseergebnis im dritten Versuchsjahr (Abb. 19). So wurden am Standort Soest im Jahr 2013 über 18 t Trockenmasse geerntet.

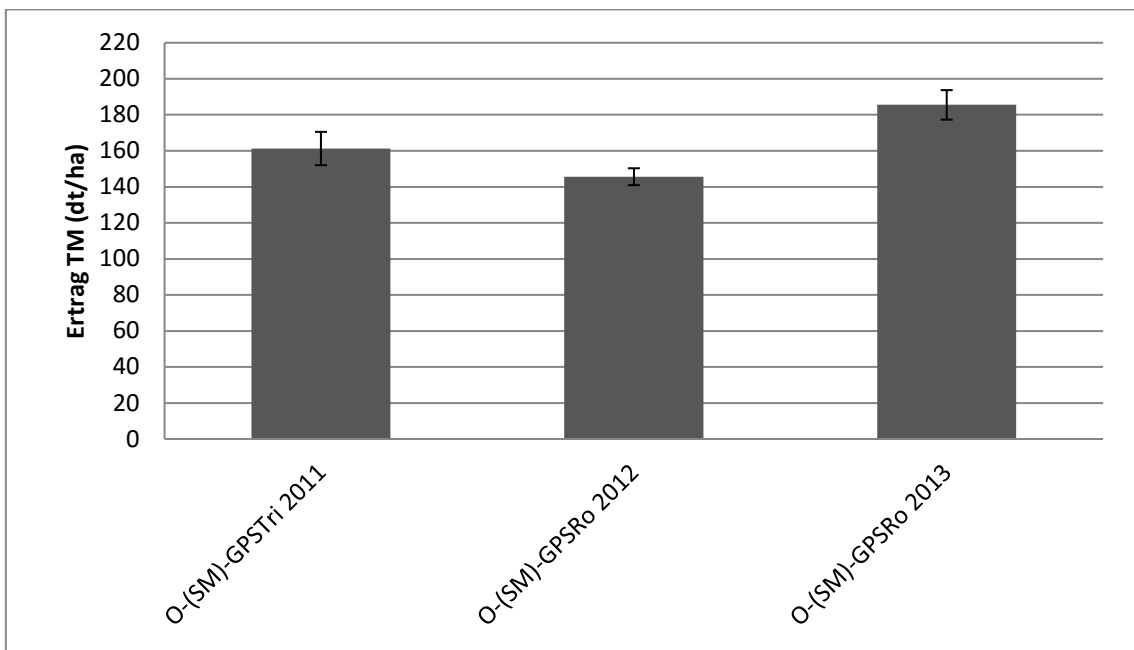


Abb. 19: Biomasseertrag GPS-Roggen (in 2011 GPS-Triticale) der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)

Die Maiserträge der ersten Projektlaufzeit sind in Abb. 20 dargestellt. Während über drei Jahre hinweg die Erträge des V-Betrieb relativ homogen sowie auf einem hohen Niveau

lagen, gab es bei den Naturalerträgen des O-Betriebes erhebliche Ertragsunterschiede zwischen den Jahren sowie ein unbefriedigendes Ergebnis im Hinblick auf die Ertragshöhe. Im ersten Jahr des Projektes wurde auch der Mais im O-Betrieb im Mulchsaatverfahren bestellt und lag auf dem Niveau des V-Betriebes. Der Ertragseinbruch im zweiten Jahr ist der Drilltechnik geschuldet. Durch den Einsatz der Cross Slot-Maschine mit Getreide-reihenweite und den Verzicht auf Einzelkorntechnik konnten keine ertragsstarken und homogenen Maisbestände etabliert werden. Die gegenüber dem V-Betrieb im Jahr 2013 schlechteren Erträge des O-Betriebes wurden bereits erläutert.

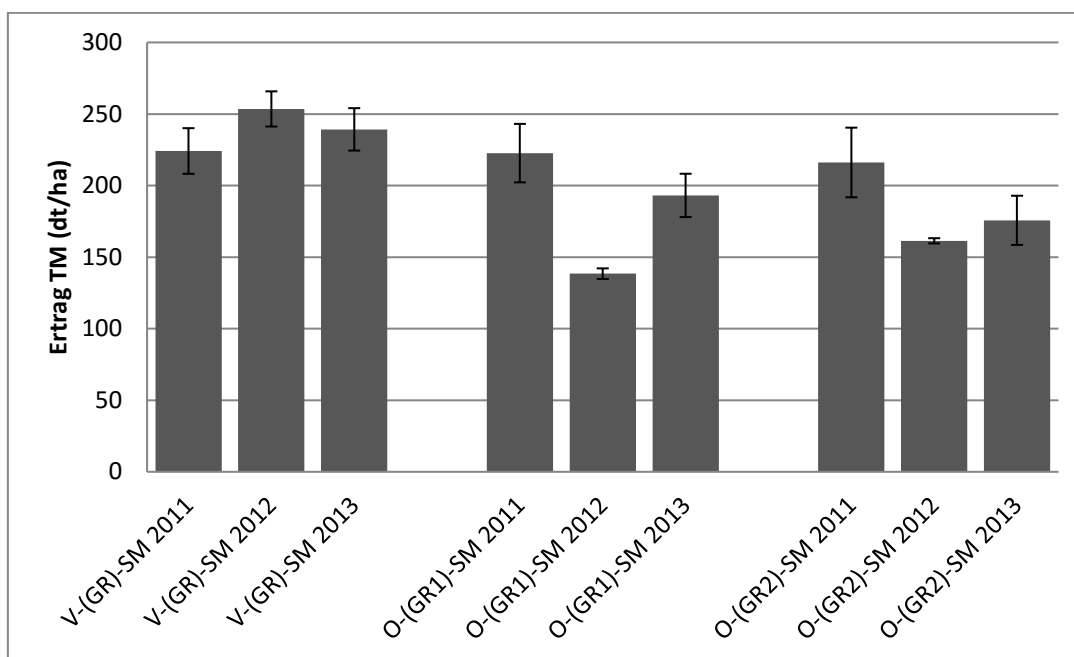


Abb. 20: Biomasseertrag Silomais der Erntejahre 2011 bis 2013 in Soest inkl. Standardabweichung (n=8)

Wie am Standort Braunschweig wurden auch in Soest Bonituren zur Bewertung der Bestandesentwicklung sowie des Befalls mit Krankheiten und Schädlingen durchgeführt (vgl. Abschnitt 2.1.4).- Die Ergebnisse sind in Tabellen und Abbildungen im Anhang dargestellt.

2.2.1 Gärrestuntersuchungen und N_{\min} -Werte

Braunschweig

Die Düngergaben in den einzelnen Betrieben wurden anhand der ortsüblichen N_{\min} -Richtwerte der Landwirtschaftskammern aus Niedersachsen und Nordrhein Westfalen berechnet. Die in den V- und O- Betrieben ausgebrachten Güllemengen ergaben sich aus den analysierten Nährstoffgehalten der einzelnen Gärrestuntersuchungen (vgl. Tab. 5)

unter der Annahme einer Mindestausnutzung des Gesamtstickstoffgehaltes von 60 Prozent. Die zur Verfügung stehende Gesamtmenge an Gärrest innerhalb eines Betriebs ergibt sich aus den Standardrichtwerten der Landwirtschaftskammer Nordrhein Westfalen entsprechend dem Größenumfang der Modellbetriebe. Im V-Betrieb wurden nach einer Systemoptimierung im Herbst 2012 im Anbaujahr 2012/2013 zur Herbstaussaat von Wintergerste und Grünroggen rund 50 kg/ha nutzbarer Stickstoff, zum Vegetationsbeginn im Frühjahr rund 50 kg/ha nutzbarer Stickstoff bei Winterweizen, Wintergerste und Grünroggen und die gleiche Menge nochmals zur Aussaat von Silomais in Form von Gärgülle ausgebracht. Im gleichen Zeitraum erhielten im O-Betrieb der Winterraps und der Grünroggen zur Aussaat jeweils 50 kg und zum Vegetationsbeginn 70 kg/ha nutzbaren Stickstoff über Gärgülle. Die Frühjahrsgabe zum Start der Vegetation erfolgte in diesem Betrieb in gleicher Höhe auch bei den Kulturen Winterweizen und GPS-Roggen sowie zur Aussaat des Silomaises. Im Gegensatz zum V-Betrieb wurde bei der Gerste im O-Betrieb aufgrund der Vorfrucht Ackerbohne keine Gärgülle ausgebracht. Der nach Abzug der ausgebrachten Güllegaben und der jeweils zum Vegetationsbeginn nach dem Winter ermittelten N_{\min} -Werte (vgl. Abb. 23 bis Abb. 21) verbleibende Restbedarf an Stickstoff wurde in beiden Betrieben durch Mineraldünger ergänzt.

Tab. 5: Ergebnisse der Gärrestuntersuchungen am Standort Braunschweig

Prüfparameter	Einheit	Frühjahr 2011	Herbst 2011	Frühjahr 2012	Herbst 2012	Frühjahr 2013
Trockensubstanz (TS)	%	6,7	4,4	6.8	1,5	2,8
Organische Substanz	%	-	3,4	5.4	1,0	1,9
Mineralische Substanz	%	-	1,0	1.4	0,5	0,8
pH-Wert		7,7	7,8	7.4	6,7	-
C/N-Verhältnis (rechnerisch)		-		12.0	12,4	10,0
N _{ges}	kg/m ³ FM	4,3	4,4	4.6	2,1	3,1
NH ₄ -N	kg/m ³ FM	2,3	2,4	2.2	1,4	1,8
P ₂ O ₅	kg/m ³ FM	-	1,1	1.5	0,6	0,8
K ₂ O	kg/m ³ FM	-		4.3	2,5	3,2
MgO	kg/m ³ FM	-		0.6	0,3	0,3
S	kg/m ³ FM	-	0,2	0.3	1,5	2,8

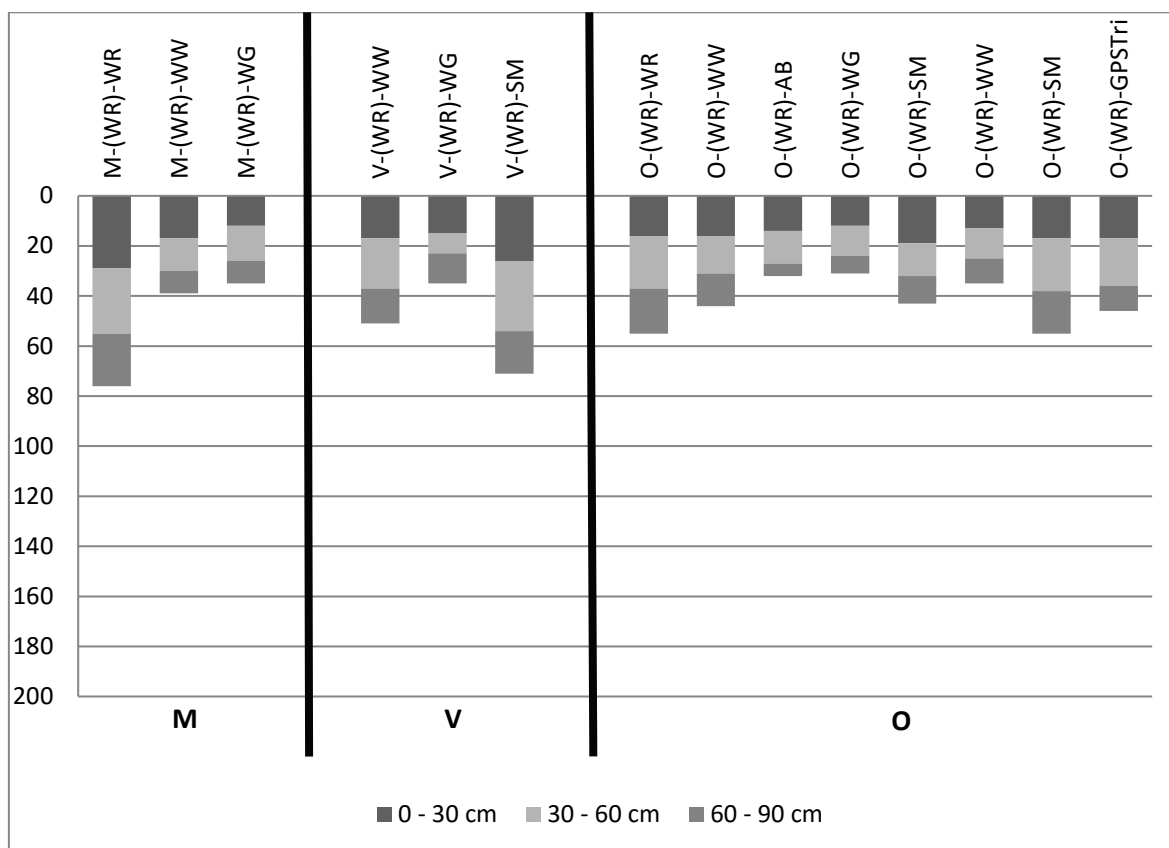


Abb. 21: Nach Parzellen unterteilte N_{min}-Werte (kg/ha) vom Frühjahr 2011

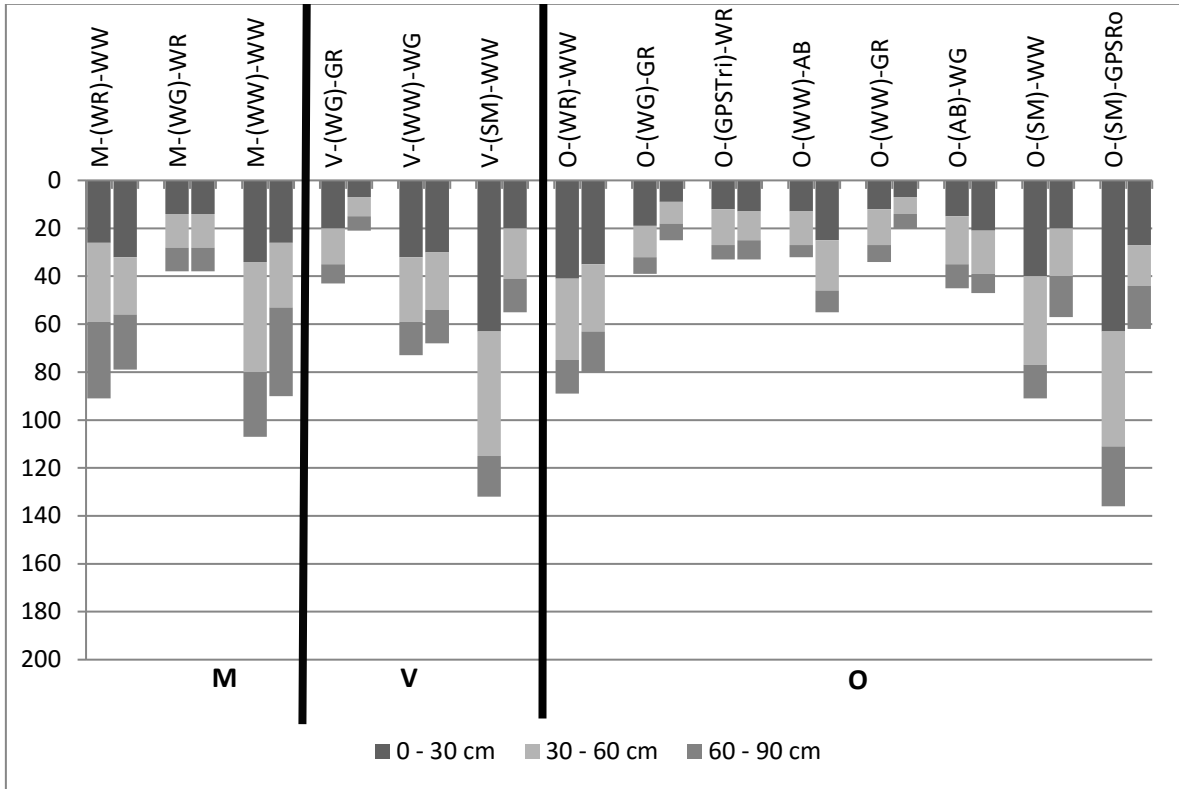


Abb. 22: Nach Parzellen unterteilte N_{min} -Werte (kg/ha) vom Herbst 2011 (linker Balken) und Frühjahr 2012 (rechter Balken)

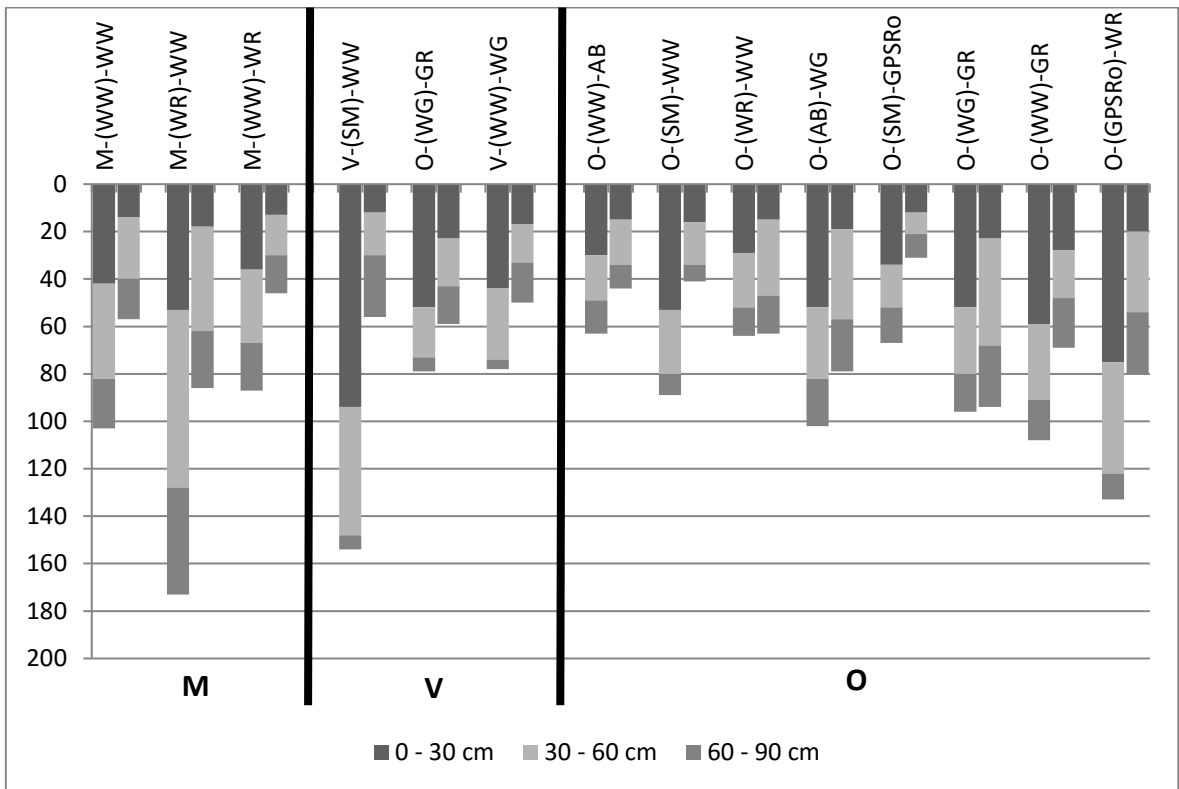


Abb. 23: Nach Parzellen unterteilte N_{min} -Werte (kg/ha) vom Herbst 2012 (linker Balken) und Frühjahr 2013 (rechter Balken)

In Abb. 26 bis Abb. 24 sind die durchschnittlichen N_{\min} -Werte der einzelnen Betriebe zu den jeweiligen Terminen der Probenahme abgebildet. Es ist zu erkennen, dass der mineralische Stickstoffgehalt im O-Betrieb im Schnitt über alle Parzellen und Beprobungstermine am geringsten ausfällt. Demgegenüber liegen die Werte im M-Betrieb mit Ausnahme des Frühjahrs 2011, in dem auf allen Parzellen die Vorfrucht Winterraps angebaut war, durchweg am höchsten. Einer der Gründe liegt vermutlich in der Fruchtfolgegestaltung und den damit verbundenen unterschiedlichen Düngungsstrategien.

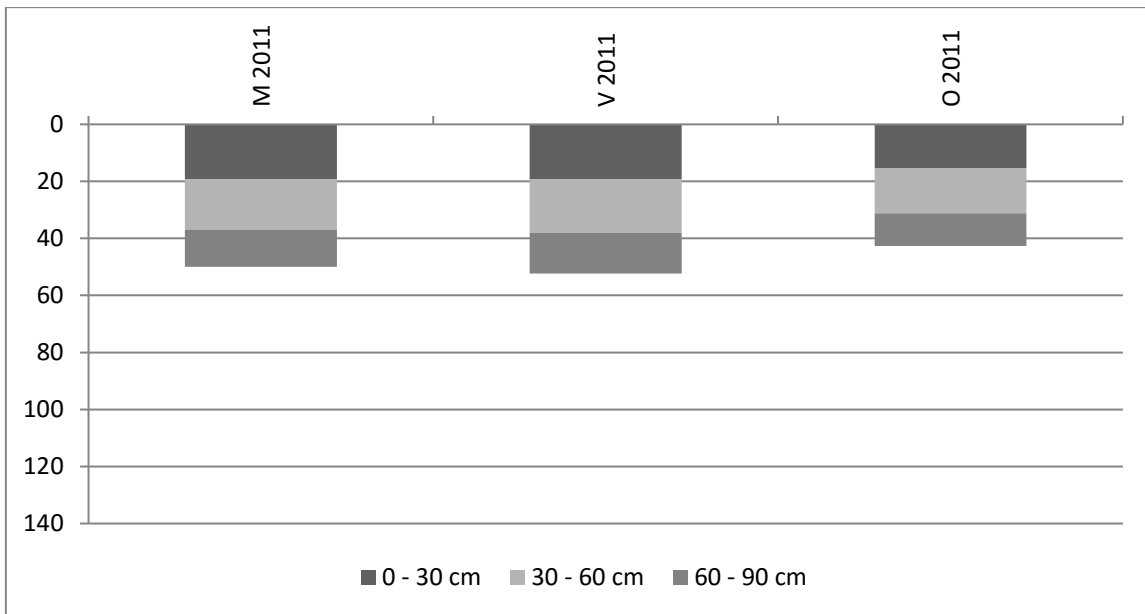


Abb. 24: Vergleich der durchschnittlichen N_{\min} -Werte (kg/ha) der Anbausysteme im Frühjahr 2011

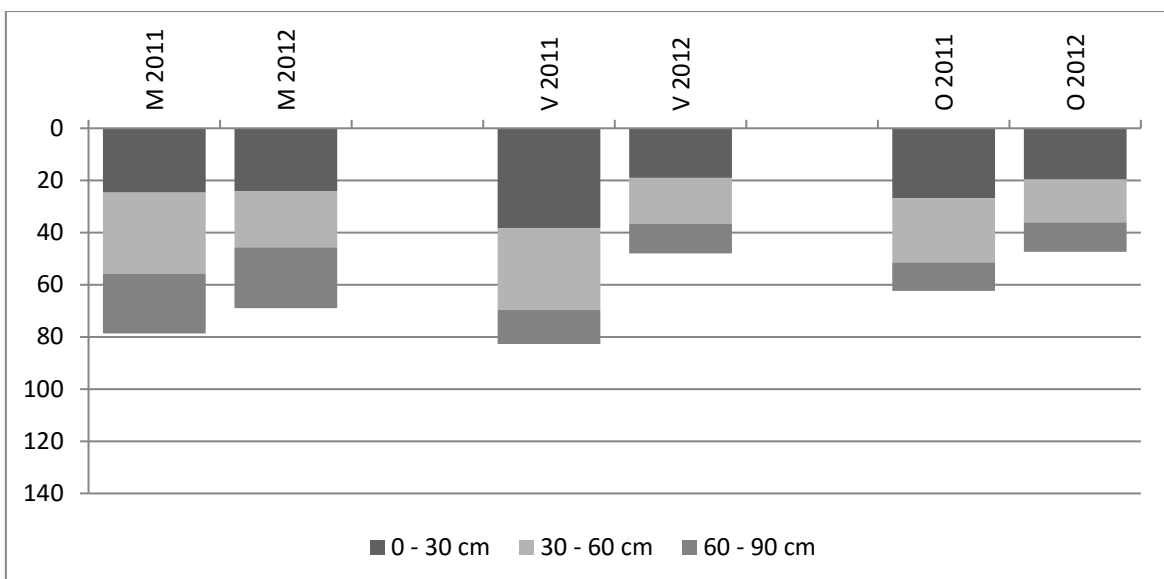


Abb. 25: Vergleich der durchschnittlichen N_{\min} -Werte (kg/ha) der Anbausysteme im Herbst 2011 (linker Balken) und Frühjahr 2012 (rechter Balken)

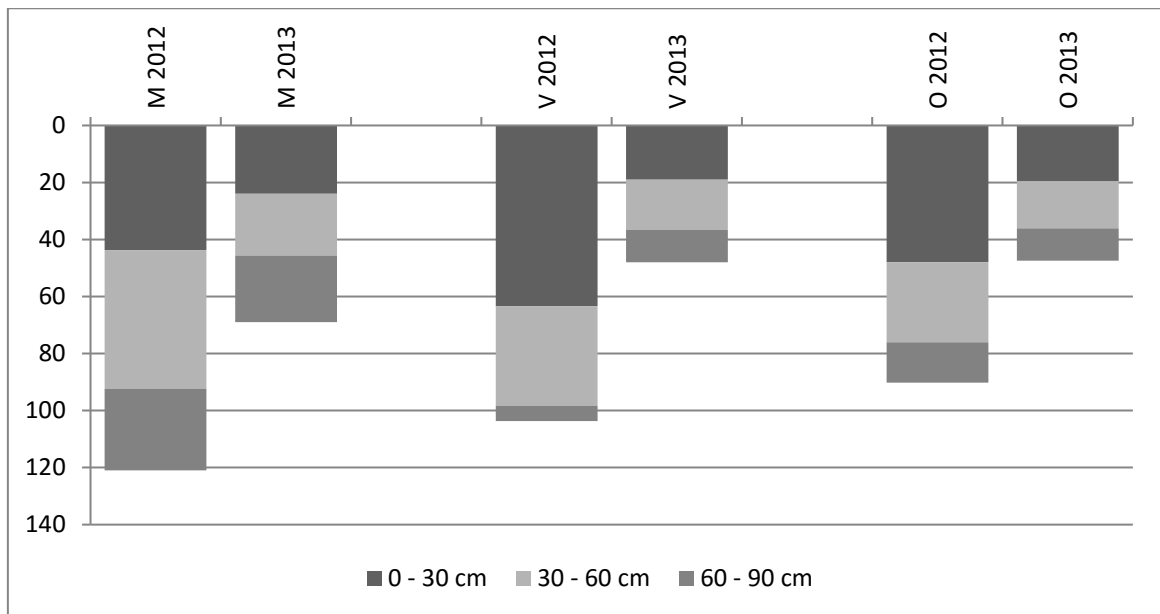


Abb. 26: Vergleich der durchschnittlichen N_{min}-Werte (kg/ha) der Anbausysteme im Herbst 2012 (linker Balken) und Frühjahr 2013 (rechter Balken)

Soest

Tab. 6 stellt die Gärrestuntersuchungen am Standort Soest dar. Für die erste Analyse im Frühjahr 2011 ist zu berücksichtigen, dass zum Zeitpunkt der Probenentnahme in der Biogasanlage in größerer Menge Hühnertrockenkot als Substrat eingesetzt worden ist, welches zu hohen Stickstoff- und anderen Nährstoffgehalten führt und demzufolge auch in einem hohen C/N-Verhältnis resultiert.

Tab. 6: Ergebnisse der Gärrestuntersuchungen am Standort Soest

Prüfparameter	Einheit	Frühjahr 2011*	Frühjahr 2012	Frühjahr 2013
Trockensubstanz (TS)	%	5,80	4,3	6,73
pH-Wert		8,5	-	-
C/N-Verhältnis		3,00	-	-
N _{ges}	kg/m ³	13,65	5,25	6,40
NH ₄ ⁺ -N	kg/m ³	7,92	3,86	4,53
P ₂ O ₅	kg/m ³	4,51	1,73	2,00
K ₂ O	kg/m ³	11,5	4,66	5,58
MgO	kg/m ³	1,4	0,62	0,86
CaO	kg/m ³	4,07	1,69	2,05

* Hoher Anteil von Hühnertrockenkot in der Substratmischung der Biogasanlage.

N_{min} am Standort Soest

Die Abb. 29 bis Abb. 27 stellen die N_{min}-Gehalte am Standort Soest dar. Auffällig ist, wie auch am Standort Braunschweig, die über die gesamte Fruchtfolge gesehen geringeren N_{min}-Werte des O-Betriebes und somit auch potentiell geringere Grundwasserbelastung dieses Anbausystems gegenüber dem M- und V-Betrieb. Besonders ausgeprägt war dieser Umstand im Herbst 2011 / Frühjahr 2012. Begründet ist dieser Sachverhalt darin, dass der O-Betrieb durch seine aufgelockerte Fruchtfolge eine geringere Konzentration an Früchten aufweist, welche in Bezug auf N_{min} problematisch sind. Verstärkt wird dieser Aspekt durch die Tatsache, dass durch den Verzicht der Bodenbearbeitung im O-Betrieb und die damit einhergehende Minderung der Mineralisation eine Auswaschungsgefährdung von Stickstoff gegenüber den beiden Referenzbetrieben vermutlich reduziert ist.

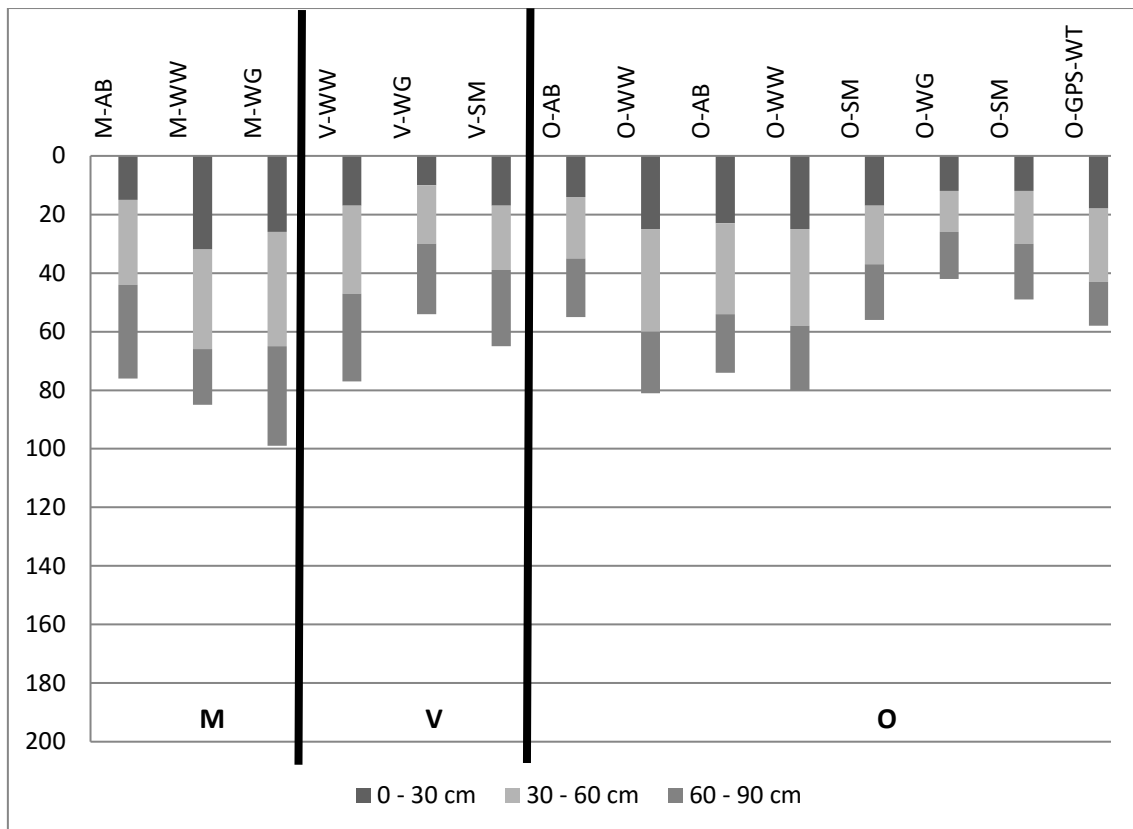


Abb. 27: Nach Parzellen unterteilte N_{min}-Werte (kg/ha) vom Frühjahr 2011 am Standort Soest

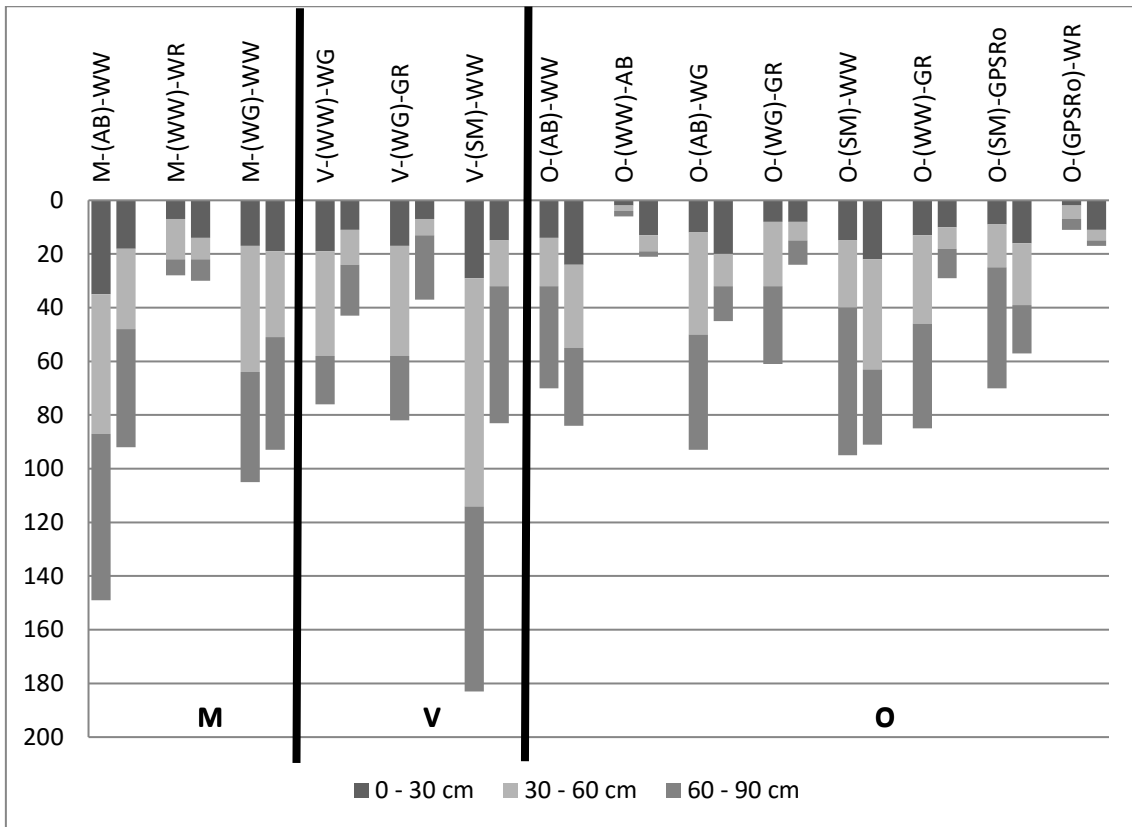


Abb. 28: Nach Parzellen unterteilte N_{min}-Werte (kg/ha) vom Herbst 2011 (linker Balken) und Frühjahr 2012 (rechter Balken) am Standort Soest

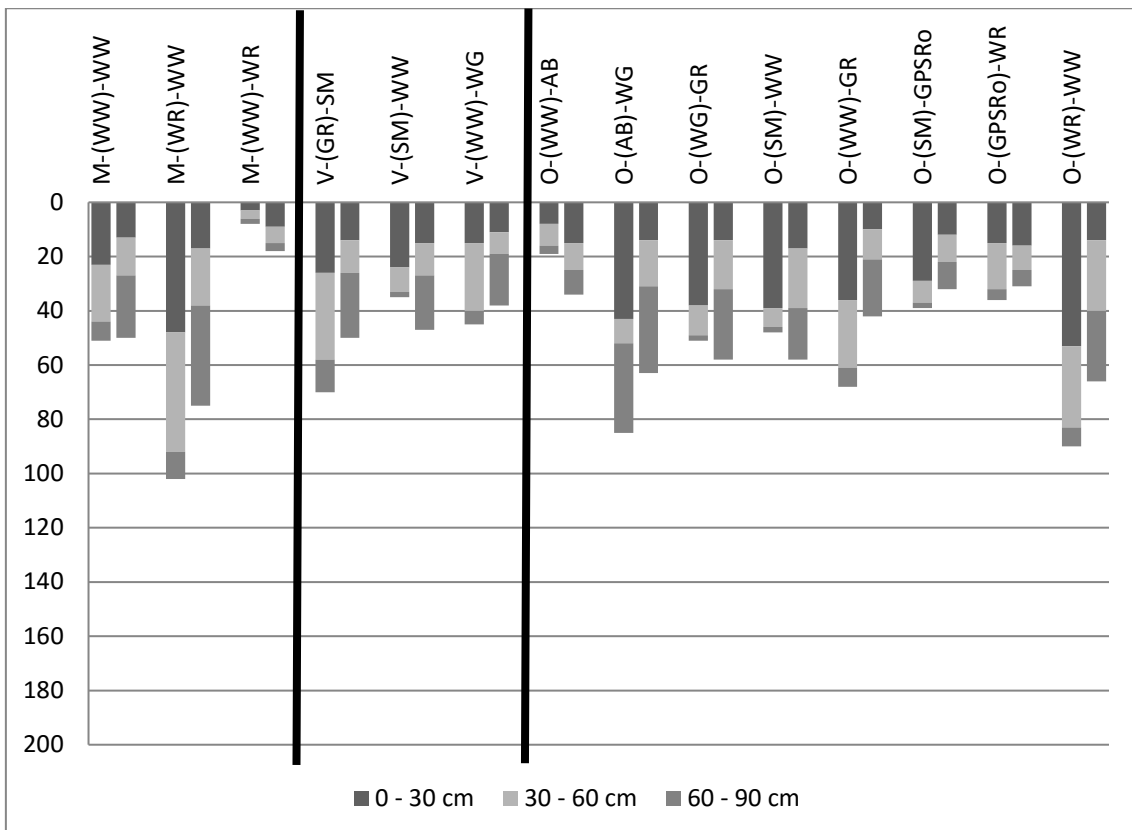


Abb. 29: Nach Parzellen unterteilte N_{min}-Werte (kg/ha) vom Herbst 2012 (linker Balken) und Frühjahr 2013 (rechter Balken) am Standort Soest

2.2.3 Betrachtung der Versuchsjahre

Braunschweig

Erntejahr 2011

Das erste Versuchsjahr am Standort Braunschweig konnte ohne größere Komplikationen abgeschlossen werden. Die Versuchsfelder wurden trotz schwieriger Witterungsverhältnisse im Herbst 2010 bis auf die notwendigen Fruchtfolgeanpassungen plangemäß angelegt und bestellt. Außer den durch die lang anhaltende Vorsommertrockenheit verursachten Trockenstresserscheinungen bei allen angebauten Kulturen waren keine nennenswerten Ertragseinbußen durch Verunkrautung oder Krankheits- und Schädlingsbefall festzustellen. Dies liegt auch daran, dass die Möglichkeiten des Pflanzenschutzes unter Berücksichtigung des Anbausystems ausgeschöpft wurden. Vor allem für die Ertragsmodellierung war dies zwingend notwendig, da eine Modellierung des Schädlingsbefalls und Unkrautbesatzes in APSIM nicht möglich ist.

Beim Vergleich der Ernteerträge aus den verschiedenen Anbausystemen fällt auf, dass die Wintergerste und der Winterweizen in den organisch gedüngten Betrieben deutlich schlechter abschneiden, als in der mineralisch gedüngten Variante. Dies ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf zwei wesentliche Einflussfaktoren zurückzuführen. Zum einen wurde die Fläche seit dem Jahr 2006 ausschließlich mineralisch gedüngt. Somit bestand noch kein ausreichender Nährstoffpool an organisch gebundenem Stickstoff wie er sich erfahrungsgemäß bei langjähriger Gülledüngung einstellt. Dieser ist jedoch im Rahmen einer organischen Düngungsstrategie essentiell für eine kontinuierliche Nährstoffversorgung der Pflanze, da ca. 50 Prozent des Gesamtstickstoffgehaltes der Biogasgülle zunächst in organischem Material gebunden und nicht pflanzenverfügbar ist. Die Umsetzung dieses Anteils kann sich nach Probert et al. (2005) in Abhängigkeit der Witterung über mehrere Wochen bis Monate hinziehen. In dieser Zeit muss die Pflanze ihren Nährstoffbedarf durch vorhandene Bodenvorräte decken, die nur dann ausreichend vorhanden sind, wenn genügend Stickstoff aus dem bestehenden Nährstoffpool früherer Güllegaben mineralisiert werden kann.

Zum anderen kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Gesamtstickstoffgehalt der Gülle in vollem Umfang pflanzenverfügbar ist. Untersuchungen belegen, dass teilweise nicht einmal 40 Prozent des organisch gebundenen Stickstoffs im Anwendungsjahr mineralisiert und damit pflanzenverfügbar wird (Van Kessel and Reeves, 2002). Der minerali-

sche Stickstoffanteil liegt im Wesentlichen als Ammoniumstickstoff vor. Je nach Ausbringungs- und Lagerungstechnik sind auch hier 10-20 Prozent an gasförmigen Ammoniakverlusten einzukalkulieren. Im ersten Versuchsjahr wurden vor dem Hintergrund einer möglichst hohen Stickstoffeffizienz 70 Prozent vom Gesamtstickstoffgehalt der Gärreste als Mineraldüngeräquivalent angesetzt.

Mit den neuen Erkenntnissen aus der zurückliegenden Anbauperioden und der Erkenntnisse der Landwirtschaftskammer Niedersachsen scheint diese Annahme die Düngewirkung der Gärreste zu überschätzen. Aus diesem Grund erfolgten in den Projektjahren 2011/2012 und 2012/2013 eine Umstellung der Düngungsstrategie und eine Neubewertung der Gärgülle. Der Stickstoffgehalt wurde daraufhin mit 60 % angerechnet, wie es in Anlage 3 der Düngeverordnung (DüV, 2006) vorgesehen ist.

Auch der Vergleich der N_{\min} -Werte im V- und O-Betrieb aus den Jahren 2011 und 2012 zeigt, dass die Werte zum Herbst 2011 der mit Gülle gedüngten Parzellen fast durchgehend über denen im Jahr 2012 liegen. Eine naheliegende Vermutung ist daher, dass später ausgebrachte Güllemengen (ab April) erst im folgenden Herbst nach der Ernte vollständig mineralisiert werden konnten und es somit zu einer Unterversorgung der Bestände während der Vegetation im Anbaujahr 2010/2011 kam. Besonders deutlich ist dies an den hohen N_{\min} -Werten nach Mais 2011 zu erkennen. In diesem Fall wurde die Gülle erst im Juni appliziert und konnte aufgrund fehlender Niederschläge erst nach der Silomais-ernte mineralisiert werden.

Erntejahr 2012

In Braunschweig konnten alle geplanten Maßnahmen auf der Versuchsfläche planmäßig ausgeführt werden. Trotz der extremen Kälteperiode mit Temperaturen unter -20 Grad Celsius in den ersten Februarwochen 2012 überstanden alle Kulturen den Winter ohne größere Schäden. Die Erträge von Winterweizen und Wintergerste lagen nur leicht unter denen im letzten Jahr. Im Gegensatz zur Ernte 2011, in dem der M-Betrieb bei den Getreideerträgen deutlich besser abschnitt als die Betriebe V und O, konnten die Ertragsdifferenzen zwischen den Betrieben nahezu beseitigt werden.

Dies ist vermutlich auf die Umstellung der Düngungsstrategie in den Betrieben V und O zurückzuführen. Mit diesen Erkenntnissen wurde die Düngungsstrategie aus dem Vorjahr angepasst. Im ersten Projektjahr wurde der O-Betrieb überwiegend mit Gärgülle versorgt

und im V und O Betrieb auf eine frühe Mineraldüngung zum Vegetationsbeginn verzichtet. Nach der Überarbeitung wurden im Erntejahr 2012 die applizierten Güllemengen neu verteilt und fehlende Nährstoffe frühzeitig durch Mineraldünger ergänzt. Der Grund dafür ist die träge Nährstofffreisetzung der Gülle unter kalten und trockenen Bedingungen. Gerade in der frühen Vegetationsphase nach dem Winter kann eine Unterversorgung der Bestände mit Stickstoff zu Ertragseinbußen führen.

Darüber hinaus ist auch die Ertragsentwicklung der Ackerbohnen nach der Winterbegrü- nung mit dem Zwischenfruchtgemenge „TerraLife-Rigol“ hervorzuheben. Durch die Aus- saat von Zwischenfrüchten mit unterschiedlichen Durchwurzelungstiefen konnte die Bo- denstruktur verbessert und auf die Anwendung eines Totalherbizides im Herbst verzichtet werden. Nachdem die Fläche während der Frostphase im Februar gemulcht und die Ackerbohnen bei erster Befahrbarkeit der Fläche im März ausgesät wurden, etablierte sich ein dichter und kräftiger Bestand. Gefördert durch ausreichend Niederschläge und einen geringen Schädlingsdruck während der Vegetationsphase konnten die bereits ho- hen Erträge aus der Ernte 2011 nochmals übertroffen werden. Ein negativer Aspekt des äußerst vitalen Ackerbohnenbestandes ist die auch 2012 späte Abreife, die analog zum vorherigen Versuchsjahr eine Sikkation zwingend erforderlich machte, um die rechtzeitige Aussaat der Folgekultur gewährleisten zu können.

Erntejahr 2013

Am Versuchsstandort Braunschweig konnten alle Kulturen im Herbst 2012 termingerecht und unter guten Aussaatbedingungen etabliert werden. Zum Vegetationsende im Herbst hatten alle Bestände bis auf den Grünroggen im O-Betrieb die gewünschten Entwick- lungsstadien erreicht. Beim Grünroggen in der Direktsaatvariante trat ein unerwartet starker Befall mit Schnecken auf, sodass bereits die keimenden Saatkörner massiv ge- schädigt wurden und es zu flächendeckenden Lücken im Bestand kam. Trotz erneuter Aussaat traten daher erhebliche Fehlstellen in den genannten Grünroggenbeständen im O-Betrieb auf. In der Variante mit Bodenbearbeitung im V-Betrieb waren diese Probleme nicht vorhanden.

Bedingt durch den lang andauernden Winter 2012/2013 und den um ca. vier Wochen verzögerten Vegetationsstart im Frühjahr 2013 konnte sich der Grünroggen auf allen Par- zellen dennoch nicht so entwickeln, dass sich eine Ernte gelohnt hätte. Zugunsten einer

termingerechten Maisaussaat wurde daher auf die Grünroggenernte verzichtet. Da die im Roggen bereits ausgebrachten Nährstoffe aus der Gärgülle somit theoretisch auf der Fläche verblieben, wurden diese in der Düngungsbilanz des folgenden Silomaises angerechnet. Damit wurde im Mais außer einer Unterfußdüngung zur Aussaat keine weiteren Nährstoffe mehr ausgebracht. In Folge dieser Strategie zeigte der Mais ab dem Beginn der Schossphase mit deutlich sichtbaren N-Mangelsymptomen, dieser N-Mangel schlug sich auch im geernteten Feldertrag nieder. Die extrem hohen Niederschläge im Mai und damit verbundene Nährstoffverlagerungen in untere Bodenschichten haben mit großer Wahrscheinlichkeit auch einen Einfluss auf die geringen Maiserträge zur Ernte 2013.

Eine weitere Besonderheit im Versuchsjahr 2012/2013 war eine starke Zunahme der Mäusepopulationen. Aus diesem Grund erfolgte eine intensive Mäusebekämpfung. Somit wurden die Parzellen in wöchentlichen Abständen auf den Befehl von Schadnagern kontrolliert und bei Bedarf Köder mittels einer Legeflinte ausgebracht. Dadurch konnte die Population erfolgreich zurückgedrängt und nennenswerte Einflüsse auf das Wachstum der Kulturpflanzen verhindert werden. Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht wäre eine solch intensive Mäusebekämpfung auf einem Praxisbetrieb nicht möglich. Anders als in der Praxis ist jedoch davon auszugehen, dass auf den verhältnismäßig kleinen Versuchspartellen eine erhöhte Zuwanderung von Schadnagern aus den umliegenden Grünstreifen und Feldrändern besteht.

Neben diesen außergewöhnlichen Beobachtungen verlief das Wachstum der Kulturen wie erwartet ab. Als Erfolg kann verzeichnet werden, dass sich die Erträge der Vergleichskulturen in allen Betrieben auf einen ähnlichen Ertragsniveau bewegten. Einzig der Winterweizen nach Vorfrucht Winterrap in O lag im Ertrag rund 10 Dezitonnen je Hektar unter dem der vergleichbaren Kultur im M-Betrieb. Damit ist es auch im dritten Projektjahr mit Ausnahme des Grünroggens gelungen, die Direktsaat am Standort erfolgreich zu etablieren. Dennoch zeigt sich an der beschriebenen Schneckenproblematik, dass sich die einzelnen Anbausysteme zunehmend differenzieren.

Soest

Erntejahr 2011

Auch am Standort Soest mussten im ersten Versuchsjahr einige Abweichungen von den geplanten Fruchtfolgen der Vergleichsbetriebe vorgenommen werden. Aufgrund des spä-

ten Projektstarts am 01. 10. 2010 konnte der Winterraps nicht mehr ausgesät werden. Anstelle dessen wurden auf diesen Parzellen im Februar 2011 Ackerbohnen gedreht. Die Ertragsmessungen zeigen, dass es nur geringe Unterschiede der jeweiligen Kulturen zwischen den Betrieben und Versuchspartzen gab. Dies ist durch eine noch fast einheitliche Bestellung der Kulturen zu begründen. Diese war im Anbaujahr 2010/2011 noch nicht planmäßig, da die Direktsaatmaschine (Cross Slot) zum Zeitpunkt der Saat noch nicht einsatzbereit war.

Die N_{\min} -Beprobung und Grundnährstoffanalyse des Bodens wurde im Projektzeitraum planmäßig durchgeführt. Die relativ hohen N_{\min} -Werte im Frühjahr 2011 sind durch eine Nachbeprobung bestätigt worden. Auf Nachfrage bei der LUFA wurde der Region Soester Börde für den genannten Zeitraum ein generell hohes N_{\min} -Niveau bestätigt. Die Heterogenität der N_{\min} -Werte aus dem Herbst 2011 ist durch verschiedene Gegebenheiten zu erklären. Die Werte auf den Flächen des Betriebs O sind mit einer applizierten Unterfußdüngung mit einem mineralischen Mehrnährstoffdünger zur Aussaat der Kulturen zu erklären. Auf der W-Weizenparzelle im V-Betrieb hingegen, gab es im Frühjahr 2011 eine fehlerhafte Düngung, so dass es zu einer Überversorgung der Fläche mit Stickstoff kam. Der Effekt ist in den Herbstanalysen noch deutlicher zu erkennen. Auf der Parzelle mit Ackerbohnen im M-Betrieb kann die legume N-Fixierung der Ackerbohne für die hohen N_{\min} -Werte verantwortlich gemacht werden.

Die Akkumulation des Phosphors im Oberboden auf den Flächen des O-Betriebes ist durch die Vorgeschichte des Schlages zu erklären. Die Fläche wurde langjährig in konservierender Bodenbearbeitung geführt. Auf eine wendende Bodenbearbeitung wurde dabei komplett verzichtet. Auf der anderen Versuchsfläche, auf der die Betriebe M und V etabliert sind, wurde hingegen der Pflug eingesetzt, der für eine Homogenisierung des Oberbodens sorgte. Dieses ist auch bei der Verteilung von Kalium innerhalb der drei Bodenschichten der Fall und auf die unterschiedlichen Bodenbearbeitungen zurückzuführen.

Erntejahr 2012

Am Standort Soest konnten im Anbaujahr 2011/2012 alle Maßnahmen wie geplant für alle Kulturen durchgeführt werden. Trotz der extrem niedrigen Temperaturen im Februar 2012 mit zum Teil Werten im zweistelligen Minusbereich wurde auf allen drei Betriebsformen keine Auswinterungsschäden festgestellt. Generell lagen die Erträge der Ernte-

parzellen auf einem hohen Niveau. Hervorzuheben sind die tendenziell höheren Erträge im O- gegenüber dem M- und dem V-Betrieb. Eine mögliche Erklärung für diesen Sachverhalt kann in der Unterfußdüngung gesehen werden, die zu allen Winterungen im O-Betrieb durchgeführt wurde. Im M- und im V-Betrieb erfolgte diese Maßnahme nicht. Ein weiterer Grund für die Mehrerträge im O-Betrieb ist die verbesserte Vorfruchtsituation durch die erweiterte Fruchtfolge. Im Bereich der Maiserträge schnitt der O- gegenüber dem V-Betrieb mit bis zu 46 % Ertragseinbußen im TM-Ertrag allerdings erheblich schlechter ab. Begründet ist dies mit technischen Problemen der Cross Slot während der Aussaat und somit unbefriedigenden Feldaufgängen, sowohl in der Höhe als auch der Verteilung im Feld. Im Bereich des Nährstoffmanagements gab es zwischen den beiden Versuchstandorten Braunschweig und Soest geringe Unterschiede. Während am Standort Braunschweig eine Herbst- und Frühjahrsbegüllung der Flächen vorgenommen wurde, wurde in Soest aus Gründen der Emissionsminderung und Erhöhung der Nährstoffeffizienz auf eine Herbstgabe verzichtet und die gesamte Menge an Gärresten im Frühjahr ausgebracht. Möglich ist dies durch die Bemessung der Güllelagerkapazitäten der Modellbetriebe für 9 Monate. In Verbindung der frühen Gärrestapplikation in stehende Bestände zum Zeitpunkt niedriger Temperaturen und geringer Sonneneinstrahlung konnte eine möglichst emissionsarme Ausbringung der organischen Düngemittel erfolgen. Lediglich die Gärrestausrückführung zum Mais kann noch nicht als optimal angesehen werden, da die Gärreste nach der Maisaussaat ausgebracht wurden und somit während eines langen Zeitraums ohne Einarbeitung auf der Ackeroberfläche liegen. Hinsichtlich der Pflanzenschutzintensität konnten bis zum Ende des zweiten Versuchsjahres zwischen den drei Beispielbetrieben keine Unterschiede in Bezug auf Bodenbearbeitung und Fruchtfolgegestaltung festgestellt werden. Allerdings erfolgte eine Anpassung des Herbizideinsatzes dahingehend, dass im O-Betrieb vorrangig auf blattaktive Wirkstoffe zurückgegriffen wurde, um den zum Teil hohen Mulchauflagen in diesem Betrieb gerecht zu werden.

Erntejahr 2013

Am Standort Soest konnten im Herbst 2012 alle Kulturen erfolgreich etabliert werden. Infolge erheblichen Schneckendrucks musste allerdings eine Grünroggenparzelle im O-Betrieb erneut bestellt werden, da ein erheblicher Besatz an Schnecken zu einem Totalausfall des Bestandes führte. Zudem nahm der Besatz an Mäusen im Jahr 2013 auf den

Direktsaatflächen weiter zu und kann bislang lediglich durch ein intensives Bekämpfungsmanagement in Form von Köderstellen zwischen den Parzellen und der Bekämpfung mittels Legeflinten, an einem erheblichen Anstieg gehindert werden. Wie auch am Standort Braunschweig konnten sich in Soest die Grünroggenbestände im Frühjahr 2013 nicht zufriedenstellend entwickeln um eine Ernte der Bestände rechtfertigen zu können. Der Aufwuchs wurde mit einem Totalherbizid behandelt und nach dem Absterben der Pflanzen mit einem Schlegelmulcher mechanisch zerkleinert. Somit konnte die Maisaussaat zu einem für diese Kultur günstigen Zeitpunkt erfolgen. Auf Grund schlechter Erfahrungen für diesen Saatvorgang mit der Cross Slot-Technik kam 2013 eine direktsaattaugliche Einzelkorntechnik mit 75 cm Reihenabstand zum Einsatz. Die Aussaat mit dieser Technik erfolgte zufriedenstellend. Mangels Bodenbearbeitung im O-Betrieb und somit geringerer Mineralisation gegenüber dem V-Betrieb etablierten sich allerdings keine ertragsstarken Maisbestände auf den Direktsaatflächen. Verschärft wurde das Problem dadurch, dass der zum Grünroggen gedüngte Stickstoff auf Grund der Nichtbeerntung des Getreides dem Mais voll angerechnet wurde und dieser lediglich eine Unterfußdüngung in Form von 2 dt/ha DAP ohne weitere Düngergaben erhielt. Die Kombination aus mangelnder Bodenbearbeitung und knappen Stickstoffangebot führte zu einem erheblichen Ertragsnachteil der Direktsaatflächen gegenüber den Referenzbetrieben. Mit den übrigen Kulturen konnten hingegen im Jahr 2013 sehr hohe Naturalerträge realisiert werden. Das in den ersten beiden Versuchsjahren nicht differenzierte Unkrautauftreten der drei Vergleichsbetriebe setzte sich auch 2013 fort. Ob und inwiefern sich im O-Betrieb eine Differenzierung zum M- bzw. V-Betrieb ergeben wird, muss in der zweiten Projektphase geklärt werden. Die Direktsaattechnik hat mittlerweile an beiden Versuchsstandorten einen hohen Status der Einsatzsicherheit erreicht und ermöglichte somit die erfolgreiche Etablierung der drei Betriebe. Diese befinden sich mittlerweile bereits am Anfang einer Stabilisierungsphase, mit deren Abschluss man von stabil laufenden und aussagekräftigen Betrieben sprechen und diese zur Ableitung für spezielle Handlungsempfehlungen nutzen kann. Der Boden im O-Betrieb hat gegenüber Projektbeginn eine höhere Tragfähigkeit erlangt und bietet in Verbindung mit organischen Auflagen der Vorfrüchte gute Voraussetzungen für den Einsatz der Cross Slot-Technik. Die Kombination aus aufgelockerter Fruchtfolge, angepasstem Düngemanagement und Direktsaattechnik hat bislang am Standort Soest dazu geführt, dass dieser Betrieb konkurrenzstarke und leistungsfähige Bestände erzielt.

2.3 Fazit Zentralexperiment

Die modellhafte Abbildung der drei Betriebstypen im Rahmen des Zentralexperiments lieferte die notwendige Datengrundlage für die Teilprojekte. Nach der Etablierung im ersten Jahr konnten im zweiten und dritten Jahr die Experimente plangemäß durchgeführt werden, so dass den Teilprojekten konkrete Daten für ihre Auswertungen zur Verfügung standen. Aufgrund der Ertragsergebnisse mussten während der Projektdurchführung Anpassungen vorgenommen werden. Auf den Großparzellen der Modellbetriebe wurden bisher im V- und O- Betrieb die Gärreste möglichst optimal eingesetzt. Entsprechend der Empfehlungen der Landwirtschaftskammer NRW wurde der kulturartspezifische N-Ergänzungsbedarf unter Berücksichtigung der Bodenvorräte (N_{\min}), der Vorfrucht, des N-Mobilisierungspotentials und der Bodenart ermittelt. Zur Deckung dieses Bedarfs werden kurz vor Vegetationsbeginn zu Winterungen, Grünroggen und GPS-Roggen Gärreste im Umfang von ca. 130-150 kg/ha Gesamt-N ausgebracht. Hiervon wurden zunächst 70 % ab 2012 60 % als pflanzenverfügbare Anteil angerechnet. Der restliche Bedarf wurde mineralisch ergänzt. Analog erfolgte der Gärresteinsatz in den Sommerungen mit Ausnahme der Ackerbohnen. Die Anrechenbarkeit der organischen Dünger im V- und O-Betrieb war zunächst zu hoch angesetzt und wurde aufgrund der Beobachtungen in den Versuchsflächen reduziert. Damit wurde bei den meisten Fruchtarten (Ausnahme Mais im O-Betrieb) eine Angleichung der Erträge zum Modellbetrieb mit rein mineralischen Düngung (M-Betrieb) erreicht. Diese grundsätzliche Herangehensweise hat sich bewährt - wie die bisher erzielten Erträge zeigen. Allerdings werfen die Ergebnisse Fragen zu Details der Gärrestdüngung auf. Nach der ersten Projektphase wird folgender Optimierungsbedarf erkannt:

1. Über die Anrechenbarkeit der durch die Körnerleguminosen fixierten N-Mengen in den nachfolgenden Früchten besteht noch Unsicherheit.
2. Unklarheit besteht auch über die Wirksamkeit der Düngung mit Gärresten bei durchgängiger Direktsaat (O-Betrieb) im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (V-Betrieb). Alternativ bieten die modernen Verfahren der Strip till-Technik in Verbindung mit einer Unterflur-Gärrestapplikation Möglichkeiten zur Verbesserung der Nährstoffeffizienz beim Einsatz von Gärresten in Reihenkulturen wie Mais.

3. Aufgrund der fehlenden Möglichkeit zur Einarbeitung (Direktsaat) einerseits und den im Vergleich zu anderen Kulturen meist höheren Temperaturen bei der Ausbringung andererseits ist die Gärrestdüngung zum Mais im O-Betrieb mit potentiell besonders hohen gasförmigen N-Verlusten verbunden. Andererseits kann gerade der Mais durch sein intensives Wachstum in den Sommermonaten den aus dem organischen Anteil der Gärreste mineralisierten Stickstoff besonders gut verwerten.

3 Teilprojekt Ertragsmodellierung und Risikominimierung

3.1 Material und Methoden

Die Ertragsmodellierung erfolgte mit Hilfe der Ergebnisse der Feldversuche an den Standorten Braunschweig (52°12'N, 10°35'E; 80 m NN) und Soest (51°34'N, 08°00'E; 80 m NN). Als Grundlage für die Ertragsmodellierung wird das Modell APSIM in der Version 7.4 verwendet (Keating et al. 2003; McCown et al. 1996). APSIM stellt bereits eine breite Basis an vorgefertigten Pflanzenmodulen bereit. Jedes einzelne dieser Module enthält eine detaillierte mathematische Beschreibung wesentlicher physiologischer Wachstumsprozesse der betrachteten Kultur. Abhängig von Wetter, Boden und Managementmaßnahmen wird daraus das tägliche Pflanzenwachstum berechnet. Alle Berechnungen basieren auf denselben physiologischen Grundprinzipien, die in einer zentralen Programmmatrix (Generic Crop Model Template) von APSIM enthalten sind. In diese können einzelne Pflanzenmodule im XML-Format eingelesen werden, welche spezifische Grenzwerte und Ausprägungen von Wachstumsgleichungen enthalten (Wang et al. 2003).

Das Pflanzenwachstum ist in zehn Stage Codes eingeteilt, die sich an der BBCH-Skala orientieren. Zum Erreichen der nächsten Wachstumsstufe wird eine kultur- bzw. sortenspezifische Temperatursumme berechnet. Je nach Stadium wird die täglich gebildete Biomasse pflanzenspezifisch in Form von prozentualen Trockenmasseanteilen auf sechs verschiedene Pflanzenorgane (Wurzel, Blätter, Stamm, Fruchtschale, Mehl- und Ölgehalt) aufgeteilt. Zur Berechnung der Biomassebildung ermittelt APSIM den täglichen Zuwachs sowohl in Abhängigkeit des Wasserangebotes, als auch der vorhandenen Globalstrahlung. Der geringere Wert aus beiden Berechnungen entspricht der täglichen Trockenmassebildung. Über die Parameter RUE (Radiation Use Efficiency) und TE (Transpiration Efficiency) können für jede Kultur unterschiedliche Biomassebildungs- und somit Ertragspotentiale definiert werden (Hammer et al. 2010). Darüber hinaus lässt sich der Feldertrag durch zusätzliche Einschränkungen bei der Kornfüllungsrate, der Korngröße, der Pflanzenhöhe und des HI (Harvest Index) beeinflussen.

Neben diesen Hauptfunktionen enthält APSIM eine Reihe von Stressfaktoren, durch die das theoretische Wachstumspotential reduziert wird (Asseng et al. 2004). Somit kann eine mangelnde Wasser- oder Stickstoffversorgung zu einer verlangsamten Entwicklung und im Extremfall zum Absterben einer Pflanze führen. Auch hohe Temperaturschläge im

positiven und negativen Bereich haben je nach definierten Grenzwerten ähnliche Auswirkungen auf die Einzelpflanze.

Modellkalibrierung

Im folgenden Teil wird die Vorgehensweise bei der Kalibrierung des Modells APSIM für die einzelnen Kulturen aus den Anbausystemen beschrieben. Die entsprechenden Daten, mit denen das Modell kalibriert wurde, befinden sich im Anhang in Tab. 36 bis Tab. 39.

Boden und Wetter

Als eine der wesentlichen Ertragsgrundlagen berechnet APSIM den Wasser- und Nährstoffgehalt des Bodens anhand vorher definierter Bodeneigenschaften und Wetterdaten. Der Wasserhaushalt in APSIM wird über das SOILWAT-Modul erfasst (Douglas-Mankin et al. 2010; Keating et al. 2003), in dem das Bodenwasser über die Penman-Monteith Wasserhaushaltsgleichung berechnet wird. Die zur Berechnungen der Wasserhaushaltsgleichung erforderlichen Parameter lassen sich mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5) in der 5. Auflage (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005) aus vorhandenen Standortbeschreibungen und Bodenkarten ableiten. Für den Standort Braunschweig wurden zur Parametrisierung des Bodens die Angaben aus der BÜK 50 und für den Standort Soest die Ergebnisse einer detaillierten Standortanalyse der Fachhochschule Südwestfalen (Cramer 2006) verwendet. Diese Daten konnten darüber hinaus durch eigene Untersuchungen ergänzt werden.

Die Wetterdaten konnten für den Zeitraum zwischen 2011 und 2013 von den eigenen Wetterstationen übernommen werden. Die Daten der betrachteten Klimaszenarien stammen aus der Datenbank des DWD (DWD 2013b; DWD 2013c).

Getreide und Mais

Zur Sortenkalibrierung der angebauten Getreidekulturen in den Ackerbausystemen wurden zunächst die Koeffizienten für die Sensitivitäten der Vernalisation (P1V) und Photoperiode (P1D) angepasst (nicht erforderlich bei Mais). Beide Faktoren haben einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklungsdauer von der Aussaat bis zur Blüte und auf die Blütedauer (Lazar und Lazar 2010; OrtizFerrara et al. 1995; White et al. 2008). P1V liegt zwischen 0 und 9, wobei der Wert von Sommerkulturen (kurze Vernalisationsphase) zu Win-

terkulturen (langer Vernalisationsphase) ansteigt (Ghaffari et al. 2002). P1D liegt zwischen 0 und 5 und ist bei Winterweizen etwas höher als bei Sommerweizen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Weiss et al. (2003) wurden eigene Datenerhebungen ausgewertet und ein P1V von 6,5 sowie ein P1D von 3,5 festgelegt. Ergänzend wurden in wöchentlichen Abständen die Wachstumsstadien nach BBCH-Richtlinien (Meier 2001) erfasst und daraus die erforderlichen Temperatursummen zum Erreichen der Stage Codes im Modell abgeleitet.

Anhand von Quadratmeterernten wurden die Trockenmasseerträge von Korn und Stroh bestimmt und daraus die RUE der gesamt produzierten Biomasse berechnet. Beim Silomais wurde die notwendige Gesamtbiomasse durch die Ernte ganze Pflanzen in einzelnen Reihen über die komplette Parzellenlänge ermittelt. Als Summe der eintreffenden Strahlung wurde die PAR (Photosynthetic Active Radiation) vom Vegetationsbeginn im Frühjahr bis zum Erreichen von BBCH 85 verwendet. Nach Kiniry et al. (2004) entspricht die PAR etwa 45% der gesamt eintreffenden Globalstrahlung.

Mit der beschriebenen Kalibrierung wurden Ertragssimulationen für alle Versuchspartellen in den Erntejahren 2011 und 2012 erstellt. Der Boden konnte mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005) aus den in Tab. 1 und Tab. 2 beschriebenen Standortdaten kalibriert werden. Die Managementmaßnahmen zur Bestandsführung stammen aus der projektbegleitenden Schlagkartei und die Wetterdaten von den Stationen der jeweiligen Versuchsstandorte.

Winterraps und Ackerbohne

Die Modellkalibrierung für die Kulturen Winterraps und Ackerbohne orientiert sich im Wesentlichen an der Kalibrierung des Wintergetreides. Im Unterschied zum Getreide werden bei den betrachteten Blattfrüchten jedoch keine Koeffizienten zur Beschreibung der Vernalisationsphase benötigt. Als Ersatz dafür besitzen die Pflanzenmodule für Winterraps und Ackerbohne funktionale Beziehungen für eine maximale Wachstumsrate in Abhängigkeit der täglichen Dauer der Photoperiode und deren Reduzierung in Folge von Stressfaktoren. Die entsprechenden Parameter im Modell sind mit den Variablen „hi-incr“ (potentielle Wachstumsrate zur Bildung des Harvest-Index) und „hi_max_pot_stress“ (Limitierung des Harvest-Index durch Wachstumsstress) gekennzeichnet. Durch Bestimmung der maximalen Biomasseaufwüchse und der Ertragserfassung auf den Versuchspartellen

konnten beide Faktoren entsprechend an das Ertragspotential der angebauten Kulturen angepasst werden.

Modellvalidierung und Klimamodellierung

Zur Modellvalidierung wurden mit der oben beschriebenen Kalibrierung eine Reihe von empirischen Ertragsdaten aus den Erntejahren zwischen 2003 und 2012 von unterschiedlichen Standorten in Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen ausgewertet und die Erträge aus der Simulation in APSIM mit den realen Standortaufzeichnungen verglichen. Bei den Daten handelt es sich um Auszüge aus den Ackerschlagkarteien des Bundessortenamtes, der Fachhochschule Südwestfalen, des Julius Kühn-Institutes in Braunschweig, des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen, der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, des Versuchs- und Bildungszentrums Landwirtschaft Haus Düsse in Ostinghausen und des privaten Beratungsunternehmens Hanse Agro GmbH.

Die Ernteerträge der genannten Datensätze wurden je nach Verfügbarkeit mittels Parzellendrescher, Handernthe oder Fuhrwerkswaage exakt erfasst und dokumentiert. Darüber hinaus sind in allen Unterlagen die vollständigen Düngergaben inklusive Datum der Ausbringung, applizierte Menge und Düngerform dokumentiert. Bei den N_{\min} -Werten wurden in der Ertragssimulation die Angaben aus der Schlagkartei und bei fehlenden Informationen Pauschalwerte zwischen 30 und 40 kg/ha angenommen. Die für die Modellierung notwendigen Bodendaten konnten aus den vorhandenen Bodenkarten entnommen werden und wurden durch Zusatzinformationen aus den Schlagkarteien ergänzt. Die Wetterdaten stammen von Aufzeichnungen der nächstgelegenen Wetterstationen des DWD.

Die vorhandenen Ertragsdaten wurden mit den Ergebnissen der Ertragssimulationen in APSIM verglichen. Unter der Annahme, dass die modellierten Ergebnisse den gemessenen Felderträgen entsprechen, muss ein linearer Zusammenhang mit einer Steigung von 1 zwischen der abhängigen Variablen aus der Modellierung und der unabhängigen Variablen aus der Feldernte bestehen. Zur Überprüfung wurden für jede Kulturen jeweils eine lineare, eine logarithmische, eine quadratische und eine kubische Gleichungsform getestet und deren Bestimmtheitsmaße mit einem Signifikanzniveau von fünf Prozent berechnet.

Mit dem erfolgreich validierten Modell wurden im Anschluss Ertragssimulationen für zukünftige Klimaszenaren erstellt. Dazu sind alle angebauten Kulturen für die Jahre 1970 bis 2050 an den Standorten Braunschweig und Soest modelliert worden. In diesen Simulationen sind die zuvor parametrisierten Böden beibehalten und die vorhandenen Wetterdaten durch die Klimaszenarien CLM, STAR, REMO und WETTREG unter Annahme des Emissionsszenarios A1B des IPCC ersetzt worden. Ein Vergleich der Wetterdaten aus den Klimaszenarien und den dazugehörigen Wetteraufzeichnungen nahegelegener Wetterstationen zeigt, dass mitunter erhebliche Abweichungen zwischen den Datensätzen bestehen. Am dichtesten an den realen Messwerten liegt das Klimaszenario STAR. Die Szenarien REMO und CLM liegen bei den prognostizierten Niederschlagsmengen deutlich über den tatsächlichen Werten. Das Szenario WETTREG unterschätzt die Durchschnittstemperatur am Standort Braunschweig und die Niederschlagsmengen am Standort Soest. Aus diesem Grund werden nur im Ergebnisteil der Vollständigkeit halber die Ergebnisse der Ertragsmodellierung aller Klimaszenarien gezeigt. Die Schlussfolgerungen zum zukünftigen Anbaurisiko beziehen sich im Diskussionsteil dagegen ausschließlich auf das STAR Szenario. Die Richtwerte bei der Düngung wurden nach den Düngeempfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Niedersachsen, 2010) und der Landwirtschaftskammer NRW (LWK Nordrhein-Westfalen, 2010) unter der Erwartung einer vollen Ausschöpfung des regionalen Ertragspotentials der angebauten Kulturen berechnet. Aufgrund fehlender Kenntnisse über die Wirkung des Klimawandels und sonstiger Umweltparameter auf die Nährstofffreisetzung von organischen Düngemitteln wurden die theoretischen Nährstoffgehalte der Biogasgülle auf mineralischen Dünger umgerechnet.

