



Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt

Vergleich von Fruchtfolge-
und Bodenbearbeitungssystemen
im schleswig-holsteinischen Ackerbau
auf dem Versuchsstandort
Osternfeld der FH Kiel

**gefördert durch die
„Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft“
1996-2002**

Prof. Dr. Klaus Schlüter, Fachbereich Landbau, Fachhochschule Kiel
Am Kamp 11, 24783 Osterrönfeld

Tel.: (04331) 845-125; Fax: (04331) 845-141; E-Mail: klaus.schlueter@fh-kiel.de

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	11
2	GRUNDLAGEN DES VERSUCHES	12
2.1	Boden	12
2.2	Mikroklima	13
2.2.1	Lufttemperaturen und Niederschläge von 1994-2001	13
2.3	Fruchtfolgen und Bodenbearbeitung	17
2.4	Die Versuchsanlage	18
2.4.1	Aufbau der Teilstücke	18
2.4.2	Untergliederung der Teilstücke	18
2.5	Sortenwahl	20
2.6	Grundlagen der Bestandesführung	20
2.6.1	Pflanzenschutz	20
2.6.2	Stickstoffdüngung	21
3	ERGEBNISSE	21
3.1	Bodeneigenschaften	21
3.1.1	Bodendichte	21
3.1.1.1	Bodendichte im Frühjahr	22
3.1.1.2	Bodendichte im Sommer	23
3.1.1.3	Schlussfolgerungen	23
3.1.2	Bodentemperatur und Pflanzenentwicklung	24
3.1.2.1	Temperaturverlauf unter Weizen im März 1997	24
3.1.2.2	Temperaturverlauf unter Raps im März 1997	25
3.1.2.3	Temperaturverlauf unter Weizen im April/Mai 1997	26
3.1.2.4	Entwicklungsstadien des Weizens bei Pflug- und Mulchsaat	27
3.1.2.5	Bodentemperatur und BBCH-Stadien von Winterweizen	29
3.1.2.6	Temperaturverlauf unter Raps im April/Mai 1997	30
3.1.2.7	Schlussfolgerungen	30
3.2	Die Entwicklung der Erträge	31
3.2.1	Winterweizen	31
3.2.1.1	Monoweizen	31
3.2.1.2	Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste	34
3.2.1.3	Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste	36

3.2.2	Wintergerste	38
3.2.2.1	Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste.....	38
3.2.2.2	Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste	38
3.2.3	Winterraps	39
3.2.3.1	Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste.....	39
3.2.3.2	Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste	40
3.2.4	Sommerhafer.....	41
3.2.5	Futtererbsen	42
3.3	Rohproteingehalte (Weizen)	43
3.3.1	Rohprotein und Schwefel in Weizenkörnern.....	43
3.3.1.1	Rohproteingehalte.....	45
3.3.1.2	Rohproteinerträge	46
3.4	Auftreten pilzlicher Krankheitserreger	47
3.4.1	Winterweizen	47
3.4.1.1	Blattkrankheiten	47
3.4.1.1.1	DTR-Blattdürre	48
3.4.1.2	Blattseptoria	52
3.4.1.3	Ährenfusarium.....	53
3.4.1.4	Schwarzbeinigkeit.....	55
3.4.2	Wintergerste	58
3.4.2.1	Blattkrankheiten	58
3.4.3	Winterraps	60
3.4.3.1	Krankhafte Abreife	60
3.5	Verfügbarkeit des Stickstoffs im Boden.....	62
3.5.1	Weizenmonokultur.....	63
3.5.2	Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste	68
3.5.3	Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste.....	73
3.5.3.1	Wirkung der Vorfrucht Futtererbsen auf die Wintergerste	79
3.5.3.1.1	Mineralisierung im Spätsommer.....	79
3.5.3.1.2	Einfluss der Bodenbearbeitung	79
3.5.3.1.3	N-Verluste über Winter.....	80
3.5.3.1.4	N-Verfügbarkeit im Frühjahr	81
3.5.3.1.5	Standfestigkeit der Sorten.....	82
3.5.3.1.6	Ertragswirkung der Fruchtfolge	82
3.5.3.1.7	Schlussfolgerungen.....	82
3.6	Regenwurmaktivität.....	83
3.6.1	Erfassung der Regenwurmgänge	83
3.6.2	Statistische Auswertung der Ergebnisse	85
3.6.3	Schlussfolgerungen	86

3.7	Auftreten von Unkräutern und Ungräsern.....	86
3.7.1	Durchführung der Untersuchung	87
3.7.1.1	Herbizidfreie Kontrollparzellen im Winterweizen	87
3.7.1.1.1	Statistische Verrechnung	91
3.7.1.1.2	Schlussfolgerungen.....	91
3.7.1.2	Auflauf von Unkräutern und Ungräsern aus 12 cm Bodentiefe	92
3.7.1.2.1	Statistische Verrechnung	95
3.7.1.2.2	Schlussfolgerungen.....	96
3.8	Ökonomische Bewertung	96
3.8.1	Deckungsbeiträge bei Eigenmechanisierung	98
3.8.2	Deckungsbeiträge bei Fremdmechanisierung	99
3.8.3	Arbeitszeitbedarf.....	100
4	ZUSAMMENFASSUNG	101
5	MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER	104
6	FOTO-DOKUMENTATION DER PFLANZENENTWICKLUNG.....	106

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Geografische Lage des Versuchsfeldes „Lindenhof“	12
Abbildung 2: Witterungsverlauf 1993/94.....	14
Abbildung 3: Witterungsverlauf 1994/95.....	14
Abbildung 4: Witterungsverlauf 1995/96.....	14
Abbildung 5: Witterungsverlauf 1996/97.....	15
Abbildung 6: Witterungsverlauf 1997/98.....	15
Abbildung 7: Witterungsverlauf 1998/99.....	15
Abbildung 8: Witterungsverlauf 1999/2000.....	16
Abbildung 9: Witterungsverlauf 2000/2001.....	16
Abbildung 10: Lageplan des Feldversuches.....	18
Abbildung 11: Aufbau eines Versuchs-Teilstückes mit Untervarianten	19
Abbildung 12: Bodendichte am 30.03.1998 (Minimal = Mulchsaat).....	22
Abbildung 13:: Bodendichte am 01.07.1998 (Minimal = Mulchsaat).....	23
Abbildung 14: Verlauf der Bodentemperaturen unter Weizen nach Pflug- und Mulchsaat in 10 cm Bodentiefe Mitte März 1997 (Mini = Mulchsaat)	24
Abbildung 15: Verlauf der Bodentemperaturen unter Weizen nach Pflug- und Mulchsaat in 25 cm Bodentiefe Mitte März 1997 (Mini = Mulchsaat)	24
Abbildung 16: Verlauf der Bodentemperaturen unter Raps nach Pflug- und Mulchsaat in 10 cm Bodentiefe Mitte März 1997 (Mini = Mulchsaat).....	25
Abbildung 17: Verlauf der Bodentemperaturen unter Raps nach Pflug- und Mulchsaat in 25 cm Bodentiefe Mitte März 1997 (Mini = Mulchsaat).....	25
Abbildung 18: Verlauf der Bodentemperaturen unter Weizen nach Pflug- und Mulchsaat in 10 cm Bodentiefe April/Mai 1997 (Mini = Mulchsaat)	26
Abbildung 19: Verlauf der Bodentemperaturen unter Weizen nach Pflug- und Mulchsaat in 25 cm Bodentiefe April/Mai 1997 (Mini = Mulchsaat)	26
Abbildung 20: Entwicklungsstadien des Weizens nach Pflug- und Mulchsaat 1996 .	27
Abbildung 21: Entwicklungsstadien des Weizens nach Pflug- und Mulchsaat 1997 .	28
Abbildung 22: Bodentemperatur unter Weizen und die Entwicklungsstadien der Pflanzen im Vergleich von Pflug- und Mulchsaat vom 15.04.97 – 05.05.97.....	29
Abbildung 23: Verlauf der Bodentemperaturen unter Raps nach Pflug- und Mulchsaat in 25 cm Bodentiefe April/Mai 1997 (Mini = Mulchsaat)	30
Abbildung 24: Kornertrag > 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ bei Monokultur; Mittelwerte aus vier Einzelversuchen bei zweimaligem Fungizideinsatz	32
Abbildung 25: Kornertrag < 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ bei Monokultur; Mittelwerte aus vier Einzelversuchen bei zweimaligem Fungizideinsatz	32

Abbildung 26: TKM bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ bei Monokultur; Mittelwerte aus vier Einzelversuchen bei zweimaligem Fungizideinsatz	33
Abbildung 27: HLG bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ bei Monokultur; Mittelwerte aus vier Einzelversuchen bei zweimaligem Fungizideinsatz	33
Abbildung 28: Kornertrag > 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz	34
Abbildung 29: Kornertrag < 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz	34
Abbildung 30: TKM bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz	35
Abbildung 31: HLG bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz	35
Abbildung 32: Kornertrag > 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz	36
Abbildung 33: Kornertrag < 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz	36
Abbildung 34: HLG bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz	37
Abbildung 35: TKM bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz	37
Abbildung 36: Erträge der Wintergerste „Krimhild“ > 2,2 mm nach Weizen bei zweifachem Fungizideinsatz in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste	38
Abbildung 37: Erträge der Wintergerste „Krimhild“ > 2,2 mm nach Erbsen bei zweifachem Fungizideinsatz in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen- Gerste	38
Abbildung 38: Kornerträge > 1,0 mm der Sorte „Express“ in der Fruchtfolge Raps- Weizen-Gerste	39
Abbildung 39: Die TKM der Rapssorte „Express“ bei Mulchsaat war in fast allen Versuchsjahren höher als bei Pflugbestellung	39
Abbildung 40: Erträge der Rapssorte „Express“ > 1,0 mm in der Fruchtfolge Raps- Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste	40
Abbildung 41: In der fünfgliedrigen Fruchtfolge waren deutlich größere Unterschiede in der Tausendkornmasse in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung zu verzeichnen als in der dreigliedrigen	40
Abbildung 42: Die Sommerhafersorte „Jumbo“ erbrachte im Laufe der Jahre respektable Erträge bester Kornqualität. Die Mulchsaat war ab 1998 der Pflugbestellung deutlich überlegen	41
Abbildung 43: Die Hektolitergewichte der beiden Bodenbearbeitungsvarianten zeigten im Laufe der Jahre keine signifikanten Unterschiede.	41

Abbildung 44: Erträge von Futtererbsen bei Pflug- und Mulchsaat	42
Abbildung 45: Die Rohproteingehalte in der Weizensorte „Zentos“ (Monokultur).....	45
Abbildung 46: Die Rohproteingehalte in der Weizensorte „Zentos“ (Fruchtfolge Raps- Weizen-Gerste)	45
Abbildung 47: Rohproteinertrag der Weizensorte „Zentos“ in der Monokultur.....	46
Abbildung 48: Rohproteinertrag der Weizensorte „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps- Weizen-Gerste	46
Abbildung 49: Septoria-Blattdürre zerstörte in der unbehandelten Kontrolle ab Juli die Fahnenblätter	48
Abbildung 50: Im Sommer 2000 trat zum ersten Mal DTR-Befall im pfluglos bestellten Monoweizen auf	48
Abbildung 51: Blattbonituren an Weizen vom 13.07.1998	49
Abbildung 52: Blattbonituren an Weizen vom 10.07.2001 (Minimal = Mulchsaat).....	50
Abbildung 53: Auf diesen schlecht verrotteten Stroh- und Stoppelresten (gelber Pfeil) bildet DTR geschlechtliche Fruchtkörper (kleines Foto), aus denen im Frühjahr Ascosporen austreten, die zur Primärinfektion (roter Pfeil) auf den Pflanzen führen.....	51
Abbildung 54: Winterweizen „Zentos“ (Monokultur) aus der Mulchsaat ohne Fungizide mit starkem DTR-Befall (Anfang Juli 2001).....	52
Abbildung 55: Winterweizen „Zentos“ (Monokultur) aus der Mulchsaat mit zweimaliger Fungizidbehandlung (Anfang Juli 2001).....	52
Abbildung 56: Partielle Taubährigkeit in der Sorte „Ritmo	53
Abbildung 57: Partielle Taubährigkeit in der Sorte „Heaven“	53
Abbildung 58: Nesterweises Auftreten weißer Ähren deutet auf Befall mit Schwarzbeinigkeit.	55
Abbildung 59: Mittelschwerer Befall an einer Einzelpflanze.	55
Abbildung 60: Die Pflanzen links stammen aus der Monokultur im 3. Standjahr, die Pflanzen rechts wuchsen in der Fruchtfolge R-W-G.	55
Abbildung 61: Effekte des Beizmittels „Jockey“ in Winterweizen „Zentos“ im sechsten Jahr der Monokultur (1999)	56
Abbildung 62: Effekte des Beizmittels „Latitude“ in Winterweizen „Zentos“ im achten Jahr der Monokultur (2001)	57
Abbildung 63: Netzflecken traten in der Sorte „Krimhild“ in hohem Umfang auf.....	58
Abbildung 64: In allen Versuchsjahren kam es auch zu Befall mit Rhynchosporium- Blattflecken.....	58
Abbildung 65: Blattbonituren in der Wintergerste „Krimhild“ am 12.06.1998; (1= Kontrolle, 2=Doppelbehandlung).....	59
Abbildung 66: Schadbild der „Krankhaften Abreife“ (Sorte „Express“)	60

Abbildung 67: Gesunde Pflanzen (oben im Bild) und infizierte Pflanzen (unten im Bild) der Sorte „Express“	60
Abbildung 68: In der fünfgliedrigen Fruchtfolge ist der Verticillium-Befall geringer als in der dreigliedrigen (August 2000)	61
Abbildung 69: Die Rapsstoppeln in der Fruchtfolge R-W-G sind in hohem Maße von Verticillium befallen (August 2000).....	61
Abbildung 70: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1995/96	63
Abbildung 71: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1995/96	63
Abbildung 72: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1996/97	64
Abbildung 73: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1996/97	64
Abbildung 74: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1997/98	65
Abbildung 75: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1997/98	65
Abbildung 76: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1998/99	66
Abbildung 77: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1998/99	66
Abbildung 78: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1999/00	67
Abbildung 79: N _{min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1999/00	67
Abbildung 80: N _{min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1995/96	68
Abbildung 81: N _{min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1995/96	68
Abbildung 82: N _{min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1996/97	69
Abbildung 83: N _{min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1996/97	69
Abbildung 84: N _{min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1997/98	70
Abbildung 85: N _{min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1997/98	70
Abbildung 86: N _{min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1998/99	71
Abbildung 87: N _{min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1998/99	71
Abbildung 88: N _{min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1999/2000	72

Abbildung 89: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1999/2000	72
Abbildung 90: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1995/96.....	73
Abbildung 91: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1995/96.....	73
Abbildung 92: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1996/97.....	74
Abbildung 93: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1996/97.....	74
Abbildung 94: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1997/98.....	75
Abbildung 95: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1997/98.....	75
Abbildung 96: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1998/99.....	76
Abbildung 97: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1998/99.....	76
Abbildung 98: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1999/2000.....	77
Abbildung 99: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 199/2000.....	77
Abbildung 100: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Gerste in Abhängigkeit von der Vorfrucht und Witterung	80
Abbildung 101: Anlage einer Auswertungsparzelle zur Erfassung der Regenwurmgänge.	83
Abbildung 102: Jeder Regenwurmgang wurde bei der Zählung mit einem Zahnstocher markiert, um Doppelzählungen zu vermeiden.	83
Abbildung 103: Anzahl der Regenwurmgänge unter Weizen bei Pflug- und Mulchsaat nach 8-jähriger Versuchsdauer	84
Abbildung 104: Prozentualer Anteil von Weizen, Windhalm und Unkräutern in den herbizidfreien Parzellen aller Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsvarianten....	87
Abbildung 105: Die herbizidfreien Parzellen zeigten schon im Juni 2001 einen erheblichen Besatz an Windhalm.....	88
Abbildung 106: Im Juli 2001 dominierte der Windhalm die gesamte Parzelle	88
Abbildung 107: Windhalmtriebe pro m^2 in herbizidfreien Weizenparzellen.....	89
Abbildung 108: Prozentualer Anteil der Unkräuter und des Windhalms nach unterschiedlichen Vorfrüchten.....	90
Abbildung 109: Prozentualer Anteil der Unkräuter und des Windhalms nach Vorfrüchten und Bodenbearbeitungsvarianten	90

Abbildung 110: Auflauf von Mono- und Dikotylen aus 12 cm Bodentiefe in allen Kulturen aller Fruchtfolgen (Mini=Mulchsaat).....	92
Abbildung 111: Mittelwert aufgelaufener Unkräuter und Ungräser in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungsvarianten	92
Abbildung 112: Anteil Mono- und Dikotyler in 12 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der Fruchtfolge	93
Abbildung 113: Auflauf von Mono- und Dikotylen in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung.....	93
Abbildung 114: Auflauf Mono- und Dikotyler in Abhängigkeit von der Vorfrucht.....	94
Abbildung 115: Auflauf von Mono- und Dikotylen aus 12 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung	95

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Durchführung der Bodenbearbeitung.....	17
Tabelle 2: Statistische Verrechnung der Rohprotein- und Schwefelgehalte in Weizenkörnern über alle Varianten und alle Versuchsjahre.....	44
Tabelle 3: Analyse der Körner der Winterweizensorte „Zentos“ in den Jahren 1996-2001 auf das Fusarium-Toxin DON (Deoxynivalenol in mg/kg).....	54
Tabelle 4: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Faktoren Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Saatstärke auf das Merkmal „Braune Stängel“	61
Tabelle 5: Jahresmittel der Bodennitratgehalte (kg/ha N) in 0-90 cm Tiefe im Vergleich von Pflug- und Mulchsaat.....	78
Tabelle 6: Stickstoffverluste über Winter nach Erbsen im Vergleich zu Weizen.....	81
Tabelle 7: Vergleich der mineralischen N-Düngung von Gerste nach Weizen und nach Erbsen	82
Tabelle 8: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Anzahl von Regenwurmlöchern in Abhängigkeit vom Beprobungstermin, der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung. Hier: Beprobungstermin	85
Tabelle 9: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Anzahl von Regenwurmlöchern in Abhängigkeit vom Beprobungstermin, der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung. Hier: Fruchtfolge	85
Tabelle 10: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Anzahl von Regenwurmlöchern in Abhängigkeit vom Beprobungstermin, der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung. Hier: Bodenbearbeitung	86
Tabelle 11: Statistische Verrechnung aller Daten (logarithmiert) aus der Bonitur der herbizidfreien Weizenparzellen	91
Tabelle 12: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Auflaufraten aus 12 cm Bodentiefe (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Frucht und Vorfrucht).....	95
Tabelle 13: Durchschnittserträge der Kulturen in den verschiedenen Versuchsvarianten	97

1 Einleitung

Im Rahmen eines Fruchtfolge-Forschungsprojektes wurden in der Zeit von 1996 – 2001 auf dem Versuchsfeld des Fachbereichs Landbau der FH Kiel verschiedene Fragestellungen aus dem schleswig-holsteinischen Ackerbau auf einem Standort des Hügellandes bearbeitet. Die Anlage des Versuches erfolgte mit der Aussaat im Herbst 1994, nachdem eine Prüfung und Auswahl geeigneter Sorten im Jahr 1993 stattgefunden hatte.

Bei der Planung des Langzeitversuches ging es unter anderem darum, die Folgen des Pflugverzichtes im schleswig-holsteinischen Ackerbau eingehend zu prüfen. Zu Beginn der 90er Jahre gingen viele Praktiker davon aus, dass die pfluglose Bestellung mehr Nachteile als Vorteile haben könnte wie beispielsweise: Zunahme des Befallsdruckes mit Pilzkrankheiten, Verzögerung im Strohabbau und demzufolge Probleme mit der Bodenstruktur, zu dichte Bodenlagerung mit negativen Effekten auf das Pflanzenwachstum und vieles mehr.

Um eine Beantwortung dieser Fragen in die Wege zu leiten, wurden folgende Schwerpunkte innerhalb des Projektes gewählt:

- **Vergleich der Bestellverfahren**
Pflugsaat – Mulchsaat
- **Vergleich von Fruchtfolgen**
Weizenmonokultur
Raps-Weizen-Gerste
Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste

Im Laufe des Versuchszeitraums wurden zahlreiche Parameter zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Fruchtfolgen untersucht und bewertet. Neben der exakten Erfassung der Ertragsleistung wurden beispielsweise alle wesentlichen Qualitätsfaktoren (TKM, HLG, RP, Stärke, Ölgehalt) erfasst.

Es erfolgte eine schwerpunktmäßige Analyse des Krankheitsgeschehens unter Berücksichtigung der Weizen-Blattdürre, DTR und Ährenfusariosen sowie der Blattkrankheiten der Wintergerste, dem Komplex der Halmgrunderkrankungen des Weizens und der sogenannten „Krankhaften Abreife“ des Rapses.

Darüber hinaus wurden bodenphysikalische Parameter (Bodendichte, Bodentemperatur) und die Nitratverfügbarkeit in verschiedenen Bodenschichten untersucht. Ergänzend hierzu lieferte die Erfassung der Regenwurmaktivität interessante Aufschlüsse über die Vorgänge im Boden.

Die Analyse des Unkraut- und Ungrasbesatzes sowie des Samenpotentials brachte neue Erkenntnisse zur Beurteilung pflugloser Anbauverfahren auf einem schleswig-holsteinischen Ackerbaustandort.

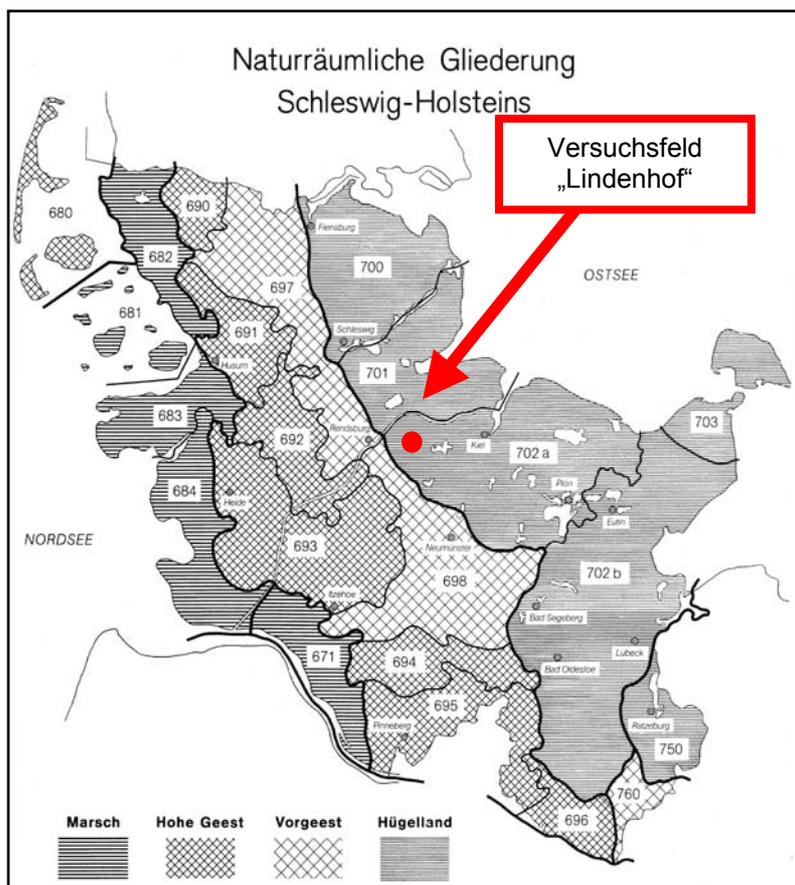
Im Rahmen einer ökonomischen Auswertung wurden abschließend wichtige betriebswirtschaftliche Parameter kritisch hinterfragt.

Der vorliegende Bericht stellt die wichtigsten Ergebnisse vor. Der Umfang des Datenmaterials macht es aber unmöglich, alle Details zu präsentieren. Statt dessen wird der Versuch unternommen, repräsentative Kernaussagen aus der Analyse des umfangreichen Datenmaterials vorzunehmen, um für Praxis und Beratung die gewünschten Entscheidungshilfen bereit zu stellen.

2 Grundlagen des Versuches

Das Versuchsfeld „Lindenhof“ des Fachbereichs Landbau der Fachhochschule Kiel befindet sich etwa 10 km östlich von Rendsburg in der Gemarkung von Ostenfeld an der Landstraße zwischen Ostenfeld und Bovenau und liegt somit im Naturraum des ostholsteinischen Hügellandes (s. Abb. 1).

2.1 Boden



Der *Bodentyp* der Versuchsfelder ist Parabraunerde, die durch Verwitterung auf weichselezeitlichem Geschiebelehm entstand und durchschnittlich mit ca. 50 Punkten bewertet ist.

Als *Bodenarten* herrschen lehmiger Sand und sandiger Lehm mit einem Humusgehalt von 3 - 4 % vor.

Bedingt durch die Lage am Rande des Hügellandes sind die Versuchsfelder sehr eben und bieten somit beste Voraussetzungen für landwirtschaftliche Feldversuche.

Abbildung 1: Geografische Lage des Versuchsfeldes „Lindenhof“

2.2 Mikroklima

Aufgrund des Mikroklimas findet man in Ostensfeld sämtliche pilzliche Krankheitserreger, die im Ackerbaugesbiet des Hügellandes vorkommen.

Im Weizen spielt neben der Blattdürre (*Septoria tritici*) auch der Echte Mehltau (*Blumeria graminis*) eine wichtige Rolle; Gelbrost (*Puccinia striiformis*) trat in den letzten Jahren nur selten auf.

In der Gerste sind Rhynchosporium-Blattflecken (*Rhynchosporium secalis*), Netzflecken (*Drechslera teres*) und Echter Mehltau (*Blumeria graminis*) die wichtigsten Schaderreger.

Im Roggen dominieren Rhynchosporium-Blattflecken (*Rhynchosporium secalis*), Braunrost (*Puccinia dispersa*) und Schwarzrost (*Puccinia graminis*). In Triticale war bislang regelmäßiger Befall mit Rhynchosporium-Blattflecken (*Rhynchosporium secalis*), Gelbrost (*Puccinia striiformis*), Echtem Mehltau (*Blumeria graminis*) und Septoria-Arten festzustellen.

Bei Winterraps hat sich auf dem Versuchsstandort –wie auch in der ackerbaulichen Praxis– ein hoher Befallsdruck durch die „Krankhafte Abreife“ (*Verticillium dahliae*) entwickelt. Diese gravierende Fruchtfolgekrankheit ist verantwortlich für die nicht immer befriedigenden Rapsenerträge, denn der Schadpilz zerstört die Leitbündel der Pflanzen und beeinträchtigt somit massiv die Aufnahme von Wasser und mineralischen Nährstoffen.

2.2.1 Lufttemperaturen und Niederschläge von 1994-2001

Der Lindenhof liegt 14 m über dem Meeresspiegel, und die Flächen sind sehr windoffen; deshalb setzen die Bodenerwärmung und der Vegetationsbeginn im Vergleich zu Ostholstein auch erst später ein (s. Kap. 3.1.2.4).

Im Mittel der Versuchsjahre 1994-2001 fielen jährlich 826 mm Niederschlag, und die Jahresdurchschnittstemperatur betrug 8,8 °C.

Nachfolgende Abbildungen 2-9 zeigen die Verläufe der Lufttemperaturen sowie die Verteilung der Niederschläge in der Zeit von 1993/94 bis 2000/2001.