Extremwetter

Zur Beschreibung des Anbaurisos in Folge extremer Wetterlagen wurden die Wetterdaten aus dem Klimaszenario „STAR-A1B“ anhand von definierten Schwellenwerten für Hitze- und Trockenstress analysiert. Nach Auswertung verschiedener Literaturquellen (Dörfler und Hüffmeier 1998; Geisler 1988; Lütke Entrup und Oehmichen 2006; Schönberger 2011) zeigt sich, dass die meisten Pflanzen ab einer Temperatur von etwa 30 Grad Celsius ihr Wachstum reduzieren. Es wird jedoch auch deutlich, dass diese Wachstumsschwelle keine allgemeingültige Größe darstellt. Kulturen wie der Silomais können unter Umständen auch bei höheren Temperaturen noch ihr volles Wachstumspotential

ausschöpfen. Auch Sortenunterschiede innerhalb derselben Kultur oder sonstige Umweltparameter besitzen einen Einfluss auf die tatsächliche Ausprägung der genannten Temperaturgrenze. Trotz der angesprochenen Unsicherheiten erscheint ein Schwellenwert „ S_{temp} “ von 30 Grad Celsius als geeignete Vergleichsbasis um eine potentielle Gefahr von Hitzestress für die einzelnen Kulturen in den Anbausystemen aufzuzeigen. Da eine kurzfristige Überschreitung dieses Grenzwertes an einem Tag nur einen geringen Einfluss auf den Gesamtertrag haben wird, wird angenommen, dass erst bei einer andauernden Hitzeperiode ein Risiko für beim Erreichen des potentiellen Ertragspotentials besteht. Unter Berücksichtigung die genannten Literaturquellen erscheint eine Hitzeperiode von mindestens 7 Tagen mit Temperaturen über 30 Grad Celsius ein geeigneter Maßstab zu sein.

Ein ähnlicher Schwellenwert kann auch für den Faktor Trockenstress definiert werden. Jede Kultur besitzt eine potentielle Wasserverdunstung, bei der sie einen spezifischen Maximalertrag ausbilden kann (Ehlers und Goss 2003; Roth et al. 2005). Reicht der Wasservorrat im Boden nicht aus, um diese Verdunstungsrate zu decken, steigt die Gefahr, dass eine Pflanze unter Trockenstress leidet. Dies ist dann der Fall, wenn der vorhandene Wasservorrat im Boden unter 30 Prozent der nutzbaren Feldkapazität fällt (Lüttger et al. 2005) und keine Nachlieferung durch den Niederschlag am Standort stattfindet. Unter Berücksichtigung der nutzbaren Feldkapazität der Böden an den jeweiligen Projektstandorten können damit kulturspezifische Schwellenwerte „ S_{rain} “ berechnet werden, die für einen Minimalniederschlag stehen, der zur Deckung der potentiellen Wasserverdunstung notwendig ist. Die errechneten Grenzwerte sind in Tab. 7 zusammenfassend dargestellt. Auch bei den Angaben des Parameters S_{rain} kann es zu sortenbedingten Abweichungen innerhalb der aufgeführten Kulturen kommen, sodass die abgebildeten Größen nur einen allgemeinen gültigen Anhaltspunkt darstellen.

Tab. 7: Schwellenwerte für Extremwetter der angebauten Kulturen

Kultur	S_{temp} ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$)	S_{rain} Braunschweig (nFK 30 % = 119 mm)	S_{rain} Soest (nFK 30 % = 147 mm)
Getreide	30 ° C	131 mm	103 mm
Raps	30 ° C	143 mm	115 mm
Ackerbohne	30 ° C	143 mm	115 mm
Mais	30 ° C	119 mm	91 mm

nFK 30 % = potentiell pflanzenverfügbares Bodenwasser bis zum Erreichen von 30 % nFK,
 T_{max} = maximale Tagestemperatur, S_{temp} und S_{rain} = Schwellenwerte für Hitze- und Trockenstress

3.2 Ergebnisse

Modellvalidierung

Die Ergebnisse der Modellvalidierung von APSIM mit den oben beschriebenen Datensätzen sind in Abb. 30 bis Abb. 36 graphisch dargestellt. Die statistischen Kennzahlen der errechneten Regressionsgeraden und die dazugehörigen Bestimmtheitsmaße sind in Tab. 8 in einer Zusammenfassung und in Tab. 40 detailliert abgebildet. Zusätzlich zur Berechnung der erwarteten linearen Regressionsgleichung wurden in Tab. 40 für jede Kultur auch eine logarithmische, quadratische und kubische Regressionsgleichung berechnet. Bei einem deutlichen Unterschied der Bestimmtheitsmaße dieser Gleichungen in Bezug auf die lineare Regressionsgleichung ist von einem grundlegenden Fehler der Ertragsmodellierung auszugehen. Wie die Ergebnisse zeigen, ist dies jedoch nicht der Fall. Bei allen Kulturen ergeben die alternativ getesteten Gleichungen keine nennenswerten Verbesserungen der Bestimmtheitsmaße, sodass im folgenden Teil von einem linearen Zusammenhang zwischen den modellierten und den real gemessenen Felderträgen ausgegangen werden kann. Die F-Werte und die dazugehörigen Irrtumswahrscheinlichkeiten deuten bei allen Kulturen auf einen signifikanten Zusammenhang hin.

Beim Winterweizen lagen mit 40 Validierungssätzen die meisten Daten zur Berechnung der Regressionsgeraden vor. Das Bestimmtheitsmaß liegt bei 0,913 und beschreibt damit eine hohe Genauigkeit der Ertragsmodellierung. Rund 91 Prozent des gemessenen Feldertrages können durch das Modell beschrieben werden. Bei der Wintergerste wurden 26 Datensätze ausgewertet. Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,803 ergibt sich ebenfalls eine hohe Aussagekraft der Modellergebnisse. Auch bei den übrigen Kulturen zeigt sich ein ähnliches Bild. Bei Grünroggen beträgt das Bestimmtheitsmaß 0,856, bei GPS-Roggen 0,866, bei Winterraps 0,836, bei Ackerbohnen 0,896 und bei Silomais 0,911. Die Anzahl der zur Validierung verwendeten Datensätze ist der Beschreibung der einzelnen Abbildungen zu entnehmen.

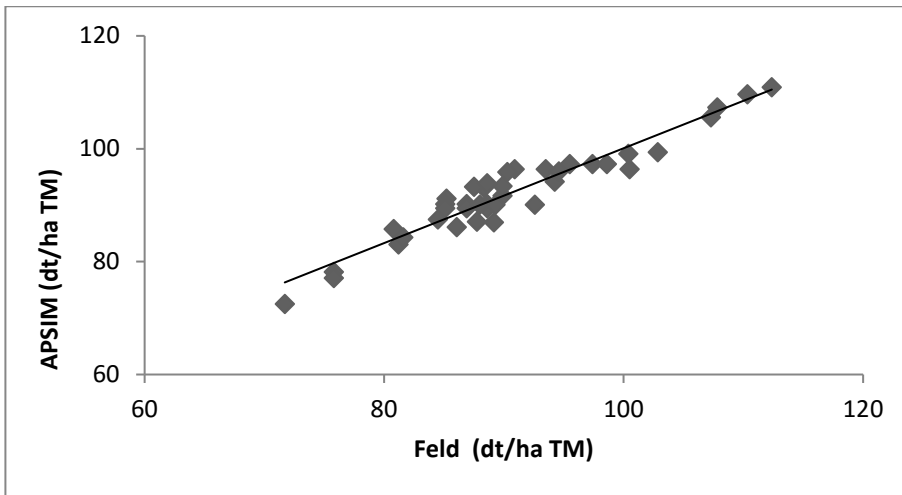


Abb. 30: Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Winterweizen (n=40)

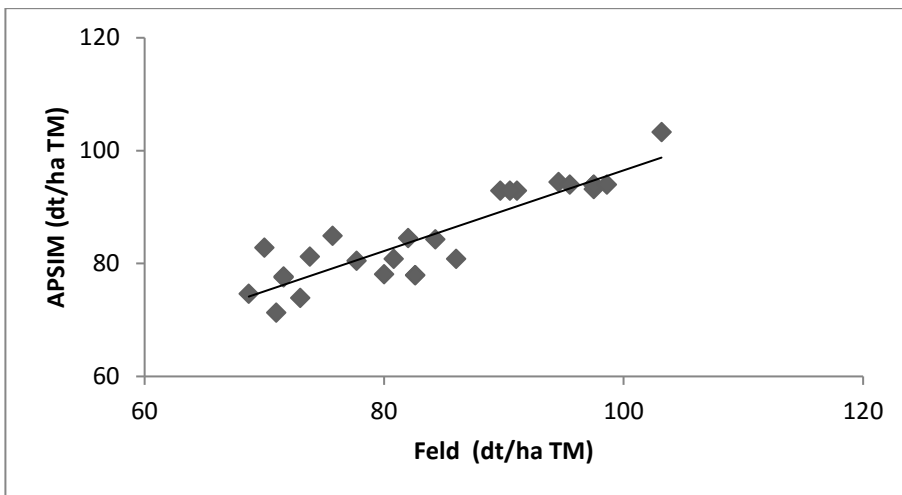


Abb. 31: Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Wintergerste (n=26)

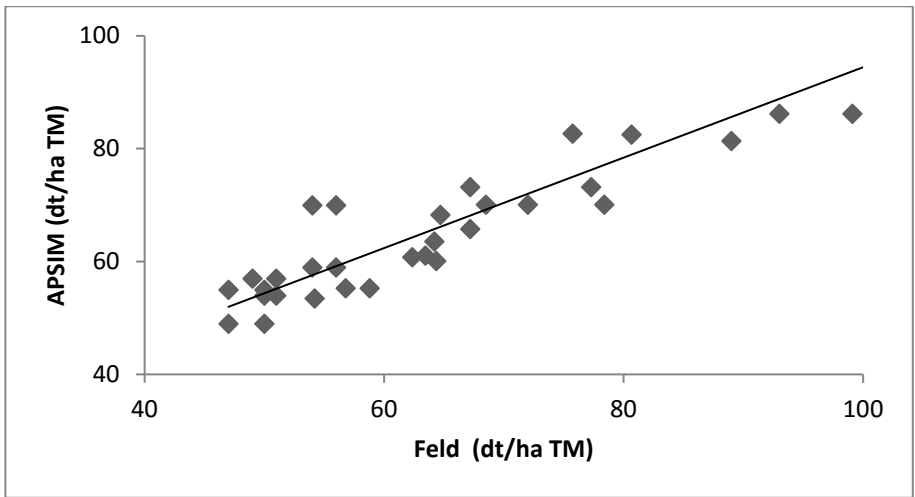


Abb. 32: Gegenüberstellung der Trockenmasseerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Grünroggen (n=33)

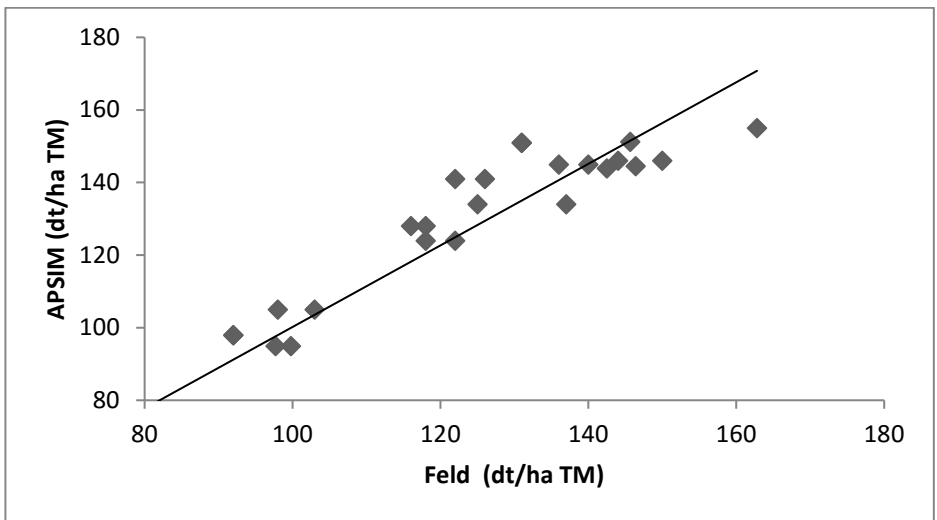


Abb. 33: Gegenüberstellung der Trockenmasseerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur GPS-Roggen (n=28)

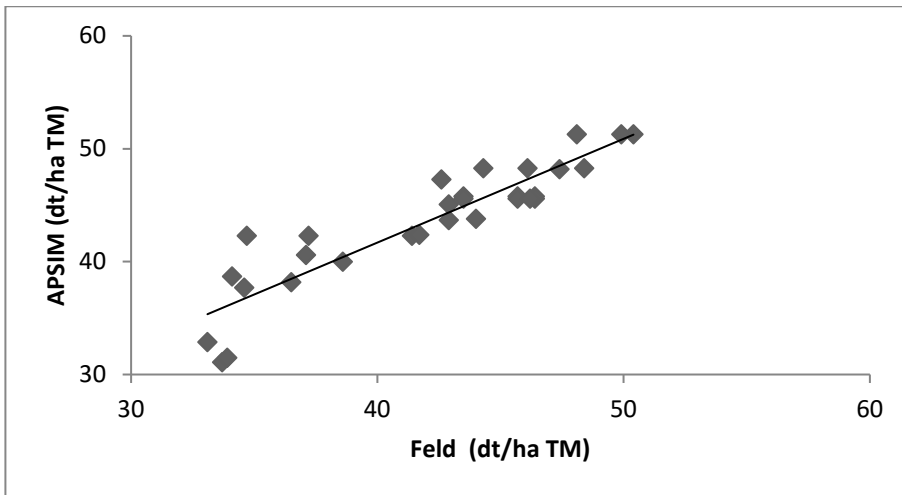


Abb. 34: Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Winterraps (n=30)

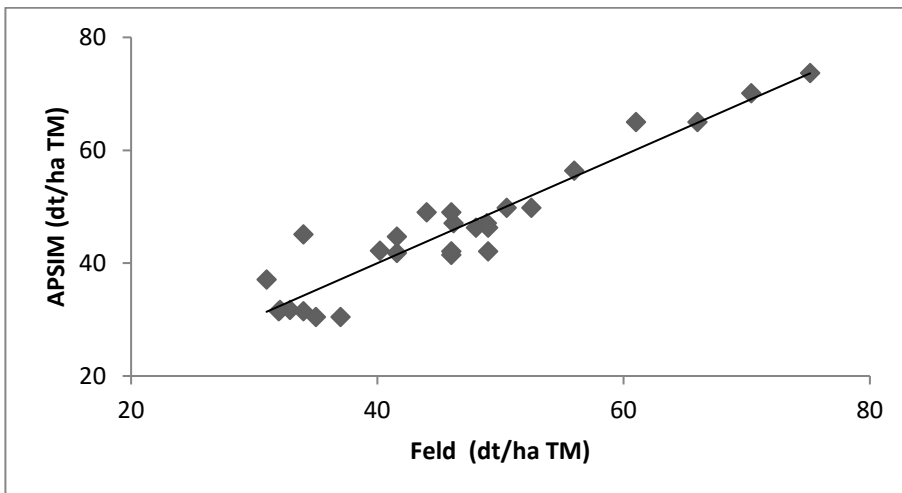


Abb. 35: Gegenüberstellung der Kornerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Ackerbohne (n=27)

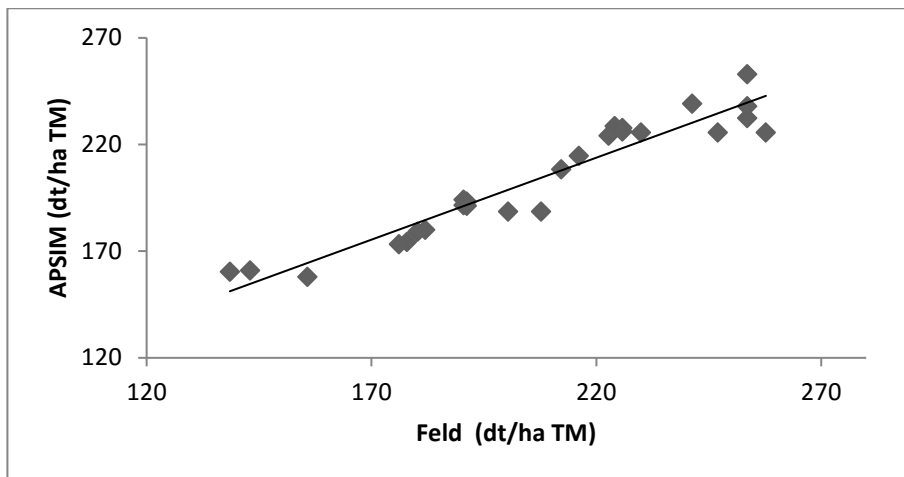


Abb. 36: Gegenüberstellung der Biomasseerträge aus empirischen Aufzeichnungen und der Modellierung in APSIM für die Kultur Silomais (n=26)

Tab. 8: Zusammenfassung statistischer Kennzahlen zur Modellvalidierung von APSIM

Kultur	Anzahl Datensätze	Steigung	Konstante	R ²	RMSE (dt/ha)
Winterweizen	40	0,841	15,881	0,913	3,1
Wintergerste	26	0,704	25,855	0,803	4,8
Grünroggen	33	0,801	14,335	0,856	6,2
GPS-Roggen	28	1,124	-12,192	0,866	11,42
Winterraps	30	0,923	4,791	0,836	2,7
Ackerbohne	27	0,951	2,025	0,896	3,9
Silomais	26	0,772	43,936	0,911	11,7

Tab. 8 zeigt passend zu den beschriebenen Abbildungen eine Zusammenfassung der wesentlichen Kennzahlen aus der Regressionsanalyse. Die gezeigten Ergebnisse stimmen mit den Angaben aus anderen Literaturquellen überein. Liu et al. (2012) konnten bei der Modellierung des Ertrags von Körnermais im Modell DSSAT CERES-Maize eine Wahrscheinlichkeit zwischen 81 und 85 Prozent erreichen. In weiteren Ertragsmodellierungen verschiedener Kulturen im Modell APSIM konnten Bestimmtheitsmaße zwischen 0,80 und 0,97 erzielt werden (Bassu et al. 2011; Turpin et al. 2003).

Ertragssimulationen Standort Braunschweig

Wie oben beschrieben, wurden die Ertragsentwicklungen aller Kulturen aus den betrachteten Anbausystemen unter Annahme verschiedener Klimaszenarien für die Standorte Braunschweig und Soest modelliert. Die Ertragsleistungen der einzelnen Kulturen unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG im Emissionsszenario A1B sind in Form eines gleitenden Durchschnittsertrags über einen 10-jährigen Zeitraum für den Standort Braunschweig im Anhang in Abb. 107 bis Abb. 113 abgebildet. Es zeigt sich ein genereller Trend bei allen Klimaszenarien, dass besonders spät abreifende Kulturen ein tendenziell sinkendes Ertragspotential besitzen. Dies betrifft vor allem die Ackerbohne und den Silomais. Demgegenüber bleibt das Ertragspotential früh abreifender Kulturen nahezu konstant oder legt leicht zu.

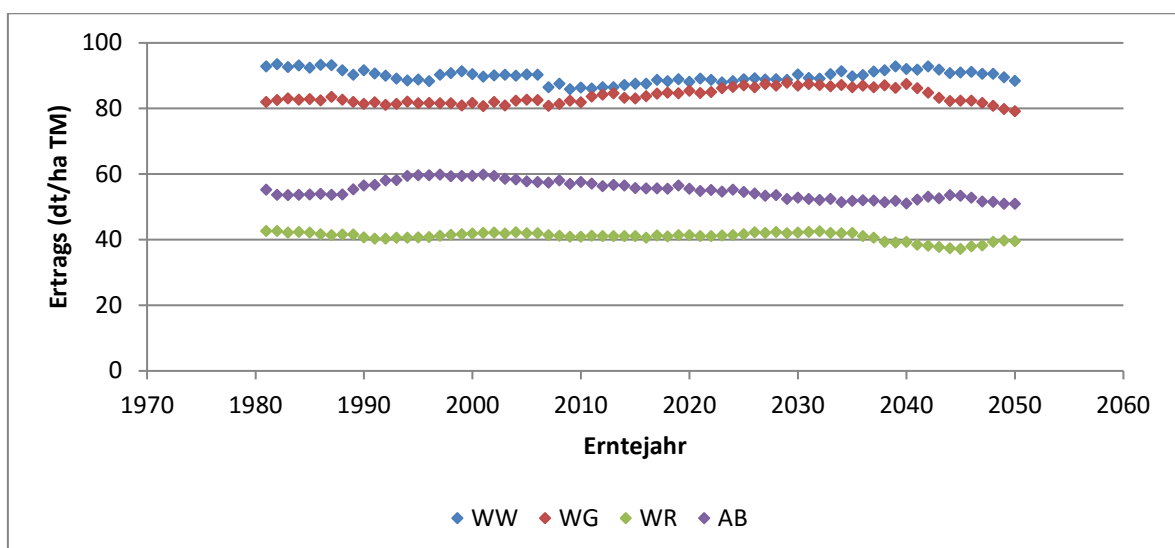


Abb. 37: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Ackerbohne am Standort Braunschweig unter Annahme des Klimaszenarios STAR-A1B

Ein Vergleich der Kornerträge der einzelnen Kulturen am Standort Braunschweig ist in Abb. 37 dargestellt. Aufgrund der genannten Unsicherheiten bei den Klimaszenarien REMO, CLM und WETTREG beziehen sich die Ertragsprognosen ausschließlich auf das Klimaszenario STAR-A1B. Wie die Darstellung zeigt, sind abgesehen von natürlichen Ertragschwankungen am Standort Braunschweig bei den Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Winterraps keine Ertragsveränderungen aufgrund klimatischer Veränderungen zu erwarten. Die Ackerbohne zeigt einen leicht sinkenden Trend des Ertragspotentials. Mit

einem zu erwartenden Durchschnittsertrag von rund 57 dt/ha Trockenmasse je Hektar zwischen 1981 und 2010 und rund 51 dt/ha Trockenmasse je Hektar im Jahr zwischen 2021 und 2050 wird das Ertragsniveau laut Modell um gut zehn Prozent sinken.

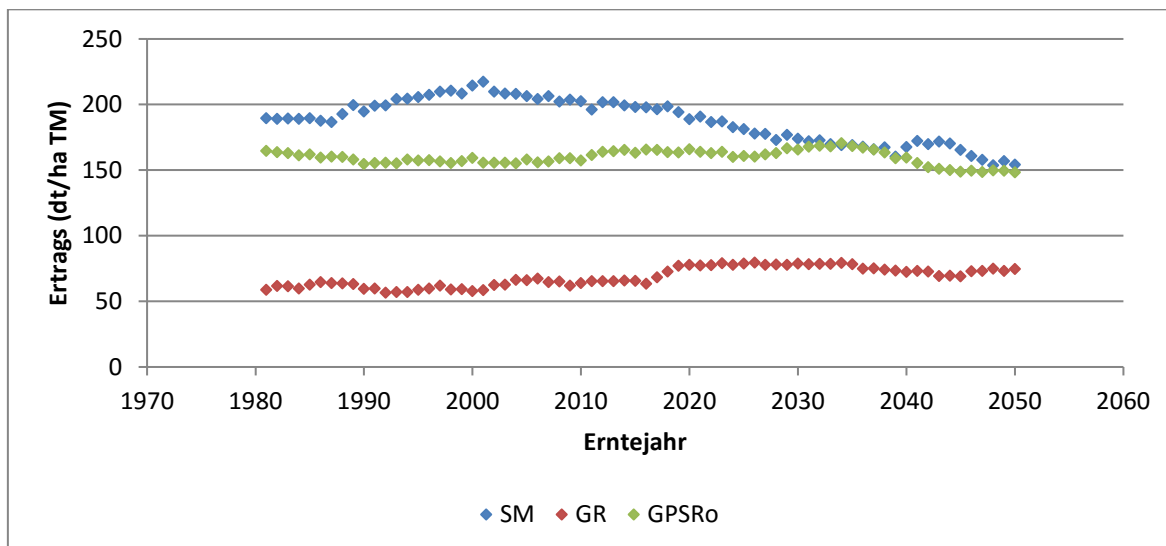


Abb. 38: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen am Standort Braunschweig unter Annahme des Klimaszenarios STAR-A1B

Analog zu den Kornerträgen aus Abb. 39 enthält Abb. 40 die Biomasseerträge von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen. Wie bereits erwähnt, sinkt der Durchschnittsertrag des spät abreifenden Silomais in Folge klimatischer Veränderungen. Im Vergleich der Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 beträgt dieser Abfall rund 24 Prozent. Dagegen verzeichnet der früh geerntete Grünroggen ein um 17 Prozent zunehmendes Ertragsniveau. Beim GPS-Roggen treten keine gravierenden Veränderungen auf.

Ertragssimulationen Standort Soest

In gleicher Weise wie für den Standort Braunschweig wurden auch für den Standort Soest die Ertragsleistungen der angebauten Kulturen unter Annahme verschiedener Klimaszenarien modelliert. Die Ergebnisse der Ertragsmodellierung mit den Szenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG im Emissionsszenario A1B sind in Form eines gleitenden Durchschnittsertrags über einen 10-jährigen Zeitraum im Anhang in Abb. 114 bis Abb. 120 dargestellt. Der generelle Trend entspricht dem des Standorts Braunschweig.

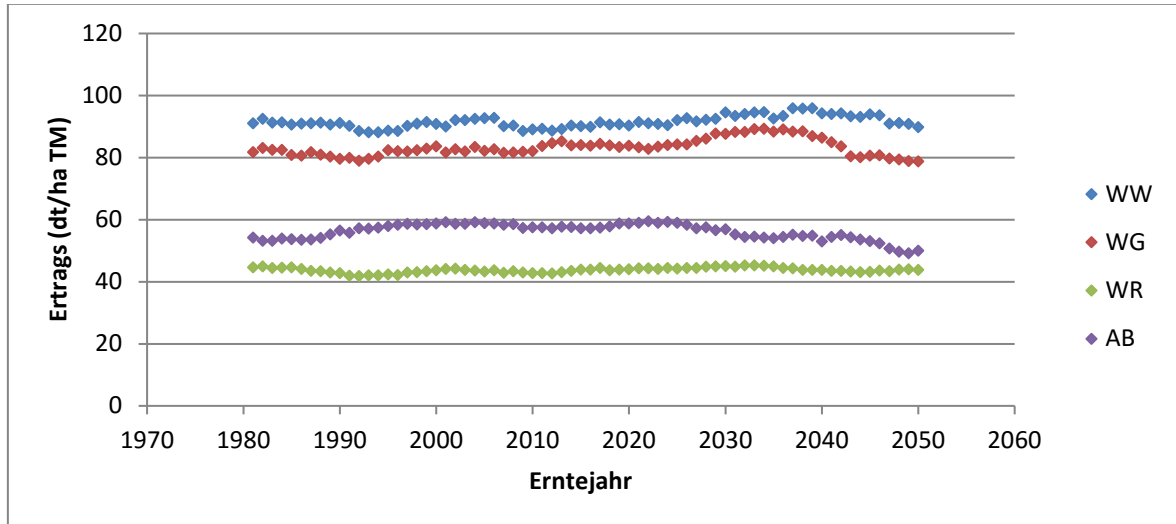


Abb. 39: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Ackerbohne am Standort Soest unter Annahme des Klimaszenarios STAR-A1B

Ergänzend zur Einzeldarstellung der Ertragspotentiale enthält Abb. 37 eine vergleichende Gegenüberstellung der Kornenerträge aller Druschfrüchte aus den Anbausystemen unter Annahme des Klimaszenarios STAR-A1B. In Soest liegt das Ertragspotential aller Kulturen leicht über dem aus Braunschweig. Ansonsten zeigt sich ein ähnliches Bild. Während die Durchschnittserträge der winterharten Kulturen nahezu konstant bleiben und beim Winterweizen minimal zulegen können, ist bei der Ackerbohne eine leicht fallende Tendenz zu beobachten. Verglichen mit der Anbauperiode 1981 bis 2010 liegt deren Ertragserwartung im Zeitraum 2021 bis 2050 rund 13 Prozent niedriger.

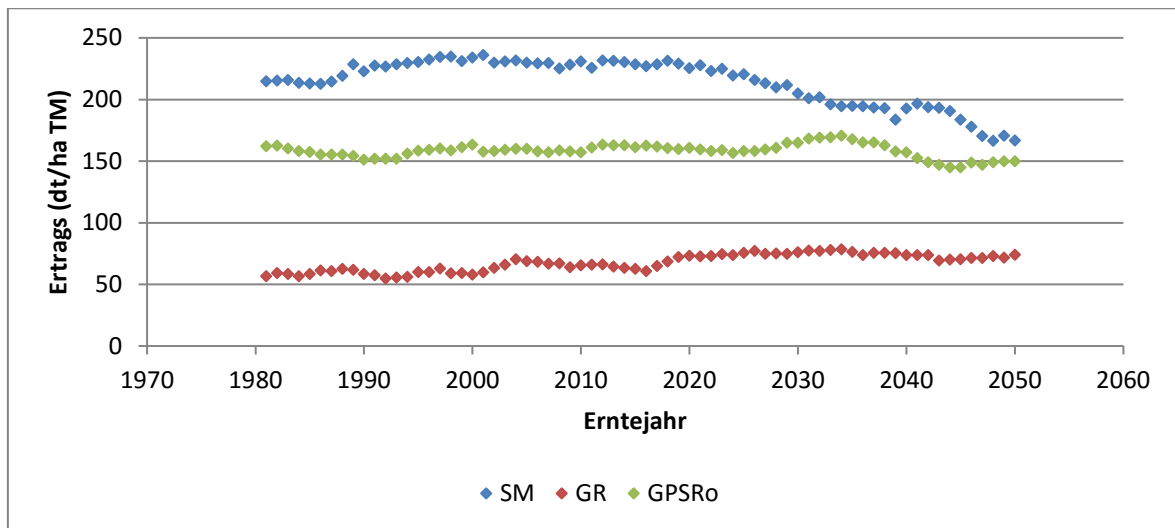


Abb. 40: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen am Standort Soest unter Annahme des Klimaszenarios STAR-A1B

Analog zu den Kornerträgen der Druschfrüchte zeigt Abb. 38 die Entwicklung der Biomasseerträge von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen. Auch am Standort Soest ist beim Silomais demnach mit fallenden Erträgen zu rechnen. Zwischen den Perioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 nimmt der Ertrag im STAR Szenario um rund 28 Prozent ab. Bei GPS-Roggen sind keine großen Veränderungen zu beobachten. Demgegenüber steigt der Durchschnittsertrag des Grünroggens im gleichen Zeitraum um knapp 5 Prozent an.

Risikominimierung

Neben den im vorangehenden Abschnitt dargestellten Veränderungen der zukünftigen Ertragserwartungen der einzelnen Kulturen, ist auch die Ertragsstabilität einer Kultur von Bedeutung. So könnte zum Beispiel der Fall eintreten, dass die durchschnittliche Ertragserwartung einer Kultur ansteigt, obwohl die Ertragsschwankungen zunehmen. Aus diesem Grund sind im folgenden Teil die Spannweiten der modellierten Ertragsprognosen in Form von Box-Plot-Diagrammen abgebildet. Die Box enthält in diesem Zusammenhang die mittleren 50 Prozent der nach Größe geordneten Ernteerträge aus der Modellierung. Die Fehlerbalken zeigen die maximalen Abweichungen nach oben und nach unten.

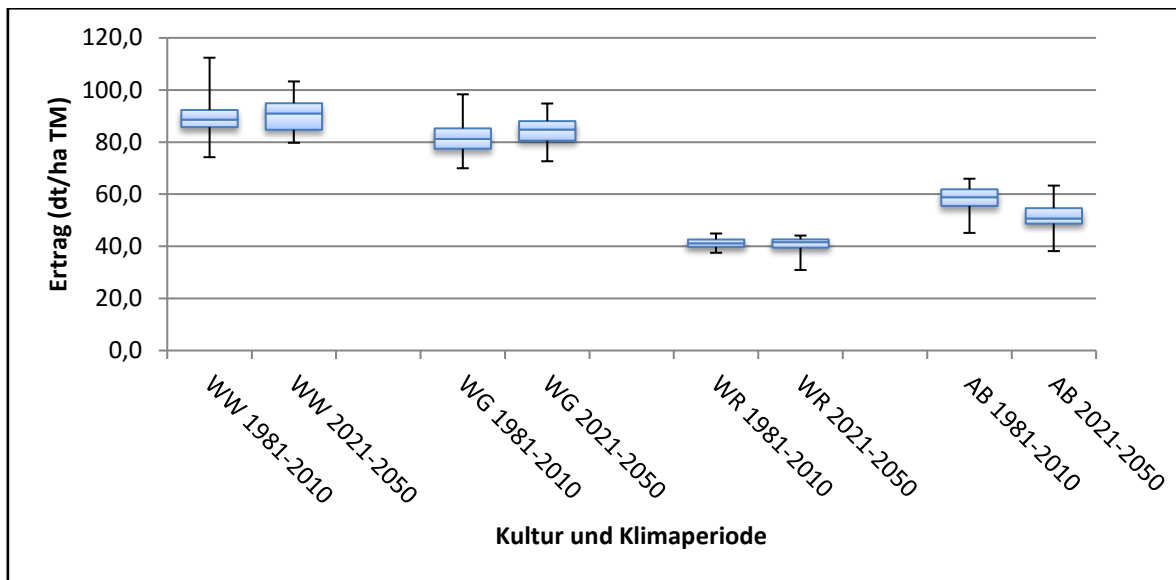


Abb. 41: Ertragsverteilung der Ernteerträge von Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Ackerbohne am Standort Braunschweig in den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050

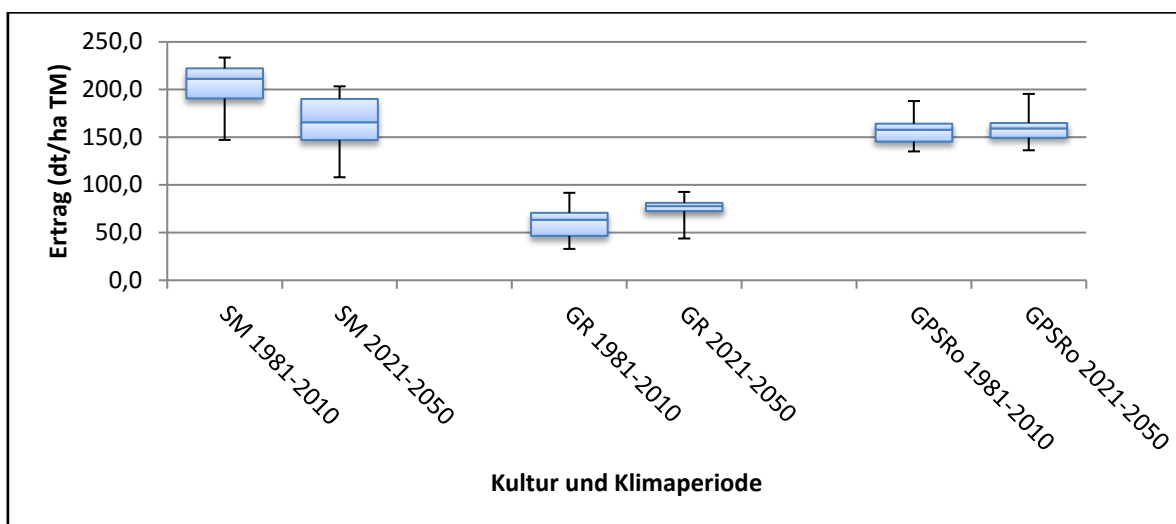


Abb. 42: Ertragsverteilung der Ernteerträge von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen am Standort Braunschweig in den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050

Abb. 41 und Abb. 42 zeigen die Spannweiten der modellierten Ernteerträge aller Kulturen aus den einzelnen Anbausystemen am Standort Braunschweig im Vergleich der Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050. Aus den Diagrammen geht hervor, dass sich die Streuung der Felderträge bei den Druschfrüchten zwischen den betrachteten Zeiträumen kaum verändern wird. Als einzige Ausnahme ist eine leichte Ausdehnung der Spannweite zwischen dem 25-Prozent-Quartil (Q25) und dem 75-Prozent-Quartil (Q75) beim Winter-

weizen zu beobachten. Die untere Grenze sinkt dabei um eine dt/ha auf rund 85 Dezitonnen je Hektar und die obere steigt um 5,6 dt/ha auf 94,9 dt/ha.

Bei den angebauten Energiepflanzen nimmt die Spannweite zwischen Q25 und Q75 zu, im Fall von Silomais zwischen der Periode 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 um rund 36 Prozent auf 43,1 dt/ha . Dies deutet auf eine abnehmende Ertragsstabilität dieser Kultur hin. Beim Grünroggen und GPS-Roggen dagegen liegen die Erträge in der zukünftigen Klimaperiode näher beieinander als in der vergangenen.

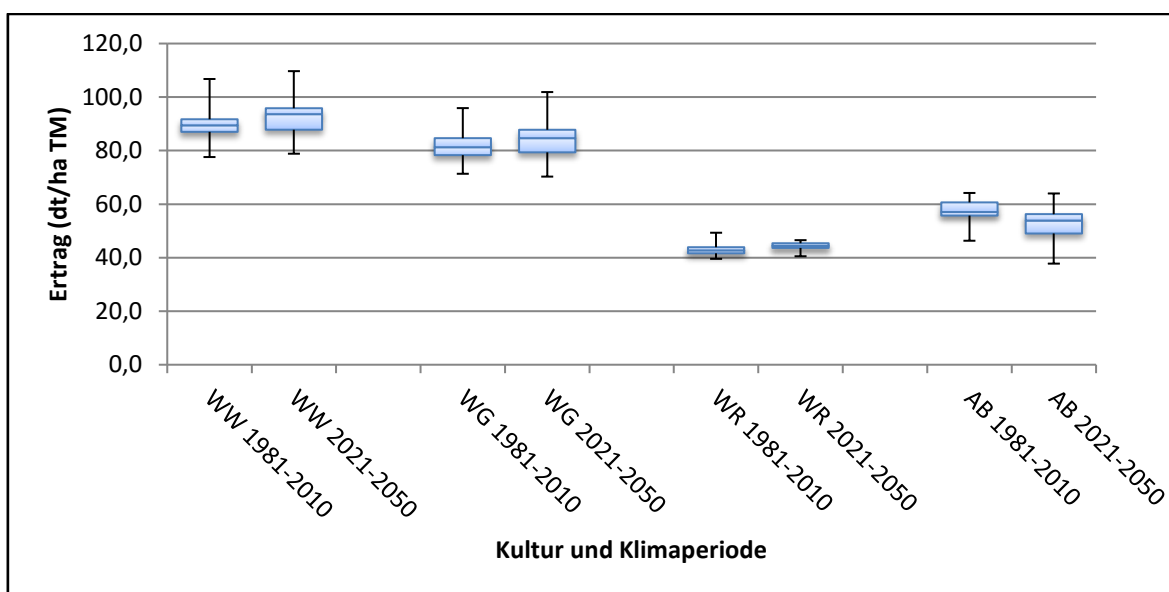


Abb. 43: Ertragsverteilung der Ernteerträge von Winterweizen, Wintergerste Winterrap und Ackerbohne am Standort Soest in den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050

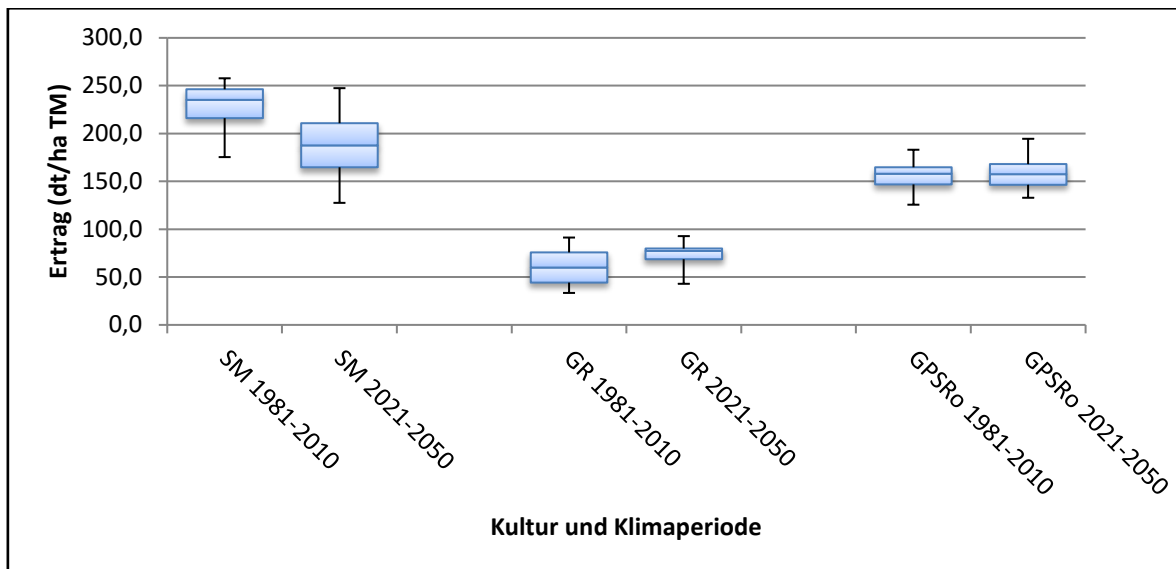


Abb. 44: Ertragsverteilung der Ernteerträge von Silomais, Grünroggen und GPS-Roggen am Standort Soest in den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050

Am Standort Soest zeigt sich ein ähnliches Bild wie am Standort Braunschweig. Auch hier sind abgesehen von einer minimalen Zunahme der Ertragsstreuung bei Winterweizen und Ackerbohne keine signifikanten Veränderungen bei den Ertragschwankungen der Druschfrüchte zu erkennen. Bei den angebauten Kulturen zur Biomasseerzeugung nimmt die Spannweite zwischen Q25 und Q75 im Vergleich der Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 beim Silomais um knapp 53 Prozent auf 46,1 dt/ha zu, wohingegen sie beim GPS-Roggen nahezu unverändert bleibt. Beim Grünroggen liegen die Erträge in der zukünftigen Periode dichter beieinander, als in der zurückliegenden, was auf stabilere Ertragserwartungen in der Zukunft hindeutet.

Mögliche Ursachen für die beschriebenen Ertragschwankungen ergeben sich aus den in Kap. 2.5 beschriebenen Wetterextremen. Eine Analyse des Klimaszenarios STAR-A1B anhand der definierten Schwellenwerte zeigt, dass sowohl am Standort Braunschweig, als auch in Soest die Monate Juli und August in Zukunft wärmer und trockener werden (vgl. Tab. 9 und Tab. 12). Demgegenüber sind in den Monaten Mai und Juni keine bedeutenden Veränderungen, die sich negativ auf das Ertragspotential einer Kultur auswirken könnten, erkennbar. Bezogen auf die angebauten Kulturen in den einzelnen Ackerbausystemen ergibt sich aus diesen Ergebnissen eine steigende Gefährdung von später abreifenden Kulturen wie Ackerbohne und Silomais in zukünftigen Klimaperioden und eine gleichbleibende Ertragsstabilität früher abreifender Winterungen. Die in den Tabellen enthaltene Angabe zur Zunahme des Anbaurisikos ergibt sich aus der Differenz des An-

bauriskos in den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050. Das Anbaurisiko innerhalb einer Klimaperiode errechnet sich durch Division der Monate, in denen die entsprechenden Schwellenwerte überschritten wurden, durch die Gesamtzahl der betrachteten Monate, in denen die sensiblen Wachstumsphasen einer Kultur liegen.

Tab. 9: Veränderung des Anbauriskos einzelner Kulturen zwischen den Anbauperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 aufgrund extremer Hitzeperioden am Standort Braunschweig

Kultur	Betrachtete Monate in Klimaperiode	Monate mit ¹⁾ Hitzeperiode 1981-2010	Monate mit ¹⁾ Hitzeperiode 2021-2050	Risikozunahme Braunschweig
Wintergetreide	Mai-Juni	0	0	0%
Winterraps	Mai-Juni	0	0	0%
Ackerbohne	Juni-Juli	1	6	8%
Silomais	Juli-August	3	17	23%

¹⁾Mindestens 7 Tage pro Monat über 30 °C

Tab. 10: Veränderung des Anbauriskos einzelner Kulturen zwischen den Anbauperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 aufgrund extremer Hitzeperioden am Standort Soest

Kultur	Betrachtete Monate in Klimaperiode	Monate mit ¹⁾ Hitzeperiode 1981-2010	Monate mit ¹⁾ Hitzeperiode 2021-2050	Risikozunahme Soest
Wintergetreide	Mai-Juni	0	0	0%
Winterraps	Mai-Juni	0	0	0%
Ackerbohne	Juni-Juli	2	6	7%
Silomais	Juli-August	3	13	17%

¹⁾Mindestens 7 Tage pro Monat über 30 °C

Tab. 11: Anzahl an Monaten mit potentiellm Trockenstress und deren prozentuale Veränderung zwischen den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 am Standort Braunschweig

Monat	Anzahl betrachteter Monate	¹⁾ Anzahl trockener Monate zwischen 1981 und 2010	¹⁾ Anzahl trockener Monate zwischen 2021 und 2050	Veränderung zwischen Periode 1981-2010 und 2021-2050
Mai	30	24	25	3%
Juni	30	17	14	-10%
Juli	30	14	20	20%
August	30	15	22	23%

¹⁾Trockener Monat= Monat, in dem die monatliche Niederschlagssumme unter dem Schwellenwert von 60 mm Niederschlag liegt

Tab. 12: Anzahl an Monaten mit potentiellm Trockenstress und deren prozentuale Veränderung zwischen den Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2021 bis 2050 am Standort Soest

Monat	Anzahl betrachteter Monate	¹⁾ Anzahl trockener Monate zwischen 1981 und 2010	¹⁾ Anzahl trockener Monate zwischen 2021 und 2050	Veränderung zwischen Periode 1981-2010 und 2021-2050
Mai	30	12	17	17%
Juni	30	8	10	7%
Juli	30	4	12	27%
August	30	11	17	20%

¹⁾Trockener Monat= Monat, in dem die monatliche Niederschlagssumme unter dem Schwellenwert von 60 mm Niederschlag liegt

3.3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Umgang mit Modellen

Bei der Interpretation von Modellierungsergebnissen ist zu beachten, dass in einem Modell nur ein Teil der Realität betrachtet werden kann. Am Beispiel der Ertragsmodellierung bedeutet dies, dass mit Hilfe von Modellen einerseits gezielt die Auswirkungen einzelner Einflussparameter wie die Faktoren Niederschlag, Temperatur und Stickstoffversorgung auf die Ertragserwartungen einer Kultur betrachtet werden können. In der Realität können jedoch auch weitere Faktoren, die nicht im Modell berücksichtigt werden können, einen erheblichen Einfluss auf das Ertragspotential einer Kultur besitzen. Als Beispiel könnten zunehmende Kohlendioxidgehalte in der Atmosphäre ertragssteigernde und eine erhöhte Schädlings- und Unkrautpopulation ertragsmindernde Auswirkungen haben. Da beispielsweise die Bereiche Pflanzenschutz und die Kohlendioxidgehalte aber kein Bestandteil des verwendeten Modells APSIM sind, können die zukünftig geernteten Felderträge u.a. auch deswegen von den Modellprognosen abweichen.

Darüber hinaus basiert die Ertragsmodellierung auf der Annahme bestimmter Klimaszenarien, die wiederum unter der Annahme eines definierten Emissionsszenarios erstellt werden. Die große Anzahl von globalen und regionalen Klima- und Emissionsszenarien mit teils stark voneinander abweichenden Aussagen (Solomon et al. 2007) zeigt, wie kontrovers das Thema Klimawandel in der Wissenschaft diskutiert wird. Dies zeigt sich auch an den in Abb. 103 bis Abb. 106 prognostizierten Klimadaten für die Standorte Braunschweig und Soest. Trotz Annahme eines einheitlichen Emissionsszenarios (A1B) gelangen alle Klimamodelle zu unterschiedlichen Aussagen. Aus diesem Grund reicht die Betrachtung

eines einzelnen Klimaszenarios in der Regel nicht aus, um eine stichhaltige Aussage zum Thema Klimawandel zu treffen. Erst der Vergleich eines Ensembles von mehreren Szenarien ermöglicht eine Klimaprognose mit hinreichender Eintrittswahrscheinlichkeit.

Anbaurisiko der Modellbetriebe im Vergleich

Nach den Ergebnissen der Ertragsmodellierung besitzen vor allem die winterharten Kulturen eine geringe Sensitivität gegenüber klimatischen Veränderungen. Sowohl am Standort Braunschweig, als auch am Standort Soest bleiben die Erträge von Winterweizen, Wintergerste und Winterraps nahezu konstant oder legen im Ertrag leicht zu. Beim Grünroggen und GPS-Roggen können ebenfalls steigende Ertragserwartungen nachgewiesen werden. Demgegenüber deuten die Modellergebnisse auf sinkende Durchschnittserträge bei den Sommerungen, die eine späte Abreife besitzen, hin. Diese Kulturen leiden unter steigenden Temperaturen und sinkenden Niederschlägen in den Monaten Juli und August.

Betrachtet man nur die Ergebnisse der Ertragsmodellierung in APSIM, würde dies bedeuten, dass der Marktfruchtbetrieb auch unter klimatischen Veränderungen die höchste Anbausicherheit besitzt. Die angebauten Winterungen profitieren von mildereren Temperaturen im Winter und erreichen die Erntereife, bevor sich extreme Temperaturen und Trockenheit negativ auf den Ertrag auswirken können. Darüber hinaus besitzt der Winterweizen im Herbst ein relativ breites Saatfenster von Ende September bis Ende November, sodass diese Kultur gerade in Jahren mit schlechten Aussaatbedingungen einen Vorteil besitzt. Aufgrund der sinkenden Ertragserwartungen beim Silomais und bei der Ackerbohne würde das Anbaurisiko im V-Betrieb und im O-Betrieb zunehmen. Diese Annahme wird durch weitere Untersuchungen gestützt (Khan et al. 2010; Liu et al. 2012; Peltonen-Sainio und Niemi, 2012; Tuck et al. 2006). Die Risikostreuung, die durch eine höhere Kulturartenvielfalt per se erzielt wird, bleibt bei diesen Betrachtungen allerdings unberücksichtigt. Auswertungen anhand von Daten des statistischen Bundesamtes belegen, dass das Anbaurisiko durch eine höhere Kulturartenvielfalt gesenkt werden kann (Schäfer 2013).

Da später abreifende Kulturen bei den hier zugrunde gelegten Klimaszenarien an den Standorten Braunschweig und Soest stärker unter Hitzestress und Trockenheit in den Sommermonaten Juli und August leiden, kann sich dies bei der hier auf Hitze- und Trockenstress beschränkten Betrachtung negativ auf den Gesamtbetrieb auswirken. Die Er-

gebnisse lassen an beiden Projektstandorten keine zunehmenden Anbau Risiken durch die genannten Faktoren bei den früh abreifenden Winterungen erkennen. Bei den Sommerungen Ackerbohne und Mais ist in der Zukunft jedoch mit Blick auf Hitze- und Trockenstress mit leicht zunehmend schwankenden Erträgen zu rechnen. Die in Tab. 9 bis Tab. 12 abgebildeten Risikozunahmen basieren jedoch nur auf der näherungsweise Festlegung von statischen Schwellenwerten. In der Realität kann es demgegenüber durchaus zu Wechselwirkungen verschiedener Umweltparameter oder zu unterschiedlichen Stresstoleranzen bei einzelnen Sorten und Kulturen kommen. Aus diesem Grund zeigen die beschriebenen Werte nur tendenzielle Entwicklungen auf und können nicht als absolute Größenordnungen betrachtet werden.

Nicht untersucht wurden die Ertragsreaktionen der angebauten Kulturen in Bezug auf steigende CO₂-Gehalte in der Atmosphäre. Diese können unter Umständen die Wassernutzungseffizienz einer Pflanze erhöhen und gerade unter trockenen Bedingungen zu einer Ertragsstabilisierung beitragen (Calzadilla et al. 2013; Ruiz-Vera et al. 2013). Unter dieser Voraussetzung würden die Ertragsrückgänge von Ackerbohne und Silomais geringer ausfallen, als dies in der Ertragssimulation mit APSIM der Fall ist. Neuere Untersuchungen unter Feldbedingungen zeigen jedoch, dass der CO₂-Düngungseffekt Ertragschwankungen aufgrund von Wassermangel nur bis zu einem gewissen Punkt ausgleichen kann (Taube und Herrmann, 2009; Weigel, 2009; Wienforth, 2008). Demnach ist bei der C4-Pflanze Mais bereits heute die optimale Kohlendioxidkonzentration erreicht. Bei C3-Pflanzen konnten im Fall von Winterweizen mit der FACE-Methode (Free Air Carbon Dioxide Enrichment) potentielle Ertragssteigerungen von durchschnittlich sieben Prozentpunkten realisiert werden.

Unter Berücksichtigung der oben getroffenen Einschränkungen bei der Interpretation von Ergebnissen aus der Ertragsmodellierung können die zuvor getroffenen Aussagen jedoch ein Stück weit relativiert werden. Die Entwicklung neuer Sorten wird unter den sich ändernden Klimabedingungen erfolgen, so dass hier von einer fortlaufenden Anpassung ausgegangen werden kann. Durch die Direktsaat im O-Betrieb besteht zudem die Möglichkeit, dass der Boden hier Wasser und Nährstoffe auf Dauer besser binden kann als der Boden der Vergleichsbetriebe. Dadurch könnten Trockenphasen besser überbrückt und die Erträge von Ackerbohnen und Silomais stabilisiert werden. Darüber hinaus bewegt sich der Züchtungsfortschritt der Ackerbohne im Gegensatz zu anderen Kulturen wie Win-

terweizen oder Winterraps bisher auf einem äußerst geringen Niveau (Siddique et al. 2012). Unter Annahme einer entsprechenden Intensivierung der Züchtungsbemühungen ist daher potentiellen Ertragssteigerungen und einer erhöhten Anbausicherheit auszugehen.

3.4 Fazit Ertragsmodellierung und Risikominimierung

In Bezug auf die ursprünglich aufgestellten Ziele im Teilprojekt Risikominimierung konnten das Ertragsmodell APSIM planmäßig für alle Kulturen an beiden Projektstandorten kalibriert und validiert werden. Darüber hinaus wurden Wachstumssimulationen zu den genannten Nutzpflanzen unter verschiedenen Klimaszenarien erstellt. Nach Auswertung der Wetterdaten aus den verwendeten Klimaszenarien konnten klimatisch bedingte Veränderungen im Anbaurisiko und der Ertragsstabilität der einzelnen Kulturen aufgezeigt werden. Damit wurde das geplante Projektziel innerhalb der vorgesehenen Laufzeit erreicht.

Für die Zukunft besteht die Möglichkeit, das Ertragsmodell APSIM weiter auszubauen, sodass auch Veränderungen spezifischer Bodenparameter wie die Nährstoff- und Humusgehalte inklusive Auswaschungsverlusten oder die Wasserhaltekapazität in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung modelliert werden können. Darüber hinaus wäre auch eine Modellierung der langfristigen Auswirkungen ganzer Fruchtfolgen denkbar. Dazu müssten jedoch über die bisher erhobenen Daten hinaus bedeutend umfangreichere Analysen in den Beständen erfolgen. Wichtige Parameter in diesem Zusammenhang sind unter anderem die Erfassung des LAI (Blattflächenindex) zu den Makrostadien der Pflanzenentwicklung inklusive begleitender Biomassernten und die Bestimmung der Nährstoffgehalte im geernteten Pflanzenmaterial zu den einzelnen Teilernten.

Außerdem stellt sich die Frage, welche klimatisch bedingten Ertragsveränderungen an anderen deutschen, europäischen oder weltweiten Standorten außer den betrachteten Beispielen in Braunschweig und Soest auftreten werden. Gerade für deutsche und europäische Standorte könnte durch einen intensiven Wissensaustausch mit anderen Forschungsgruppen ein relativ präzises und aussagekräftiges Tool zur Vorhersage der Auswirkungen potentieller Klimaveränderungen auf aktuelle Anbausysteme entwickelt werden. Auch die Implementierung weiterer ertragsrelevanter Einflussfaktoren wie ein geänderter CO₂-Gehalt wäre in diesem Rahmen denkbar.

4 Teilprojekt Bodenbewirtschaftung

4.1 Material und Methoden

Das Teilprojekt Bodenbewirtschaftung wurde durch den Standort Soest betreut. Durch eine unterschiedliche Technikausstattung der Versuchsstandorte Braunschweig und Soest kam für die Aussaat unterschiedliche Sätechnik zum Einsatz. In **Braunschweig** erfolgte die Direktsaat der Kulturen im O-Betrieb mit Ausnahme von Mais mit einer Sämaschine des Typs Primera der Firma Amazone. Bei dieser Technik wird das Saatgut mittels Meißelscharen in den Saathorizont eingebracht. Die Primera-Sämaschine verfügt bei einer Arbeitsbreite von 3 m über 16 Schare bei einem Reihenabstand von 18,75 cm. Bei dieser Sätechnik wird der Boden durch die Meißelschare gebrochen, das Saatgut hinter den Scharen abgelegt und im Anschluss durch nachfolgende Bügelrollen sowie einem Exaktstriegegel mit losem Boden bedeckt. Zugleich dienen die Bügelrollen einer Rückverfestigung und der Einzelscharführung und somit einer individuellen Tiefenführung der Säaggregate. Die Aussaat von Mais erfolgte am Standort Braunschweig mit einer Einzelkornsämaschine des Typs Aeromat der Firma Becker mit speziellen Räumscheiben für organisches Material sowie der technischen Möglichkeit einer Unterfußdüngung. In **Soest** erfolgte die Direktsaat der Kulturen mit einer Sämaschine des Typs Cross Slot der Firma Baker no-tillage ltd. Bei dieser Technik wird das Saatgut mittels eines Kreuz-Schlitz-Schares in den Boden eingebracht. Durch ein vertikal zur Bodenoberfläche laufendes Scheibensech mit beidseitig angebrachten und somit horizontal zur Bodenoberfläche verlaufenden Flügelementen wird ein für diese Sätechnik charakteristischer Kreuzschlitz im Boden hervorgerufen. Durch die beiden Flügelemente ist eine Saatgutablage bei gleichzeitig räumlich zum Saatgut getrennter Unterfußdüngerapplikation möglich. Eine nachfolgende Saatgutbedeckung ist nicht notwendig, da das Saatgut durch die Konstruktion der Säaggregate seitlich des Säschlitzes und somit mit Bodenschluss, abgelegt wird. Ein Schließen des erzeugten Schlitzes im Boden wird durch nachlaufende Andruckrollen realisiert. Die Cross Slot-Sämaschine verfügt bei einer Arbeitsbreite von 3 m über 19 Schare bei einem Reihenabstand von 15,8 cm. Die Unterfußdüngung ist auf Grund der technischen Ausstattung der Maschine mit festen Düngemitteln möglich.

Durch die beschriebene Technik sollte die Implementierung innovativer Bodenbewirtschaftungssysteme ermöglicht werden. Zur Evaluierung der Umsetzbarkeit dieser Zielstel-

lung wurden versuchsbegleitend Kennzahlen erhoben, die die üblichen Parameter der Versuchsanstellung ergänzen.

Strohbedeckungsgrad

Speziell der Strohbedeckungsgrad, als Maß für die Bodenbedeckung mit Ernteresten, ergänzt die üblichen Parameter der Versuchsanstellung. Der Strohbedeckungsgrad wurde mittels der Schnurmethode nach Frielinghaus ermittelt (Brunotte et al. 1998). Hierzu wird eine 10 m lange Schnur mit 100 Markierungen im Abstand von 10 cm zueinander in achtfacher Wiederholung nach der Aussaat der Folgefrucht über die zu untersuchende Fläche gespannt und die Schnittpunkte der Markierungen mit Strohteilchen größer gleich 3 mm erfasst. Die Anzahl dieser Schnittpunkte ergibt den aktuellen Strohbedeckungsgrad.

Regenwurmaktivität

Um die Auswirkungen der einzelnen Betriebe auf die Regenwurmaktivität zu beurteilen, wurden die durch Regenwürmer erzeugten kleinen Strohanhäufungen pro Quadratmeter erfasst (Brunotte 2007). Diese „Strohhaufen“ werden rund um und über intakten Regenwurmrohren nach der Aussaat der jeweiligen Kultur durch die Tiere zusammengezogen. Sie stellen somit ein Maß für die Regenwurmaktivität dar. Besondere Bedeutung besitzt dieser Parameter für die Einordnung einer Ackerfläche bzw. eines Betriebes in Bezug auf die Regeninfiltrationsleistung nach Starkregenereignissen und das Potential der biologischen Einarbeitung von Ernteresten.

Nacherntemanagement

Um die kontinuierliche Etablierung von Direktsaaten weiter zu forcieren, wurden mit Fokus auf das Nacherntemanagement zudem spezielle Versuchsanstellungen zu diesem Themenkomplex angelegt. Prioritär wurde dabei den Fragen nach der Wirkung von Stroh sowie dessen Zerkleinerungsintensität auf die Folgekultur und der Platzierung von Stickstoff nachgegangen. Weiterhin erfolgte die Durchführung eines Klimakammerversuchs um den Einfluss der Zerkleinerung der Erntereste sowie die Zugabe von mineralischem Stickstoff auf den Strohabbau zu quantifizieren.

Feldversuch Nacherntemanagement

Der Feldversuch wurde in den Jahren 2011 bis 2013 auf einem tiefgründigen Pseudogley im Naturraum Soester Börde (Tab. 2) als Mulchsaatversuch ohne Lockerung

(Bodenbearbeitung bis max. 10 cm) und Direktsaatversuch (Cross Slot-Technik) mit Gelbsenf (*Sinapis alba* L.) nach Vorfrucht Winterweizen durchgeführt.

Tab. 13: Korngrößenverteilung der Versuchsfelder im Feldversuch Nacherntemanagement

Schlag	Tiefe (cm)	gS (%)	mS (%)	fS (%)	Summe Sand (%)	gU (%)	mU (%)	fU (%)	Summe Schluff (%)	Ton (%)	Bodenart (KA 4)
Bukbrei (2011/2012)	0-15	0,3	1,6	1,9	3,8	59,9	19,3	3,6	82,8	13,5	Ut 3
	15-30	0,1	0,6	1,3	2,0	61,3	19,8	3,7	84,7	13,3	Ut 3
Hambusch (2012/2013)	0-15	0,0	1,9	2,0	3,9	59,1	20,3	3,7	83,1	13,0	Ut 3
	15-30	0,0	0,4	1,0	1,5	61,6	20,8	3,6	85,9	12,6	Ut 3

Ziel war die Überprüfung der Auswirkungen von Stroh sowie dessen Zerkleinerungsintensität und einer differenzierten Platzierung von Stickstoff auf pflanzenbaulich relevante Parameter (Tab. 14). Die Versuchshypothese, dass sich durch die Platzierung des Stickstoffes und den Grad der Strohzerkleinerung die Stickstoffimmobilisierung, der Strohabbau und die Jugendentwicklung der Folgekultur beeinflussen lassen, war zu prüfen.

Tab. 14: Prüffaktoren und Faktorstufen in den Feldversuchen

Prüffaktor	Faktorstufen
Stroh	Stroh abgefahren
	extensiv gemulcht
	intensiv gemulcht
N-Düngung	Mulchsaat
	0 N
	80 N Vorsaatbearbeitung (VSE)
	Direktsaat
	0 N
80 N Düsenapplikation (AHL)	
80 N Unterfußdüngung (UFD)	
40 N UFD + 40 N AHL	

Als Modellpflanze diente Gelbsenf (*Sinapis alba* L.), da diese Kultur neben großen Biomasseaufwüchsen vor Winter durch die Zugehörigkeit zur Familie der Kreuzblütler eine Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf die Marktfrucht Raps (*Brassica napus* L.) erwarten ließ. Der Fokus lag auf Kruziferen, da diese in Verbindung mit Bodenbearbeitung und Nacherntemanagement stärker auf negative Aussaatbedingungen ansprechen als andere Feldfrüchte und somit eine Beurteilung der einzelnen Maßnahmen besser ermöglichen. Die Getreidebestände der Vorfrucht wurden im Hochschnittverfahren (ca. 50 cm Stoppelhöhe) gedroschen. Das Weizenstroh wurde abgefahren bzw. unterschiedlich

stark mit einem Strohmulcher (Y-Messer mit Gegenschneide) zerkleinert (extensiv und intensiv) (Abb. 45 und Tab. 15).

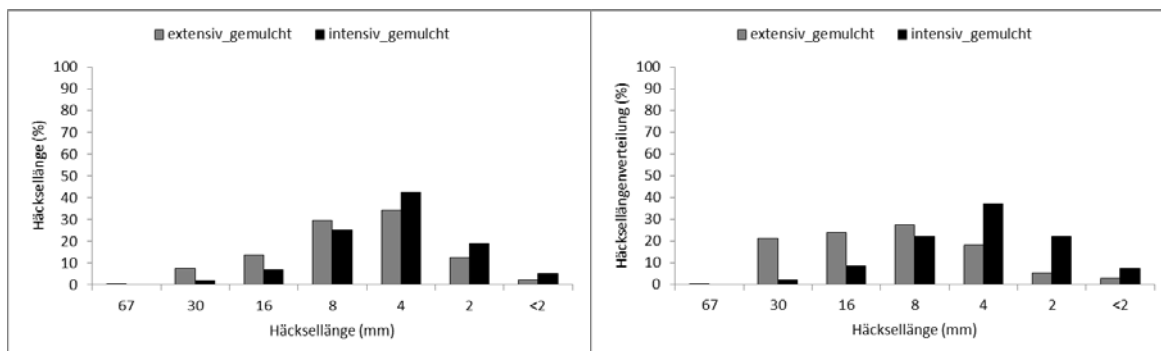


Abb. 45: Häcksellängenverteilung im Feldversuch Nacherntemanagement in den Jahren 2011/2012 (links) und 2012/2013 (rechts)

Tab. 15: Kennwerte von Winterweizenstroh in den Jahren 2011/2012 (Bukbrei) bzw. 2012/2013 (Hambusch) im Feldversuch Nacherntemanagement

Schlag	Ertrag (TM dt ha ⁻¹)	oTS (%)	NDF (%)	ADF (%)	ADL (%)	N (%)	C/N
Bukbrei (2011/2012)	87,7	87,6	81,9	53,8	6,4	0,5	87,5
Hambusch (2012/2013)	106,1	79,2	68,0	46,9	6,0	0,8	51,7

Die N-Düngung wurde im Mulchsaatversuch (MS) zwischen 0 und 80 kg N ha⁻¹ variiert. Im Direktsaatversuch (DS) erfolgte neben der Variation zwischen 0 und 80 kg N ha⁻¹ zusätzlich eine unterschiedliche Platzierung der Düngermenge (Unterfußdüngung, Düsenapplikation, Kombination aus Unterfußdüngung und Düsenapplikation). Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden N-Dünger mit identischen N-Formen verwendet. Für die Unterfußdüngung wurden Kalkammonsalpeter und Harnstoff dem N-Formenverhältnis von Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung entsprechend gemischt. Die Kernbearbeitung der Parzellen (94,5 m²) wurde mit einem Futterpflanzenvollernter an zwei Terminen (Mitte und Ende Oktober) durchgeführt. Die Ernteproben wurden auf C, N und S untersucht (CNS-Elementaranalyse, Hochtemperaturverbrennung nach Dumas). Zusätzlich erfasst wurden:

- Feldaufgang (3 x 1m² je Parzelle)
- Strohbedeckungsgrad (Doppelbestimmung je Parzelle ereignisbedingt; z.B. Aussaat, Ernte, Vegetationsbeginn)

- Regenwurmaktivität (6 x 1m² je Parzelle)

Soweit nicht anders vermerkt, werden im Ergebnisteil die Daten des zweiten Erntetermines dargestellt, der dem maximalen Biomasseaufwuchs zum Ende der Vegetationszeit nahe kommt.

Klimakammerversuch Strohabbau

Der Klimakammerversuch diente als Ergänzung zum Feldversuch. Ziel war die weiterführende Wirkungsabschätzung unterschiedlicher Managementmaßnahmen auf den Strohabbau. Der Versuch beinhaltete die Versuchsfragen nach dem Einfluss der mechanischen Zerkleinerung der Ernterückstände und der Zugabe von mineralischem Stickstoff auf den Abbau von Stroh. Die Versuchshypothese, mittels mechanischer Zerkleinerung der Ernterückstände und Zugabe von mineralischem Stickstoff die Strohrotte gezielt zu fördern, war zu prüfen. Es handelte sich um einen Modellversuch in Form einer Blockanlage mit sechs Wiederholungen. Als Gefäße dienten aufrecht stehende Plastikrohre mit einem Außendurchmesser von 110 mm und einer Höhe von 500 mm. Nach unten wurden diese Säulen durch eine Gaze (Maschenweite 25 µm) verschlossen. In diese Gefäße wurde feldfrischer, auf 2 mm gesiebter und somit gestörter Boden aus dem Ap-Horizont eines langjährig pfluglos bewirtschafteten Ackers entsprechend einer Lagerungsdichte von 1,3 g TS/cm³ eingebracht (Tab. 16 und Tab. 17).

Tab. 16: Verwendetes Bodensubstrat im Klimakammerversuch

Tiefe (cm)	gS (%)	mS (%)	fS (%)	Summe Sand (%)	gU (%)	mU (%)	fU (%)	Summe Schluff (%)	Ton (%)	Bodenart (KA 4)
0-30	0,3	0,9	1,4	2,6	60,5	19,8	3,7	83,9	13,5	Ut3

g: grob
m: mittel
f: fein
S: Sand
U: Schluff

Tab. 17: Chemische und biologische Parameter des verwendeten Bodensubstrates im Klimakammerversuch

Tiefe (cm)	C _{org} (%)	Humus (%)	SIR (g BM-C kg ⁻¹)	C (%)	N (%)	C/N	pH	N _{min} (kg ha ⁻¹)
0-30	1,3	2,2	0,8	1,4	0,2	8,3	6,6	15

SIR: g Biomasse-Kohlenstoff pro kg Boden

Die Bodensäulen lagerten in einer auf 14,5 °C temperierten Klimakammer unter permanentem Lichtabschluss. Um evtl. auftretende Staunässe zu vermeiden und der natürlichen Durchlässigkeit eines Bodens weitestgehend nachzukommen, standen die Bodensäulen zusätzlich auf einer Drainage aus Sand (Körnung 0 bis 2 mm). In jede Säule wurden je zwei Individuen der Art *Lumbricus terrestris* nach vorheriger Biomassebestimmung eingebracht. Nach einer Akklimatisationsphase von 14 Tagen erfolgte die Anlage der Prüffaktoren (Tab. 18).

Tab. 18: Prüffaktoren und Faktorstufen im Klimakammerversuch

Prüffaktor	Faktorstufen
1. Stroh	1.1 grob (WW-Stroh auf ca. 5 cm geschnitten)
	1.2 mittel (150 g WW-Stroh für 2 Min. in Kutter)
	1.3 fein (150 g WW-Stroh für 10 Min. in Kutter)
2. N-Düngung	2.1 0 kg N ha⁻¹ (10 ml H ₂ O je Säule)
	2.2 80 kg N ha⁻¹ (10 ml Gemisch aus 10 ml AHL + 524 ml H ₂ O je Säule)
	2.3 160 kg N ha⁻¹ (10 ml Gemisch aus 10 ml AHL + 257 ml H ₂ O je Säule)

In jede Säule wurde Winterweizenstroh entsprechend der jeweiligen Zerkleinerung in Höhe von 7 g TM eingebracht (Abb. 46 und Tab. 19).

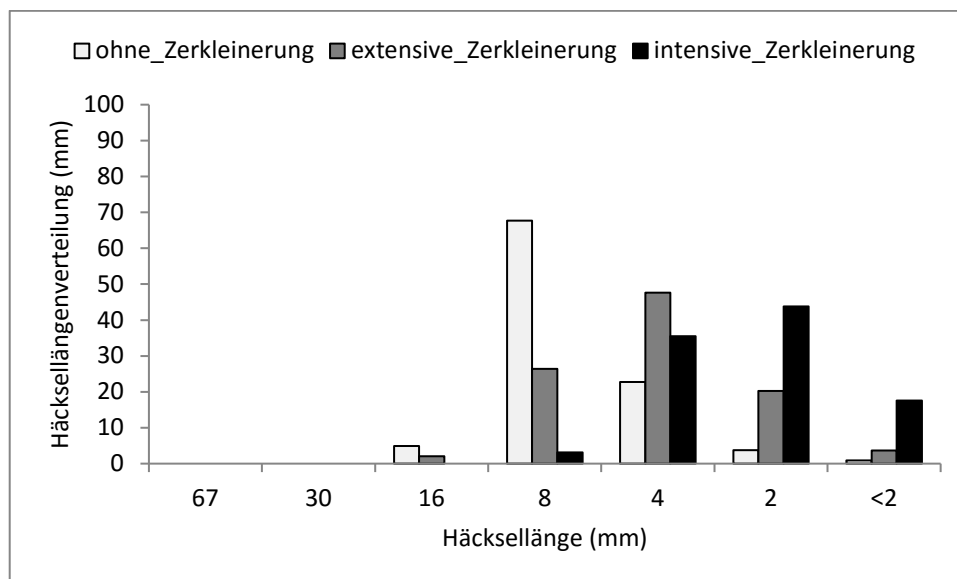


Abb. 46: Häcksellängenverteilung des verwendeten Winterweizenstrohs im Klimakammerversuch

Tab. 19: Chemische Parameter des verwendeten Winterweizenstrohs im Klimakammerversuch

oTS (%)	NDF (%)	ADF (%)	ADL (%)	N (%)	C/N
95,0	83,0	53,6	5,7	0,7	68,3

Im Anschluss erfolgte die Anlage des Faktors „N-Düngung“. Die so angelegten Modellgefäße wurden über einen Zeitraum von neun Wochen bei konstanten Temperatur- und Luftverhältnissen gelagert und nach Bedarf oberflächlich gewässert. Zur Bestimmung des Strohabbaus wurden die kompletten Bodensäulen nach neun Wochen ausgewaschen und das Stroh mit Hilfe eines Siebes (Maschenweite 63 µm) abgeschieden. Die Biomasse der *Lumbricus terrestris* sowie die Trockensubstanz des Weizenstrohs wurden bestimmt. Das Weizenstroh wurde zudem bei 550 °C verascht und die TS um den Rohaschegehalt korrigiert. Die mögliche Restverschmutzung der Proben - potentielle Fehlerquelle für die gravimetrische Bestimmung der Biomasse - kann so ausgeschlossen werden. Die Anlage des Klimakammerversuches folgte der Prämisse, dass für die eingesetzten *Lumbricus terrestris* optimale Bedingungen geschaffen werden. So waren Temperatur, Lichtverhältnisse, Gefäßgröße bzw. -gestaltung und Bodenbedingungen zum Zweck möglicher valider Ergebnisse ausgewählt (Lowe und Butt 2005; Bartlett et al. 2010; Fründ et al. 2010).

4.2 Ergebnisse

Standort Braunschweig

Am Standort Braunschweig wurden in der ersten Projektphase im O-Betrieb vergleichbare Erträge wie im M- und im V-Betrieb erzielt. Der Verzicht auf Bodenbearbeitung führte im Gegensatz zur häufig vertretenen Meinung bislang somit nicht zu einem Rückgang der Naturalerträge (vgl. Kap. 3.1.1). Um dies zu erreichen, wurde der Aussaatzeitpunkt von Winterraps im O-Betrieb gegenüber den beiden Referenzbetrieben um ca. zehn Tage vorgezogen. Allerdings musste im O-Betrieb auf Grund der fehlenden Bodenbearbeitung eine höhere Menge an Totalherbiziden eingesetzt werden als in den beiden konventionellen Betrieben (Tab. 66 bis Tab. 82). Im Hinblick auf den gesamten Pflanzenschutzinsatz haben sich bislang keine Unterschiede zwischen den Betriebstypen herausgestellt. Ab Anfang 2012 gab es am Standort Braunschweig auf den Direktsaatflächen allerdings einen sprunghaften Anstieg der Mäusepopulation, welche nur durch den intensiven Einsatz von

Mäuseködern dezimiert werden konnte. Ebenfalls auf einem hohen Niveau, jedoch über alle Betriebe hinweg, war der Schneckenbesatz auf den Ernteparzellen. Dieser konnte durch den flächigen Einsatz von Molluskiziden effektiv eingedämmt werden. Auf Grund trockener Bedingungen im Frühjahr 2012 während der Maisaussaat konnten die Direktsaaten von Mais nicht in befriedigender Qualität erfolgen. Der trockene Boden führte zu einer schlechten Saatgutablage und teilweise hohl liegenden Maiskörnern. Die dadurch bedingten Unterschiede bei den Feldaufgängen führten zu deutlichen Ertragsunterschieden im Vergleich zum V-Betrieb.

Standort Soest

Am Standort Soest konnten in der ersten Projektphase auf den Direktsaatflächen ebenfalls zufriedenstellende Naturalerträge erzielt werden, die teilweise sogar über denen der beiden konventionellen Betriebe lagen. Wie auch in Braunschweig, konnte in Soest bislang kein Unterschied in der Pflanzenschutzintensität der drei Betriebe festgestellt werden. Lediglich der Einsatz von Totalherbiziden übersteigt im O-Betrieb den der Betriebe M und V (Tab. 120 bis Tab. 135). Die Höhe der Mäusepopulation hält sich seit Projektbeginn auf einem hohen Niveau und konnte bislang nur durch den intensiven Einsatz von Mäuseködern unter Kontrolle gehalten werden. Dies gilt für die Flächen des O-Betriebes ebenfalls wie für die des M- und des V-Betriebes, wobei sich im O-Betrieb eine stärkere Zunahme der Schädnerpopulation andeutet. Dem vermehrten Aufkommen von Schnecken im Jahr 2012, über alle Betriebe hinweg, wurde mit einem breitflächigen Ausbringen von Molluskiziden begegnet. 2013 hingegen war lediglich im O-Betrieb eine Schneckenbekämpfung notwendig. Diese wurde in allen Parzellen mit Winterungen durch das Ausbringen von Schneckenkorn durchgeführt. Die hohen Erträge in der Ernte 2012 in Verbindung mit hohen Stroherträgen (Tab. 89 und Tab. 90), führten in Soest zu einigen Problemen im Zeitraum zwischen Ernte und Aussaat. So konnten Bodenbearbeitungsgeräte wie Kurzscheibeneggen nicht eingesetzt werden, da durch die Mächtigkeit der Strohauflagen kein zufriedenstellendes Arbeiten mit dieser Technik möglich war. Als Konsequenz kamen für die Bodenbearbeitung nur Geräte mit Zinken zum Einsatz. Besonders ausgeprägt waren diese Bedingungen nach der Vorfrucht Wintergerste und Winterweizen. Diese Nacherntebedingungen trafen für das Erntejahr 2013 nur bedingt zu, weshalb das Nacherntemanagement und die Aussaat der Winterungen 2013 / 2014 problemlos und zufrieden-

stellend funktionierten. Die im ersten Zwischenbericht aufgeführten Probleme im Zeitraum nach der Ernte des GPS-Roggens und der Aussaat von Winterraps mit der Cross Slot in Form von starker Bodenbewegung und unbefriedigenden Feldaufgängen konnten ab 2012 weitestgehend behoben werden. Durch die Aussaat eines sich schnell entwickelnden Zwischenfruchtgemenges nach der Ernte des GPS-Roggens konnte dieses eine wirksame Bodenbedeckung erzielen. Somit konnte neben der Reduktion der Erosionsgefahr und der Verminderung der potentiellen Nitratauswaschung eine verbesserte Ausgangssituation für eine Direktsaat mit der Cross Slot-Sämaschine geschaffen werden. Der Zwischenfruchtbestand wird kurz vor der Winterrapsaussaat abgemulcht und verbleibt komplett auf der Fläche. Die zu Beginn der ersten Projektphase beobachteten Dammbildungseffekte der Drillmaschine während des Sävorganges von Winterraps konnten durch die zusätzlich geschaffene Mulchauflage fast gänzlich vermieden werden. Eine weitere Maßnahme mit Hinblick auf die Verbesserung der Direktsaat ist die Etablierung einer Dt. Weidelgras-Untersaat im Winterweizen mit der Folgefrucht Ackerbohnen. Diese Maßnahme soll der Unkrautunterdrückung und somit Herbizideinsparung in der Kultur Ackerbohne dienen. Zu diesem Zweck wird im Winterweizenbestand eine Untersaat (Dt. Weidelgras) integriert. Nach dem Drusch des W-Weizens entwickelt sich das Dt. Weidelgras rasch und bildet eine geschlossene Grasnarbe aus, die wiederum im Herbst des gleichen Jahres mit einem Totalherbizid behandelt wird. In diese im Frühjahr des Folgejahres abgestorbene aber oberflächlich intakte Grasnarbe werden Ackerbohnen im Direktsaatverfahren gelegt. Die dichte Narbe aus Dt. Weidelgras erfüllt dabei zwei Aspekte. Zum einen schützt sie die Fläche im Zeitraum nach dem Drusch des W-Weizens bis zum Legen der Ackerbohnen vor Erosion und Nitratauswaschung, zum anderen leistet sie eine aktive Unkrautunterdrückung sowohl im Zeitraum zwischen den beiden Hauptkulturen als auch in der Kultur Ackerbohne an sich. Die Effekte dieser Maßnahme werden durch Abb. 47 deutlich. Am Standort Braunschweig gab es sowohl im Jahr 2011 als auch 2012 keine starke Verunkrautung in den Ackerbohnen. Die Ertragsdifferenzen fallen zwischen 2011 und 2012 gering aus mit einem Ertragsabfall 2013, bedingt durch eine schlechte Jugendentwicklung und Schädlingsbesatz. Der Standort Soest war im Jahr 2011 hingegen durch eine sehr starke Verunkrautung in dieser Kultur gekennzeichnet. Durch die Umstellung des Ackerbohnenanbaus auf bereits geschilderte Weise, konnte eine Verunkrautung mit deutlichen Ertragseffekten im Jahr 2012 und 2013 verhindert werden.

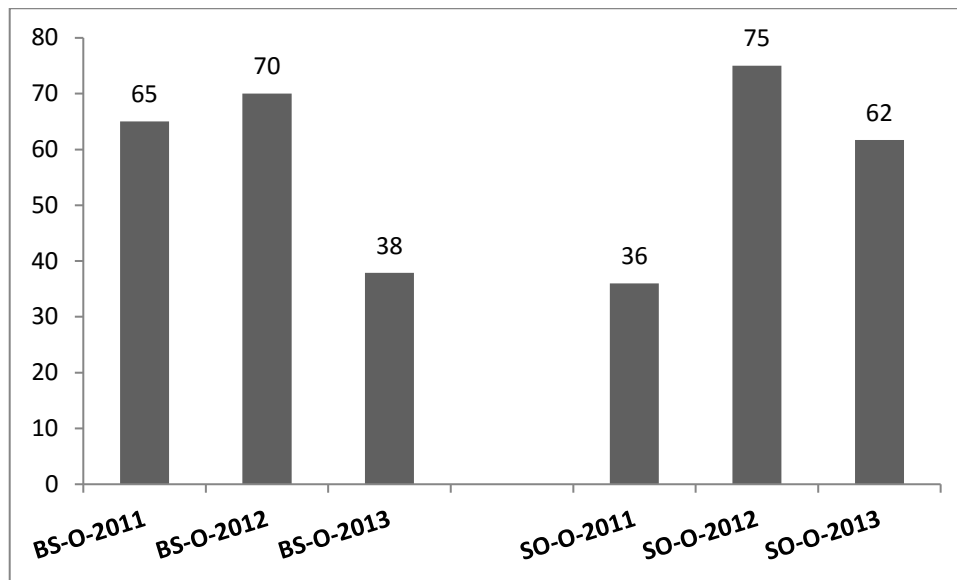


Abb. 47: Ackerbohnenenerträge am Standort BS und SO in den Jahren 2011 bis 2013

Die Umstellung der Maisaussaat im Jahr 2012 auf die Cross Slot-Technik hatte demgegenüber Ertragseinbußen zur Folge. So wurde der Mais im Jahr 2012 mit der Cross Slot auf einen Reihenabstand von 31,6 cm gelegt. Um diesen Reihenabstand zu ermöglichen, musste in der Drillmaschine jede zweite Öffnung im Saatgutverteiler geschlossen und der Saatgutfluss in diesem Bereich umgelenkt werden. Dies hatte wiederum zur Folge, dass eine erhebliche Menge des Saatgutes mit hoher Geschwindigkeit zurück in den Saatgut-tank gefördert wurde und dort an der Bordwand zerbrach. Zusätzlich wurden weitere Körner zerbrochen, da der Saatgutstrom in der Cross Slot konstruktionsbedingt mit hohen Geschwindigkeiten in den Verteilerkopf gefördert wird. Im Jahr 2013 erfolgte die Maisaussaat am Standort Soest mit einer direktsaattauglichen Einzelkorntechnik mit 75 cm Reihenabstand. Die systembedingten Schwierigkeiten der Saat konnten somit verhindert werden. Allerdings resultierten auch aus diesem Lösungsansatz keine zufriedenstellenden Biomasseerträge (vgl. Kap. 3.1.1), da auf Grund der unterlassenen Bodenbearbeitung im O-Betrieb die Saatbetterwärmung und Mineralisation nicht auf dem Niveau des V-Betriebes lagen.

Strohbedeckungsgrade

Standort Braunschweig

Zu Vegetationsbeginn im Jahr 2012 lagen die Strohbedeckungsgrade am Standort Braunschweig insgesamt auf einem höheren Niveau als in Soest. Begründet ist dieser Umstand teilweise darin, dass die Erhebung des Parameters kurzzeitig nach der Ausbringung von

Gärresten erfolgte. Da sich in Gärresten organische Verbindungen befinden, wurden die nachfolgenden Bonituren beeinflusst, da die zu bonitierenden Flächen auf diese Weise verschmutzt wurden. 2013 lagen die Bedeckungsgrade hingegen auf bzw. unter dem Niveau in Soest, was zu großen Teilen aus den geringeren Stroherträgen am Standort Braunschweig resultiert. Im V-Betrieb wurde auf Grund sehr geringer Strohbdeckungsgrade auf die Erhebung dieses Parameters verzichtet.

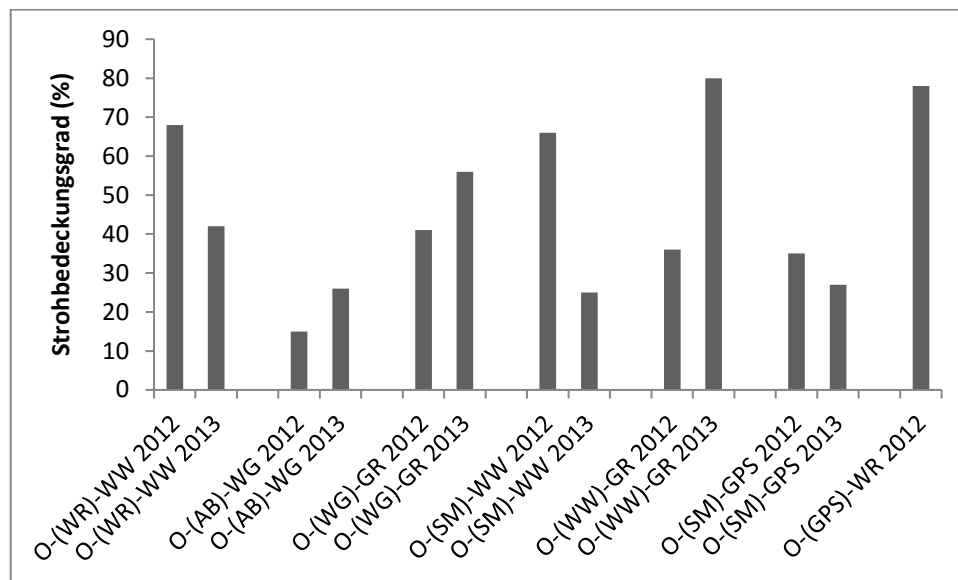


Abb. 48: Strohbedeckungsgrade zu Vegetationsbeginn am Standort Braunschweig in den Jahren 2012 und 2013

Standort Soest

Die Strohbedeckungsgrade am Standort Soest zu Vegetationsbeginn (2012 und 2013) waren auf den beiden Grünroggenflächen, bedingt durch die Vorfrucht Wintergetreide, am höchsten. Auf der Fläche Ackerbohnen nach Winterweizen wurden keine Erfassungen durchgeführt, da sich zum Zeitpunkt der Erhebungen Deutsches Weidelgras auf den Schlägen befand. Bedingt durch die hohen Stroherträge 2012 wurden am Standort Soest zu Vegetationsbeginn 2013 höhere Strohbedeckungsgrade festgestellt als 2012 (Tab. 89 und Tab 90).

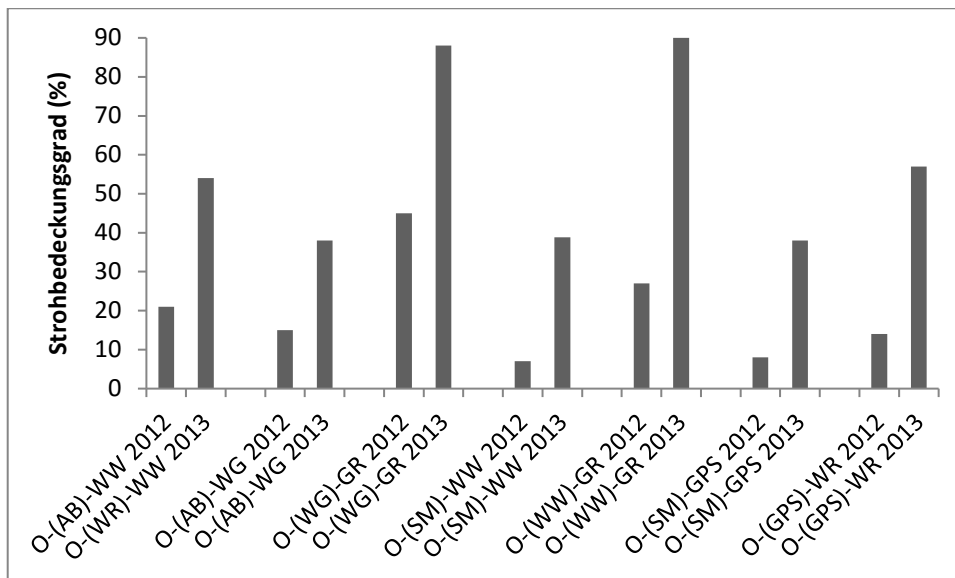
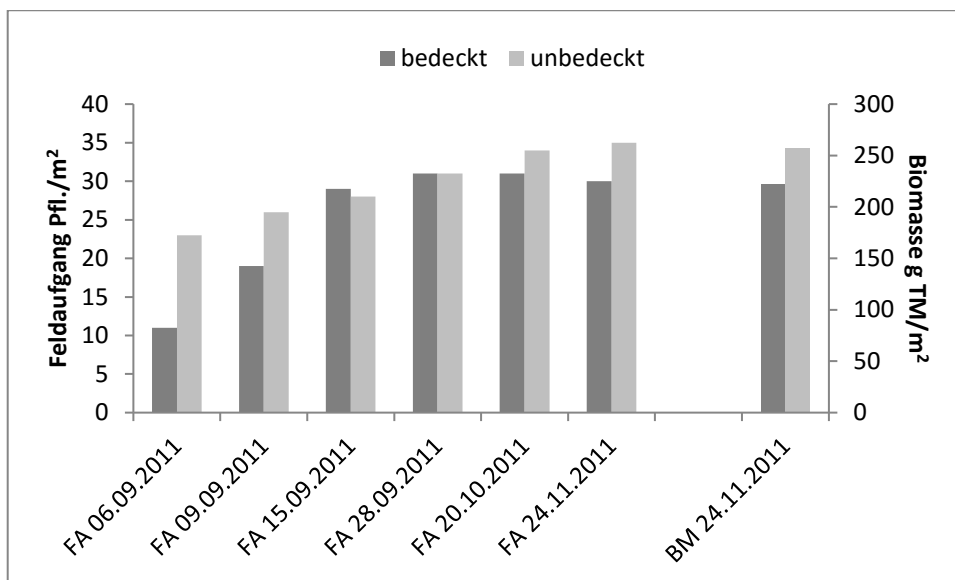


Abb. 49: Strohbedeckungsgrade zu Vegetationsbeginn am Standort Soest in den Jahren 2012 und 2013

Die Bedeutung der Strohaufgabe für die Funktionssicherheit der Cross Slot-Technik wurde bereits beschrieben. 2011 kam es durch geringe Strohbedeckungsgrade in einigen Parzellen bei der Aussaat mit der Cross Slot zur Dammbildung in Folge erhöhter Bodenbewegung der Sämaschine. Die Auswirkungen solch heterogener Bedingungen auf den Feldaufgang und die Jugendentwicklung wurden in der Frucht Winterraps erhoben.



unbedeckt: die gesäte Reihe wird nicht durch zusätzliche Bodenbewegung tangiert
 bedeckt: die bereits gesäte Reihe wird mit zusätzlichem Boden bedeckt
 FA: Feldaufgang
 BM: Biomasse

Abb. 50: Feldaufgang und Biomasseertrag von Winterraps 2011 in Abhängigkeit der Bedeckung mit Boden

Die Saatreihen ohne Beeinflussung durch zusätzliche Bodenbedeckung waren den Reihen mit zusätzlicher Bodenbedeckung sowohl im Feldaufgang als auch der Biomasse überlegen (s. Abb. 50).

Regenwurmaktivität

Standort Soest

Die Regenwurmaktivität war am Standort Soest 2012 im O-Betrieb höher als in den beiden konventionellen Betrieben (Abb. 51). In diesen konnte der Parameter allerdings nur auf den pfluglos bestellten Flächen erhoben werden. Auffällig sind die hohen Werte im GR-Bestand nach Vorfrucht WW im Gegensatz zum GR nach Vorfrucht WG.

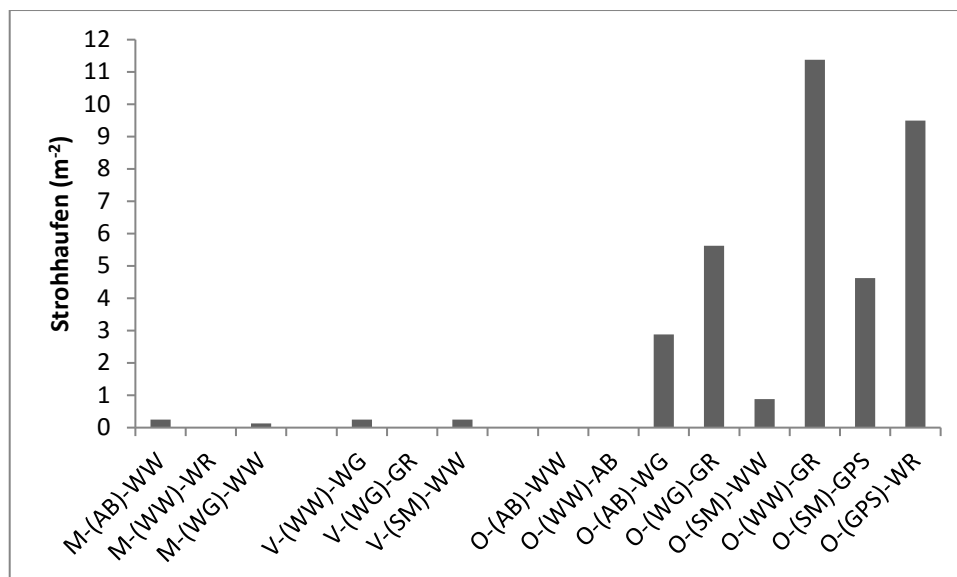


Abb. 51: Strohhaufen zu Vegetationsbeginn 2012 am Standort Soest

Standort Braunschweig

Am Standort Braunschweig konnte der Parameter Regenwurmaktivitätspunkte im Jahr 2012 nicht erhoben werden, da widrige Verhältnisse auf den Flächen eine Bonitur verhinderten. Die Anordnung dieser Strohhaufen verlief entlang der Saatreihen im Bereich der gelockerten Bodenoberfläche und führte zu einer Überlappung der Strohhaufen. Eine Differenzierung und mengenmäßige Erfassung dieses Parameters war somit nicht mehr möglich, da man die ineinandergeschobenen Strohhaufen nicht mehr auseinander halten konnte.

Im Jahr 2013 war eine Erhebung des Parameters an beiden Versuchsstandorten möglich (Abb. 52). Auffällig sind die im Vergleich zum Standort Soest geringeren Werte in Braun-

schweig. Diese resultierten zu großen Teilen aus den Standortbedingungen, da der Braunschweiger Standort einen sehr hohen Tonanteil und eine dem Soester Standort gegenüber geringere biologische Wertigkeit aufweist.

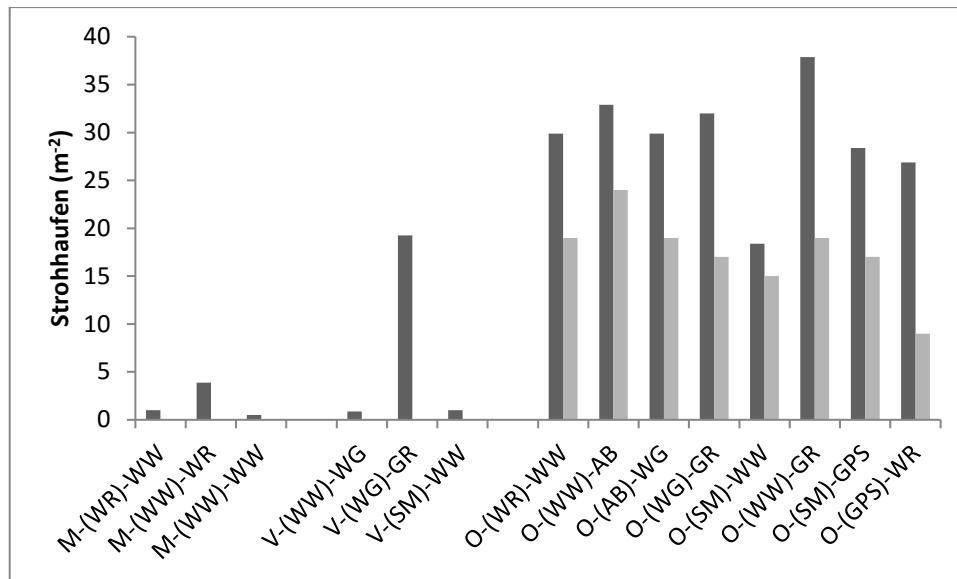


Abb. 52: Strohhaufen zu Vegetationsbeginn 2013 an den Standorten Soest (linke Säule) und Braunschweig (rechte Säule)

Viele der in den Großparzellen gewonnenen Erkenntnisse konnten in den Exaktversuchen ebenfalls erfasst und somit statistisch abgesichert werden.

Feldversuch Nacherntemanagement

Der Übersicht halber werden die Ergebnisse des Mulch- und des Direktsaatversuches für jeden Parameter zusammen, getrennt nach Jahren, dargestellt. Die Verrechnung der beiden Systemversuche erfolgte aber separat. Ein Vergleich der absoluten Werte kann jedoch zur Einschätzung der Mulchsaat (MS) und der Direktsaat (DS) hilfreich sein.

Feldaufgang

Die Angabe des Feldaufgangs erfolgt in Form der pro m² aufgelaufenen Pflanzen und stellt somit eine absolute Größe und keine Aufgangsrage dar. Im Jahr 2011 gab es in der MS keine signifikant unterschiedlichen Feldaufgänge in Bezug auf den Verbleib der Erntereste auf der Fläche bzw. ihrer mechanischen Zerkleinerung (Abb. 53).

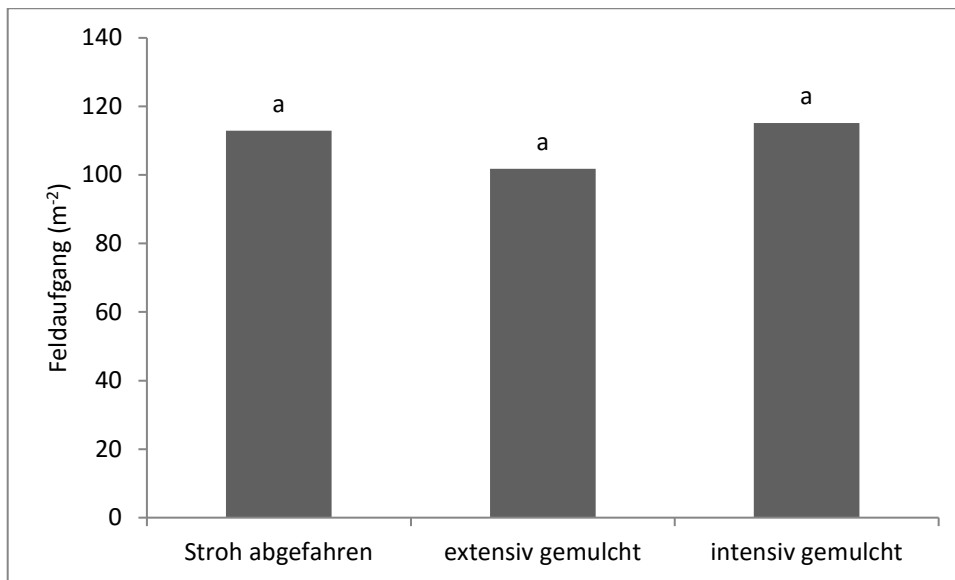


Abb. 53: Feldaufgang von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Dieses Ergebnis der Signifikanzniveaus wurde im Jahr 2012 auf einem ähnlichen Niveau wiederholt festgestellt (Abb. 54).

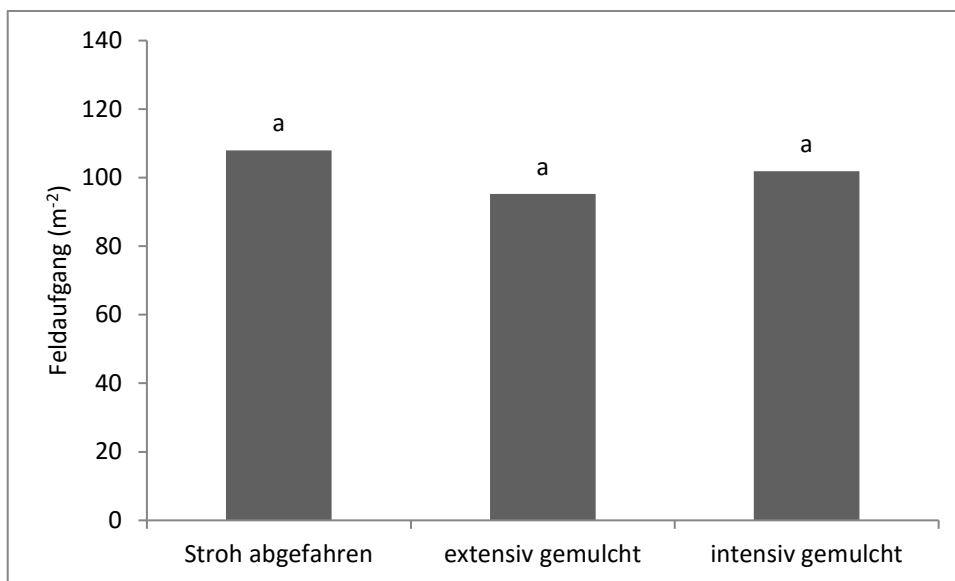


Abb. 54: Feldaufgang von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

In der DS gab es hingegen in beiden Versuchsjahren signifikante Unterschiede des Prüffaktors Stroh auf den Feldaufgang. 2011 führte der Verbleib der Erntereste in Verbindung mit einer extensiven Zerkleinerung zu einem signifikant niedrigeren Feldaufgang gegenüber der Variante, in der das Stroh abgefahren wurde. Eine intensive Strohzerkleinerung bewirkte jedoch, dass sich der Feldaufgang dieser Variante nicht signifikant von

der Strohabfuhr unterschied. Die Varianten extensiv und intensiv gemulcht unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant voneinander (Abb. 55).

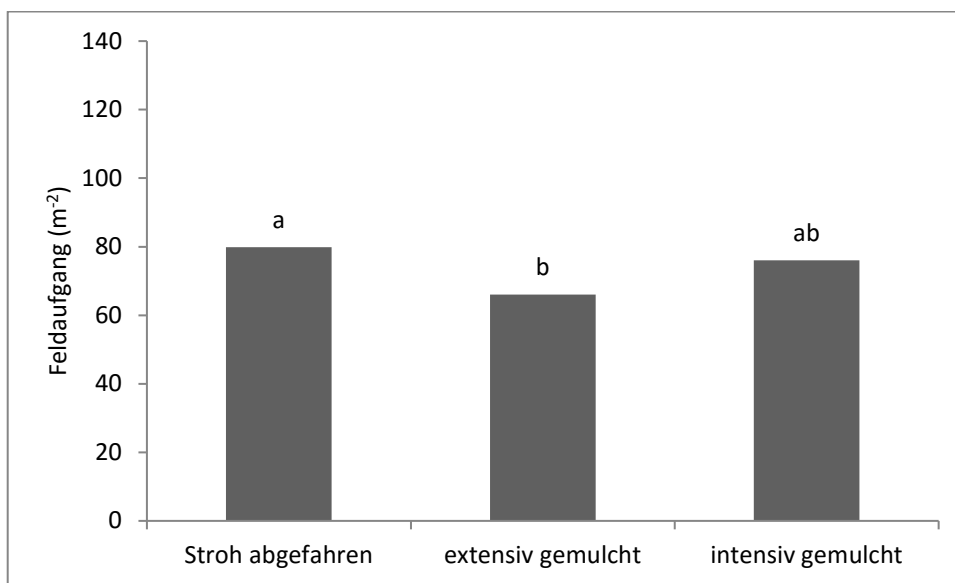


Abb. 55: Feldaufgang von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Im Jahr 2012 führte eine intensive Zerkleinerung des auf der Fläche verbliebenen Stroh ebenfalls dazu, dass der Feldaufgang dem Niveau der Variante mit Strohabfuhr entsprach. Zu diesen beiden Varianten signifikant schlechter war hingegen der Verbleib der Ernteres- te auf der Fläche in Verbindung mit einer extensiven Strohzerkleinerung (Abb. 56).

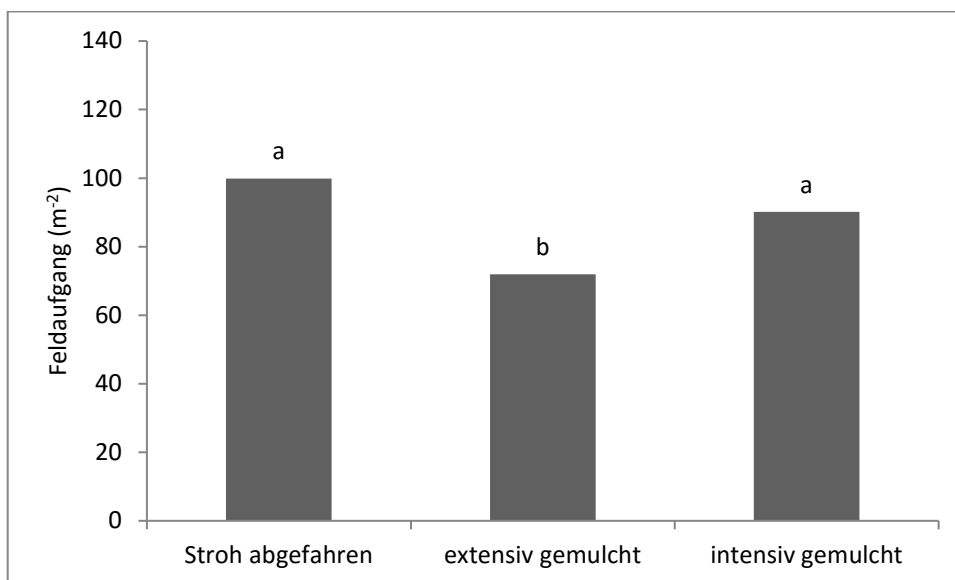


Abb. 56: Feldaufgang von Senf in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Biomasseertrag

Im Jahr 2011 führte der Verbleib der Erntereste auf der Fläche im Mulchsaatversuch zu einem signifikant geringeren Biomassezuwachs. Die unterschiedlich intensive Strohzerkleinerung beeinflusste die Biomassezuwächse hingegen nicht signifikant (Abb. 57).

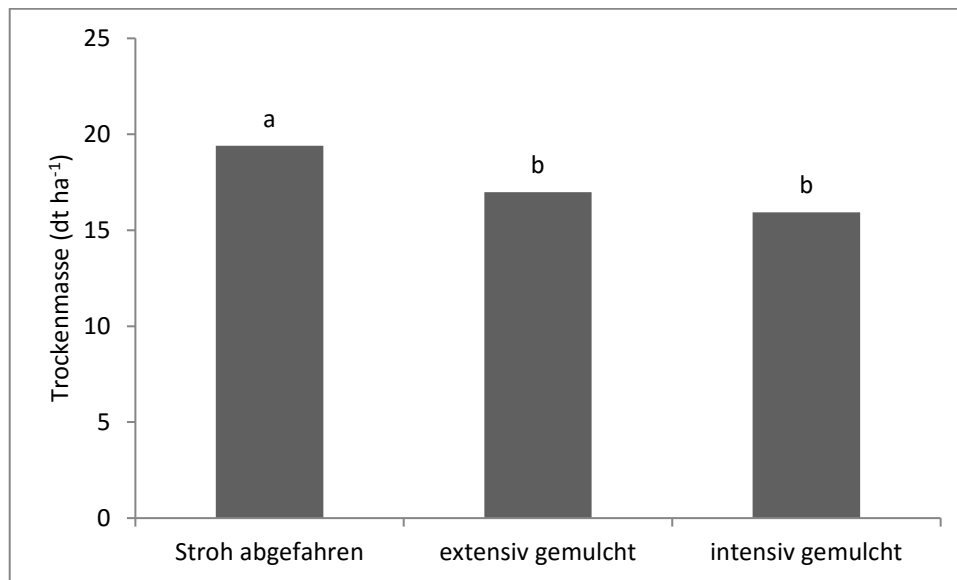


Abb. 57: Biomasseertrag von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Dieser Sachverhalt bestätigte sich im Jahr 2012. Allerdings fiel der Unterschied zwischen einer Strohabfuhr und dem Verbleib der Erntereste in diesem Jahr noch deutlicher aus als 2011 (Abb. 58).

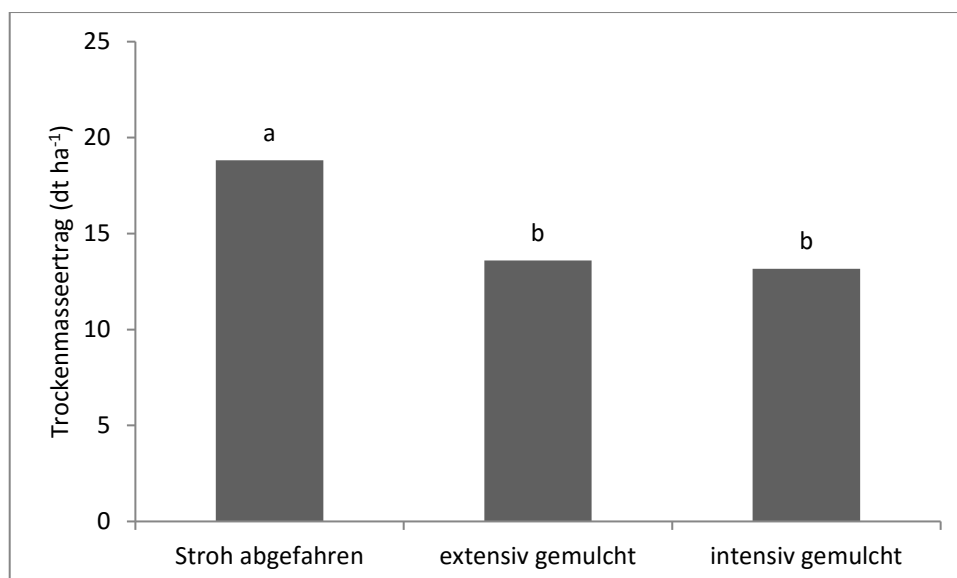


Abb. 58: Biomasseertrag von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Auch im Direktsaatversuch beeinflussten die Ernterückstände den Biomasseertrag von Senf negativ. Im Jahr 2011 konnte dieser Effekt jedoch nur bei der intensiv gemulchten Variante festgestellt werden, während eine extensive Zerkleinerung gegenüber der Strohabfuhr nicht zu einem signifikant geringeren Biomasseertrag führte (Abb. 59).

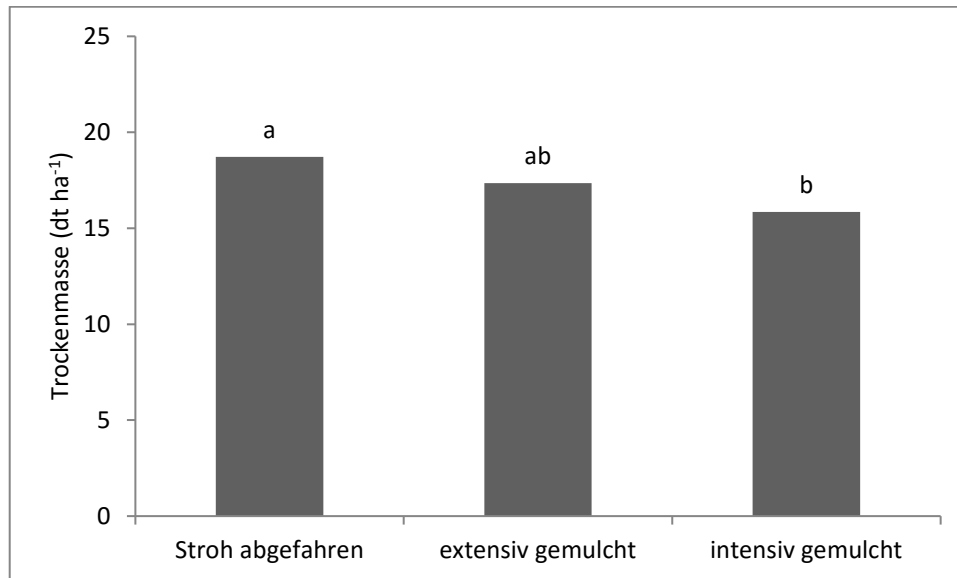


Abb. 59: Biomasseertrag von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Im Jahr 2012 entsprach das Signifikanzniveau wiederum dem der Mulchsaaten. Der Verbleib der Erntereste auf der Fläche führte zu einem signifikant geringeren Biomasseertrag gegenüber der Strohabfuhr. Die beiden Zerkleinerungsintensitäten unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Abb. 60).

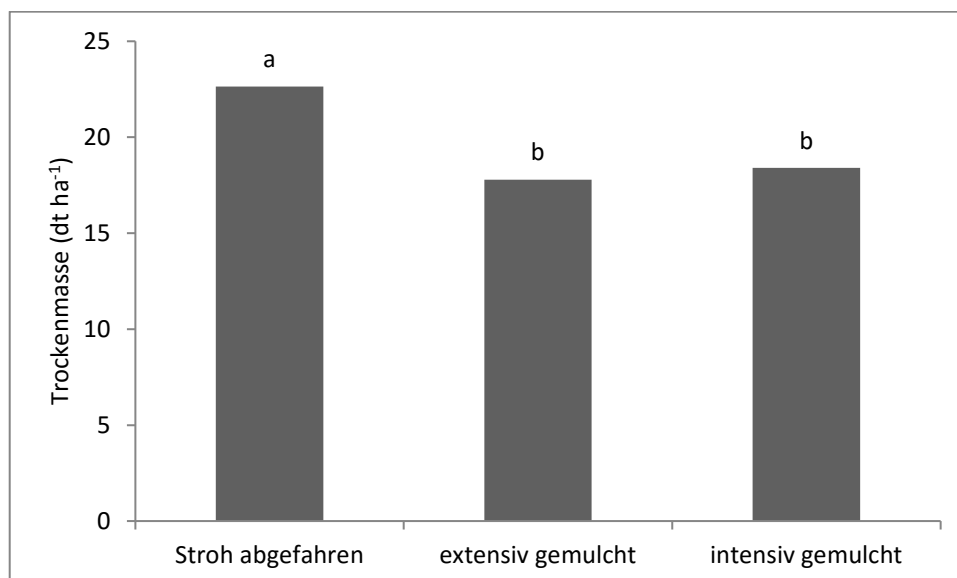


Abb. 60: Biomasseertrag von Senf in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Der Prüffaktor der N-Platzierung ergab in beiden Versuchsjahren ein einheitliches Bild (Abb. 61 und Abb. 62). Zwar führte die Stickstoffgabe zu einem signifikanten Biomasseertrag gegenüber der ungedüngten Variante, jedoch konnten zwischen den einzelnen Platzierungsformen keine signifikanten Unterschiede auf den Biomasseertrag festgestellt werden.

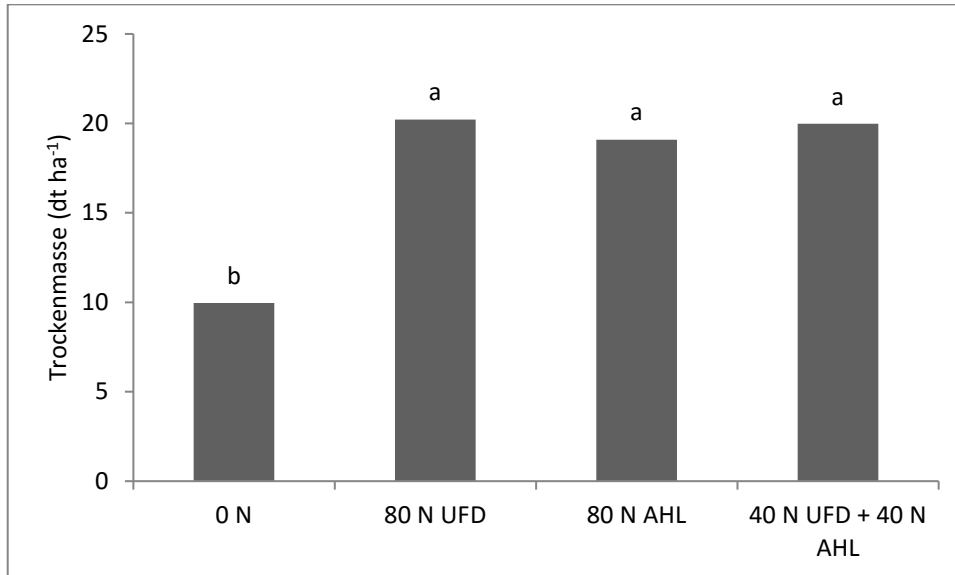


Abb. 61: Biomasseertrag von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

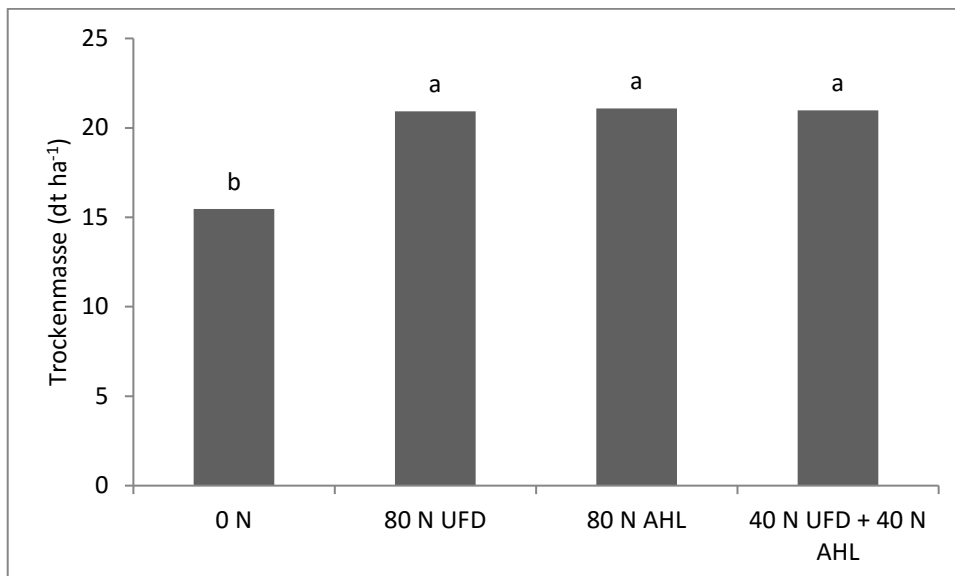


Abb. 62: Biomasseertrag von Senf in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Stickstoffentzug

Im Jahr 2011 wurde in der Mulchsaat in der Variante „intensiv gemulcht“ gegenüber der Variante mit Strohabfuhr ein signifikant geringerer N-Entzug nachgewiesen. In der Variante „extensiv gemulcht“ konnte keine signifikante Differenz zu den übrigen Versuchsgliedern nachgewiesen werden (Abb. 63).

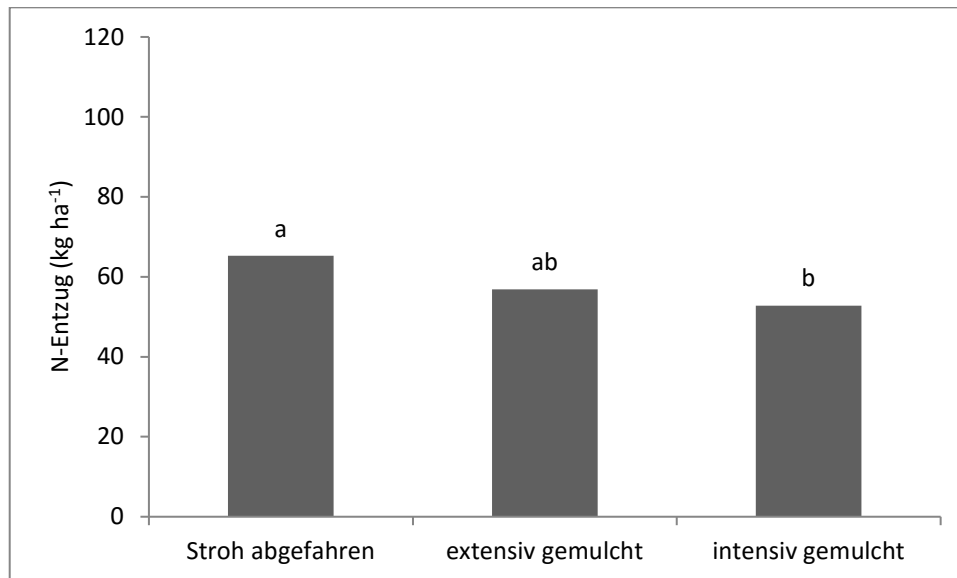


Abb. 63: Stickstoffentzug von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Hingegen wurde im Jahr 2012 in beiden Prüfgliedern mit Verbleib der Erntereste gegenüber der Variante mit Strohabfuhr ein signifikant geringerer Stickstoffentzug nachgewiesen (Abb. 64).

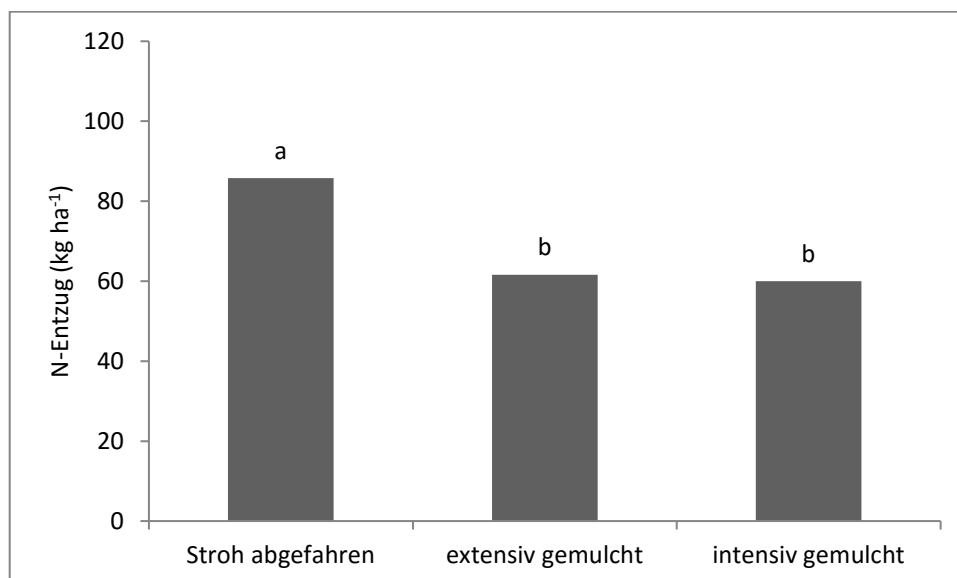


Abb. 64: Stickstoffentzug von Senf in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Bei den Direktsaaten zeigte sich im Jahr 2011 ein den Mulchsaaten vergleichbares Bild. Allerdings zeichnete sich die Variante „intensiv gemulcht“ durch den signifikant geringsten N-Entzug aus, während zwischen den Varianten „Stroh abgefahren“ und „extensiv gemulcht“ keine Unterschiede nachweisbar waren (Abb. 65).

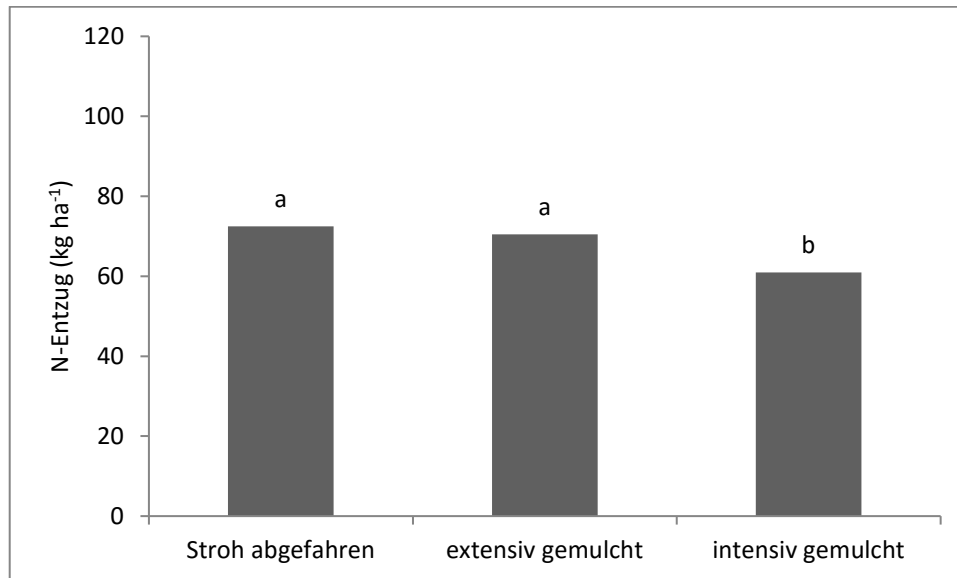


Abb. 65: Stickstoffentzug von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Im Jahr 2012 entsprach das Signifikanzniveau der Direktsaaten dem der Mulchsaaten (Abb. 66). Beide Varianten mit Verbleib der Erntereste auf der Fläche wiesen gegenüber der Strohabfuhr einen signifikant geringeren N-Entzug auf.

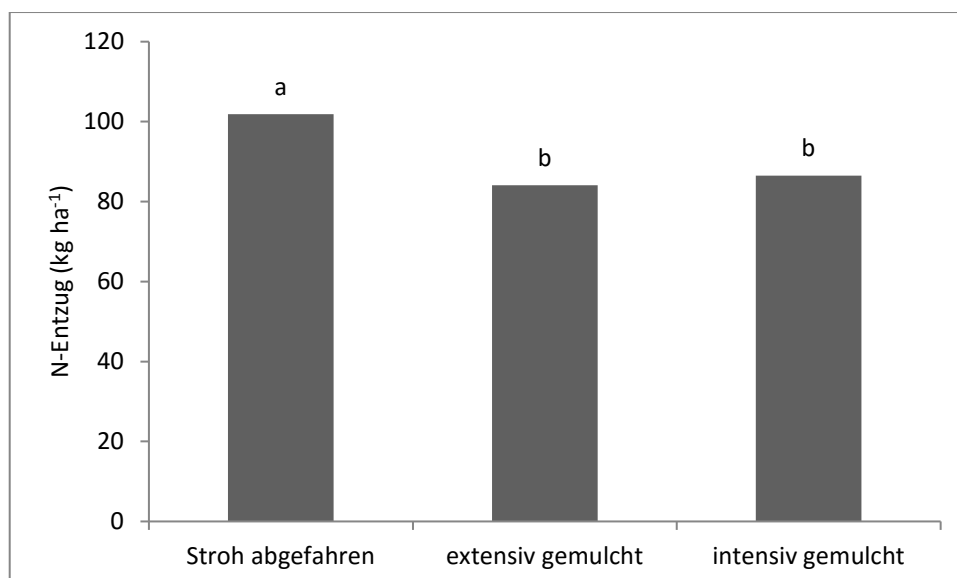


Abb. 66: Stickstoffentzug von Senf in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Der Prüffaktor der N-Platzierung ergab in beiden Versuchsjahren wie beim Biomasseertrag ein einheitliches Bild (Abb. 67 und Abb. 68). Zwar führte die Stickstoffgabe zu einem signifikant höheren N-Entzug gegenüber der Null-Variante, jedoch konnte zwischen den einzelnen Platzierungsformen kein signifikanter Einfluss auf den N-Entzug festgestellt werden.

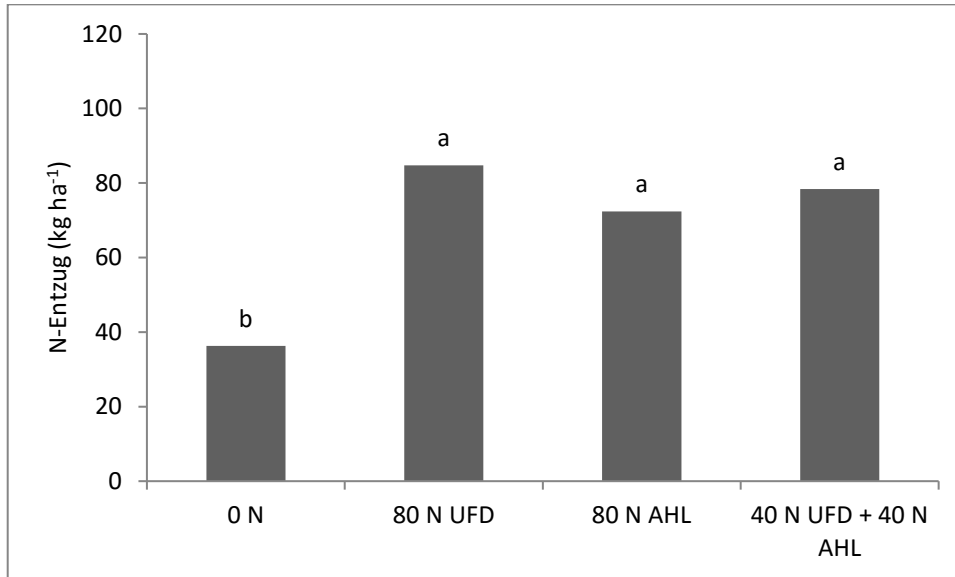


Abb. 67: Stickstoffentzug von Senf in der Direktsaat im Jahr 2011 in Abhängigkeit der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

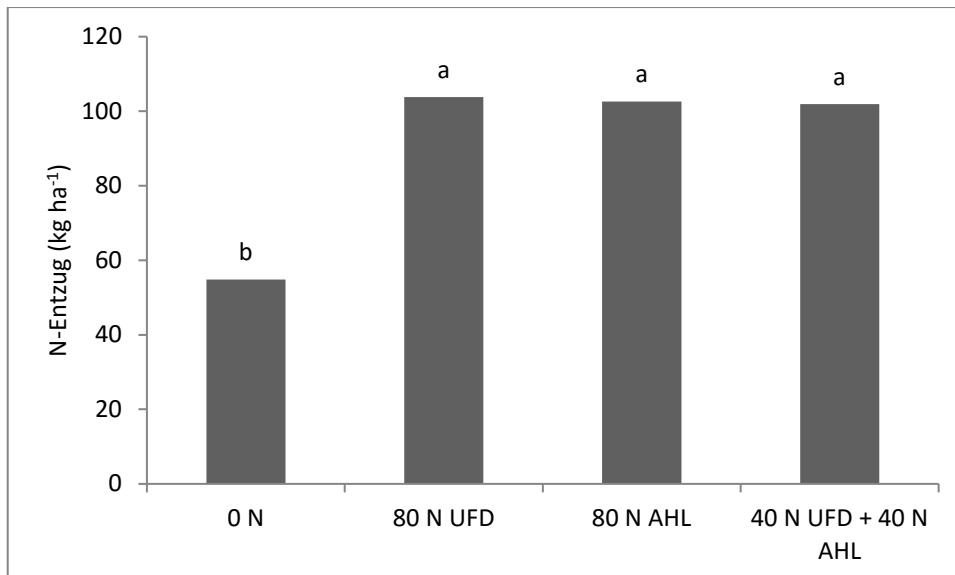


Abb. 68: Stickstoffentzug von Senf in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Strohbedeckung

Die zunehmende Intensivierung der Strohzerkleinerung führte in beiden Versuchsjahren bei den Mulchsaaten zu signifikant geringeren Strohbedeckungsgraden (Abb. 69 und Abb. 70).

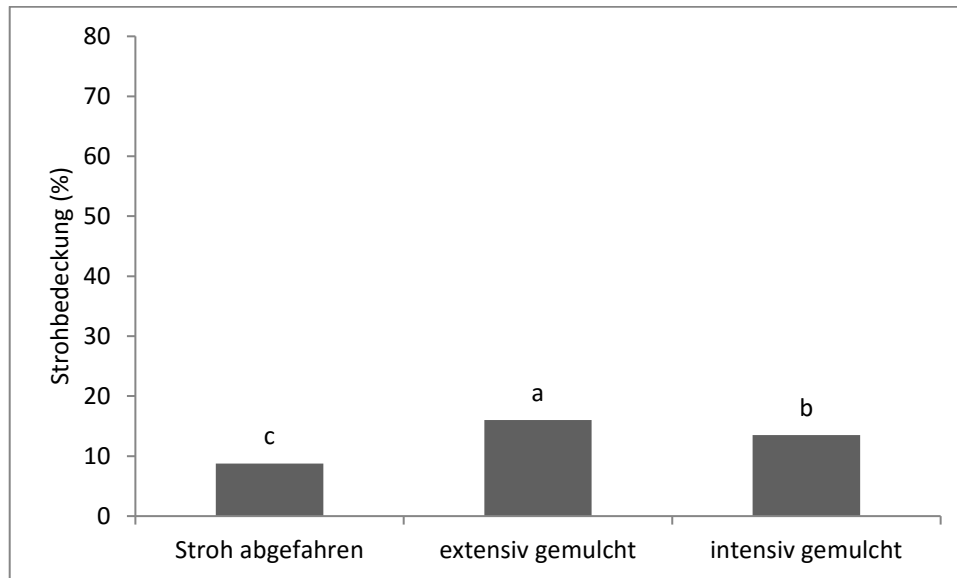


Abb. 69: Strohbedeckung zu Vegetationsbeginn in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

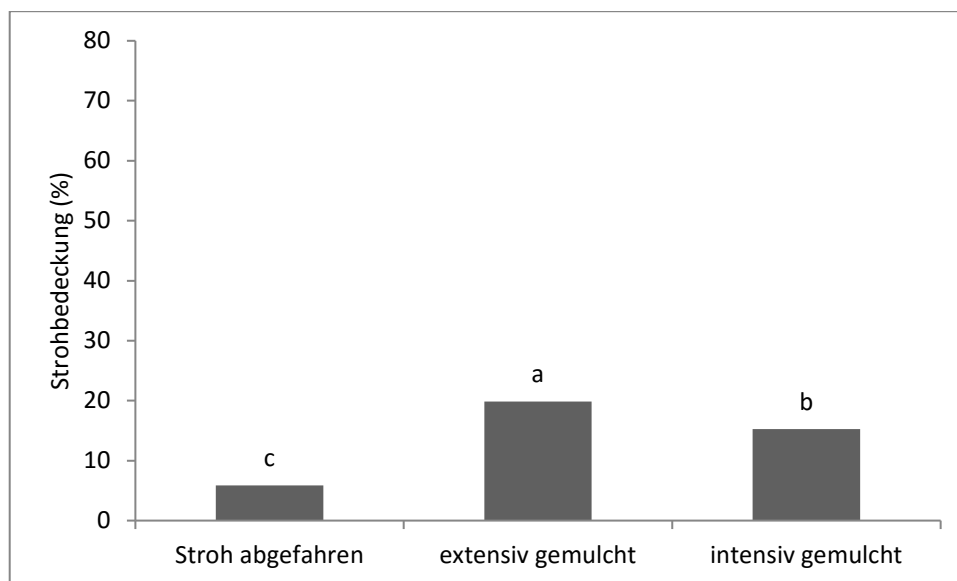


Abb. 70: Strohbedeckung zu Vegetationsbeginn in der Mulchsaat im Jahr 2013 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Im Bereich der Direktsaat konnte im Jahr 2012 eine Wechselwirkung zwischen der mechanischen Strohzerkleinerung und der Zugabe von mineralischem Stickstoff nachgewiesen werden (Abb. 71). Während die Zugabe von mineralischem N die Strohbedeckungs-

grade der Varianten „Stroh abgefahren“ und „extensiv gemulcht“ nicht signifikant beeinflusste, wurde bei der Kombination aus intensiver Strohzerkleinerung und der Zugabe von N ein signifikant geringerer Strohbedeckungsgrad festgestellt.

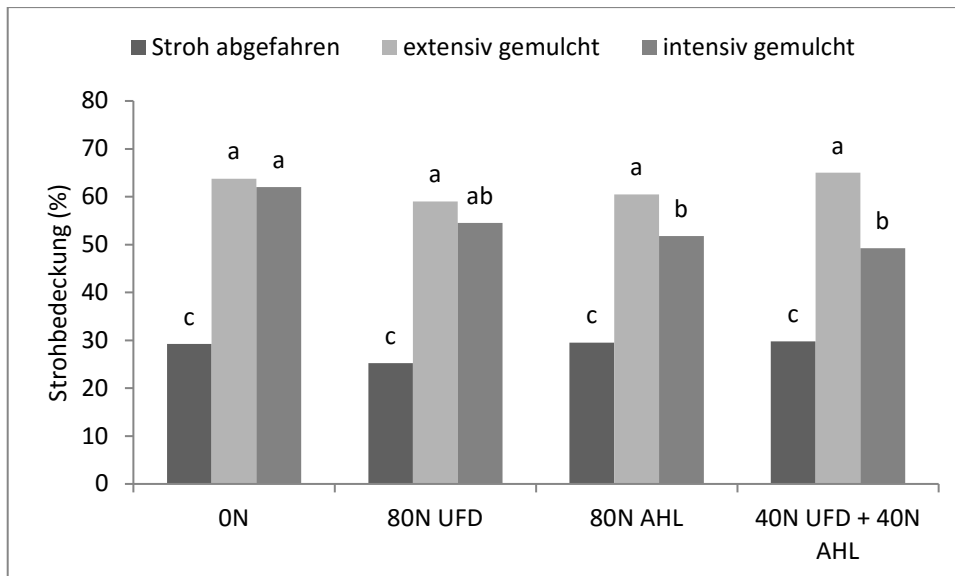


Abb. 71: Strohbedeckung zu Vegetationsbeginn in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung und der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Im Jahr 2013 konnte diese Wechselwirkung nicht beobachtet werden. Allerdings wurde in diesem Versuchsjahr wie auch bei den Mulchsaaten mit zunehmender Intensivierung der Strohzerkleinerung eine signifikant geringere Strohbedeckung der Parzellen festgestellt (Abb. 72).

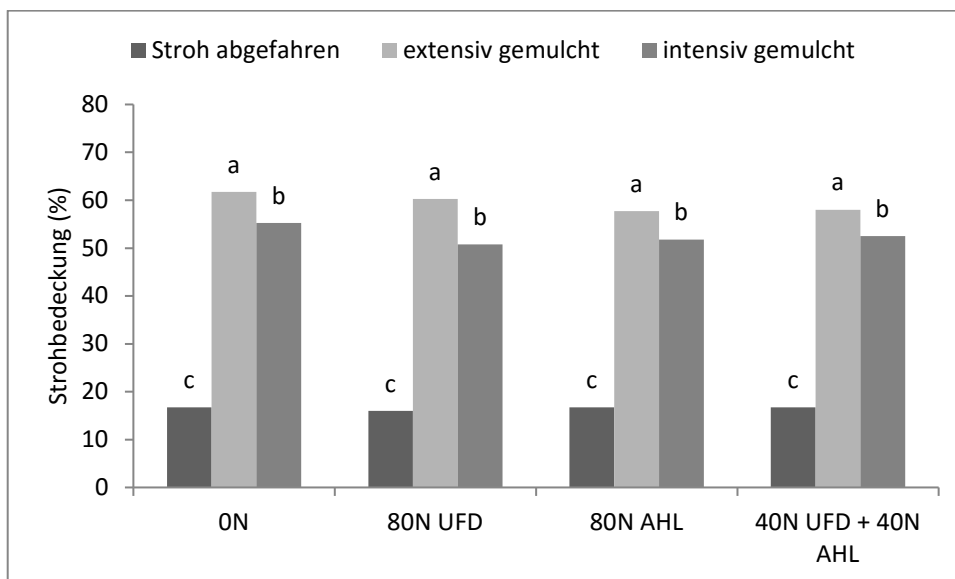


Abb. 72: Strohbedeckung zu Vegetationsbeginn in der Direktsaat im Jahr 2013 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung und der Stickstoff-Platzierung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Regenwurmaktivität

Sowohl für die Mulchsaaten als auch die Direktsaaten ergab sich über beide Versuchsjahre hinweg ein einheitliches Signifikanzniveau der Prüfglieder zueinander (Abb. 73 bis Abb. 76). Während der Verbleib der Erntereste auf der Fläche gegenüber einer Strohabfuhr in einer signifikant höheren Regenwurmaktivität resultierte, hatte eine unterschiedlich intensive Strohzerkleinerung keine Auswirkungen auf diesen Prüfparameter.

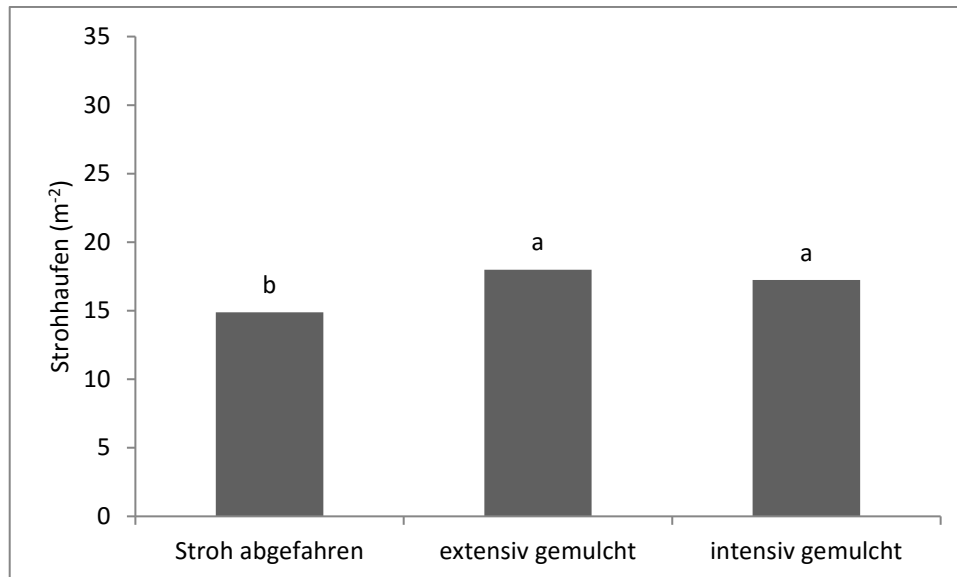


Abb. 73: Strohhaufen zu Vegetationsbeginn in der Mulchsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

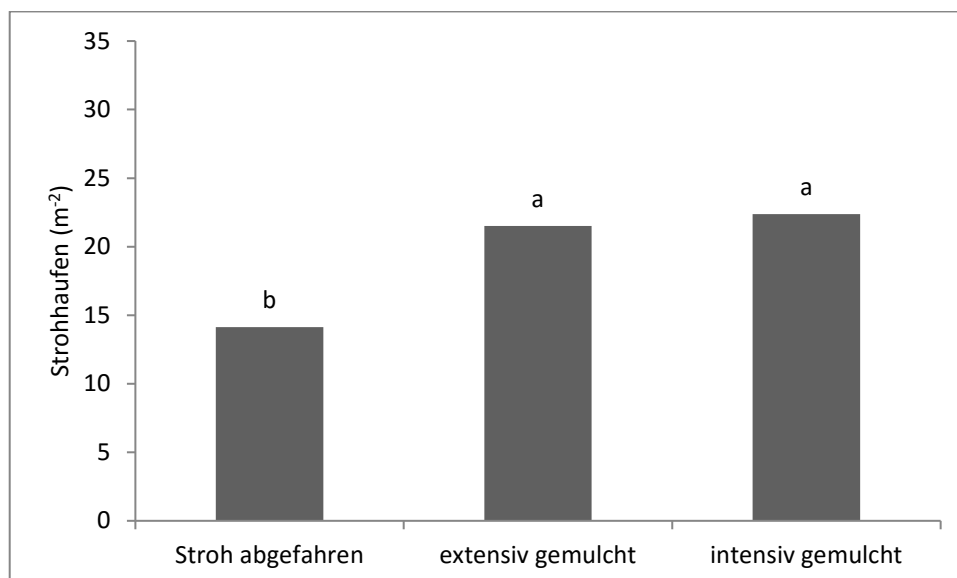


Abb. 74: Strohhaufen zu Vegetationsbeginn in der Mulchsaat im Jahr 2013 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

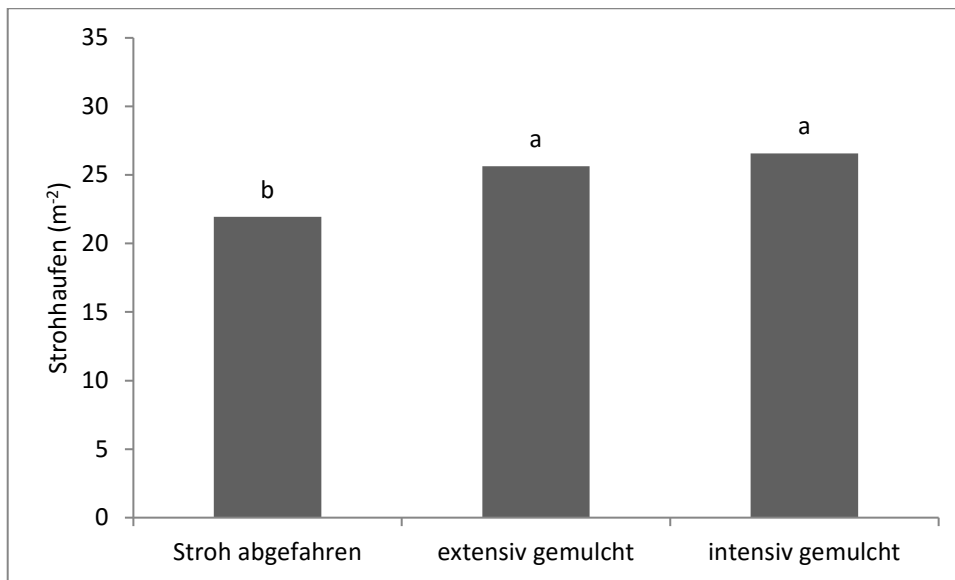


Abb. 75: Strohhaufen zu Vegetationsbeginn in der Direktsaat im Jahr 2012 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

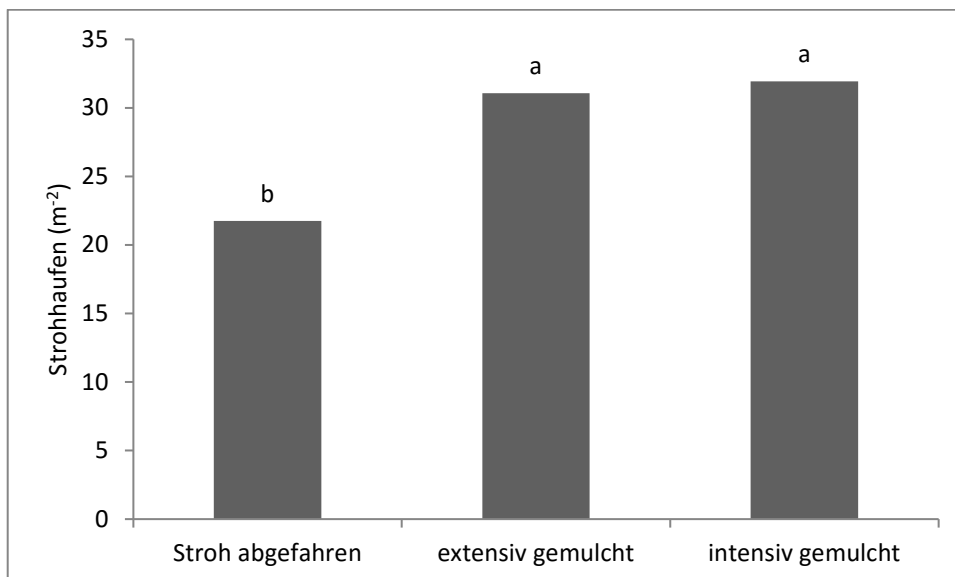


Abb. 76: Strohhaufen zu Vegetationsbeginn in der Direktsaat im Jahr 2013 in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey α : 0,05). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Klimakammerversuch Strohabbau

Die mechanische Strohzerkleinerung hatte im Klimakammerversuch keinen Einfluss auf die Biomasseveränderung der Regenwürmer (Abb. 77).