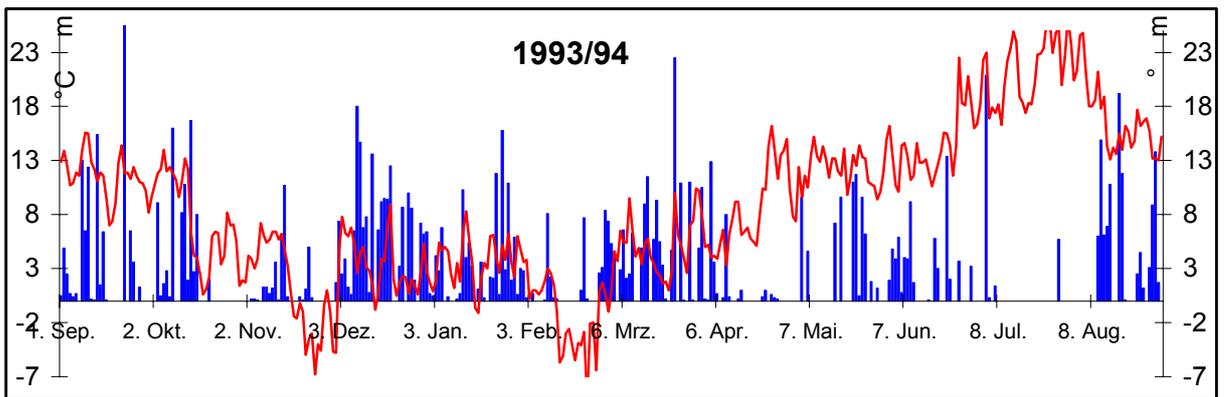


Abbildung 2: Witterungsverlauf 1993/94

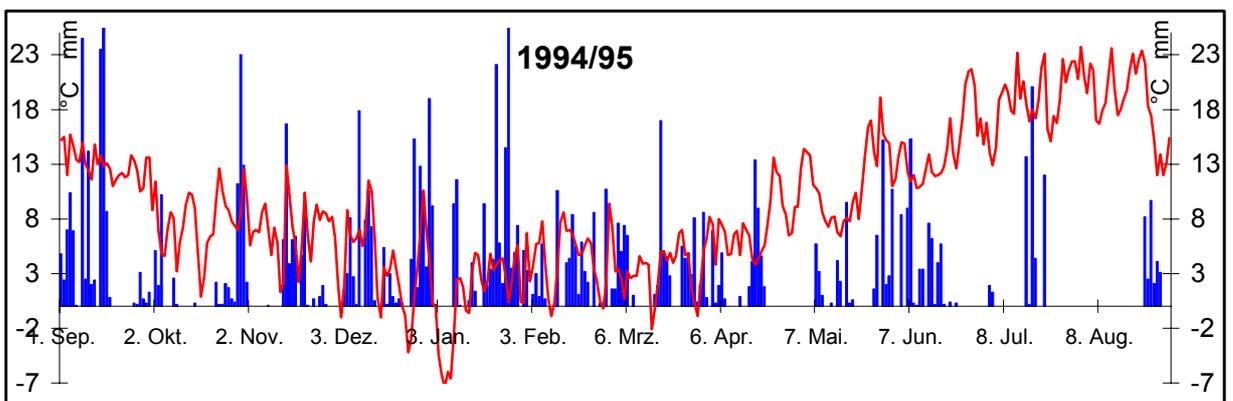


Abbildung 3: Witterungsverlauf 1994/95

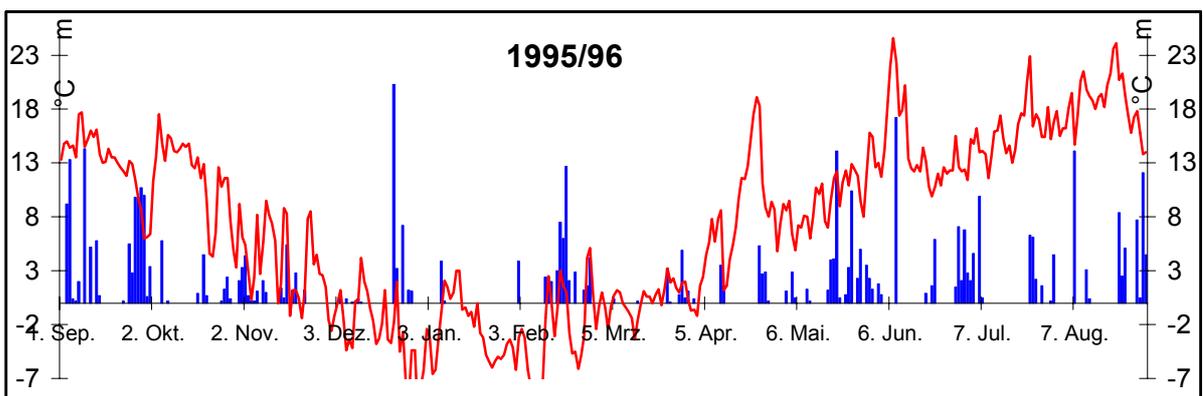


Abbildung 4: Witterungsverlauf 1995/96

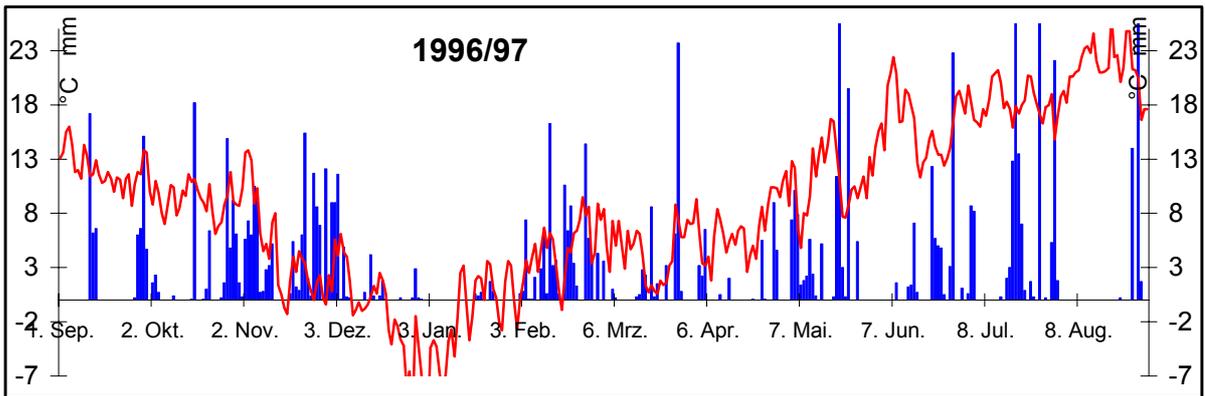


Abbildung 5: Witterungsverlauf 1996/97

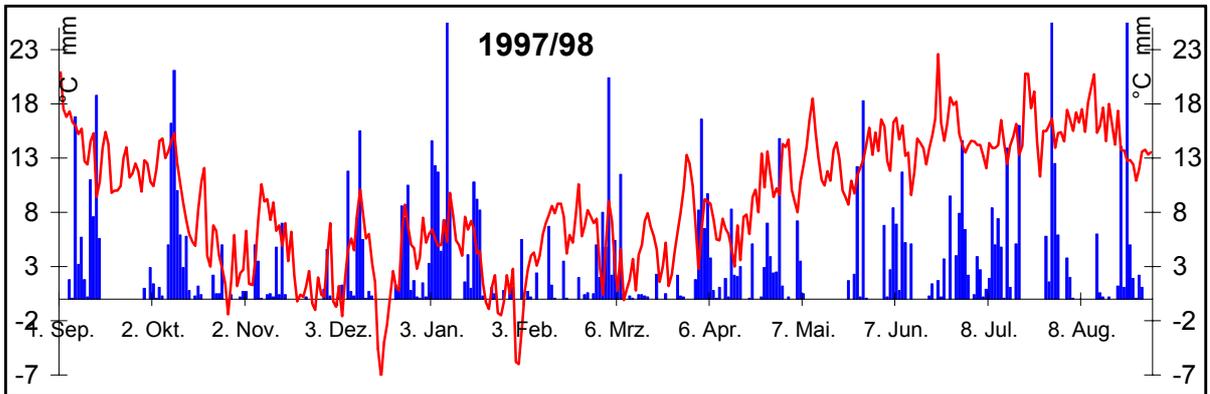


Abbildung 6: Witterungsverlauf 1997/98

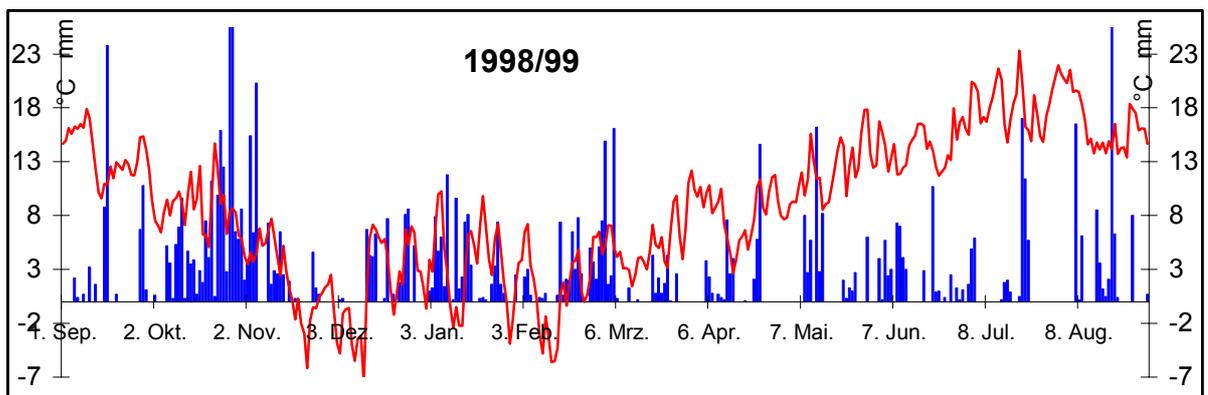


Abbildung 7: Witterungsverlauf 1998/99

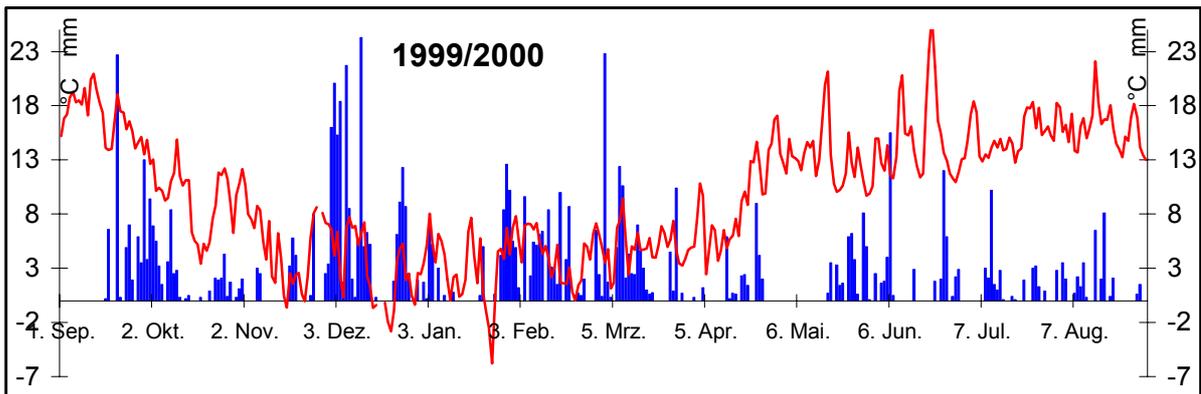


Abbildung 8: Witterungsverlauf 1999/2000

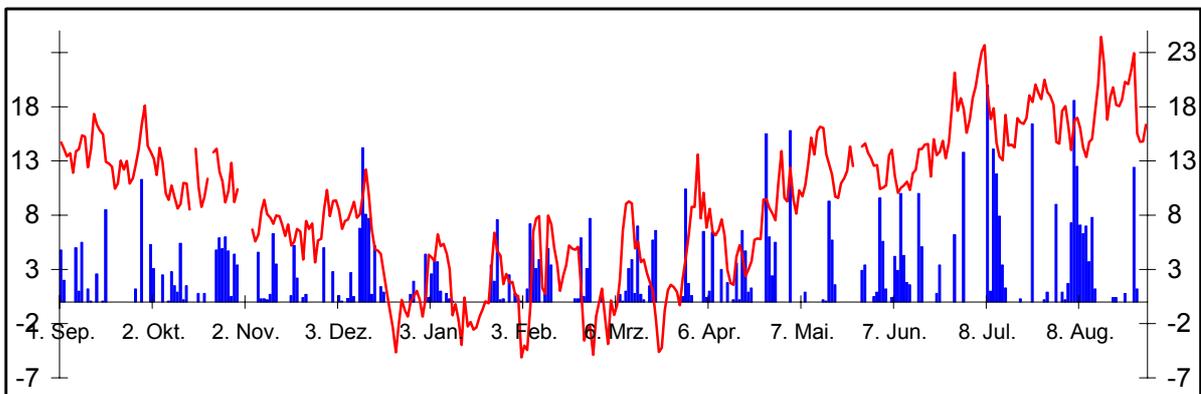


Abbildung 9: Witterungsverlauf 2000/2001

Als besondere Witterungsereignisse des Untersuchungszeitraumes sind festzuhalten:

- Ein sehr kalter Winter 1995/96, mit gefrorenem Boden Anfang April und äußerst geringen Niederschlägen bis November 1996
- Sehr niederschlagreiche Sommer 1997 und 1998 mit teilweise extremen Schauerböen und entsprechendem Lagerdruck für Getreide und Raps
- Trockene September 1996 und 1999 bei hohen Lufttemperaturen und trockener Hochdruckwetterlage (verzögerte Keimung von Ausfallgetreide und später Beginn der Strohrotte)

2.3 Fruchtfolgen und Bodenbearbeitung

Bei der Konzeption des Versuches wurden 1994 drei völlig unterschiedliche **Fruchtfolgen** festgelegt:

- Weizen-Monokultur
- Raps-Weizen-Gerste
- Raps – Hafer – Weizen – Leguminosen – Gerste

Diese Fruchtfolgen ließen erhebliche Unterschiede sowohl im Befallsdruck mit pilzlichen Krankheitserregern als auch in den ackerbaulichen Effekten erwarten. Zum Zeitpunkt der Versuchskonzeption hatte die Fruchtfolge Raps-Weizen-Weizen in Schleswig-Holstein noch keine so große Bedeutung wie heute. Deshalb wurde die seit Jahrzehnten bewährte dreigliedrige Form mit Wintergerste ausgewählt.

Alle Fruchtfolgen wurden sowohl in konventionell gepflügter als auch in pflugloser Bestellung untersucht. Beim Vergleich solcher Bodenbearbeitungsverfahren ist es trotz großer Versuchspartzen von jeweils 1000 m² unrealistisch, praxisübliche Geräte zur pfluglosen Bestellung einzusetzen, weil die Vorgewende einfach zu viel Platz erfordern. Deshalb wurde eine Methode entwickelt, mit der die Arbeitsweise der heute gängigen Mulchsaatgeräte gut improvisiert werden konnte.

Wichtigste Faktoren bei dieser Mulchsaat waren:

- Gründliche, aber möglichst flache Einarbeitung von Stroh- und Stoppelresten
- Einsatz eines mittelschweren Grubbers zur Bodenlockerung und Einmischung organischer Substanz

Über den Ablauf der Verfahren gibt Tabelle 1 Aufschluss:

Tabelle 1: Durchführung der Bodenbearbeitung

	Pflugsaat	Mulchsaat
Stoppelbearbeitung	Rotortiller	Rotortiller
Bodenbearbeitung	Pflug (25-28 cm)	Tiefengrubber (15-18 cm)
Saatbettbereitung	Kreiselegge	Rotortiller
Saat	Schleppschare	Scheibenschare
nach Saat	---	Cambridgewalze

2.4 Die Versuchsanlage

Der gesamte Feldversuch wurde auf den Schlägen „Raaden II“ und „Raaden III“ des „Lindenhofes“ angelegt. Da jede Frucht in jedem Jahr in jeder Bodenbearbeitung vorlag und außerdem die Monokultur als Vergleich auf beiden Schlägen durchgeführt wurde, enthielt der Versuch 20 sogenannte Teilstücke (s. Abb. 10).

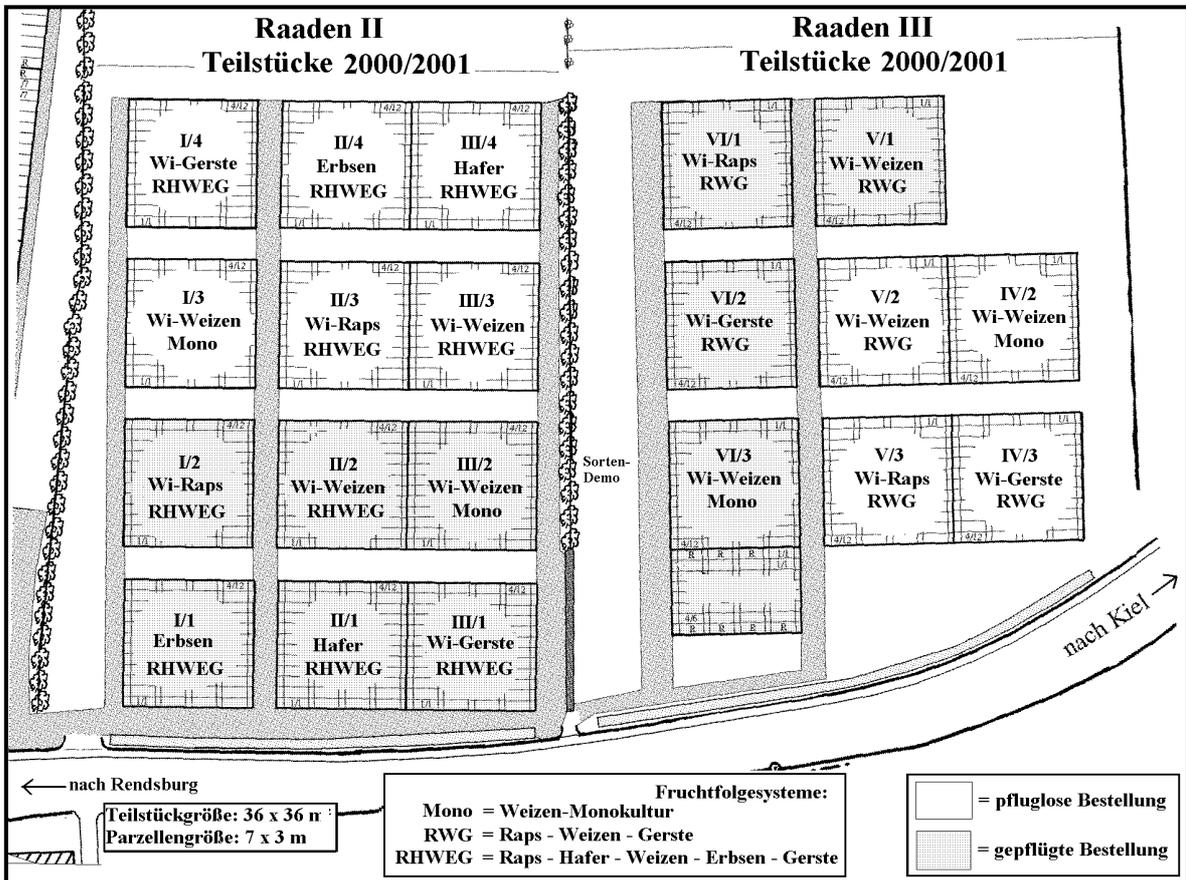


Abbildung 10: Lageplan des Feldversuches

2.4.1 Aufbau der Teilstücke

Jedes dieser 20 Teilstücke war 36 m x 36 m groß, um der Bodenbearbeitung genügend Raum zu geben und eine Unterteilung in Parzellen vorzunehmen zu können.

2.4.2 Untergliederung der Teilstücke

Ein solches Teilstück enthielt vier Reihen zu je 12 Parzellen à 7 m x 3 m. Diese 48 Parzellen pro Teilstück machten es möglich, in jeder Kultur und jeder Fruchtfolge bei Bedarf 12 Versuchsglieder einzubinden, um Detailfragen zu klären. So wurden beispielsweise Aussaatstärkenversuche durchgeführt, Beizmittel gegen die Schwarzbeinigkeit getestet, Düngungsvarianten eingebunden und vieles mehr. Abbildung 11 gibt einen Überblick über die detaillierte Versuchsanlage.

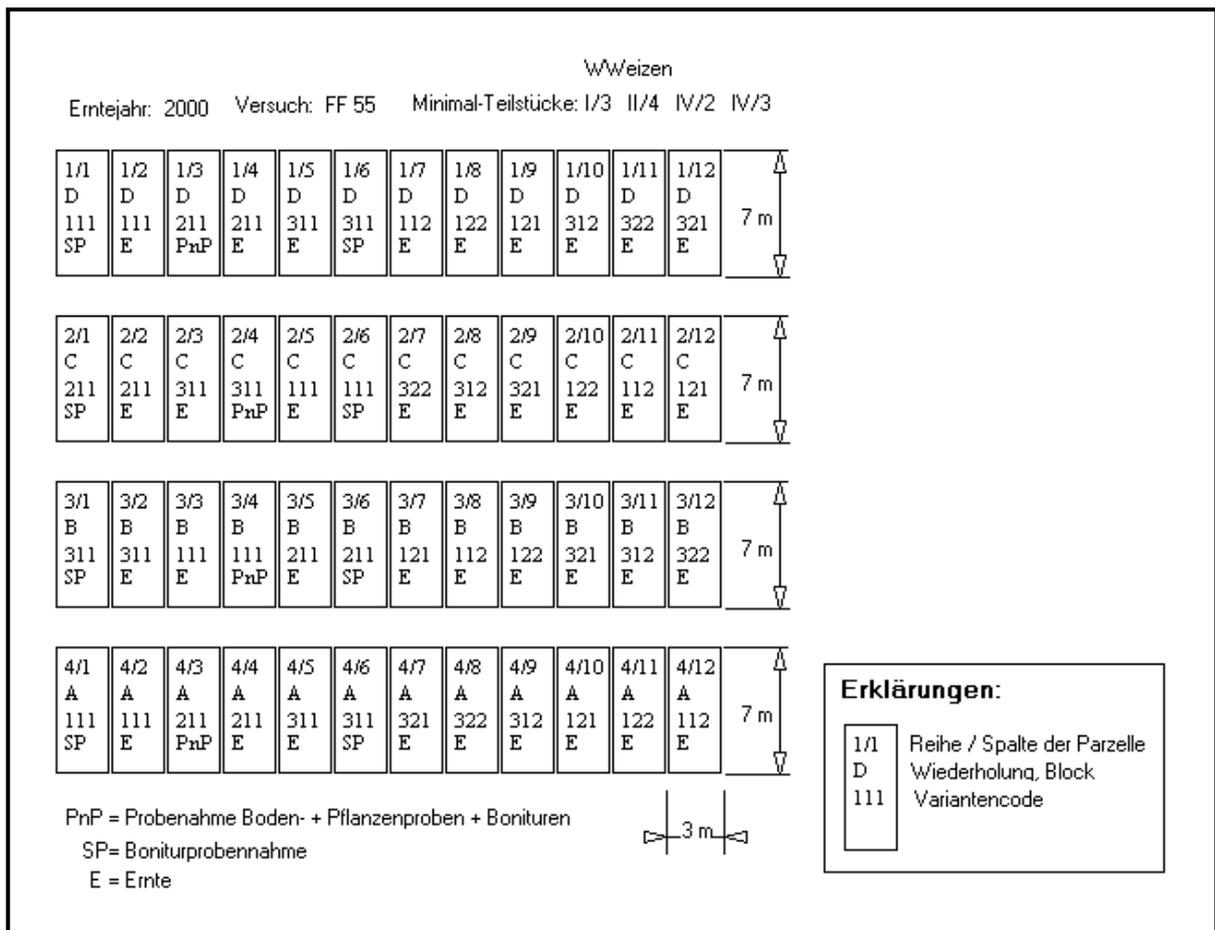


Abbildung 11: Aufbau eines Versuchs-Teilstückes mit Untervarianten

Diese versuchstechnische Konzeption hatte folgende Vorteile:

- Aussaat grundsätzlich mit der 3m-Parzellendrillmaschine (bei Pflugsaat mit Schleppscharen, bei Mulchsaat mit Scheibenscharen)
- Durchführung sämtlicher Maßnahmen (Düngung, Pflanzenschutz usw.) ebenfalls mit den auf 3m Arbeitsbreite abgestimmten Maschinen
- Beerntung grundsätzlich mit dem Parzellenmähdrrescher bei 1,5 m Schnittbreite. Dieser Kerndrusch vermeidet Randeffekte und liefert genaueste Ertragsdaten. Das gesamte Erntegut wurde geborgen und anschließend einer Reinigung und Siebfraktionierung unterzogen, um exakte Ernteergebnisse zu realisieren.
- Beerntung der Parzellenränder, Strohhäckselung und –verteilung durch den Lohnunternehmer mit praxisüblichem Großgerät

2.5 Sortenwahl

In Vorversuchen wurden 1992/93 zahlreiche Getreide- und Rapssorten auf dem Standort geprüft und für die Langzeituntersuchung ausgewählt. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse über den Untersuchungszeitraum zu gewährleisten, wurde von 1994-2001 **kein Sortenwechsel** durchgeführt. Nur unter diesen Voraussetzungen war ein Vergleich über viele Versuchsjahre überhaupt möglich. Nachteilig ist die Tatsache, dass züchterische Fortschritte wie verbesserte Standfestigkeit und höhere Erträge nicht „mitgenommen“ werden konnten.

Als **Winterweizen** wurde „Zentos“ (A8 / E-Weizen) ausgewählt, da er eine quantitative Mehlauresistenz sowie Gelbrostresistenz und hohe Toleranz gegen Ährenfusarium und DTR-Blattdürre aufweist. Somit war es möglich, den Fungizideinsatz ganz auf die Septoria-Blattdürre auszurichten, zumal ihr Auftreten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung schwerpunktmäßig erfasst werden sollte. Darüber hinaus ist die Sorte „Zentos“ als Kompensationstyp für die pfluglose Bestellung besonders gut geeignet.

Als **Wintergerste** wurde „Krimhild“ (mehrzeilig) ausgewählt, da sie gelbmosaikresistent ist und 1993 bei Ertragspotential und Qualität führend war. Allerdings ist die Standfestigkeit nicht mehr auf dem Niveau der neuesten Sorten, und die Anfälligkeit für Netzflecken und Rhynchosporium ist relativ hoch.

Als **Winterraps** wurde „Express“ angebaut, der eine gute Vorwinterentwicklung aufweist, spätsaatverträglich ist und eine hohe Toleranz gegen pilzliche Pathogene besitzt.

Als **Sommerhafer** wurde die standfeste und ertragssichere Sorte „Jumbo“ angebaut.

Die Einbindung von **Leguminosen** in die Fruchtfolge Raps – Hafer – Weizen – Erbsen – Gerste diente ausschließlich der Auflockerung durch eine stickstoffliefernde Blattfrucht. Aufgrund der Unwägbarkeiten bei der Beerntung war eine Bewertung der Erträge nicht vorgesehen. Als Kulturart wurde nach Vorversuchen 1993 Futtererbsen gewählt. Zu Beginn der Untersuchungen wurde die Sorte „Baccara“, ab der Aussaat 1996 die Sorte „Eiffel“ aufgrund der besseren Standfestigkeit angebaut. Inzwischen sind Ackerbohnen aufgrund ihrer weitaus besseren Standfestigkeit und gleichbleibend hohen Erträge den Erbsen vorzuziehen.

2.6 Grundlagen der Bestandesführung

Die Ergebnisse der Projektes sollten auch eventuell zu erwartenden zukünftigen Reglementierungen in der pflanzlichen Produktion genügen. Deshalb erfolgte die Bestandesführung nach den Kriterien der „**Integrierten Produktion**“.

2.6.1 Pflanzenschutz

Die Pflanzenschutzmaßnahmen wurden grundsätzlich epidemie-orientiert vorgenommen und sind somit dem inzwischen bundesweit bekannten IPS-System ver-

gleichbar. Dabei kam schwerpunktmäßig das Expertensystem Pro_Plant zum Einsatz. Dieses EDV-System analysiert die Befallswahrscheinlichkeit von Pflanzen durch Schadorganismen auf der Basis des Witterungsverlaufs sowie des Vorbefalls und ermöglicht eine Optimierung der Applikationstermine insbesondere beim Einsatz von Fungiziden in Getreide.

2.6.2 Stickstoffdüngung

Die Stickstoffdüngung erfolgte immer unter Berücksichtigung der N_{\min} -Vorräte und wurde unter den Aspekten der „Integrierten Produktion“ niedriger angesetzt, als es in der landwirtschaftlichen Praxis üblich ist. Im Weizen ergab sich unter Berücksichtigung des Bodenvorrates eine verfügbare Menge von ca. 200 - 210 kg/ha N. In Gerste nach Winterweizen waren es ca. 190 kg/ha N; stand Gerste nach Leguminosen, so konnte aufgrund der Freisetzung organisch gebundenen Stickstoffs die N-Mineraldüngung um 60 kg/ha – 70 kg/ha reduziert werden. Winterraps standen durchschnittlich ca. 225 kg/ha N zur Verfügung.

3 Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden zahlreiche Ergebnisse des Projektes dargestellt, die für die landwirtschaftliche Praxis auf Hügellandstandorten in Schleswig-Holstein nützlich sein können.

3.1 Bodeneigenschaften

Beim Vergleich zwischen Pflug- und Mulchsaat erwartet man naturgemäß deutliche Unterschiede in den Bodeneigenschaften, die als Folge der Bewirtschaftung eintreten. Hierbei spielt vor allem die *Bodendichtelagerung* eine große Rolle, aber auch die Frage nach der *Erwärmbarkeit* wird in Praxis und Beratung immer wieder gestellt.

3.1.1 Bodendichte

Die Bodendichte wurde mit Hilfe eines modernen Penetrometers bei optimalem und reproduzierbarem Feuchtezustand des Bodens ermittelt. Dieses Gerät misst den Eindringwiderstand einer Bodensonde und speichert die Messdaten einer ganzen Untersuchungsserie digital. So war die Übertragung in das Tabellenkalkulationsprogramm „Microsoft Excel“ problemlos möglich, womit eine Vielzahl unterschiedlichster Auswertungen durchgeführt werden konnte.

Der ermittelte Eindringwiderstand der Bodensonde gibt Aufschluss über die Bodendichtelagerung und somit ein gutes Bild über die bodenphysikalischen Verhältnisse. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, wurde eine sehr große Anzahl von Einzelmessungen durchgeführt und gemittelt, um Zufallsergebnisse auszuschließen.

3.1.1.1 Bodendichte im Frühjahr

Anhand der Daten aus dem Jahr 1998 soll exemplarisch aufgezeigt werden, welche Messwerte durch den Penetrometereinsatz ermittelt werden konnten.