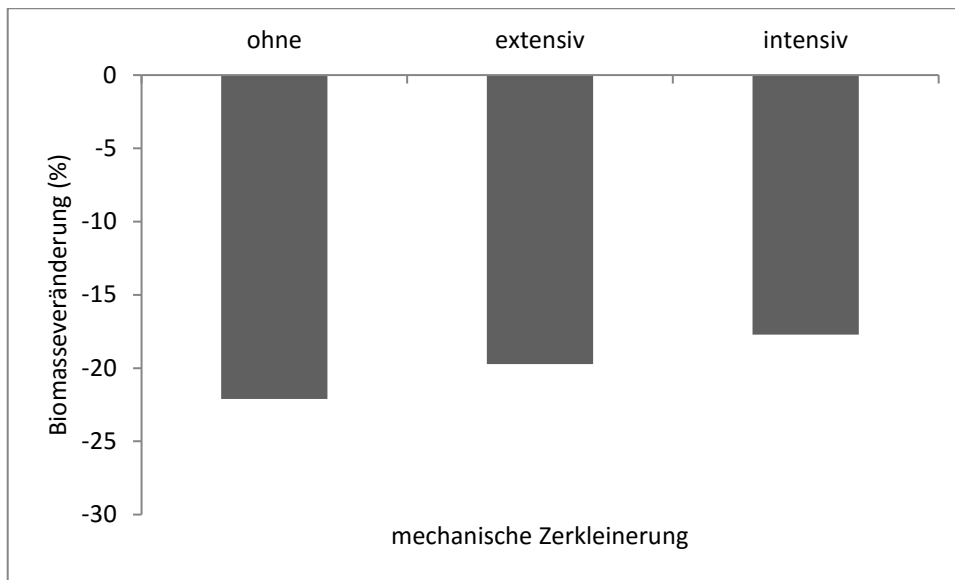


Abb. 77: Biomasseveränderung von Regenwürmern nach neun Wochen in Abhängigkeit der mechanischen Zerkleinerung von Winterweizenstroh (Tukey n.s.)

Dies gilt ebenfalls für die Zugabe von mineralischen Stickstoff (Abb. 78). Ein Einfluss der Stickstoffapplikation auf die Regenwurmbiomasse war nicht nachweisbar.

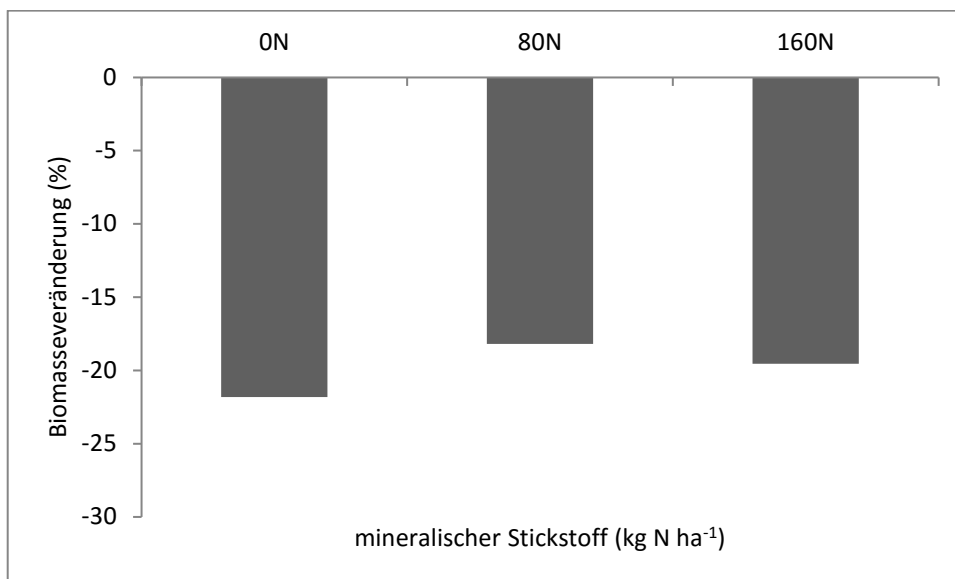


Abb. 78: Biomasseveränderung von Regenwürmern nach neun Wochen in Abhängigkeit der Zugabe von mineralischem Stickstoff (Tukey n.s.)

Für den Parameter Strohabbau konnte bei den Prüffaktoren signifikante Haupteffekte, jedoch keine signifikanten Wechselwirkungen nachgewiesen werden. Die mechanische Zerkleinerung des Weizenstrohs führte mit zunehmender Intensität zu signifikant höhe-

ren Strohabbauleistungen der ausgangs eingebrachten 7 g Trockenmasse je Gefäß (Abb. 79).

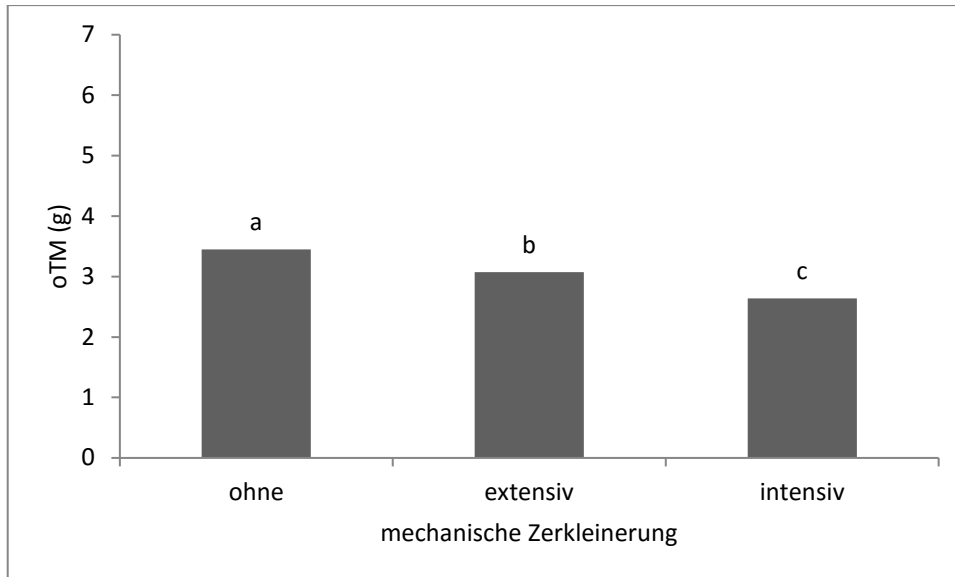


Abb. 79: Strohabbau von Winterweizenstroh ($t_0 = 7$ g TM) nach neun Wochen in Abhängigkeit der mechanischen Strohzerkleinerung (Tukey $\alpha: 0,05$). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Die Zugabe von mineralischem Stickstoff bewirkte ebenfalls einen signifikant stärkeren Strohabbau. Allerdings konnte bei einer Steigerung der N-Mengen von 80 kg ha^{-1} auf 160 kg ha^{-1} keine weitere Zunahme der Strohabbauleistung nachgewiesen werden (Abb. 80).

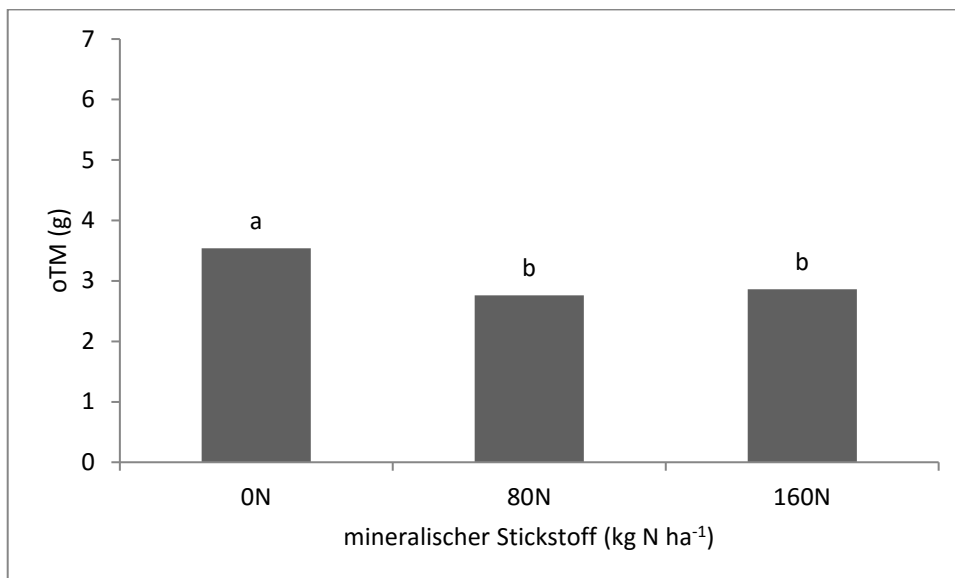


Abb. 80: Strohabbau von Winterweizenstroh ($t_0 = 7$ g TM) nach neun Wochen in Abhängigkeit der Zugabe von mineralischem Stickstoff (Tukey $\alpha: 0,05$)

4.3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Vorteile innovativer Bodenbewirtschaftungssysteme mit möglichst geringer Bodeneingriffsintensität und konstanter Bodenbedeckung (Treibhausgasreduktion, Erosionsschutz, Steigerung Bodenfruchtbarkeit) sind wissenschaftlich vielfach bewiesen und vielen Praktikern seit Langem bekannt. Vor dem Hintergrund der Arbeitswirtschaft und des Bodenschutzes rücken diese Systeme zunehmend in den Fokus landwirtschaftlicher Betriebe. Während sich die Mulchsaat in den meisten Betrieben mindestens zu einzelnen Kulturen zum Standard entwickelt hat, wird der vollkommene Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung zur Aussaat nur von wenigen Betrieben umgesetzt. Kontinuierliche Direktsaaten bilden vor allem auf Hohertragsstandorten die Ausnahme. Neben Problemen mit Mäusen und Schnecken ist es vor allem die Furcht vor Ertragseinbrüchen, die zur Ablehnung führt.

Auf produktiven Standorten sind viele der Probleme in den hohen Ernterestmengen der Vorfrucht begründet. Ebenso wie bei der Mulchsaat kommt dem Nacherntemanagement in Direktsaaten daher eine tragende Rolle zu. Sein Gelingen entscheidet oftmals darüber, ob die jeweilige Folgekultur adäquat in Direktsaat etabliert werden kann. Hohe und heterogen verteilte Ernterestmengen sowie kurze Anbaupausen zur Folgefrucht beeinflussen die folgende Kultur in aller Regel negativ. Begründet ist dies vor allem in der physikalischen Wirkung von Stroh im Saatbett (Graham et al. 1986; Voßhenrich 2001; Turley et al. 2003). Ungleichmäßig verteilte Erntereste erschweren eine exakte Saatgutablage, führen in der Regel zu unbefriedigenden Feldaufgängen und behindern dadurch eine optimale Bestandesentwicklung (Schulz et al. 2008). Mit zunehmender Extensivierung der Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat nehmen diese Problemfelder zu (Voßhenrich 2001).

Durch eine Systemanpassung des O-Betriebes im Rahmen der ersten Projektlaufzeit konnten die skizzierten Probleme bei Direktsaaten weitestgehend reduziert werden. Durch die Kombination aus spezieller Technik, aufgelockerter Fruchtfolge und angepasstem Nacherntemanagement konnten an beiden Versuchsstandorten ertragsstarke und konkurrenzstarke Bestände etabliert werden. Lediglich das seit dem Anbaujahr 2011/2012 beobachtete Anwachsen der Mäusepopulationen auf den Direktsaatflächen bleibt festzuhalten. Die Direktsaat wurde zusätzlich dahingehend angepasst, dass die Rapsaussaat ca. 10 Tage vor dem standorttypischen Termin erfolgt. Bereits im ersten Jahr nach der Umstellung konnten auf diese Weise positive Effekte erzielt werden.

Die Sätechnik am Standort Soest bedarf konstruktionsbedingt hoher Mulchauflagen. Sind diese nur unzureichend vorhanden, wie dies beispielsweise nach Vorfrucht Mais der Fall ist, arbeitet die Drillmaschine nicht zufriedenstellend. Durch verstärkte Bodenbewegung werden bereits gesäte Saatreihen mit zusätzlichem Boden bedeckt was zu unbefriedigenden Feldaufgängen führt. Optimierungsmöglichkeiten bestehen in der Konzeptionierung von Fruchtfolgesystemen mit möglichst konsequenter Mulchbedeckung zum Zeitpunkt der Aussaat. Einen dafür geeigneten Lösungsansatz stellt nach ersten Erkenntnissen die Integration einer Zwischenfrucht nach Kulturen, die zur Ernte komplett abgefahren werden (Futterpflanzen) dar, indem sie zum Zeitpunkt der Aussaat der Folgekultur für eine ausreichende Bedeckung des Bodens mit organischem Material sorgen. Die bei anderen Direktsaatetechniken zu beobachtenden Probleme mit hohen Mulchauflagen wie dem „Hairpinning-Effekt“ oder Verstopfungsproblemen konnten bei der Cross Slot-Technik erwartungsgemäß nicht beobachtet werden. Tendenziell problematische Strohauflagen werden durch die spezielle Schartechnik unterfahren und somit umgangen. Allerdings wirken lange Strohteile dahingehend negativ, da diese Bestandteile durch die Säaggregate aufgenommen und verschleppt werden. Eine beachtliche sowie punktuelle Anreicherung von Stroh ist das Ergebnis. Abhilfe schafft nach ersten Erkenntnissen die Zerkleinerung der langen Strohstoppeln mit einem Strohmulcher in einem zweiten Arbeitsgang nach dem Erntehochschnitt der Vorkultur. Die Kombination aus dem Hochschnittverfahren mit nachgeschaltetem Mulchgang sorgt zudem für eine bestmögliche Strohverteilung, welche besonders für das Gelingen von Direktsaaten essentiell ist. Sowohl aus arbeitswirtschaftlicher als auch finanzieller Sicht entsteht durch dieses absätziges Verfahren aus Getreidedrusch im Hochschnittverfahren mit einem zusätzlichen Mulchgang gegenüber einem Getreidedrusch mit kurzer Stoppel kein Nachteil (Klüßendorf-Feiffer, 2009). Die so angepasste Direktsaatetechnik am Standort Soest liefert mittlerweile gute Ergebnisse. Teilweise übertreffen mit der Cross Slot in Direktsaat bestellte Bestände die konventionellen Vergleichsbetriebe sogar im Ertrag (vgl. Kap. 3.1.1). In diesem Zusammenhang ist allerdings zu erwähnen, dass alle im O-Betrieb etablierten Winterungen im Zuge der Aussaat eine Unterfußdüngung in Form eines stabilisierten Mehrnährstoffdüngers erhalten. Eine mittlerweile nochmals verbesserte Tragfähigkeit der Flächen bietet in Verbindung mit einem an diese Betriebsform angepasstem Nacherntemanagement gute Voraussetzungen für den Einsatz der speziellen Direktsaatetechnik. Durch die Integration eines Zwi-

schenfruchtgemenges nach der Ernte des GPS-Roggens konnten zudem die bisherigen Aussaatschwierigkeiten im Winterraps beseitigt werden. Die Erkenntnis, dass sich viele Aussaatprobleme durch das Vorhandensein einer Mulchauflage vermeiden lassen, wurde bestätigt.

Ebenfalls eine Verbesserung der Direktsaat konnte durch eine Anpassung des Ackerbohnenanbaus erreicht werden. Mit Hilfe einer Untersaat aus Dt. Weidelgras im vorhergehenden Winterweizenanbau wird die Verunkrautung in den Ackerbohnen zurück gedrängt. Zudem bietet die geschlossene Grasnarbe zwischen den beiden Hauptkulturen einen effektiven Erosionsschutz und verhindert erhöhte Nitratauswaschungen über die Wintermonate. Durch die Anlage des Exaktversuches zum Nacherntemanagement (vgl. Kap. 3.1.4) konnten zudem Lösungsansätze in Bezug auf den Umgang mit Ernteresten unter Bedingungen des Ausschlusses jeglicher Bodenbearbeitung herausgearbeitet werden.

Die in diesem Zusammenhang erfassten Strohbedeckungsgrade zeigen für den O-Betrieb an beiden Standorten über die komplette erste Projektlaufzeit hinweg höhere Bedeckungsgrade als in den beiden Referenzbetrieben. Diese Strohbedeckung führt im O-Betrieb dazu, dass die Flächen bis zum Bestandesschluss der Folgekultur im Frühjahr effektiv vor Erosion und zum Teil vor Verunkrautung geschützt sind. Im M- und V-Betrieb fehlen diese Bedeckungsgrade mit einigen geringen Ausnahmen in den Mulchsaaten gänzlich. Zum Zeitpunkt der Ernte der Folgekultur konnten hingegen auch im O-Betrieb nur noch geringe Ernterückstände der Vorfrucht nachgewiesen werden, was für die hohe biologische Einarbeitung der Ernterückstände und somit verminderten phytosanitären Gefahr für die aktuell angebaute Frucht spricht.

Ebenfalls höhere Werte im O-Betrieb als im M- und V-Betrieb wurden bei der Regenwurmaktivität festgestellt. Diese ist in der Direktsaat um ein Vielfaches höher als in den beiden Referenzbetrieben und führt zu einer hohen Bioturbation und somit biologischen Einarbeitung der Erntereste zu einem für den Erosionsschutz günstigen Zeitpunkt, wenn der Bestandesschluss der Folgekultur erreicht ist.

Weiterer Verbesserungsbedarf besteht im Bereich der Maisaussaat. Eine Möglichkeit stellt eine Einzelkornsaat in Verbindung mit dem Strip Till-Verfahren dar. In wie weit dieses System die gewünschten Erfolge realisieren kann und ob es die im Projekt geforderten Voraussetzungen erfüllt, ist zu prüfen. Hintergrund ist die Möglichkeit der Umsetzung

eines absätzigen Verfahrens zum Ausbringen organischer Düngemittel und der Aussaat. Im ersten Arbeitsschritt erfolgt eine krumentiefe Lockerung des zukünftigen Saathorizontes bei gleichzeitiger, verlustarmer, Einbringung organischer Düngemittel in den Boden. Im zweiten Arbeitsgang erfolgt die Aussaat von Mais in diesen gelockerten und mit Nährstoffen angereicherten Bereich. Die Umsetzung dieses Verfahrens forciert die Erfüllung eines der zentralen Ziele des Projektes, die Emissionen landwirtschaftlicher Produktion weiter zu reduzieren und dem optimierten Klimabetrieb in zunehmendem Maße zu entsprechen.

Exaktversuch Nacherntemanagement

Durch die Anpassung des Nacherntemanagements war es möglich, selbst unter schwierigen Bedingungen (große Ernterestmengen, kurze Anbaupause zur Folgefrucht) Feinsämereien (*Sinapis alba* L.) erfolgreich in Direktsaat zu etablieren und ertragsmäßig an die Bestände der Mulchsaaten mit Bodenbearbeitung heranzuführen. Wichtige Erkenntnisse sind, dass sich durch die Zerkleinerung der Ernterückstände in einem dem Drusch nachgeschalteten Arbeitsgang viele der negativen Faktoren (schlechter Feldaufgang, Ertragsdepression, verstärkter Mäusebefall) ausschalten lassen. So ist dieser Arbeitsschritt mittlerweile als Standard in die Großparzellen integriert. Gleichzeitig können die mit den Ernteresten verbundenen positiven Effekte genutzt werden. Die Zerkleinerungsintensität sollte sich dabei allerdings nach der nachfolgenden Technik richten und so intensiv wie nötig und so extensiv wie möglich erfolgen. Die variierte Platzierung von Stickstoff hatte keine Auswirkung auf den Biomasseertrag. Diese Maßnahme sollte sich nach ersten Erkenntnissen an ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten orientieren und nach der Prämisse möglichst hoher Effizienz bei möglichst geringen Verlusten des Stickstoffs erfolgen. Für den O-Betrieb ist somit die Unterfußdüngung zu favorisieren, um durch die Ausnutzung der vorhandenen technischen Möglichkeiten eine Optimierung des Systems zu erreichen.

Klimakammerversuch

Der Klimakammerversuch brachte nützliche Erkenntnisse für das Gesamtprojekt. Mit einer zunehmenden mechanischen Zerkleinerung der organischen Ernterückstände, werden diese im Boden schneller zersetzt. Im Freiland konnte dieser Vorgang ebenfalls beo-

bachtet werden, allerdings mit einer für praktische Verhältnisse zu vernachlässigenden Bedeutung. Relevant war lediglich, dass eine mechanische Zerkleinerung erfolgte um die technische Einsatzsicherheit der folgenden Arbeitsgänge zu gewährleisten, jedoch nicht die Intensität dieser Maßnahme. Ebenfalls nachweisbar war die Wirkung von Stickstoff auf den Strohabbau. Von Bedeutung ist die Erkenntnis, dass sich unter den Versuchsbedingungen mit einem Bodensubstrat eines Hohertragsstandortes keine Effekte bei der Steigerung der N-Mengen von 80 auf 160 kg / ha ergaben. Lediglich die Stickstoffzugabe als solche hatte eine strohabbauende Wirkung. Aber auch diese konnte im Freiland mit nur mäßigen Effekten beobachtet werden, so dass eine Stickstoffgabe zum reinen Zweck der Strohrotte, ohne die Bemessung pflanzenbaulicher Gesichtspunkte der Folgefrucht, unter vergleichbaren – hier allerdings auch besonders günstigen - Standortbedingungen nicht zu empfehlen ist. Eine Stickstoffgabe rein zum Zweck der Strohrotte muss aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten daher standortspezifisch kritisch hinterfragt werden.

4.4 Fazit Bodenbewirtschaftung

Das Ziel der Entwicklung stabiler Direktsaatverfahren zur Etablierung der Pflanzenbestände im Teilprojekt Bodenbewirtschaftung konnte innerhalb der ersten Projektlaufzeit realisiert werden. Mit Ausnahme von Silomais ist man an beiden Versuchsstandorten in der Lage, leistungsstarke und konkurrenzfähige Bestände ohne vorherige Bodenbearbeitung zu etablieren. Durch eine Anpassung der Direktsaaten in den Bereichen Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau und Nacherntemanagement hat die Direktsaat mittlerweile ein hohes Maß an Einsatzsicherheit erreicht. Lediglich der Maisanbau muss durch eine weitere Integration innovativer Anbauverfahren, wie dem Strip-Till-Verfahren, auf das Ertragsniveau eingriffsintensiverer Bestellverfahren gehoben werden. Ein weiteres Ziel des Teilprojektes Bodenbewirtschaftung, der effektive Einsatz von Gärresten, konnte in der ersten Projektphase hingegen nicht zufriedenstellend erreicht werden. Der bisherige Stand der Technik in der Direktsaat, die Gärrestausbringung mittels Schleppschläuchen ohne nachfolgende Einarbeitung der Substrate, ist durch hohe Verluste gasförmiger Natur gekennzeichnet. Abhilfe könnte auch in diesem Fall der Einsatz des Strip-Till-Verfahrens und somit einer Unterflurapplikation der Gärreste sein, ohne die Direktsaat durch eine ganzflä-

chige Bodenbearbeitung zu gefährden. Die Frage nach dem optimalen Nacherntemanagement für Direktsaaten auf Hohertragsstandorten konnte dahingehend geklärt werden, dass es sich auf den geprüften Versuchsstandorten empfiehlt, einen Hochschnitt mit nachgeschaltetem Mulchgang zu praktizieren. Die durch den Hochschnitt erreichte Strohverteilung ist mit keinem anderen Verfahren zu realisieren und ist besonders in Direktsaaten mit großen Mengen an Ernterückständen essentiell für das Gelingen solcher Bewirtschaftungssysteme. Die nachfolgende Zerkleinerung der Erntereste ermöglicht einen störfreien Aussaatprozess und fördert zudem den Umsatz durch Regenwürmer und senkt die Gefahr eines Schädlingsbefalls durch die Beseitigung von Hohlräumen und die Reduktion des Querschnitts der Erntereste. Zudem konnte festgestellt werden, dass diese Zerkleinerung nur extensiv erfolgen muss um ihre Wirkung zu entfalten. Sie steht somit energetisch und aus Sicht der Arbeitswirtschaft den praxisüblichen Verfahren in Nichts nach. Die Ausbringung von Stickstoff lediglich zum Zweck der Strohrotte hat sich unter praktischen Bedingungen hingegen als weniger tauglich erwiesen. Die Maßnahme der N-Düngung unmittelbar nach der Ernte der Vorfrucht sollte sich lediglich am Bedarf der Folgekultur orientieren und erfolgen, wenn sie pflanzenbauliche Vorteile bei der Folgekultur bietet. Sollte es in der folgenden Projektlaufzeit gelingen, die genannten Probleme bei der Gärrestdüngung zu beheben, das Ertragsniveau der Maisbestände auf das der übrigen Kulturen zu heben sowie alle Früchte auf diesem Ertragsniveau zu halten, kann von einer erfolgreichen und praktikablen Direktsaat gesprochen werden.

5 Teilprojekt Ökobilanzierung

5.1 Material und Methoden

Zur Erstellung der Ökobilanzen wird die schweizerische Berechnungsmethode SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) eingesetzt. Diese ist speziell für landwirtschaftliche Produktionssysteme entwickelt worden und auf dem wissenschaftlichen Hintergrund einer Lebenszyklusanalyse (nach der EN ISO 14040 und 14044) aufgebaut (ART, 2011; Bockstaller et al. 2006). Neben einer breiten Abdeckung vieler Produktionszweige und –faktoren bietet SALCA den Vorteil, vor allem die mit der Düngemittelproduktion verbundenen Umweltwirkungen gut zu berücksichtigen. Es ist besonders für den Vergleich von Produktionsverfahren geeignet (Bockstaller et al. 2006). SALCA greift auf eine umfangreiche Datenbank zurück (ecoinvent-Datenbank Version 2.2 (ecoinvent Centre 2010)), die stetig aktualisiert und mit weiteren Ökoinventaren ergänzt wird. SALCA besteht wiederum aus mehreren Tools, um die komplexen Parameter des pflanzenbaulichen Managements mit seinen vielen verschiedenen Parametern (Dünger, Pflanzenschutzmittel, Ausbringzeitpunkt etc.) abzubilden. Diese Tools sind in einer Kombination von EXCEL-Tabellen, Macros und der Standard LCA-Software SimaPro (Version 7) zusammengesetzt. Die Module berechnen die direkten Emissionen wie Nitratauswaschung, Erosion und andere Feldemissionen. Im nächsten Schritt werden diese berechneten direkten Emissionen und die weiteren erforderlichen Input-Daten an die LCA Software SimaPro weitergegeben. SimaPro berechnet ein weiteres Inventar (LCI) und führt daraus die Wirkungsabschätzung durch (Nemecek et al. 2010). Zur Erstellung des Produktionsinventars sind parzellen- und standortbeschreibende Parameter erforderlich. Dazu zählen zum Beispiel Winterniederschläge, Vegetationszeit, Bodeneigenschaften und Nährstoffgehalte. Ebenfalls von großer Bedeutung ist die Bestandesführung während des gesamten Jahres. Darunter fallen Aussaatzeitpunkt, Aussaattechnik, Bodenbearbeitungen, Behandlungsmaßnahmen, Pflanzenschutzaufwand und Düngungsmaßnahmen.

Die Grundsätze einer Ökobilanz setzen sich aus 4 Phasen zusammen (ISO, 2006a; ISO, 2006b):

1. Zieldefinition und Festlegung des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

Der Untersuchungsrahmen dieser Studie ist auf Ackerbauregionen in Deutschland beschränkt und wird durch zwei klimatisch unterschiedliche Standorte (Braunschweig: trocken, Soest: feucht) beispielhaft dargestellt. Es wird die landwirtschaftliche Primärproduktion im Ackerbau mit deren Vorketten einbezogen. Die nachfolgende Nahrungsmittelverarbeitung bleibt außerhalb des Untersuchungsrahmens, da einerseits die landwirtschaftliche Produktion und nicht die Verarbeitung betrachtet wird und andererseits die landwirtschaftliche Produktion diese Verarbeitung kaum beeinflusst. Abb. 81 zeigt die für diese Studie festgelegte Systemgrenze.

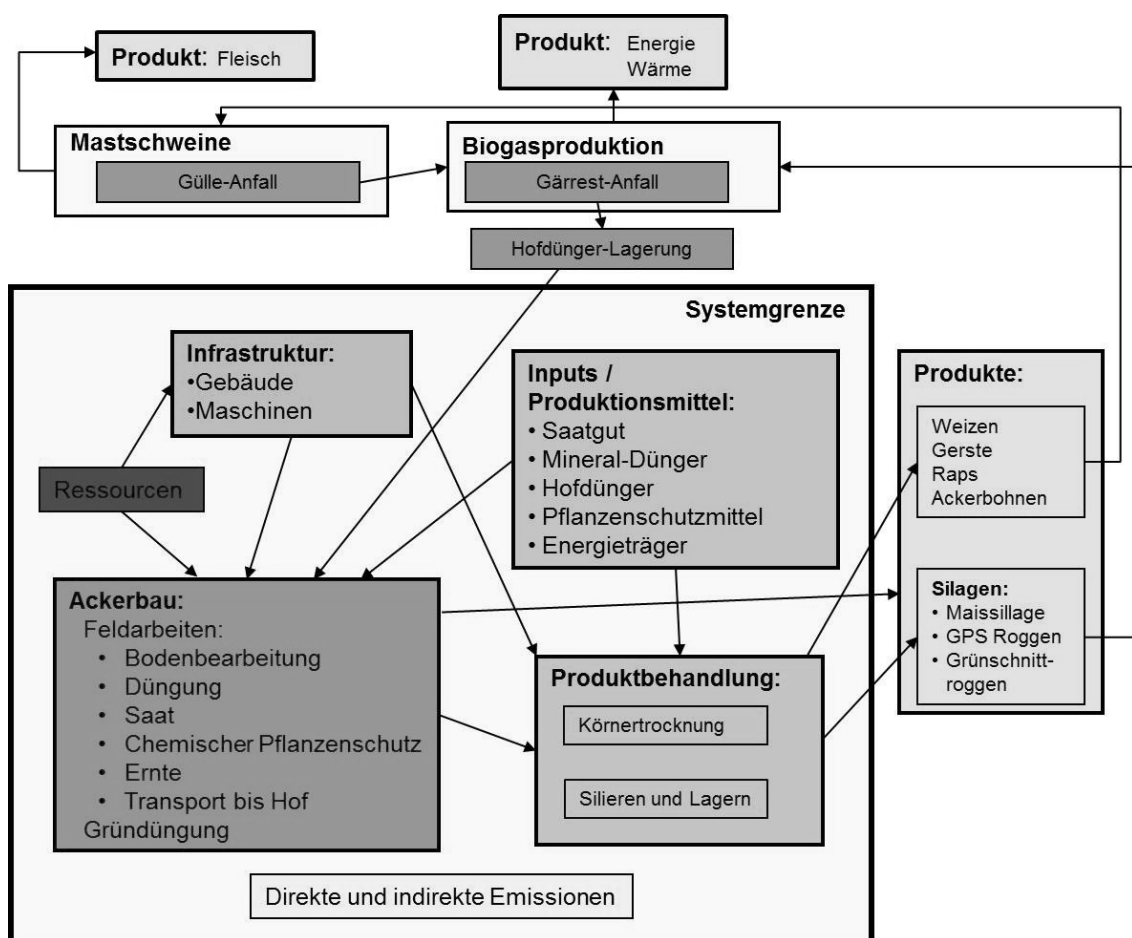


Abb. 81: Systemgrenze für die Analyse der Anbauvarianten

Aufgrund der Fragestellung werden diejenigen Prozesse für die Bilanz mit einbezogen, die zur Herstellung eines lagerungsfähigen Produktes notwendig sind. Das heißt die benötigte Infrastruktur, alle Inputs und anfallenden Arbeiten, die dabei entstehenden Emissionen, sowie die anfallenden Produkte. Die Körnertrocknung und auch Einsilierung von Mais und Roggen liegen ebenfalls innerhalb der Systemgrenze. Die Betriebszweige Biogasanlage

und Mastschweine liegen aufgrund der pflanzenbaulichen Fragestellung außerhalb der Systemgrenze und werden nicht betrachtet. Die Betrachtung der Hofdüngerlagerung (Mastschweinegülle und Gärrückstände) kommt eine besondere Bedeutung zu. Da die Mastschweinegülle als Substrat für die Biogasanlage dient, wird für diese keine Lagerung berücksichtigt. Die Lagerung der Gärrückstände ist eine Schnittstelle zwischen dem Betriebszweig Biogasanlage und Pflanzenbau und kann sowohl Bestandteil der Biogasproduktion sein als auch des pflanzenbaulichen Systems. In dieser Studie wird die Lagerung außerhalb der Systemgrenze gelegt, da es als Abfallprodukt der Biogasproduktion zu sehen und somit dem Betriebszweig der Biogasanlage zuzuordnen ist. Der Bilanzierungszeitraum bezieht sich auf eine Fruchtfolge und beginnt nach Ernte der Vorfrucht und endet mit der Ernte der letzten Kultur der Fruchtfolge.

Die Untersuchung erfolgt auf Ebene des gesamten Anbausystems / Fruchtfolge. Für den Vergleich der verschiedenen Betriebe werden die Umweltwirkungen auf zwei Bezugsgrößen (funktionelle Einheiten) bilanziert. Zum einen die Funktion Landbewirtschaftung und zum anderen die produktive Funktion. Die Funktion Landbewirtschaftung wird gemessen anhand der Flächennutzung über einen bestimmten Zeitraum und hat das Ziel eine Flächeneinheit mit möglichst geringer Umweltlast zu bewirtschaften. Die funktionelle Einheit ist somit Hektar und Jahr ($\text{ha} \cdot \text{a}^{-1}$). Der Landwirtschaft als Erzeuger von Nahrungsmitteln kommt aber auch eine weitere Funktion zu. Bei der produktbezogenen Betrachtung liegt das Ziel auf der Erzeugung einer Produkteinheit mit möglichst geringer Umweltlast. In den untersuchten Fruchtfolgen werden sowohl Getreide als auch Substrate für die Biogasanlage und Futtermittel produziert. Zum Vergleich der Betriebe je Produkteinheit werden die ermittelten Erträge nach dem Schlüssel von Schulze Mönking und Klapp (2010) in Getreideeinheiten (GE) umgerechnet.

Um in dieser Studie die Arbeitsprozesse „Säen“ differenziert nach Direktsaat, Mulchsaat, konventioneller Saat zu betrachten, werden diese gesondert im Produktionsinventar aufgenommen und basieren nicht auf der ecoinvent-Datenbank, sondern aus eigener Berechnung (nach ecoinvent, Nemecek und Kägi, 2007) auf Grundlage von KTBL-Daten bzw. eigenen Abschätzung zum Kraftstoffverbrauch und Arbeitszeitbedarf der Direktsaatmaschine Cross Slot. Zur Berechnung der direkten Feld- und Hofemissionen werden verschiedene Modelle angewandt, die in Tab. 20 zusammengefasst sind. Diese Modelle sind im Berechnungswerkzeug „SALCAcrop“ eingebunden. Anschließend erfolgt die Abschät-

zung der Umweltwirkungen mit der Ökobilanz-Software SimaPro (Version 7.3 von PRÉ Consultants bv, Niederlande).

Tab. 20: Berechnungsgrundlage für die Berechnung der Direkten Feldemissionen für die Ökobilanzierung

Emission	Beschreibung	Quelle
Ammoniak (NH ₃)	Beinhaltet Art des Düngers, Klima, Zeitpunkt und Technik der Ausbringung	Menzi et al. (1997)
Lachgas (N ₂ O)	Direkte und Indirekte Emissionen	IPCC (2006)
Nitrat (NO ₃ ⁻)	Monatliche Bilanz, Berücksichtigung von Kultur, Aussaat- und Erntedaten, Bodenbearbeitung, Zeitpunkt und Menge der N-Düngung	Richner et al. (2011)
Phosphor (P, PO ₄)	Beinhaltet Erosion, Abschwemmung, und Auswaschung, Berücksichtigung P-Düngung, Bodeneigenschaften, Topographie	Prasuhn (2006)
Schwermetalle (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)	Berücksichtigt Inputs, Erträge, Auswaschung, Erosion und Änderungen der Bodenkonzentration	Freiermuth (2006)
Methan (CH ₄)	Fermentation und Güllemaangement	IPCC (2006)

Aus den Daten der Sachbilanz von direkten Emissionen und weiteren Parametern wird mittels SimaPro ein weiteres Inventar erstellt und daraus die Wirkungsabschätzungen berechnet. Die dabei betrachteten Umweltwirkungen sind in Tab. 21 zusammengefasst. Die Auswahl betrifft Schutzgüter, die durch die landwirtschaftliche Produktion betroffen sind. Darunter fallen Ressourcen, Klima, Qualität der Ökosysteme und die menschliche Gesundheit.

Tab. 21: Berechnungsgrundlage der Wirkungskategorien für die Ökobilanzierung

Wirkungskategorie	Quelle / Referenz	Anmerkung
Bedarf an nicht erneuerbarer Energie	Frischknecht et al. (2007)	Fossile und nukleare Energiequellen
Treibhauspotential (über 100 Jahre)	IPCC (2007)	
Ozonbildungspotential	EDIP2003 (Hauschild und Potting (2005))	
Eutrophierungspotential	EDIP2003 (Hauschild und Potting (2005))	
Versauerungspotential	EDIP2003 (Hauschild und Potting (2005))	
Aquatische und terrestrische Ökotoxizität, Humantoxizität	CML01 (Guinée et al. 2001)	Ergänzt mit Charakterisierungsfaktoren für etwa 400 Wirkstoffen von PSM

Nicht betrachtete Umweltwirkungen sind unter anderem die C-Sequestrierung auf das Treibhauspotential, Geruch und Lärm. Für die Wirkungskategorien Biodiversität und Bodenqualität stehen gesonderte SALCA-Modelle zur Verfügung, siehe auch Tab. 138 im Anhang.

5.2 Ergebnisse

Für die Erntejahre 2012 und 2013 wurden mittels der Ökobilanzmethode SALCA verschiedene Umweltwirkungen der beschriebenen Anbausysteme ermittelt. In Tab. 22 und Tab. 23 ist eine Übersicht der eingegeben Standortparametern und Produktionsdaten zur Erstellung der Sachbilanz zusammengestellt.

Tab. 22: Übersicht der wichtigsten Standort- und Produktionskennzahlen 2012 zur Berechnung mit der Ökobilanzmethode SALCA

Standort:	Soest			Braunschweig		
	M	V	O	M	V	O
Klimatyp	feucht			trocken		
Winterniederschlag, mm	376 (2012) / 335 (2013)			317 (2012) / 262 (2013)		
Bodenart	Schluff (Ut3)			Lehm/Ton (Lu/Tu3)		
Tongehalt, %	12			30		
Humusgehalt, %	2,24			2,76		
pH-Wert	6,8			7,1		
Dichte des Bodens, kg*m ³⁻¹	1484			1450		
Gründigkeit, cm	85			60		
P-Versorgungs-kategorie	3			3		
Produktionskennzahlen, je ha und Jahr						
Ertrag*, dt TM (absolut)	71	165	125	63	121	111
Ertrag, GE	89	165	127	79	123	112
Düngung:						
kg N _{total}	165	257	249	155	303	251
kg N _{löslich}	165	177	180	155	236	189
kg N aus Mineraldünger	165	58	76	155	135	95
m ³ Gülle	-	37	32	-	32	29

* Mittel des geernteten Aufwuchses

Tab. 23: Produktionskennzahlen, Erntejahr 2013

	Soest			Braunschweig		
	M	V	O	M	V	O
Produktionskennzahlen, je ha und Jahr						
Ertrag*, dt TM (absolut)	82	142	118	69	81	82
Ertrag, GE	102	147	122	86	90	87
Düngung:						
kg N _{total}	186	183	208	177	217	184
kg N _{löslich}	186	138	157	177	162	134
kg N aus Mineraldünger	186	70	80	177	76	59
m ³ Gülle	-	21	24	-	27	23

* Mittel des geernteten Aufwuchses

Die in Tab. 22 aufgelisteten Standortfaktoren spielen für die Interpretation der Ergebnisse aus der Ökobilanzierung eine Rolle. Vor allem sind die Menge und Form des eingesetzten Mineraldüngers sowie die Ausbringtechnik des organischen Düngers von Bedeutung (vgl. Tab. 22 und Tab. 23). In Braunschweig wurde im Jahr 2011/2012 überwiegend Harnstoffdünger eingesetzt und im darauffolgenden Jahr Kalkammonsalpeter (KAS), Schwefelsaures Ammoniak (ssA) und Harnstoff. In Soest wurde in beiden Jahren als Mineraldünger Ammoniumharnstoff (AHL) ausgebracht. Zu berücksichtigen ist auch die Anwendung des Mehrnährstoffdüngers (NPK Novatec Classic) als Unterfußdünger zur Aussaat der Raps- und Getreidekulturen im O-Betrieb am Standort Soest. Der Mais in allen Betrieben erhielt eine Unterfußdüngung mit DAP. Für alle Betriebe wurde eine entsprechende Grundnährstoffdüngung, wenn nicht über Gülle und UFD (NPK bzw. DAP) abgedeckt, angenommen. Die Gärreste wurden an beiden Standorten über Schleppschlauchverteiler auf den Flächen ausgebracht. Um die sehr unterschiedlichen Fruchtfolgen und Ernteprodukte (Korn und Ganzpflanzen) besser miteinander zu vergleichen, wurden die erzielten Hektar-Erträge der jeweiligen Jahre auf Getreideeinheiten (GE) nach Schulze Mönking und Klapp (2010) umgerechnet. Hier zeigt sich ein deutlicher Unterschied der Fruchtfolgegestaltung der Betriebe. Die Betriebe mit Ganzpflanzen und Zweinutzung erzielen pro Jahr höhere GE-Erträge als die Marktfruchtbetriebe, die mit dem Raps nur geringe GE-Erträge erzielen. Im Jahr 2012 lagen die Erträge des Silomais, Standort Soest, im O-Betrieb deutlich unter dem des V-Betriebs, auch im Jahr 2013 konnte der Silomais aus der Direktsaat nicht an den der Mulchsaatvariante anknüpfen. Bei den SM-Erträgen am Standort Braunschweig und allen anderen Kulturen an beiden Standorten lassen sich keine so deutlichen Unter-

schiede zwischen Direkt-, Mulch- und Pflugsaat aufzeigen. Weiter ist zu berücksichtigen, dass 2013 kein Grünroggen geerntet worden ist.

Treibhauspotentiale

In Abb. 82 sind die flächen- und produktbezogenen Treibhauspotentiale für das Erntejahr 2012 und 2013 dargestellt. Im Jahr 2012 sind die Differenzen zwischen allen Betrieben je Hektar mit Ausnahme des V-Betriebs auf dem Braunschweiger Standort nur gering. Hauptursache bei allen Betrieben sind die N₂O-Emissionen aus den direkten Feldemissionen und die indirekten CO₂-Emissionen aus Maschinennutzung, Düngemittelbereitstellung und Silierung. Der Grund für die höheren Emissionen im BS-V-Betrieb ist auf das hohe N-Düngungsniveau zurückzuführen, welches zu hohen direkten Feldemissionen, vor allem von N₂O, führt. In diesem Betrieb wurde neben den Gärresten zusätzlich eine große Menge Stickstoff über Mineraldünger ausgebracht, so dass es zusätzlich zu den hohen direkten Feldemissionen zu indirekten Emissionen im Bereich der Düngemittelbereitstellung kommt, woraus insgesamt in ein hohes Treibhauspotential resultiert. Die anderen güllegedüngten Betriebe (BS-O, SO-O, SO-V) können durch den geringeren Einsatz von Mineraldünger zwar indirekte Emissionen vermeiden, dafür kommt es aber zu hohen direkten Emissionen. Für die direkte Lachgasemissionen, ist die insgesamt ausgebrachte N-Menge von Bedeutung (N-Anrechenbarkeit der Gärreste mit 60% angenommen). Am Standort Soest sind für den V- und den O-Betrieb ähnlich hohe Stickstoffmengen ausgebracht worden. Hier schneidet trotz der leicht höheren ausgebrachten N-Menge der V-Betrieb besser ab als der O-Betrieb. Dies liegt an dem geringeren Einsatz von Mineraldünger und an der Mineraldüngerform. Durch den Einsatz des NPK-Düngers im O-Betrieb zeigen sich höhere indirekte Lachgasemissionen aufgrund des höheren Energieaufwandes in der Düngerproduktion.

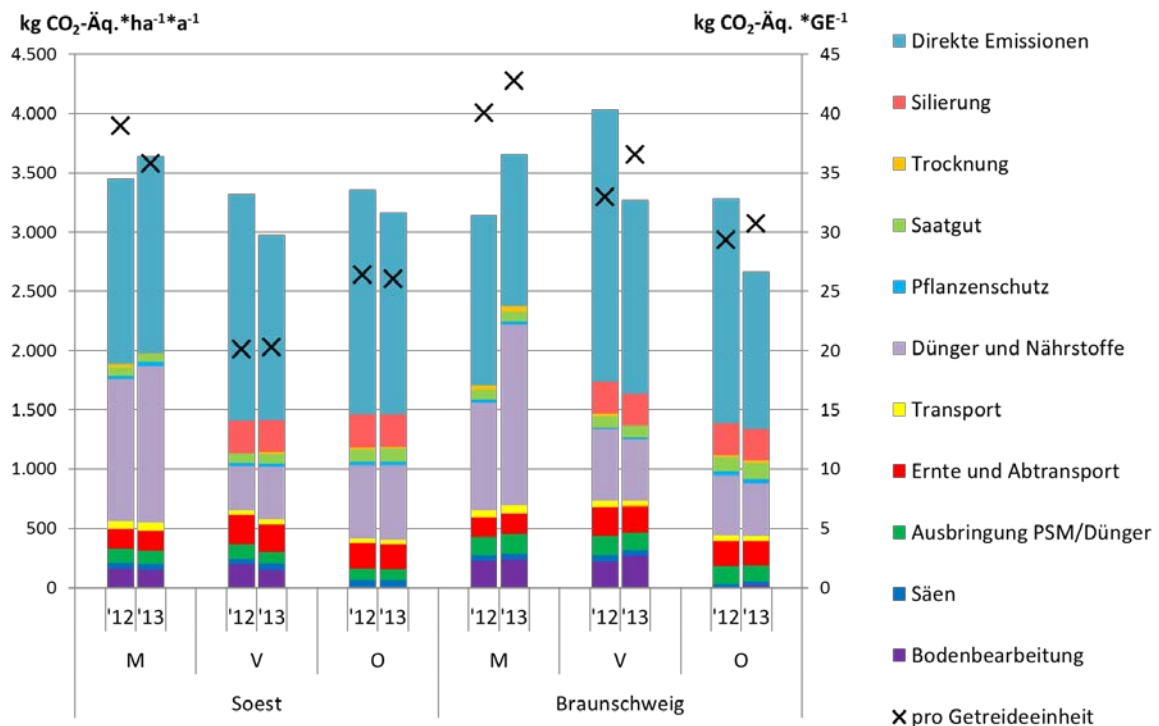


Abb. 82: Treibhauspotential pro Hektar und Jahr (Säulen) und pro Getreideeinheit (GE) (Kreuz) für die Anbausysteme, Erntejahr 2012 und 2013

Bei Betrachtung der Emissionen je Getreideeinheit für 2012 hat der V-Betrieb in Soest das geringste Treibhauspotential. Hingegen haben die Marktfruchtfolgen (M) an beiden Standorten die höchsten Emissionen je GE von N₂O und CO₂. Dies ist vor allem auf die sehr unterschiedlich erzielten Getreideeinheiten der verschiedenen Fruchtfolgen zurückzuführen. So verteilten sich die relativ gleich hohen Treibhausgase je Hektar auf unterschiedlich hohe GE-Erträge. Vor allem im SO-V-Betrieb kommt es so zu einer geringen Belastung je GE. Der BS-V-Betrieb, von dem je Flächeneinheit noch eine hohe Belastung ausgeht, kann durch einen hohen GE-Ertrag eine geringere Belastung je Produkteinheit als die M-Betriebe erzielen.

Für das Jahr 2013 unterscheiden sich die Soester Betriebe deutlicher voneinander als es noch im Vorjahr der Fall war. Sowohl die V-, als auch die O-Fruchtfolge konnten sich um etwa 5% bzw. 10% verbessern. Allerdings spielt dabei die nicht vorgenommene GR-Ernte eine Rolle. Infolge dessen wurde dem Silomais die Gärrestdüngung des GR angerechnet und dieser erhielt mit Ausnahme des Unterfußdüngers DAP keine weitere Düngung, so dass im Schnitt bei dem V- und O-Betrieb weniger Stickstoff ausgebracht worden ist. Dies wirkt sich positiv vor allem auf die direkten Emissionen aus und ist auch bei dem V- und O-Betrieb am Standort Braunschweig festzustellen. Am Standort Soest macht sich bei der

produktbezogenen Betrachtung der Ernteausfall des GR kaum bemerkbar. Die Emissionen je GE unterscheiden sich minimal zum Vorjahr. Es wurden geringere Erträge erzielt, der Düngereinsatz (sowohl organisch als auch mineralisch) ist aber ebenfalls geringer. Die Marktfurchtfolge an beiden Standorten verschlechtert sich aufgrund der höheren N-Düngermenge im Vergleich zum Erntejahr 2012. Da in Braunschweig allerdings Harnstoff durch KAS und SSA (schwefelsaures Ammoniak) substituiert wurde, entstehen in diesem Betrieb geringere Mengen an direkten CO₂- und N₂O-Emissionen.

Am Standort Braunschweig liegt das Treibhauspotential des V- und O-Betriebs für 2013 etwa um 19% unter dem Vorjahr. Dies liegt unter anderem am reduzierten Düngereinsatz zum SM, aber auch an der Wahl der Düngerform. Somit entstehen weniger direkte Emissionen durch den Verzicht auf Harnstoff, durch ein geringeres N-Niveau und durch geringere Emissionen aus der Düngemittelbereitstellung. Bei Betrachtung des Treibhauspotentials je GE konnte für den Standort Braunschweig im Jahr 2013 keine Verbesserung erzielt werden (im Gegensatz zur flächenbezogenen Betrachtung). Während der M-Betrieb höhere GE erzielen konnte, schnitten der V- und O-Betrieb aufgrund der fehlenden GR-Ernte und der geringen SM-Erträge schlechter ab.

Die Ergebnisse weiterer Umweltwirkungen sind in Tab. 24 und Tab. 25 dargestellt.

Tab. 24: Ergebnisse zur Ökobilanzierung der Fruchtfolgen am Standort Soest und Braunschweig, Erntejahr 2012

Wirkungskategorie je ha und Jahr	Soest			Braunschweig		
	M	V	O	M	V	O
Treibhauspotential, kg CO ₂ -Äq.	3448	3320	3358	3145	4037	3283
Energiebedarf, GJ	24,1	19,4	18,2	25,8	26,1	20,2
Ozonbildungspotential, Tausend m ² .ppm.h	18,8	18,5	15,4	19,3	21,3	15,4
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m ²	2029	4194	3851	2695	6281	4898
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	49,5	69,7	68,0	41,8	68,1	55,5
je Getreideeinheit (GE)						
Treibhauspotential, kg CO ₂ -Äq.	39,0	20,1	26,4	40,1	33,0	29,3
Energiebedarf, MJ	272,5	117,6	143,0	328,3	212,9	180,6
Ozonbildungspotential, m ² .ppm.h	212,0	112,3	121,5	245,4	173,4	137,2
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m ²	22,9	25,4	30,3	34,3	51,3	43,7
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	0,56	0,42	0,53	0,53	0,56	0,50

Tab. 25: Ergebnisse zur Ökobilanzierung der Fruchtfolgen am Standort Soest und Braunschweig, Erntejahr 2013

Wirkungskategorie je ha und Jahr	Soest			Braunschweig		
	M	V	O	M	V	O
Treibhauspotential, kg CO ₂ -Äq.	3641	2976	3166	3654	3272	2664
Energiebedarf, GJ	24,6	19,3	17,8	27,5	21,6	18,0
Ozonbildungspotential, Tausend m ² .ppm.h	19,0	16,9	14,9	22,3	20,1	14,4
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m ²	2257	3184	3052	1557	4335	3398
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	44,5	49,4	53,7	31,5	46,2	34,8
je Getreideeinheit (GE)						
Treibhauspotential, kg CO ₂ -Äq.	35,8	20,3	26,1	42,8	36,5	30,7
Energiebedarf, MJ	241,9	131,2	146,3	321,6	241,6	207,9
Ozonbildungspotential, m ² .ppm.h	187,0	115,1	122,8	260,7	224,0	166,1
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m ²	22,2	21,7	25,1	18,2	48,4	39,2
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	0,44	0,33	0,44	0,37	0,52	0,40

Bedarf an nicht erneuerbarer Energie und Ozonbildungspotential

Der Bedarf an nicht erneuerbaren Energie und das Ozonbildungspotential sind für die Anbauvarianten der O-Betriebe am geringsten. Dies trifft auch bei der produktbezogenen Betrachtung für den Standort Braunschweig zu. In Soest hat in diesen beiden Wirkungskategorien der V-Betrieb die geringste Umweltlast je GE aufgrund eines hohen GE-Ertrags. Für alle Betriebe gilt, dass den Hauptanteil die Produktion von Dünger/Nährstoffen und die Ernte (incl. Abtransport) ausmacht. Für die V- und O-Betriebe kommt außerdem die Silierung hinzu. Der geringere Energiebedarf der V- und O-Betriebe ist vor allem auf dem geringeren Mineraldüngereinsatz und speziell in den O-Betrieben auf den Verzicht energieaufwendiger Bodenbearbeitungsmaßnahmen zurückzuführen. Im Vergleich der Standorte haben die M- und V-Betriebe in Braunschweig einen höheren Energiebedarf als die Pendants in Soest. Die Gründe dafür sind zum einen die intensivere Bodenbearbeitung in Braunschweig und zum anderen der höhere Mineraldüngereinsatz im V- und O-Betrieb 2012. Weiter wurde in dem Jahr in Braunschweig Harnstoffdünger eingesetzt, der in der Produktion energieaufwendiger ist, als der in Soest eingesetzte AHL-Dünger. In beiden Erntejahren ist für die O-Betriebe beider Standorte der geringste Wert zum Ozonbildungspotential ermittelt worden. Vorwiegend werden Stickoxide (NO_x) aus Verbrennung von Treibstoffen emittiert. Aber auch bei der Denitrifikation von NO₃ zu N₂ und N₂O werden Stickoxide freigesetzt. Am Soester Standort erhöht sich zwar durch die Ganzpflanzenernte (Silierung, Ernte und Abtransport) das Ozonbildungspotential für die V- und O-Betriebe im Vergleich zum M-Betrieb, dieses wird aber durch den geringeren Mineraldüngereinsatz und durch den Verzicht der Bodenbearbeitung im O-Betrieb kompensiert. Das

Ozonbildungspotential in Braunschweig ist im Erntejahr 2012 im V-Betrieb am höchsten, im Erntejahr 2013 dagegen verbessert sich der V-Betrieb um etwa 5% und der M-Betrieb verschlechtert sich um 16%. Insgesamt zeigt sich für beide Jahre bei der flächenbezogenen Betrachtung, dass die O-Betriebe das geringste Ozonbildungspotential und den geringsten Bedarf an nicht erneuerbarer Energie haben. Bei Betrachtung der Umweltwirkung je GE gehen von dem Braunschweiger O-Betrieb ebenfalls die geringsten Belastungen aus, am Standort Soest ist es der V-Betrieb mit dem geringsten Energiebedarf und Ozonbildungspotential je GE. Dieser Betrieb konnte in beiden Jahren deutlich höhere GE-Erträge erzielen als die beiden anderen Fruchtfolgen am Standort.

Potential für terrestrische Eutrophierung und Versauerung

Das Potential für Terrestrische Eutrophierung ist auf den güllegedüngten Flächen je Hektar teilweise deutlich höher und somit auch das Potential für die Versauerung. Beide Umweltwirkungen sind vor allem durch Ammoniakemissionen negativ beeinträchtigt. Am Standort Braunschweig liegt auch je GE das geringste Belastungspotential bei dem rein mineralisch gedüngten Betrieb. Am Standort Soest kann die Differenz zum M-Betrieb durch hohe GE-Erträge der V- und O-Betriebe fast ausgeglichen werden, so dass vom V-Betrieb ein geringeres Versauerungspotential je GE ausgeht als vom M-Betrieb. Im Vergleich der zwei betrachteten Jahre konnte für 2013 eine Verbesserung dieser beiden Wirkungskategorien erreicht werden. Einzige Ausnahme ist der Soester M-Betrieb. Zu diesem Betrieb wurden im Wirtschaftsjahr 2013 höhere Mengen AHL ausgebracht und somit höhere Ammoniakemissionen bewirkt. Für die beiden anderen Betriebe am Standort Soest rührt die Verbesserung ausschließlich durch den Verzicht der Gülleausbringung zum Silomais. Dieses trifft ebenfalls auf den V- und O-Betrieb in Braunschweig zu. Weiter konnte hier durch die teilweise Substitution des Harnstoffdüngers eine deutlich geringere Belastung erreicht werden. Im Vergleich der Standorte spielt die Düngerform den ausschlaggebenden Faktor. Während in Soest in beiden Jahren AHL eingesetzt worden ist, wurde in Braunschweig im Erntejahr 2012 ausschließlich Harnstoff eingesetzt, von dem je kg N doppelt so hohe NH_3 -Emissionen ausgehen, wie für AHL.

Aquatische Eutrophierung

Die Aquatische Eutrophierung der N-Verbindungen ist bei den rein mineralisch gedüngten M-Betrieben am geringsten. Überwiegend wird das Belastungspotential durch Nitrat-Austräge bestimmt, die zur Eutrophierung von Gewässern führen. Im Jahr 2012 haben die V-Betriebe das höchste aquatische Eutrophierungspotential durch N-Verbindungen. Für das Erntejahr 2013 ging von dem Soester O-Betrieb hingegen das stärkste Belastungspotential aus. Ungünstig am Standort Soest im Jahr 2012 wirkten vor allem die N-Gaben im Mai zu SM, da das Berechnungstool zum einen noch keine N-Aufnahme durch die Kultur für diesen Monat annimmt und zum anderen die mögliche Nitratauswaschung im Mai relativ hoch geschätzt wird. Am Standort Braunschweig ist das hohe N-Düngungsniveau vor allem im V-, aber auch im O-Betrieb ausschlaggebend. Bei der produktbezogenen Betrachtung hat am Standort Braunschweig der O-Betrieb das geringste Eutrophierungspotential und am Standort Soest der V-Betrieb. Im Folgejahr ist eine deutliche Reduktion des Eutrophierungspotential sowohl flächen- als auch produktbezogen bilanziert. Neben einer geringeren N-Ausbringung, fielen im Winter 2012/2013 auch geringere Niederschläge, welches die Auswaschungsfahr von Nitrat einschränkte.

Ein Überblick über alle Wirkungskategorien ist im Anhang in Tab. 136 und Tab. 137 dargestellt.

Insgesamt ergibt sich aus den zwei betrachteten Jahren für den Standort Soest im Ressourcen- (Treibhauspotential, Energiebedarf, Ozonbildungspotential) und Nährstoffmanagement (Versauerung, Eutrophierung) ein geteiltes Bild. Bei Betrachtung der schädlichen Umweltwirkungen je Hektar hat der V-Betrieb das geringste Treibhauspotential, dagegen geht vom O-Betrieb das geringste Ozonbildungspotential aus und es benötigt den geringsten Bedarf an nicht erneuerbarer Energie. Bei den Wirkungskategorien des Nährstoffmanagements hat der M-Betrieb die geringste Belastung je Hektar. Werden die Umweltwirkungen je geerntetes Produkt betrachtet, gehen, mit Ausnahme der Terrestrischen Eutrophierung 2012, vom V-Betrieb in allen Bereichen die geringsten Belastungen aus.

Am Standort Braunschweig wurde im Ressourcenmanagement im O-Betrieb die geringsten Werte je Hektar ermittelt. Ausnahme ist hier lediglich der M-Betrieb im Jahr 2012 mit dem geringsten Treibhauspotential. In den weiteren aufgeführten Wirkungskategorien ist wie am Standort Soest auch hier der M-Betrieb optimal. Dieses Bild zeigt sich auch bei

einer produktbezogenen Betrachtung. Im Bereich des Ressourcenmanagement gehen von dem O-Betrieb die geringsten Belastungen aus. Im Nährstoffmanagement zeigt sich der M-Betrieb vorteilhafter.

Die weiteren Wirkungskategorien des Schadstoffmanagements und der Bodenqualität konnten noch nicht ausreichend interpretiert werden und sind ohne Anmerkungen im Anhang aufgeführt.

5.3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die dargestellten Ergebnisse zeigen für alle untersuchten Betriebe den zentralen Einfluss des Nährstoffmanagements bei fast allen Wirkungskategorien. Durch den Einsatz von Gärresten und der einhergehenden Einsparung von Mineraldünger können zwar indirekte Treibhausgasemissionen verringert werden, aber es steigen die direkten und induzierten N₂O-Emissionen durch die Gärrestausbringung. Somit lassen sich durch den Einsatz von organischen Düngermitteln nicht zwangsläufig Emissionen vermeiden. Bei dem Ozonbildungspotential und für den Bedarf an nicht erneuerbarer Energie bietet der verminderte Einsatz von Mineraldünger hingegen deutliche Vorteile. Hierbei spielt nicht nur die Menge, sondern auch die Wahl der Düngerform eine Rolle. Positiv wirkt bei diesen Kategorien auch der Verzicht auf eine intensive Bodenbearbeitung. Von Bedeutung bei der produktbezogenen Betrachtung sind vor allem auch die Erträge, denn durch hohe Erträge verteilen sich die Umweltpotentiale auf mehr Produkteinheiten. Aufgrund der Fruchtfolgegestaltung kommt es allerdings zu sehr unterschiedlichen jährlichen GE-Erträgen der jeweiligen untersuchten Betriebe. In den M-Betrieben sind in den Jahren 2012 und 2013 an beiden Standorten die geringsten GE-Erträge erreicht worden. Im jährlichen Durchschnitt konnten die V-Betriebe die höchsten GE-Erträge erzielen. Die Erträge waren vor allem am Standort Soest für den SM der Direktsaat (O) im Erntejahr 2012 deutlich unter dem Ertrag des mit konventioneller Bodenbearbeitung gesättem Mais (V). Auch im folgenden Jahr lagen die SM-Erträge zwar insgesamt unter dem erwarteten Niveau, aber zusätzlich lag der O-SM erneut unter den Erträgen des V-Silomaises. Selbst bei der Annahme, dass die SM-Erträge auf ähnlichem Niveau einer konventionellen Bestellung liegen würden, erreicht das O-Betrieb nicht die hohen Erträge (gemessen in Getreideeinheiten) des V-Betriebs. Die Umweltbelastungen je GE würden sich dann den Ergebnissen des V-Betriebs nur annähern und ausschließlich bei der Wirkungskategorie Ozonbildungspotential unter

die Ergebnisse des V-Betriebs fallen. Am Standort Braunschweig war die Differenz der durchschnittlichen GE zwischen V- und O-Betrieb weniger groß, aber auch dort vorhanden. Im Erntejahr 2012 konnte der O-Betrieb aufgrund eines deutlich geringen N-Düngungsniveaus gegenüber dem V-Betrieb bei den Umweltwirkungen je Ertrag besser abschneiden. Im Vergleich zu den V- und O-Fruchtfolgen kann die Marktfruchtfolge in keinem der beiden untersuchten Jahre die GE der anderen Betriebe erzielen. Von dem M-Betrieb gehen im Bereich des Nährstoffmanagements durch geringere NH_3 -Emissionen und Nitratauswaschungen geringere Belastungspotentiale je Hektar aus.

Bei den Umweltwirkungen bezüglich des Nährstoffmanagements können in den güllegedüngten Betrieben durch eine verbesserte Ausbringtechnik zukünftig die NH_3 -Emissionen verringert werden (Kowalewski 2013 a, b). Auch eine genauere Düngebedarfsermittlung und die genaue Bestimmung des verfügbaren Stickstoffs aus den Gärresten, können eine Überdüngung der Kulturen vermeiden und die Belastungen durch gasförmige NH_3 -Verluste und Nitratauswaschung senken. In einer Untersuchung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen wurden für verschiedene Gärrückstände, für mehrere Kulturen die Mineraldüngeräquivalente ermittelt. Die ermittelten Anteile haben eine große Spanne und liegen beispielsweise für Gerste zwischen 37- 74% und bei Silomais zwischen 58-95% (Baumgärtel 2012). Dadurch wird deutlich, dass durch den Einsatz von Gärresten, die Bemessung der kurzfristigen N-Düngewirkung und die Nachwirkung in den Folgejahren sehr schwierig ist. Dies beeinflusst aber maßgeblich die mineralische Ergänzungsdüngung. Diese Aspekte wurden in einer Szenario Berechnung beispielhaft für den Standort Soest auf das Jahr 2011/2012 übertragen, um die Höhe des möglichen Optimierungspotentials zu ermitteln. Es wurden für Getreidekulturen Mineraldüngeräquivalente von 74%, für Raps von 59% und für Silomais von 95% angenommen. Durch die höhere N-Anrechenbarkeit wurde dementsprechend die Mineraldüngermenge bzw. die Güllemenge reduziert. Zusätzlich wurde anstelle der tatsächlich eingesetzten Schleppschlauchtechnik die Gärreste über flache Injektion ausgebracht bzw. in den Boden eingebracht. Die Ergebnisse sind in Abb. 83 und Abb. 84 dargestellt.

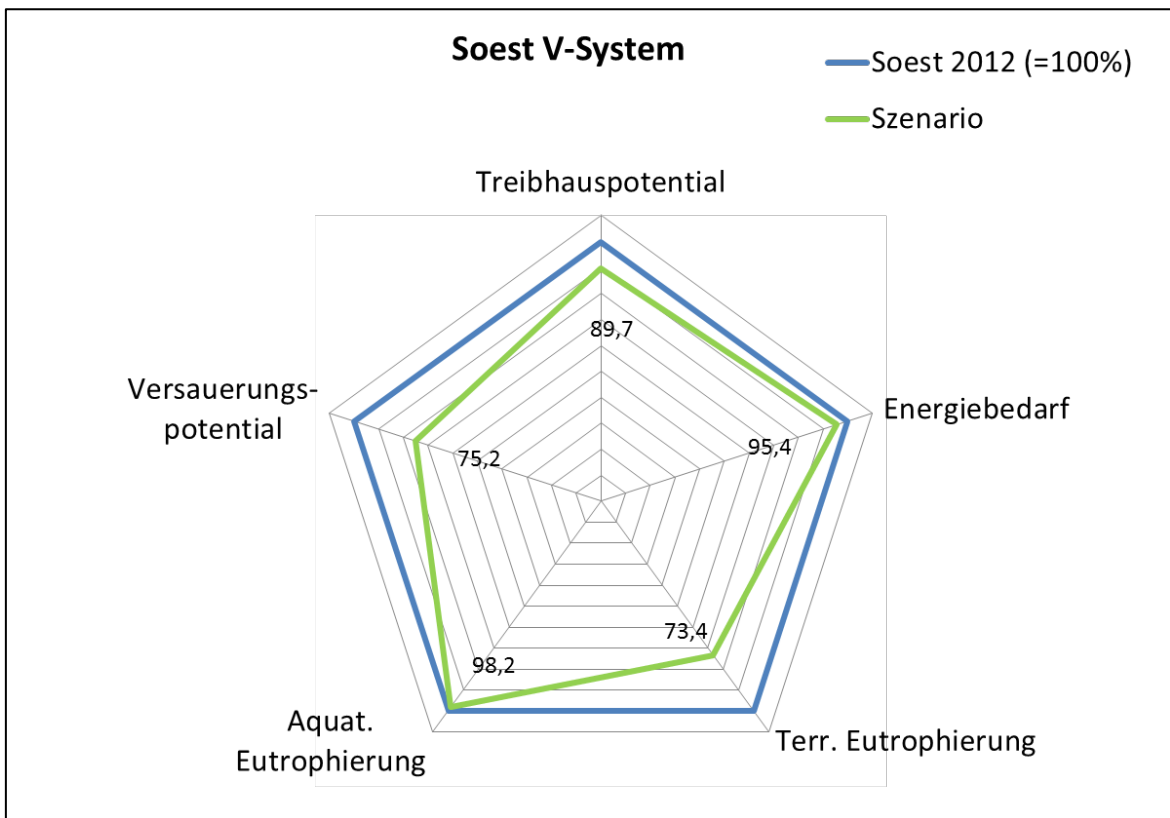


Abb. 83: Ergebnisse der Szenario-Berechnung mit der Annahme einer höheren N-Ausnutzung und emissionsmindernder Ausbringtechnik der Gärrückstände für den V-Betrieb

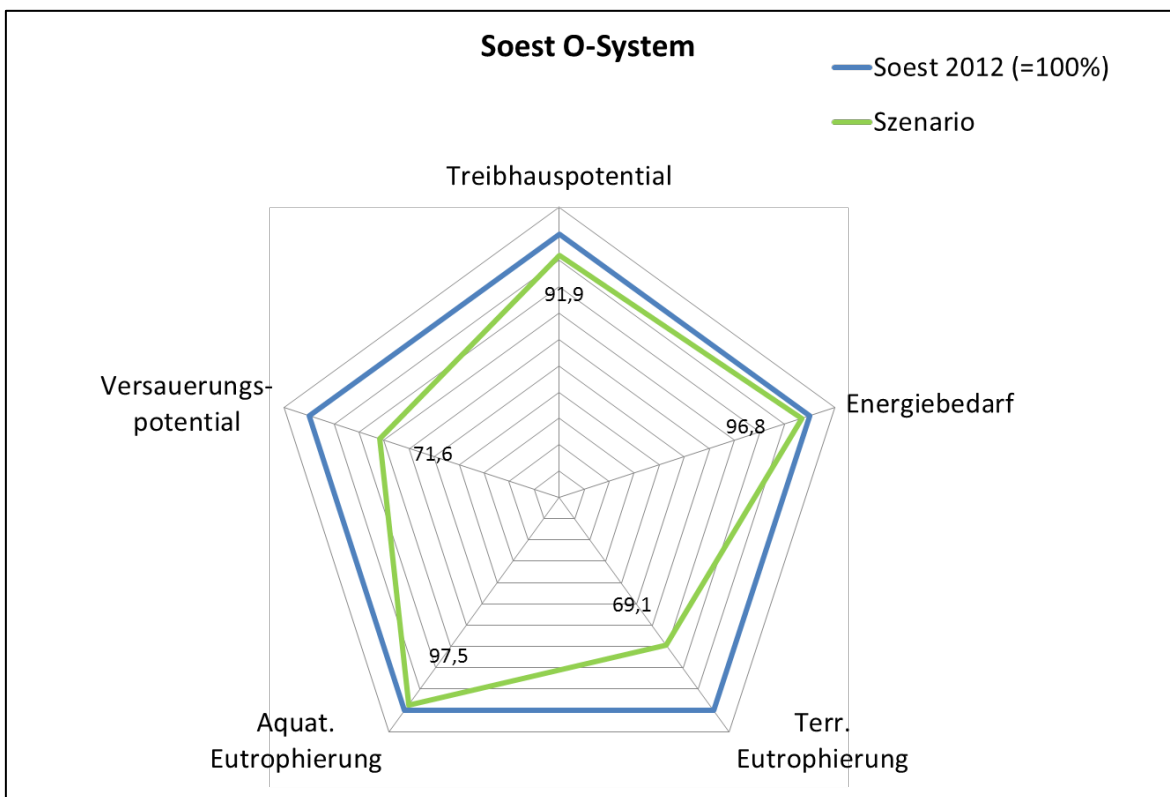


Abb. 84: Ergebnisse der Szenario-Berechnung mit der Annahme einer höheren N-Ausnutzung und emissionsmindernder Ausbringtechnik der Gärrückstände für den O-Betrieb

Es zeigt sich, dass durch die Maßnahmen in allen Wirkungskategorien eine Reduktion erreichen lässt. Das Treibhauspotential kann durch den geringeren AHL-Einsatz und durch die geringere Gärresteausbringung im V-Betrieb etwa um 10%, im O-Betrieb um etwa 8% reduziert werden. Der Energiebedarf verringert sich durch den verringerten AHL-Aufwand nur um 3-4%. Auch das aquatische Eutrophierungspotential verbessert sich insgesamt nur minimal. Die potentielle Nitratauswaschungsgefahr erhöht sich dabei sogar durch eine höhere lösliche N-Menge, die über die Gärreste ausgebracht wird. Allerdings ist auch das aquatische Eutrophierungspotential, wenn auch nur zu einem geringen Anteil, von NH_3 -Emissionen beeinflusst, die mit Niederschlag ebenfalls in Gewässer eingetragen werden können. Da NH_3 -Emissionen durch die verbesserte Ausbringtechnik minimiert werden könnten, sinkt zu einem gewissen Teil auch das Aquatische Eutrophierungspotential. Deutlich bemerkbar macht sich die verbesserte Technik vor allem bei den, hauptsächlich durch NH_3 -Emissionen bestimmten, Wirkungskategorien terrestrische Eutrophierung und Versauerung. Hier können Einsparpotentiale von 27% bzw. 25% im V-Betrieb und von 31% bzw. 28% geschätzt werden.

Die Ergebnisse der Ökobilanzierung zeigen, dass alle drei Betriebe hinsichtlich des Treibhauspotential noch weiter optimiert werden können. Bleibt die Düngungsintensität auf hohem Niveau, sind diese Effekte allerdings nur minimal. Da die Düngungsmenge ausschlaggebend für viele Kategorien der Ökobilanzierung ist, liegt hier der Ansatzpunkt zur Optimierung. Es stellt sich die Frage, wie weit die Stickstoffmenge reduziert werden kann, ohne die Produktivität bzw. die Wirtschaftlichkeit negativ zu beeinflussen. Die Fruchtfolgegestaltung des O-Betriebs in Zusammenhang mit der Direktsaat, konnte am Standort Soest nicht die geplante Optimierung erfüllen. Vor allem die Erträge des Silomais lagen deutlich unter den regionalen Erträgen. Wenn diese optimiert werden können, könnte zumindest bei einer produktbezogenen Betrachtung ähnlich geringe Emissionen erzielt werden, wie im V-Betrieb. Am Standort Braunschweig dagegen hat der O-Betrieb hinsichtlich des Treibhauspotentials teilweise die gewünschten Ziele erreicht. Dabei muss allerdings für die beiden Jahre berücksichtigt werden, dass vor allem im Jahr 2012 der V-Betrieb ein deutlich höheres N-Düngungsniveau hatte und somit auch eine hohe Möglichkeit zur Optimierung bot.

5.4 Fazit Ökobilanzierung

Anhand dieser Ergebnisse kann abschließend noch kein Betrieb eindeutig als „Klimaaoptimiert“ identifiziert werden. Viele Faktoren nehmen Einfluss auf die Umweltwirkungen und auch der Standort und die Witterungsverhältnisse spielen eine Rolle.

Durch die Einsparung von Mineraldünger sollte das Treibhauspotential reduziert werden. Dies spiegelt sich in den Ergebnissen eher weniger wider, da es vor allem auf die ausgebrachte Stickstoffmenge ankommt. Auch durch die reduzierte Bodenbearbeitung konnte das Treibhauspotential zwar im Vergleich zu mit dem Pflug bewirtschafteten Fruchtfolgen gemindert werden, aber dies war ebenfalls nur eine kleine Stellschraube. Zur Einsparung an nicht erneuerbarer Energie und damit einhergehend auch zur Reduktion des Ozonbildungspotentials, fiel der Verzicht auf Bodenbearbeitung schon mehr ins Gewicht. Weiter wurden sowohl im Vergleich der Standorte als auch im Vergleich der Betriebe unterschiedlich hohe jährliche Getreideeinheiten erzielt. Dies lag nicht etwa an den unterschiedlichen Erträgen einzelner Kulturen, sondern an der Fruchtfolgegestaltung. In diesem Aspekt konnte das V-Betrieb mit der FF-Gestaltung WW-WG-GR-SM für beiden Jahre (trotz fehlender GR-Ernte im Jahr 2013) und an beiden Standorten im jährlichen Schnitt die höchsten GE erzielen. Ein weiterer Diskussionspunkt sind die höheren Ammoniak-Emissionen durch die Gärrestausbringung. Es sollte nicht das Ziel sein, das Treibhauspotential zu reduzieren, während durch die angewandten Maßnahmen ein anderes Umweltproblem verstärkt wird. Besonders NH_3 -Emissionen können durch verbesserte Ausbringtechnik reduziert werden. Zu berücksichtigen bleibt, dass die Ergebnisse einer Ökobilanz keine realen, sondern nur geschätzte Werte sind. Besonders die N_2O -Freisetzung ist stark standort- und witterungsabhängig. Um die tatsächlichen Emissionen zu ermitteln und um die geschätzten Werte zu überprüfen bleibt nur die direkte Messung dieser und anderer Klimagase.

6 Teilprojekt Ökonomische Bewertung

6.1 Material und Methoden

Das Teilprojekt startete planmäßig im Juni 2012 und wurde bis zum Ende des Gesamtprojekts über einen Zeitraum von 16 Monaten durchgeführt. Die ökonomische Bewertung betrachtet insbesondere die wirtschaftlichen Aspekte der Treibhausgasvermeidung, jedoch werden auch andere Wirkungskategorien der Ökobilanz in die Analyse miteinbezogen. Es besteht somit eine enge Verbindung zu den Ergebnissen des vorangestellten Teilprojekts „Ökobilanzierung“. Die der einzelbetrieblichen Analyse zugrunde liegende Methode der Linearen Programmierung (LP) ist über viele Jahre in einer großen Zahl von agrarökonomischen Publikationen beschrieben und diskutiert worden und gilt als wissenschaftlich hinreichend bekannt. Vereinfacht ausgedrückt werden bei der Nutzung der Linearen Programmierung zur einzelbetrieblichen Analyse im agrarökonomischen Bereich einem Modellbetrieb verschiedene Produktionsaktivitäten („variables“) mit dem Ziel der Gewinnmaximierung/Kostenminimierung unter verschiedensten Nebenbedingungen zur Realisierung angeboten. Diese unterscheiden sich jeweils durch ihre Zielerreichungsbeiträge (z.B. durch ihren Deckungs- oder Gewinnbeitrag oder ihre Produktionskosten) und durch ihre Ansprüche an fixe oder knappe Produktionsfaktoren („technical coefficients“). Ein mathematischer Algorithmus – die sog. Simplex-Methode – ermittelt dann ausgehend von den Faktorkapazitäten eines Betriebes („constraints“) Art und Umfang der Produktionsaktivitäten, mit denen der Betrieb einen maximalen oder minimalen Zielfunktionswert erreicht. Es wird somit das unter den angenommenen Konstellationen hinsichtlich der Preise für Produkte und Betriebsmittel, Produktionsfaktoren sowie der technischen Verfahrensgestaltung optimale Produktionsprogramm ermittelt. Als Zielfunktionswerte wurden im vorliegenden Modell der Deckungs- oder der Gewinnbeitrag angesetzt, je nachdem, ob in einer kurzfristigen Betrachtung nur die variablen Kosten oder in einer mittelfristigen Analyse auch die festen mit Veränderung der Produktionsrichtung verbundenen Kosten der Produktion berücksichtigt werden. Die Treibhausgasemissionen oder andere die Ökobilanz betreffende Wirkungskategorien werden im Modell als weitere Nebenbedingung bilanziert, der maximal zulässige Wert des Bilanzsaldos wird dabei je nach Szenario begrenzt. Über die sich ergebenden Differenzen in den Gewinn- oder Deckungsbeiträgen können so beispielsweise die Treibhausgasvermeidungskosten (z.B. in Euro je reduzierte t CO₂-Äquivalent) ermittelt werden.

Das Gesamtmodell des Einzelbetriebes mit allen innerbetrieblich relevanten Wechselwirkungen ist auf der Grundlage der Software *Frontline Premium Solver Platform* in mehreren Excel-Arbeitsblättern formuliert und solchermaßen gestaltet, dass sich auch ohne Eingriff in die Programmierung bzw. in die mathematische Matrix des Modells wichtige Eingabeparameter wie z. B. Strukturdaten und Preise leicht und schnell verändern lassen. Das gleiche gilt sinngemäß auch für die technischen Daten, deren Änderung eine Verwendung des Modells auch für zukünftige Fragestellungen ermöglichen soll.

Die Ergebnis-Arbeitsblätter enthalten Deckungs- oder Gewinnbeitrag als Zielerreichungsgröße sowie die in Bezug auf den Deckungs- oder Gewinnbeitrag optimale Betriebsorganisation. Es wird also angegeben, welche Aktivitäten (Produktion, Investition, Bezug und Absatz sowie Transfer) wie oft (in welchem Umfang) in diesem Fall realisiert werden und welche Faktoransprüche dazu bestehen. Darüber hinaus lassen sich bei Modellen ohne Integer-Bedingungen sogenannte Schattenpreise ermitteln. Ein Schattenpreis ist der Maximalpreis, zu dem der Einsatz einer zusätzlichen Einheit eines knappen bzw. begrenzt verfügbaren Produktionsfaktors gerade noch wirtschaftlich, d.h. gewinnneutral wäre – er entspricht damit im Prinzip der maximalen Zahlungsbereitschaft und gibt Aufschluss über den Knappheitsgrad eines Produktionsfaktors. Im erarbeiteten Modell sind jedoch ganzzahlige Bedingungen sinnvoll, etwa wenn es um den Einsatz von Maschinen mit resultierenden Fixkosten geht, sodass keine plausiblen Schattenpreise ermittelt werden konnten und daher auf diese Analyse verzichtet wurde. Ebenso kann über die Stabilitäts- und Sensitivitätsanalyse auf die Robustheit und damit die Belastbarkeit der Ergebnisse geschlossen werden. Daraus lässt sich etwa ableiten wie wirkungsvoll eventuelle Änderungen der wirtschaftlichen/agrarpolitischen Rahmenbedingungen sind, um in den betrachteten Betrieben eine Veränderung des Produktionsprogramms zur Verringerung bestimmter Emissionen zu erreichen.

Die Abb. 85 zeigt als Blockschaubild Modellaufbau und Datenfluss:

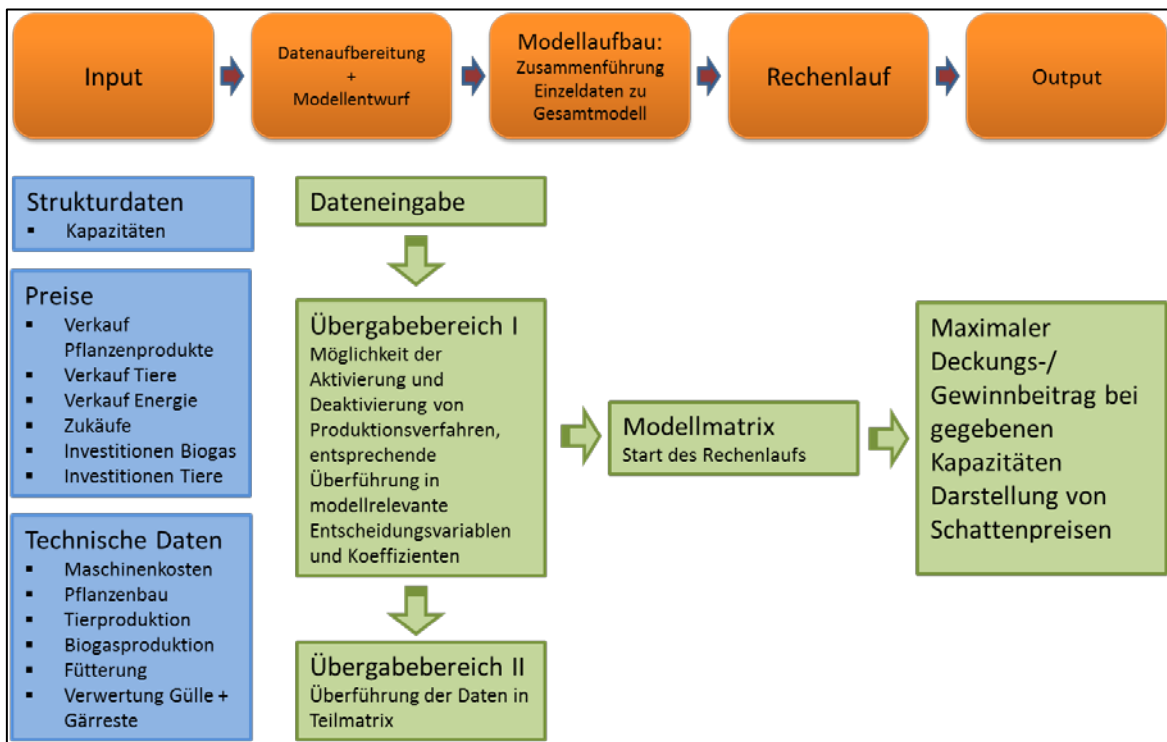


Abb. 85: Blockschaubild des LP-Modells

Die Modellerstellung konnte planmäßig abgeschlossen und durch Makroprogrammierung eine vereinfachte Auswertung der Rechenergebnisse bereitgestellt werden. Die ökobilanziellen Ergebnisse der Versuchsjahre 2012 und 2013 wurden eingearbeitet, ebenso ein bezüglich der Erträge standardisiertes Datengerüst, siehe nachfolgenden Abschnitt. Mit leicht zu implementierenden Erntergebnissen sind auch über das Projektende hinaus weitere Berechnungen mit überschaubarem Modellanpassungsaufwand möglich.

6.2 Ergebnisse

Das im Teilprojekt entwickelte Modell zur Bewertung des M-, des V- und des O-Betriebes erlaubte eine schnelle Berechnung der unter den gesetzten Rahmenbedingungen zu erwirtschaftenden maximalen Gewinnbeiträge. Dabei wurde zwischen den Standorten Soest und Braunschweig, den Modellbetrieben, dem Preisniveau (Hochpreis oder Tiefpreis), dem Erntejahr und dem konkreten Szenario unterschieden. Es wurden zwei Referenzszenarien (Erntedaten 2012 und Erntedaten bzgl. der Feldfruchterträge standardisiert, siehe Tab. 26) durchgerechnet und diese mit variierten Modellbetrieben verglichen. Auch auf Basis der Ernte- und Ökobilanzergebnisse des Jahres 2013 wurden alle Szenarien berechnet, die Ergebnisse dieses Erntejahres finden sich im Anhang.

Tab. 26: Standardisierte Ernteerträge der Standorte Soest und Braunschweig

Soest					
	M-Betrieb		V-Betrieb		O-Betrieb
Winterweizen	90 dt/ha	Winterweizen	90 dt/ha	Winterweizen	90 dt/ha
Winterraps	40 dt/ha	Silomais	600 dt/ha	Winterraps	40 dt/ha
		Wintergerste	80 dt/ha	Silomais	600 dt/ha
		Grünroggen	220 dt/ha	Wintergerste	80 dt/ha
				Ackerbohnen	50 dt/ha
				Grünroggen	220 dt/ha
				GPS-Roggen	400 dt/ha
Braunschweig					
	M-Betrieb		V-Betrieb		O-Betrieb
Winterweizen	80 dt/ha	Winterweizen	80 dt/ha	Winterweizen	80 dt/ha
Winterraps	40 dt/ha	Silomais	500 dt/ha	Winterraps	40 dt/ha
		Wintergerste	70 dt/ha	Silomais	500 dt/ha
		Grünroggen	180 dt/ha	Wintergerste	70 dt/ha
				Ackerbohnen	50 dt/ha
				Grünroggen	180 dt/ha
				GPS-Roggen	400 dt/ha

Insgesamt fanden Berechnungen für die folgenden acht Szenarien statt:

- Referenzszenario: Daten der Ernte 2012, ermittelt aus Versuchen, Anbauflächen fix, keine Ausweitung der Mastschweine- oder Biogasproduktion
- Referenzszenario: Erntedaten standardisiert, Anbauflächen fix, keine Ausweitung der Mastschweine- oder Biogasproduktion

- MinMax-Szenario: Ernte 2012, Anbauflächen in Grenzen variabel, keine Ausweitung der Mastschweine- oder Biogasproduktion
- MinMax-Szenario: Ernte standardisiert, Anbauflächen in Grenzen variabel, keine Ausweitung der Mastschweine- oder Biogasproduktion
- MinMax_MastI_BG200-Szenario: Ernte 2012, Anbauflächen in Grenzen variabel, Masterweiterung um 920 Plätze, keine Ausweitung der Biogasproduktion
- MinMax_MastI_BG200-Szenario: Erntedaten standardisiert, Anbauflächen in Grenzen variabel, Masterweiterung um 920 Plätze, keine Ausweitung der Biogasproduktion
- MinMax_MastI_BG400-Szenario: Ernte 2012, Anbauflächen in Grenzen variabel, Masterweiterung um 920 Plätze, Erweiterung Biogasanlage auf 400 kW
- MinMax_MastI_BG400-Szenario: Erntedaten standardisiert, Anbauflächen in Grenzen variabel, Masterweiterung um 920 Plätze, Erweiterung Biogasanlage auf 400 kW

Jede Szenario-Berechnung gliederte sich nach Standort, Modellbetrieb, Ernte und Preisniveau, siehe Abb. 86.

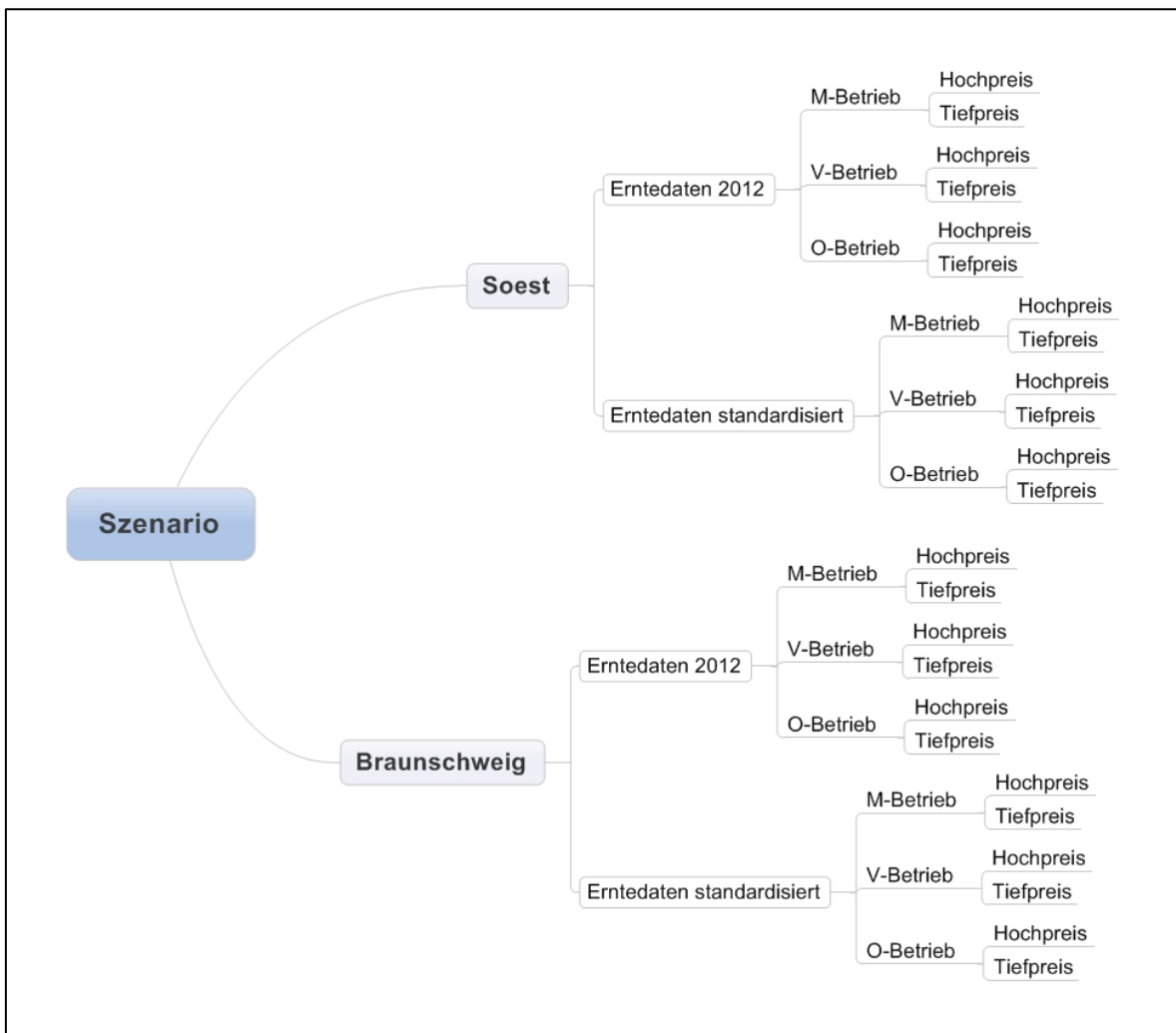


Abb. 86: Standorte, Betriebsformen und Preisannahmen als Grundlage der Szenarien

Die für die Szenarien wichtigen Annahmen bezüglich der Preise zeigt Tab. 27. Als Basis für die Ableitung der Preise wurden OECD- und FAO-Zeitreihen zu Hoch- und Tiefpreisphasen zwischen 2006 bzw. 2007 und 2012 herangezogen, für die pflanzlichen Verkaufsprodukte wurde ein Weizeneckpreis von 14,50 € im Tiefpreis- bzw. 21,70 € im Hochpreis-Szenario angenommen.

Tab. 27: Preisannahmen als Berechnungsgrundlagen für Modellrechnungen

Preise für tierische Produkte (Verkauf)			
	Hochpreise	Tiefpreise	
	Preise [€]	Preise [€]	Einheit
Mastschwein	1,90	1,30	€/kg SG
Ferkel	55,00	40,00	€/Tier
Preise für pflanzliche Produkte (Verkauf)			
	Hochpreise	Tiefpreise	
	Preise [€]	Preise [€]	Einheit
Weizen (<i>Eckpreis</i>)	21,70	14,50	€/dt
Raps	44,50	32,30	€/dt
Gerste	20,60	13,50	€/dt
Grünroggen	12,30	8,10	€/dt
Stroh	7,50	5,10	€/dt
Silomais	3,50	2,30	€/dt
Ackerbohne ¹	16,10	12,00	€/dt
Getreide-GPS	3,50	2,40	€/dt
Grassilage	3,30	3,00	€/dt
Preise für Produktionsmittel (Einkauf)			
	Hochpreise	Tiefpreise	
	Preise [€]	Preise [€]	Einheit
N-Dünger	0,95	0,85	€/kg
P-Dünger	1,00	0,90	€/kg
Kali-Dünger	0,80	0,70	€/kg
Mastschweinefutter	23,00	16,00	€/dt
Silomais	3,60	2,40	€/dt
Futtergetreide	22,50	15,50	€/dt
Ferkel	56,00	41,00	€/Tier
Zündöl	1,00	1,00	€/Liter
Zusätzliche Arbeitskraft	15,00	13,50	€/h

Die Ergebnisse jeder Berechnung wurden mittels „Answer-Report“ zur Aufbereitung und Auswertung exportiert. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Kennwerte der Ergebnisse aus den Szenarienberechnungen dargestellt. Eine detailliertere Darstellung findet sich tabellarisch im Anhang.

¹ Umfragen im Forschungsprojekt **LeguAN**, siehe www.fh-swf.de/FB/agrar, ergaben Verkaufspreise für Ackerbohnen von 25 €/dt für 2012. Für die hier beschriebenen Modellrechnungen werden jedoch die genannten Werte mit Bezug zum Weizeneckpreis zur Berechnung eines Hoch- und Tiefpreisniveaus verwendet.

Referenzszenario, Erntedaten 2012 und standardisiert

Die im Forschungsvorhaben geplante Ausstattung und Produktionsrichtung der Modellbetriebe wurde den Berechnungen der Referenzszenarien zugrunde gelegt. So wurde in allen drei Betrieben eine Flächenausstattung von 200 ha Ackerfläche unterstellt, die durch den Anbau der Ackerkulturen, die für die einzelnen Modellbetriebe untersucht wurden, im vorgegebenen Umfang vollständig genutzt werden muss. Eine modellinduzierte Veränderung bzw. Optimierung der Anbaustruktur ist demzufolge nicht möglich. Im V- und O-Betrieb wurden zudem 800 Schweinemastplätze und eine Biogasanlage mit einer Leistung von 200 kW_{el} angenommen, der O-Betrieb verfügte gegenüber dem V-Betrieb mit 3 Fruchtfolgefeldern über eine ausgedehnte 8-feldrige Fruchtfolge. Das Simulationsmodell bekam für die Referenzszenarien keine Möglichkeit, von diesen Randbedingungen zur Optimierung der Gewinnsituation abzuweichen. Ziel war zunächst die Ermittlung der absoluten Gewinnbeiträge je ha AF als Vergleichs- bzw. Referenzbasis für die Ergebnisse der einzelnen Szenarienvarianten, siehe Abb. 87.

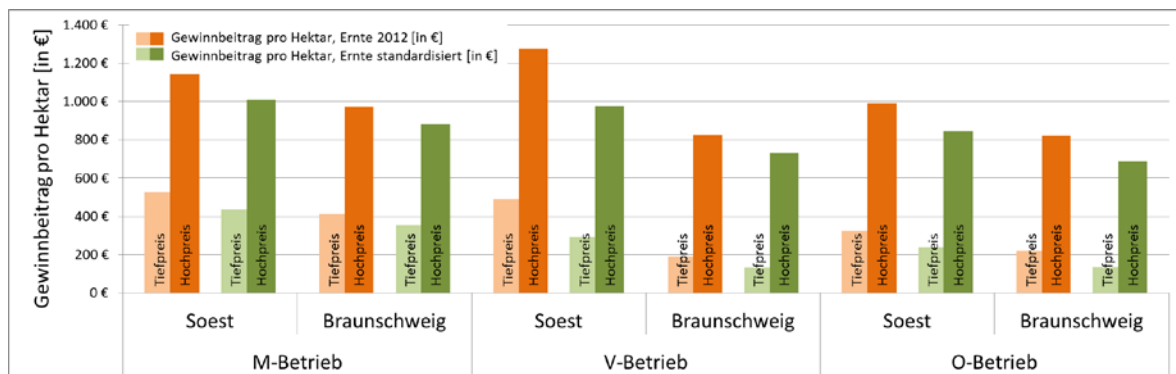


Abb. 87: Gewinnbeiträge Referenzszenarien, Ernte 2012 & standardisiert

Grundsätzlich fällt neben der selbsterklärenden Tatsache, dass in Tiefpreisphasen geringere Gewinnbeiträge als in Hochpreisphasen erzielt werden, auf, dass die standardisierten Erntedaten zu reduzierten Gewinnbeiträgen führen. Dies ist zum einen auf unter Versuchsbedingungen zustande gekommene Erträge (keine Abzüge der Vorgewende) zurückzuführen, zum anderen auf die guten Ernteergebnisse des Jahres 2012. Boden- und klimabedingt schneidet der Standort Soest besser als der Standort Braunschweig ab. Auf Basis der Ernteergebnisse 2012 ergibt sich in Tiefpreisphasen für den M-Betrieb in Soest mit einem Gewinnbeitrag von 526 €/ha bzw. in Braunschweig mit 410 €/ha gegenüber den anderen Modellbetrieben das beste Ergebnis. In Hochpreisphasen ist in Soest auf Basis der Erntedaten von 2012 hingegen der V-Betrieb mit 1.275 €/ha erfolgreicher, in

Braunschweig schneidet auch unter diesen Annahmen der M-Betrieb mit 971 €/ha am besten ab. Ursächlich ist der im V-Betrieb zugelassene Silomaisanbau, dessen Erträge in Soest im Erntejahr 2012 überdurchschnittlich gut und höher als in Braunschweig ausfielen.

Unter standardisierten Erntebedingungen ergibt sich ein unverändertes Bild für Tiefpreisphasen: in Soest und Braunschweig dominiert der M-Betrieb mit 436 €/ha bzw. 354 €/ha. Allerdings lässt sich auch in Hochpreisphasen ein Vorteil für den M-Betrieb erkennen – sowohl in Soest (1.009 €/ha) als auch in Braunschweig (880 €/ha) ermittelt das Modell für diesen Betriebstyp den höchsten Gewinnbeitrag.

Ein Vergleich zwischen den Ergebnissen für den V- und den O-Betrieb zeigt, dass die Gewinnbeiträge unabhängig von Erntedaten, Preisniveau oder Standort im O-Betrieb geringer sind. Die Differenz fällt aber am Standort Soest sowohl absolut als auch relativ höher aus.

Treibhauspotential pro Getreideeinheit und Hektar, Erntedaten 2012

Aufgrund der Emissionen aus der Tierhaltung ergeben sich für die Ökobilanz des V- und des O-Betriebs signifikant höhere Treibhausgasemissionen als im reinen M-Betrieb. So liegt das Emissionsniveau der Betriebe mit Tierbestand bezogen auf die (bei allen Betrieben gleiche) Ackerfläche um etwa 140 - 150 % über dem Betrieb mit reinem Marktfruchtanbau. Eine bessere und aussagekräftigere Vergleichbarkeit im Hinblick auf die Treibhauspotentiale ergibt sich daher bei gleichzeitiger Betrachtung der im Betrieb erzeugten (Nahrungs-)Energie durch Umrechnung der Produktmengen auf Getreideeinheiten, siehe Abb. 88.

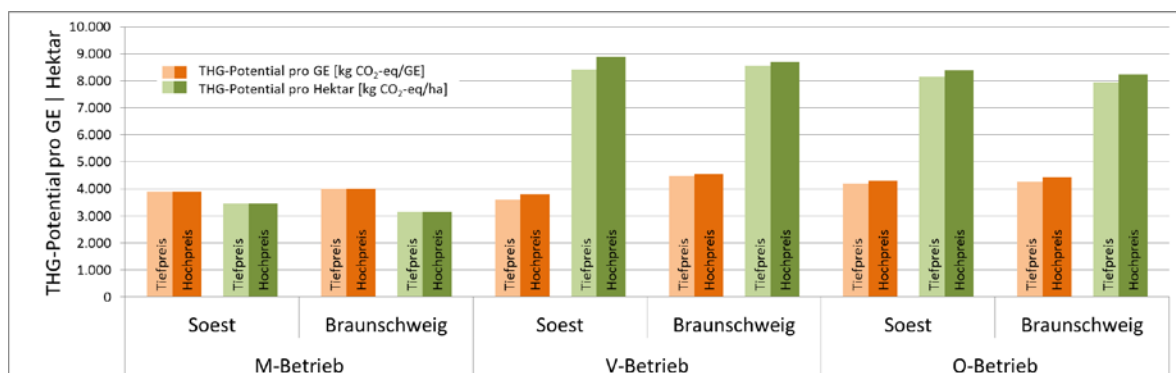


Abb. 88: Treibhauspotentiale pro GE und pro Hektar, Ernte 2012

Es wird deutlich, dass die Treibhauspotentiale pro Hektar (grüne Säulen) in den Betrieben mit Tierbestand unabhängig vom Preisniveau über denen des M-Betriebes liegen. Die

THG-Emissionen bezogen auf Getreideeinheiten (GE) jedoch befinden sich auf einem über alle Betriebstypen ähnlichen Niveau. Der V-Betrieb am Standort Soest schneidet hier mit 3.602 kg CO₂-eq/GE im Tiefpreisniveau sogar am besten ab. Für Braunschweig ergibt sich als Minimum im Tiefpreisniveau ein Wert von 4.008 kg CO₂-eq/GE im M-Betrieb. Diese Rangfolge gilt unverändert für Hochpreisphasen: hier schneidet ebenfalls der V-Betrieb in Soest mit 3.808 kg CO₂-eq/GE und der M-Betrieb in Braunschweig mit 4.008 kg CO₂-eq/GE am besten ab. Offensichtlich steht also der vermehrten THG-Emission durch die Tierhaltung eine nahezu in gleicher Größenordnung gesteigerte (Nahrungs-)Energieproduktion gegenüber.

Treibhauspotentiale pro Getreideeinheit und pro Hektar, Erntedaten standardisiert

Betrachtet man die in Abb. 89 dargestellten Ergebnisse auf standardisierter Erntedatenbasis, so wird deutlich, dass nun der V-Betrieb in Soest sowohl in Tief- als auch in Hochpreisphasen pro Getreideeinheit die geringsten Treibhauspotentiale ausweist. In Braunschweig weist hingegen in beiden Preisphasen der M-Betrieb die geringsten Treibhauspotentiale auf.

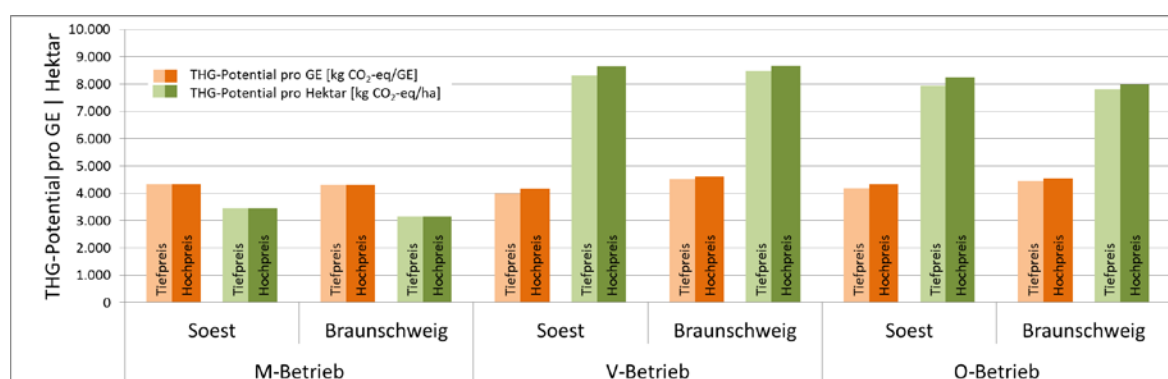


Abb. 89: Treibhauspotentiale pro GE und pro Hektar, Ernte standardisiert

Damit lässt sich zeigen, dass bei einer von jahreszeitlichen Schwankungen losgelösten Betrachtung der Treibhauspotentiale und bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Nahrungsenergieerzeugung auch Veredelungsbetriebe in ihrer Klimawirkung nicht zwingend nachteilig erscheinen müssen. Die Absolutwerte der viehhaltenden Betriebe liegen jedoch aufgrund der Emissionen aus der Tierhaltung bzw. der Ausbringung der Wirtschaftsdünger bei einer rein flächenbezogenen Betrachtung zwingend über denen des M-Betriebes.

MinMax-Szenario, Ernte 2012, Anbauflächen in Grenzen variabel, keine Ausweitung der Mastschweine- oder Biogasproduktion

Das MinMax-Szenario gibt dem Optimierungsmodell die Möglichkeit, innerhalb vorgegebener minimaler bzw. maximaler Grenzen für die einzelnen Kulturen, die Anbaufläche der jeweiligen Frucht zu variieren, um dadurch entsprechende organisationsbedingte Gewinnpotentiale zu erschließen. Diese Anbaubeschränkungen sind in Tab. 28 dargestellt. Bezüglich der Mastschweine- und Biogasproduktion ist das Modell in diesem Szenario unverändert, der V- und der O-Betrieb verfügen wie im Referenzszenario über 800 Mastschweineplätze und eine 200 kW_{el} Biogasanlage.

Tab. 28: Anbauflächen im Referenz- und MinMax-Szenario

Referenzszenario								
	M-Betrieb			V-Betrieb			O-Betrieb	
	Anbaufläche			Anbaufläche			Anbaufläche	
Winterweizen	133 ha		Winterweizen	67 ha		Winterweizen	50 ha	
Winterraps	67 ha		Silomais	67 ha		Winterraps	25 ha	
			Wintergerste	67 ha		Silomais	50 ha	
						Wintergerste	25 ha	
						Ackerbohnen	25 ha	
						GPS-Roggen	25 ha	
MinMax-Szenario (Auch in diesem Szenario darf die Gesamtanbaufläche von 200 ha pro Betrieb nicht überschritten werden)								
	M-Betrieb			V-Betrieb			O-Betrieb	
	Anbaufläche			Anbaufläche			Anbaufläche	
	Minimal	Maximal		Minimal	Maximal		Minimal	Maximal
Winterweizen	25 ha	150 ha	Winterweizen	25 ha	100 ha	Winterweizen	25 ha	100 ha
Winterraps	12,5 ha	150 ha ²	Silomais	25 ha	100 ha	Winterraps	12,5 ha	50 ha
			Wintergerste	12,5 ha	100 ha	Silomais	25 ha	100 ha
						Wintergerste	12,5 ha	50 ha
						Ackerbohnen	12,5 ha	50 ha
						GPS-Roggen	12,5 ha	50 ha

Beim MinMax- wie auch beim Referenzszenario wurde dem Berechnungsmodell vorgegeben, die gesamte zur Verfügung stehende Ackerfläche von 200 ha zu nutzen. Eine aus Kapazitätsgründen eventuell wirtschaftlich vorteilhafte „Nichtnutzung“ von Teilflächen ist also nicht möglich.

² Bei einer Zunahme der Winterrapsanbaufläche um 83,3 ha ergibt sich eine gesamte Rapsanbaufläche von 150 ha bei einer Gesamtbetriebsfläche von 200 ha. Ein Rapsanteil von 75 % ist pflanzenbaulich bzw. fruchtfolgetechnisch nicht tragfähig, wurde aber für die modellhafte Betrachtung zur Verdeutlichung der unterschiedlichen innerbetrieblichen Wettbewerbskraft der Kulturen im MinMax-Szenario zugelassen.

Um eine einfache Vergleichbarkeit des jeweiligen Szenarios mit den Referenzszenarien „Erntedaten 2012“ und „Ernte standardisiert“ zu ermöglichen, wurden die relativen Veränderungen ausgewertet und im Folgenden dargestellt. So erkennt man für das *MinMax-Szenario: „Ernte 2012, Anbauflächen in Grenzen variabel, keine Ausweitung der Mast-schweine- oder Biogasproduktion“*, dass sich für alle Modellbetriebe und beide Standorte eine Erhöhung des Gewinnbeitrages durch Aufweitung der Anbaugrenzen erreichen lässt. Wirtschaftlich relativ vorzüglichere Kulturen werden zu Lasten weniger leistungsfähiger Kulturen im Anbau ausgedehnt. Auffällig ist, dass die Treibhauspotentiale sich nicht im gleichen Maße erhöhen: so führt beispielsweise eine 71 %-ige Zunahme des Gewinnbeitrages bei Tiefpreisen in Braunschweig im O-Betrieb nur zu einer Zunahme des Treibhauspotentials von 4 %. Im V-Betrieb in Soest führt unter Tiefpreisbedingungen die freiere Wahl der Anbauanteile bei einer Steigerung des Gewinnbeitrags um 35 % sogar zu einem Rückgang der Treibhauspotentiale um 5 %. Abb. 90 gibt die Auswirkungen der erweiterten Anbaugrenzen auf die Gewinnbeiträge und Treibhauspotentiale für die Erntedaten 2012 wieder.

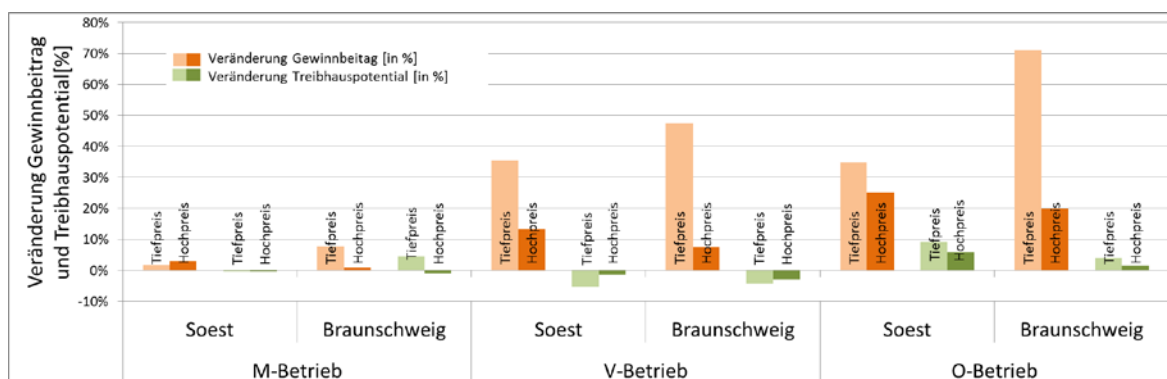


Abb. 90: Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotentiale MinMax- vs. Referenzszenario, Ernte 2012

Ursächlich für die Erhöhung des Gewinnbeitrags im O-Betrieb in Braunschweig, Tiefpreis, ist eine Reduktion des Anbaus von Ackerbohnen, Wintergerste und Silomais zugunsten einer Ausweitung der GPS-Roggen- und Winterraps-Anbauflächen. Am Standort Soest dagegen wird der Anbau des relativ vorzüglichen Winterweizens weiter zu Lasten aller übrigen Kulturen ausgedehnt. Alle Anbauveränderungen sind in der folgenden Tab. 29 dargestellt.

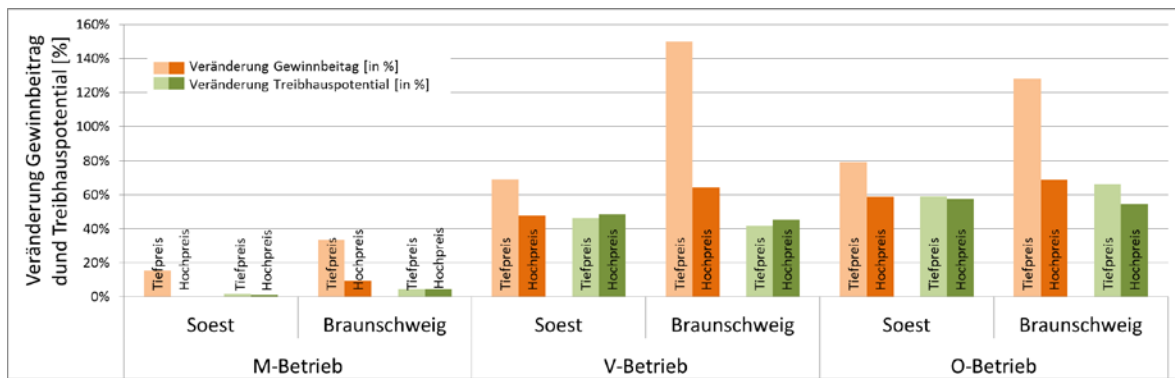


Abb. 93: Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotentiale MinMax_Mastl- vs. Referenzszenario, Erntedaten standardisiert

Die Veränderungen der Anbauflächen finden sich in der folgenden Tab. 32.

Tab. 32: Veränderungen der Anbaufläche in Hektar, Referenz- zu MinMax_Mastl_BG200-Szenario, Erntedaten standardisiert

	M-Betrieb					V-Betrieb					O-Betrieb			
	Soest		Braunschweig			Soest		Braunschweig			Soest		Braunschweig	
	Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis		Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis		Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis
Winterweizen	-83,3	-51,6	-83,3	-83,3	Winterweizen	20,8	22,8	23,9	33,3	Winterweizen	31,6	41,9	9,3	43,3
Winterwaps	83,3	51,6	83,3	83,3	Silomais	33,3	31,4	30,3	20,8	Winterwaps	12,1	20,6	25,0	-8,9
					Wintergerste	-54,2	-54,2	-54,2	-54,2	Silomais	-6,3	-25,0	3,2	3,2
										Wintergerste	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
										Ackerbohnen	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
										GPS-Roggen	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5

MinMax_Mastl_BG400-Szenario, Erntedaten 2012, Anbauflächen in Grenzen variabel, Masterweiterung um 920 Plätze, Erweiterung BG-Anlage auf 400 kW

Das Szenario *MinMax_Mastl_BG400* schreibt für die Betriebe mit Mastschweine- und Energieproduktion aus Biogas neben der Erweiterung der Mastkapazitäten um 920 Plätze gegenüber dem Referenzszenario die Verdopplung der Biogasproduktion auf 400 kW_{el} vor. Die hieraus folgenden investitionsbedingten zusätzlichen Festkosten belasten den Gewinnbeitrag stark: nur im V-Betrieb am Standort Soest können Zuwächse im einstelligen Bereich (Tiefpreis: 0,1 %, Hochpreis: 9,3 %) verzeichnet werden, für den O-Betrieb (am Standort Braunschweig auch für den V-Betrieb) hingegen ist die Erweiterung der Biogasproduktion unter diesen Voraussetzungen unwirtschaftlich und führt zu sinkenden Gewinnbeiträgen. Die Treibhauspotentiale nehmen hingegen im Vergleich zur Masterweiterung bei gleichbleibender Biogaskapazität zu. Die Verdopplung der Biogasanlagenleis-

tung ist somit aus ökonomischer und ökologischer Perspektive unter den gegebenen Randbedingungen als nachteilig zu bewerten. Sowohl im V- als auch im O-Betrieb wird der Anbau von Silomais und GPS-Roggen stark zu Lasten übriger Kulturen ausgedehnt. Zur Sicherstellung der Biogasproduktion wird das Anbauspektrum eingeeengt (siehe Abb. 94 und zu den Veränderungen der Anbauflächen Tab. 33).

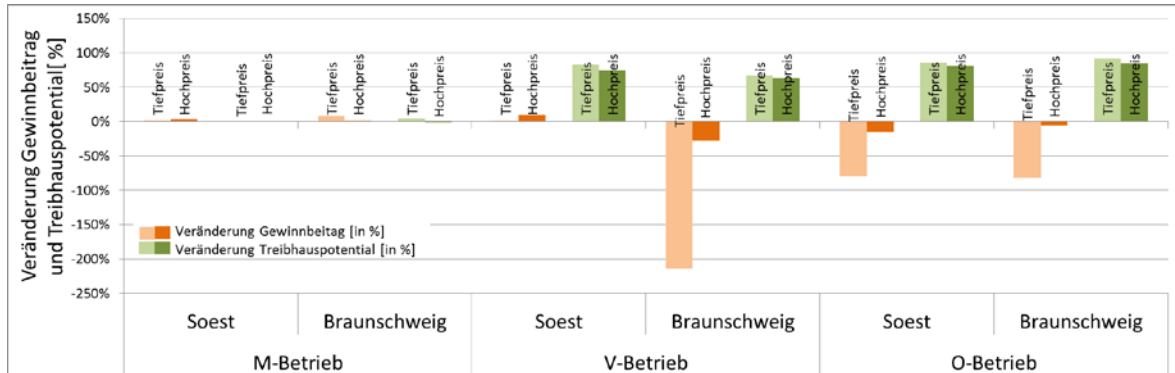


Abb. 94: Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotential MinMax_Mastl_BG400- vs. Referenzszenario, Ernte 2012

Tab. 33: Veränderung Anbaufläche in Hektar, Referenz- zu Min-Max_Mastl_BG400-Szenario, Ernte 2012

	M-Betrieb					V-Betrieb					O-Betrieb			
	Soest		Braunschweig			Soest		Braunschweig			Soest		Braunschweig	
	Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis		Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis		Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis
Winterweizen	16,7	16,7	-83,3	16,7	Winterweizen	20,8	20,8	20,8	20,8	Winterweizen	-7,7	-6,0	-25,0	1,3
Winterrapss	-16,7	-16,7	83,3	-16,7	Silomais	33,3	33,3	33,3	33,3	Winterrapss	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
					Wintergerste	-54,2	-54,2	-54,2	-54,2	Silomais	20,2	50,0	37,5	11,2
										Wintergerste	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
										Ackerbohnen	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
										GPS-Roggen	25,0	-6,5	25,0	25,0

MinMax_Mastl_BG400-Szenario, Erntedaten standardisiert, Anbauflächen in Grenzen variabel, Masterweiterung um 920 Plätze, Erweiterung BG-Anlage auf 400 kW

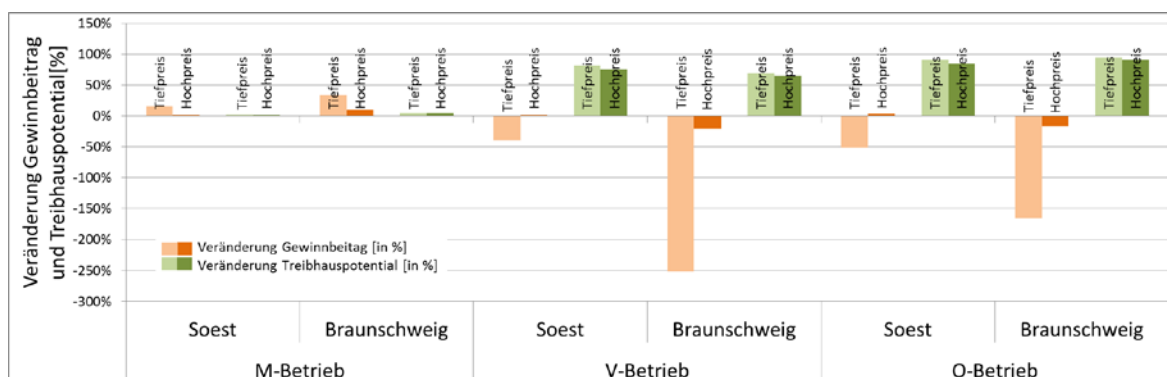


Abb. 95: Veränderungen Gewinnbeitrag & Treibhauspotential MinMax_Mastl_BG400- vs. Referenzszenario, Erntedaten standardisiert

Betrachtet man die Ergebnisse des *MinMax_Mastl_BG400-Szenarios* mit standardisierten Erntedaten (Abb. 95), so stellt sich hier nur in Hochpreisphasen am Standort Soest im V- und im O-Betrieb eine minimal positive Veränderung des Gewinnbeitrags dar: im V-Betrieb steigt der Gewinnbeitrag gegenüber dem standardisierten Referenzszenario um 1,5 %, im O-Betrieb um 3,3 %. Die Treibhauspotentiale nehmen hingegen zwischen 74 % und 95 zu.

Die zahlenmäßigen Veränderungen der Anbauflächen sind in Tab. 34 dargestellt.

Tab. 34: Veränderung Anbaufläche in Hektar, Referenz- zu Min-Max_Mastl_BG400-Szenario, Erntedaten standardisiert

	M-Betrieb					V-Betrieb					O-Betrieb			
	Soest		Braunschweig			Soest		Braunschweig			Soest		Braunschweig	
	Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis		Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis		Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis
Winterweizen	-83,3	-51,6	-83,3	-83,3	Winterweizen	20,8	20,8	20,8	20,8	Winterweizen	0,0	15,0	-25,0	-9,6
Winterwaps	83,3	51,6	83,3	83,3	Silomais	33,3	33,3	33,3	33,3	Winterwaps	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
					Wintergerste	-54,2	-54,2	-54,2	-54,2	Silomais	50,0	35,0	50,0	50,0
										Wintergerste	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
										Ackerbohnen	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
										GPS-Roggen	-12,5	-12,5	12,5	-2,9

Ergänzend zur Bewertung der wirtschaftlichen – am Gewinnbeitrag orientierten – und der klimarelevanten Auswirkungen einer Veränderung der Modellbetriebe wurden in den Betriebsmodellen detaillierte Daten zur arbeitswirtschaftlichen Situation der Betriebe integriert. Auf dieser Basis sollen die Auswirkungen einer Veränderung der Modellbetriebe auf die Arbeitsorganisation und die Kosten der Arbeitserledigung ermittelt werden. Mittels der KTBL-Einteilung Deutschlands in Klimagebiete wurden daher die hierauf basierenden verfügbaren Feldarbeitstage den vom jeweiligen Szenario benötigten Feldarbeitstagen gegenübergestellt. Diese für den jeweiligen Standort vergleichsweise grobe Einteilung der Klimagebiete wurde im Modell nicht als begrenzender Faktor hinterlegt, sondern nur bilanziert. In Abb. 96 sind die Ergebnisse dargestellt.

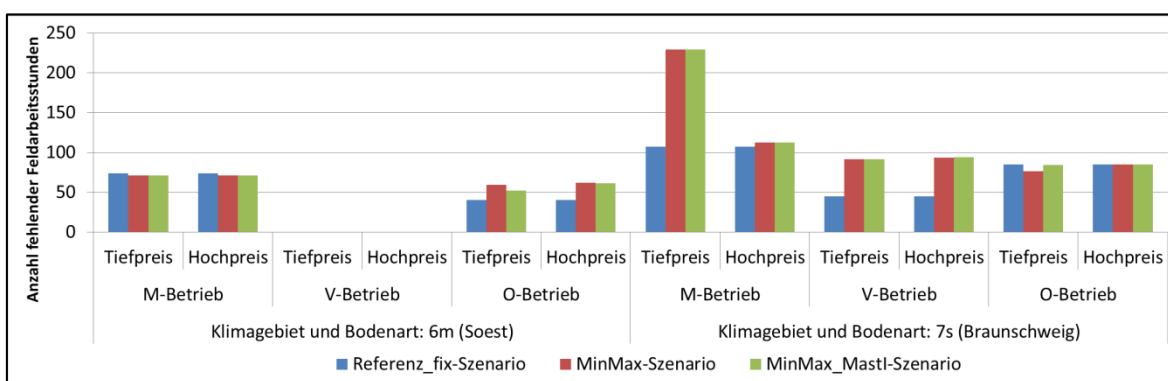


Abb. 96: Modellergebnisse "fehlende" Feldarbeitsstunden nach Klimagebiet und Bodenart

Für den Standort Soest wurde das Klimagebiet 6 und ein mittlerer Boden angesetzt, für Braunschweig hingegen das Klimagebiet 7 mit schwerem Boden. Entsprechend ergeben sich für den Standort Braunschweig zwischen 45 und 229 rechnerisch fehlende Feldarbeitsstunden, für den Standort Soest hingegen zwischen 0 und 74 Stunden. Diese fehlende Kapazität tritt im März und ersten Halbmonat April sowie im zweiten Halbmonat Oktober und im November auf. Lediglich der V-Betrieb am Standort Soest kann unabhängig vom Preisniveau seine Arbeiten innerhalb der standardisiert verfügbaren Feldarbeitszeit ohne Engpässe erledigen. Auch wenn diese Werte theoretischer Natur sind, da sich lokal sicherlich in der Praxis Wege finden die Feldarbeiten bedarfsgerecht zu erledigen, zeigt sich im Vergleich der Modellbetriebe doch eine Überlegenheit des V- bzw. O-Betriebs im Umgang mit Arbeitsspitzen: diese lassen sich aufgrund der weiteren Fruchtfolgen gegenüber dem M-Betrieb deutlich reduzieren. Auffällig ist in Abb. 96 der große Anteil an fehlenden Feldarbeitsstunden im Braunschweiger M-Betrieb bei Tiefpreisen, der sich durch einen vermehrten Anbau von Raps zu Lasten des im Tiefpreisniveau nicht innerbetrieblich

konkurrenzfähigen Weizens erklären lässt: hier kommt es im zweiten Halbmonat August zu Engpässen.

Exkurs GAP-Reform 2013

Am 26. Juni 2013 einigten sich die Kommission, der Rat und das Europäische Parlament über die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP). Viel diskutiert wurden bereits im Vorfeld durch die Fachöffentlichkeit die Vorschläge der Kommission zum sog. Greening, der Ökologisierung der Landwirtschaft. Im Ergebnis einigte man sich auf drei grundlegende Maßnahmen:

- Erhaltung von **Dauergrünland**,
- **Anbaudiversifizierung**: ein Landwirt, dessen Ackerland mehr als 10 ha umfasst, muss mindestens zwei verschiedene landwirtschaftliche Kulturen anbauen - bzw. drei verschiedene Kulturen, wenn sein Ackerland mehr als 30 ha umfasst. Die Hauptkultur darf 75 % des Ackerlandes nicht übersteigen und die beiden Hauptkulturen dürfen nicht mehr als 95 % des Ackerlandes einnehmen,
- Erhaltung von „**im Umweltinteresse genutzten Flächen**“ **im Umfang von mindestens 5 % der Ackerfläche des Betriebs** für landwirtschaftliche Betriebe mit einer Fläche von mehr als 15 ha (ohne Dauergrünland) – d. h. Ackerränder, Hecken, Bäume, Brachflächen, Landschaftselemente, Biotope, Pufferstreifen und Aufforstungsflächen. Dieser Prozentsatz wird nach einem von der Kommission im Jahr 2017 vorgelegten Bericht und einem Rechtsvorschlag **auf 7 % heraufgesetzt**.

In wie weit sich diese Maßnahmen konkret auf die Gewinnbeiträge der Modellbetriebe auswirken, lässt sich aufgrund fehlender Detaillierungen noch nicht genau beziffern. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich insbesondere die Maßnahmen „Anbaudiversifizierung“ und der „Erhalt von im Umweltinteresse genutzten Flächen“ nachteilig auf den ökonomischen Erfolg des M-Betriebes auswirken, während sich der V- und der O-Betrieb unter Umständen ohne nennenswerte Rückgänge der Gewinnbeiträge anpassen lassen, da die agrarpolitischen Restriktionen bezüglich der Anbaustruktur im Betrieb bereits teilweise erfüllt werden.

Die Berechnungen der Gewinnbeiträge und der Treibhauspotentiale durch das lineare Optimierungsmodell ermöglichen eine Ermittlung der THG-Vermeidungskosten durch eine klimaoptimierte Organisation des Betriebes und der Produktionsverfahren. Dies erfolgt durch einen Vergleich der Ergebnisse der Referenzszenarien (Ernte 2012 bzw. standardisierte Erntedaten) zwischen dem V- und dem O-Betrieb. Ein Vergleich der THG-Vermeidungskosten mit dem M-Betrieb erscheint aufgrund der stark abweichenden Produktionsrichtungen (kein Biogas, keine Tierproduktion) wenig sinnvoll und wird zu verzerrten Ergebnissen führen. Der Vergleich auf Ebene der Getreideeinheiten erfolgte wie oben dargestellt.

Tab. 35: THG-Vermeidungskosten im Referenzszenario, Vergleich O-Betrieb zu V-Betrieb

		Soest		Braunschweig	
		Tiefpreis	Hochpreis	Tiefpreis	Hochpreis
Ernte 2012	Rückgang ³ Gewinnbeitrag [in €]	33.295 €	57.102 €	-5.794 €	753 €
	Abnahme Treibhauspotential [in kg CO ₂ -eq]	47.692	100.719	124.571	92.311
	THG-Vermeidungskosten [in €/t CO ₂ -eq]	698,13 €	566,94 €	-46,51 €	8,15 €
Erntedaten standardisiert	Rückgang Gewinnbeitrag [in €]	10.503 €	25.456 €	-311 €	8.834 €
	Abnahme Treibhauspotential [in kg CO ₂ -eq]	71.608	81.590	133.379	137.225
	THG-Vermeidungskosten [in €/t CO ₂ -eq]	146,67 €	312,00 €	-2,33 €	64,38 €

Die in Tab. 35 zusammengefassten Ergebnisse sind für den Standort Soest sowohl im Tief- als auch im Hochpreisniveau plausibel, am Standort Braunschweig nehmen die Gewinnbeiträge im O-Betrieb gegenüber dem V-Betrieb bei Tiefpreisen zu, wodurch es zu negativen THG-Vermeidungskosten kommt, was zunächst nicht zu erwarten, jedoch aufgrund der Besonderheiten des Erntejahres 2012 und damit der verwendeten Daten des Einzeljahres erklärbar ist. Die Zunahme des Gewinnbeitrags in Braunschweig bei Tiefpreisen auf Basis der Erntedaten 2012 lässt sich auf steigende Erlöse vom V- zum O-Betrieb in der Vergütung der Stromerzeugung aus Biogas zurückführen: so werden über die Vergütung der Einsatzstoffvergütungskategorie I im O-Betrieb rund 10.000 € mehr Erlöse erzielt als im V-Betrieb. Stattdessen sinken die Erträge im Soester O-Betrieb gegenüber dem V-Betrieb um etwa 48.000 €. Die in Abb. 97 dargestellten Einsatzmengen der Biogassubstrate verdeutlichen dies (überschüssige nicht in der betrieblichen Biogasanlage einsetzbare Substratmengen können verkauft werden).

³ Ein negativer Rückgang des Gewinnbeitrags stellt eine Zunahme des Gewinnbeitrags dar.

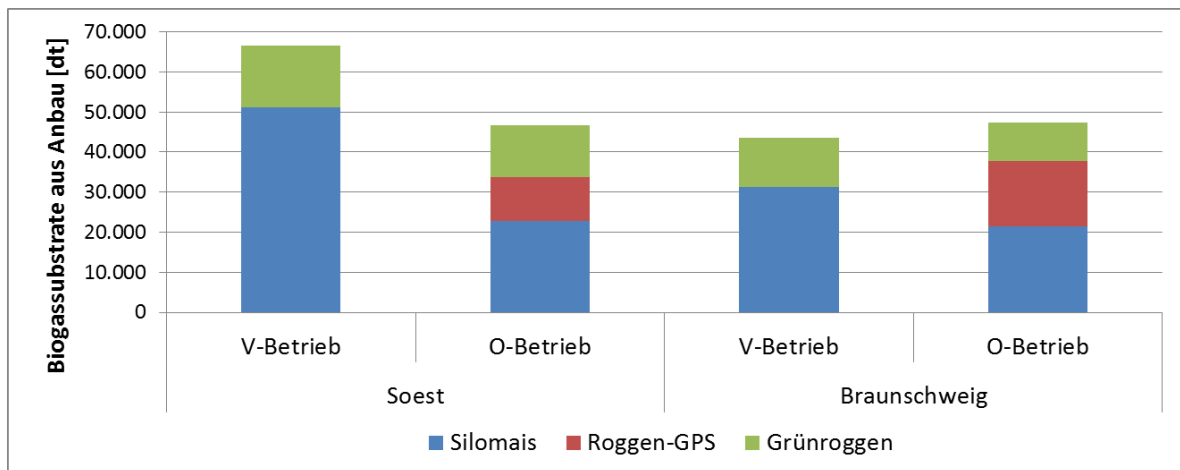


Abb. 97: Einsatzmenge der Biogassubstrate im Referenzszenario, Ernte 2012

Während die Gesamtsubstratmenge aus Anbaubiomasse in Soest abnimmt, findet in Braunschweig eine Zunahme statt. Die Ursache hierfür sind die in 2012 im Braunschweiger O-Betrieb geernteten Mengen an Roggen-GPS: diese lagen um 50 % über den Erträgen in Soest und überkompensieren so die Substratrückgänge aufgrund der im O-Betrieb reduziert verfügbaren Anbauflächen für Silomais. Im Ergebnis kann der O-Betrieb gegenüber dem V-Betrieb in Braunschweig bei Tiefpreisen einen höheren Gewinnbeitrag erzielen, was zu den o.g. negativen THG-Vermeidungskosten führt.

Bei Betrachtung der standardisierten Erntedaten, die überdurchschnittliche Erträge von Einzeljahren neutralisieren, fallen bei Tiefpreisen ebenfalls negative THG-Vermeidungskosten, allerdings nur in Höhe von -2,33 €/t CO₂-eq, auf (siehe Tab. 35). Dieser Fall lässt sich durch den Vergleich der Kosten- und Ertragspositionen zwischen den Soester und den Braunschweiger Modellbetrieben erklären. Die absoluten Verkaufserlöse von Weizen und Gerste unterscheiden sich, ebenso wie die Vergütung der Stromproduktion aus Biogassubstraten. Während in Soest der Vergleich der Modellrechnungen von V- und O-Betrieb bei den Verkaufserlösen von Weizen und Gerste einen Rückgang von 73.090 € ausweist, werden in Braunschweig nur 65.063 € weniger Erlöst. Noch deutlicher fällt der Unterschied in den Einsatzstoffvergütungen für Biogas aus: hier werden in Soest 6.860 €, in Braunschweig jedoch nur 1.618 € weniger im O-Betrieb als im V-Betrieb erzielt, vgl. Abb. 98. Der O-Betrieb in Braunschweig kann so den Gewinnbeitragsrückgang besser kompensieren und durch Anpassung weiterer Aktivitäten ein geringfügig besseres Betriebsergebnis erwirtschaften.

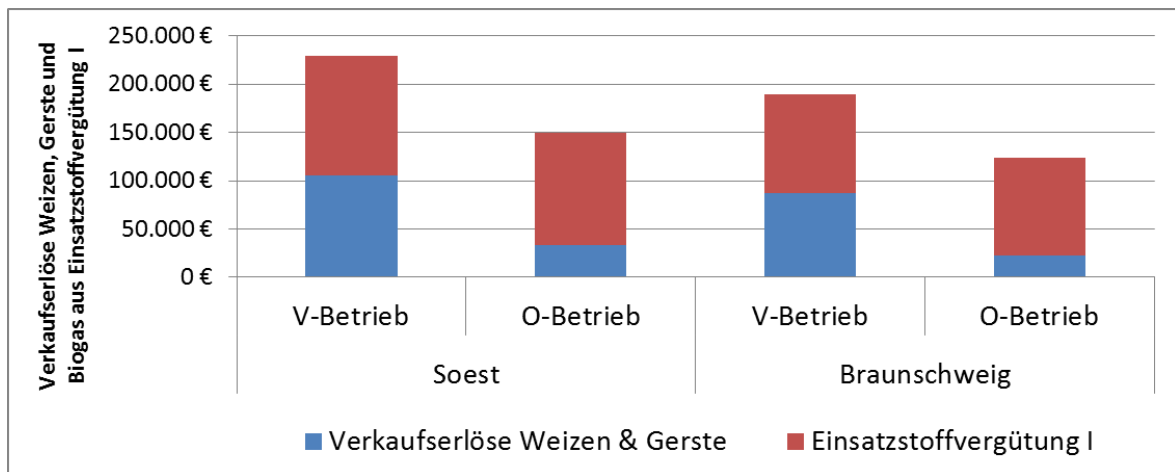


Abb. 98: Rückgang der Verkaufserlöse im Referenzszenario, Erntedaten standardisiert

Auf Basis der Ernte 2012 bzw. standardisierter Erntedaten lassen sich so bislang THG-Vermeidungskosten für den Standort Soest zwischen 147 €/t CO₂-eq und 698 €/t CO₂-eq ermitteln. Diese liegen weit oberhalb der aktuell gehandelten Preise für CO₂-Zertifikate von rund 3 – 5 €/t CO₂. Am Standort Braunschweig hingegen liegen mit 8,15 €/t CO₂-eq (Ernte 2012) und 64,38 €/t CO₂-eq (Erntedaten standardisiert) die THG-Vermeidungskosten deutlich unter denen des Standorts Soest. Allerdings ist hier das in Abb. 87 dargestellte Niveau der Gewinnbeiträge zu beachten: am Standort Braunschweig liegen die Gewinnbeiträge im V-Betrieb zwischen 35 und 60 % unter den Werten des Soester Standorts, entsprechend fallen die THG-Vermeidungskosten bei relativ ähnlichen Maßnahmen und THG-Einsparungen in Braunschweig niedriger aus.

Betrachtet man die THG-Vermeidungskosten innerhalb eines Betriebes, so kann ermittelt werden, auf welchen Gewinnbeitrag pro vermiedene Einheit Treibhauspotential verzichtet werden muss. Die Abb. 99 und Abb. 100 zeigen dies für den O-Betrieb und den V-Betrieb, Standort Soest, Ernte 2012 unter Hochpreisbedingungen im für das Modell flexibel zu berechnenden Szenario *MinMax_MastI_BG200-Szenario*.

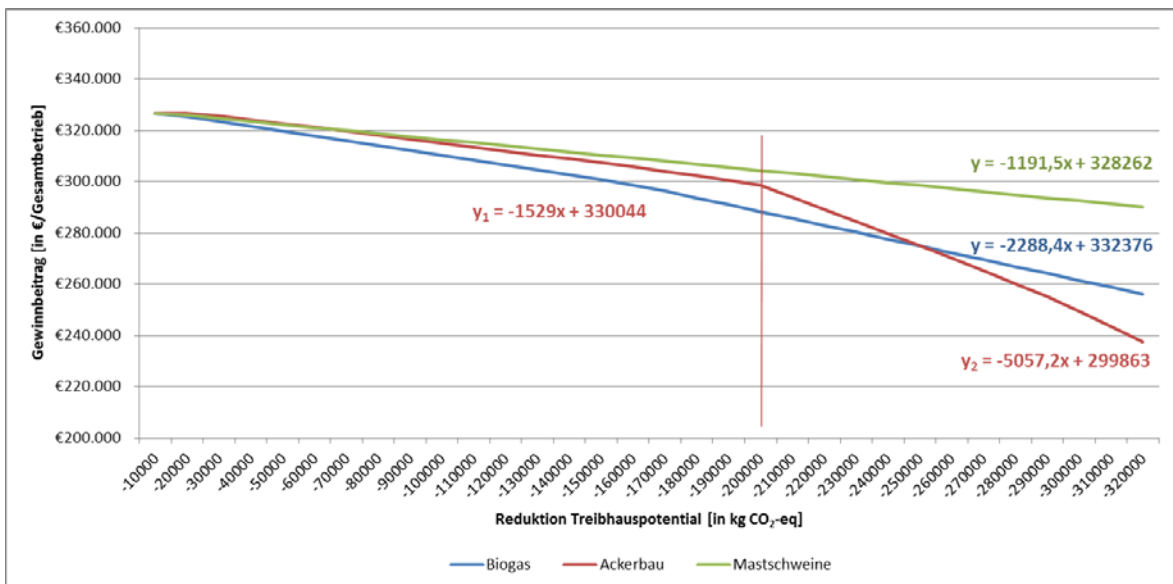


Abb. 99: THG-Vermeidungskosten im O-Betrieb, Soest, Ernte 2012, Hochpreisniveau, Min-Max_Mastl_BG200-Szenario

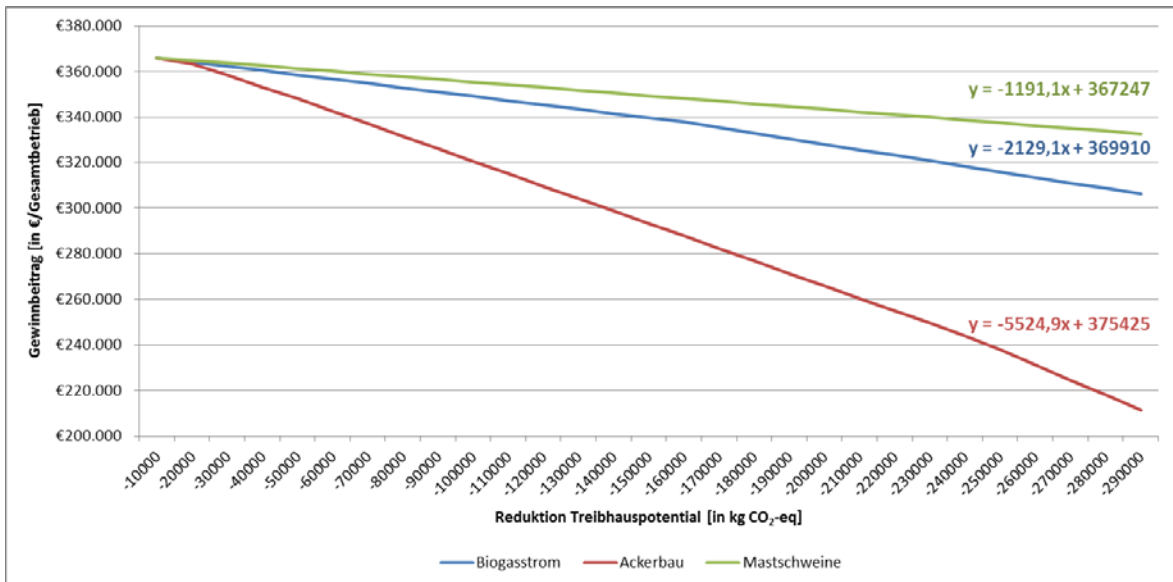


Abb. 100: THG-Vermeidungskosten im V-Betrieb, Soest, Ernte 2012, Hochpreisniveau, Min-Max_Mastl_BG200-Szenario

Das Modell ermöglicht eine separate Berechnung des Gewinnbeitrags bei Begrenzung der Treibhauspotentiale für die Produktionsrichtungen Ackerbau, Mastschweine und Biogas. Es wird deutlich, dass die Reduktion der Treibhauspotentiale durch die Mastschweineproduktion den am wenigsten nachteiligen Einfluss auf den Gewinnbeitrag hat, das heißt: durch Verringerung der Mastschweineproduktion lässt sich mit geringsten Kosten das Emissionspotential von THG nahezu linear reduzieren. Die Reduktion der THG-Emissionen durch eine veränderte Biogasproduktion verursacht gegenüber der Mastschweineproduktion etwas höhere Kosten. Im Ackerbau können durch Produktionsanpassung

THG-Vermeidungskosten auf mittlerem Niveau (Funktion y_1 in Abb. 99) erreicht werden, sofern die Reduktionsmenge unter 200 t liegt. Ab diesem Niveau sind im O-Betrieb (Abb. 99) alle Anpassungsspielräume ausgeschöpft und die Vermeidungskosten nehmen stark zu bzw. der Gewinn stark ab (Funktion y_2 in Abb. 99). Im V-Betrieb (Abb. 100) hingegen sind die THG-Vermeidungskosten auch im Ackerbau von Beginn an nahezu linear. Dies lässt sich durch die engere Fruchtfolge erklären: der O-Betrieb hat durch seine weite Fruchtfolge zunächst bessere Anpassungsmöglichkeiten und daher auch in der Summe geringere Kosten pro vermiedener THG-Einheit. Es ergeben sich für den V-Betrieb THG-Vermeidungskosten von rund 298 €/t CO₂-eq zur Vermeidung der ersten 300 t CO₂-eq, während im O-Betrieb nur auf etwa 206 €/t CO₂-eq verzichtet werden muss.