Die eine Untersuchungsreihe (s. Abb. 12) wurde am 30.03.1998 durchgeführt, die andere (Abb. 13) am 01.07.1998. An beiden Terminen herrschten vergleichbare Feuchtigkeitsverhältnisse im Boden, da der Sommer 1998 sehr niederschlagreich war. Zur Ermittlung der Daten wurden auf jedem Teilstück zahlreiche Parallelmessungen durchgeführt, um für die Kultur und Bodenbearbeitung repräsentative Mittelwerte zu erhalten. Die in den Abbildungen 12 und 13 aufgezeigten Kurvenverläufe sind somit das Resultat aus Hunderten von Einzelmessungen!

Selbstverständlich wurden derartige Messungen auch in anderen Versuchsjahren durchgeführt, die zwar geringfügige Unterschiede in den absoluten Daten zeigen, sich aber in der Charakteristik nicht unterscheiden.

Um die Auswirkungen der Bodenbearbeitungsvarianten auf die alte Pflugsohle zu erfassen, war bei der Versuchsanlage ganz bewusst auf eine Untergrundlockerung verzichtet worden.

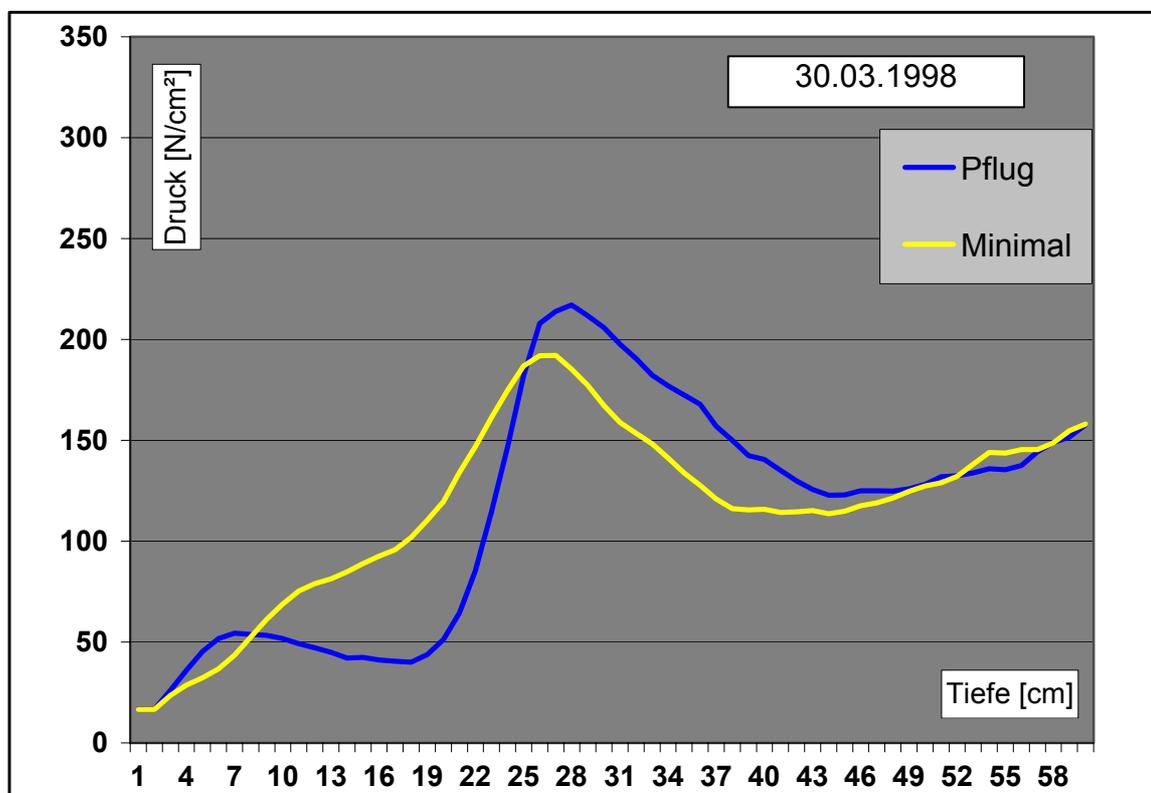


Abbildung 12: Bodendichte am 30.03.1998 (Minimal = Mulchsaat)

3.1.1.2 Bodendichte im Sommer

Die sommerlichen Bodendichtemessungen zeigten grundsätzlich die gleiche Charakteristik wie die Frühjahrmessungen.

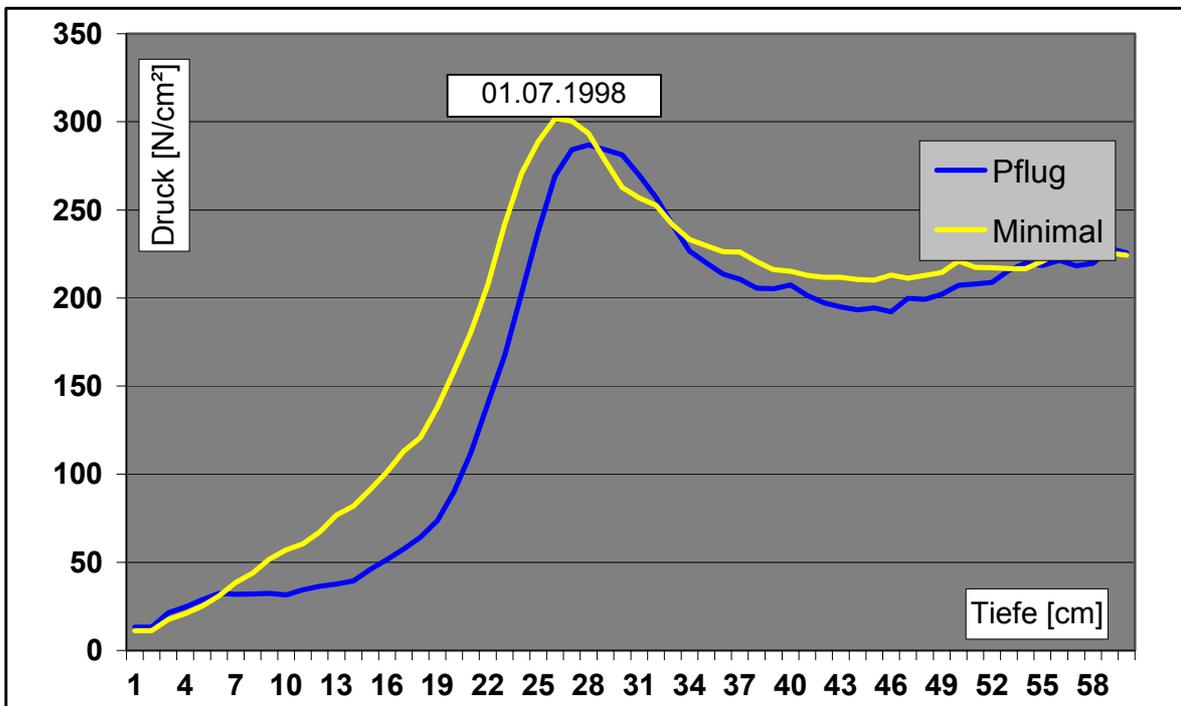


Abbildung 13:: Bodendichte am 01.07.1998 (Minimal = Mulchsaat)

3.1.1.3 Schlussfolgerungen

Die Kurven des Eindringwiderstandes machen deutlich, wie gleichmäßig der Anstieg der Bodendichte an beiden Terminen in der pfluglosen Variante verläuft.

Im Gegensatz dazu zeigt die gepflügte Variante über einen weiten Bereich einen geringeren Eindringwiderstand des Penetrometers, der auf eine lockere Lagerung des Bodens hinweist. Insbesondere bei der Messung im März ist dieser Effekt sehr ausgeprägt. Erst jenseits von ca. 21 - 22 cm Bodentiefe steigt der Eindringwiderstand stark an und erreicht im Bereich der alten Pflugsohle sein Maximum.

Die höheren absoluten Messwerte des Eindringwiderstandes am zweiten Termin im Juli sind im wesentlichen auf den stärkeren Durchwurzelungsgrad zurückzuführen.

Die Beobachtung der Pflanzenentwicklung zeigte –mit Ausnahme der Futtererbsen– eine ausgesprochen intensive Wurzelbildung nach Mulchsaat. Daraus lässt sich ableiten, dass die spezielle Bodendichtelagerung dieses Bestellverfahrens für viele Kulturpflanzen keinen Nachteil darstellt und im Hinblick auf die Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit auch oft Vorteile aufzuweisen hat.

3.1.2 Bodentemperatur und Pflanzenentwicklung

Zur Ermittlung der Bodentemperaturen standen 1997 vorübergehend eichfähige, digitale Messgeräte zur Verfügung, die mit Hilfe externer Temperaturfühler zur Datenermittlung in unterschiedlicher Bodentiefe eingesetzt wurden. Besonders aufschlussreich sind die Ergebnisse der Frühjahrmessungen, welche die Besonderheiten der unterschiedlichen Bodenerwärmung dokumentieren.

3.1.2.1 Temperaturverlauf unter Weizen im März 1997

Hier werden die Temperaturwerte in den für das Frühjahrswachstum besonders wichtigen Bodentiefen 10 cm und 25 cm im März sowie im April/Mai dargestellt.

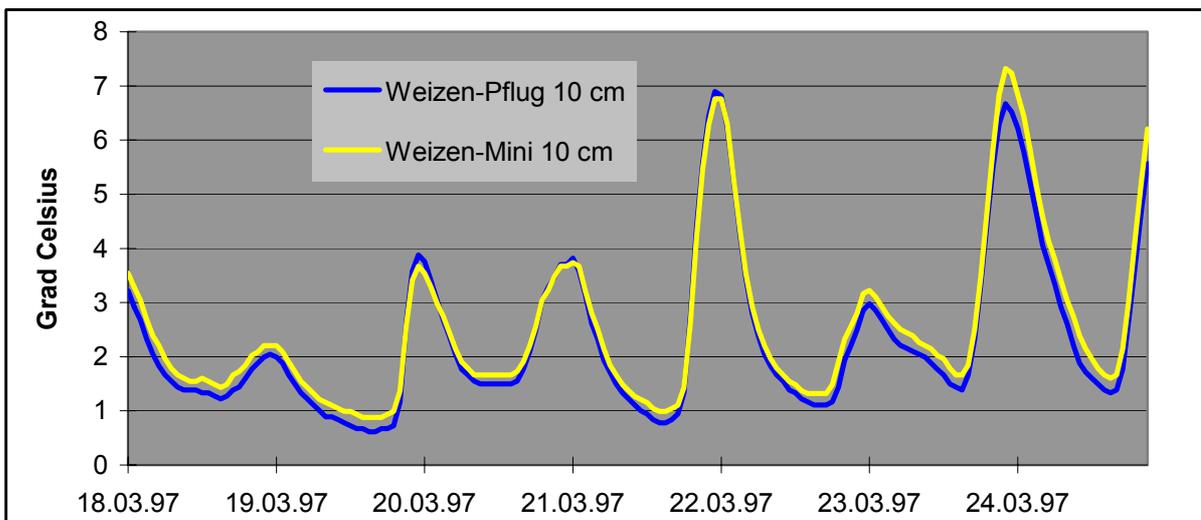


Abbildung 14: Verlauf der Bodentemperaturen unter Weizen nach Pflug- und Mulchsaat in 10 cm Bodentiefe

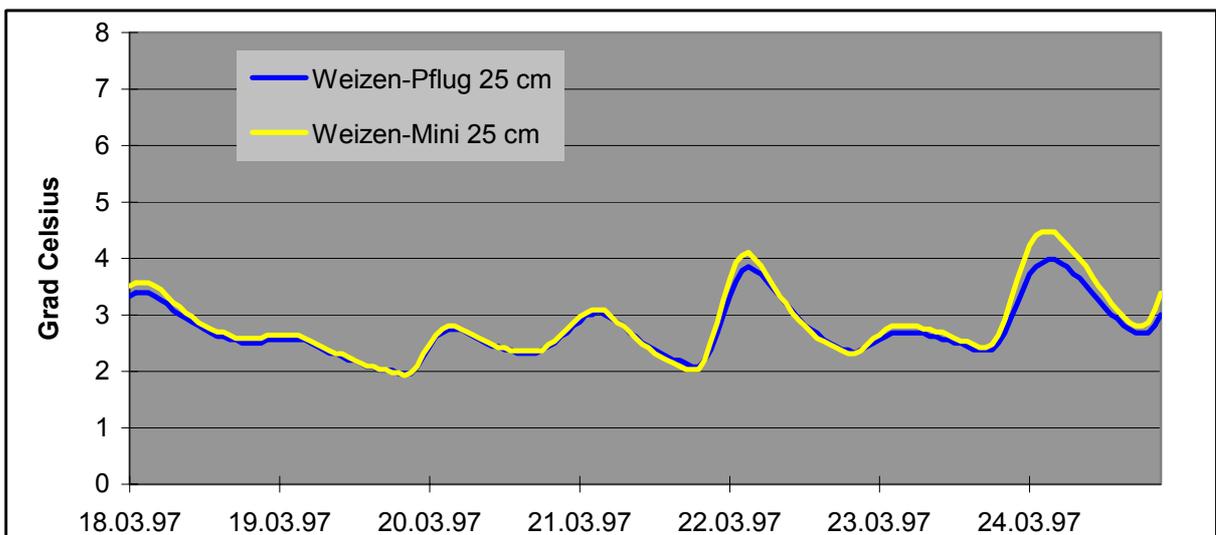


Abbildung 15: Verlauf der Bodentemperaturen unter Weizen nach Pflug- und Mulchsaat in 25 cm Bodentiefe Mitte März 1997 (Mini = Mulchsaat)

3.1.2.2 Temperaturverlauf unter Raps im März 1997

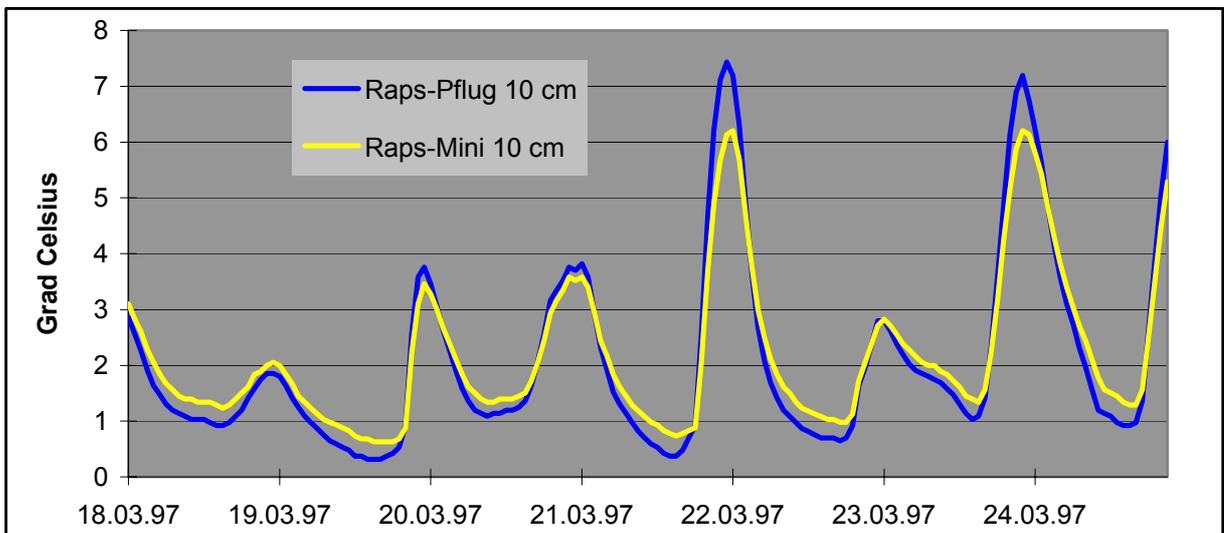


Abbildung 16: Verlauf der Bodentemperaturen unter Raps nach Pflug- und Mulchsaat in 10 cm Bodentiefe Mitte März 1997 (Mini = Mulchsaat)

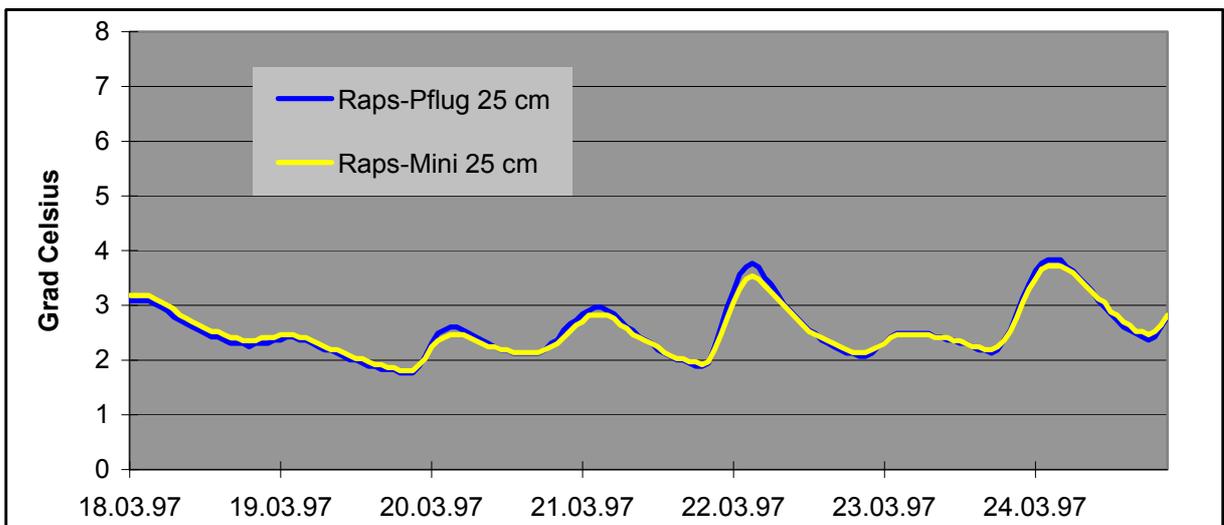


Abbildung 17: Verlauf der Bodentemperaturen unter Raps nach Pflug- und Mulchsaat in 25 cm Bodentiefe Mitte März 1997 (Mini = Mulchsaat)

Abbildung 16 macht deutlich, dass es im März im Tagesverlauf unter gepflügt bestelltem Raps bei 10 cm Bodentiefe zu einem deutlich stärkeren Temperaturanstieg kam als nach Mulchsaat. Vermutlich sorgte die geringere Lagerungsdichte des Bodens für eine schnellere Erwärmung der oberen Schichten durch Absorption langwelliger Strahlung aus dem Sonnenlicht. In der Nacht kam es dagegen auch wieder zu einer schnelleren Abkühlung. In 25 cm Bodentiefe waren zu dieser Zeit keine ausgeprägten Unterschiede erkennbar.

3.1.2.3 Temperaturverlauf unter Weizen im April/Mai 1997

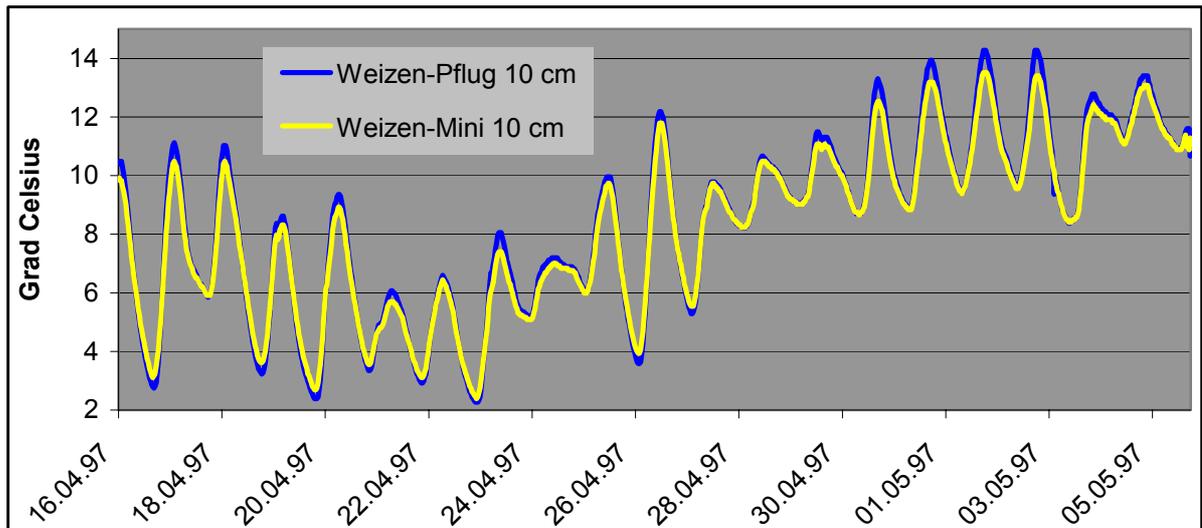


Abbildung 18: Verlauf der Bodentemperaturen unter Weizen nach Pflug- und Mulchsaat in 10 cm

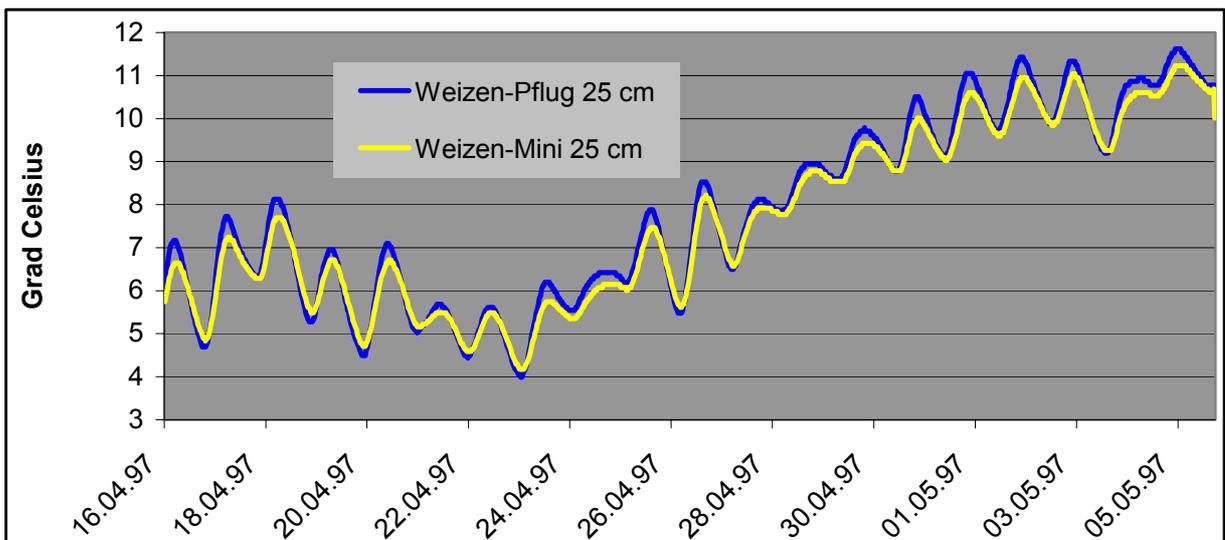


Abbildung 19: Verlauf der Bodentemperaturen unter Weizen nach Pflug- und Mulchsaat in 25 cm Bodentiefe April/Mai 1997 (Mini = Mulchsaat)

Die Bodentemperaturmessungen machten die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten deutlich. So stellte sich natürlich die Frage, ob diese auch in der Pflanzenentwicklung nachgewiesen werden konnten.

In Kapitel 3.1.2.4 wird dazu exemplarisch eine Gegenüberstellung der BBCH-Stadien von Weizen nach Pflug- und Mulchsaat vorgenommen. Die Abbildungen 20 und 21 belegen eindrucksvoll, dass die Pflanzen nach Pflugsaat tatsächlich eine schnellere Entwicklung durchliefen als nach Mulchsaat.

3.1.2.4 Entwicklungsstadien des Weizens bei Pflug- und Mulchsaat

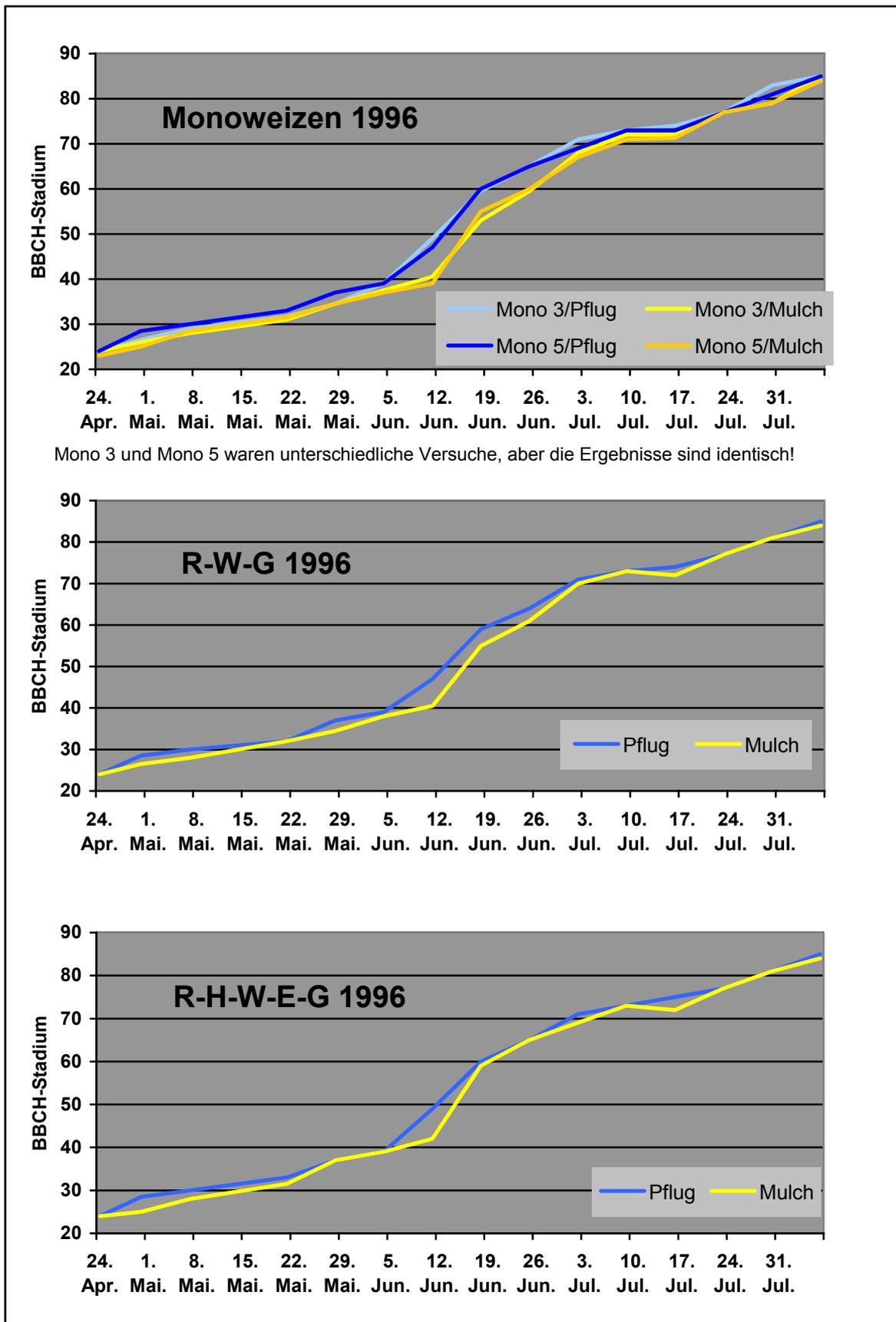


Abbildung 20: Entwicklungsstadien des Weizens nach Pflug- und Mulchsaat 1996

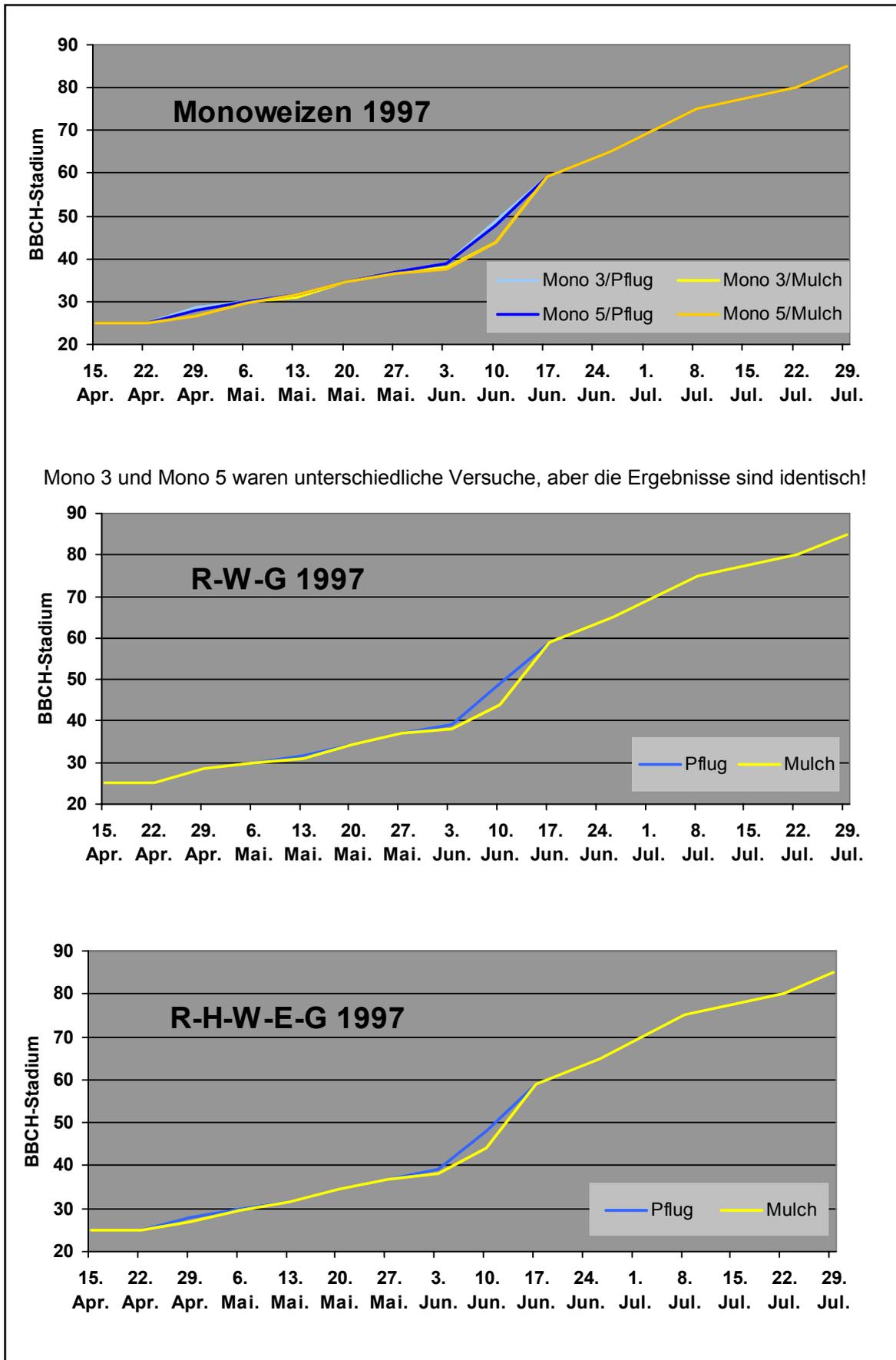


Abbildung 21: Entwicklungsstadien des Weizens nach Pflug- und Mulchsaat 1997

3.1.2.5 Bodentemperatur und BBCH-Stadien von Winterweizen

Um die Unterschiede in der Pflanzenentwicklung besser interpretieren zu können, zeigt Abbildung 22 exemplarisch die korrespondierenden BBCH-Stadien des Weizens und die Bodentemperaturen in 25 cm Tiefe in der wichtigen Entwicklungsphase von Mitte April bis Anfang Mai 1997 auf. In dieser Zeit durchlief der Weizen die Bestockung und erreichte das Schosswachstum. Diese Befunde machen deutlich, dass der Weizen nach Pflugbestellung in der Jugendentwicklung von den höheren Bodentemperaturen profitierte und sich schneller entwickeln konnte als nach Mulchsaat.