Eine Betrachtung des trade-offs zwischen den beiden Aspekten der Nahrungsmittelbereitstellung einerseits und der THG-Emissionen andererseits zeigt auf, dass die THG-Emissionsminderung in der Mastschweineproduktion mit geringerer Energieminderung möglich ist als im Ackerbau (siehe Abb. 101). Auch unter Effizienzaspekten ist somit zunächst eine Reduktion der Treibhauspotentiale aus der Mastschweinehaltung anzustreben.

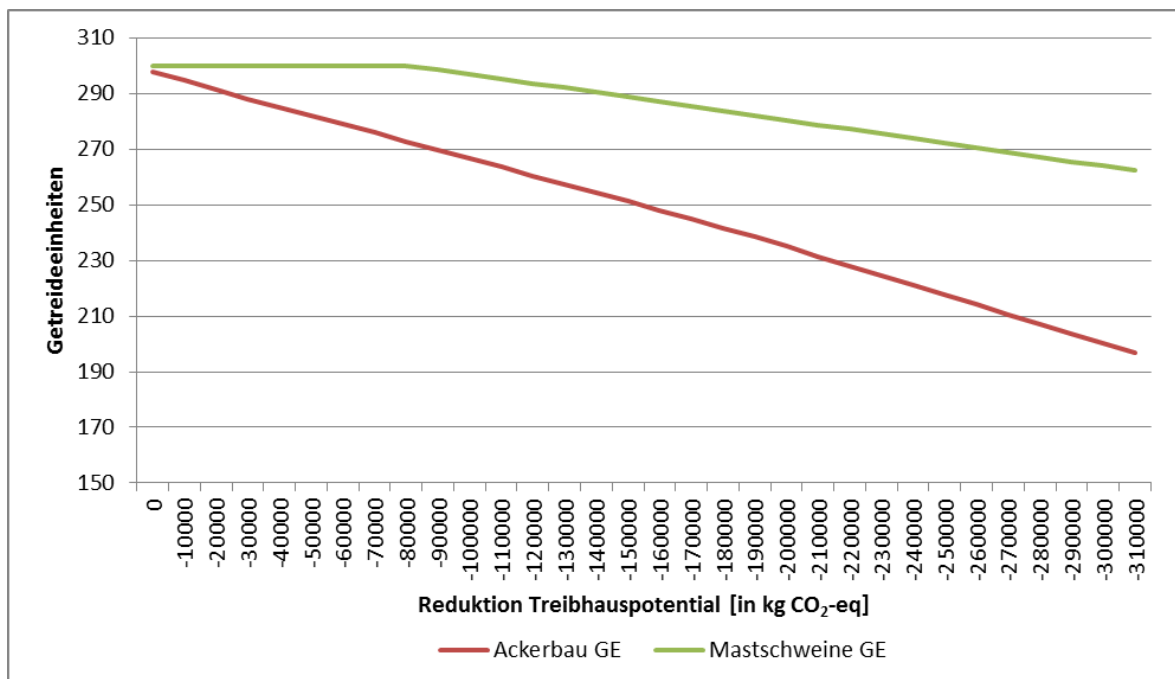


Abb. 101: Rückgang der produzierten Getreideeinheiten durch Reduktion der zulässigen Treibhauspotentiale im O-Betrieb, Soest, Ernte 2012, Hochpreisniveau, Min-Max_Mastl_BG200-Szenario

Die unterschiedlichen Modellbetriebe weisen durch ihre jeweiligen Produktionsrichtungen und Besonderheiten im Ackerbau differierende Risikoprofile auf, Abb. 102 gibt einen Überblick. So ist der M-Betrieb auf der Einkommensseite ausschließlich vom Verkauf pflanzlicher Produkte abhängig, während der V- und der O-Betrieb durch die Mastschweineproduktion und die Energieerzeugung aus Biogas weitere Standbeine haben. Vergleicht man die letztgenannten Betriebe, so stellt man fest, dass der O-Betrieb einerseits geringere Verkaufserlöse aus der Pflanzenproduktion ausweist, andererseits jedoch auch in geringerem Umfang Zukäufe tätigen muss. Der Stoffkreislauf ist in diesem Betrieb somit geschlossener, was auf eine bessere Robustheit des Betriebes gegenüber externen Veränderungen schließen lässt.

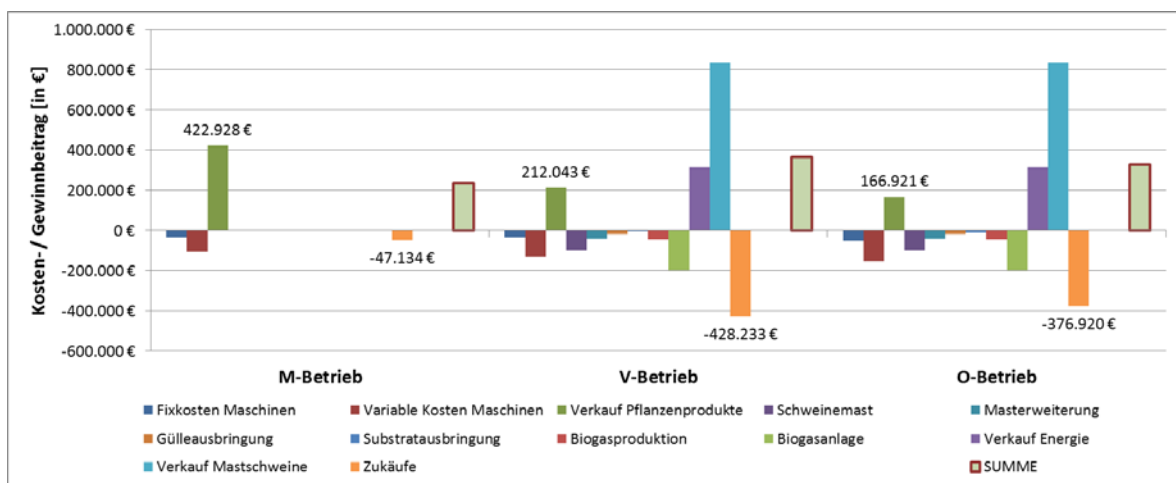


Abb. 102: Kosten- und Ertragsprofile der Modellbetriebe im MinMax_MastI_BG200-Szenario, Tiefpreisniveau, Ernte 2012

6.3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

In dem Teilprojekt wurde auf Basis der linearen Programmierung ein mathematisches Modell entwickelt, mit dessen Hilfe der ökonomische Erfolg der drei Modellbetriebe verglichen werden kann. Darüber hinaus wurden Ergebnisse des Teilprojekts Ökobilanzierung verwendet, um die THG-Vermeidungskosten zu ermitteln und die Modellbetriebe auch in dieser Hinsicht vergleichend zu untersuchen. Diese Vergleiche wurden über die ursprüngliche Auslegung des Forschungsvorhabens hinaus in verschiedenen Szenarien durchgeführt.

Festzuhalten ist, dass mit Blick auf die absoluten Treibhauspotentiale der M-Betrieb am günstigsten abschneidet: dieser Betriebstyp emittiert nur rund 40 % der Treibhauspotentiale des V- bzw. O-Betriebs. Ursächlich hierfür sind die unterschiedlichen Produktions-

richtungen: die Tierhaltung und die Biogasproduktion der beiden letztgenannten Modellbetriebe bringen naturgemäß höhere THG-Emissionen mit sich. Ein Bezug der THG-Emissionen auf die produzierten Getreideeinheiten relativiert das Bild. Die Treibhauspotentiale pro Getreideeinheit liegen nun deutlich enger beieinander (Abweichungen im einstelligen Prozentbereich), teilweise stehen die Betriebe mit Tierhaltung und Biogasproduktion besser da als der M-Betrieb. Im Hinblick auf den Trade-off zwischen Nahrungsmittelerzeugung und Klimabeeinträchtigung bestehen somit insbesondere zwischen den Betrieben vergleichbarer Produktionsrichtung kaum Unterschiede.

Unter Berücksichtigung der Klimagebiete und Bodenbedingungen der Versuchsstandorte Soest und Braunschweig lässt sich zudem zeigen, dass der M-Betrieb gegenüber dem V- und dem O-Betrieb im Nachteil ist, da sich Arbeitsspitzen im Ackerbau aufgrund der engen Fruchtfolge vergleichsweise schlecht abfedern lassen. Auch eine Betrachtung der Kostenrisiken der Modellbetriebe zeigte, dass die Betriebe mit Viehhaltung und Biogasproduktion aufgrund ihrer vielfältigeren Einkommensmöglichkeiten günstiger aufgestellt sind als der M-Betrieb mit ausschließlichen Einkünften aus dem Verkauf der Feldfrüchte.

Auf Basis der Ernte 2012 bzw. standardisierter Erntedaten lassen sich THG-Vermeidungskosten für den Standort Soest zwischen 147 €/t CO₂-eq und 698 €/t CO₂-eq ermitteln. Diese liegen weit oberhalb der Preise für CO₂-Zertifikate im aktuellen Handel von rund 3 – 5 €/t CO₂-eq. Insofern sind die Kosten der Vermeidung der Emissionen im Ackerbau vergleichsweise hoch. Am Standort Braunschweig liegen diese Kosten mit 8 €/t CO₂-eq und 64 €/t CO₂-eq deutlich niedriger. Ursächlich hierfür ist neben den im Vergleich zum Soester Standort deutlich höheren Einsparpotentialen an THG-Emissionen der weniger starke Gewinnbeitragsrückgang vom V- zum O-Betrieb in Braunschweig. Die verwendeten Daten führen in Abhängigkeit vom Standort und den Agrarpreisbedingungen zu THG-Vermeidungskosten von durchschnittlich 300 €/t CO₂-eq.

Die Kosten der THG-Vermeidung müssen vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass die Ergebnisse der Ökobilanzierung viele Hinweise auf Stellschrauben geben, die die Klimarelevanz aller Betriebe, insbesondere des O-Betriebs, positiv beeinflussen können.

6.4 Fazit Ökonomische Bewertung

Es war beabsichtigt, mittels eines umfassenden Modells die unterschiedlichen Betriebstypen in ihrer wirtschaftlichen Lage und Struktur unter Berücksichtigung der Ökobilanz zu

bewerten. Hierzu sollte ein lineares, komparativ-statisches Optimierungsmodell aufgebaut werden, das die Ergebnisse der pflanzenbaulichen Versuche ebenso wie die über die Ökobilanzierung ermittelten Wirkungskategorien berücksichtigt. Es ist gelungen, ein solches Modell zu erstellen und hierüber die Modellbetriebe bezüglich ihres Gewinnbeitrages, der Arbeitsspitzenverteilung, Einkommensrisiken und insbesondere Treibhausgasemissionen bzw. deren Vermeidungskosten zu vergleichen. Aufgrund der in der Ökobilanz gewählten Bilanzgrenzen konnte die Bewertung der Emissionen im Bereich der Schweine- und Biogasproduktion nicht konkret abgeschätzt werden, hier war man auf Modellparameter aus anderen Ökobilanzen angewiesen. Der abschließende Vergleich der ermittelten THG-Vermeidungskosten mit Preisen für CO₂-Zertifikate für die Stahl- oder Stromerzeugung auf europäischer Ebene zeigt, dass die in diesem Projekt ergriffenen Maßnahmen zur Reduzierung von klimarelevanten Emissionen aus der Landwirtschaft vergleichsweise teuer sind und aus volkswirtschaftlicher Sicht kostengünstigere Alternativen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen existieren.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen

Die geplanten Projektziele wurden im Wesentlichen erreicht.

Das an den beiden Versuchsstandorten anlegte **Zentralexperiment** konnte erfolgreich etabliert werden. Insbesondere die Fruchtfolge im O-Betrieb erwies sich an beiden Standorten mit Ausnahme des Maises als erfreulich ertragsstabil. An beiden Standorten konnte zudem der rechnerische Ansatz eines vollkommenen Nährstoffrückflusses aus den Gärrückständen verwirklicht werden. Hinsichtlich der Verteilung und effizienten Ausnutzung des Stickstoffes aus den Gärrückständen besteht allerdings weiterer Klärungsbedarf. Die aufgrund der differenzierten Bodenbearbeitung angestrebte gezielte Nutzung der besseren Tragfähigkeit des Bodens im O-Betrieb für günstigere Ausbringtermine spielte in der ersten Projektphase aufgrund des Witterungsverlaufes keine Rolle.

Im **Teilprojekt Ertragsmodellierung und Risikominimierung** konnte wie geplant auf der Grundlage des australischen Programmes APSIM ein Wachstumsmodell anhand der im Projekt an beiden Standorten generierten Daten für alle angebauten Kulturen kalibriert (Wachstum, Erträge, Witterung) und mit externen Versuchsdaten validiert werden. Die

Ergebnisse der Modellierung mit historischen Wetterdaten zeigen eine überraschend gute Übereinstimmung der Erträge. Modelle dienen dazu, komplexe Zusammenhänge und die Wirkung verschiedener Faktoren aufzuzeigen. Die Gesamtheit aller pflanzenbaulich relevanten Einflussfaktoren lässt sich dagegen nicht abbilden. Bezogen auf das Projekt bedeutet dies, dass wichtige Einflussgrößen unberücksichtigt bleiben mussten. Dazu zählen z.B. der Pflanzenschutz und die Auswirkung der zwischen den Modellbetrieben differenzierten Bodenbearbeitung. Im Vergleich zum zu erwartenden Erkenntnisgewinn wäre der zusätzliche Aufwand allerdings erheblich gewesen.

Auf der Grundlage der Ertragsmodellierung wurde eine Abschätzung des Anbausrisikos unter verschiedenen Klimaszenarien vorgenommen. Im Fokus standen dabei die Einwirkungen von Hitzestress (mehr als 7 Tage/Monat über 30 °C) und Trockenheit (monatliche Niederschlagsmenge unter 60 mm Niederschlag). Die daraus abgeleiteten Ergebnisse belegen die Funktionalität der hier gewählten Vorgehensweise. Allerdings konnte auch hier innerhalb der vorgegebenen Projektlaufzeit nur ein begrenzter Ausschnitt möglicher Ertragsrisiken und Einflussfaktoren vereinfachend geprüft werden. Es ist davon auszugehen, dass die einzelnen Kulturarten differenziertere Schwellenwerte für die Stressfaktoren zeigen. Genauere Zahlen müssten hierzu allerdings erst erarbeitet werden. Weiterhin konnte der Aspekt einer größeren Kulturartenvielfalt im Sinne einer Risikostreuung gegenüber Extremwetterereignissen ebenso wenig wie die sich verändernden CO₂-Gehalte in der Atmosphäre berücksichtigt werden. Eine weitergehende Betrachtung müsste auch den Einfluss veränderter Längen der Vegetationsperioden mit einbeziehen. Auf betrieblicher Ebene wäre eine Risikobewertung im Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage wünschenswert.

Im **Teilprojekt Bodenbewirtschaftung** zeigte sich, dass die Konzeption einer achgliedrigen Fruchtfolge im O-Betrieb für die Etablierung einer durchgängigen Direktsaat eine wichtige Voraussetzung bildet. Mit Blick auf die geringe Erosionsanfälligkeit einerseits und den wirkungsvollen Schutz vor unproduktiver Verdunstung andererseits kann diese Form der Bodenbewirtschaftung als wichtiger Baustein für eine Anpassungsstrategie an den Klimawandel gesehen werden. Dem Nacherntemanagement des Getreidestrohs kommt für das Gelingen einer Direktsaat eine besondere Bedeutung zu. Bedeutsam ist in diesem Zusammenhang die aus den zusätzlichen Exaktversuchen gewonnene Erkenntnis, dass eine moderate Zerkleinerung des Strohs zur Förderung des Abbaus ausreicht. Die Wir-

kung von Stickstoff auf diesen Prozess ist auf dem umsetzungsfreudigen Soester Standort deutlich zu hinterfragen. Im Gegensatz zu der in der Fachwelt vorherrschenden Meinung führt eine oberflächliche Ausbringung von flüssigen Stickstoffdüngern auf das Stroh zu keiner Beschleunigung des Abbaus im Vergleich zu einer eingearbeiteten Düngung. Dieser Sachverhalt ist im Hinblick auf die Freisetzung klimaschädlicher Gase in hohem Maße für die praktische Düngeberatung zumindest unter ähnlichen Standortverhältnissen relevant. Für die zweite Projektphase ist eine moderate Anpassung im Hinblick auf die Sicherheit der Etablierung der Maisbestände besonders am Standort Soest angezeigt. Die hier angedachte Lösung der Aussaat mittels Strip till-Technik und kombinierter Gärrest- Unterflurdüngung bietet dabei gute Chancen, auch die Freisetzung klimarelevanter Gase zu minimieren. Der Entwicklung der Mäuse- und Schneckenpopulation in den drei Modellbetrieben bedarf in der zweiten Projektphase im O-Betrieb einer besonderen Beobachtung und kann die bisher erreichte Anwendungssicherheit der Direktsaat gefährden.

Auch das **Teilprojekt Ökobilanzierung** konnte entsprechend der ursprünglichen Projektplanung durchgeführt werden. Die mittels des in der Fachwelt anerkannten Moduls „SALCA“ erzielten Ergebnisse erwiesen sich dabei als sehr komplex. Es wird deutlich, dass kaum zu erwarten ist, dass eine Betriebsform sich bei der Vielzahl der potentiellen Umweltwirkungen generell positiv abhebt. Die Einschränkung der Bodenbearbeitung hatte deutliche Effekte auf den Verbrauch an fossiler Energie, aber vergleichsweise geringe auf das Treibhauspotential. Die herausragende Dominanz der Stickstoffdüngung, im Vergleich zu anderen produktionstechnischen Maßnahmen, auf das Treibhauspotential konnte belegt werden. Anders als erwartet, werden nach dem hier gewählten Ökobilanzansatz die Einsparungen bei den indirekten Emissionen, die durch die Einschränkung der mineralischen N-Düngung im V- und O-Betrieb im Vergleich zum M-Betrieb erzielt werden, durch direkte Emissionen überkompensiert, was zu einer Nivellierung der Treibhauspotentiale zwischen den drei Modellbetrieben führt. Die komplexen Einflussgrößen, die sich aus der differenzierten Bodenbearbeitung in Verbindung mit den unterschiedlichen Kulturen ergeben, werden durch die nach einem einfachen Rechenansatz laut IPCC geschätzten Klimagaswerte aber wohl nicht hinreichend genau abgebildet. Aus diesem Grund sind die direkte Messung der Klimagase und die weitere Optimierung des Gärresteinsatzes für die zweite Projektphase von besonderer Bedeutung. Auf der Grundlage der produktbezogenen Betrachtung ergibt sich das Problem, dass ein Vergleich zwischen dem V- und O-

Betrieb einerseits und dem M-Betrieb andererseits nur bedingt möglich ist, weil durch die Verwertung ganzer Aufwüchse in der Biogasanlage per se viel höhere Erträge angesetzt werden und somit eine geringere Umweltlast je Produkteinheit entsteht. Die Ergebnisse der Ökobilanzierung zeigen wichtige Zusammenhänge und geben Hinweise auf die wichtigsten Einflussgrößen, um schädliche Umweltwirkungen zu minimieren. Die absolute Höhe der Einzelwerte bedarf dagegen einer kritischen Wertung, da vor allem in besonders sensiblen Bereichen mit einfachen Schätzwerten und Annahmen gearbeitet werden muss. Vor diesem Hintergrund wird keine prioritäre Notwendigkeit für die Fortführung der Ökobilanzierung in einer zweiten Projektphase gesehen.

Auch im **Teilprojekt Ökonomische Bewertung** wurden die Projektziele erreicht. Der ökonomische Erfolg der Modellbetriebe wurde auf der Grundlage eines mathematischen Modells beurteilt. Der Gewinnbeitrag des M-Betriebes lag dabei am höchsten, der des O-Betriebes am niedrigsten. Daraus kann abgeleitet werden, dass eine Umstellung der landwirtschaftlichen Praxisbetriebe hin zu den Konzepten des Optimierten Klimabetriebes nur mit begleitenden agrarpolitischen Instrumenten erfolgen wird.

Anhand der Daten der Ökobilanzierung wurden zudem die THG-Vermeidungskosten ermittelt. Dabei wurden abweichend vom Teilprojekt „Ökobilanzierung“ die Gesamtbetriebe berücksichtigt, im Falle des V- und O-Betriebes also einschließlich der Tierhaltung und Biogasproduktion. Die Kosten für die THG-Reduktion in Höhe von 147 und 698 €/t CO₂-eq am Standort Soest bzw. zwischen 8 und 64 €/t CO₂-eq am Standort Braunschweig liegen weit über den aktuellen Preisen von CO₂-Zertifikaten in Höhe von 3-5 €/tCO₂-eq, so dass auch hier agrarpolitische Instrumente für eine erfolgreiche Umsetzung derartiger Konzepte angewendet werden müssten. Allerdings wird auch deutlich, dass allein die produktionsstechnische Optimierung mit stabilen Erträgen im O-Betrieb zu einer deutlichen Absenkung der Kosten für die THG-Produktion beitragen kann.

8 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der ersten Projektphase lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Die Etablierung der Zentralexperimente an den Standorten Soest und Braunschweig konnte erfolgreich vorgenommen werden.

- Die im Optimierten Klimabetrieb (O-Betrieb) erzielten Erträge übertrafen trotz der durchgängigen Direktsaat auch im dritten Versuchsjahr, mit Ausnahme von Mais, die Erwartungen.
- Die Ertragsmodellierung mit „APSIM“ konnte für die drei Modellbetriebe für beide Versuchsstandorte erfolgreich kalibriert und anschließend mit externen Daten validiert werden. Die anschließenden Berechnungen mit unterschiedlichen Klimaszenarien bis 2050 zeigen für die Winterkulturen nur eine geringe Veränderung der Erträge, für die Sommerkulturen dagegen an beiden Standorten eine Ertragsabnahme. Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge konnten allerdings weitere wichtige Faktoren, wie z.B. die Veränderung der CO₂-Gehalte der Atmosphäre, nicht berücksichtigt werden.
- Der Aspekt der Risikominimierung wurde unter den Gesichtspunkten von Hitze- und Trockenstress mit vereinfachenden Grenzwerten für das Pflanzenwachstum geprüft. Auf dieser Grundlage konnte kein Nachweis für eine Risikominimierung durch eine höhere Fruchtartenvielfalt erbracht werden.
- Hinsichtlich der Bodenbewirtschaftung konnte gezeigt werden, dass dem Nacherntemanagement nach Getreide für eine gelungene Bestandesetablierung mittels Direktsaat eine herausragende Bedeutung zukommt. Eine moderate Zerkleinerung des Strohens ist dabei ausreichend, die Wirkung von Stickstoff auf die Geschwindigkeit des Strohabbaus ist zu hinterfragen. Ebenso konnte kein Effekt einer unterschiedlichen Platzierung der N-Düngung auf den Strohabbau nachgewiesen werden.
- Die Ökobilanzierung der drei Modellbetriebe belegt die herausragende Bedeutung von Stickstoff auf die verschiedenen Umweltwirkungen. Demgegenüber hat die Einsparung fossiler Energie durch die Reduktion der Bodenbearbeitung geringen Einfluss. Die erwarteten hohen indirekten THG-Emissionen bei rein mineralischer N-Düngung (M-Betrieb) werden in den beiden anderen Betrieben durch hohe direkte Emissionen infolge des Einsatzes der Gärrückstände als organische Dünger überkompensiert. Allerdings ist diese Aussage aufgrund fehlender Daten zur tatsächlichen Freisetzung klimarelevanter Gase unter den spezifischen Bewirtschaftungs- und Applikationsbedingungen zu überprüfen. Nach den Ergebnissen der Ökobilanzierung muss davon ausgegangen werden, dass von keiner Betriebsform allein po-

sitive Umweltwirkungen ausgehen, sondern stets ein Abwägen zwischen den verschiedenen Formen erfolgen muss.

- Die ökonomische Auswertung ergab, dass die Minderung des Treibhauspotentials in der Landwirtschaft im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen mit hohen Kosten verbunden ist. Die Optimierung der Anbausysteme hin zu höheren Erträgen kann zu einer deutlichen Absenkung dieser Kosten beitragen.

9 Literatur

- Adam, M., Corbeels, M., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Wery, J., Ewert, F. (2012): Building crop models within different crop modelling frameworks. *Agricultural Betriebs* 113:57-63. DOI: 10.1016/j.agry.2012.07.010. *Adam, M., Ewert, F., Leffelaar, P.A., Corbeels, M., van Keulen, H., Wery, J. (2010): CROSPAL, software that uses agronomic expert knowledge to assist module selection for crop growth simulation. *Environmental Modelling & Software* 25:946-955. DOI: DOI 10.1016/j.envsoft.2010.02.007.*
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 5. Aufl., 438 S., Hannover 2005.
- Agrar-Europe (2008): Bericht zur Anpassung der Agrarwirtschaft an den Klimawandel. Dokumentation, Agrar-Europe 39/08, 22. September 2008.*
- Anonymus (2010): Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie – Bodenkundliche Übersichtskarte von Niedersachsen im Maßstab 1:50.000 (BÜK 50).
- Arman, B. (2003): Die Ökobilanz zur Abschätzung von Umweltwirkungen in der Pflanzenproduktion – dargestellt anhand von Praxisversuchen zur konservierenden Bodenbearbeitung und von unterschiedlich intensiv wirtschaftenden konventionellen Betrieben, Dissertation Universität Hohenheim.
- ART (Agroscope Reckenholz-Tänikon) (2011): Ökobilanzmethode, <http://www.agroscope.admin.ch/oekobilanzen/01197/index.html?lang=de> (02.12.2011).
- Asseng S., Jamieson P.D., Kimball B., Pinter P., Sayre K., Bowden J.W., Howden S.M. (2004): Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO₂. *Field Crops Research* 85:85-102. DOI: Doi 10.1016/S0378-4290(03)00154-0.
- Bartlett, M. D., Briones, M. J. I., Neilson, R., Schmidt, O., Spurgeon, D., Creamer, R. E. (2010): A critical review of current methods in earthworm ecology: From individuals to populations. *European Journal of Soil Biology* 46, 67-73.
- Bassu S., Asseng S., Richards R. (2011): Yield benefits of triticale traits for wheat under current and future climates. *Field Crops Research* 124:14-24. DOI: DOI 10.1016/j.fcr.2011.05.020.
- Baumgärtel, B., Benke, M. (2009): Düngeempfehlungen Stickstoff: Getreide, Raps, Hackfrüchte, Landwirtschaftskammer Niedersachsen - Geschäftsbereich Landwirtschaft.
- Baumgärtel, G. (2012): Düngeeffizienz von Wirtschaftsdüngern und Möglichkeiten zu ihrer Verbesserung. Fachtagung zur Gülle- und Gärrestausrückführung, Gülzow, 09.05.2012 (Abgerufen: 13.08.2013).
- Beck, J., Gröblichhoff, F.-F., Lütke Entrup, N., (2006): Kriterien zur Dokumentation von Cross-Compliance-Verpflichtungen landwirtschaftlicher Betriebe und weiterer Anforderungen zur Entwicklung einzelbetrieblicher ManagementBetriebe (nach EG-VO 1782/2003 und GAK-Rahmenplan 2004-2007). Forschungsberichte des Fachbereichs

Agrarwirtschaft Soest Nr. 14, Selbstverlag FH Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft Soest.*

BMELV (2008): Bericht des BMELV für einen aktiven Klimaschutz der Agrar-, Forst- und Ernährungswirtschaft und zur Anpassung der Agrar- und Forstwirtschaft an den Klimawandel Online:

<http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/383152/publicationFile/22425/Klimaschutzbericht2008.pdf> (26.09.2012).

Bockstaller, C., Gaillard, G., Baumgartner, D., Freiermuth Knuchel, R., Reinsch, M., Brauner, R., Unterseher, E. (2006): Betriebliches Umweltmanagement in der Landwirtschaft: Vergleich der Methoden INDIGO, KUL/USL, REPRO und SALCA.

Bouwman, A. (2001): Global Estimates of Gaseous Emissions from Agricultural Land. FAO, Rome, S.106ff.*

Brunotte, J. (2007): Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off und Mykotoxinbildung im Getreide. Habilitationsschrift Humboldt-Universität zu Berlin.

Brunotte, J., Sommer, C., Winnige, B., Frielinghaus, M. (1998): Schnurmethode nach Frielinghaus. Teilprojekt „Ermittlung aktueller Bodenbedeckungsgrade auf Versuchs- und Praxisflächen“. Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, FAL Braunschweig, Unveröffentlicht.

Buchkina, N., Rizhiya, E., Pavlik, S., Zinchenko, V. s., Zinchenko, S. I. (2009): N₂O Emission from loam grey soil under different tillage in Vladimir region of Russia. ISTRO 18. Triennial Conference Proceedings June 15-19, 2009, Izmir Turkey. *

Bundessortenamt (Hrsg.), (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen, http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/Richtlinie_LW2000.pdf (25.11.2013).

Calzadilla, A., Rehdanz, K., Betts, R., Falloon, P., Wiltshire, A., Tol, R.S.J. (2013): Climate change impacts on global agriculture. *Climatic Change* 120:357-374. DOI: DOI 10.1007/s10584-013-0822-4.

Cramer B. (2006): Überprüfung von Bewertungsmodellen zur Identifikation und Prognose von Schadverdichtungen auf Ackerböden in Nordrhein-Westfalen, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn. Dissertation.

Deutscher Eichverlag (1967): Amtliche Tafeln zur Ermittlung der Schüttdichte, Auflage 4, Braunschweig.

Donatelli, M., Russell, G., Rizzoli, A., Acutis, M., Adam, M., Athanasiadis, I., Balderacchi, M., Bechini, L., Belhouchette, H., Bellocchi, G., Bergez, J.-E., Botta, M., Braudeau, E., Bregaglio, S., Carlini, L., Casellas, E., Celette, F., Ceotto, E., Charron-Moirez, M., Confalonieri, R., Corbeels, M., Criscuolo L., Cruz, P., Guardo, A., Ditto, D., Dupraz, C., Duru, M., Fiorani, D., Gentile, A., Ewert, F., Gary, C., Habyarimana, E., Jouany, C., Kansou, K., Knapen, R., Filippi, G., Leffelaar, P., Manici, L., Martin, G., Martin, P., Meuter, E., Mugueta, N., Mulia, R., Noordwijk, M., Oomen, R., Rosenmund, A., Rossi, V., Salinari, F., Serrano, A.,

Sorce, A., Vincent, G., Theau, J.-P., Théron, O., Trevisan, M., Trevisiol, P., Evert, F., Wallach, D., Wery, J., Zerourou, A. (2010): A Component-Based Framework for Simulating Agricultural Production and Externalities, in: F. M. Brouwer und M. K. Ittersum, Environmental and Agricultural Modelling, Springer Netherlands. pp. 63-108.*

Dörfler J., Hüffmeier H. (1998): Pflanzliche Erzeugung. Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus, Grundlagen des integrierten Landbaus, Produktionstechnik der Kulturpflanzen, Dauergrünland, Nachwachsende Rohstoffe, Ökologischer Landbau, Naturschutz, Landschaftspflege. 11. Auflage BLV-Verl.-Ges., München.

Douglas-Mankin K.R., Srinivasan R., Arnold J.G. (2010): Soil and Water Assessment Tool (Swat) Model: Current Developments and Applications. Transactions of the Asabe 53, 1423-1431.

DÜV (2006)

DWD (2013a): Klimaszenarien-Rechnungen für Deutschland, Online in Internet: URL: http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=P27200165321293012986287&T176000265321293013118776gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FHomepage%2FKlimawandel%2FKlimawandel__neu__Klimasz__D__node.html%3F__nnn%3Dtrue (Stand 06.03.2013).

DWD (2013b): Klima und Umwelt - Klimadaten-Auskünfte, Deutscher Wetterdienst. http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_klima_umwelt&_nfls=false. Stand 06.03.2013.

DWD (2013c): Klimaszenarien-Rechnungen für Deutschland, Deutscher Wetterdienst. http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_klima_umwelt&_nfls=false. Stand 06.03.2013.

Ecoinvent Centre (2010): ecoinvent Data - The Life Cycle Inventory Data V2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

Ehlers, W., Goss M. (2003): Water dynamics in plant production, CABI Publishing, Wallingford. Online-Ressource (xiv + 273).

Eitzinger, J., Kersebaum, K.C., H. Formayer, (2009): Landwirtschaft im Klimawandel. Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. Agrimedia.*

Fangueiro, D., Senbayram, M., Trindade, H., Chadwick, D. (2008): Cattle slurry treatment by screw press separation and chemically enhanced settling: Effect on greenhouse gas emissions after land spreading and grass yield. Bioresource Technology 99.*

Freiermuth, R. (2006): Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz. Agroscope FAL Reckenholz, 42 p.

Friedrich, T. (2009): Ansatzpunkte der Landwirtschaft für eine nachhaltige Nahrungs-, Futter- und Energieproduktion in globaler Betrachtung. Acker- und Pflanzenbau – Zukunft

und Grundlage der Wertschöpfung in der Landwirtschaft. Fachtagung für Praxis, Beratung, Wissenschaft und Politik, 2. -3. März 2009 Soest, Tagungsband , 43-60.*

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Baucher, C., Doka, G., Dones, R., Hirschier, R., Hellweg, S., Humbert, S., Margni, M., Nemecek, T. (2007): Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Ecoinvent report No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.*

Fründ, H.-C.; Butt, K., Capowiez, Y., Eisenhauer, N., Emmerling, C., Ernst, G., Potthoff, M., Schädler, M., Schrader, S. (2010): Using earthworms as model organisms in the laboratory: Recommendations for experimental implementations. *Pedobiologia* 53, 119-125.

Gaillard, G. (2001): Betriebliche und sektorale Ökobilanzen. Informationstagung Agrarökonomie am 20.9.2001, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz.*

Geisler, G. (1988): Pflanzenbau: Ein Lehrbuch; biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. Aufl., Parey Verlag, Berlin.

Ghaffari, A., Cook, H.F., Lee, H.C. (2002): Climate change and winter wheat management: A modelling scenario for south-eastern England. *Climatic Change* 55:509-533. DOI: Doi 10.1023/A:1020784311916.

Graham et al. (1986)

Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppers, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H. A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M. A. J., Lindeijer, E., Roorda, A. A. H., Weidema, B. P. (2001): Life cycle assessment - An operational guide to the ISO standards. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, Netherlands. *

Haenel, H.-D., Freibauer, A., Rösemann, C., Poddey, E., Gensior, A., Eurich-Menden, B., Döhler, H. (2010): Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden im Rahmen der deutschen Klimaberichterstattung in: KTBL-Schrift 483 Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden, KTBL-/vTI-Tagung, Bad Staffelstein, 8.-10.12.2012.

Hammer, G.L., McLean, G., Chapman, S.C., Broad, I., Harland, P., Muchow, R.C., van Oosterom, E. (2010): Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *Journal of Experimental Botany* 61:2185-2202.

Hauschild, M. Z., Potting, J. (2005): Spatial differentiation in life cycle impact assessment – The EDIP2003 methodology. *Environmental News*, Vol. 80, Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency, Copenhagen. *

Hayer, F., Bonnin, E., Carrouée, B., Gaillard, G., Nemecek, T., Schneider, A., Vivier, C. (2009): Designing sustainable crop rotations using Life Cycle Assessment of crop combinations, 9th European IFSA Symposium, 4-7 July 2009, Vienna (Austria).

Hillel D., Rosenzweig C. (2010): Handbook of Climate Change and AgroecoBetriebs: Impacts, Adaptation and Mitigation. Imperial College Press, London. *

- HÖTTE, S. und LÜTKE ENTRUP, N. (2010): Energiefruchtfolgen – ein Beitrag zur Substratsicherung. *Biogas Journal*, 2/2010, 80-83. *
- IPCC (2001): In: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M. van der Linden, P.J. und D. Xiaosu (eds.). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, UK.
- IPCC (2006): *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, forestry and other land use*. IGES, Kanagawa, Japan.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007, Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.), IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC (2007): *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2012): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, in: C. B. Field, et al. *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582.
- ISO (2006a): *ISO 14040 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*.
- ISO (2006b): *ISO 14044 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*.
- Kamp, Th. (1998): *Freiland- und Laboruntersuchungen zu N₂O Freisetzungen eines landwirtschaftlich genutzten Bodens unter definierten Temperaturbedingungen*. FAM-Bericht 30, Aachen. *
- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., Smith, C.J. (2003): *An overview of APSIM, a model designed for farming Betriebs simulation*. *European Journal of Agronomy* 18, 267-288.
- Kern Getreideprober (2000): *Kern Typ 220, ¼ l Prober*.
- Khan, H.R., Paull, J.G., Siddique, K.H.M., Stoddard, F.L. (2010): *Faba bean breeding for drought-affected environments: A physiological and agronomic perspective*. *Field Crops Research* 115, 279-286. DOI: DOI 10.1016/j.fcr.2009.09.003.
- Kiniry, J.R., Bean, B., Xie, Y., Chen, P.Y., Xie, Y. (2004): *Maize yield potential: critical processes and simulation modeling in a high-yielding environment*. *Agricultural Betriebs* 82, 45-56. DOI: 10.1016/j.agsy.2003.11.006.

- Klüßendorf-Feiffer, A. (2009): Druscheignung als zentrale Führungsgröße im Erntemanagement. Am Beispiel von vier verfahrenstechnischen Ansätzen. Humboldt-Universität zu Berlin, Dissertation.
- Köller, K., Linke, C. (2001): Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. DLG-Verlag, Frankfurt. *
- KTBL (2008): Biogasrechner. <http://www.ktbl.de>.
- Kowalewsky, H.H., (2013a): Verminderung von Emissionen bei der Ausbringung organischer Dünger. *Land & Forst* (3), 55-57.
- Kowalewsky, H.H., (2013b): <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/348/article/21682.html>
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2010): Düngeempfehlungen Stickstoff. http://www.lufa-nordwest.de/data/documents/Downloads/IFB/Nmin_Empfehlungen_zur_N-Duengung.pdf. Stand 25.06.2013.
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2010): Handbuch Nährstoffvergleich NRW. <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/naehrstoffvergleich/index.htm>
- Lazar C., Lazar D.A. (2010): Simulation of Temperature Increase Influence on Winter Wheat Yields and Development in South - Eastern Romania. *Romanian Agricultural Research* 27, 7-15.
- LBEG (2010): Bodenkundliche Übersichtskarte (BÜK 50)
- Liu, Z.J., Yang, X.G., Hubbard, K.G., Lin, X.M. (2012): Maize potential yields and yield gaps in the changing climate of northeast China. *Global Change Biology* 18:3441-3454. DOI: DOI 10.1111/j.1365-2486.2012.02774.x.
- Lowe, C. N.; Butt, K. R. (2005): Culture techniques for soil dwelling earthworms: A review. *Pedobiologia* 49, 401-413.
- Lütke Entrup N., Oehmichen J. (2006): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 1: Grundlagen. 3. Aufl. AgroConcept, Bonn.
- Lütke Entrup, N., Feige, H., Gröblichhoff, F.-F., (2002): Analyse von Umwelt- und Effizienzindikatoren nordrheinwestfälischer landwirtschaftlicher Betriebe mit dem Verfahren 'Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung'. Forschungsberichte des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest Nr. 14, Selbstverlag FH Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft Soest.
- Lüttger A., Dittmann B., Sourell H. (2005): Leitfaden zur Berechnung landwirtschaftlicher Kulturen. Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau Teltow, Groß Kreutz, Güterfelde, Paulinenaue, Wünsdorf, Reihe Landwirtschaft, Band 6 , Heft VII.
- McCown R.L., Hammer G.L., Hargreaves J.N.G., Holzworth D.P., Freebairn D.M. (1996): APSIM: A novel software Betrieb for model development, model testing and simulation

in agricultural Betriebs research. *Agricultural Betriebs* 50, 255-271, DOI: Doi 10.1016/0308-521x(94)00055-V.

Meier U. (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen - BBCH Monografie, Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft (BBA).

Menzi, H., Frick, R., Kaufmann, R. (1997): Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmaß und technische Beurteilung des Reduktionspotentials. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz, Schriftreihe der FAL, 107 p. *

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, (2007): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Wege zu einer Anpassungsstrategie. Düsseldorf.

Moore A.D., Holzworth D.P., Herrmann N.I., Huth N.I., Robertson M.J. (2007): The Common Modelling Protocol: A hierarchical framework for simulation of agricultural and environmental Betriebs. *Agricultural Betriebs* 95:37-48. DOI: DOI 10.1016/j.agsy.2007.03.006. *

Nemecek, T. (2009): Energieeinsatz im Pflanzenbau, Effizienzkriterien und Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit von der Bodenbewirtschaftung. Acker- und Pflanzenbau – Zukunft und Grundlage der Wertschöpfung in der Landwirtschaft. Fachtagung für Praxis, Beratung, Wissenschaft und Politik. 2. -3. März 2009 Soest, Tagungsband , 66-71.

Nemecek, T., Kufrin, P., Menzi, M., Hebeisen, T. und R. Charles (2002): Ökobilanzen verschiedener Anbauvarianten wichtiger Ackerkulturen. VDLUFA-Schriftenreihe 58, 564-573.

Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G. (2005): Ökobilanzierung von AnbauBetrieben im schweizerischen Acker- und Futterbau, *Agroscope FAL Reckenholz Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich.*

Nemecek, T., Kägi, T. (2007): Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Betriebs. Final report ecoinvent V2.0 No. 15a, Agroscope Reckenholz-Taenikon Resarch Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zürich and Dübendorf, CH, abgerufen unter: www.ecoinvent.ch.

Nemecek, T., von Richthofen, J.-S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R., Pahl, H. (2008): Environmental impacts of introducing gain legumes into European crop rotations In: *European Journal of Agronomy* 28, 380-393, ELSEVIER.

Nemecek, T., Freiermuth Knuchel, R., Alig, M., Gaillard, G. (2010): The advantages of generic LCA tools for agriculture: examples SALCAcrop und SALCAfarm, Proceeding of the 7th Int. conference on life cycle assessment in the agri-food sector, Bari, Italy, 22-24 September 2010, 433-438.

Nitsch, A. (-(2005): Arbeitsanleitung für Nitratbestimmungen mit Teststreifen und dem Reflektometer Nitrachek 404, Step Betriebs GmbH, Stand: September 2005, 67pp.

- OrtizFerrara, G., Mosaad, M.G., Mahalakshmi, V., Fischer, R.A. (1995): Photoperiod and vernalization response of wheat under controlled environment and field conditions. *Plant Breeding* 114, 505-509, DOI: DOI 10.1111/j.1439-0523.1995.tb00845.x.
- Osterburg, B., Nieberg, H., Rüter, S., Isermeyer, F., Haenel, H.-D., Hahne, J., Krentler, J.-G., Paulsen, H. M., Schuchardt, F., Schweinle, J., Weiland, P. (2009): Erfassung, Bewertung und Minderung von Treibhausgasemissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Braunschweig, Hamburg und Trenthorst.
- Peltonen-Sainio, P., Niemi, J.K. (2012): Protein crop production at the northern margin of farming: to boost, or not to boost. *Agricultural and Food Science* 21, 370-383.
- Pingen, St. (2007): Klimareport der Land- und Forstwirtschaft. Deutscher Bauernverband, Berlin. *
- Prasuhn, V. (2006): Erfassung der PO₄-Austräge für die Ökobilanzierung – SALCA-Phosphor. *Agroscope FAL Reckenholz*, 22p. *
- Probert et al (2005):
- Rahmann, G. (2008): Landwirtschaft als CO₂-Senke – Forum 3. , <http://www.gruenebundestag.de/cms/agrar/dockbin/209/209139.pdd> vom 7.8.2008. *
- Richner, W., Oberholzer, H.-R., Freiermuth Knuchel, R., Huguenin, O., Ott, S., Walther, U. (2011): Modell zur Beurteilung des Nitratauswaschungspotentials in Ökobilanzen – SALCA-NO₃. Unter Berücksichtigung der Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, N-Düngung), der mikrobiellen Nitratbildung im Boden, der Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen und verschiedener Bodeneigenschaften. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 27 p. *
- Roth, D., Günther, R., Knoblauch, S., Michel, H. (2005): Wasserhaushaltsgrößen von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen - Ergebnisse der TLL-Lysimeterstation. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen. Schriftenreihe Heft 1 / 2005.
- Ruiz-Vera, U.M., Siebers, M., Gray, S.B., Drag, D.W., Rosenthal, D.M., Kimball, B.A., Ort, D.R., Bernacchi C.J. (2013): Global Warming Can Negate the Expected CO₂ Stimulation in Photosynthesis and Productivity for Soybean Grown in the Midwestern United States (1[W][OA]). *Plant Physiology* 162, 410-423. DOI: DOI 10.1104/pp.112.211938.
- Schäfer, B.C. (2013): Weniger Risiko durch mehr Fruchtfolge, *top agrar* 12/2013, 76-81
- Schäfer, B. C. , Stemann, G. (2006): Bodenbearbeitung zur Rapsbestellung, in: Raps – Anbau und Verwertung einer Kultur mit Perspektive, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 264 p. *
- Schäfer, B.C. und Lütke Entrup, N. (2009): Ökonomische Bewertung von Bodenbearbeitungsbetrieben in Fruchtfolgen mit Körnerleguminosen, *Journal für Kulturpflanzen* 61 (9), 309-311. *
- Schaller, B., Nemecek, T., Streit, B., Zihlmann, U., Chervet, A., Sturny, W. G. (2006): Vergleichsökobilanz bei Direktsaat und Pflug, *AGRARForschung* 13 (11-12), 482-487.

- Schmidt, A. (2007): Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Landwirtschaft in Sachsen. Vortrag am 11.12.2007, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freistaat Sachsen.
- Schmidt, U. (1998): Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen und Umweltfaktoren auf Lachgas (N₂O)-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Lössböden. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 45, Universität Hohenheim, Stuttgart.
- Schneider, M., Lütke Entrup, N. (2006): Bewertung von neuen Betrieben der Bodenbewirtschaftung in erweiterten Fruchtfolgen mit Körnerraps und Körnerleguminosen. Forschungsberichte des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest Nr. 21, Selbstverlag FH Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft Soest. *
- Schönberger, H. (2011): Ackerbau unter Wasserknappheit. Was können wir von anderen Gebieten Europas lernen?, Pflanzenbauliche Vortragsstagung Baden-Württemberg, Sindelfingen.
- Schulze Mönking, S., Klapp, C. (2010): Überarbeitung des Getreide- und Vieheinheitenschlüssels, Georg-August-Universität Göttingen.
- Senbayram, M., R. Chen, K. H. Mühling and K. Dittert (2008): Determination of nitrification and denitrification-derived nitrous oxide emissions from soils amended with biogas waste compared to other fertilizers - first results -Joint European Stable Isotope User Meeting, September 2008, Giens, Frankreich. *
- Sharpley, A.N., Williams, J.R. (1990): EPIC-erosion/productivity impact calculator: 1 Model documentation. *
- Siddique, K.H.M., Johansen, C., Turner, N.C., Jeuffroy, M.H., Hashem, A., Sakar, D., Gan, Y.T., Alghamdi, S.S. (2012): Innovations in agronomy for food legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 45-64, DOI: DOI 10.1007/s13593-011-0021-5.
- Simarmata, T. (1993): Einfluss erhöhter Mineralisationsaktivität (Grünlandumbruch, Stroh- oder Kompostdüngung) auf die Kinetik der Denitrifikationsverluste, das N₂/N₂O-Verhältnis und die Zuverlässigkeit der N₂O-Reduktaseblockierung durch Acetylen in Böden. Justus-Liebig-Universität Gießen, Dissertation. *
- Smith, P., D. Martion, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumbar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko (2007): Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Solomon, S., Quin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (2007): *Climate change 2007. The physical science basis; contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1st published UNEP, New York.
- Taube, F., Herrmann, A. (2009): Relative Vorzüglichkeit von Mais und Gras unter Berücksichtigung von Klimawandel. VTI, Landbauforschung, Sonderheft 331: Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten. 115-126.

- Tuck, G., Glendining, M.J., Smith, P., House, J.I., Wattenbach, M. (2006): The potential distribution of bioenergy crops in Europe under present and future climate. *Biomass & Bioenergy* 30, 183-197, DOI: DOI 10.1016/j.biombioe.2005.11.019. *
- Turley et al. (2003):
- Turpin, J.E., Robertson, M.J., Haire, C., Bellotti, W.D., Moore, A.D., Rose I. (2003): Simulating fababean development, growth, and yield in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 54, 39-52. DOI: Doi 10.1071/Ar02064.
- Uehara, G., Tsuji, G.Y. (1991): Progress in crop modelling in the IBSNAT project CAB International, Wallingford.
- Umweltbundesamt (2013): Tabellen Emissionsentwicklung 1990 - 2011 für klassische Luftschadstoffe, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 - 2011 (Endstand 13.12.2012), <http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas-und> <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen>, abgerufen am 15.11.2013.
- US-EPA (2006a): Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020. United States Environmental Protection Agency, EPA 430-R-06-003, June 2006. Washington, D.C., <<http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/downloads/GlobalAnthroEmissionsReport.pdf>> accessed 26 March 2007
- US-EPA (2006b): Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases. United States Environmental Protection Agency, EPA 430-R-06-005, Washington, D.C. <<http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/downloads/GlobalMitigationFullReport.pdf> > accessed 26 March 2007.
- VDLUFA (1983): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch Band III. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2006): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch Band III. 6. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- von Witzke, H. und S. Noleppa (2007): Methan und Lachgas – Die vergessenen Klimagase. WWF Deutschland, 67 pp., Frankfurt.
- Walenzik, G. (1996): Auswirkungen von Bodenschadverdichtungen durch die landwirtschaftliche Nutzung auf die N₂- und N₂O-Emissionen aus dem Boden. Diss. Fachbereich Gartenbau, Universität Hannover. *
- Wang, E., Robertson, M.J., Hammer, G.L., Carberry, P.S., Holzworth, D., Meinke, H., Chapman, S.C., Hargreaves, J.N.G., Huth, N.I., McLean, G. (2002): Development of a generic crop model template in the cropping Betrieb model APSIM. *European Journal of Agronomy* 18, 121-140. *
- Wang, E., Robertson, M.J., Hammer, G.L., Carberry, P.S., Holzworth, D., Meinke, H., Chapman, S.C., Hargreaves, J.N.G., Huth, N.I., McLean, G. (2003): Development of a generic

crop model template in the cropping Betrieb model APSIM. *European Journal of Agronomy* 18, 121-140. DOI: 10.1016/s1161-0301(02)00100-4.

Weigel, H.-J. (2004): Klimawandel - Fluch oder Segen – wie verändert der Klimawandel die Pflanzenproduktion global und hierzulande? *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 274: Ackerbau 2025*, 15-36.

Weiss, A., Hays C.J., Won, J. (2003): Assessing winter wheat responses to climate change scenarios: A simulation study in the US Great Plains. *Climatic Change* 58:119-147. DOI: Doi 10.1023/A:1023499612729.

White, J.W., Herndl, M., Hunt, L.A., Payne, T.S., Hoogenboom, G. (2008): Simulation-based analysis of effects of and loci on flowering in wheat. *Crop Science* 48, 678-687. DOI: 10.2135/cropsci2007.06.0318.

Wienforth, B. (2008): Standortgerechte Wahl von Energiepflanzen für die Biogasproduktion: Modellgestützte Analyse des Trockenstresseinflusses auf das Ertragspotenzial von Silomais. In: Kage et al. (2009): *Modellierung des Betriebs Nutzpflanze-Boden – Herausforderungen des 21. Jahrhunderts*, Kiel.

Zebisch, M., T. Grothmann, D. Schröter, C. Hasse, U. Fritsch und W. Cramer (2005): Klimawandel in Deutschland. *Umweltbundesamt Forschungsbericht 201 41 253*, UBA-FB 000844. *

weiterführende Literatur wurde mit * gekennzeichnet

Anhang

Tab. 36: Berechnete Eingabeparameter für die RUE im Modell APSIM

Kultur	Spannweite RUE (g/MJ)	MW RUE (g/MJ)	Parameter RUE in APSIM (g/MJ)
Winterweizen	1,43 - 1,84	1,60	1,60
Wintergerste	1,16 - 2,13	1,62	1,60
Grünroggen	2,23 – 2,75	2,56	2,80
GPS-Roggen	2,49 – 3,15	2,82	1,90
Winterraps	1,98 – 2,59	2,16	2,50
Ackerbohne	1,22 - 1,61	1,37	1,35
Silomais	2,85 - 4,21	3,59	3,75

Tab. 37: Verwendete Koeffizienten zur Berechnung der Transpirationseffizienz in APSIM

Kultur	TE _{coeff} (kPa)
Winterweizen	0,0060
Wintergerste	0,0060
Winterroggen	0,0060
Winterraps	0,0060
Ackerbohne	0,0035
Silomais	0,0045

Tab. 38: Kulturspezifisch angepasste Parameter in APSIM

Kultur	Parameter in APSIM	Beschreibung	Einheit	Wert
WW	potenti- al_grain_filling_rate	Max. Kornfüllungsrate in BBCH 71-79	g/Tag	0.00175
WW	potenti- al_grain_growth_rate	Max. Kornfüllungsrate in BBCH 61-79	g/Tag	0.00080
WG	potenti- al_grain_filling_rate	Max. Kornfüllungsrate in BBCH 71-79	g/Tag	0.00160
WG	potenti- al_grain_growth_rate	Max. Kornfüllungsrate in BBCH 61-79	g/Tag	0.00080
Winter- getreide	vern_sens	P1V, Koeffizient für Sensitivität der Vernalisation	-	6,5
Winter- getreide	photop_sens	P1D, Koeffizient für Sensitivität der Photoperiode	-	3,5
WR	x_hi_max_pot_stress		-	0.50 bis 1.00
WR	y_hi_max_pot	Funktion zur Beschreibung prozentualer Einbußen bei der Biomassebildung in Abhängigkeit von Stressfaktoren	-	0.40 bis 0.30
AB	x_hi_max_pot_stress		-	0.50 bis 1.00
AB	y_hi_max_pot		-	0.35 bis 0.35
SM	x_temp_senescence	Minimaltemperatur, ab der es zum Absterben des Bestandes kommt	°C	-10 bis 2
SM	y_senescence_fac	Prozentualer Anteil, der ab X°C täglich abstirbt		1 bis 0

Tab. 39: Ermittelte Temperatursummen für APSIM

Stadium in APSIM	Parameter on APSIM	Einheit	Wert
Winterweizen			
TT bis Ende Bestockung	tt_end_of_juvenile	°Cd	650
TT bis Beginn Blüte	tt_floral_initiation	°Cd	400
TT bis Ende Blüte	tt_flowering	°Cd	100
TT bis Ende Kornfüllung	tt_start_grain_fill	°Cd	450
TT bis Erntereife	tt_maturity	°Cd	200
Wintergerste			
TT bis Ende Bestockung	tt_end_of_juvenile	°Cd	600
TT bis Beginn Blüte	tt_floral_initiation	°Cd	280
TT bis Ende Blüte	tt_flowering	°Cd	250
TT bis Ende Kornfüllung	tt_start_grain_fill	°Cd	400
TT bis Erntereife	tt_maturity	°Cd	10
Grünroggen			
TT bis Ende Bestockung	tt_end_of_juvenile	°Cd	300
TT bis Beginn Blüte	tt_floral_initiation	°Cd	180
TT bis Ende Blüte	tt_flowering	°Cd	50
GPS-Roggen			
TT bis Ende Bestockung	tt_end_of_juvenile	°Cd	400
TT bis Beginn Blüte	tt_floral_initiation	°Cd	100
TT bis Ende Blüte	tt_flowering	°Cd	50
TT bis Ende Kornfüllung	tt_start_grain_fill	°Cd	300
Winterraps			
TT bis Auflaufen	tt_emergence	°Cd	500
TT bis Ende Bestockung	tt_end_of_juvenile	°Cd	900
TT bis Beginn Blüte	tt_floral_initiation	°Cd	200
TT bis Ende Blüte	tt_flowering	°Cd	200
TT bis Ende Kornfüllung	tt_start_grain_fill	°Cd	700
TT bis Erntereife	tt_maturity	°Cd	10
Ackerbohne			
TT bis Auflaufen	tt_emergence	°Cd	200
TT bis Ende Bestockung	tt_end_of_juvenile	°Cd	400
TT bis Beginn Blüte	tt_floral_initiation	°Cd	130
TT bis Ende Blüte	tt_flowering	°Cd	500
TT bis Ende Kornfüllung	tt_start_grain_fill	°Cd	700
TT bis Erntereife	tt_maturity	°Cd	10
Silomais			
TT bis Ende Bestockung	tt_emerg_to_endjuv	°Cd	200
TT Rispschieben bis Blühbeginn	tt_flag_to_flower	°Cd	20
TT Blüte bis Kornfüllung	tt_flower_to_start_grain	°Cd	120
TT Blüte bis Erntereife	tt_flower_to_maturity	°Cd	500

Tab. 40: Statistische Auswertung der Prognosegenauigkeit von APSIM

Kultur	Modellzusammenfassung					
	Gleichung	R ²	F-Wert	FG 1	FG 2	P-Wert
WW	Linear	0,913	397,984	1	38	0
	Logarithmisch	0,917	422,383	1	38	0
	Quadratisch	0,916	202,188	2	37	0
	Kubisch	0,916	202,188	2	37	0
WG	Linear	0,803	98,13	1	24	0
	Logarithmisch	0,788	88,996	1	24	0
	Quadratisch	0,826	54,554	2	23	0
	Kubisch	0,826	54,405	2	23	0
GR	Linear	0,856	183,536	1	31	0
	Logarithmisch	0,837	159,127	1	31	0
	Quadratisch	0,858	90,350	2	30	0
	Kubisch	0,858	90,369	2	30	0
GPSRo	Linear	0,866	168,204	1	26	0
	Logarithmisch	0,875	182,834	1	26	0
	Quadratisch	0,883	94,796	2	25	0
	Kubisch	0,909	80,137	3	24	0
WR	Linear	0,836	137,432	1	27	0
	Logarithmisch	0,841	142,562	1	27	0
	Quadratisch	0,84	68,27	2	26	0
	Kubisch	0,84	68,27	2	26	0
AB	Linear	0,896	215,044	1	25	0
	Logarithmisch	0,86	153,371	1	25	0
	Quadratisch	0,901	108,713	2	24	0
	Kubisch	0,901	109,52	2	24	0
SM	Linear	0,911	247,145	1	24	0
	Logarithmisch	0,898	211,802	1	24	0
	Quadratisch	0,912	118,586	2	23	0
	Kubisch	0,912	118,586	2	23	0
α= 5 %						

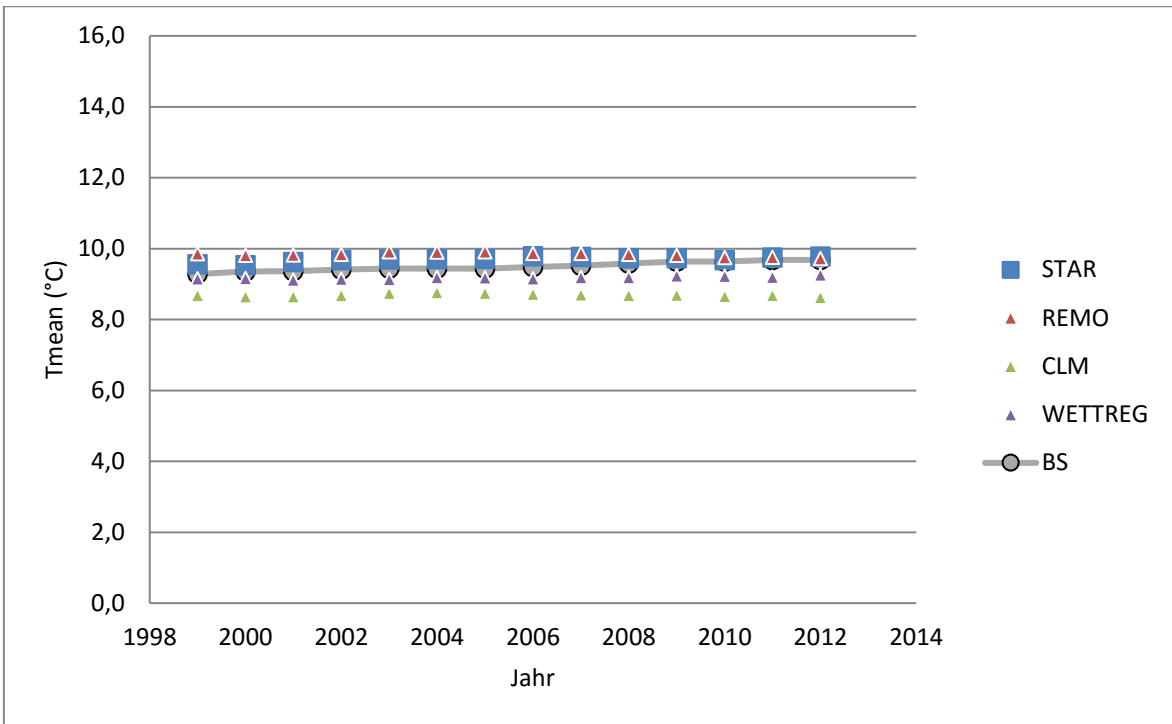


Abb. 103: Vergleich des gleitenden Durchschnitts (30-jährig) realer Wetterdaten mit den Ergebnissen regionaler Klimaszenarien für Deutschland – Temperatur Standort Braunschweig (Eigene Darstellung nach Daten des DWD)

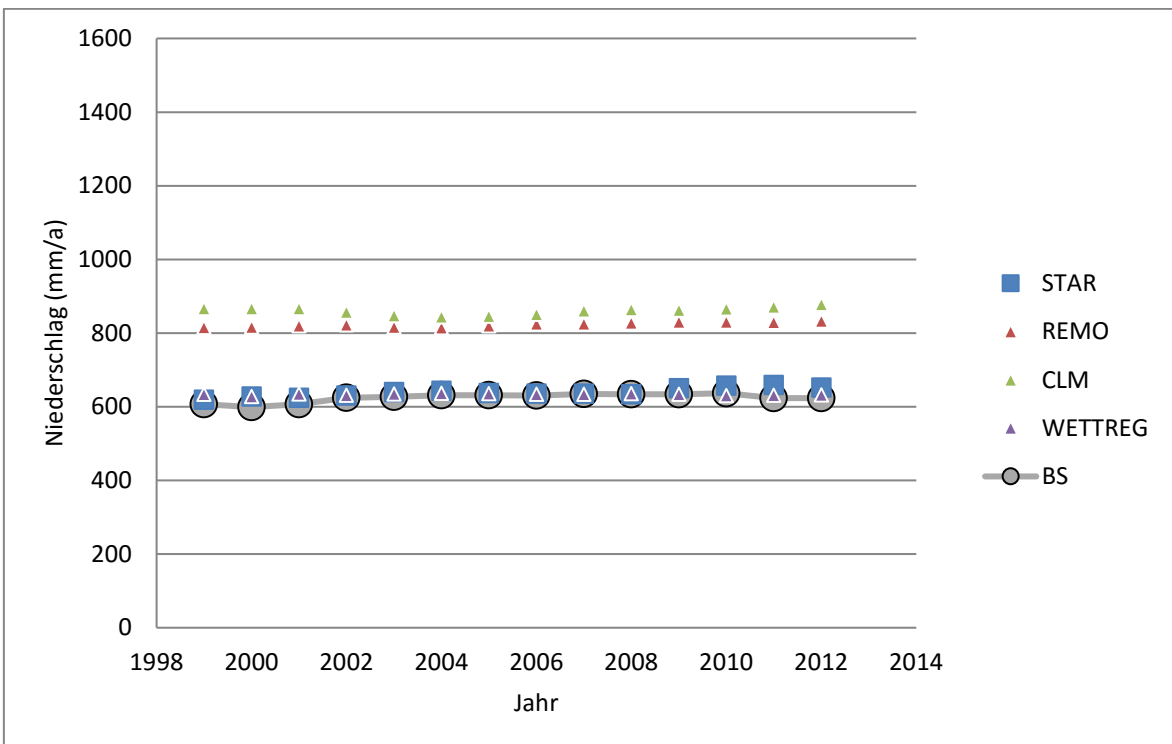


Abb. 104: Vergleich des gleitenden Durchschnitts (30-jährig) realer Wetterdaten mit den Ergebnissen regionaler Klimaszenarien für Deutschland – Niederschlag Standort Braunschweig (Eigene Darstellung nach Daten des DWD)

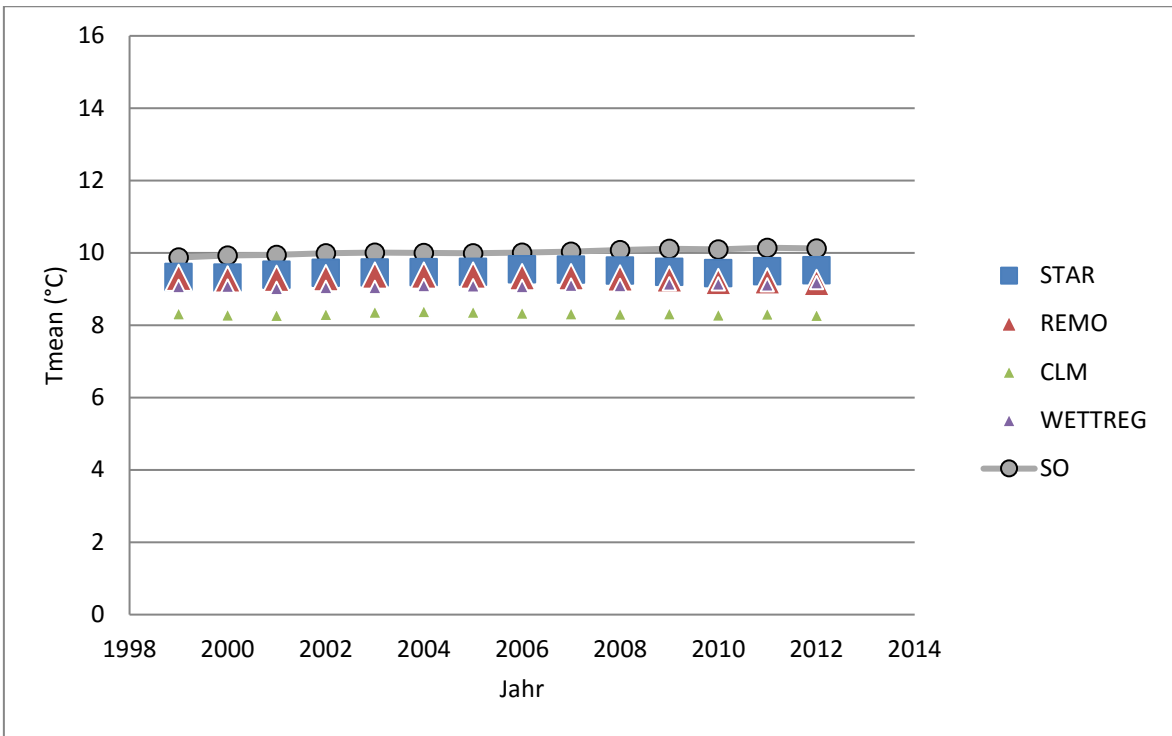


Abb. 105: Vergleich des gleitenden Durchschnitts (30-jährig) realer Wetterdaten mit den Ergebnissen regionaler Klimaszenarien für Deutschland – Temperatur Standort Soest (Eigene Darstellung nach Daten des DWD)

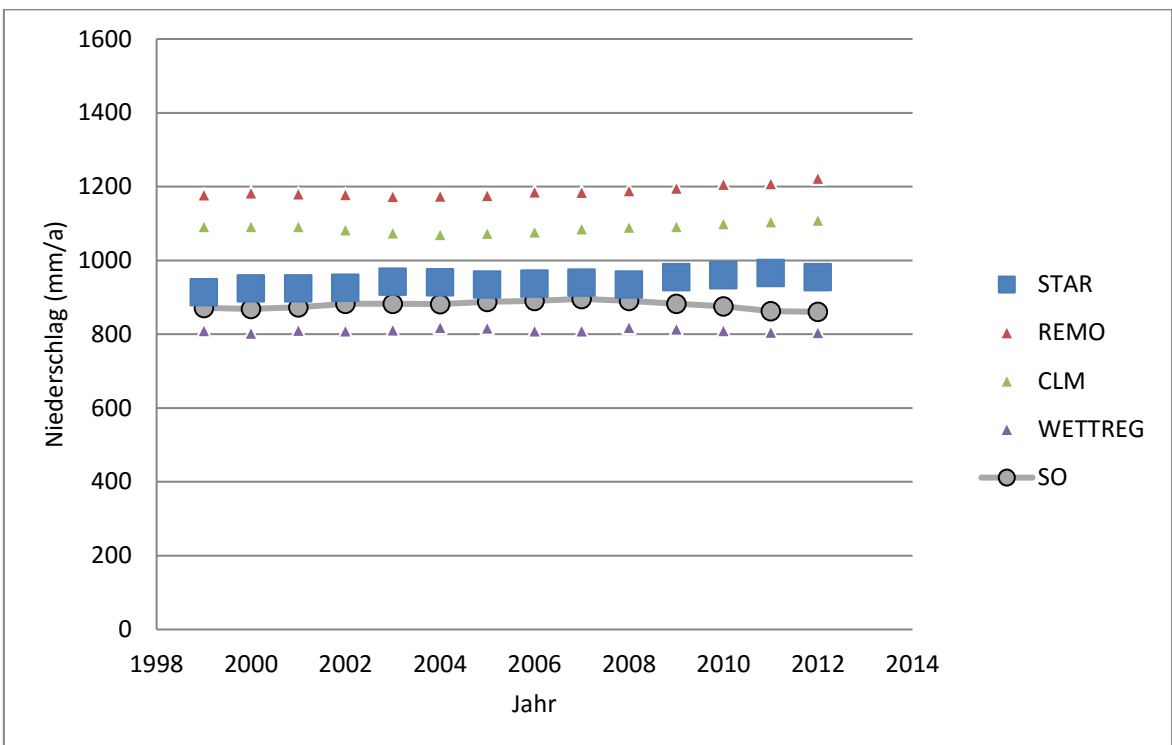


Abb. 106: Vergleich des gleitenden Durchschnitts (30-jährig) realer Wetterdaten mit den Ergebnissen regionaler Klimaszenarien für Deutschland – Niederschlag Standort Soest (Eigene Darstellung nach Daten des DWD)

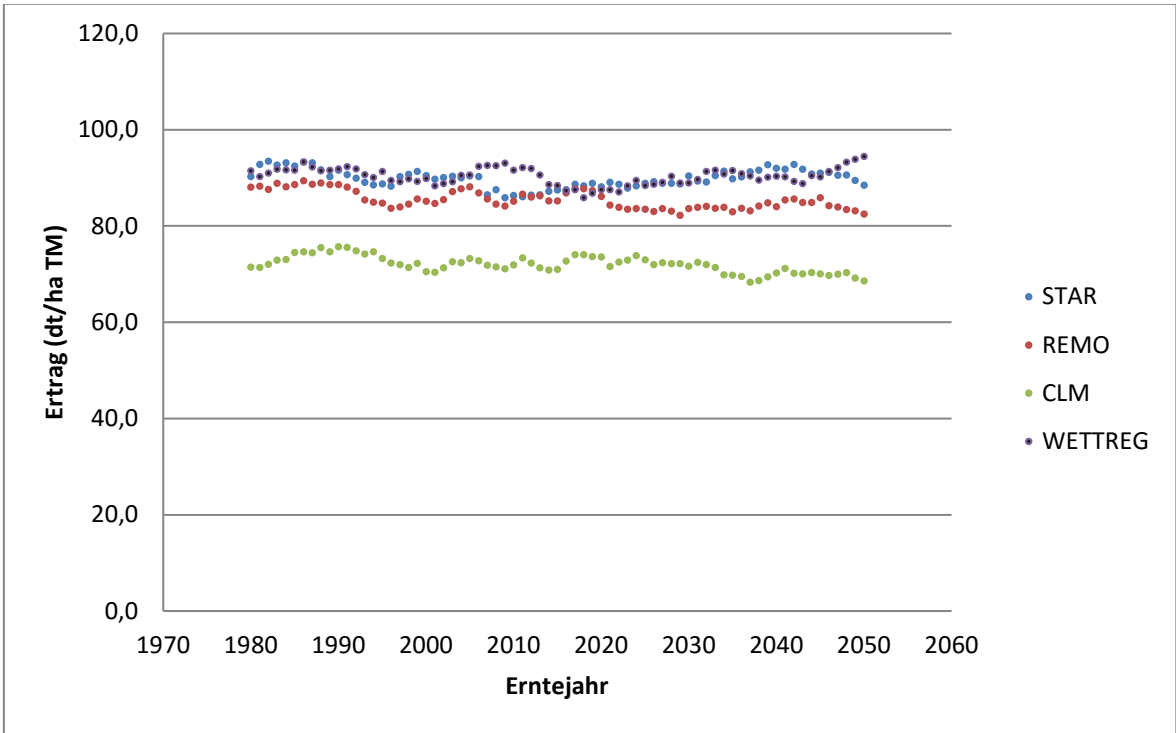


Abb. 107: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterweizen am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

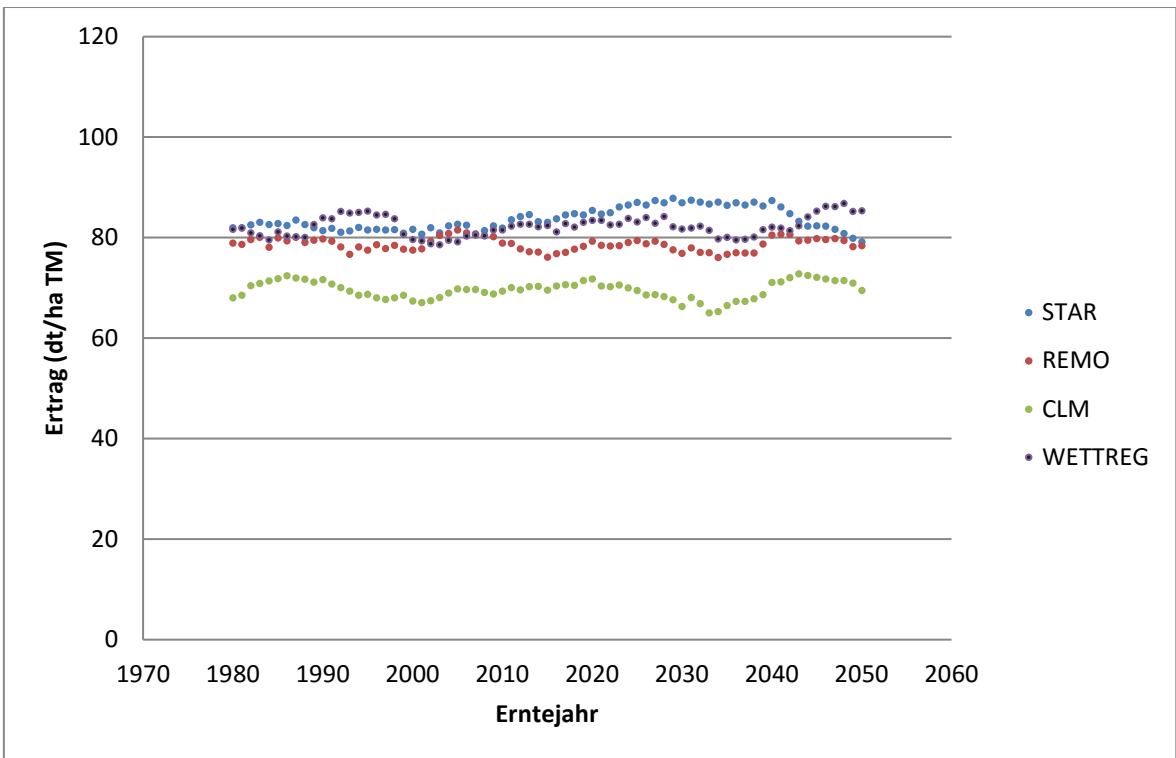


Abb. 108: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Wintergerste am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

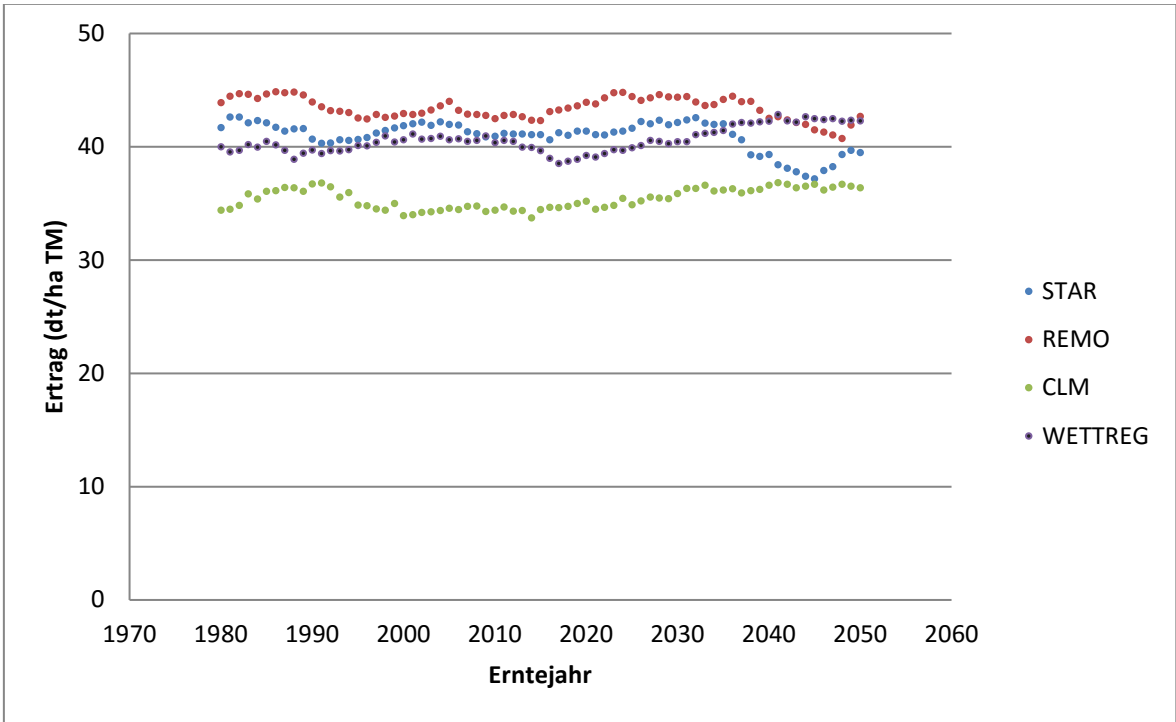


Abb. 109: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Wintererbsen am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

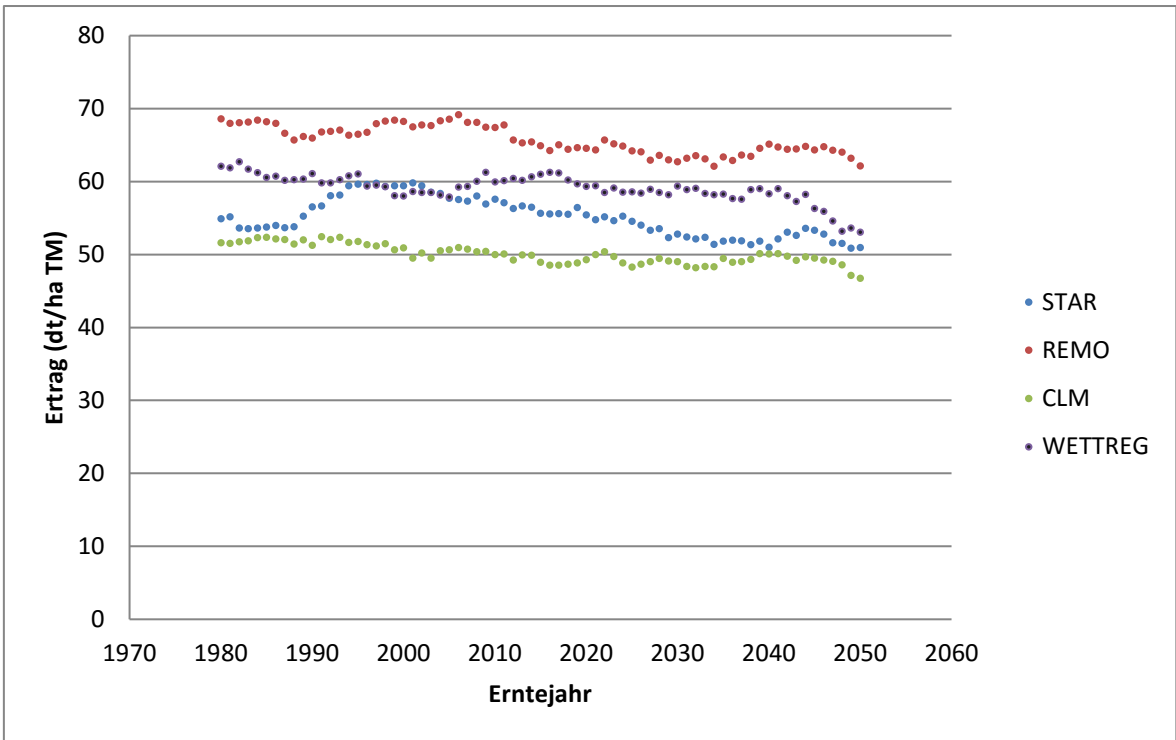


Abb. 110: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Ackerbohnen am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

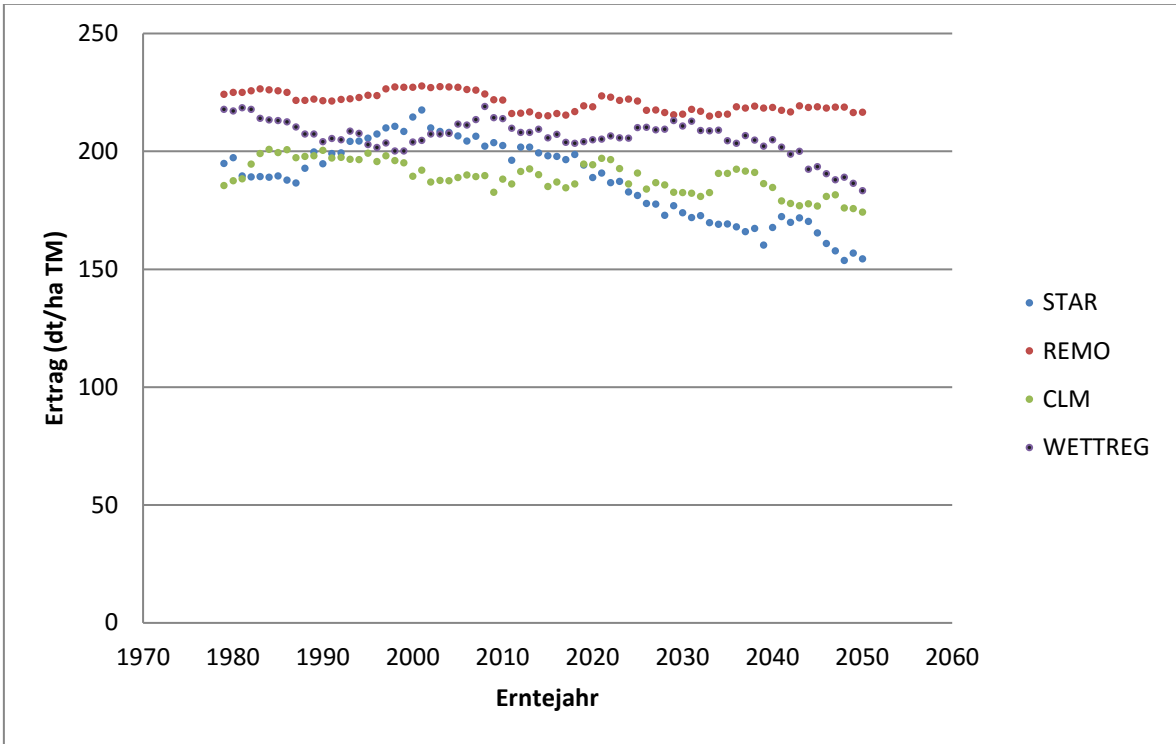


Abb. 111: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Silomais am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

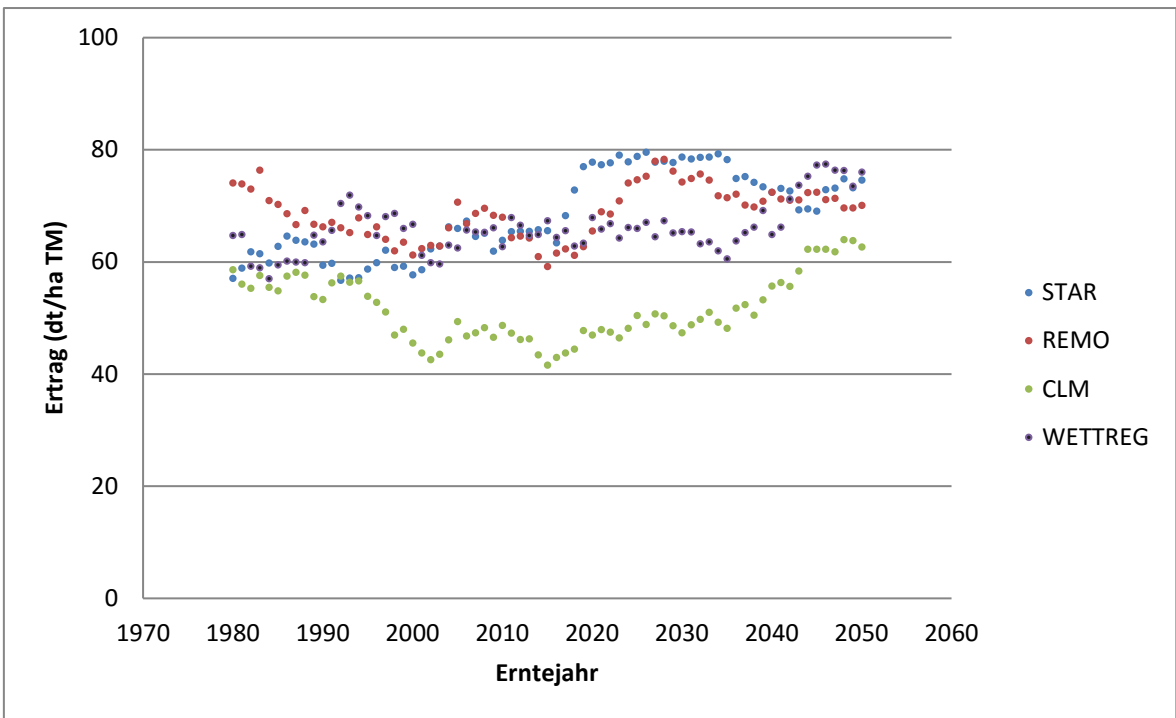


Abb. 112: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Grünroggen am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

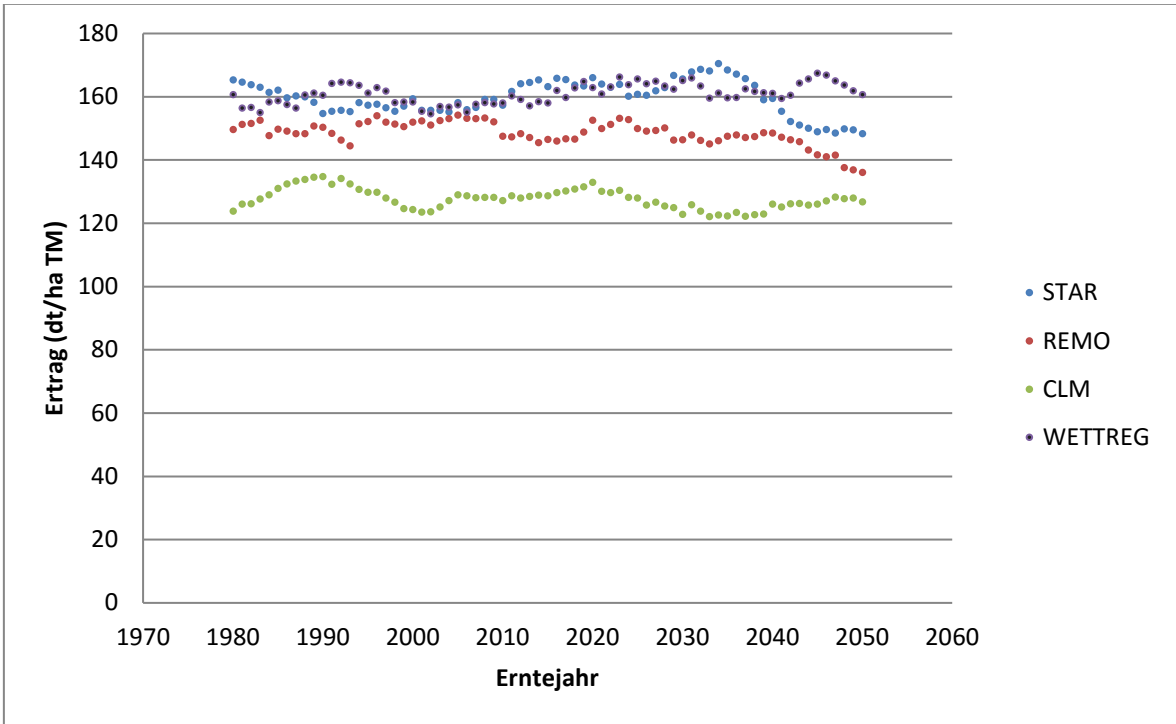


Abb. 113: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von GPS-Roggen am Standort Braunschweig unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

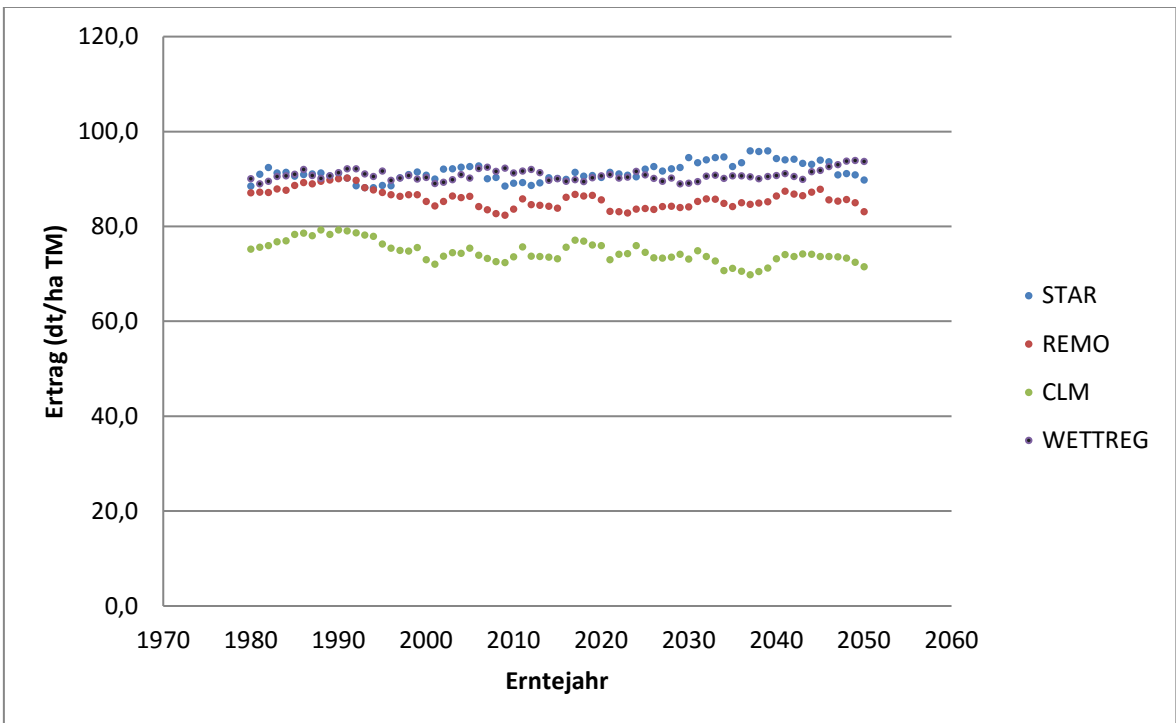


Abb. 114: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Winterweizen am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

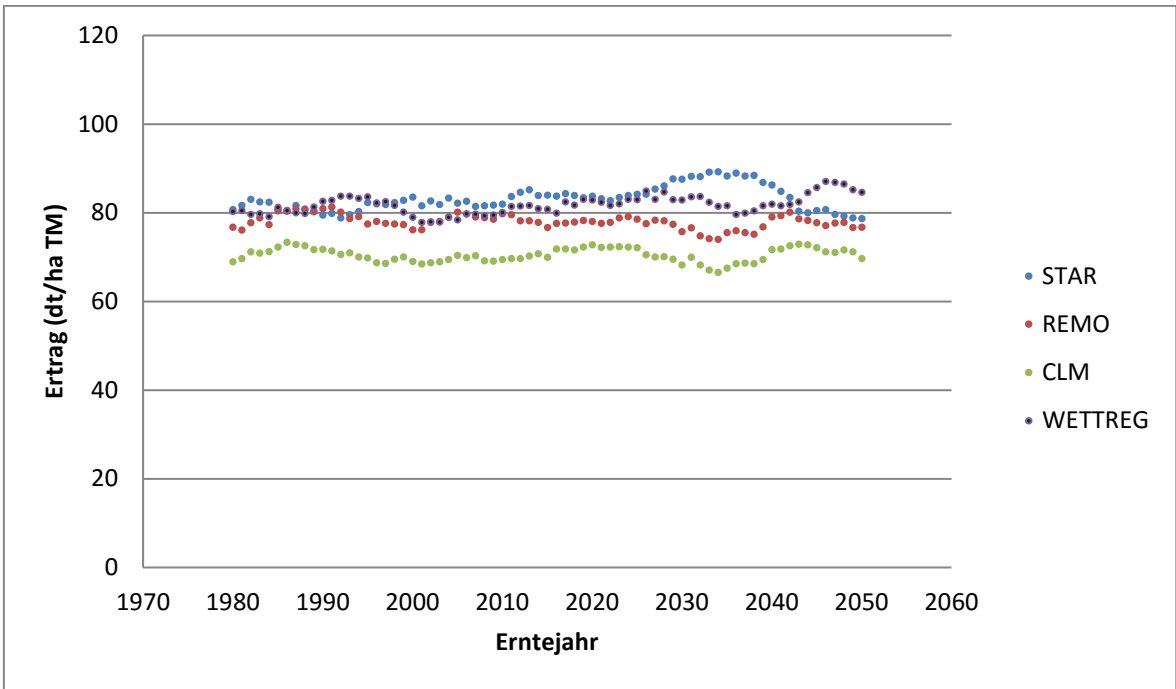


Abb. 115: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Wintergerste am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

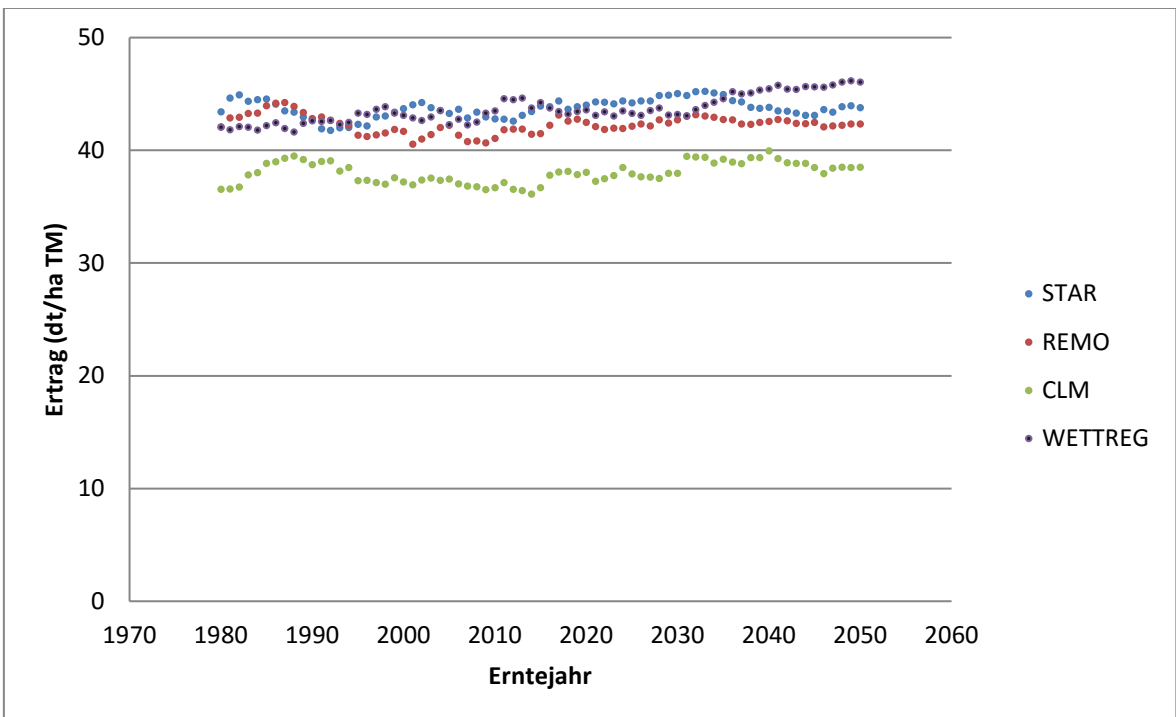


Abb. 116: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Wintererbsen am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

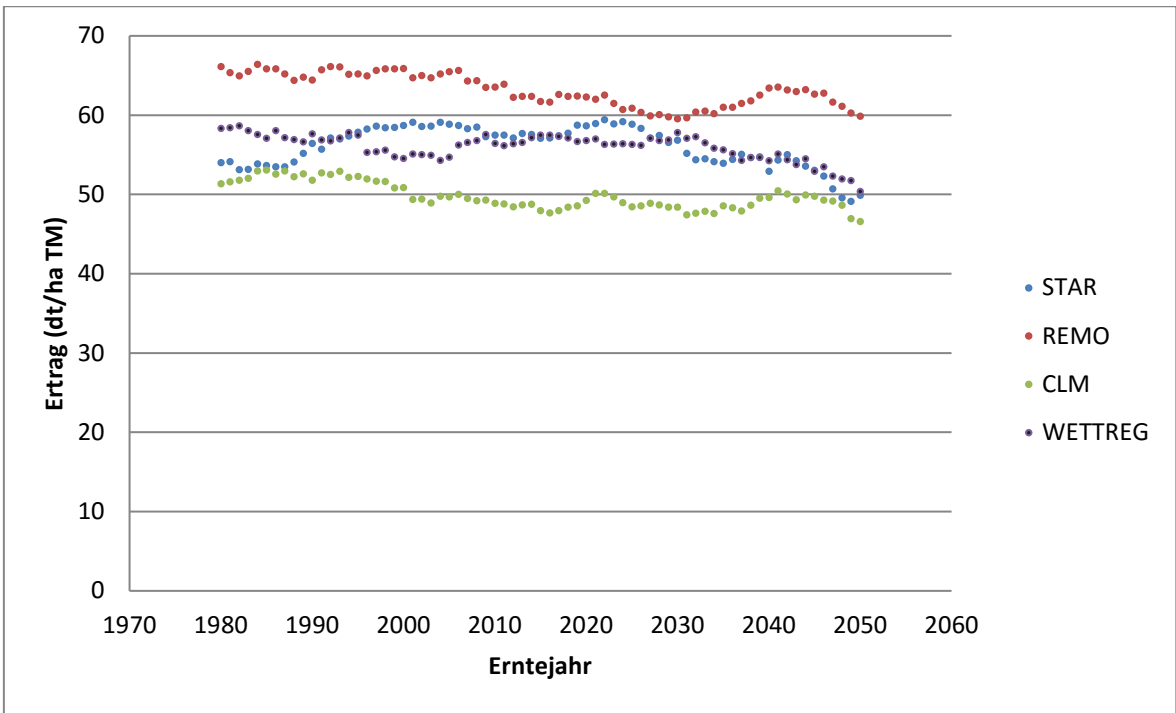


Abb. 117: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Ackerbohnen am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

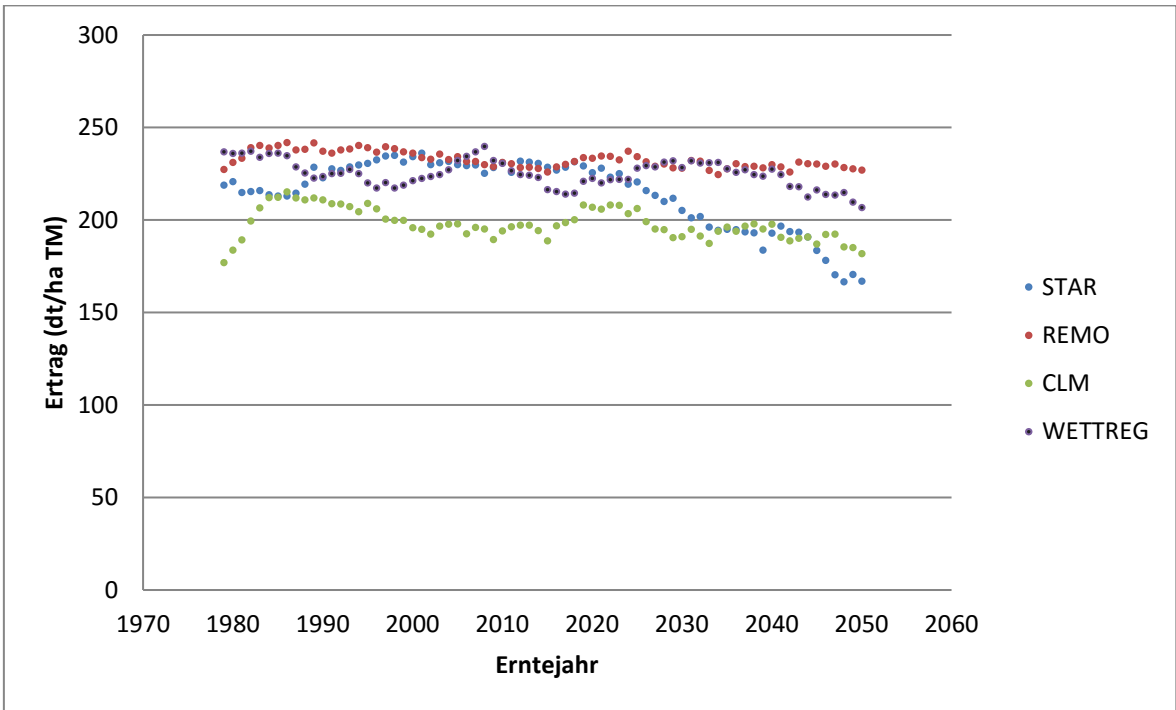


Abb. 118: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Silomais am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

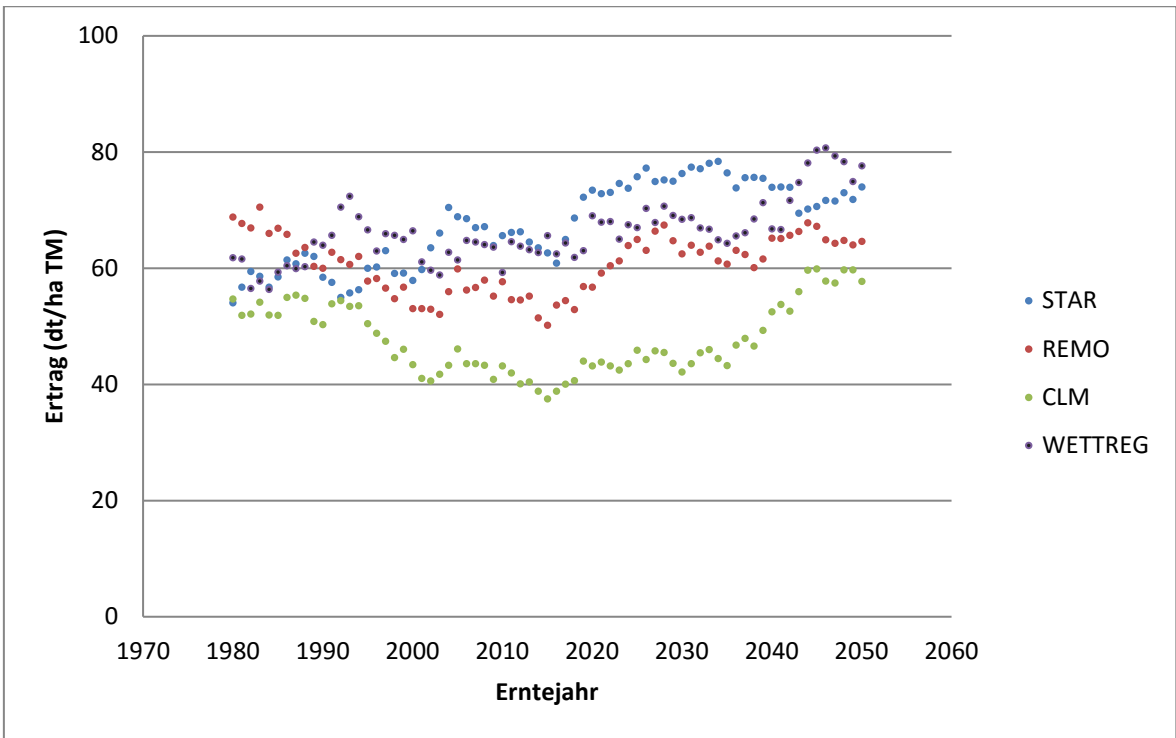


Abb. 119: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von Grünroggen am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

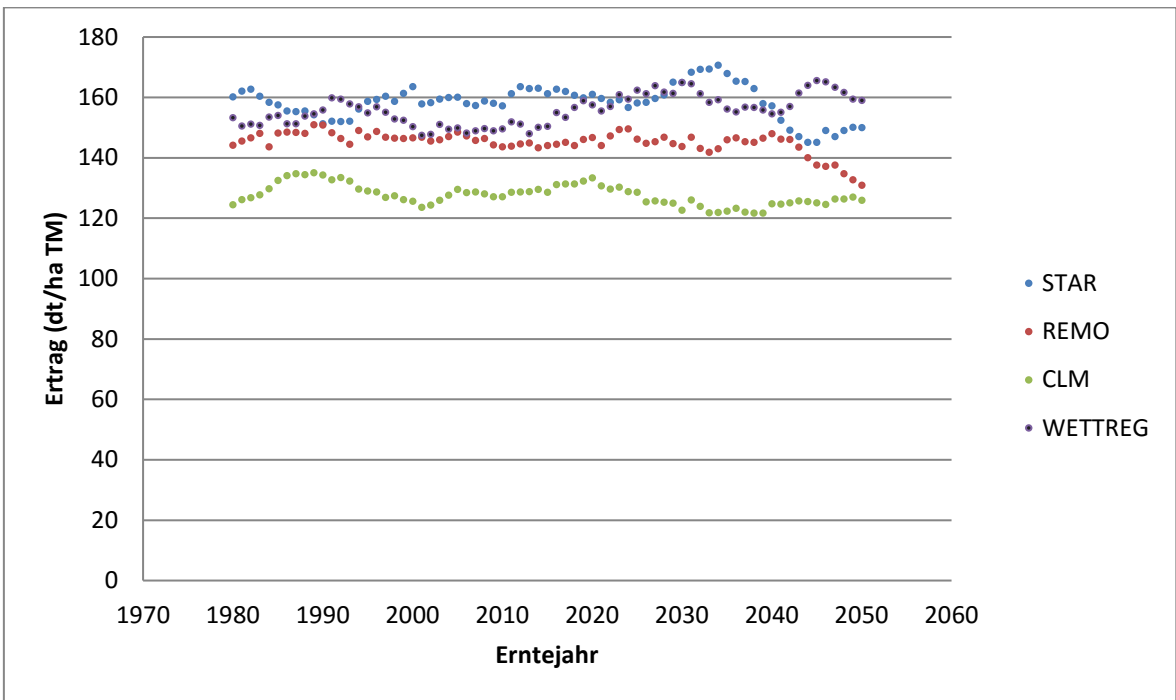


Abb. 120: Gleitender Durchschnitt über einen 10-jährigen Zeitraum der in APSIM modellierten Ertragsleistung von GPS-Roggen am Standort Soest unter Annahme der Klimaszenarien STAR, REMO, CLM und WETTREG (Emissionsszenario A1B)

Tab. 41: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Winterweizen in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterweizen				
		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht	Ernte- jahr	(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
Aussaat	2011	*	06.10.10	06.10.10	06.10.10	06.10.10
	2012	05.10.11	05.10.11	05.10.11	05.10.11	05.10.11
	2013	11.10.12	11.10.12	11.10.12	11.10.12	11.10.12
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011	*	400	400	400	400
	2012	380	380	380	380	380
	2013	380	380	380	380	380
Bestandes- dichte VE [Pfl./m ²]	2011	*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	2012	254	355	338	349	351
	2013	305	324	323	322	318
Bestandes- dichte VB [Pfl./m ²]	2011	*	347	325	253	238
	2012	303	299	291	300	296
	2013	261	265	255	222	192
Kultur- deckungsgrad VE [%]	2011	*	--	--	--	--
	2012	--	--	--	--	--
	2013	6	7	6	5	5
Kultur- deckungsgrad VB [%]	2011	*	--	--	--	--
	2012	46	50	39	34	33
	2013	30	31	26	21	17
Bestandeshöhe [cm]	2011	*	70	70	70	70
	2012	78	83	78	80	83
	2013	78	79	78	78	77
ährentragende Halme [Ähren/m ²]	2011	*	580	523	445	418
	2012	419	487	449	435	489
	2013	548	539	587	557	500
Ernte	2011	*	26.07.11	26.07.11	26.07.11	26.07.11
	2012	08.08.12	08.08.12	08.08.12	08.08.12	08.08.12
	2013	05.08.13	05.08.13	05.08.13	05.08.13	05.08.13

* Wintergerste statt Winterweizen ausgesät → siehe Tabelle „Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte WG“

n.b. nicht bestimmt, da Arbeitsbeginn erst im Dezember 2010

-- 2011 nicht im Messprogramm

Tab. 42: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Wintergerste in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte- jahr	(WW)	(WW)	(AB)
Aussaat	2011	23.09.10	23.09.10	23.09.10
	2012	--	16.09.11	16.09.11
	2013	--	17.09.12	17.09.12
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011	300	300	300
	2012	--	280	280
	2013	--	280	280
Bestandes- dichte VE [Pfl./m ²]	2011	n.b.	n.b.	n.b.
	2012	--	228	240
	2013	--	202	173
Bestandes- dichte VB [Pfl./m ²]	2011	248	267	126
	2012	--	223	194
	2013	--	199	109
Kultur- deckungsgrad VE [%]	2011	--	--	--
	2012	--	--	--
	2013	--	25	10
Kultur- deckungsgrad VB [%]	2011	--	--	--
	2012	--	49	50
	2013	--	51	16
Bestandeshöhe [cm]	2011	80	80	95
	2012	--	108	109
	2013	--	104	109
ährentragende Halme [Ähren/m ²]	2011	415	406	351
	2012	--	405	449
	2013	--	526	461
Ernte	2011	11.07.11	11.07.11	11.07.11
	2012	--	23.07.12	23.07.12
	2013	--	23.07.13	23.07.13

-- seit 2012 keine Wintergerste im Marktfruchtbetrieb

Tab. 43: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Grünroggen und Roggen-GPS in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	Ro-GPS
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
Aussaat	2011	--	--	--	06.10.10 (Triticale)
	2012	14.09.11	14.09.11	14.09.11	05.10.11
	2013	15.09.12	15.09.12	15.09.12	11.10.12
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011				350
	2012	230	230	230	230
	2013	280	280	280	250
Bestandesdichte VE [Pfl./m ²]	2011				n.b.
	2012	278	225	216	285
	2013	328	76 (nachgesät)	207	219
Bestandesdichte VB [Pfl./m ²]	2011				122
	2012	198	169	147	291
	2013	146	90	105	125
Kulturdeckungsgrad VE [%]	2011				n.b.
	2012				
	2013	73	1	26	6
Kulturdeckungsgrad VB [%]	2011				n.b.
	2012	59	64	59	65
	2013	mit Glyphosat in BBCH 30 abgespritzt			26
Bestandeshöhe [cm]	2011				95
	2012	89	90	88	158
	2013				147
ährentragende Halme [Ähren/m ²]	2011				445
	2012	BBCH 43 vor Ährenschieben geerntet			538
	2013	mit Glyphosat in BBCH 30 abgespritzt			420
Ernte	2011				29.06.11
	2012	23.04.12	23.04.12	23.04.12	21.06.12
	2013	mit Glyphosat in BBCH 30 abgespritzt			24.06.13

2010 kein Grünroggen ausgesät

Tab. 44: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Silomais in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb	
Kultur		SM	SM	SM
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WG)	(WW)	(WG)
Aussaat	2011	11.04.11	11.04.11	11.04.11
	2012	09.05.12	09.05.12	09.05.12
	2013	26.04.13	26.04.13	26.04.13
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011	10	10	10
	2012	10	10	10
	2013	10	10	10
Bestandesdichte [Pfl./m ²]	2011	8,8	8,2	7,9
	2012	9,4	9,2	8,7
	2013	10	9	11
Kulturdeckungsgrad [%]	2011			
	2012	6	8	6
	2013	18	17	15
Bestandeshöhe [cm]	2011			
	2012	275	275	287
	2013	186	225	237
Ernte	2011	20.09.11	20.09.11	20.09.11
	2012	25.09.12	25.09.12	25.09.12
	2013	26.09.13	26.09.13	26.09.13

Tab. 45: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Winterraps in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WW)	(Ro-GPS)
Aussaat	2011	08.09.10	08.09.10
	2012	01.09.11	26.08.11
	2013	28.08.12	21.08.12
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011	80	80
	2012	70	70
	2013	70	70
Bestandes- dichte VE [Pfl./m ²]	2011	n.b.	n.b.
	2012	69	60
	2013	65	49
Wurzelhals- durchmesser VE [mm]	2011	n.b.	n.b.
	2012	8	9
	2013	4,8	6,6
Länge der Sprossachse [mm]	2011	n.b.	n.b.
	2012	16	16
	2013	3,3	7,3
Biomasse VE TM [g/m ²]	2011	--	--
	2012	262	303
	2013	47	85
Biomasse VB TM [g/m ²]	2011	--	--
	2012	146	171
	2013	32	40
Bestandes- dichte VB [Pfl./m ²]	2011	12	28
	2012	38	39
	2013	54	37
Kultur- deckungsgrad VE [%]	2011	--	--
	2012	80	80
	2013	34	38
Kultur- deckungsgrad VB [%]	2011	--	--
	2012	21	23
	2013	37	41
Bestandeshöhe [cm]	2011	115	115
	2012	118	113
	2013	137	139
Ernte	2011	18.07.11	18.07.11
	2012	27.07.12	27.07.12
	2013	30.07.13	30.07.13

n.b. nicht bestimmt, da Arbeitsbeginn erst im Dezember 2010

-- 2011 nicht im Messprogramm

Tab. 46: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Ackerbohne in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WW)
Aussaat	2011	09.03.11
	2012	16.03.12
	2013	08.04.13
Aussaatstärke [Körner/m²]	2011	50
	2012	45
	2013	45
Bestandes- dichte [Pfl./m²]	2011	53
	2012	37
	2013	40
Kultur- deckungsgrad [%]	2011	
	2012	71
	2013	70
Bestandeshöhe [cm]	2011	80
	2012	147
	2013	100
Ernte	2011	10.08.11
	2012	21.08.12
	2013	15.08.13

Tab. 47: Düngung, N_{min} und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterweizen				
		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Fruchtfolge		(WR)	(WR)	(WR)	(WR)	(WR)
Vorfrucht		(WR)	(WR)	(WR)	(WR)	(WR)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]		*	--	--	--	--
N _{-min} Früh- jahr ** [kg /ha]	16.02.11	*	12-14-9 = 35	17-20-14 = 51	16-15-13 = 44	13-12-10 = 35
Gärrest [N kg/ha]	21.02.11	*		63	63	63
KAS [N kg/ha]						
Harnstoff [N kg/ha]	21.02.11	*	69			
Harnstoff [N kg/ha]	18.04.11	*	60			
Harnstoff [N kg/ha]	29.04.11	*	51			
ssA [N kg/m ²]						
Harnstoff [N kg/ha]						
Gärrest [N kg/ha]	15.04.11	*		43	43	43
Nitrachek [ppm Nitrat]	14.04.11	*	1569	393	1266	1268
	05.05.11	*	151	158	176	52
	24.05.11	*	37	8	11	6

* Wintergerste statt Winterweizen ausgesät

** 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

-- 2011 nicht im Messprogramm

Tab. 48: Düngung, N_{min} und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterweizen				
		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Fruchtfolge		(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
Vorfrucht		(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	29.11.11	56-51-24 = 131	91-77-49 = 217 ²⁾	61-49-14 = 132	39-31-12 = 89	39-36-12 = 91
N _{-min} Früh- jahr ** [kg /ha]	04.03.12	25-26-36 = 87	31-23-22 = 76	19-20-13 = 51	19-19-16 = 54	33-27-16 = 76
Gärrest [N kg/ha]	15.03.12			42	30	63
KAS [N kg/ha]						
Harnstoff [N kg/ha]	08.03.12	90	90			
Harnstoff [N kg/ha]	22.03.12	20	30	80 ¹⁾	60 ¹⁾	60 ¹⁾
Harnstoff [N kg/ha]	18.04.12		4	19	15	
ssA [N kg/m ²]	18.04.12	26	26	26	26	26
Harnstoff [N kg/ha]						
Gärrest [N kg/ha]						
Nitrachek [ppm Nitrat]	02.04.12	1122	1799	942	1382	1376
	10.04.12	2463	3365	2021	2190	2726
	19.04.12	977	1179	1316	920	902
	02.05.12	378	616	955	906	422
	14.05.12	141	620	463	396	106

** 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

1) 28.03.12

2) In östlichem Drittel der Versuchsfläche stand 2011 kein Raps, sondern nur Kamille, die abgeschlegelt wurde. In diesem Teil der Parzelle wurde zwar N gedüngt, aber kein N über die Ernte entzogen.

Tab. 49: Düngung, N_{min} und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterweizen				
		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Fruchtfolge		(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
Vorfrucht		(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	14.11.12	42-40-21 = 103	53-75-45 = 173	94-54-6 = 154	53-27-9 = 89	29-23-12 = 64
N _{-min} Früh- jahr ** [kg /ha]	11.02.13	14-26-17 = 57	18-44-24 = 86	12-18-26 = 56	16-18-7 = 41	15-32-16 = 63
Gärrest [N kg/ha]	27.03.13			45	67	67
KAS [N kg/ha]	06.03.13	60	60			
Harnstoff [N kg/ha]						
Harnstoff [N kg/ha]						
Harnstoff [N kg/ha]						
ssA [N kg/m ²]	25.03.13	25	25	25	25	25
Harnstoff [N kg/ha]	13.05.13	90	40	50	70	50
Gärrest [N kg/ha]						
Nitrachek [ppm Nitrat]	30.04.13	1775	3371	2476	2900	3389
	07.05.13	742	2031	2418	1029	2369
	14.05.13	697	1151	2733	449	1348
	21.05.13	1213	1240	2431	1200	1303
	29.05.13	1856	463	3447	629	544
	04.06.13	2755	711	3059	566	517

** 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 50: Düngung, N_{min} und Nitrachek in Wintergerste im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WR)	(WR)	(WR)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]		--	--	--
N _{-min} Frühjahr ** [kg /ha]	16.02.11	17-13-9 = 39	15-8-12 = 35	12-12-7 = 31
Gärrest [N kg/ha]				
Gärrest [N kg/ha]	21.02.11		65	65
KAS [N kg/ha]				
Harnstoff [N kg/ha]	21.02.11	69		
Harnstoff [N kg/ha]	18.04.11	60	42 ²⁾	42 ²⁾
Harnstoff [N kg/ha]	29.04.11	51		
ssA [N kg/m ²]				
Nitrachek [ppm Nitrat]	14.04.11	291	38	359
	05.05.11	9	48	53
	24.05.11	15	16	69

** 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

2) 15.04.11

-- 2011 nicht im Messprogramm

Tab. 51: Düngung, N_{min} und Nitratek in Wintergerste im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb ³⁾	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(WW)	(AB)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	29.11.11	/	63-52-17 = 132	15-20-10 = 45
N _{-min} Früh-jahr ** [kg /ha]	04.03.12		29-23-13 = 67	20-17-7 = 44
Gärrest [N kg/ha]	02.09.11		42	
Gärrest [N kg/ha]	15.03.12		42	
KAS [N kg/ha]	08.03.12			
Harnstoff [N kg/ha]	22.03.12		70	100
Harnstoff [N kg/ha]				
Harnstoff [N kg/ha]				
ssA [N kg/m ²]	18.04.12		26	26
Nitratek [ppm Nitrat]	02.04.12		209	102
	10.04.12		884	310
	19.04.12		53	79
	02.05.12		268	656
	14.05.12	484	202	

** 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

3) seit 2012 keine Wintergerste mehr im Marktfruchtbetrieb

Tab. 52: Düngung, N_{min} und Nitratck in Wintergerste im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb ³⁾	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(WW)	(AB)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	14.11.12		44-30-4 = 78	52-30-20 = 102
N _{-min} Früh-jahr ** [kg /ha]	11.02.13		17-16-17 = 50	19-68-22 = 79
Gärrest [N kg/ha]	19.09.12		45	
Gärrest [N kg/ha]	27.03.13		45	
KAS [N kg/ha]	06.03.13			40
Harnstoff [N kg/ha]	25.03.13		25	25
Harnstoff [N kg/ha]				
Harnstoff [N kg/ha]				
ssA [N kg/m ²]	13.05.13		30	45
Nitratck [ppm Nitrat]	30.04.13		1775	2918
	07.05.13		1267	2719
	14.05.13		939	2382
	21.05.13		1254	1061
	29.05.13		710	2229
	04.06.13		1912	249

** 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

3) seit 2012 keine Wintergerste mehr im Marktfruchtbetrieb

Tab. 53: Düngung, Nmin und Nitratek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	WTri
Vorfrucht	Datum	(WR)	(WR)	(WR)	(WR)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]					--
N _{-min} Frühjahr ** [kg /ha]					17-19-10 = 46
Gärrest [N kg/ha]	21.02.11				65
Gärrest [N kg/ha]	15.04.11				43
Harnstoff [N kg/ha]					
Nitratek [ppm Nitrat]	14.04.11				1409
	05.05.11				207
	24.05.11				24

von 2010 bis 2011 kein Grünroggen angebaut

-- 2011 nicht im Messprogramm

Tab. 54: Düngung, Nmin und Nitratek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	Ro-GPS
Vorfrucht	Datum	(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	29.11.11	20-15-8 = 43	19-13-7 = 39	13-15-7 = 34	63-48-25 = 136
N _{-min} Frühjahr ** [kg /ha]	04.03.12	6-7-5 = 18	6-6-5 = 17	8-8-6 = 20	26-16-17 = 59
Gärrest [N kg/ha]	02.09.11	0	43	43	
Gärrest [N kg/ha]	15.03.12	0	65	65	65
Harnstoff [N kg/ha]	28.03.12	0	40	40	30

Tab. 55: Düngung, Nmin und Nitratek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	Ro-GPS
Vorfrucht	Datum	(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	14.11.12	52-21-6 = 79	52-28-16 = 96	59-32-17 = 108	34-18-15 = 67
N _{-min} Frühjahr ** [kg /ha]	11.02.13	23-20-16 = 58	28-20-21 = 69	23-45-26 = 94	12-9-10 = 31
Gärrest [N kg/ha]	19.09.12		45	45	
Gärrest [N kg/ha]	27.03.13		67	67	67
Harnstoff [N kg/ha]	25.03.13				40

Tab. 56: Düngung, N_{min} und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WR)	(WR)	(WR)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]		--	--	--
N _{-min} Früh-jahr ** [kg /ha]	16.02.11	26-28-17 = 71	19-13-11 = 43	17-21-17 = 55
Gärrest [N kg/ha]	21.02.11	65	65	65
DAP UFD [N kg/ha]	11.04.11	32	32	32
Harnstoff [N kg/ha]				
Gärrest [N kg/ha]	15.06.11	32	32	32
Nitrachek [ppm Nitrat]	24.05.11	2250	2025	2123
	10.06.13	1601	1625	678
	28.06.11	3030	2519	2022

Tab. 57: Düngung, Nmin und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Silomais		
		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WG)	(WW)	(WG)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	29.11.11	20-15-8 = 43	19-13-7 = 39	13-15-7 = 34
N _{-min} Früh-jahr ** [kg /ha]	04.03.12	6-7-5 = 18	6-6-5 = 17	8-8-6 = 20
Gärrest [N kg/ha]	08.05.12	42	63	63
DAP UFD ⁴⁾ [N kg/ha]	09.05.12	30	30	30
Harnstoff [N kg/ha]	05.06.12	90	70	70
Harnstoff [N kg/ha]				
Nitrachek [ppm Nitrat]	30.05.12	2684	2240	2543
	06.06.12	2662	2438	2772
	20.06.12	2410	2236	1766
	03.07.12	3358	2462	2366

4) DAP flächig nS ausgebracht

Tab. 58: Düngung, Nmin und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WG)	(WW)	(WG)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	14.11.12	52-21-6 = 79	52-28-16 = 96	59-32-17 = 108
N _{-min} Früh-jahr ** [kg /ha]	11.02.13	23-20-16 = 58	28-20-21 = 69	23-45-26 = 94
Gärrest [N kg/ha]				
DAP UFD ⁵⁾ [N kg/ha]	26.04.13	30	30	30
Harnstoff [N kg/ha]				
Harnstoff [N kg/ha]				
Nitrachek [ppm Nitrat]	20.06.13	145	2085	1427
	26.06.13	372	2615	2769
	02.07.13	86	1804	1369
	15.07.13	63	381	low

5) GR wurde im Frühjahr 2013 nicht geerntet und mit Glyphosat abgespritzt. Die Düngung des GR wurde auf den Silomais angerechnet

Tab. 59: Düngung und Nmin in Winterraps im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterraps	
		Marktfruchtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Fruchtfolge		(WR)	(WR)
Vorfrucht		(WR)	(WR)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]		--	--
N _{-min} Früh-jahr ** [kg /ha]	16.02.11	29-26-21 = 76	16-21-18 = 55
Gärrest [N kg/ha]			
Gärrest [N kg/ha]			
KAS [N kg/ha]	20.09.10	54	54
Gärrest [N kg/ha]	21.02.11		65
NPK [N kg/ha]	21.02.11	64	
ssA [N kg/ha]	22.03.11	36	36
Gärrest [N kg/ha]	15.04.11		43
Harnstoff [N kg/ha]	22.03.11	46	
ssA [N kg/m ²]			

Tab. 60: Düngung und Nmin in Winterraps im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(Ro-GPS)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	29.11.11	14-14-10 = 38	12-15-6 = 33
N _{-min} Früh- jahr ** [kg /ha]	04.03.12	14-14-10* = 38	13-12-8 = 33
Gärrest [N kg/ha]	02.09.11		43
Gärrest [N kg/ha]	15.03.12		65
Harnstoff [N kg/ha]	08.03.12	100	
Gärrest [N kg/ha]			
NPK [N kg/ha]			
ssA [N kg/ha]	22.03.12	39	40
Gärrest [N kg/ha]			
Harnstoff [N kg/ha]	22.03.12	41	90
ssA [N kg/m ²]			

* Werte von VE eingesetzt, da zu VB gemessener Wert von > 200 nicht plausibel war

Tab. 61: Düngung und Nmin in Winterraps im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(Ro-GPS)
N _{-min} Herbst ** [kg /ha]	14.11.12	36-31-20 = 87	75-47-11 = 133
N _{-min} Früh-jahr ** [kg /ha]	11.02.13	13-17-16 = 46	20-34-26 = 80
Gärrest [N kg/ha]	19.09.12		45
Gärrest [N kg/ha]	27.03.13		67
Harnstoff [N kg/ha]	19.09.12	50	
Gärrest [N kg/ha]			
KAS [N kg/ha]	06.03.13	80	
ssA [N kg/ha]	25.03.13	38	38
Gärrest [N kg/ha]			
KAS [N kg/ha]	25.03.13	62	42
ssA [N kg/m ²]			

Tab. 62: Düngung und N_{min} in Ackerbohne im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WR)
N_{-min} Herbst ** [kg /ha]		--
N_{-min} Früh-jahr ** [kg /ha]	16.02.11	14-13-5 = 32
Gärrest [N kg/ha]	21.02.11	63 (Düngungsfehler)

Tab. 63: Düngung und N_{min} in Ackerbohne im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)
N_{-min} Herbst ** [kg /ha]	29.11.11	13-14-5 = 32
N_{-min} Früh-jahr ** [kg /ha]	04.03.12	24-20-8 = 54
Gärrest [N kg/ha]		0

Tab. 64: Düngung und Nmin in Ackerbohne im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)
N_{-min} Herbst ** [kg /ha]	14.11.12	30-29-14 = 63
N_{-min} Früh- jahr ** [kg /ha]	11.02.13	15-19-10 = 44
Gärrest [N kg/ha]		0

Tab. 65: Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterweizen				
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabe- trieb	
Vorfrucht		(WR)	(WR)	(WR)	(WR)	(WR)
Zielorganismus	Produkt	Termin				
Unkraut	Glyphosat					
Unkraut, Ungräser AFS	0,3 l Cadou + 0,75 l Bacara	*	26.10.10	26.10.10	26.10.10	26.10.10
Standfestigkeit Unkraut	0,5 l CCC 720 + 30 g Pointer	*	08.04.11	08.04.11	08.04.11	08.04.11
Krankheiten Standfestigkeit	0,6l Input +0,5l CCC	*	20.04.11	20.04.11	20.04.11	20.04.11
Krankheiten	0,75 l Aviator + 0,75l Fandango	*	12.05.11	12.05.11	12.05.11	12.05.11
Krankheiten DTR Blattläuse	0,6 l Folicur + 0,3l Taspa +0,75l Karate Zeon	*	30.05.11	30.05.11	30.05.11	30.05.11

* Wintergerste statt Winterweizen ausgesät

Tab. 66: Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterweizen				
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabe- trieb	
Vorfrucht		(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
Zielorganismus	Produkt	Termin				
Unkraut	4,0 l Glyphosat				02.09.11	02.09.11
Unkraut, Kamille Ungräser AFS	0,75l Bacara Forte + 0,3l Cadou SC	21.10.11	21.10.11	21.10.11	21.10.11	21.10.11
Standfestigkeit	1,0 l CCC 720	17.04.12	17.04.12	17.04.12	17.04.12	17.04.12
Krankheiten Standfestigkeit	1,0l l Input Xpro +0,7l CCC	02.05.12	02.05.12	02.05.12	02.05.12	02.05.12
Krankheiten Blattläuse	1,25 l Input +1,25 l Fastac SC	06.06.12	06.06.12	06.06.12	06.06.12	06.06.12

Tab. 67: Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterweizen				
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabe- trieb	
Vorfrucht		(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
Zielorganismus	Produkt	Termin				
Unkraut	5,0 l Glyphosat 360				14.09.12	14.09.12
Unkraut, Klette, Kamille Ungräser AFS	0,3 l Cadou + 0,75 l Bacara	31.10.12	31.10.12	31.10.12	31.10.12	31.10.12
Standfestigkeit	1,0 l CCC 720	25.04.13	25.04.13	25.04.13	25.04.13	25.04.13
Krankheiten Standfestigkeit	1,0 l Input Xpro +0,2l Camposan	05.06.13	05.06.13	05.06.13	05.06.13	05.06.13
Krankheiten	1,0 l Prosaro	14.06.13	14.06.13	14.06.13	14.06.13	14.06.13
Blattläuse	250 g Pirimor	26.06.13	26.06.13	26.06.13	26.06.13	26.06.13

Tab. 68: Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Kli- mabetrieb
Vorfrucht		(WR)	(WR)	(WR)
Zielorganismus	Produkt	Termin		
Unkraut, Ungräser AFS	0,3 l Cadou + 0,75 l Bacara	26.10.10	26.10.10	26.10.11
Krankheiten Netzflecken Halmfestigung	1,5 l Fandango + 0,5 l Medax Top	20.04.11		
Krankheiten Netzflecken Halmfestigung	1,5 l Fandango + 0,5 l Medax Top + 30 g Pointer		20.04.11	20.04.11
Krankheiten	1,0 l Amistar Opti + 0,6 l Gladio	10.05.11		10.05.11

Tab. 69: Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Kli- mabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(WW)	(AB)
Zielorganismus	Produkt	Termin		
Unkraut	4,0 Glyphosat 360	/		02.09.11
Unkraut Ungräser	0,75 Bacara Forte + 0,3 Cadou SC		21.10.11	21.10.11
Krankheiten	1,0 Input Xpro		15.05.12	15.05.12

Tab. 70: Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Kli- mabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(WW)	(AB)
Zielorganismus	Produkt	Termin		
Unkraut	5,0 Glyphosat 360	/		14.09.12
Unkraut, Ungräser AFS	0,3 Cadou + 0,75 Bacara		31.10.12	31.10.12
Standfestigkeit Krankheiten	0,5 Camposan +1,0 Input		14.05.13	14.05.13
	0,4 Aviator Xpro + 0,5 Sympara		04.06.13	04.06.13

Tab. 71: Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Vieh- haltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur	Datum	GR	GR	GR	WTri
Vorfrucht	Datum	(WR)	(WR)	(WR)	(WR)
Zielorganismus	Produkt	Termin			
Unkraut, Ungräser AFS	0,3 l Cadou + 0,75 l Bacara				26.10.10
Standfestigkeit Unkraut	0,5 l CCC 720 + 30 g Pointer				08.04.11
Krankheiten Standfestigkeit	0,6l Input +0,5l CCC				20.04.11
Krankheiten Blattläuse	0,6 l Folicur + 0,3l Taspa +0,75l Karate Zeon				30.05.11

Tab. 72: Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Vieh- haltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur	Datum	GR	GR	GR	WTri
Vorfrucht	Datum	(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
Zielorganismus	Produkt	Termin			
Unkraut	4,0 l Glyphosat 360		02.09.11	02.09.11	02.09.11
Unkraut, Ungräser AFS	0,3 l Cadou + 0,75 l Bacara	21.10.11	21.10.11	21.10.11	21.10.11

Tab. 73: Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Vieh- haltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	WTri
Vorfrucht	Datum	(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
Zielorganismus	Produkt	Termin			
Unkraut	5,0 l Glyphosat 360		14.09.12	14.09.12	
GR abgespritzt	3,75 l Roundup PowerFlex	23.04.13	23.04.13	23.04.13	

Tab. 74: Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WR)	(WR)	(WR)
Zielorganismus	Produkt	Termin		
Unkraut	4,5 Clinic		07.04.11	07.04.11
Unkraut	1,5 Calaris + 1,2 Dual Gold	17.05.11	17.05.11	17.05.11

Tab. 75: Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WG)	(WW)	(WG)
Zielorganismus	Produkt	Termin		
Unkraut	0,35 Effigo	Disteln	Disteln	Disteln
Unkraut	4,0 Glyphosat 360		02.09.12	02.09.12

Tab. 76: Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WG)	(WW)	(WG)
Zielorganismus	Produkt	Termin		
Unkraut	4,5 Glyphosat 360		14.09.12	14.09.12
Unkraut	1,5 Calaris	27.06.13	27.06.13	27.06.13

Tab. 77: Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WR)	(WR)
Zielorganismus	Produkt	Termin	
Unkraut	2,0 l Butisan Top	20.09.10	20.09.10
Rapsglankkäfer gefl. Kohltrie- brüßler	75 ml Karate Zeon	29.03.11	29.03.11
Schädlinge Krankheiten	0,2 l Trebon + 0,5 l Folicur	07.04.11	07.04.11

Tab. 78: Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(Ro-GPS)
Zielorganismus	Produkt	Termin	
Unkraut	2,65 kg Round Up Turbo		04.08.11
Unkraut	4,0 l Calzor trio	18.08.11	18.08.11
Schnecken	7,0 kg Metarex	22.08.11	22.08.11
Unkraut	2,5 l Focus Ultra + 2,5 l Dash EC	13.09.11	13.09.11
Rapsglankkäfer gefl. Kohltrie- brüßler	75 ml Karate Zeon	21.09.11	21.09.11
Krankheiten Schädlinge	0,5 l Folicur + 75 ml Karate Zeon	23.03.12	23.03.12
Krankheiten	0,5 l Folicur	16.04.12	16.04.12

Tab. 79: Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(Ro-GPS)
Zielorganismus	Produkt	Termin	
Unkraut	2,65 kg Round Up Turbo		17.08.12
Unkraut	4,0 l Calzor trio	28.08.12	28.08.12
Schnecken	7,0 kg Metarex	31.08.12	31.08.12
Unkraut Schädlinge	2,5 l Focus Ultra + 75 ml Karate Zeon	17.10.12	17.10.12
Schädlinge	75 ml Karate Zeon	16.04.13	16.04.13
Blütenbehandlung wegen Starkregen im Mai entfallen			

Tab. 80: Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2011 am Standort Braunschweig

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WR)
Zielorganismus	Produkt	Termin
Unkraut	4,5 l Stomp	21.03.11
Unkraut	1,5 l Basagran	11.04.11
Blattläuse	75 ml Karate Zeon	11.05.11
Krankheiten Blattläuse	1,0 l Folicur + 50 ml Karate Zeon + 200 g Pirimor	30.05.11
Sikkation	3,0 l Reglone	02.08.11

Tab. 81: Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2012 am Standort Braunschweig

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)
Zielorganismus	Produkt	Termin
Unkraut	4,4 l Stomp	26.03.12
Krankheiten Blattläuse	0,6 l Folicur + 75 ml Karate Zeon + 300 g Pirimor	04.06.12
Sikkation	4,0 l Round Up Turbo	27.07.12

Tab. 82: Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)
Zielorganismus	Produkt	Termin
Unkraut Ausfallgetreide	2,2 l Stomp Aqua + 2,5 l Boxer	18.04.13
Blattläuse	75 ml Karate Zeon + 300 g Pirimor	24.06.13
Sikkation	3,0 l Round Up Power Flex	30.07.13

Tab. 83: Ertrag und Qualität von Winterweizen in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterweizen				
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht	Ernte- jahr	(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
Kornertrag 14% TM [dt/ha]	2011	*	99,6	94,4	76,7	88,1
	2012	86,1	94,2	89,2	87,8	88,3
	2013	94,0	101,6	104,4	102,1	92,3
Strohertrag TM [dt/ha]	2011	*	57,0	52,5	51,3	50,7
	2012	65,4	77,2	77,5	72,7	78,5
	2013	72,5	75,2	69,0	70,2	65,8
Korn-/Stroh- verhältnis	2011	*	0,7	0,6	0,8	0,7
	2012	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
	2013	0,8	0,9	0,7	0,7	0,7
Protein im Korn [% in TM] ¹⁾	2011	*	10,9	9,8	9,8	9,4
	2012	11,3	12,3	11,9	11,8	11,6
	2013	13,4	11,1	13,9	11,6	11,5
Stärke im Korn [%] ¹⁾	2011	*	72,15	79,33	71,46	75,22
	2012	71,5	70,1	69,9	69,7	69,9
	2013	67,3	69,6	67,7	69,3	69,1
N im Stroh [%] ²⁾	2011	*	0,40	0,36	0,38	0,41
	2012	0,66	0,75	0,84	0,79	0,66
	2013	0,60	0,42	0,56	0,46	0,39
C im Stroh [%] ²⁾	2011	*	46,6	46,7	46,5	46,7
	2012	45,2	44,6	44,2	44,6	44,4
	2013	47,2	47,8	46,8	46,7	47,4
S im Stroh [%] ²⁾	2011	*	0,07	0,07	0,07	0,07
	2012	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05
	2013	0,17	0,12	0,23	0,14	0,11
HLG	2011	*	82,4	80,9	80,4	79,4
	2012	72,5	74,4	72,5	72,5	73,2
	2013	77,4	77,0	77,5	76,9	75,9
TKM	2011	*	43,2	43,2	43,1	43,0
	2012	44,0	45,0	44,0	43,8	43,9
	2013	38,0	38,3	39,5	39,4	39,5

* im Versuchsjahr 2011 Wintergerste statt Winterweizen

1) Säureaufschluss

2) CNS-Analyzer

Tab. 84: Ertrag und Qualität von Wintergerste in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte- jahr	(WW)	(WW)	(AB)
Kornertrag 14% TM [dt/ha]	2011	88,0	79,9	80,4
	2012	--	79,7	79,9
	2013	--	100,0	100,9
Strohertrag TM [dt/ha]	2011	28,8 ¹⁾	25,7 ¹⁾	29,3 ¹⁾
	2012	--	50,0	51,9
	2013	--	56,4	58,7
Korn-/Stroh- verhältnis	2011	0,4 ¹⁾	0,4 ¹⁾	0,4 ¹⁾
	2012	--	0,7	0,8
	2013	--	0,7	0,7
Protein im Korn [%]	2011	11,0	8,9	9,9
	2012	--	11,2	11,8
	2013	--	12,1	12,0
Stärke im Korn [%]	2011	59,3	61,3	58,1
	2012	--	59,5	58,9
	2013	--	58,0	58,7
N im Stroh [%]	2011	0,61	0,59	0,64
	2012	--	0,61	0,74
	2013	--	0,52	0,48
C im Stroh [%]	2011	46,0	46,0	46,3
	2012	--	43,9	44,3
	2013	--	46,2	45,9
S im Stroh [%]	2011	0,08	0,09	0,09
	2012	--	0,07	0,06
	2013	--	0,16	0,15
HLG	2011	58,8	58,9	58,7
	2012	--	64,8	63,8
	2013	--	69,4	69,7
TKM	2011	57,6	53,2	54,0
	2012	--	38,9	38,9
	2013	--	45,3	49,1

1) Strohertrag 2011 bestimmt durch Aufsammeln des Strohs hinter dem MD

-- im Marktfruchtbetrieb seit 2012 keine WG mehr angebaut

Tab. 85: Ertrag und Qualität von Grünroggen und Roggen-GPS in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	Ro-GPS ¹⁾
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
Trockenmasse [dt/ha]	2011	/	/	/	139,5
	2012	62,4	64,0	63,4	162,8
	2013	12,5	7,8	11,3	111,7
% TS	2011	/	/	/	42,9
	2012	17,4	17,5	17,1	32,1
	2013	15,1	14,5	14,3	38,6
Asche [%]	2011	/	/	/	--
	2012	8,4	8,4	9,0	5,5
	2013	--	--	--	7,8
N [% in TM] NPK Analyse	2011	/	/	/	0,83
	2012	2,38	2,19	2,47	--
	2013	4,10	4,43	4,43	0,86
P [kg/dt TM] NPK Analyse	2011	/	/	/	0,2
	2012	0,40	0,41	0,44	--
	2013	0,61	0,60	0,53	0,2
K [kg/dt TM] NPK Analyse	2011	/	/	/	1,1
	2012	3,2	3,2	3,5	--
	2013	4,6	4,8	4,6	1,4
Rohprotein [%]	2011	/	/	/	5,2
	2012	14,9	13,7	15,4	--
	2013	25,6	32,8	27,7	5,4
Stärke [%]	2011	/	/	/	29,4
	2012	0	0	0	--
	2013	0	0	0	0

/ 2010 kein Grünroggen ausgesät

1) 2011: Triticale

2) 2013 GR sikkert, Probenahme vor Sikkation in Bereichen mit dichtem Bestand, n=4

-- im Labor nicht bestimmt

Tab. 86: Ertrag und Qualität von Silomais in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb	
Kultur		SM	SM	SM
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WG)	(WW)	(WG)
Trockenmasse [dt/ha]	2011	181,9	180,1	177,9
	2012	155,8	143,0	138,5
	2013	66,4	104,1	109,4
% TS	2011	36,4	36,1	35,8
	2012	32,0	33,8	33,5
	2013	33,5	34,2	35,1
N [% in TM] NPK Analyse	2011	1,26	1,23	1,26
	2012	1,28	0,97	1,12
	2013	1,00	0,98	0,97
P [kg/dt TM] NPK Analyse	2011	0,19	0,24	0,20
	2012	0,20	0,21	0,21
	2013	0,27	0,23	0,23
K [kg/dt TM] NPK Analyse	2011	1,08	1,07	1,14
	2012	1,35	1,31	1,24
	2013	1,32	1,22	1,27
Rohprotein [%] NPK	2011	7,9	7,9	7,7
	2012	8,0	6,0	7,0
	2013	6,3	6,1	6,1
Stärke [%] NPK	2011	38,5	38,3	37,3
	2012	28,4	28,0	29,2
	2013	32,9	33,7	32,8

Tab. 87: Ertrag und Qualität von Winterraps in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WW)	(Ro-GPS)
Kornertrag 9 % TM [dt/ha]	2011	39,3	47,2
	2012	37,0	37,3
	2013	41,0	41,7
Biomasseertrag TM [dt/ha]	2011	66,5 ¹⁾	67,9 ¹⁾
	2012	107,4 ²⁾	105,5 ²⁾
	2013	74,1 ²⁾	79,7 ²⁾
Rohfett im Korn [%] NIRS	2011	46,9	47,4
	2012	48,2	48,6
	2013	46,0	45,3
Rohprotein im Korn [%] NPK	2011	22,5	22,0
	2012	17,7	17,0
	2013	21,5	22,2
N im Stroh [%] ³⁾	2011	1,12	1,23
	2012	0,54	0,69
	2013	0,87	0,69
C im Stroh [%] ³⁾	2011	46,5	47,3
	2012	46,5	46,4
	2013	46,3	47,2
S im Stroh [%] ³⁾	2011	0,62	0,63
	2012	0,26	0,34
	2013	0,61	0,78
TKM	2011	5,2	5,0
	2012	4,9	4,9
	2013	4,7	4,8

1) 2011 Biomasseertrag zum Zeitpunkt der Rapsernte

2) 2012 / 2013 Biomasseertrag zum Zeitpunkt der maximalen Biomassebildung

3) CNS-Analyzer

Tab. 88: Ertrag und Qualität von Ackerbohne in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Braunschweig

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WW)
Kornertrag 14 % TM [dt/ha]	2011	65,1
	2012	70,4
	2013	37,9
Biomasseertrag TM [dt/ha]	2011	35,7
	2012	111,5
	2013	37,1
Rohprotein im Korn [%] NPK Analyse	2011	32,1
	2012	32,9
	2013	29,43
Stärke [%] NPK	2011	43,3
	2012	40,6
	2013	44,9
N im Stroh [%]	2011	1,28
	2012	1,20
	2013	1,03
C im Stroh [%]	2011	53
	2012	45
	2013	46
S im Stroh [%]	2011	0,10
	2012	0,05
	2013	0,09
TKM	2011	343
	2012	452
	2013	520

Tab. 89: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Winterweizen in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Winterweizen				
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht	Ernte- jahr	(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
Aussaat	2011	*	14.10.2010	14.10.2010	14.10.2010	14.10.2010
	2012	16.10.2011	16.10.2011	16.10.2011	16.10.2011	16.10.2011
	2013	16.10.2012	16.10.2012	16.10.2012	16.10.2012	16.10.2012
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011	*	270	270	270	270
	2012	270	270	270	270	270
	2013	250	250	250	270	270
Bestandes- dichte VE [Pfl./m ²]	2011	*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	2012	251	236	254	231	235
	2013	213	218	195	170	193
Bestandes- dichte VB [Pfl./m ²]	2011	*	--	--	--	--
	2012	239	228	231	228	226
	2013	167	157	146	112	149
Kultur- deckungsgrad VE [%]	2011	*	--	--	--	--
	2012	8	9	10	9	6
	2013	11	11	6	7	10
Kultur- deckungsgrad VB [%]	2011	*	--	--	--	--
	2012	32	32	29	30	39
	2013	32	32	28	24	29
Bestandeshöhe [cm]	2011	*	--	--	--	--
	2012	56	53	55	41	47
	2013	64	68	72	85	93
ährentragende Halme [Ähren/m ²]	2011	*	506	452	508	530
	2012	580	584	580	563	611
	2013	494	554	556	558	618
Ernte	2011	11.07.2011	11.08.2011	11.08.2011	11.08.2011	11.08.2011
	2012	10.08.2012	10.08.2012	10.08.2012	10.08.2012	10.08.2012
	2013	15.08.2013	15.08.2013	15.08.2013	15.08.2013	15.08.2013

* Wintergerste statt Winterweizen ausgesät → siehe Tabelle „Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte WG“
n.b. nicht bestimmt, verzögerter Projektbeginn.
-- 2011 nicht im Messprogramm

Tab. 90: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Wintergerste in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte- jahr	(WW)	(WW)	(AB)
Aussaat	2011	07.10.2010	07.10.2010	07.10.2010
	2012	--	04.10.2011	30.09.2011
	2013	--	01.10.2012	01.10.2012
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011	270	250	250
	2012	--	250	250
	2013	--	280	280
Bestandes- dichte VE [Pfl./m ²]	2011	n.b.	n.b.	n.b.
	2012	--	244	223
	2013	--	250	245
Bestandes- dichte VB [Pfl./m ²]	2011	--	--	--
	2012	--	207	218
	2013	--	156	198
Kultur- deckungsgrad VE [%]	2011	--	--	--
	2012	--	38	39
	2013	--	13	12
Kultur- deckungsgrad VB [%]	2011	--	--	--
	2012	--	65	57
	2013	--	56	54
Bestandeshöhe [cm]	2011	--	--	--
	2012	--	129	139
	2013	--	77	107
ährentragende Halme [Ähren/m ²]	2011	444	451	363
	2012	--	484	556
	2013	--	488	632
Ernte	2011	11.07.2011	11.07.2011	11.07.2011
	2012	--	24.07.2012	24.07.2012
	2013	--	23.07.2013	23.07.2013

Anbau der WG nur im Erntejahr 2011 im Marktfruchtbetrieb.