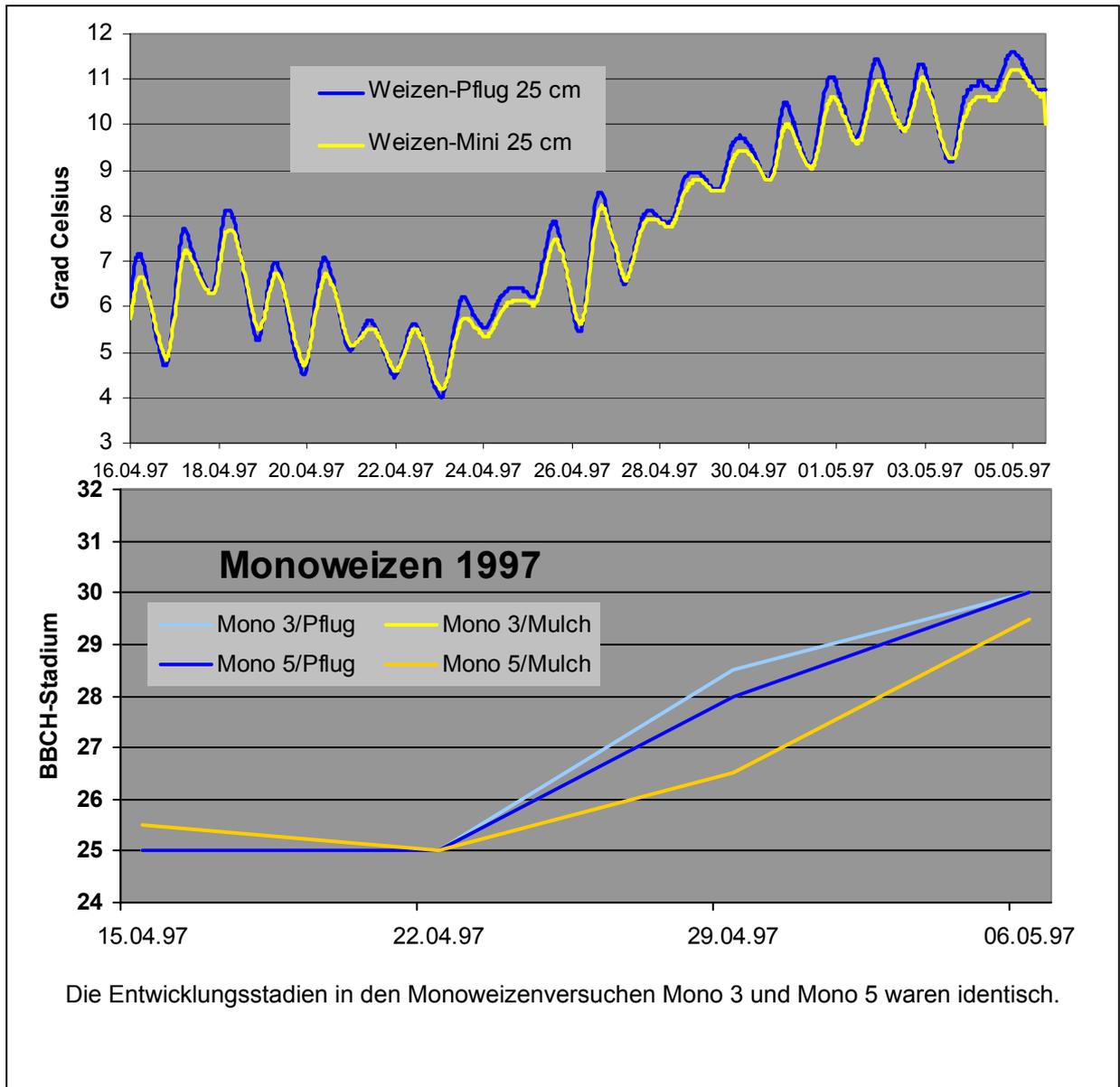


Abbildung 22: Bodentemperatur unter Weizen und die Entwicklungsstadien der Pflanzen im Vergleich von Pflug- und Mulchsaat vom 15.04.97 – 05.05.97

3.1.2.6 Temperaturverlauf unter Raps im April/Mai 1997

Im Frühjahr 1997 waren die Temperaturdifferenzen unter Winterraps sehr ausgeprägt, was hier am Beispiel der Bodentemperaturen in 25 cm Tiefe dargestellt wird. Damit lief der Prozess in der gleichen Form weiter, wie er bereits im März begonnen hatte (s. Kap. 3.1.2.2).

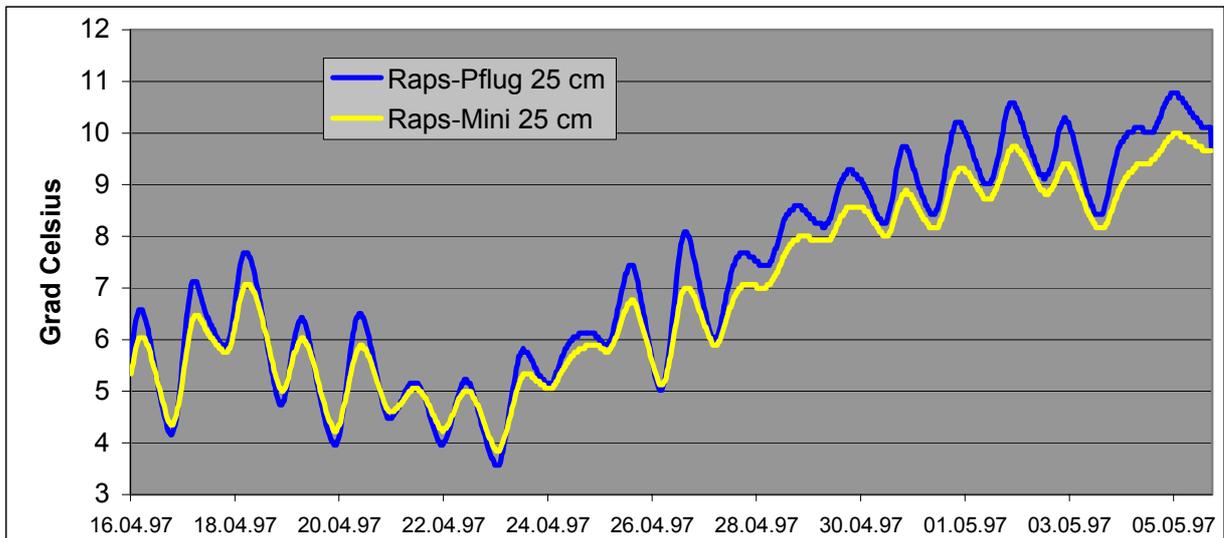


Abbildung 23: Verlauf der Bodentemperaturen unter Raps nach Pflug- und Mulchsaat in 25 cm Bodentiefe April/Mai 1997 (Mini = Mulchsaat)

3.1.2.7 Schlussfolgerungen

Die Messungen im März zeigten, dass zu dieser Zeit im Raps und im Weizen nahezu identische Temperaturverhältnisse herrschten. Mit Einsetzen der Vegetation und allmählichem Schließen der Pflanzenbestände wurden die Unterschiede in den absoluten Temperaturen zwischen Raps und Weizen deutlich größer. Die Bodenerwärmung schritt -bedingt durch die starke Beschattung unter Raps- sehr viel langsamer voran als im Weizen. In beiden Kulturen zeigten sich Ende April/Anfang Mai deutliche Temperaturunterschiede im Vergleich der gepflügten Variante mit der Mulchsaat. Insbesondere in der Bodentiefe 25 cm sind die absoluten Temperaturen nach Pflugbestellung um 0,5 °C bis 1,0 °C höher als in der Mulchsaat. Damit erklärt sich die verzögert einsetzende Mineralisation, von der pfluglos bestellte Bestände dann zwar erst später, dafür aber länger anhaltend profitieren.

Ein Vergleich der Temperaturverläufe in Abbildung 22 mit den Entwicklungsstadien des Weizens zeigt deutlich: Gepflügter Boden unter Weizen erwärmt sich schneller als solcher nach Mulchsaat. Damit ist der Entwicklungsvorsprung dieser Flächen allein schon durch den Temperaturunterschied im Boden zu erklären. Da auch die bodennahe Luftschicht von dieser Erwärmung profitiert, fördert dieser Effekt das Pflanzenwachstum im Frühjahr.

3.2 Die Entwicklung der Erträge

In sämtlichen Feldversuchen erfolgte die Ertragsermittlung mit dem Wintersteiger-Parzellenmähdrescher „Nurserymaster“, indem grundsätzlich 3 m breite Einzelparzellen per Kerndrusch auf 1,5 m Breite in vierfacher Wiederholung geerntet wurden. Das Erntegut jeder Parzelle wurde geborgen und einer Reinigung und Siebfraktionierung unterzogen. Zur Ermittlung der Kornfeuchte und Umrechnung auf die Standardwerte wurden die Ernteproben jeder Parzelle im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz schonend getrocknet.

3.2.1 Winterweizen

Die mehlaugesunde Winterweizensorte „Zentos“ konnte in allen Versuchsjahren gut geführt werden. Probleme gab es lediglich 1998, als die kalte Frühsommerwitterung keinen optimalen Wachstumsreglereinsatz möglich machte und der Weizen dem Lagerdruck in diesem nassen und kalten Sommer nicht Stand hielt.

Die nachfolgenden Grafiken stellen die Erträge aller Versuchsjahre von 1994 - 2001 dar. Um innerhalb dieses langen Zeitraums überhaupt einen Vergleich durchführen zu können, erfolgte *kein Sortenwechsel*. Auch die Produktionsintensität blieb konstant. So lag die gesamte, anrechenbare Stickstoffmenge zwischen 200 und 210 kg/ha N. Der Einsatz der Wachstumsregulatoren erfolgte zu zwei Terminen. Der Fungizideinsatz in einer langjährig geprüften Standardvariante wurde ebenfalls an zwei Terminen durchgeführt: Die erste Applikation erfolgte je nach Septoria-Befallsdruck zwischen BBCH 31-33 mit Opus Top (ca. 0,8 l/ha). Die zweite Behandlung wurde ebenfalls epidemieorientiert zwischen BBCH 49-51 durchgeführt (0,75 l/ha Opus Top + 0,75 l/ha Amistar).

3.2.1.1 Monoweizen

Aufgrund der limitierten N-Düngung machte sich im Monoweizen nahezu lehrbuchartig der bekannte „decline-effect“ bemerkbar: In den ersten Jahren sank die Ertragsleistung (s. Abb. 24) nach Anreicherung von Halmgrunderkrankungen (v.a. *Gaeumannomyces graminis*, *weniger Fusarium spec.* und *Pseudocercospora spec.*). Durch zunehmende Aktivität von Antagonisten und Zersetzern wurde dieser Schaderregerkomplex immer stärker unterdrückt. So stabilisierte sich die Ertragsleistung und erreichte nach einigen Jahren das Ausgangsniveau. Deshalb hatte der Einsatz von Saatgutbeizen gegen Schwarzbeinigkeit in einer derart *etablierten* Monokultur keinen Effekt mehr (Kap. 3.4.1.3). Das zeigte sich auch sehr deutlich im Ertrag < 2 mm (Kümmerkorn), was aus Abbildung 25 hervorgeht.

Äußerst bemerkenswert ist die weitaus schnellere Regeneration der Ertragsleistung bei pfluglos bestelltem Monoweizen. Er schneidet über die Versuchsdauer deutlich besser ab der gepflügte. Damit bestätigt sich die Beobachtung einiger Pioniere des pfluglosen Anbaus auf vergleichbaren Standorten Schleswig-Holsteins!

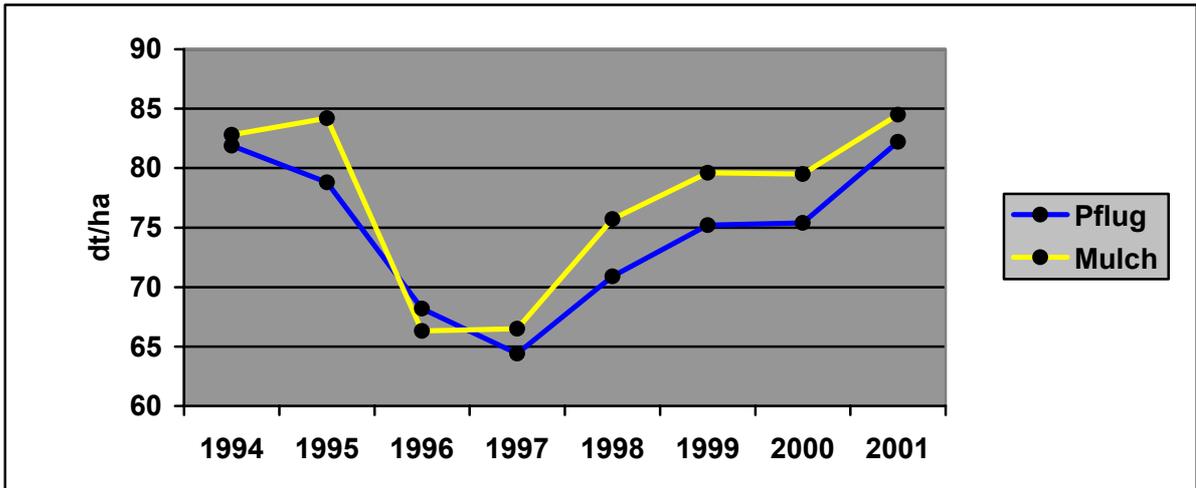


Abbildung 24: Kornertrag > 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ bei Monokultur; Mittelwerte aus vier Einzelversuchen bei zweimaligem Fungizideinsatz

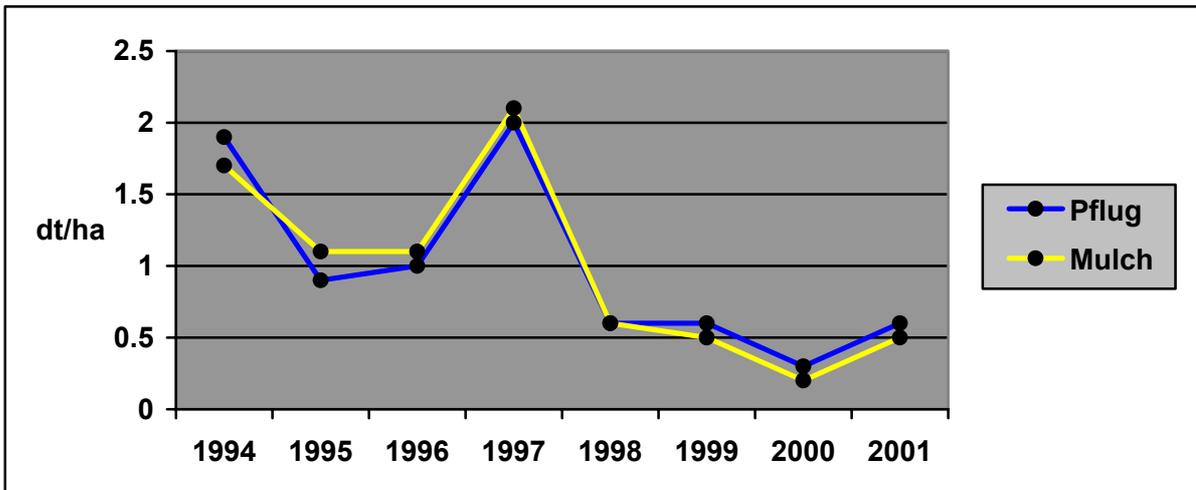


Abbildung 25: Kornertrag < 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ bei Monokultur; Mittelwerte aus vier Einzelversuchen bei zweimaligem Fungizideinsatz

Die Kurve des Kornertrages > 2 mm verläuft nahezu spiegelsymmetrisch zur Kornertragskurve < 2 mm. Damit wird deutlich, dass die Wachstums- und Entwicklungsbedingungen der Weizenpflanzen in der Monokultur im Laufe der Jahre immer besser geworden sind.

Auch die positive Entwicklung der Tausendkornmassen deutet auf eine erhebliche Verbesserung und Stabilisierung der Wachstums- und Entwicklungsbedingungen für den Monoweizen hin (s. Abb. 26). Es sind keine Unterschiede in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung erkennbar.

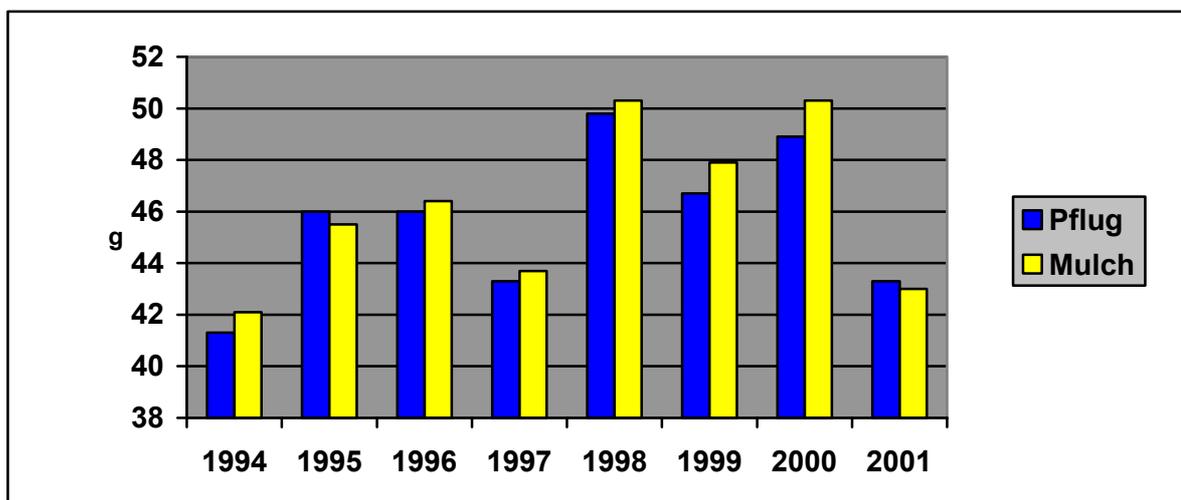


Abbildung 26: TKM bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ bei Monokultur; Mittelwerte aus vier Einzelversuchen bei zweimaligem Fungizideinsatz

Beim Hektolitergewicht (Abb. 27) treten keine auffälligen Veränderungen hervor, da diese Eigenschaft sortentypisch ausgeprägt und somit genetisch verankert ist.

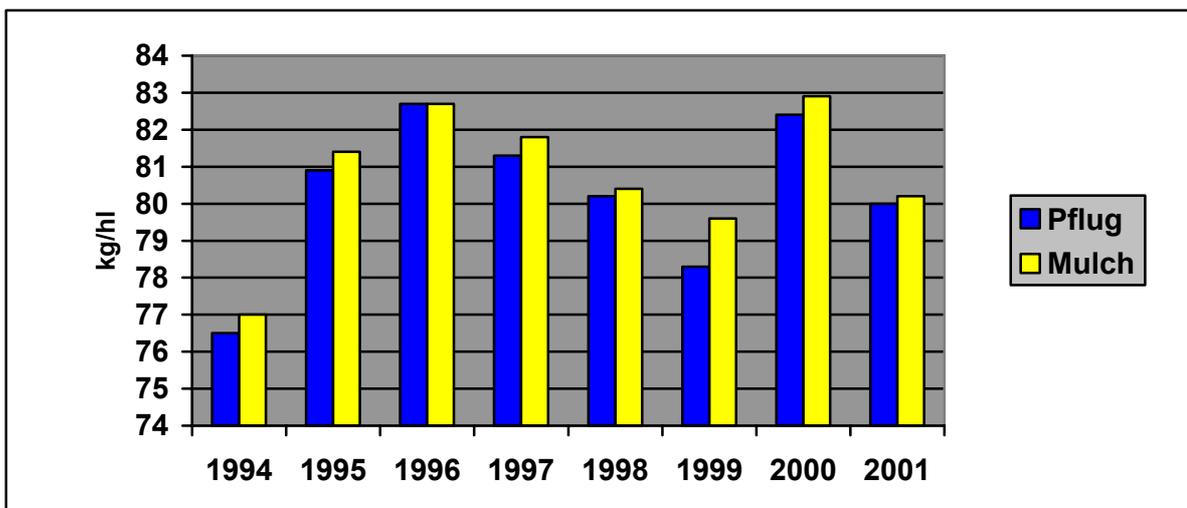


Abbildung 27: HLG bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ bei Monokultur; Mittelwerte aus vier Einzelversuchen bei zweimaligem Fungizideinsatz

3.2.1.2 Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste

Auch in der dreigliedrigen Fruchtfolge fiel bereits im ersten Anbaujahr die Überlegenheit des pfluglosen Anbausystems (Abb. 28) durch deutlich höhere Erträge auf. Diese lagen noch über dem Niveau des Monoweizens und erreichten in mehreren Jahren weit über 90 dt/ha. In Anbetracht der Qualitätsstufe der Sorte „Zentos“ (E) sowie der limitierten mineralischen N-Düngung wurde damit ein außergewöhnlich hohes Ertragsniveau erreicht.

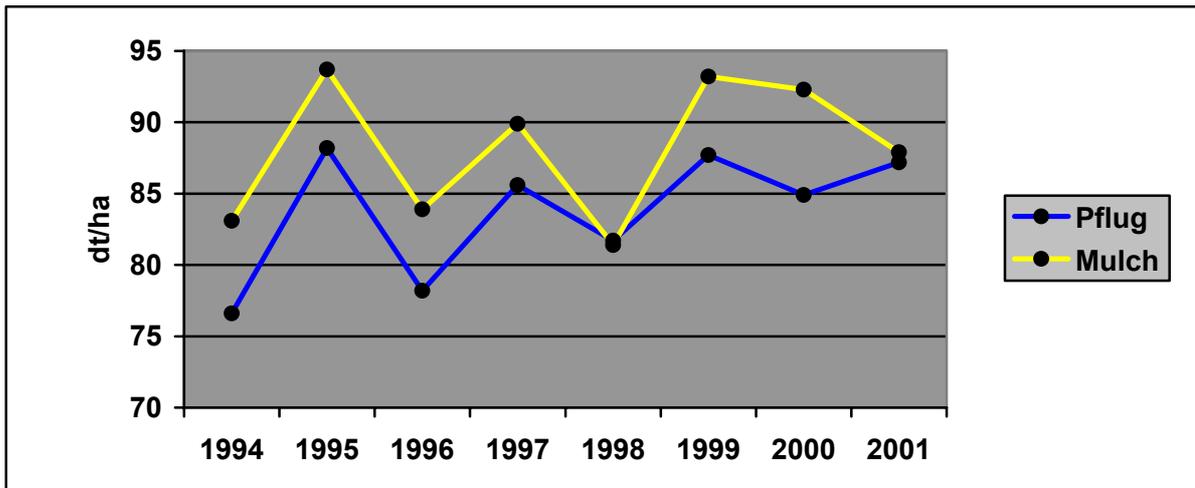


Abbildung 28: Kornertrag > 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz

Der Ertrag < 2 mm (Abb. 29) fiel in beiden Bodenbearbeitungsstufen mit Ausnahme des Jahres 1996 auf ein stabiles und niedriges Niveau von nur ca. 0,3 dt/ha.

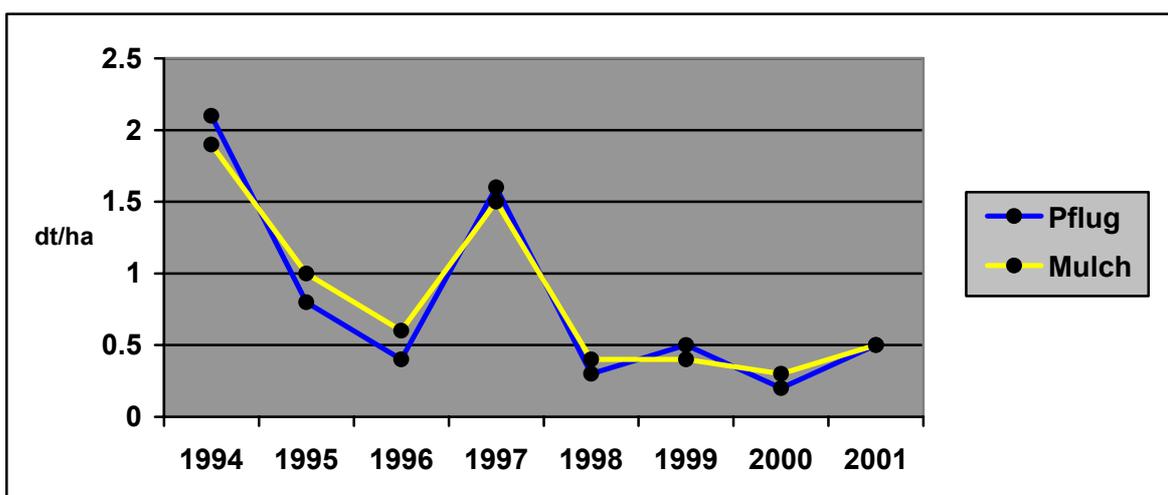


Abbildung 29: Kornertrag < 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz

Auch in der Entwicklung von TKM (Abb. 30) und HLG (Abb. 31) gab es keine ausgeprägten Unterschiede, die auf die Bodenbearbeitung zurückgeführt werden konnten.