Tab. 91: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Grünroggen und Roggen-GPS in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	Ro-GPS
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
Aussaat	2011	--	--	--	14.10.2010 Triticale
	2012	17.10.2011	17.10.2011	17.10.2011	17.10.2011
	2013	01.10.2012	01.10.2012	26.10.2012 (NS)	01.10.2012
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011	--	--	--	280
	2012	230	230	230	230
	2013	230	230	230	230
Bestandes- dichte VE [Pfl./m ²]	2011	--	--	--	n.b.
	2012	201	199	224	203
	2013	204	151	Nachsaat 101	178
Bestandes- dichte VB [Pfl./m ²]	2011	--	--	--	n.b.
	2012	200	195	205	210
	2013	224	182	203	146
Kultur- deckungsgrad VE [%]	2011	--	--	--	n.b.
	2012	58	54	56	39
	2013	9	10	Nachsaat 4	12
Kultur- deckungsgrad VB [%]	2011	--	--	--	n.b.
	2012	84	83	86	81
	2013	Später VB	BBCH 32/33	22.04.13 sikkiert	58
Bestandeshöhe [cm]	2011	--	--	--	n.b.
	2012	116	111	130	159
	2013	Später VB	BBCH 32/33	22.04.13 sikkiert	163
ährentragende Halme [Ähren/m ²]	2011	--	--	--	518
	2012	566	458	481	673
	2013	Später VB	BBCH 32/33	22.04.13 sikkiert	623
Ernte	2011	--	--	--	30.06.2011
	2012	04.05.2012	04.05.2012	04.05.2012	21.06.2012
	2013	Später VB	BBCH 32/33	22.04.13 sikkiert	09.07.2013

Tab. 92: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Silomais in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb	
Kultur		SM	SM	SM
Vorfrucht	Erntejahr	[WG(ZF-GR)]	[WW(ZF-GR)]	[WG(ZF-GR)]
Aussaat	2011	16.04.2011	16.04.2011	16.04.2011
	2012	09.05.2012	09.05.2012	09.05.2012
	2013	25.04.2013	25.04.2013	25.04.2013
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011	9,5	9,5	9,5
	2012	9,5	9,5	9,5
	2013	9,5	9,5	9,5
Bestandesdichte [Pfl./m ²]	2011	8,8	8,7	8,4
	2012	9,6	7,5	8,5
	2013	9,4	9,1	8,8
Kulturdeckungsgrad [%]	2011	--	--	--
	2012	91	86	72
	2013	92	65	77
Bestandeshöhe [cm]	2011	--	--	--
	2012	3,06	2,46	2,09
	2013	2,92	2,22	2,77
Ernte	2011	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011
	2012	28.09.2012	28.09.2012	28.09.2012
	2013	27.09.2013	27.09.2013	27.09.2013

Tab. 93: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Winterraps in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WW)	[Ro-GPS(ZF-Beta-maxx)] 2012 [Ro-Gps(ZF-N-fixx)] 2013
Aussaat	2011	Nicht etabliert	Verspäteter Projektstart
	2012	01.09.2011	26.08.2011
	2013	31.08.2012	31.08.2012
Aussaatstärke [Körner/m ²]	2011	--	--
	2012	35	45
	2013	38	42
Bestandes- dichte VE [Pfl./m ²]	2011	--	--
	2012	21	41
	2013	34	36
Wurzelhals- durchmesser VE[mm]	2011	--	--
	2012	0,59	0,88
	2013	0,74	0,72
Länge der Sprossachse [mm]	2011	--	--
	2012	0,72	1,56
	2013	0,69	0,76
Biomasse VE FM [g/m ²]	2011	--	--
	2012	573,2	1571,4
	2013	719,3	1099,9
Biomasse VB FM [g/m ²]	2011	--	--
	2012	387,8	424,8
	2013	870,6	1020,9
Bestandes- dichte VB [Pfl./m ²]	2011	--	--
	2012	22	33
	2013	36,5	41,15
Kultur- deckungsgrad VE [%]	2011	--	--
	2012	36	90
	2013	29	39
Kultur- deckungsgrad VB [%]	2011	--	--
	2012	50	77
	2013	33	61
Bestandeshö- he [cm]	2011	--	--
	2012	126,7	134,3
	2013	152,4	169,9
Ernte	2011	--	--
	2012	27.06.2012	27.06.2012
	2013	05.08.2013	05.08.2013

Tab. 94: Aussaat, Bestandesentwicklung und Ernte von Ackerbohne in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WW)
Aussaat	2011	10.02.2011
	2012	06.03.2012
	2013	20.02.2013
Aussaatstärke [Körner/m²]	2011	30
	2012	35
	2013	40
Bestandes- dichte [Pfl./m²]	2011	--
	2012	31,6
	2013	40,1
Kultur- deckungsgrad [%]	2011	--
	2012	69
	2013	88
Bestandeshö- he [cm]	2011	84,6
	2012	144,1
	2013	138,2
Ernte	2011	18.08.2011
	2012	03.09.2012
	2013	29.08.2013

Tab. 95: Düngung, N_{min} und Nitratgehalt im Winterweizen im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest

Kultur		Winterweizen				
Fruchtfolge		Marktfrochtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabe- trieb	
Vorfrucht		(ZR)	(ZR)	(WW)	(SM)	(Triticale)
N _{min} Herbst [kg /ha]		*	--	--	--	--
Kali AS flüss. [N kg/ha]	24.09.10	*	30	30	30	30
N _{min} Früh- jahr [kg /ha]	16.02.11	*	30-37-19= 86	17-30-30= 77	25-33-22= 80	25-35-21= 81
Gärrest [N kg/ha]		*	0	0	0	0
AHL + ATS [N kg/ha]	09.03.11	*	90	90	90	90
Harnstoff [N kg/ha]	11.04.11	*	7	7	7	7
Harnstoff [N kg/ha]	28.04.11	*	7	7	7	7
Harnstoff [N kg/ha]	29.04.11	*	40	40	40	40
Nitratgehalt [ppm Nit- rat]			Nicht durchgeführt			

* Wintergerste statt Winterweizen ausgesät

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

-- 2011 nicht im Messprogramm

Tab. 96: Düngung, N_{min} und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest

Kultur		Winterweizen				
Fruchtfolge		Marktfrochtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabe- trieb	
Vorfrucht		(WG)	(AB)	(SM)	(SM)	(AB)
N _{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2011	7-15-6= 28	35-52-62= 149	29-85-69= 183	12-24-29= 61	14-18-38= 70
N _{min} Früh- jahr [kg /ha]	24.02.12	19-32-42= 93	18-30-44= 92	15-17-51= 83	22-41-28= 91	24-31-29= 55
Gärrest [N kg/ha]	09.03.12	0	0	85	123	95
AHL TM [N kg/ha]	15.08.11	5,4				
AHL + ATS [N kg/ha]	06.03.12	60				
AHL + ATS [N kg/ha]	14.03.12		80			
Harnstoff [N kg/ha]	23.03.12	95				
Harnstoff [N kg/m ²]	26.03.12		80			
Harnstoff [N kg/ha]	04.04.12			66	66	66
Nitrachek [ppm Nit- rat]	23.04.12	1830	3130	2670	3410	3640

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 97: Düngung, N_{min} und Nitrachek im Winterweizen im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest

Kultur		Winterweizen				
Fruchtfolge		Marktf Fruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabe- trieb	
Vorfrucht		(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
N _{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2012	23-21-7= 51	48-44-40= 132	7-6-24= 37	39-7-<2= 47	53-30-7= 90
N _{min} Früh- jahr [kg /ha]	24.02.13	13-14-23= 50	17-21-37= 75	15-12-20= 47	17-22-19= 58	14-26-26= 66
Gärrest [N kg/ha]	14.02.13	0	0	70	127	93
AHL + ATS [N kg/ha]	06.03.13	85	85			
Harnstoff [N kg/ha]	16.04.13					55
AHL TM [N kg/ha]	25.04.13	10	10	10	10	10
Harnstoff [N kg/ha]	29.04.13	45	80	80	56	
AHL TM [N kg/ha]	09.05.13	7,2	7,2		7,2	7
Nitrachek [ppm Nit- rat]	30.04.13	1811	2018	1937	1802	2243
	06.05.13	2711	3656	2342	2457	3188
	14.05.13	1102	2038	1433	1109	2711
	21.05.13	1145	1756	1958	1827	2011
	29.05.13	1654	2112	2124	2256	3521
	05.06.13	1343	2121	1514	1617	2488

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 98: Düngung, N_{min} und Nitratek in Wintergerste im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrochtbetrieb	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(ZR)	(WW)	(Triticale)
N _{min} Herbst [kg /ha]		--	--	--
N _{min} Frühjahr [kg /ha]	16.02.11	26-39-34= 99	10-20-24= 54	12-14-16= 42
Kali AS flüss. [N kg/ha]	24.09.10	30	30	30
Gärrest [N kg/ha]				
AHL + ATS [N kg/ha]	17.02.13	90	90	90
Harnstoff [N kg/ha]	11.04.13	7	7	7
AHL TM [N kg/ha]	21.04.13	7	7	7
Harnstoff [N kg/ha]	29.04.13		45	45
Nitratek [ppm Nitrat]		Nicht durchgeführt.		

N_{min} gemessen in 0- 30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

-- 2011 nicht im Messprogramm

Tab. 99: Düngung, N_{min} und Nitrachek in Wintergerste im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrochtbetrieb 3)	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klima- betrieb
Vorfrucht		(WW)	(WW)	(AB)
N _{min} Herbst [kg /ha]			19-39-18= 76	12-38-43= 93
N _{min} Früh- jahr [kg /ha]	24.02.12		11-13-19= 43	20-12-13= 45
Gärrest [N kg/ha]	09.03.12		85	63
AHL TM [N kg/ha]	16.09.11			5
Harnstoff [N kg/ha]	04.04.12		66	66
Nitrachek [ppm Nit- rat]	03.04.12		1590	1870
	23.04.12		1700	2130

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

3) In der FF des Marktfrochtbetriebes keine WG etabliert.

Tab. 100: Düngung, N_{min} und Nitratgehalt in Wintergerste im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb 3)	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klima- betrieb
Vorfrucht		(WW)	(WW)	(AB)
N _{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2012		15-25-5= 45	43-9-33= 85
N _{min} Früh- jahr [kg /ha]	24.02.13		11-8-19= 38	14-17-32= 63
Gärrest [N kg/ha]	14.02.13		70	62
Harnstoff [N kg/ha]	29.04.13		84	56
Nitratgehalt [ppm Nit- rat]	30.04.13		641	821
	06.05.13		884	1102
	14.05.13		1451	2819
	21.05.13		1244	1451
	29.05.13		1102	2612
	05.06.13		257	1122

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

3) In der FF des Marktfruchtbetriebes keine WG etabliert.

Tab. 101: Düngung, N_{min} und Nitrachek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	Triticale
Vorfrucht	Datum	(WW)	(WW)	(WW)	(WR)
N _{min} Herbst [kg /ha]					--
N _{min} Frühjahr [kg /ha]					18-25-15= 58
Kali AS flüss. [N kg/ha]	24.09.10				30
AHL + ATS [N kg/ha]	17.02.11				90
AHL [N kg/ha]	11.04.11				57
AHL TM [N kg/ha]	28.04.11				7
Nitrachek [ppm Nit- rat]					
		Nicht	durchge-	führt.	

2010-2011 kein Anbau des GR

-- 2011 nicht im Messprogramm

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 102: Düngung, N_{min} und Nitrachek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	WiRo-GPS
Vorfrucht	Datum	(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
N _{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2011	17-41-24= 82	8-24-29= 61	13-33-39= 85	9-16-45= 70
N _{min} Frühjahr [kg /ha]	24.02.12	7-6-24= 37	8-7-8= 24	10-8-11= 29	16-23-18= 57
Gärrest [N kg/ha]	09.03.12	77	63	63	95
Novatec-clas [N kg/ha]	17.10.11				30
Novatec-clas [N kg/ha]	15.08.11			30	
AHL TM [N kg/ha]	15.08.11	5,4		5,4	
AHL TM [N kg/ha]	16.09.11		5		
Nitrachek [ppm Nitrat]	03.04.12				2070
	23.04.12				310

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 103: Düngung, N_{min} und Nitrachek in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	WiRo-GPS
Vorfrucht	Datum	(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
N _{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2012	11-13-19= 43	36-25-7= 66	38-11-<2= 51	29-8-<2= 38
N _{min} Frühjahr [kg /ha]	18.02.13	14-12-24= 50		14-18-26= 58	12-10-10= 32
Gärrest [N kg/ha]	14.02.13	62	62	62	93
Harnstoff [N kg/ha]	03.05.13				28
Nitrachek [ppm Nitrat]	30.04.13				713
	06.05.13				929
	14.05.13				2423
	21.05.13				1102
	29.05.13				515
	05.06.13				189?

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 104: Düngung, N_{min} und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WW)	(WW)	(WW)
N _{min} Herbst [kg /ha]		--	--	--
N _{min} Frühjahr [kg /ha]	16.02.11	17-22-26= 65	17-20-19= 56	12-18-19= 49
Gärrest [N kg/ha]	07.04.11	110	110	110
Kali AS flüs. [N kg/ha]	24.09.10	30	30	30
DAP UFD [N kg/ha]	16.04.11	36	36	36
AHL + ATS [N kg/ha]	29.04.11	100	0	0
Nitrachek [ppm Nitrat]				
		Nicht	durchge-	führt.

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 105: Düngung, N_{min} und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		[WG(ZF-GR)]	[WW(ZF-GR)]	[WG(ZF-GR)]
N _{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2011	17-41-24= 82	13-33-39= 85	8-24-29= 61
N _{min} Früh-jahr [kg /ha]	24.02.12	7-6-24= 37	10-8-11= 29	8-7-9= 24
Gärrest [N kg/ha]	09.05.12	112	112	112
DAP UFD ⁴⁾ [N kg/ha]	09.05.12	36	50	50
Nitrachek [ppm Nitrat]				
		Nicht	durchge-	führt.

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 106: Düngung, N_{min} und Nitrachek in Silomais im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		[WG(ZF-GR)]	[WW(ZF-GR)]	[WG(ZF-GR)]
N _{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2012	38-11-<2= 51	36-25-7= 68	38-11-<2= 51
N _{min} Frühjahr [kg /ha]	18.02.13	14-12-24= 50	10-11-21= 42	14-18-26= 58
Gärrest [N kg/ha]	14.02.13	62 – Gabe zu GR	62 – Gabe zu GR	62 – Gabe zu GR
DAP UFD ⁵⁾ [N kg/ha]	25.04.13	36	36	36
Nitrachek [ppm Nitrat]				
	18.06.13	1433	1901	911
	25.06.13	2117	2011	1633
	02.07.13	2999	2188	2257
	09.07.13	3011	3233	3822

GR wurde am 22.04.2013 sikkiert. Aus der Biomasse wurde CNS in % bestimmt.
N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 107: Düngung, N_{min} in Winterraps im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht			
N _{min} Herbst [kg /ha]		--	--
N _{min} Früh-jahr [kg /ha]		Wurde im Anbaujahr 2010/2011 am Standort Soest, wegen Terminierung des Projektbeginns, nicht etabliert.	
Gärrest [N kg/ha]			
Gärrest [N kg/ha]			
KAS [N kg/ha]			
Gärrest [N kg/ha]			
NPK [N kg/ha]			
SSA [N kg/ha]			
Gärrest [N kg/ha]			
Harnstoff [N kg/ha]			
SSA [N kg/m ²]			

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 108: Düngung, N_{min} in Winterraps im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(Triticale-GPS)
N _{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2011	7-15-6= 28	2-5-4= 11
N _{min} Früh- jahr [kg /ha]	24.02.12	14-8-8= 30	11-4-2= 17
Gärrest [N kg/ha]	09.03.12	0	95
AHL TM [N kg/ha]	10.08.11		4
Novatec clas [N kg/ha]	26.08.11		30
AHL [N kg/ha]	22.03.12		85
AHL + ATS [N kg/ha]	05.03.12	90	
AHL + ATS [N kg/ha]	22.03.12	85	

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 109: Düngung, N_{min} in Winterraps im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(WiRo-GPS)
N _{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2012	3-3-<2= 8	15-17-4= 36
N _{min} Früh- jahr [kg /ha]	18.02.13	9-6-3= 18	16-9-6= 31
Gärrest [N kg/ha]	13.02.13	0	93
AHL + ATS [N kg/ha]	06.03.13	111	0
AHL [N kg/ha]	19.03.13	111	0
AHL + ATS [N kg/ha]	19.03.13	0	120
AHL TM [N kg/ha]	11.05.13	7,2	7

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 110: Düngung, N_{min} in Ackerbohne im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)
N_{min} Herbst [kg /ha]		--
N_{min} Früh-jahr [kg /ha]	16.02.11	23-31-20= 74

Tab. 111: Düngung, N_{min} in Ackerbohne im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)
N_{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2011	2-2-2= 6
N_{min} Früh-jahr [kg /ha]	24.02.12	13-6-2= 21
Gärrest [N kg/ha]		0

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 112: Düngung, N_{min} in Ackerbohne im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)
N_{min} Herbst [kg /ha]	Nov. 2012	8-8-3= 19
N_{min} Früh- jahr [kg /ha]	18.02.13	13-6-2= 21
Gärrest [N kg/ha]		0

N_{min} gemessen in 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm = Summe über 90cm

Tab. 113: Ertrag und Qualität von Winterweizen in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Winterweizen				
Fruchtfolge		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht	Ernte- jahr	(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
Kornertrag TM [dt/ha] (14%)	2011	*	104,6	77,8	98,2	101,7
	2012	102,8	107,3	107,8	110,3	112,4
	2013	112,38	117,71	109,99	105,79	114,17
Strohertrag TM [dt/ha]	2011	*	71,2	74,2	78,8	72,6
	2012	88,3	91,7	82,4	79,3	86,0
	2013	107,0	118,2	90,4	100,2	104,7
Korn-/Stroh- verhältnis	2011	*	0,8	1,2	0,9	0,8
	2012	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9
	2013	1,1	1,1	0,9	1,0	1,0
Protein im Korn [% in TM]	2011	*	12,57	14,87	12,14	11,52
	2012	12,38	13,44	13,06	12,97	13,04
	2013	13,65	13,84	12,76	13,48	12,79
Stärke im Korn [%] ¹⁾	2011	*	70,76	68,78	68,33	70,55
	2012	70,79	69,55	70,52	69,60	69,59
	2013	69,15	70,30	70,07	70,14	70,26
N im Stroh [%]	2011	*	0,66	0,64	0,65	0,63
	2012	0,62	0,67	0,62	0,58	0,65
	2013	0,72	0,71	0,61	0,66	0,76
C im Stroh [%]	2011	*	46,91	46,59	46,57	46,62
	2012	42,51	42,86	42,95	42,58	42,86
	2013	45,71	44,88	45,08	44,74	44,45
S im Stroh [%]	2011	*	0,09	0,11	0,08	0,08
	2012	0,08	0,09	0,07	0,07	0,07
	2013	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
N – Ernterück. [kg/ha]	2011	*	46,85	47,35	50,86	46,06
	2012	54,87	61,49	51,39	46,02	56,19
	2013	76,52	83,89	55,43	66,56	79,11
HLG	2011	*	75,6	76,3	74,6	74,4
	2012	75,8	78,3	78,7	80,7	81,1
	2013	77,86	78,6	78,47	77,96	77,4
TKM	2011	*	50,7	53,9	50,1	50,5
	2012	50,3	52,1	51,1	54,6	56,4
	2013	44,7	46,8	47,8	46,3	48,5

* Wintergerste statt Winterweizen

¹⁾ Säureaufschluss

Tab. 114: Ertrag und Qualität von Wintergerste in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte- jahr	(WW)	(WW)	(AB)
Kornertrag TM [dt/ha] (14%)	2011	103,0	81,4	85,8
	2012	--	84,3	103,2
	2013	--	102,9	108,5
Strohertrag TM [dt/ha]	2011	76,2	59,1	57,2
	2012	--	87,8	110,7
	2013	--	79,9	88,4
Korn-/Stroh- verhältnis	2011	0,9	0,8	0,8
	2012	--	1,2	1,2
	2013	--	0,9	1,0
Protein im Korn [%]	2011	11,39	11,31	11,17
	2012	--	10,98	12,22
	2013	--	10,84	11,56
Stärke im Korn [%]	2011	63,62	59,5	59,32
	2012	--	64,11	61,81
	2013	--	61,37	60,05
N im Stroh [%]	2011	0,62	0,67	0,62
	2012	--	0,60	0,79
	2013	--	0,52	0,59
C im Stroh [%]	2011	46,03	46,84	46,04
	2012	--	42,45	42,77
	2013	--	44,42	43,38
S im Stroh [%]	2011	0,17	0,08	0,09
	2012	--	0,07	0,18
	2013	--	0,08	0,07
N – Ernterück. [kg/ha]	2011	47,01	39,52	35,46
	2012	--	52,93	87,99
	2013	--	41,36	51,90
HLG	2011	67,6	67,6	68,6
	2012	--	68,1	71,8
	2013	--	68,6	69,4
TKM	2011	49,6	48,0	51,4
	2012	--	50,2	56,3
	2013	--	48,8	55,7

-- im Marktfruchtbetrieb seit 2012 keine WG mehr angebaut

Tab. 115: Ertrag und Qualität von Grünroggen und Roggen-GPS in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	WiRo-GPS ¹⁾
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WG)	(WG)	(WW)	(SM)
Trockenmasse [dt/ha]	2011	/	/	/	161,3
	2012	75,8	80,7	89,0	145,7
	2013	----	----	----	185,5
% TS	2011	/	/	/	36,6
	2012	15,3	16,8	16,4	27,4
	2013	----	----	----	34
Asche [%]	2011	/	/	/	4,54
	2012	7,3	7,3	8,1	5,95
	2013	----	----	----	5,05
N [% in TM] NPK Analyse	2011	/	/	/	0,98
	2012	1,78	1,65	1,77	0,93
	2013	----	----	----	0,99
P [kg/dt TM] NPK Analyse	2011	/	/	/	0,18
	2012	0,37	0,34	0,35	0,20
	2013	----	----	----	0,22
K [kg/dt TM] NPK Analyse	2011	/	/	/	1,25
	2012	2,97	2,80	3,01	1,53
	2013	----	----	----	1,39
Rohprotein [%]	2011	/	/	/	6,12
	2012	11,10	10,30	11,08	5,83
	2013	----	----	----	6,19
Stärke [%]	2011	/	/	/	26,56
	2012	0	0	0	0
	2013	----	----	----	18,18

/ 2010 kein Grünroggen ausgesät.

1) 2011: Triticale

--- 2013 GR sikkert

Tab. 116: Ertrag und Qualität von Silomais in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WG)	(WG)	(WW)
Trockenmasse [dt/ha]	2011	224,1	222,7	216,1
	2012	253,5	138,4	161,4
	2013	239,3	193,1	175,7
% TS	2011	35,8	36,7	36,2
	2012	33,2	31,4	32,4
	2013	36,8	36,7	34,6
Asche [%]	2011	--	--	--
	2012	4,2	4,2	3,7
	2013			
N [% in TM] NPK Analyse	2011	--	--	--
	2012	1,19	1,05	1,03
	2013	1,18	1,30	1,19
P [kg/dt TM] NPK Analyse	2011	--	--	--
	2012	0,20	0,20	0,19
	2013			
K [kg/dt TM] NPK Analyse	2011	--	--	--
	2012	1,04	1,09	0,95
	2013			
Rohprotein [%] NPK	2011	--	--	--
	2012	7,44	6,57	6,42
	2013	7,37	8,16	7,43
Stärke [%] NPK	2011	--	--	--
	2012	*70,13	*60,62	*66,70
	2013	31,11	37,94	36,50

2011-2012 wurde auf allen 3 Parzellen GR als Zwischenfrucht ausgesät.

2013 wurde im viehhaltenden Betrieb (WG) und im Klimabetrieb (WW) der GR etabliert. Auf der WG Fläche im Klimabetrieb wurde ein Gemenge aus SG und Lippstädter Trio (DWG) als ZF ausgesät.

-- Proben sind in 2011 stark verschimmelt und können nicht untersucht werden.

* 2012 wurde Stärke mit NIRS gemessen

Tab. 117: Ertrag und Qualität von Winterraps in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfrochtbetrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte-jahr	(WW)	(WiRo-GPS)
Kornertrag TM [dt/ha] (9%)	2011	--	--
	2012	36,4	41,6
	2013	43,16	47,41
Biomasseertrag ¹⁾ TM [dt/ha]	2011	--	--
	2012	122,49	145,29
	2013	83,3	99,97
Rohfett im Korn [%] NIRS	2011	--	--
	2012	48,54	51,35
	2013		
Rohprotein im Korn [%] NPK	2011	--	--
	2012	22,39	19,75
	2013	22,92	21,54
N im Stroh [%]	2011	--	--
	2012	1,08	0,81
	2013	1,41	1,23
C im Stroh [%]	2011	--	--
	2012	40,85	41,57
	2013	44,39	43,95
S im Stroh [%]	2011	--	--
	2012	0,68	0,57
	2013	0,68	0,63
N – Ernterück. [kg/ha]	2011	--	--
	2012	96,89	84,04
	2013	62,61	65,82
TKM	2011	--	--
	2012	5,7	6,5
	2013	5,6	5,7

2011 wurde wegen verspätetem Projektbeginn kein WR etabliert.

1) 2012 / 2013 Biomasseertrag zum Zeitpunkt der maximalen Biomassebildung

Tab. 118: Ertrag und Qualität von Ackerbohne in den Versuchsjahren 2011, 2012 und 2013 am Standort Soest

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht	Ernte- jahr	(WW)
Kornertrag TM [dt/ha] (14%)	2011	36,3
	2012	75,1
	2013	57,96
Biomasseer- trag TM [dt/ha]	2011	n.b.
	2012	108,7
	2013	87,92
Rohprotein im Korn [%] NPK	2011	34,67
	2012	33,65
	2013	31,11
Stärke [%] NPK	2011	39,87
	2012	41,74
	2013	42,76
N im Stroh [%]	2011	1,89
	2012	1,08
	2013	1,64
C im Stroh [%]	2011	47,01
	2012	43,3
	2013	45,20
S im Stroh [%]	2011	0,09
	2012	0,07
	2013	0,07
N – Ernterück. [kg/ha]	2011	39,42
	2012	46,83
	2013	57,20
TKM	2011	603,7
	2012	588,6
	2013	506,2

Tab. 119: Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2010-2011 am Standort Soest

Kultur		Winterweizen				
		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabe- trieb	
Vorfrucht		(ZR)	(ZR)	(WW)	(SM)	(Triticale)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin				
Unkräuter	Glyphosat					
Unkräuter Ungräser	2,0 l Boxer 0,4 l Herold		27.10.10	27.10.10	27.10.10	27.10.10
Unkräuter Halmfestiger	1,0 l CCC 1,5 l Ariane	*	11.04.11	11.04.11	11.04.11	11.04.11
Halmfestiger Mehltau	0,25 l CC 0,5 l Gladio 6,5 l Combi Top	*	28.04.11	28.04.11	28.04.11	28.04.11
Rost, DTR	0,4 l Champion 0,4 l Diamant	*	18.05.11	18.05.11	18.05.11	18.05.11
Krankheiten Fusarien Läuse	1,25 l Amistar Opti 1,25 l Osiris 0,1 l Pirimor 0,075 l Karate Zeon	*	09.06.11	09.06.11	09.06.11	09.06.11

* Wintergerste statt Winterweizen ausgesät

Tab. 120: Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2011-2012 am Standort Soest

Kultur		Winterweizen				
		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabe- trieb	
Vorfrucht		(WG)	(AB)	(SM)	(SM)	(AB)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin				
Unkräuter Aus- fallbohnen	1,5 Clinic 1,3 Roundup ultra		28.09.11			28.09.11
Unkräuter Ungräser	2,0 Boxer 0,4 Herold	04.11.11	04.11.11	04.11.11	04.11.11	
Quecke, Distel	3,0 Clinic	15.08.11				
Wachstumsreg.	0,8 CC 10,0 Micro Top	03.04.12		03.04.12		
Unkräuter Ackerfuchs.	0,15 Zoom 0,04 Oratio 0,8 CCC 10,3 Micro Top		20.04.12			
Standfestigkeit Unkräuter	0,8 CCC 0,075 Primus 1,0 Duplosan KV				20.04.12	
Standfestigkeit Krankheiten	0,4 CCC 0,2 Moddus 0,35 Gladio 4,0 Combi Top	08.05.12	08.05.12	08.05.12	08.05.12	08.05.12
	0,4 Tomigan				08.05.12	
	0,15 Medax Top 0,15 Turbo 0,4 Champion	21.05.12	21.05.12	21.05.12	21.05.12	21.05.12
	0,4 Diamant 4,0 Combi Top	21.05.12	21.05.12	21.05.12	21.05.12	21.05.12
	0,075 Karate Zeon				21.05.12	
Disteln	1,5 U46	30.05.12				
Krankheiten Getreidehähn. Läuse	1,0 Skyway xpro 0,1 Fastac 0,1 Teppeki	10.06.12	10.06.12	10.06.12	09.06.12	09.06.12

Tab. 121: Pflanzenschutz im Winterweizen im Versuchsjahr 2012-2013 am Standort Soest

Kultur		Winterweizen				
		Marktfruchtbetrieb		Vieh- haltender Betrieb	Optimierter Klimabe- trieb	
Fruchtfolge		(WW)	(WR)	(SM)	(SM)	(WR)
Vorfrucht						
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin				
Ausfallraps Disteln	3,5 Glyphosat Bio		20.08.12			20.08.12
Ausfallraps	1,0 Glyphosat Bio 0,5 Roundup turbo					17.09.13
Unkräuter Ungräser	0,5 Herold	31.10.12	31.10.12	31.10.12		
Mischverun- krautung	0,15 Zoom 0,05 Oratio 0,5 Starane XL				24.04.13	
Wachstums- regler	1,0 CCC 6,8 Combitop	25.04.13	25.04.13	25.04.13	25.04.13	25.04.13
Unkräuter	1,5 Ariane C	02.05.13	02.05.13	02.05.13		
Unkräuter	0,1 Primus					02.05.13
WR, DTR, Sept., Mehltau	0,4 CCC 0,2 Moddus 0,8 Capalo 1,0 Cirkon 0,15 Vegas 7,8 Bittersalz	09.05.13	09.05.13		09.05.13	09.05.13
WR, DTR, Sept.	0,2 Medax Top 0,2 Turbo 6,2 Bittersalz 0,5 Aviator xpro 0,5 Fandango	04.06.13	04.06.13	04.06.13	04.06.13	04.06.13
Fusarium Rost	2,25 Osiris 6,5 Bittersalz	26.06.13	26.06.13	26.06.13	26.06.13	26.06.13

Tab. 122: Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2010-2011 am Standort Soest

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Kli- mabetrieb
Vorfrucht		(ZR)	(WW)	(Triticale)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin		
Unkräuter Ungräser	0,5l Herold 0,2 l Cadou	18.10.2010	18.10.2010	18.10.2010
Mehltau Halmfestiger	0,5 l Agent 0,2 l Moddus 8,5 l Combi Top	11.04.2011	11.04.2011	11.04.2011
Mehltau Halmfestiger	0,6 l Input 0,2 l Xpro 5,1 l Moddus 1,0 l Combi Top	21.04.2011	21.04.2011	21.04.2011
Spuren- elemente	Lebosol Mangan	21.04.2011	21.04.2011	21.04.2011
Ramularia Abreife	0,5 l Aviator Xpro 0,5 l Fandango	09.05.2011	09.05.2011	09.05.2011

Tab. 123: Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2011-2012 am Standort Soest

Kultur		Wintergerste		
		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Kli- mabetrieb
Fruchtfolge		(WW)	(WW)	(AB)
Vorfrucht				
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin		
Ausfallgetreide	1,5 Clinic	/		16.09.2011
Unkräuter	1,2 Roundup			
Unkräuter	2,0 Boxer		14.10.2011	14.10.2011
Ungräser	0,4 Herold			
Breitblättrige	0,15 Zoom			28.03.2012
Unkräuter	0,04 Oratio			
Halmfestiger Netz- und Blattflecken	0,45 Moddus 0,5 Input classic		20.04.2012	20.04.2012
	0,5 Aviator Xpro 0,5 Fandango 0,15 Camposan		11.05.2012	04.05.2012

In der FF des Marktfruchtbetriebes wird die WG nicht mehr etabliert.

Tab. 124: Pflanzenschutz in Wintergerste im Versuchsjahr 2012-2013 am Standort Soest

Kultur		Wintergerste		
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	Viehhaltender Betrieb	Optimierter Kli- mabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(WW)	(AB)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin		
Ausfallgetreide	0,5 Herold	/	18.10.2012	
Blattläuse	0,75 Karate Zeon		19.10.2012	19.10.2012
Mischver- unkrautung	0,15 Zoom 0,05 Oratio 0,5 Starane XL			24.04.2013
Halmfestiger Krankheiten	0,5 Moddus 15,0 Combi Top 0,6 Input classic		02.05.2013	02.05.2013
Einkürzen Krankheiten	0,6 Adexer 0,4 Aviator Xpro 0,18 Camposan		14.05.2013	14.05.2013

In der FF des Marktfruchtbetriebes wird die WG nicht mehr etabliert

Tab. 125: Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2010-2011 am Standort Soest

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Vieh- haltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	Triticale
Vorfrucht					(SM)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin			
Unkräuter	2,0 Boxer 0,4 Herold				27.10.2010
Halmfestiger Unkräuter	1,0 CCC 1,5 Ariane C				11.04.2011
Halmfestiger Mehltau	0,25 CCC 0,5 Gladio 6,5 Combi Top				28.04.2011
DTR Rost	0,4 Champion 0,4 Diamant				18.05.2011
Getreide Hähnchen	0,1 Fastac SC				23.05.2011

Im ersten Versuchsjahr ist kein GR in der FF etabliert.

Tab. 126: Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2011-2012 am Standort Soest

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Vieh- haltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	WiRo-GPS
Vorfrucht		(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin			
Quecke Distel	3,0 Clinic	15.08.2011		15.08.2011	
Ausfallgetreide Unkräuter	1,5 Clinic 1,2 Roundup		16.09.2011		
Ausfallgetreide Unkräuter	1,5 Clinic 1,2 Roundup		19.09.2011		
Unkräuter Ungräser	2,0 Boxer 0,4 Herold	04.11.2011			
Breitblättrige Unkräuter	0,15 Zoom 0,04 Oratio				28.03.2012
Wachstums- regler	1,0 CCC 0,2 Moddus	03.04.2012	03.04.2012	03.04.2012	03.04.2012

Tab. 127: Pflanzenschutz in Grünroggen und Roggen-GPS im Versuchsjahr 2012-2013 am Standort Soest

Kultur		Grünroggen und Roggen-GPS			
Fruchtfolge		Vieh- haltender Betrieb	optimierter Klimabetrieb		
Kultur		GR	GR	GR	WiRo-GPS
Vorfrucht		(WG)	(WW)	(WG)	(SM)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin			
Ausfallgerste	1,5 Glyphosat Bio 0,8 Roundup Turbo	17.09.2012	17.09.2012	17.09.2012	
Sikkation GR	1,6 Roundup Turbo	22.04.2013	22.04.2013	22.04.2013	
Mischverun- krautung	0,15 Zoom 0,05 Oratio 0,5 Starane XL				24.04.2013
Wachstums- regler	0,6 CCC 0,15 Moddus				26.04.2013
Einkürzen Rost Mehltau	0,6 CCC 0,15 Moddus 0,5 Acanto 1,0 Osiris				02.05.2013
Braunrost Mehltau	1,5 Adexer				24.05.2013

Tab. 128: Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WW)	(WG)	(WW)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin		
Altverunkrau- tung Gräser	0,65 Roundup Ultra		07.04.2011	07.04.2011
Knöterich Gänsefuß	0,8 Certrol B		10.05.2011	10.05.2011
Unkräuter Ungräser	0,2 Arrat 1,0 Dash 0,75 Click 0,7 Kelvin	19.05.2011	19.05.2011	19.05.2011

Tab. 129: Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WG)	(WG)	(WW)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin		
Mischverunkrautung (Hirse)	1,75 Laudis 2,0 Successor 0,5 TBA 0,2 Caracho	14.05.2012		
Unkräuter Ungräser	0,16 Arrat 0,75 Dash 0,75 Samson SC	15.06.2012	15.06.2012	15.06.2012

Tab. 130: Pflanzenschutz in Silomais im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest

Kultur		Silomais		
Fruchtfolge		Viehhaltender Betrieb	Optimierter Klimabetrieb	
Vorfrucht		(WG)	(WG)	(WW)
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin		
Sikkation GR	1,6 Roundup turbo	22.04.2013	22.04.2013	22.04.2013
Mischverunkrautung	1,98 Laudis 2,0 Successor 0,5 Terbuthylazin 0,2 Caracho	28.05.2013		
Mischverunkrautung	0,2 Arrat 1,0 Dash 1,0 Samson		04.06.2013	04.06.2013

Tab. 131: Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2011-2012 am Standort Soest

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(WiRo)
Zielorganismus	Produkt Menge /ha	Termin	
Altunkraut Distel	1,65 Clinic		10.08.2011
Unkräuter Ungräser	3,5 Colzor Trio	01.09.2011	26.08.2011
Winterfestig- keit Phoma	0,75 Folicur 1,5 Focus Ultra 1,5 Dash EC		29.09.2011
Unkräuter	1,0 Lebosol Bor		29.09.2011
Winterfestigk. Phoma	0,75 Folicur 1,0 Lebosol Bor	13.10.2011	
Rapsglanz- Käfer Stängelrüssl.	0,2 Trebon 0,8 Lebosol Bor	21.03.2012	21.03.2012
Rapsglanz- Käfer WR	0,6 Tilmor 0,15 Plenum 0,75 Lebosol Bor 11,5 Micro Top	03.04.2012	03.04.2012
Sklerotinia Rüssler	0,5 Cantus Gold 5,9 Micro Top 0,1 Fastac	03.05.2012	03.05.2012

Tab. 132: Pflanzenschutz in Winterraps im Versuchsjahr 2012-2013 am Standort Soest

Kultur		Winterraps	
Fruchtfolge		Marktfrucht- betrieb	optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW)	(WIRO[ZF-Beta maxx])
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin	
Altverunkraut.	5,0 Glyphosat Bio		09.08.2012
Unkräuter	2,0 Butisan Gold	12.09.2012	12.09.2012
Ausfallgetreide	0,6 Carax 0,8 Agil	01.10.2012	01.10.2012
Wachstums- regler Phoma Glanzkäfer	0,45 Carax 0,2 Trebon 6,68 Microtop 0,5 Lebosol Bor	17.04.2013	17.04.2013
Phoma Sklerotinia	0,5 Cantus Gold 8,5 Microtop	11.05.2013	11.05.2013

Tab. 133: Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2011 am Standort Soest

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(SM)
Zielorganismus	Produkt Menge /ha	Termin
Ackerfuchs. Unkräuter	5,0 Boxer	15.02.2011
Blattrandkäfer	0,075 Karate Zeon 7,3 Epsa Top (Mg + S)	20.04.2011
Spurenelemen. Blattrandkäfer	6,0 Epsa Top 0,15 Trafo WG	06.05.2011
Läuse Braunrost Schwefel- mangel	0,3 Pirimor 0,5 Amistar 0,3l Folicur 7,33 Epsa Top	09.06.2011
Sikkation	3,0 Clinic	28.07.2011

Tab. 134: Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2012 am Standort Soest

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW[Untersaat DWG])
Zielorganismus	Produkt Menge /ha	Termin
Sikkation DWG	2,5 Roundup	24.11.2011
Unkräuter Blattrandkäfer	1,0 Basagran 0,075 Karate Zeon 4,5 Epsa Top	08.05.2012
Unkräuter Blattrandkäfer	0,94 Basagran 0,075 Karate Zeon 4,5 Epsa Top	14.05.2012
	1,0 Agil	21.05.2012
Rost Schwarze Bohnenlaus	0,75 Folicur 0,3 Pirimor	05.07.2012
Sikkation	3,5 Glyphosat Bio	20.08.2012

Tab. 135: Pflanzenschutz in Ackerbohne im Versuchsjahr 2013 am Standort Soest

Kultur		Ackerbohne
Fruchtfolge		optimierter Klimabetrieb
Vorfrucht		(WW[Untersaat DWG])
Zielorganismus	Produkt Menge/ha	Termin
Altverunkraut.	2,70 Roundup Turbo	20.12.2012
breitblättrige Unkräuter Ungräser	1,65 Roundup Turbo	07.04.2013
Unkräuter Blattrandkäfer	1,0 Basagran 0,08 Karate Zeon	09.05.2013
Unkräuter	0,75 Basagran	15.05.2013
Rost Schokoflecken	0,8 Folicur	04.07.13
Sikkation	3,0 Reglone	20.08.13

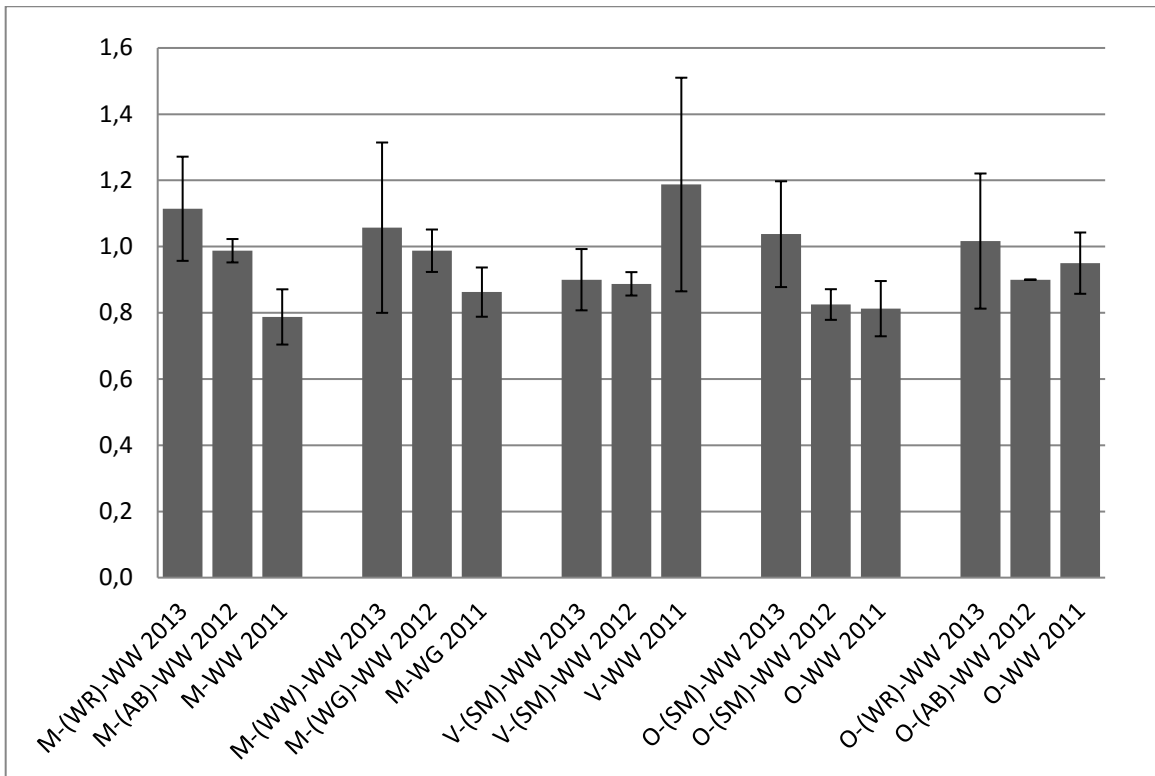


Abb. 121: Korn-Stroh-Verhältnis Winterweizen der Erntejahre 2011 bis 2013 am Standort Soest (Korn=1) inklusive Standardabweichung (n=8) [Im Betrieb M wurde 2011 im Fruchtfolgeglied M-(WR)-WG Wintergerste angebaut]

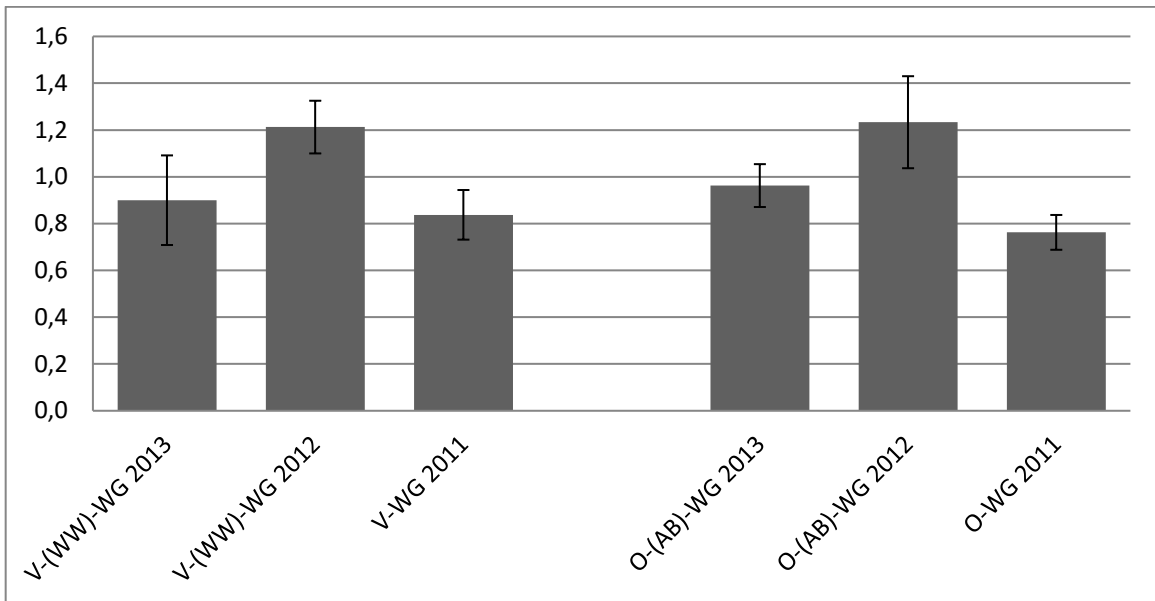


Abb. 122: Korn-Stroh-Verhältnis Wintergerste der Erntejahre 2011 bis 2013 am Standort Soest (Korn=1) inklusive Standardabweichung (n=8)

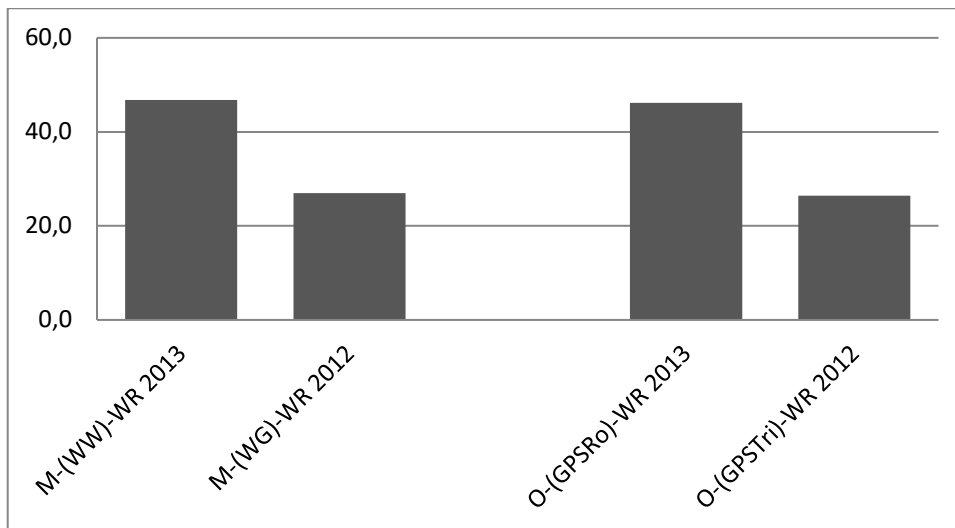


Abb. 123: Harvest-Index (%) Winterraps der Erntejahre 2012 und 2013 am Standort Soest [im Erntejahr 2011 wurde kein Raps angebaut]

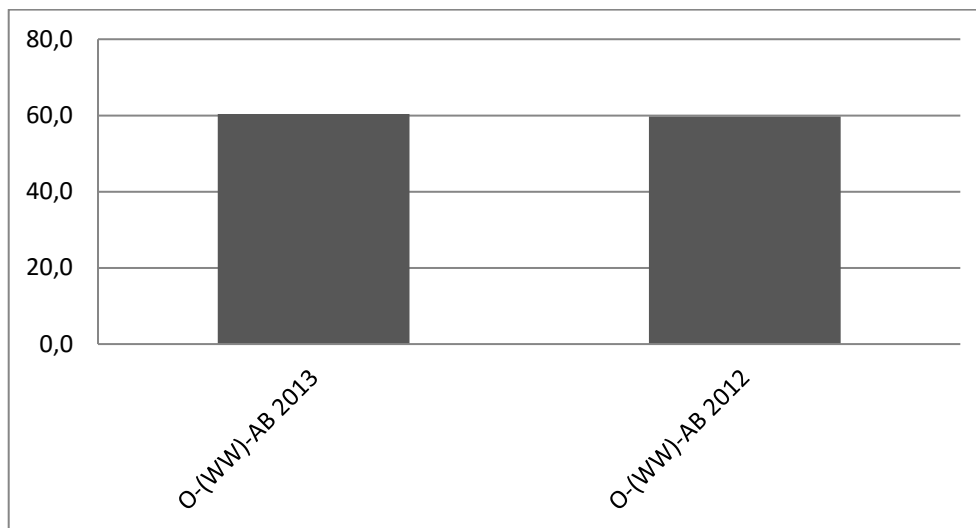


Abb. 124: Harvest-Index (%) Ackerbohne der Erntejahre 2012 bis 2013 (Korn=1) [im Erntejahr 2011 erfolgte die Probenahme zur Bestimmung des Harvest-Index zu spät]

Tab. 136: Übersicht aller Ergebnisse zur Ökobilanzierung der Fruchtfolgen am Standort Soest und Braunschweig, Erntejahr 2012

Wirkungskategorie je ha und Jahr	Soest			Braunschweig		
	M	V	O	M	V	O
Treibhauspotential, kg CO ₂ -Äq.	3448	3320	3358	3145	4037	3283
Energiebedarf, GJ	24,1	19,4	18,2	25,8	26,1	20,2
Ozonbildungspotential, Tausend m ² .ppm.h	18,8	18,5	15,4	19,3	21,3	15,4
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m ²	2029	4194	3851	2695	6281	4898
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	49,5	69,7	68,0	41,8	68,1	55,5
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg P	1,54	1,01	1,13	1,51	1,01	1,13
Versauerungspotential, m ²	575	1038	962	729	1526	1202
Terrestrische Ökotoxizität, TEP	10,8	25,0	15,8	19,7	26,3	20,9
Aquatische Ökotoxizität, AEP	121	278	114	133	168	159
Humantoxizität	1004	920	801	1016	936	714
je Getreideeinheit (GE)						
Treibhauspotential, kg CO ₂ -Äq.	39,0	20,1	26,4	40,1	33,0	29,3
Energiebedarf, MJ	272,5	117,6	143,0	328,3	212,9	180,6
Ozonbildungspotential, m ² .ppm.h	212,0	112,3	121,5	245,4	173,4	137,2
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m ²	22,9	25,4	30,3	34,3	51,3	43,7
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	0,56	0,42	0,53	0,53	0,56	0,50
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg P	0,017	0,006	0,009	0,019	0,008	0,010
Versauerungspotential, m ²	6,5	6,3	7,6	9,3	12,5	10,7
Terrestrische Ökotoxizität, TEP	0,10	0,19	0,13	0,21	0,25	0,20
Aquatische Ökotoxizität, AEP	1,2	2,1	0,9	1,4	1,6	1,5
Humantoxizität	9,6	6,8	6,7	10,7	9,0	6,8

Tab. 137: Übersicht aller Ergebnisse der Ökobilanzierung der Fruchtfolgen am Standort Soest und Braunschweig, Erntejahr 2013

Wirkungskategorie je ha und Jahr	Soest			Braunschweig		
	M	V	O	M	V	O
Treibhauspotential, kg CO ₂ -Äq.	3641	2976	3166	3654	3272	2664
Energiebedarf, GJ	24,6	19,3	17,8	27,5	21,6	18,0
Ozonbildungspotential, Tausend m ² .ppm.h	19,0	16,9	14,9	22,3	20,1	14,4
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m ²	2257	3184	3052	1557	4335	3398
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	44,5	49,4	53,7	31,5	46,2	34,8
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg P	1,55	0,98	0,97	1,51	0,97	1,14
Versauerungspotential, m ²	628	804	772	479	1075	855
Terrestrische Ökotoxizität, TEP	11,1	9,0	4,7	9,9	11,8	8,8
Aquatische Ökotoxizität, AEP	165	225	66	136	270	210
Humantoxizität	79	142	31	55	156	120
je Getreideeinheit (GE)						
Treibhauspotential, kg CO ₂ -Äq.	35,8	20,3	26,1	42,8	36,5	30,7
Energiebedarf, MJ	241,9	131,2	146,3	321,6	241,6	207,9
Ozonbildungspotential, m ² .ppm.h	187,0	115,1	122,8	260,7	224,0	166,1
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m ²	22,2	21,7	25,1	18,2	48,4	39,2
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	0,44	0,33	0,44	0,37	0,52	0,40
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg P	0,015	0,007	0,008	0,018	0,011	0,013
Versauerungspotential, m ²	6,2	5,5	6,4	5,6	12,0	9,9
Terrestrische Ökotoxizität, TEP	0,11	0,06	0,04	0,12	0,13	0,10
Aquatische Ökotoxizität, AEP	1,6	1,5	0,5	1,6	3,0	2,4
Humantoxizität	0,8	1,0	0,3	0,6	1,7	1,4

Tab. 138: Ergebnis der Abschätzung auf die Wirkungskategorie „Bodenqualität“ für das Erntejahr 2012

Indikator	Soest			Braunschweig		
	M	V	O	M	V	O
Pflanzennutzbare Gründigkeit	0	0	0	0	0	0
Grobporenvolumen	+	++	+	+	++	+
Aggregatstabilität	+	+	+	-	-	-
C _{org} -Gehalt	0	0	0	--	--	--
Schwermetallgehalt	0	0	0	0	0	0
Organische Schadstoffe	0	0	0	0	0	0
Regenwurmbiomasse	-	0	++	-	0	++
Mikrobielle Biomasse	0	0	0	-	-	-
Mikrobielle Aktivität	0	0	0	-	-	-

Tab. 139: Referenzszenario, Ernte- & Ökobilanzdaten 2012

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO ₂ -eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO ₂ -eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO ₂ -eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	105.219 €	690.352	526 €	3.452	3.896
		Braunschweig	82.003 €	629.693	410 €	3.148	4.008
	Viehhaltend	Soest	98.295 €	1.681.228	491 €	8.406	3.602
		Braunschweig	38.007 €	1.712.491	190 €	8.562	4.480
	Klima-optimiert	Soest	65.000 €	1.633.536	325 €	8.168	4.182
		Braunschweig	43.801 €	1.587.919	219 €	7.940	4.267
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	230.765 €	690.352	1.154 €	3.452	3.896
		Braunschweig	194.283 €	629.693	971 €	3.148	4.008
	Viehhaltend	Soest	255.018 €	1.777.669	1.275 €	8.888	3.808
		Braunschweig	164.950 €	1.739.692	825 €	8.698	4.551
	Klima-optimiert	Soest	197.917 €	1.676.950	990 €	8.385	4.293
		Braunschweig	164.197 €	1.647.380	821 €	8.237	4.427

Tab. 140: Referenzszenario, Erntedaten standardisiert, Ökobilanz 2012

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO ₂ -eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO ₂ -eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO ₂ -eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	87.294 €	690.352	436 €	3.452	4.329
		Braunschweig	70.887 €	629.693	354 €	3.148	4.325
	Viehhaltend	Soest	58.324 €	1.663.252	292 €	8.316	3.998
		Braunschweig	26.495 €	1.697.855	132 €	8.489	4.535
	Klima-optimiert	Soest	47.822 €	1.591.644	239 €	7.958	4.182
		Braunschweig	26.806 €	1.564.476	134 €	7.822	4.446
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	201.733 €	690.352	1.009 €	3.452	4.329
		Braunschweig	176.079 €	629.693	880 €	3.148	4.325
	Viehhaltend	Soest	194.734 €	1.731.357	974 €	8.657	4.162
		Braunschweig	146.302 €	1.734.466	732 €	8.672	4.632
	Klima-optimiert	Soest	169.278 €	1.649.768	846 €	8.249	4.335
		Braunschweig	137.468 €	1.597.241	687 €	7.986	4.539

Tab. 141: Referenzszenario, Ernte- & Ökobilanzdaten 2013

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO ₂ -eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO ₂ -eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO ₂ -eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	142.103 €	729.006	711 €	3.645	3.578
		Braunschweig	101.908 €	731.522	510 €	3.658	4.275
	Viehhaltend	Soest	94.296 €	1.821.373	471 €	9.107	4.235
		Braunschweig	-79.918 €	1.519.774	-400 €	7.599	4.816
	Klima-optimiert	Soest	71.371 €	1.743.445	357 €	8.717	4.598
		Braunschweig	-30.380 €	1.506.069	-152 €	7.530	4.864
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	286.643 €	729.006	1.433 €	3.645	3.578
		Braunschweig	224.310 €	731.522	1.122 €	3.658	4.275
	Viehhaltend	Soest	251.255 €	1.847.912	1.256 €	9.240	4.297
		Braunschweig	60.881 €	1.519.774	304 €	7.599	4.816
	Klima-optimiert	Soest	206.020 €	1.759.712	1.030 €	8.799	4.640
		Braunschweig	86.977 €	1.506.069	435 €	7.530	4.864

Tab. 142: MinMax-Szenario, Ernte- & Ökobilanzdaten 2012

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO2-eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO2-eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO2-eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	107.169 €	687.654	536 €	3.438	3.667
		Braunschweig	88.393 €	657.528	442 €	3.288	5.520
	Viehhaltend	Soest	133.130 €	1.591.279	666 €	7.956	3.288
		Braunschweig	56.018 €	1.638.835	280 €	8.194	4.437
	Klima-optimiert	Soest	87.709 €	1.783.059	439 €	8.915	4.202
		Braunschweig	74.882 €	1.651.979	374 €	8.260	4.575
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	237.754 €	687.654	1.189 €	3.438	3.667
		Braunschweig	196.064 €	624.126	980 €	3.121	3.789
	Viehhaltend	Soest	288.754 €	1.751.415	1.444 €	8.757	3.619
		Braunschweig	177.494 €	1.688.222	887 €	8.441	4.688
	Klima-optimiert	Soest	247.623 €	1.775.321	1.238 €	8.877	4.082
		Braunschweig	196.859 €	1.671.098	984 €	8.355	4.429

Tab. 143: MinMax-Szenario, Erntedaten standardisiert, Ökobilanz 2012

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO2-eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO2-eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO2-eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	100.872 €	703.839	504 €	3.519	5.640
		Braunschweig	94.621 €	657.528	473 €	3.288	5.498
	Viehhaltend	Soest	81.246 €	1.573.303	406 €	7.867	3.778
		Braunschweig	49.443 €	1.585.267	247 €	7.926	4.232
	Klima-optimiert	Soest	73.956 €	1.585.679	370 €	7.928	4.224
		Braunschweig	52.603 €	1.610.257	263 €	8.051	4.713
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	202.446 €	698.702	1.012 €	3.494	5.063
		Braunschweig	192.603 €	657.528	963 €	3.288	5.498
	Viehhaltend	Soest	211.032 €	1.697.988	1.055 €	8.490	4.077
		Braunschweig	163.628 €	1.684.544	818 €	8.423	4.600
	Klima-optimiert	Soest	191.670 €	1.767.158	958 €	8.836	4.565
		Braunschweig	161.804 €	1.653.644	809 €	8.268	4.993

Tab. 144: MinMax-Szenario, Ernte- und Ökobilanzdaten 2013

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO2-eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO2-eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO2-eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	144.131 €	717.625	721 €	3.588	3.333
		Braunschweig	109.690 €	838.129	548 €	4.191	6.410
	Viehhaltend	Soest	132.460 €	1.627.083	662 €	8.135	3.448
		Braunschweig	-44.472 €	1.392.126	-222 €	6.961	4.577
	Klima-optimiert	Soest	108.805 €	1.754.917	544 €	8.775	4.742
		Braunschweig	27.681 €	1.565.995	138 €	7.830	5.037
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	294.202 €	717.625	1.471 €	3.588	3.333
		Braunschweig	225.929 €	710.201	1.130 €	3.551	3.963
	Viehhaltend	Soest	290.043 €	1.719.790	1.450 €	8.599	3.741
		Braunschweig	107.498 €	1.401.250	537 €	7.006	4.183
	Klima-optimiert	Soest	248.803 €	1.743.138	1.244 €	8.716	4.470
		Braunschweig	127.764 €	1.470.448	639 €	7.352	4.543

Tab. 145: MinMax_Mastl_BG200-Szenario, Ernte 2012

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO2-eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO2-eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO2-eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	107.169 €	687.654	536 €	3.438	3.667
		Braunschweig	88.393 €	657.528	442 €	3.288	5.520
	Viehhaltend	Soest	150.412 €	2.473.557	752 €	12.368	3.820
		Braunschweig	73.301 €	2.476.794	367 €	12.384	4.648
	Klima-optimiert	Soest	106.753 €	2.654.872	534 €	13.274	4.579
		Braunschweig	88.304 €	2.466.460	442 €	12.332	4.572
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	237.754 €	687.654	1.189 €	3.438	3.667
		Braunschweig	196.064 €	624.126	980 €	3.121	3.789
	Viehhaltend	Soest	365.793 €	2.643.571	1.829 €	13.218	4.083
		Braunschweig	254.905 €	2.544.723	1.275 €	12.724	4.892
	Klima-optimiert	Soest	326.804 €	2.653.968	1.634 €	13.270	4.442
		Braunschweig	273.312 €	2.542.061	1.367 €	12.710	4.703

Tab. 146: MinMax_Mastl_BG200-Szenario, Erntedaten standardisiert, Ökobilanz 2012

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO2-eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO2-eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO2-eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	100.872 €	703.839	504 €	3.519	5.640
		Braunschweig	94.621 €	657.528	473 €	3.288	5.498
	Viehhaltend	Soest	98.480 €	2.432.829	492 €	12.164	4.195
		Braunschweig	66.211 €	2.405.584	331 €	12.028	4.488
	Klima-optimiert	Soest	85.717 €	2.532.875	429 €	12.664	4.935
		Braunschweig	61.200 €	2.601.601	306 €	13.008	5.297
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	202.446 €	698.702	1.012 €	3.494	5.063
		Braunschweig	192.603 €	657.528	963 €	3.288	5.498
	Viehhaltend	Soest	287.955 €	2.571.006	1.440 €	12.855	4.446
		Braunschweig	240.626 €	2.520.996	1.203 €	12.605	4.759
	Klima-optimiert	Soest	268.730 €	2.600.414	1.344 €	13.002	4.787
		Braunschweig	232.083 €	2.468.518	1.160 €	12.343	4.920

Tab. 147: MinMax_Mastl_BG200-Szenario, Ernte- und Ökobilanzdaten 2013

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO2-eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO2-eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO2-eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	144.131 €	717.625	721 €	3.588	3.333
		Braunschweig	109.690 €	838.129	548 €	4.191	6.410
	Viehhaltend	Soest	149.742 €	2.513.327	749 €	12.567	3.955
		Braunschweig	-14.702 €	2.303.456	-74 €	11.517	4.925
	Klima-optimiert	Soest	126.789 €	2.632.868	634 €	13.164	4.957
		Braunschweig	43.978 €	2.473.812	220 €	12.369	5.084
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	294.202 €	717.625	1.471 €	3.588	3.333
		Braunschweig	225.929 €	710.201	1.130 €	3.551	3.963
	Viehhaltend	Soest	367.082 €	2.611.595	1.835 €	13.058	4.190
		Braunschweig	194.551 €	2.312.579	973 €	11.563	4.639
	Klima-optimiert	Soest	328.095 €	2.619.069	1.640 €	13.095	4.765
		Braunschweig	209.402 €	2.372.065	1.047 €	11.860	4.864

Tab. 148: MinMax_Mastl_BG400-Szenario, Ernte- & Ökobilanzdaten 2012

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO2-eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO2-eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO2-eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	107.169 €	687.654	536 €	3.438	3.667
		Braunschweig	88.393 €	657.528	442 €	3.288	5.520
	Viehhaltend	Soest	98.414 €	3.061.677	492 €	15.308	4.728
		Braunschweig	-43.368 €	2.848.969	-217 €	14.245	4.850
	Klima-optimiert	Soest	13.065 €	3.036.563	65 €	15.183	4.929
		Braunschweig	8.020 €	3.042.708	40 €	15.214	5.391
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	237.754 €	687.654	1.189 €	3.438	3.667
		Braunschweig	196.064 €	624.126	980 €	3.121	3.789
	Viehhaltend	Soest	278.610 €	3.091.219	1.393 €	15.456	4.774
		Braunschweig	119.162 €	2.848.969	596 €	14.245	4.850
	Klima-optimiert	Soest	167.713 €	3.036.563	839 €	15.183	4.922
		Braunschweig	154.501 €	3.042.708	773 €	15.214	5.034

Tab. 149: MinMax_Mastl_BG400-Szenario, Erntedaten standardisiert, Ökobilanz 2012

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO2-eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO2-eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO2-eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	100.872 €	703.839	504 €	3.519	5.640
		Braunschweig	94.621 €	657.528	473 €	3.288	5.498
	Viehhaltend	Soest	35.252 €	3.020.949	176 €	15.105	4.877
		Braunschweig	-40.216 €	2.860.183	-201 €	14.301	4.886
	Klima-optimiert	Soest	23.157 €	3.036.563	116 €	15.183	5.145
		Braunschweig	-17.518 €	3.042.708	-88 €	15.214	5.393
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	202.446 €	698.702	1.012 €	3.494	5.063
		Braunschweig	192.603 €	657.528	963 €	3.288	5.498
	Viehhaltend	Soest	197.595 €	3.020.949	988 €	15.105	4.877
		Braunschweig	115.270 €	2.860.183	576 €	14.301	4.886
	Klima-optimiert	Soest	174.860 €	3.036.563	874 €	15.183	4.922
		Braunschweig	115.068 €	3.042.708	575 €	15.214	5.202

Tab. 150: MinMax_Mastl_BG400-Szenario, Ernte- und Ökobilanzdaten 2013

Preisniveau	Modellbetrieb	Standort	Gewinnbeitrag	THG-Potential [kg CO2-eq]	Gewinnbeitrag pro ha	THG-Potential pro ha [kg CO2-eq]	THG-Potential pro Getreideeinheit [kg CO2-eq/GE]
Tiefpreis	Marktfrucht	Soest	144.131 €	717.625	721 €	3.588	3.333
		Braunschweig	109.690 €	838.129	548 €	4.191	6.410
	Viehhaltend	Soest	97.744 €	3.101.447	489 €	15.507	4.881
		Braunschweig	-213.081 €	2.303.456	-1.065 €	11.517	4.925
	Klima-optimiert	Soest	41.865 €	3.069.547	209 €	15.348	5.252
		Braunschweig	-139.282 €	2.656.661	-696 €	13.283	5.476
Hochpreis	Marktfrucht	Soest	294.202 €	717.625	1.471 €	3.588	3.333
		Braunschweig	225.929 €	710.201	1.130 €	3.551	3.963
	Viehhaltend	Soest	279.003 €	3.107.872	1.395 €	15.539	4.908
		Braunschweig	-3.828 €	2.312.579	-19 €	11.563	4.639
	Klima-optimiert	Soest	190.138 €	3.069.547	951 €	15.348	5.252
		Braunschweig	11.024 €	2.372.065	55 €	11.860	4.864