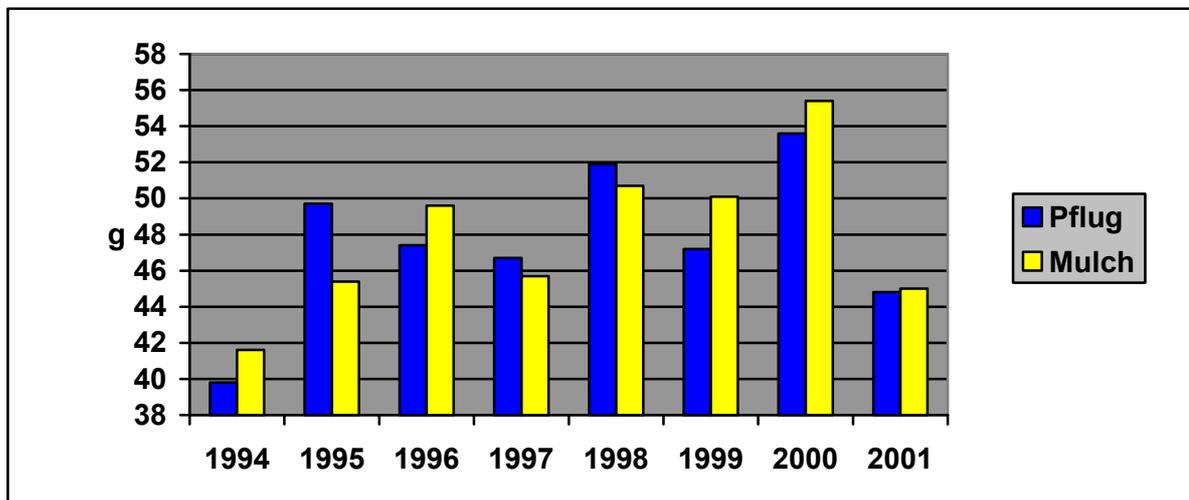


Abbildung 30: TKM bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz

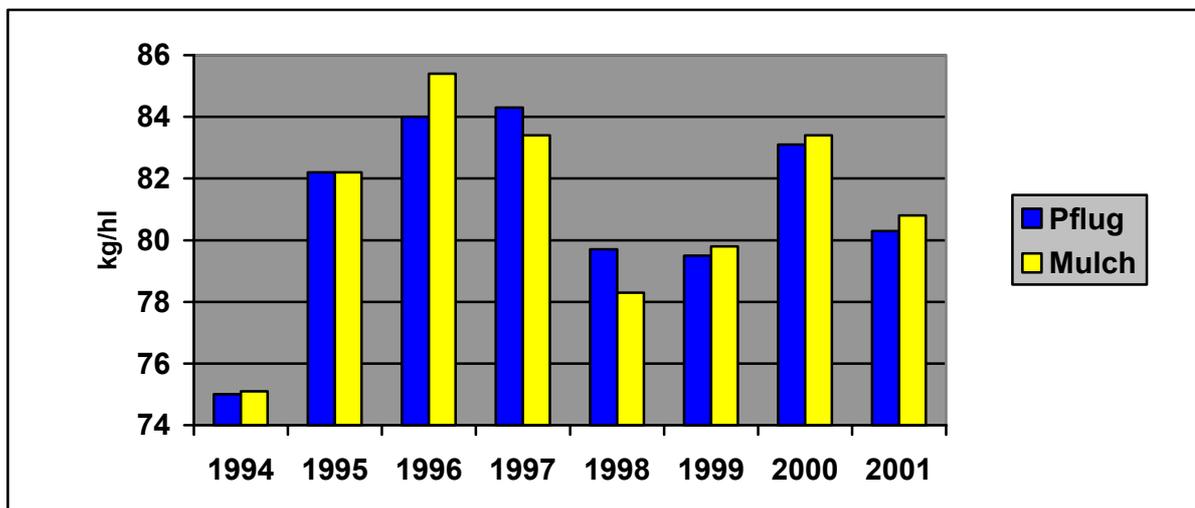


Abbildung 31: HLG bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste bei zweimaligem

3.2.1.3 Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste

In der fünfgliedrigen Fruchtfolge lagen die Erträge des pfluglos bestellten Weizens durchgehend *unter* denen der gepflügten Variante. Das Ertragsniveau nach Pflugbestellung war allerdings auch noch höher als in der dreigliedrigen Fruchtfolge (Abb.32).

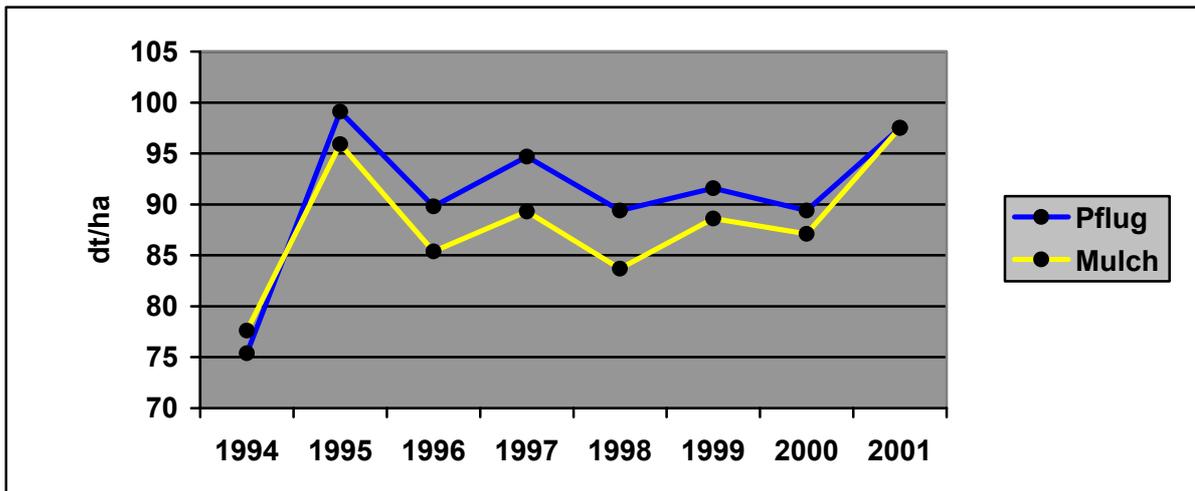


Abbildung 32: Kornertrag > 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz

Beim Kornertrag < 2 mm (Abb. 33) ergaben sich auch in dieser Fruchtfolge keine Unterschiede, die auf die Bodenbearbeitung zurückgeführt werden konnten.

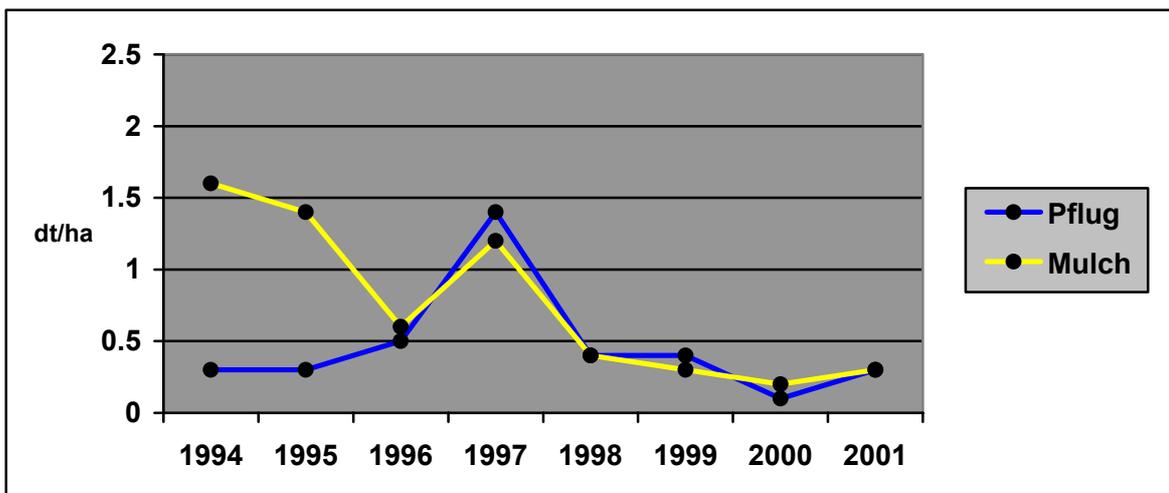


Abbildung 33: Kornertrag < 2 mm bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste bei zweimaligem Fungizidein

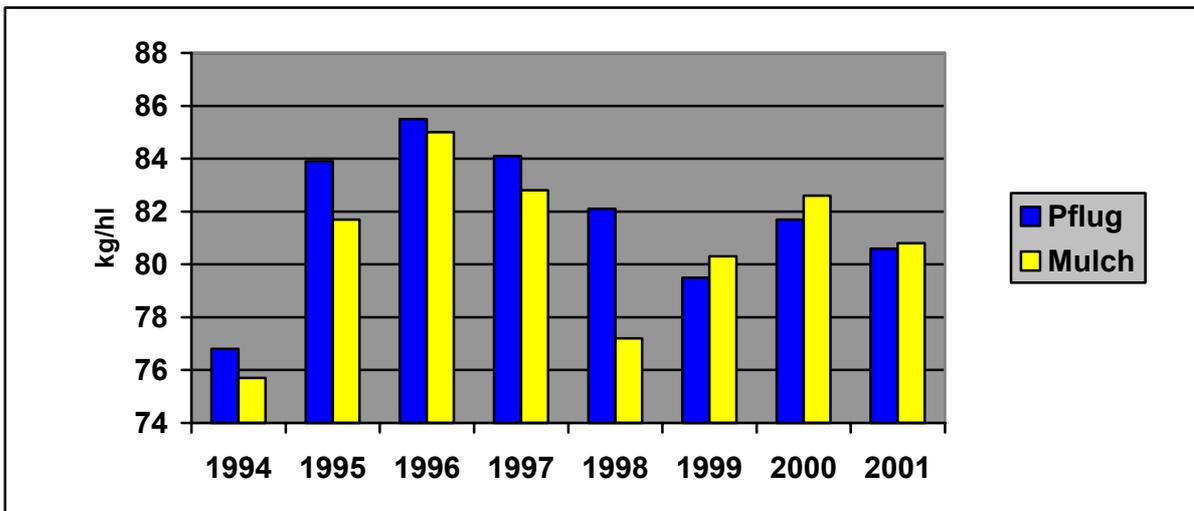


Abbildung 34: HLG bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste bei zweimaligem Fungizideinsatz

Die Hektolitergewichte (Abb. 34) des Weizens in der fünfgliedrigen Fruchtfolge unterschieden sich nur 1998 signifikant in Ähngigkeit von der Bodenbearbeitung, da die Mulchsaatvariante stärker unter Lagerdruck zu leiden hatte als die gepflügte.

Die Tausendkornmassen (Abb. 35) zeigten auch in dieser Fruchtfolge keine Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Eine Ausnahme bildeten allerdings die beiden ersten Jahre der Versuchsserie, in denen sich aber auch die Erträge < 2 mm (vgl. Abb. 33) der Pflug- und Mulchsaat sehr deutlich unterschieden.

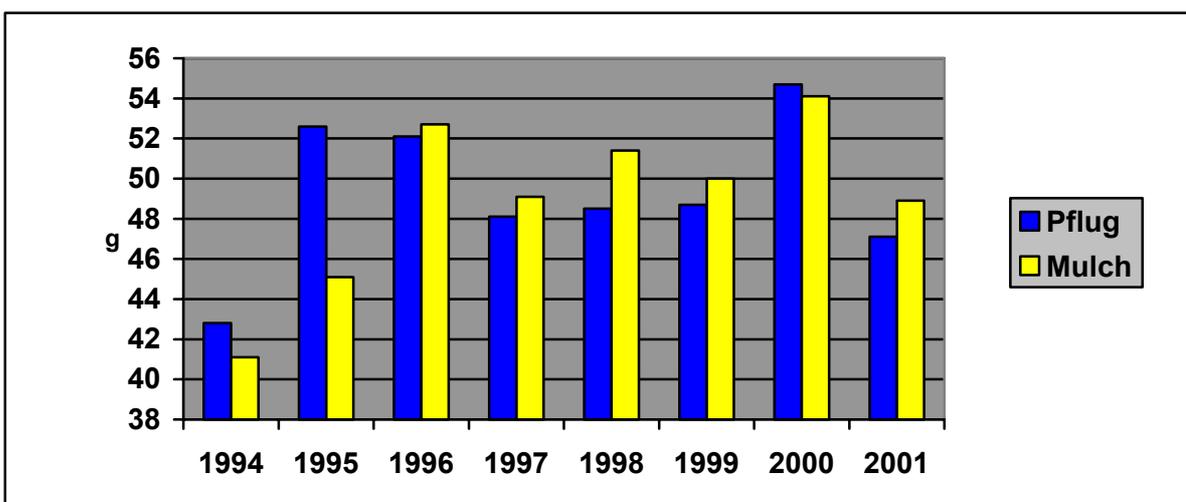


Abbildung 35: TKM bei 14% Feuchte im Winterweizen „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste bei zweimaligem Fungizi

3.2.2 Wintergerste

Die Wintergerstensorte „Krimhild“ war aufgrund ihrer Halmlänge im Jahr 1998 einem äußerst starken Lagerdruck ausgesetzt, wodurch in allen Fruchtfolgen ein Ertragsseinbruch verursacht wurde.

3.2.2.1 Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste

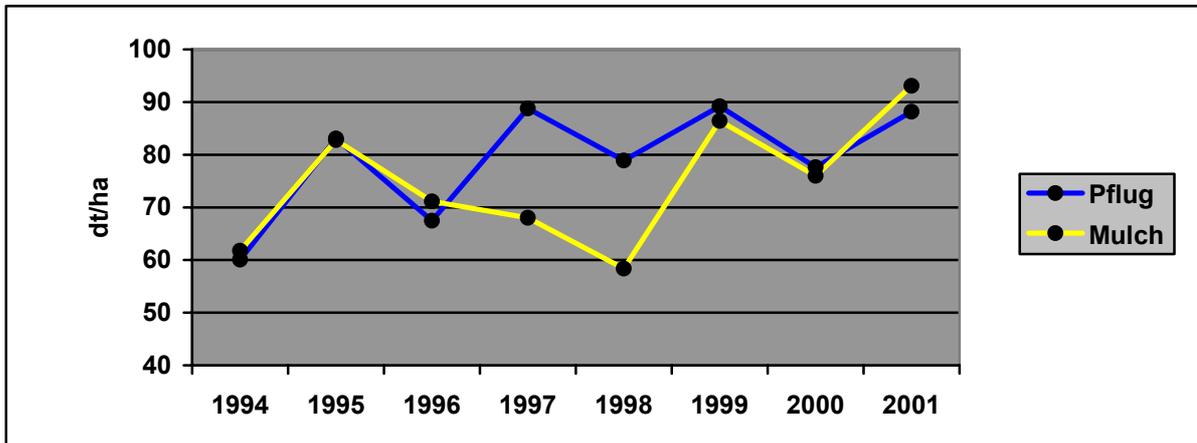


Abbildung 36: Erträge der Wintergerste „Krimhild“ > 2,2 mm nach Weizen bei zweifachem Fungizideinsatz in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste

3.2.2.2 Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste

Die hohe Bodenfeuchte sorgte 1998 einerseits für eine anhaltende und ausgeprägte N-Mineralisation nach Futtererbsen, andererseits waren die Witterungsbedingungen für den Wachstumsreglereinsatz außerordentlich schlecht. Hohe Niederschläge und Stürme sorgten in der langstrohigen „Krimhild“ somit für erhebliches Lager.

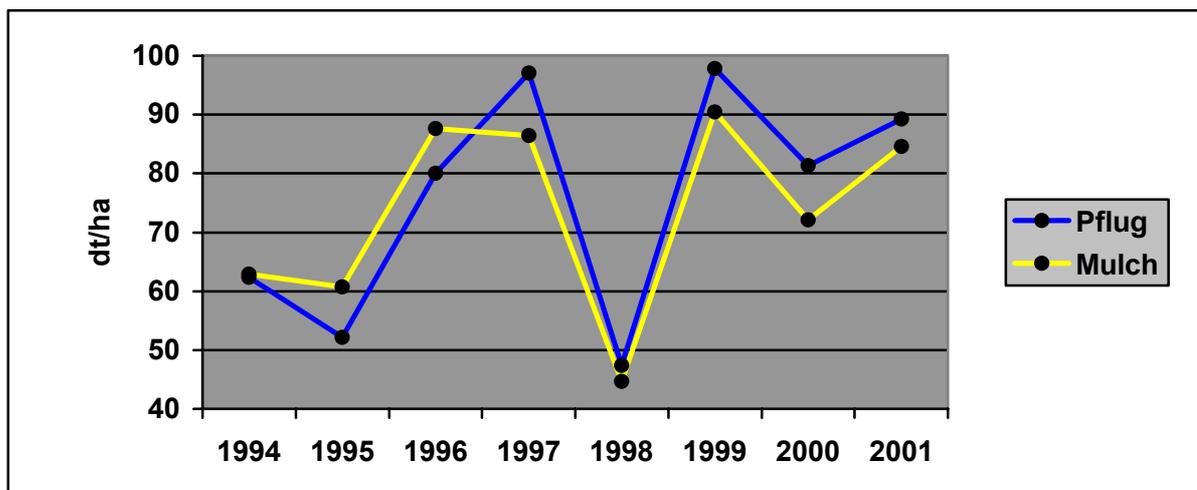


Abbildung 37: Erträge der Wintergerste „Krimhild“ > 2,2 mm nach Erbsen bei zweifachem Fungizideinsatz in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-

3.2.3 Winterraps

Die Kornerträge der Winterrapssorte „Express“ zeigten –wie auch in der landwirtschaftlichen Praxis- erhebliche Unterschiede in den Versuchsjahren, von denen Pflug- und Mulchsaat aber gleichermaßen betroffen waren. Im Mittel der Jahre brachte die Mulchsaat in der dreigliedrigen Fruchtfolge höhere Erträge als die Pflugbestellung.

Das Ertragsniveau lag in der fünfgliedrigen Fruchtfolge über dem der dreigliedrigen. Verantwortlich hierfür ist der deutlich niedrigere Befall mit der „Krankhaften Abreife“ (*Verticillium dahliae*), was in Kapitel 3.4.3.1 ausführlich dargestellt wird.

3.2.3.1 Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste

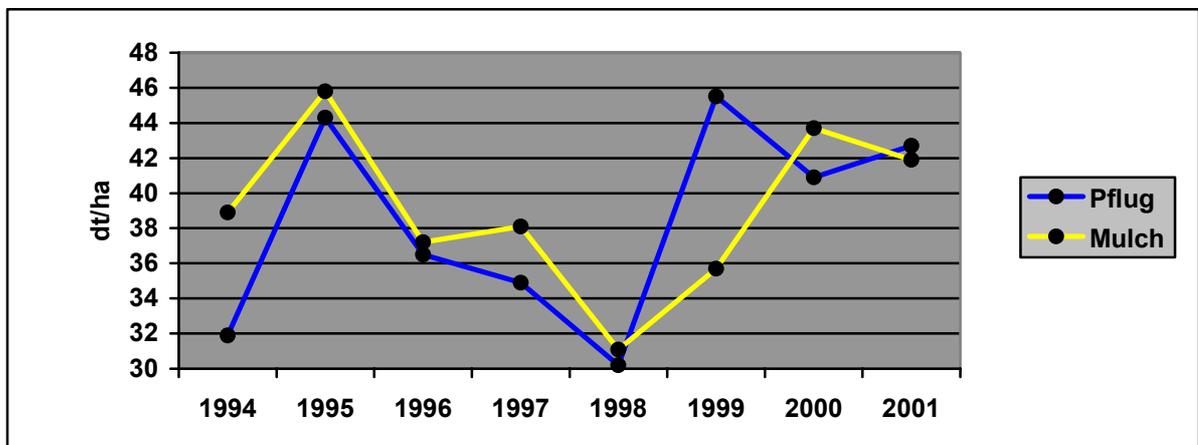


Abbildung 38: Kornerträge > 1,0 mm der Sorte „Express“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste

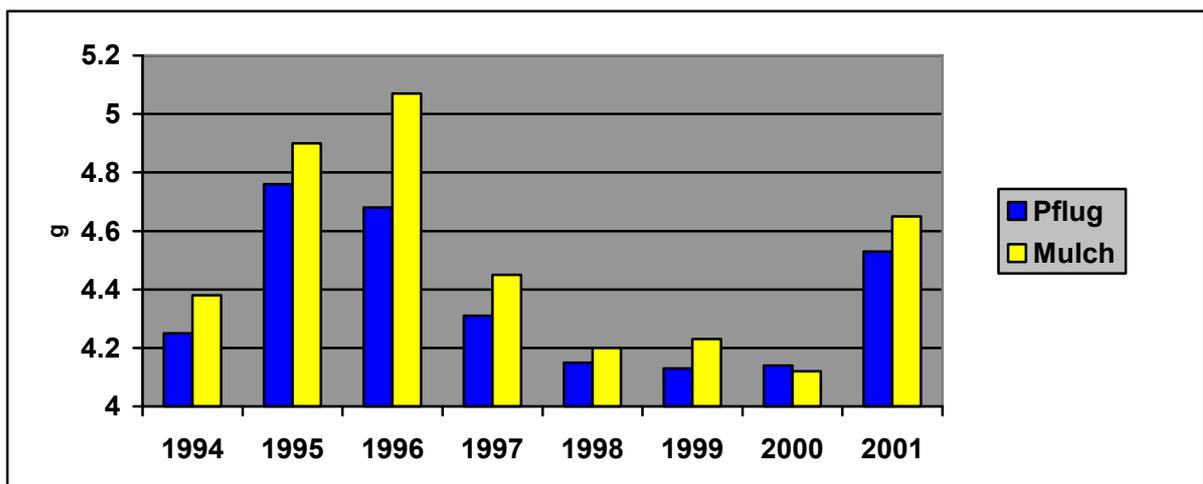


Abbildung 39: Die TKM der Rapssorte „Express“ bei Mulchsaat war in fast allen Versuchsjahren höher als bei Pflugbestellung

3.2.3.2 Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste

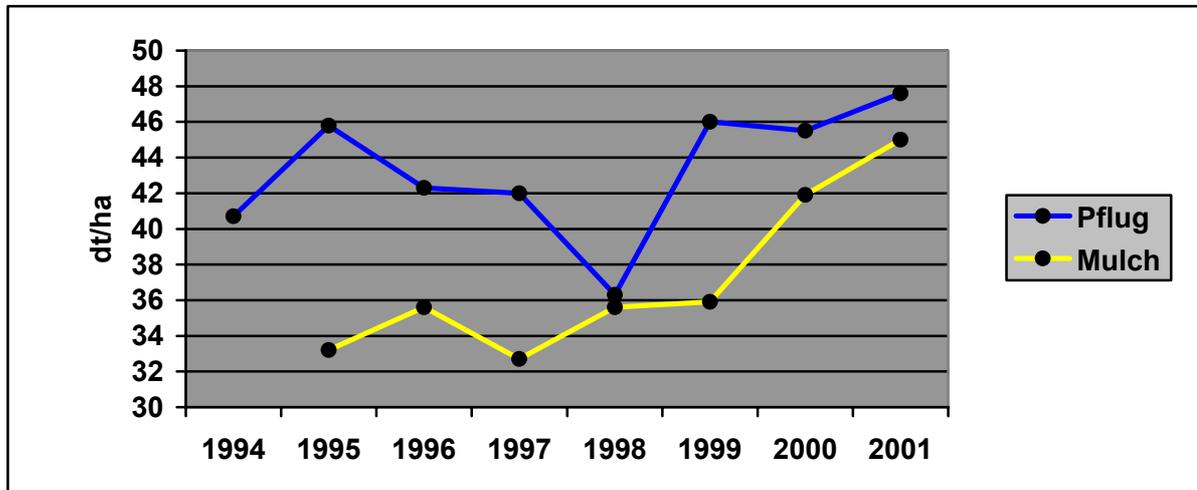


Abbildung 40: Erträge der Rapssorte „Express“ > 1,0 mm in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste

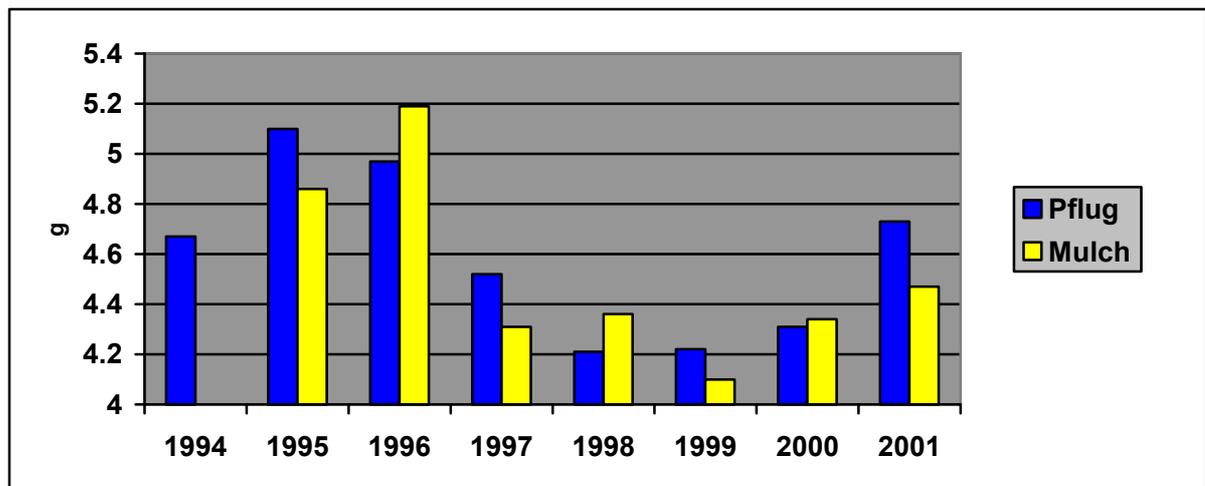


Abbildung 41: In der fünfgliedrigen Fruchtfolge waren deutlich größere Unterschiede in der Tausend-kornmasse in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung zu verzeichnen als in der dreigliedrigen

In der fünfgliedrigen Fruchtfolge lagen die Rapsertträge der Mulchsaat deutlich unter denen der gepflügten Variante. Das Ertragsniveau übertraf allerdings das der dreigliedrigen Fruchtfolge, die sehr viel stärker auf den Befall mit der Krankhaften Abreife reagierte.

3.2.4 Sommerhafer

Die Einbindung der Sommerfrucht Hafer war ackerbaulich problemlos zu handhaben und erbrachte hohe Erträge bei durchgehend guten Qualitäten. Flankierender Pflanzenschutz war meist nur gegen Echten Mehltau und Getreideblattläuse nach Erreichen der Schwellenwerte erforderlich.

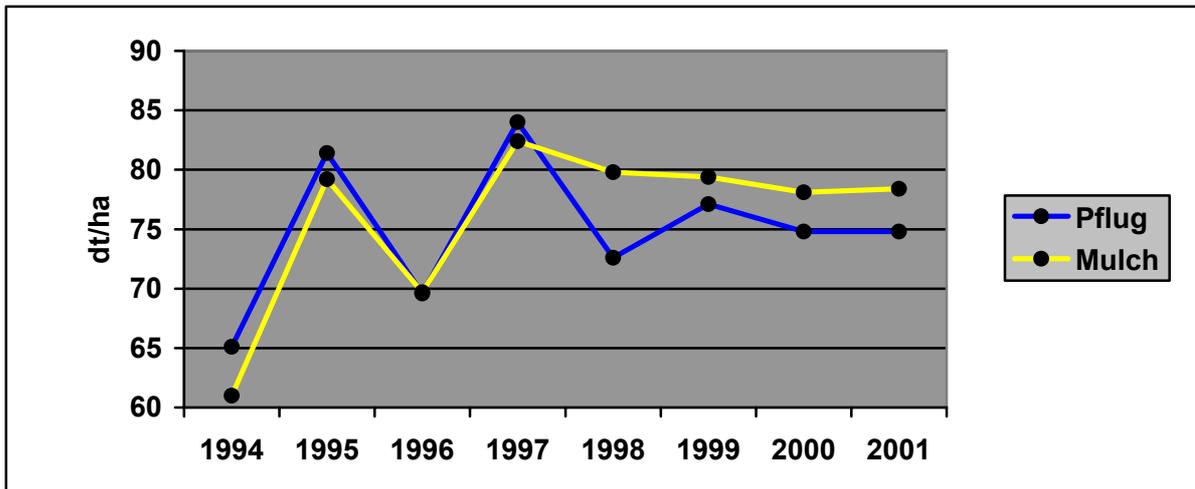


Abbildung 42: Die Sommerhafersorte „Jumbo“ erbrachte im Laufe der Jahre respektable Erträge bester Kornqualität. Die Mulchsaat war ab 1998 der Pflugbestellung deutlich überlegen

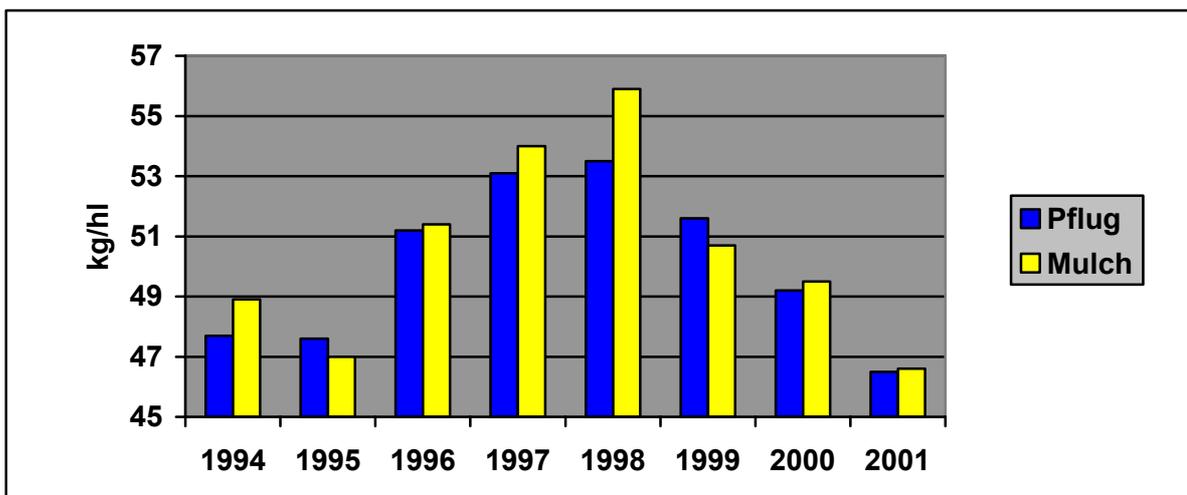


Abbildung 43: Die Hektolitergewichte der beiden Bodenbearbeitungsvarianten zeigten im Laufe der Jahre keine signifikanten Unterschiede.

3.2.5 Futtererbsen

Der Anbau der Futtererbsen erfolgte ausschließlich zur Auflockerung der Fruchtfolge und N-Anreicherung durch eine Leguminosenart. Aufgrund der bekannten Witterungsabhängigkeit zur Ernte waren starke Ertragsschwankungen zu erwarten. Im Versuchsbetrieb erfolgte mit Vorrang die Beerntung des Rapses und der Getreidearten. Ungünstige Witterung brachte es deshalb mit sich, dass die Futtererbsen vor allem in den Jahren 1998 und 2001 erst nach erheblichen Niederschlägen in der abreifenden Kultur beerntet werden konnten. Damit waren Ertragseinbußen unausweichlich.

In allen Jahren hatten die Erbsen in der Mulchsaat große Auflaufprobleme. Ursachen dafür waren einerseits die niedrigeren Bodentemperaturen gegenüber der Pflugbestellung, aber sicher auch die festere Bodenlagerung, wodurch die Jungpflanzenentwicklung verzögert wurde. Hinzu kommt, dass die gestressten Jungpflanzen verstärkt von Tauben angefliegen und gefressen wurden. Die Ursache liegt in der Stoffwechselstörung dieser Pflanzen, was zur Anreicherung bestimmter Inhaltsstoffe führte. Dadurch wurden diese Pflanzen von Vögeln bevorzugt wahrgenommen und geschädigt. Vergleichbare Effekte sind aus Gemüsebaukulturen seit Jahrzehnten bekannt.

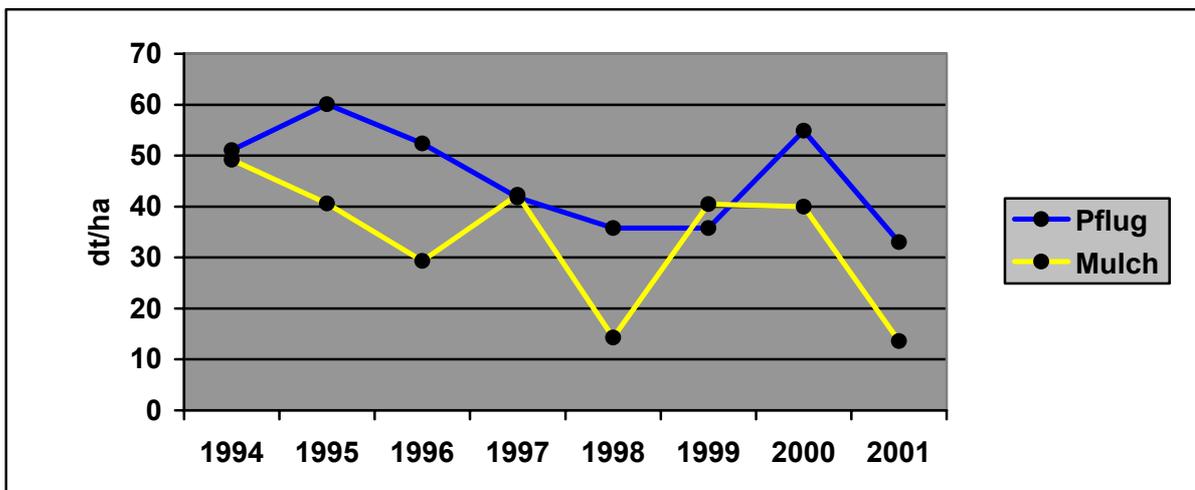


Abbildung 44: Erträge von Futtererbsen bei Pflug- und Mulchsaat

Das mittlere Ertragsniveau der Futtererbsen lag bei ca. 40 dt/ha. Aus heutiger Sicht wäre es interessanter gewesen, anstelle der Futtererbsen Ackerbohnen oder ein Bohnen-Erbsen-Gemenge anzubauen. Auf dem Versuchsstandort Ostenfeld konnten in den vergangenen Jahren mit diesen Kulturen Erträge von über 60 dt/ha bei hoher Erntesicherheit realisiert werden, wobei gerade Ackerbohnen mit pfluglos bestellten Ackerflächen sehr gut zurechtkommen.

3.3 Rohproteingehalte (Weizen)

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zahlreiche Inhaltsstoffe der Pflanzen sowie des Erntegutes im Labor des Fachbereiches Landbau untersucht. Für die praktische Landwirtschaft ergeben sich interessante Erkenntnisse vor allem beim Rohproteingehalt des Weizens.

Neben dem Rohprotein spielt auch der Schwefel eine Rolle, zumal in den qualitätsbestimmenden Proteinen des Korns relativ hohe Gehalte in den wertbestimmenden Aminosäuren auftreten.

3.3.1 Rohprotein und Schwefel in Weizenkörnern

Um einen Vergleich zwischen Pflug- und Mulchsaat möglich zu machen, wurden sämtliche Versuche mit allen Versuchsvarianten über alle Versuchsjahre auf das Merkmal Bodenbearbeitung verrechnet. Aus dem großen Datenfundus ergab sich – bis auf 1995- durchgehend ein statistisch abgesicherter, höherer Rohproteingehalt in den Weizenkörnern bei Mulchsaat!

In gleichem Maße ist davon der Schwefelgehalt betroffen, der mit dem Rohproteingehalt eng korreliert ist. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Ergebnisse aus der Verrechnung Tausender Versuchsdaten aus den Jahren 1995 bis 2001.

Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass die Mulchsaat im Boden eine stärkere Stickstoff-Mineralisierung zur Folge hatte, die den Weizenpflanzen während der Kornfüllungsphase zu besseren Proteinqualitäten verhalf. Die N_{\min} -Analysen führten sehr schnell zu einer Bestätigung dieser Hypothese (s. Kap. 3.5 und Abb. 70 – 99).

Hierbei spielen auch Vorgänge in tieferen Bodenschichten eine Rolle, in denen im Sommer noch eine Wurzelneubildung mit aktiver Nährstoffaufnahme erfolgt. Es stellt sich dabei natürlich die Frage, wodurch gerade in den tieferen Schichten des Bodens eine so deutliche Aktivierung der Mineralisation als Folge der Mulchsaat erfolgen konnte.

Im letzten Versuchsjahr fanden die Vermutungen ihre Bestätigung. Es konnte nämlich gezeigt werden, dass sich die Anzahl stabiler Regenwurmgänge unter Mulchsaat nahezu verdoppelte (Kap. 3.6). Somit führte die bessere Bodendurchlüftung zu einer Förderung des Stoffwechsels im Bereich der Wurzelhaarzellen. Darüber hinaus fand auch in der späten Entwicklung des Weizens noch eine Wurzelneubildung in den tieferen Bodenschichten statt. Somit konnte hier noch eine Stickstoffaufnahme erfolgen, während diese in den oberen Bodenschichten aufgrund der durch Trockenheit eingeschränkten Wurzelneubildung nicht mehr stattfand.

Tabelle 2: Statistische Verrechnung der Rohprotein- und Schwefelgehalte in Weizenkörnern über alle Varianten und alle Versuchsjahre.

Bodenbearbeitung	Versuchsjahr	Rohprotein (%)	Duncan-Test*	Schwefel (mg/kg)	Duncan-Test*
Pflug	1995	12.5	a	1375	a
Mulch	1995	12.6	a	1398	b
Pflug	1996	14.9	a	1487	a
Mulch	1996	15.2	b	1504	b
Pflug	1997	13.3	a	1223	a
Mulch	1997	14.3	b	1355	b
Pflug	1998	12.5	a	1224	a
Mulch	1998	12.8	b	1281	b
Pflug	1999	12.2	a	1130	a
Mulch	1999	13.4	b	1242	b
Pflug	2000	12.8	a	1354	a
Mulch	2000	14.0	b	1412	b
Pflug	2001	13.5	a	1352	a
Mulch	2001	14.2	b	1403	b

* **Erläuterung:** Unterschiedliche Buchstaben symbolisieren den signifikanten Unterschied zwischen verschiedenen Varianten

Die statistische Verrechnung aller Daten zeigt, dass –mit Ausnahme von 1995- die höheren Rohprotein- und Schwefelgehalte in den Mulchsaatvarianten nicht zufällig entstanden sind, sondern dem Bodenbearbeitungsverfahren zugeordnet werden können. Mulchsaat führte somit im Laufe der gesamten Versuchsdauer im Winterweizen der Sorte „Zentos“ zu höheren Rohproteingehalten als die Bestellung mit dem Pflug.

Dieser Befund deckt sich mit der Beobachtung von Praktikern. Das gilt insbesondere für Weizensorten aus den Qualitätsstufen E und A, die aufgrund ihrer genetischen Eigenschaften ganz besonders zur Proteinbildung befähigt sind.

3.3.1.1 Rohproteingehalte

Die Qualitätsanalysen zeigten, dass der Winterweizen „Zentos“ trotz begrenzter Stickstoffversorgung von insgesamt 200 – 210 kg/ha N (einschl. N_{min}) vor allem in der Monokultur, aber auch in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste erheblich **höhere Rohproteingehalte in der Mulchsaat** realisieren konnte! Die pfluglose Variante wurde in der Vegetationszeit genauso mineralisch mit N versorgt wie die gepflügte.

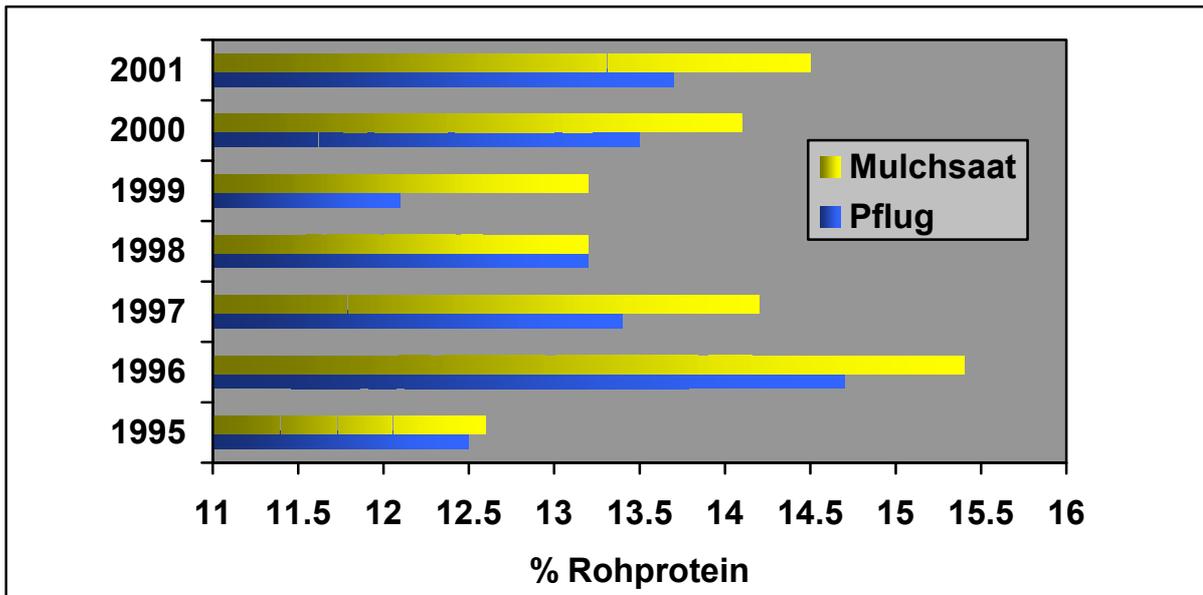


Abbildung 45: Die Rohproteingehalte in der Weizensorte „Zentos“ (Monokultur)

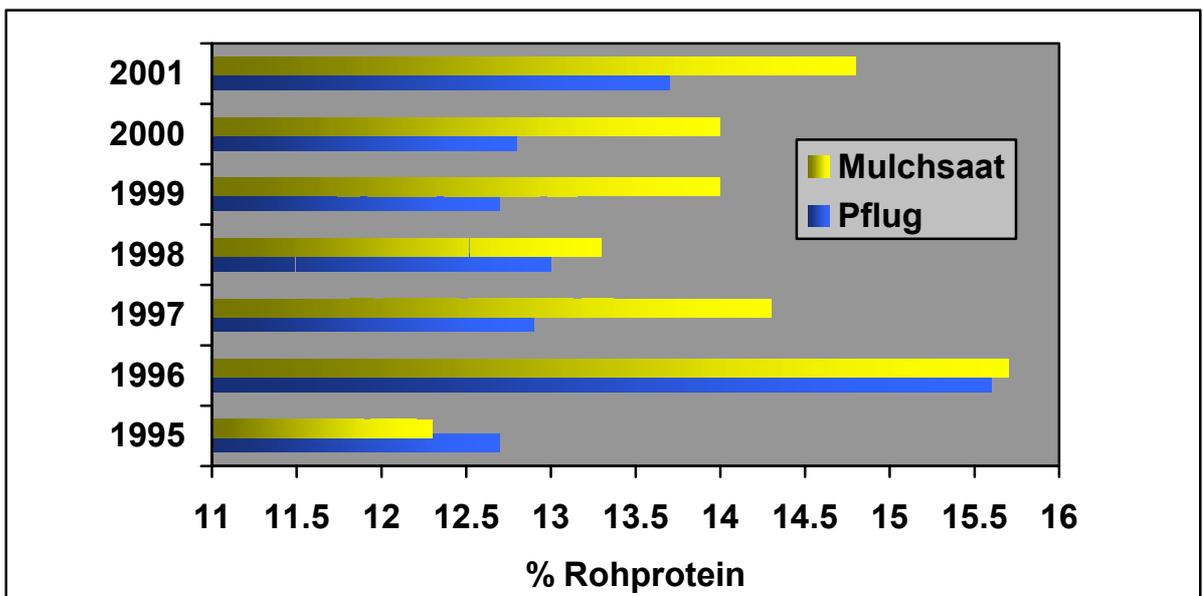


Abbildung 46: Die Rohproteingehalte in der Weizensorte „Zentos“ (Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste)

3.3.1.2 Rohproteinerträge

Betrachtet man neben den Rohproteingehalten einmal die Rohproteinerträge, dann wird deutlich, dass diese sowohl in der Monokultur als auch in der dreigliedrigen Fruchtfolge nach Mulchsaat höher waren, wobei die absoluten Erträge in der dreigliedrigen Fruchtfolge über denen der Mulchsaat lagen. Das heißt, in den Mulchsaatvarianten muss ein höheres Stickstoffangebot während der Kornfüllungsphase vorhanden gewesen sein, das von den Weizenpflanzen für die Proteinsynthese genutzt werden konnte.

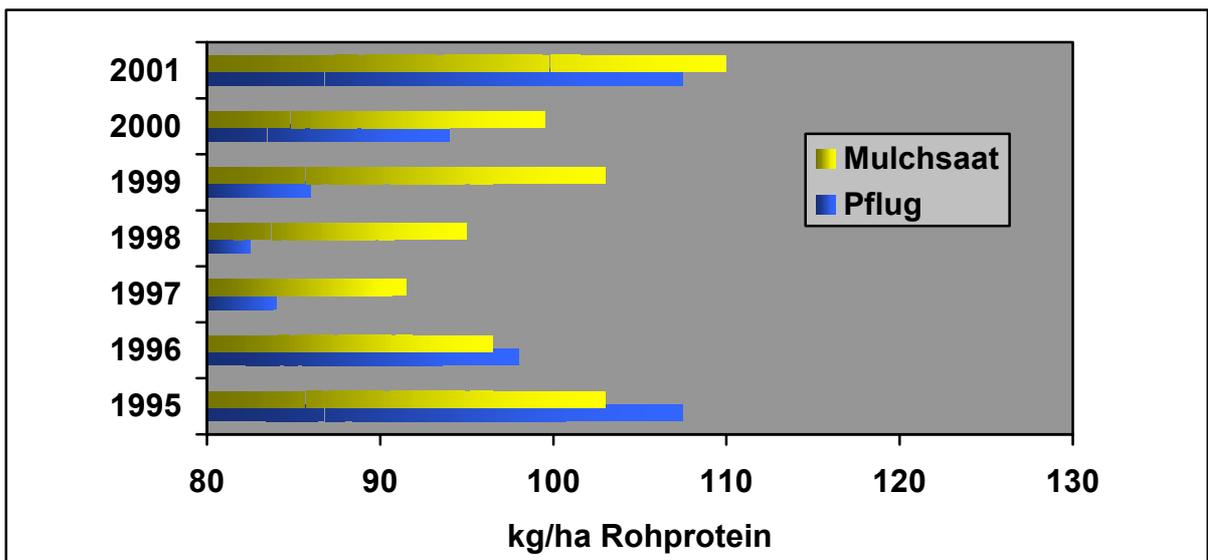


Abbildung 47: Rohproteinertrag der Weizensorte „Zentos“ in der Monokultur

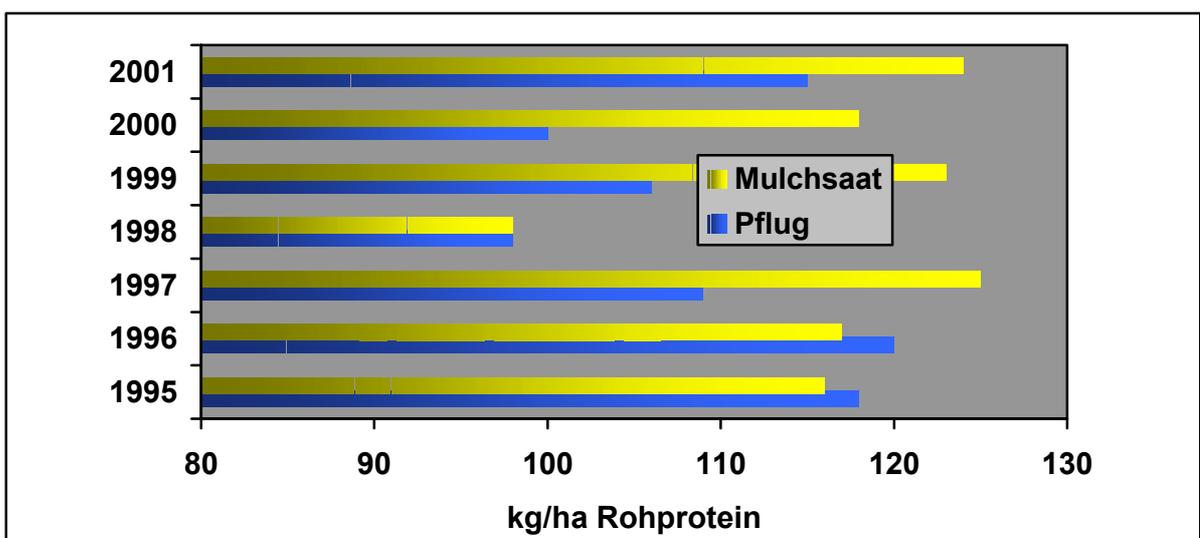


Abbildung 48: Rohproteinertrag der Weizensorte „Zentos“ in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste

3.4 Auftreten pilzlicher Krankheitserreger

Bei Konzeption des Forschungsprojektes wurde ein stärkerer Befallsdruck durch Pilzkrankheiten insbesondere in pfluglos bestelltem Monoweizen vermutet. Es war davon auszugehen, dass auf infizierten Stroh- und Stoppelresten verschiedene Krankheitserreger überdauern können. Im Rahmen der Untersuchung wurde diesen Fragen nachgegangen, und es konnten teilweise überraschende Ergebnisse erzielt werden.

3.4.1 Winterweizen

Winterweizen wird von einer Vielzahl unterschiedlichster Krankheitserreger befallen. Einige davon sind sogenannte *windbürtige* Erreger. Bei diesen erfolgt die Ausgangsinfektion überwiegend durch den Sporeneinflug über die Luft. Ein wichtiges Beispiel hierfür ist der Erreger des Echten Mehltaus (*Blumeria graminis* var. *tritici*), aber auch der Gelbrost (*Puccinia striiformis*) wird auf diesem Weg verbreitet.

Andere Schadpilze können durchaus als *standorttreue* Krankheitserreger angesprochen werden, da sie auf abgestorbenen Pflanzenresten zu überdauern vermögen. Dazu gehören beispielsweise die verschiedenen Fusarium-Arten, der Parasitäre Halmbruch (*Pseudocercospora*-Arten) der Erreger der Septoria-Blattdürre wie auch der Verursacher der DTR-Blatflecken (*Drechslera tritici-repentis*).

Um diese Zusammenhänge zu erfassen, wurden im Laufe der Jahre umfangreiche Krankheitsbonituren durchgeführt, von denen in diesem Kapitel einige typische Beispiele vorgestellt werden.

3.4.1.1 Blattkrankheiten

In den ersten Jahren der Untersuchung zeigte sich, dass die Winterweizensorte „Zentos“ aufgrund ihrer stabilen Mehltau- und Gelbrostresistenz tatsächlich einen integrierten, befallsorientierten Pflanzenschutz möglich machte. Das einzige Krankheitsproblem war die Weizenblattdürre (*Septoria tritici*), gegen die es in der Vergangenheit keine effektive Sortenresistenz gab. Das hohe Schadpotential dieser Blattkrankheit zeigt sich schon daran, dass in allen Versuchsjahren zu Beginn der zweiten Juliwoche die Fahnenblätter in den fungizidfreien Kontrollparzellen oft schon zu 50% zerstört waren (s. Abb. 49). Von der Versuchsanlage 1994 bis zum Jahr 2001 galt dieses für gleichermaßen für Weizen in den Fruchtfolge wie auch für Monoweizen; es gab keine Befallsunterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten.

Im Frühjahr 2000 zeigte sich dann erstmals im pfluglos bestellten Monoweizen ein starker Befallsaufbau der Drechslera-Blattdürre DTR (*Drechslera tritici-repentis*), was Abbildung 50 deutlich macht. In der gepflügten Variante gab es keine Probleme mit dieser Pilzkrankheit, was auf den Infektionskreislauf zurückzuführen ist (s. Abb. 53).



Abbildung 50: Septoria-Blattdürre zerstörte in der unbehandelten Kontrolle ab Juli die Fahnenblätter



Abbildung 49: Im Sommer 2000 trat zum ersten Mal DTR-Befall im pfluglos bestellten Monoweizen auf

3.4.1.1.1 DTR-Blattdürre

Um die starke Zunahme des DTR-Befalls zu verdeutlichen, werden hier Ergebnisse aus dem Jahr 1998 mit denen aus dem Versuchsjahr 2001 verglichen: In Abbildung 51 sind die Blattbonituren aus den Weizenversuchen vom 13.07.98 zusammengestellt:

- Mono 3 und Mono 5: zwei getrennte Monoweizenversuche
- RWG: Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste
- RHWEG: Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste

Abbildung 51 zeigt, dass im 4. Jahr der Versuchsdurchführung auch in der Abschlussbonitur des Weizens kein Befall mit DTR, sondern ausschließlich mit Septoria-Blattdürre aufgetreten war. Die Kontrolle ohne Fungizide (Var. 1) zeigte in den Monokulturen auf dem Fahnenblatt ca. 80% Befall, in der Fruchtfolge RWG waren sogar 100% Befall erreicht. Deutlich gesünder präsentierten sich dagegen die Fahnenblätter in der Fruchtfolge RHWEG. Sowohl die einmalige Fungizidbehandlung (Var. 2) als auch die Standard-Doppelbehandlung (Var. 3) hatten den Septoriabefall auf dem Fahnenblatt auf ca. 20% reduziert.

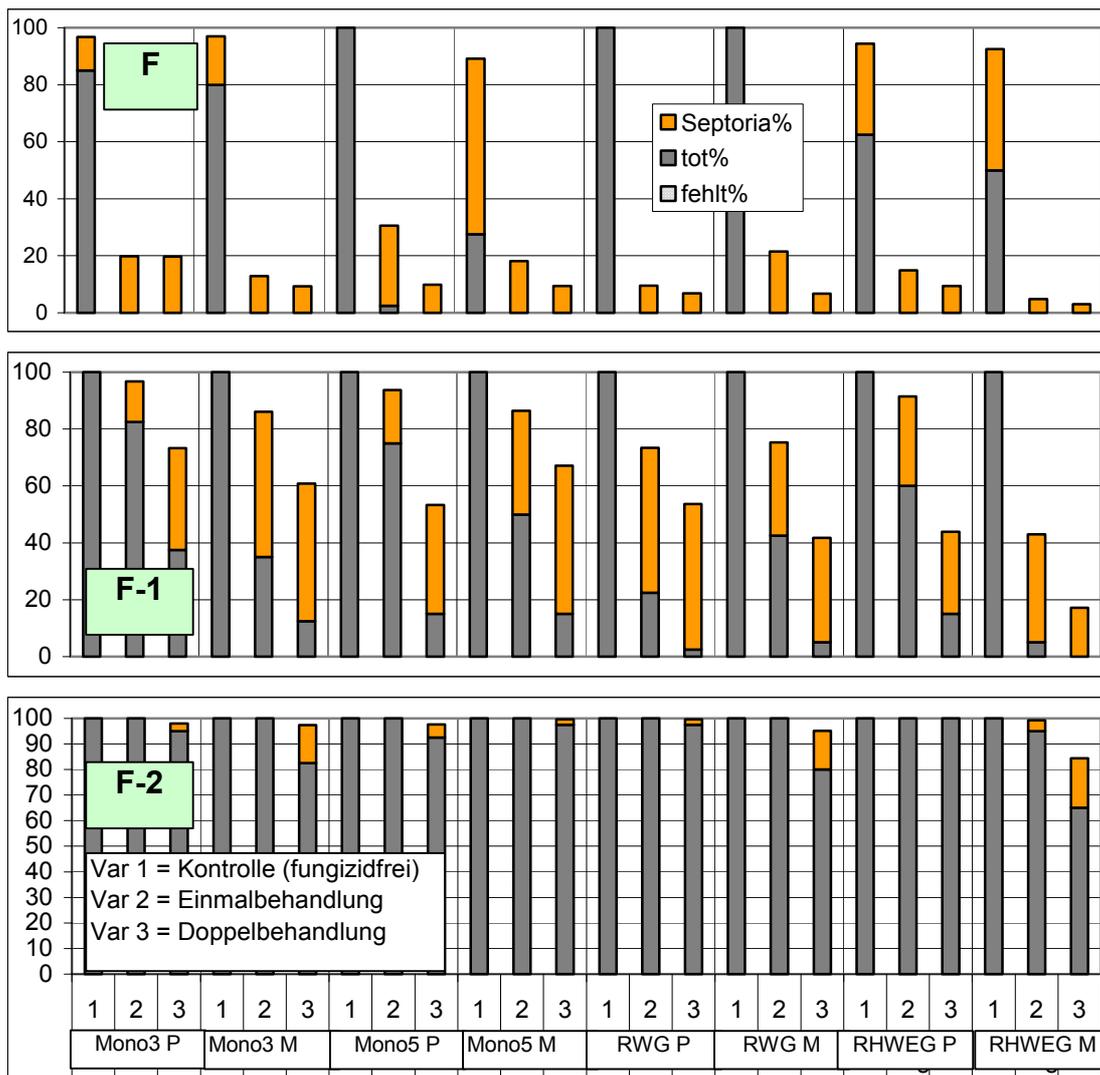


Abbildung 51: Blattbonituren an Weizen vom 13.07.1998

Im weiteren Verlauf der Versuchsjahre konnten hin und wieder ganz sporadisch erste Befallsnester mit DTR im pfluglos bestellten Monoweizen beobachtet werden. Dieser Erreger wurde aber immer wieder sehr schnell von Blattseptoria verdrängt.

Im Frühjahr 2000 hatte sich dann erstmalig eine so starke Population aufgebaut, dass es zu einem erheblichen Befall kam und nun die Blattseptoria im **pfluglos** bestellten Monoweizen von DTR völlig unterdrückt wurde. Auf der linken Seite der Abbildung 52 ist dieser Sachverhalt anhand einer ausgewählten Bonitur des letzten Versuchsjahres (Juli 2001) sehr deutlich zu erkennen.

Aus Abbildung 52 geht auch hervor, dass es keine gravierenden Befallsunterschiede bei Septoria-Blattdürre im Vergleich der Fruchtfolgen R-W-G und R-H-W-E-G gab, was vor allem an den Bonituren von F-1 deutlich wurde.

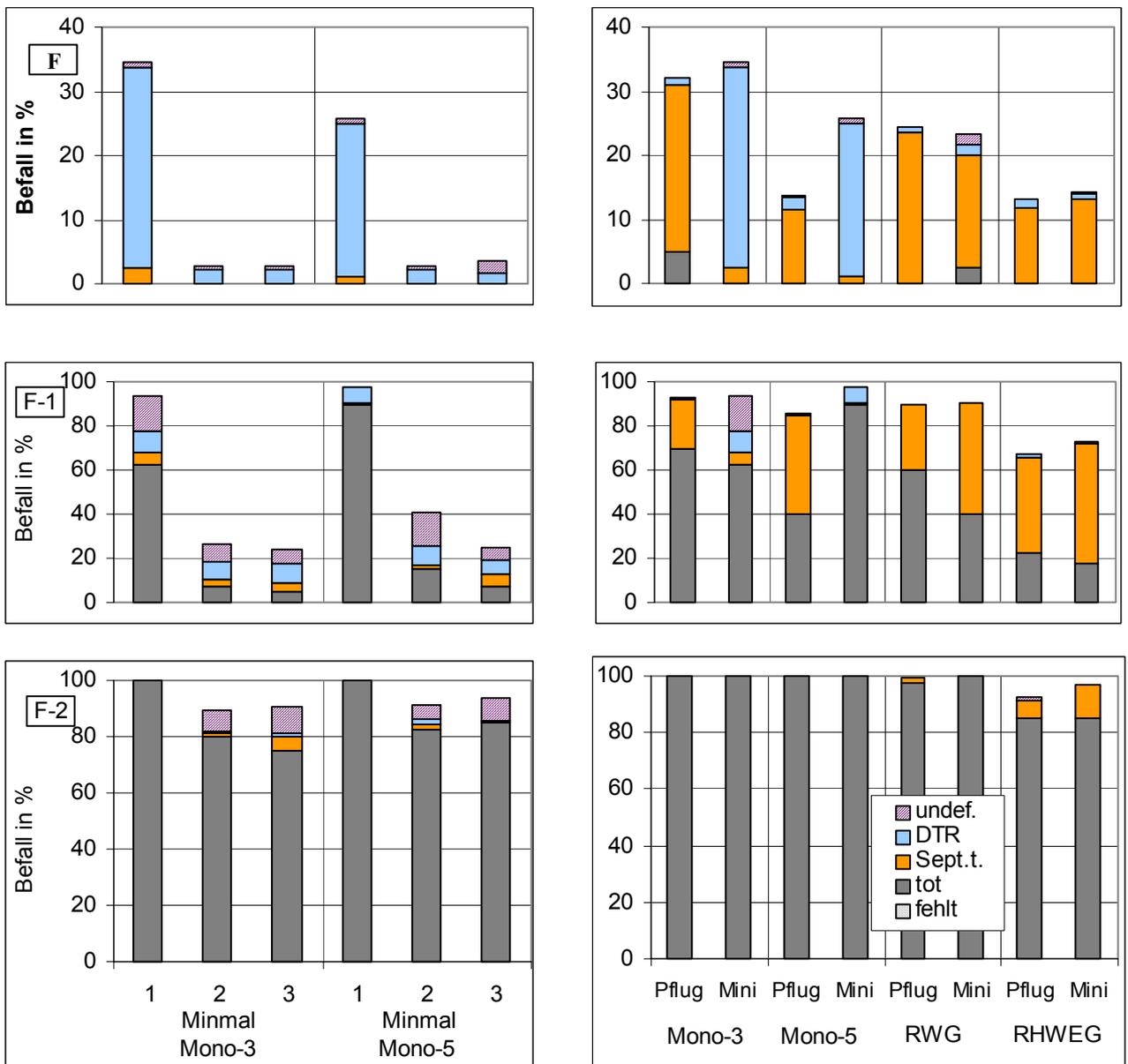


Abbildung 52: Blattbonituren an Weizen vom 10.07.2001 (Minimal = Mulchsaat)

Nach Beginn der Monokultur 1994 hatte es genau sieben Jahre gedauert, bis der DTR-Befall in der **Mulchsaat** dominierte. In den Versuchen reagierte die Sorte „Zentos“ allerdings nur mit einer mittleren Anfälligkeit. So war es möglich, sie in der Standard-Fungizidvariante schon mit zwei gezielten Behandlungen lange Zeit gesund zu erhalten (s. Abb. 55). Für den pfluglosen Anbau von Monoweizen stellt somit die Sortenwahl eine äußerst wichtige Komponente dar!

In einem späteren Versuch (2002) wurde in Ostenfeld die Sorte „Ritmo“ im pfluglosen Monoweizen getestet. Dabei zeigte sich, dass selbst der intensivste Einsatz von Azol- und Strobilurinfungiziden keine ausreichende Unterdrückung dieses aggressiven Schadpilzes ermöglicht.

Aufgrund der hohen Gefahr einer Resistenzbildung seitens DTR kann der Praxis deshalb grundsätzlich die Auswahl möglichst gering anfälliger Sorten dringend geraten werden, um diese Pilzkrankheit mit einem moderaten, flankierenden Fungizideinsatz zu regulieren. Hierbei kommt es ganz wesentlich darauf an, Azole und Strobilurine im Wechsel einzusetzen. Bei DTR muss auf jedem Standort mit einer Selektion wenig empfindlicher Pilzstämmen als Folge des intensiven Fungizideinsatzes gerechnet werden. Deshalb dürfen Strobilurine auf jeden Fall nur ein Mal in der Hauptinfektionsphase zur Anwendung kommen, sonst ist ein schneller Wirkungsverlust unausweichlich.

Eine weitere Gegenmaßnahme zur Eindämmung von DTR besteht im perfekten Strohmanagement. Nur wenn es gelingt, streichholzkurze Stroh- und Stoppelreste zu erzeugen, dann können diese auch bis zum Frühjahr in eine Rotte übergehen und vor allem durch die Aktivität der Regenwürmer von der Bodenoberfläche verschwinden. Das ist insofern von größter Bedeutung, als DTR nur auf Stroh- und Stoppelresten zu überdauern vermag. Wenn Mitte März kein Stroh mehr zu sehen ist, kann der Schadpilz sich auch nicht auf der Weizenkultur etablieren.



Abbildung 53: Auf diesen schlecht verrotteten Stroh- und Stoppelresten (gelber Pfeil) bildet DTR geschlechtliche Fruchtkörper (kleines Foto), aus denen im Frühjahr Ascosporen austreten, die zur Primärinfektion (roter Pfeil) auf den Pflanzen führen.



Abbildung 54: Winterweizen „Zentos“ (Monokultur) aus der Mulchsaat ohne Fungizide mit starkem DTR-Befall (Anfang Juli 2001)

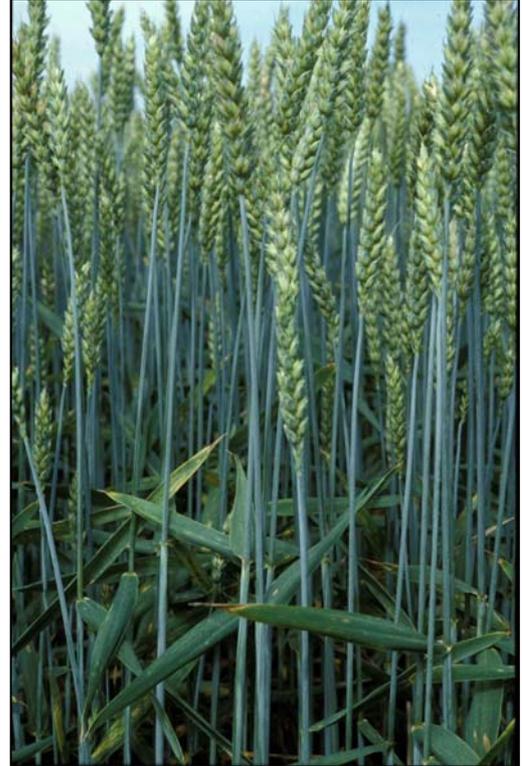


Abbildung 55: Winterweizen „Zentos“ (Monokultur) aus der Mulchsaat mit zweimaliger Fungizidbehandlung (Anfang Juli 2001)

Die obigen Fotos verdeutlichen, dass durch Kombination einer blattgesunden Sorte wie „Zentos“ mit epidemie-orientiertem Fungizideinsatz schon bei mittlerer Intensität (zwei Behandlungen) eine erfolgreiche Kontrolle von DTR möglich ist.

3.4.1.2 Blattseptoria

Bei der Blattseptoria haben die mehrjährigen Bonituren gezeigt, **dass kein Zusammenhang zwischen der Bodenbearbeitung und dem Ausgangsbefall besteht** (s. Abb. 51/52). Weizen in der Mulchsaat war in Frühjahr oft sogar gesünder als Weizen nach Pflugfurche.

Die Ursache ist in der Herkunft des Ausgangsbefalls zu suchen, denn dieser erfolgt bei Blattseptoria in hohem Maße über Ascosporen, die über weite Strecken mit dem Wind verfrachtet werden. Dieser Sporenflug findet oft schon im Herbst statt und verursacht latente (nicht sichtbare) Infektionen, aus denen dann im Frühjahr die typischen Septoria-Blattdürre-Symptome hervorgehen.

Die oft geäußerte Befürchtung, dass Blattseptoria durch Pflugverzicht gefördert wird, kann somit in keiner Weise bestätigt werden!

3.4.1.3 Ährenfusarium

Der Befall von Weizenähren mit Schadpilzen aus der Gattung *Fusarium* hat sich in den zurückliegenden Jahren zu einem ernsthaften Problem entwickelt. Ursachen hierfür sind unter anderem:

- Hoher Anteil anfälliger Sorten (z.B. „Ritmo“) in Europa
- Frühe Aussaat, späte Ernte
- Hoher Anteil von anfälligem Silo- und Futtermais in der Kulturlandschaft



Abbildung 56: Partielle Taubaährigkeit in der Sorte „Ritmo“



Abbildung 57: Partielle Taubaährigkeit in der Sorte „Heaven“

Für Praxis und Beratung stellt sich die Frage, ob die Bodenbearbeitung einen Einfluss auf das Befallsgeschehen hat. Dabei wird vermutet, dass pfluglose Bewirtschaftung den Befall fördert.

Die Untersuchung eines Produktionssystems, in dem Winterweizen neben Winterrapis die ökonomisch wichtigste Rolle spielt, macht nur dann Sinn, wenn der Befalldruck für *Fusarium*-Arten möglichst niedrig gehalten wird. Im Rahmen des Projektes wurde dieses Ziel folgendermaßen erreicht:

- Anbau der gering anfälligen Weizensorte „Zentos“
- keine überzogene N-Versorgung

Unter diesen Voraussetzungen war im Weizen in keinem Anbaujahr *Fusarium*-Ährenbefall festzustellen. Um eventuell aufgetretenen, latenten Befall dennoch zu erfassen, wurden in allen Versuchsjahren ungereinigte Kornproben gezogen und

nach der HPLC-Methode bei der LUFA-ITL (Kiel) quantitativ auf DON (Deoxynivalenol) analysiert. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Analyse der Körner der Winterweizensorte „Zentos“ in den Jahren 1996-2001 auf das Fusarium-Toxin DON (Deoxynivalenol in mg/kg)

		1996	1997	1998	1999	2000	2001
Monoweizen	Pflug	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Monoweizen	Mulch	n.n.	n.n.	0,27	n.n.	0,08	n.n.
R – W – G	Pflug	n.n.	n.n.	0,26	n.n.	n.n.	n.n.
R – W – G	Mulch	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
R – H – W – E – G	Pflug	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,08	n.n.
R- H – W – E - G	Mulch	n.n.	n.n.	0,23	n.n.	n.n.	n.n.

Das Mycotoxin DON wird während der Pilzinfektion auf dem Feld gebildet und ist somit eng korreliert mit dem Befall. Die Analysen der Jahre 1996 - 2001 lassen keinen Zusammenhang zwischen der Bodenbearbeitung und dem Auftreten von Ährenfusariosen erkennen. Lediglich in den extremen Befallsjahren 1998 und 2001 sind überhaupt in einigen Teilstücken geringe DON-Gehalte nachweisbar gewesen.

Diese Befunde zeigen, dass im pfluglos bestellten Weizen insbesondere bei Monokultur nicht zwangsläufig mit verstärktem Fusariumbefall zu rechnen ist, wenn gering anfällige Sorten angebaut werden!

Eine ganz besonders wichtige Rolle bei der Überdauerung fakultativer Schadpilze wie Fusarium-Arten spielt die Strohrotte. Je besser das Getreidestroh gehäckselt wird, um so früher setzt die Rotte ein, wodurch die eventuell etablierten Fusariumpilze zurückdrängt werden. Der Erfolg dieser Maßnahme wird natürlich ganz wesentlich von der Spätsommerwitterung beeinflusst. Fehlt es im August/September an Niederschlägen, dann wird der Rotteprozess nur verzögert einsetzen.

Deshalb kommt der flachen Stoppelbearbeitung eine immer größere Bedeutung zu. Rottefördernde Maßnahmen zur Optimierung des C:N-Verhältnisses sollten nach Möglichkeit eingeplant werden. Ob zu diesem Zweck AHL direkt auf die Stoppeln appliziert wird, oder zur bzw. nach der Einarbeitung ein schnell wirkender N-Dünger zur Anwendung kommt, das spielt nur eine untergeordnete Rolle. Die Entscheidung muss sich grundsätzlich nach den betrieblichen Gegebenheiten richten.

3.4.1.4 Schwarzbeinigkeit

Die Schwarzbeinigkeit (*Gaeumannomyces graminis var. tritici*) ist weltweit im Weizenanbau gefürchtet und wurde in den letzten Jahren durch die immer stärkere Ausdehnung des Monoweizenanbaus auf vielen Standorten ein großes Krankheitsproblem.



Gerade in den drei ersten Jahren des Anbaus entwickelt sich auf vielen Böden ein Schadpotential, das sich zuerst durch notreife Einzelähren bemerkbar macht (s. Abb. 58).

Mittelschwer befallene Einzelpflanzen (Abb. 59/60) büßen Wurzeln ein, die sie aber bei ausreichendem Wasser- und Nährstoffangebot in der Vegetation durch neue ersetzen können. Bei Trockenheit geraten solche Pflanzen aber unter Wachstumsstress, der oft zur Notreife und Ertragsdepression führt.

Abbildung 58: Nesterweises Auftreten weißer Ähren deutet auf Befall mit Schwarzbeinigkeit.



Abbildung 60: Die Pflanzen links stammen aus der Monokultur im 3. Standjahr, die Pflanzen rechts wuchsen in der Fruchtfolge R-W-G.



Abbildung 59: Mittelschwerer Befall an einer Einzelpflanze.

Seit einigen Jahren stehen Beizmittel zur Verfügung, die eine Wirkung gegen den Erreger der Schwarzbeinigkeit (*Gaeumannomyces graminis*) aufweisen. Da vor allem in den ersten Jahren der Monokultur mit der typischen Ertragsdepression gerechnet werden muss, sind unter solchen Voraussetzungen in vielen Feldversuchen auch gute Effekte der Beizmittels festgestellt worden. Nach einigen Jahren der fortgesetzten Monokultur sind normalerweise keine Effekte mehr nachweisbar, da die bodenbürtigen Antagonisten die Schadpilze unterdrücken (s. Kap. 3.2.1.1).

In Abb. 61 und 62 werden drei ausgewählte Versuchsvarianten dargestellt:

- a) Kontrolle (ohne Fungizide und Wachstumsregler)
- b) Doppelbehandlung:
BBCH 32 (0,75 Opus Top) und BBCH 49 (0,75 Opus Top + 0,75 Amistar)
- c) Doppelbehandlung wie b) aber in BBCH 32 zusätzlich Unix (0,8)

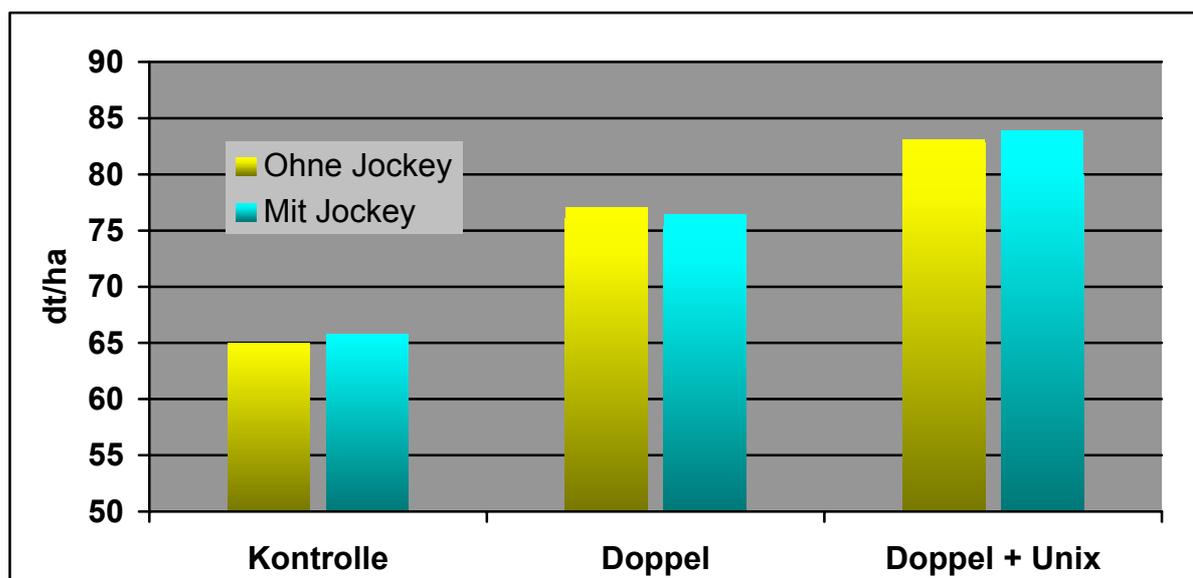


Abbildung 61: Effekte des Beizmittels „Jockey“ in Winterweizen „Zentos“ im sechsten Jahr der Monokultur

Es ergaben sich 1999 keine statistisch absicherbaren Unterschiede zwischen der Standardbeize und der Spezialprodukt „Jockey“. Aufgrund der Tatsache, dass sich hier im Versuch genau wie in vielen Praxisflächen der „decline-Effekt“ durchgesetzt hatte und es zu einer natürlichen Unterdrückung der Schwarzbeinigkeit kam, konnte die Spezialbeize auch keine weitergehende Wirkung erzielen.

Auffällig ist allerdings das sehr gute Abschneiden der Variante „Doppel + Unix“. Die Wirkung ist aber nicht über die Erfassung des Halmbrucherregers zustande gekommen. Stattdessen machte sich der inzwischen bekannte Synergismus

zwischen Opus Top und Unix gegen die Septoria-Weizenblattdürre bemerkbar, was zu einer deutlichen Verbesserung der kurativen und protektiven Wirkung führte.

Im Jahre 2001 erfolgte abschließend eine Prüfung des Beizmittels „Latitude“, das sich im Rahmen der Pflanzenschutzmittelzulassung als noch leistungsfähiger gegen den Erreger der Schwarzbeinigkeit erwiesen hatte als „Jockey“.

In den Versuchen trat aber wieder kein Effekt ein, denn die Stabilisierung der Mikroflora des Bodens war natürlich noch weiter fortgeschritten und ließ der Schwarzbeinigkeit keinen Raum mehr. Abb. 62 gibt Aufschluss über die Ergebnisse.

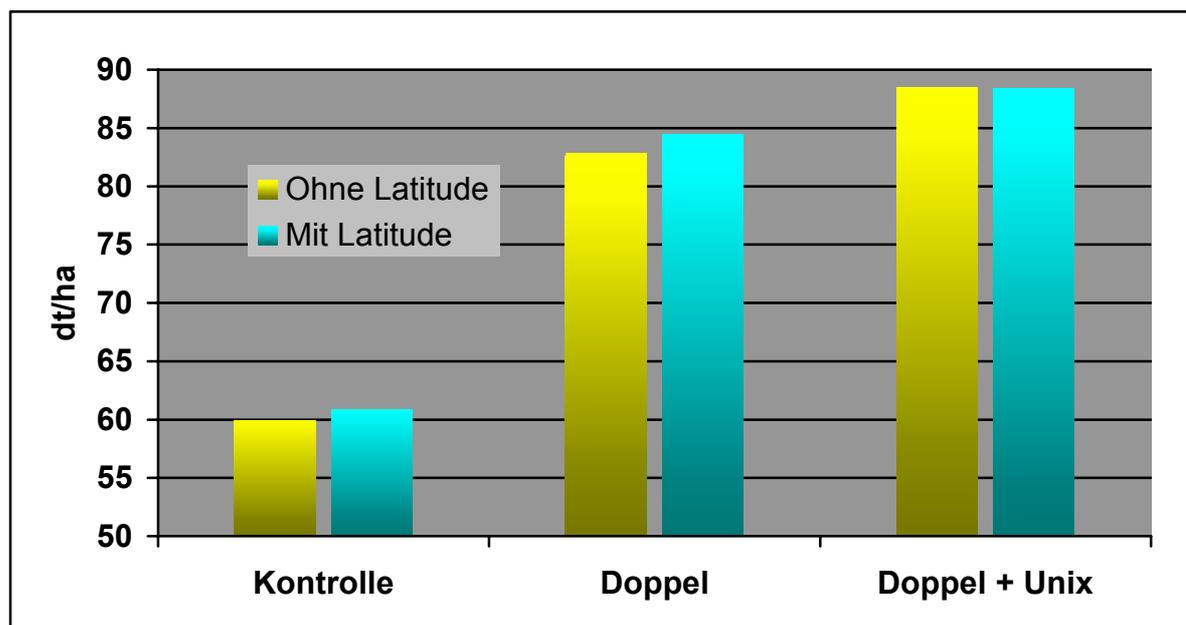


Abbildung 62: Effekte des Beizmittels „Latitude“ in Winterweizen „Zentos“ im achten Jahr der Monokultur (2001)

Fazit:

In etablierten Weizen-Monokulturen auf biologisch aktiven Böden ist nach Anwendung von Beizmitteln gegen die Schwarzbeinigkeit keine Wirkung mehr zu erwarten, da die antagonistischen Bodenmikroorganismen bereits eine effektive Unterdrückung des Schadpilzes bewirken.

Sinnvoll kann der Einsatz auf vielen Umstellungsflächen in den ersten drei bis vier Jahren der Monokultur sein, wobei der Effekt natürlich stark vom natürlichen Befallsdruck des Schaderregers und den mikroklimatischen Bedingungen abhängt.

3.4.2 Wintergerste

In der Wintergerste waren ausschließlich die typischen Blattkrankheiten festzustellen. Halmgrunderkrankungen spielten –wie auch in der landwirtschaftlichen Praxis- in den Versuchen von 1994 - 2001 keine wirtschaftliche Rolle.

3.4.2.1 Blattkrankheiten

In der angebauten Wintergerstensorte „Krimhild“ zeigte sich über alle Versuchsjahre ein einheitliches Krankheitsbild, bei dem die Netzfleckenkrankheit (*Drechslera teres*) dominierte. Als zweiter wichtiger Krankheitserreger war die Rhynchosporium-Blattfleckenkrankheit (*Rhynchosporium secalis*) zu verzeichnen.

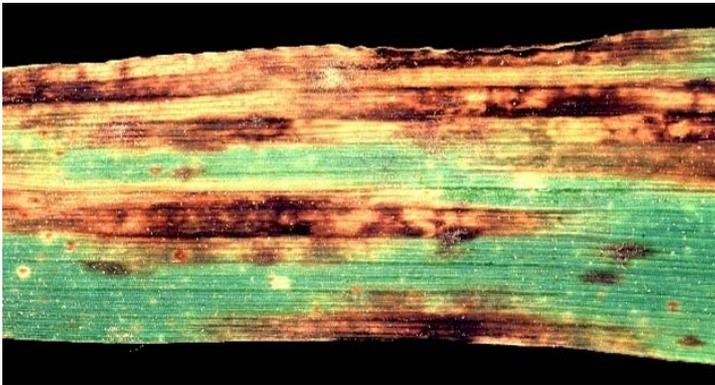


Abbildung 63: Netzflecken traten in der Sorte „Krimhild“ in hohem Umfang auf



Abbildung 64: In allen Versuchsjahren kam es auch zu Befall mit Rhynchosporium-Blattflecken

Die Wintergerste wurde über mehrere Jahre vergleichend bonitiert. Dabei zeigte sich, dass es überhaupt keine Unterschiede im Auftreten von Blattkrankheiten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und Fruchtfolge gab. Das ist auch nicht erstaunlich, denn die Blattkrankheiten sind windbürtig und werden über Sporenflug eingetragen. Abbildung 65 gibt stellvertretend für alle Anbaujahre einen Eindruck vom Befallsdruck anhand der im Juni 1998 durchgeführte Bonituren. Es gab in keinem Jahr Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten; auch in den Fruchtfolgen waren keine Befallsunterschiede auszumachen.

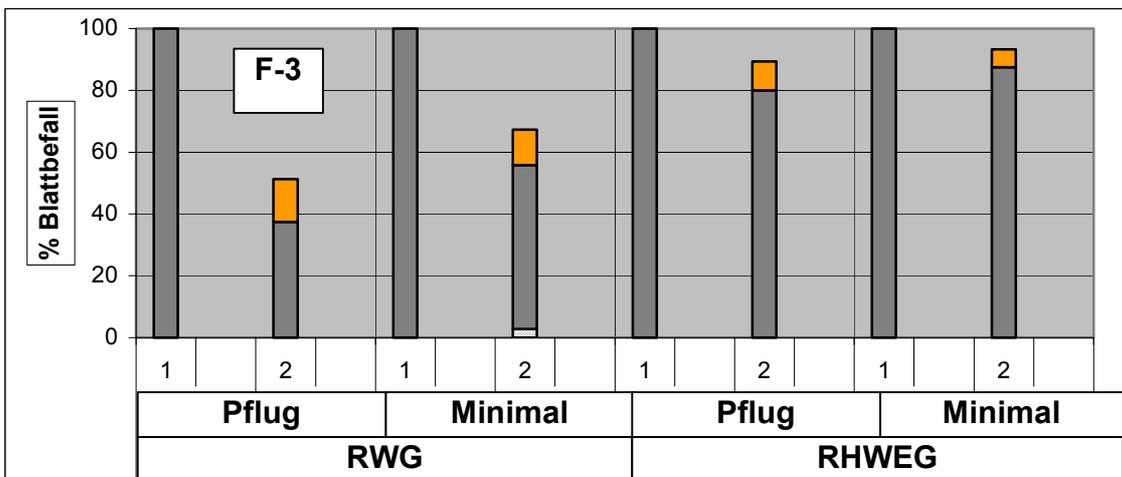
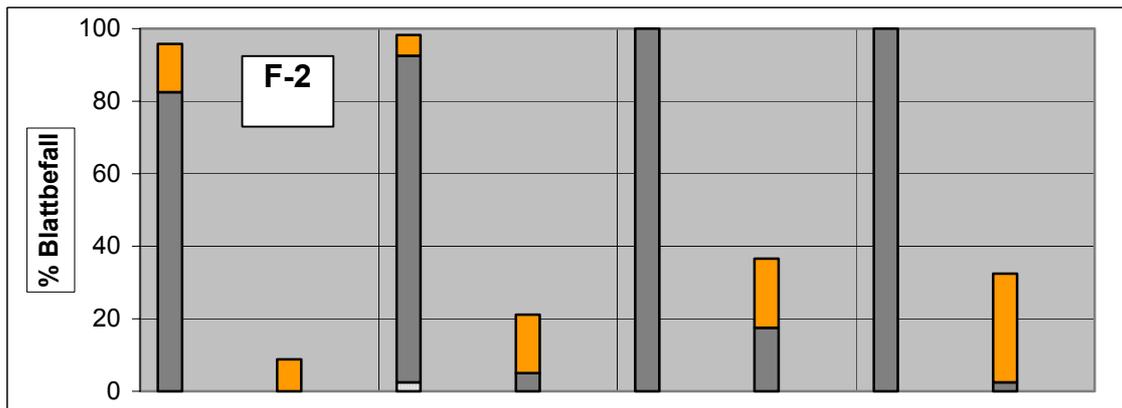
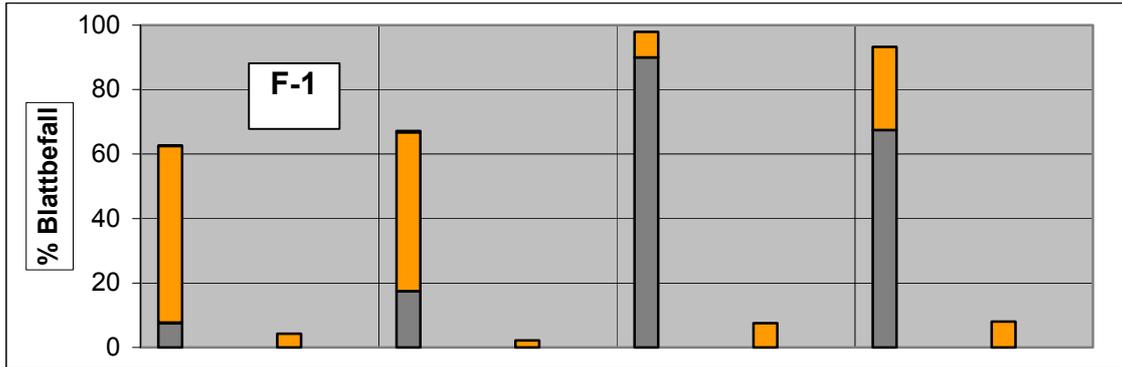
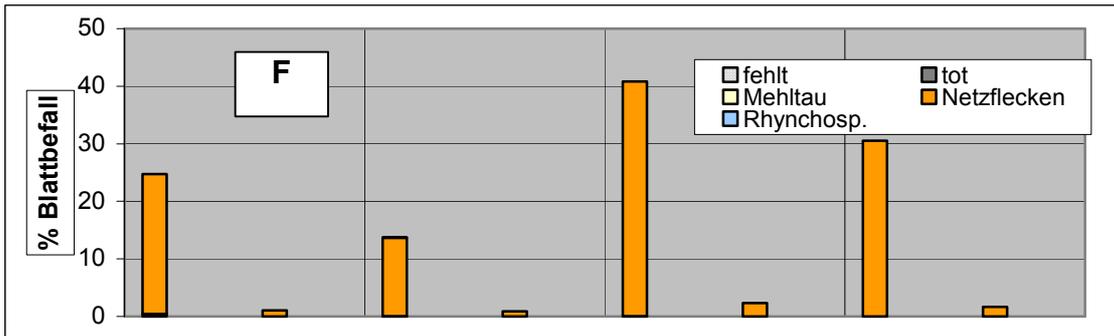


Abbildung 65: Blattbonituren in der Wintergerste „Krimhild“ am 12.06.1998; (1= Kontrolle, 2=Doppelbehandlung)

3.4.3 Winterraps

Im Winterraps der Sorte „Express“ war kein nennenswerter Krankheitsbefall im Bereich des Blattapparates festzustellen. Die Sorte überzeugt seit vielen Jahren mit einer ausgeprägten Blatt- und Stängelgesundheit.

3.4.3.1 Krankhafte Abreife

Ein generelles Problem im nordwesteuropäischen Winterrapsanbau besteht allerdings in der dramatischen Zunahme der „Krankhaften Abreife“, gegen die bislang keine Sortenresistenz verfügbar ist.

An diesem Schadbild ist vorrangig der Erreger der Verticillium-Welke (*Verticillium*



dahliae) beteiligt. Bedingt durch die Überdauerung dieses Schadpilzes in Form von Mikrosklerotien im Boden handelt es sich um eine Fruchtfolgekrankheit, die in engen Rapsfruchtfolgen zu weit aus stärkeren Schäden führt als in weit gestellten.

Abbildung 66: Schadbild der „Krankhaften Abreife“ (Sorte „Express“)

Der Schadpilz infiziert die Rapspflanzen vom Boden aus, durchwächst die Wurzel und dringt durch den Stängel nach oben vor. Durch Toxinausscheidung stirbt das



Gewebe ab und nimmt oft ein schwarzbraunes Aussehen an; außerdem werden die Wasserleitungsbahnen durch das Pilzwachstum verstopft.

So leiden die befallenen Pflanzen unter suboptimaler Wasser- und Nährstoffversorgung, was dann zu einer Ertragsbegrenzung und Qualitätsminderung führt.

Abbildung 67: Gesunde Pflanzen (oben im Bild) und infizierte Pflanzen (unten im Bild) der Sorte „Express“



Abbildung 68: In der fünfgliedrigen Fruchtfolge ist der Verticillium-Befall geringer als in der dreigliedrigen (August 2000)



Abbildung 69: Die Rapsstoppeln in der Fruchtfolge R-W-G sind in hohem Maße von Verticillium befallen (August 2000)

Abbildung 68 und 69 zeigen, dass es einen erheblichen Verticillium-Befall in den Versuchspartellen gab, der schon visuell deutliche Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen erkennbar machte.

Hier soll anhand der zusammengefassten Bonituren des letzten Versuchsjahres aufgezeigt werden, wie sich die geprüften Fruchtfolgen in ihrem Verticillium-Befall unterscheiden. Das Ergebnis zeigt ganz eindeutig die starke Zunahme des Schaderregers in der dreigliedrigen Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste. Aber selbst die fünfgliedrige Fruchtfolge vermag den Erreger nicht hinreichend zu unterdrücken.

Tabelle 4: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Faktoren Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Saatstärke auf das Merkmal „Braune Stängel“.

Fruchtfolge	braune Stängel %	***
RWG	81.1	b
RHWEG	49.9	a
Bodenbearbeitung		n.s.
Pflug	69.5	a
Mulch	63.5	a
Saatstärke		n.s.
50/60	65.4	a
90	65.7	a

Erläuterungen: * = signifikant; *** = sehr hoch signifikant; n.s. = nicht signifikant
 Unterschiedliche Buchstaben hinter den Varianten bedeuten, dass sich die Varianten statistisch abgesichert unterscheiden.

Einfluss der Fruchtfolge:

Die statistische Verrechnung führte zu dem Ergebnis, dass sich die Fruchtfolgen beim Merkmal „Braune Stängel“ sehr hoch signifikant unterscheiden. Während in der fünfgliedrigen Fruchtfolge 49,9% Stängelverbräunung ermittelt wurden, sind es in der dreigliedrigen bereits 81,1%.

Einfluss der Bodenbearbeitung:

Beim Merkmal „Braune Stängel“ gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Pflug- und Mulchsaat.

Einfluss der Saatstärke:

Auch die Saatstärke und damit die unterschiedlichen Bestandesdichten haben keinen Einfluss auf den Befall mit der „Krankhaften Abreife“.

Fazit:

Je enger die Fruchtfolge, desto so stärker ist der *Verticillium*-Befall, der auch in der fünfgliedrigen Fruchtfolge noch ein erhebliches Ausmaß annimmt.

Somit werden die Befunde aus der Praxis bestätigt, wonach sich die „Krankhafte Abreife“ auf den typischen Hügellandstandorten bei einem Fruchtfolgeanteil des Rapses in der Größenordnung von 33,3% sehr stark angereichert hat. Damit erklären sich auch die weiterhin stagnierenden Erträge, die trotz ausgefeilter Produktionstechnik selten 50 dt/ha erreichen, obwohl der Winterraps inzwischen dieses genetische Leistungspotential längst erreicht hat!

Grundsätzlich ist die pfluglose Bestellung bei optimalem Strohmanagement nach Getreidevorfrucht für den Raps nicht nachteilig und bringt sogar höhere Erträge. Gibt es aber Schwierigkeiten mit der Strohverteilung und der Strohrotte, so kann der Auf- und Abwurf der Rapsjungpflanzen sehr darunter leiden. Wenn dann noch Niederschlagsmangel in der ersten Septemberhälfte hinzu kommt, sind lückige Bestände möglich.

3.5 Verfügbarkeit des Stickstoffs im Boden

Pfluglose Bodenbearbeitung mit Einarbeitung der Erntereste sollte zwangsläufig zu Effekten im Stickstoffhaushalt führen. Um diese zu erfassen wurden von 1996 bis 2000 Tausende von N_{\min} -Proben in folgenden Bodenschichten aller Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsvarianten gezogen und analysiert:

- 00-10 cm
- 10-30 cm
- 30-60 cm
- 60-90 cm

Diese Untersuchungen haben zu einer Fülle von Einzeldaten geführt. Der besseren Übersichtlichkeit halber erfolgt hier eine grafische Gegenüberstellung der N_{\min} -Gehalte von Pflug- und Mulchsaat aller Fruchtfolgen.

3.5.1 Weizenmonokultur

Bereits 1995/96 zeigte sich in der Mulchsaat eine größere N-Verfügbarkeit in allen untersuchten Bodenschichten. Somit stand der Kultur vor allem in der späteren Phase der Abreife deutlich mehr Stickstoff zur Verfügung als in der gepflügten Variante.

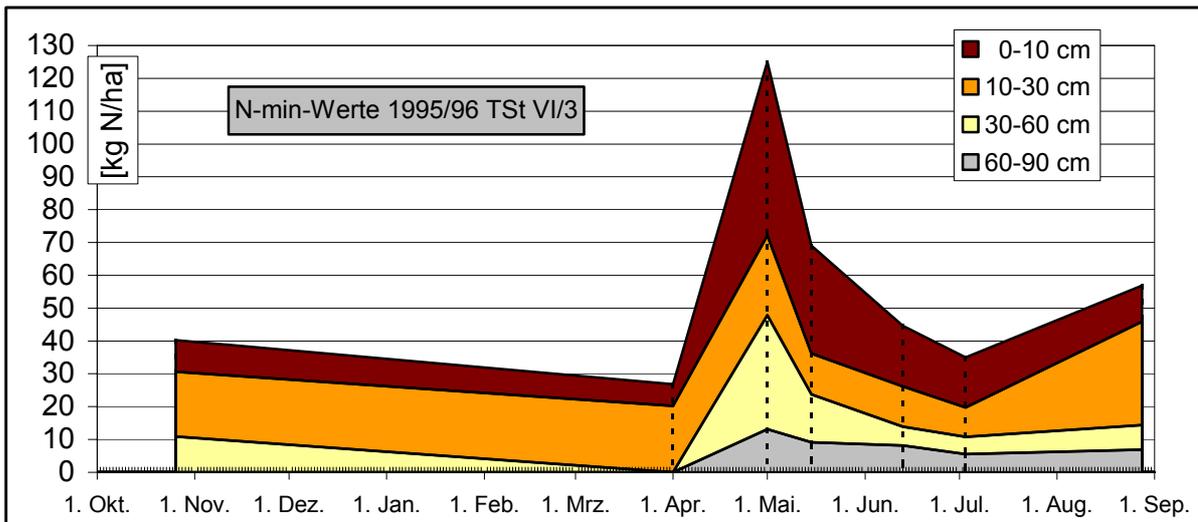


Abbildung 70: N_{min}-Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1995/96

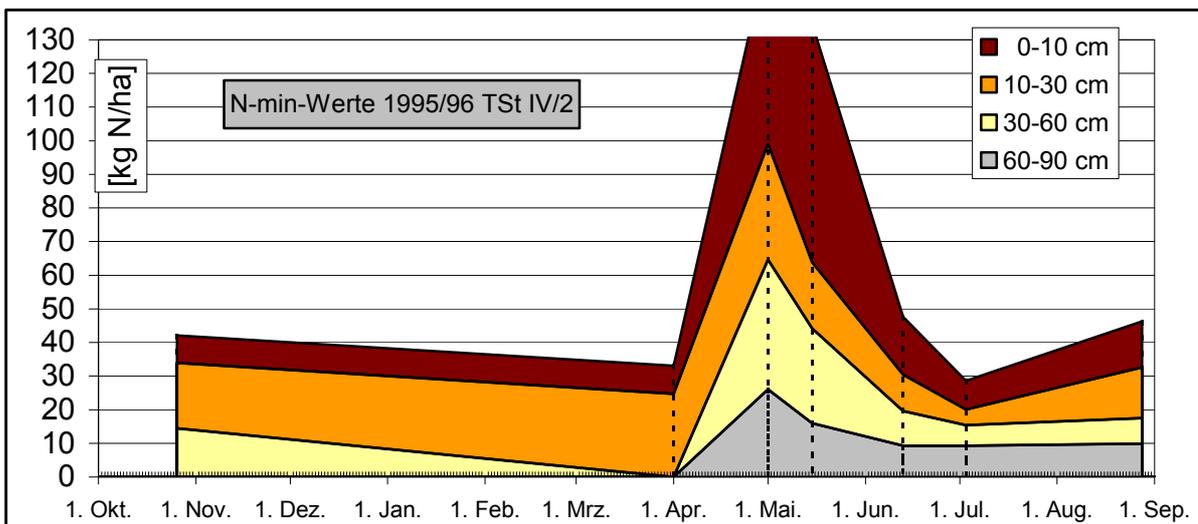


Abbildung 71: N_{min}-Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1995/96

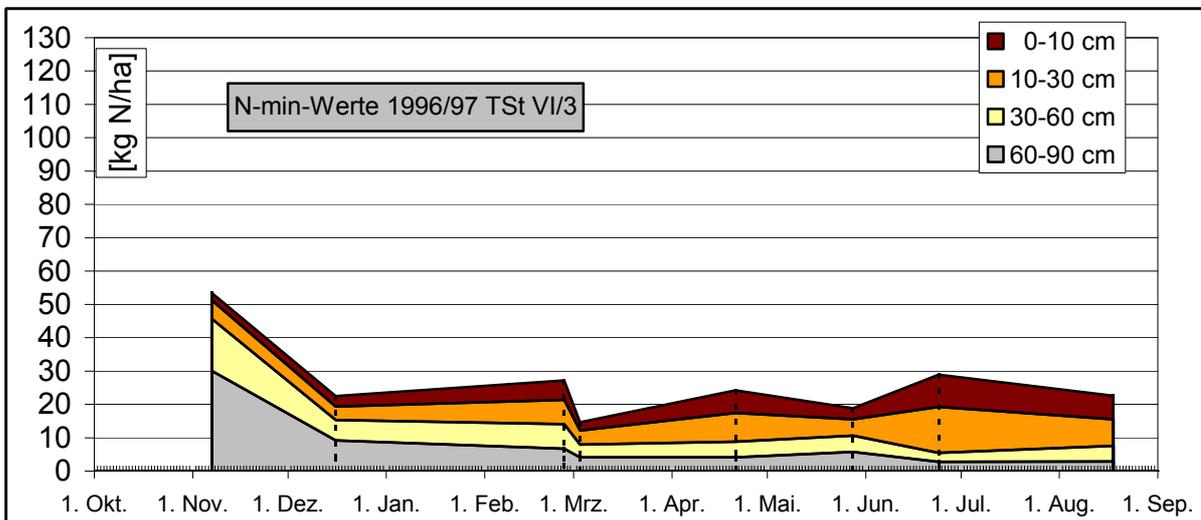


Abbildung 72: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1996/97

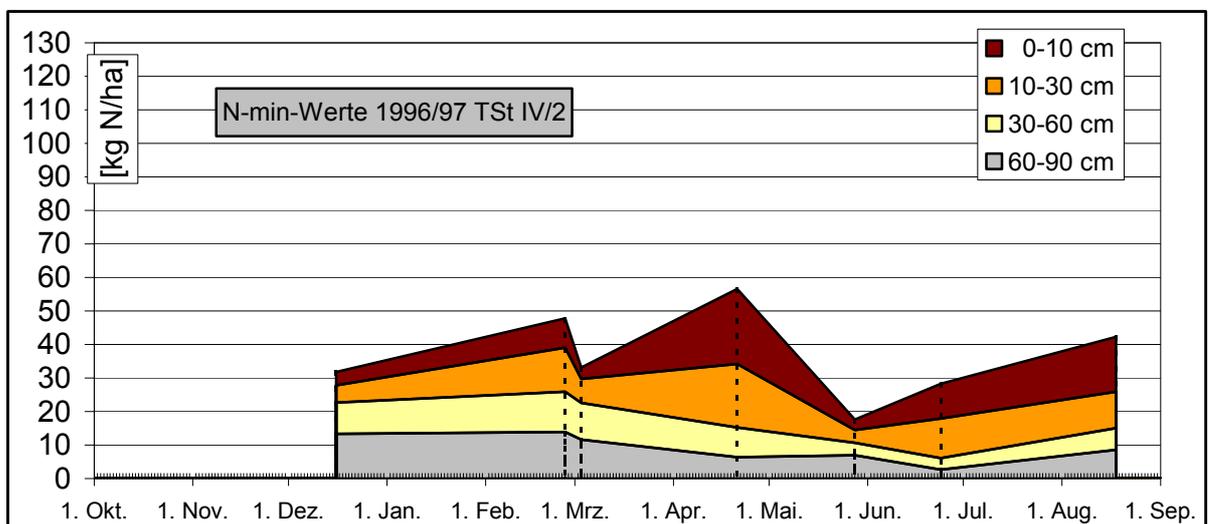


Abbildung 73: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1996/97

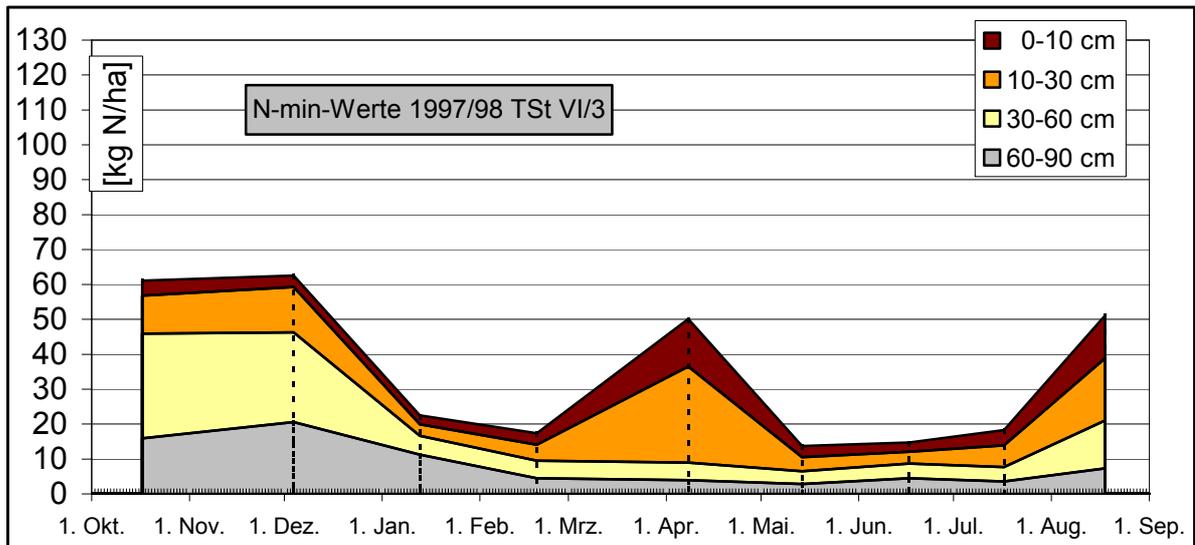


Abbildung 74: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1997/98

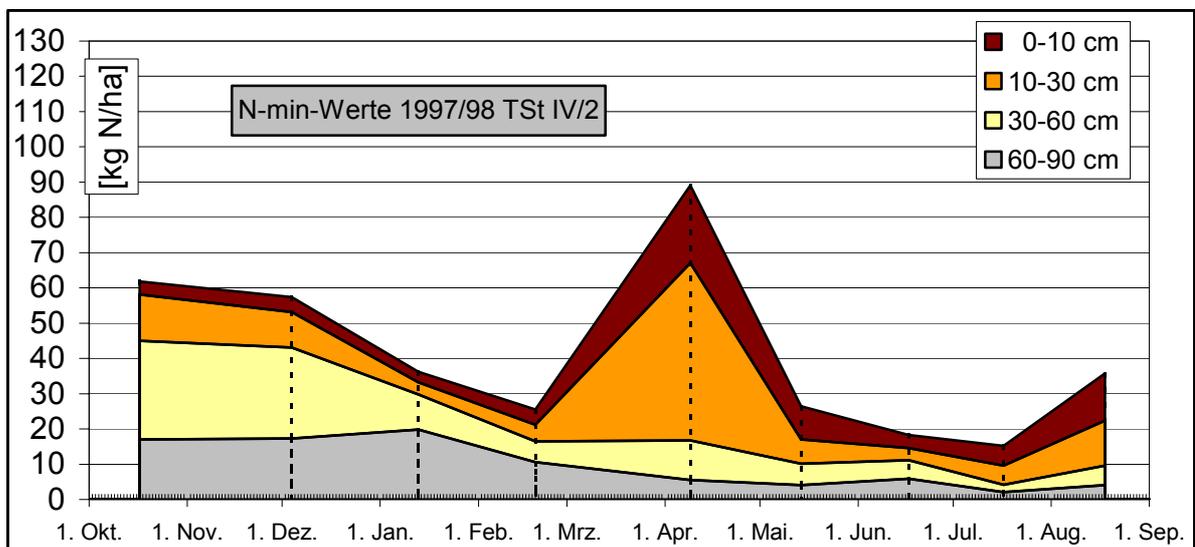


Abbildung 75: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1997/98

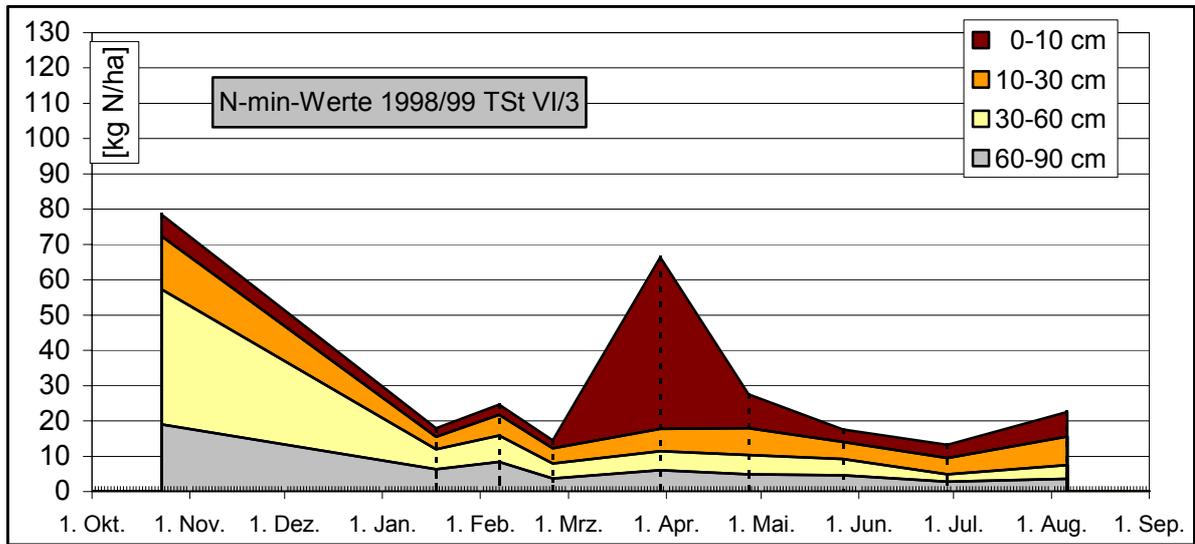


Abbildung 76: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1998/99

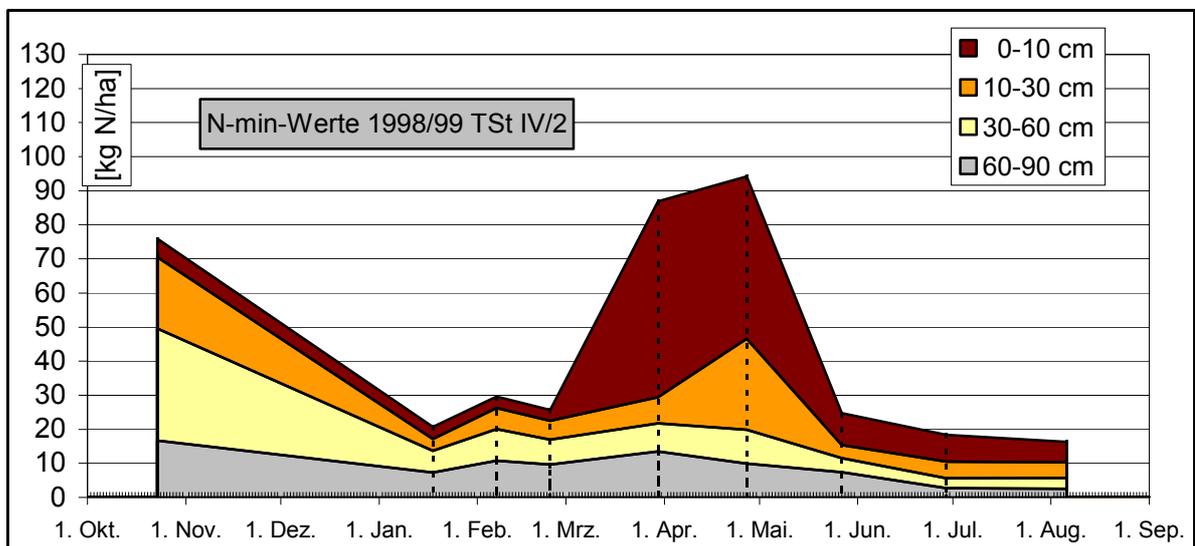


Abbildung 77: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1998/99

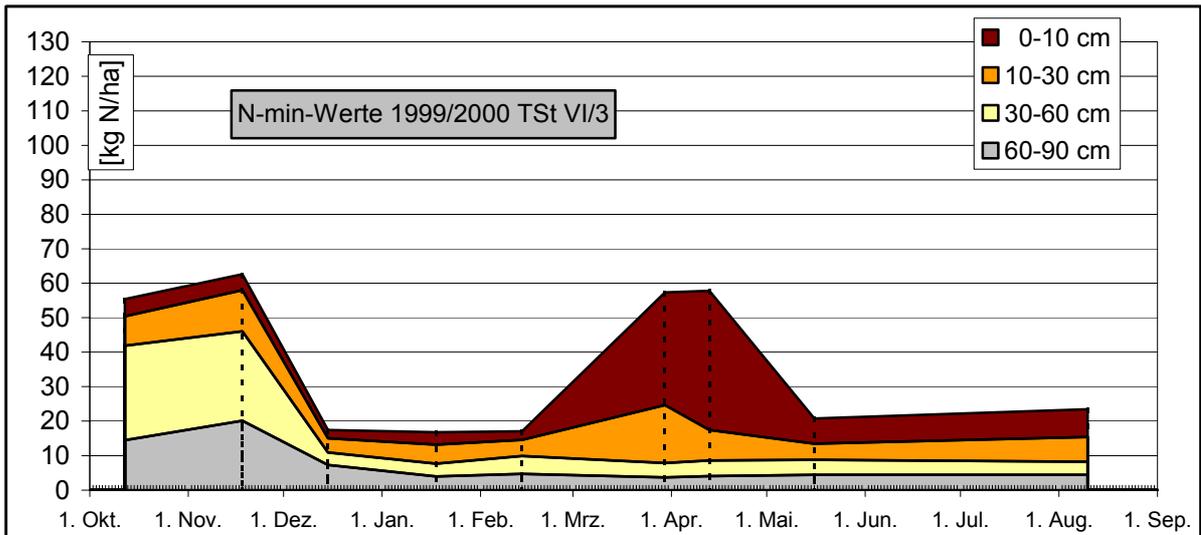


Abbildung 78: N_{min}-Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Pflugbestellung 1999/00

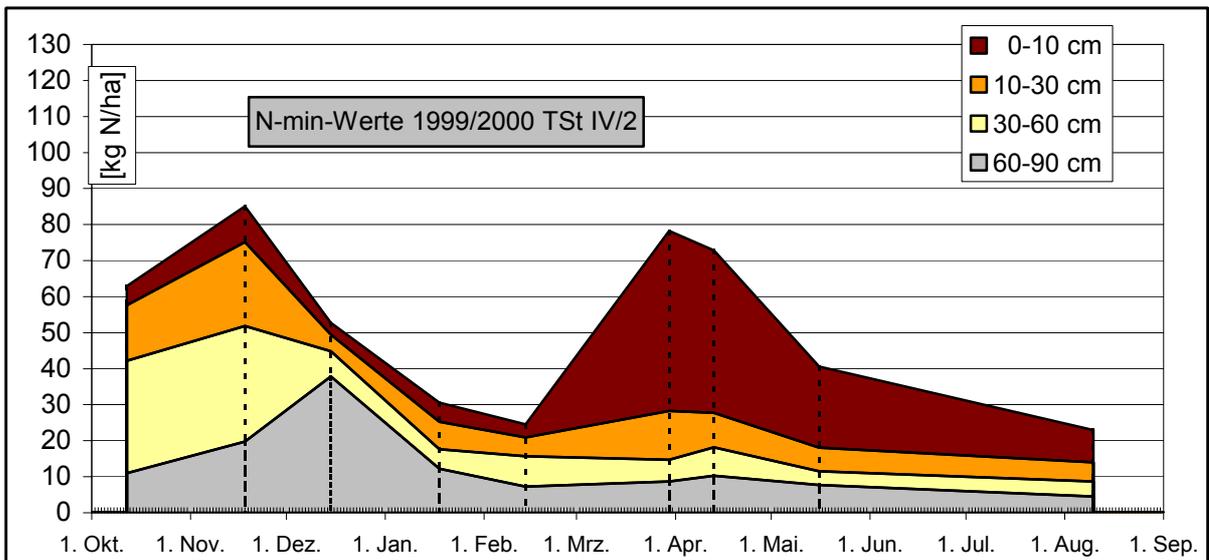


Abbildung 79: N_{min}-Gehalte im Boden unter Monoweizen nach Mulchsaat 1999/00

3.5.2 Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste

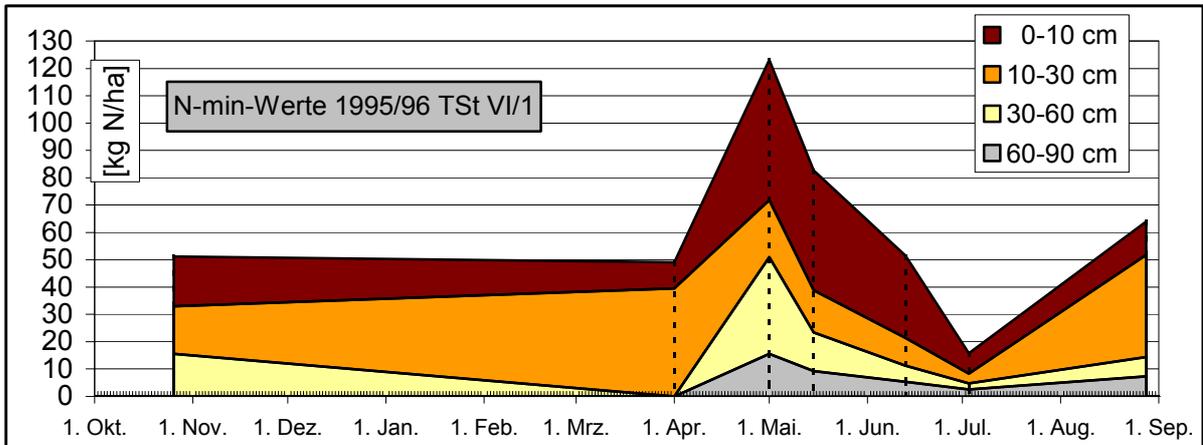


Abbildung 80: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1995/96

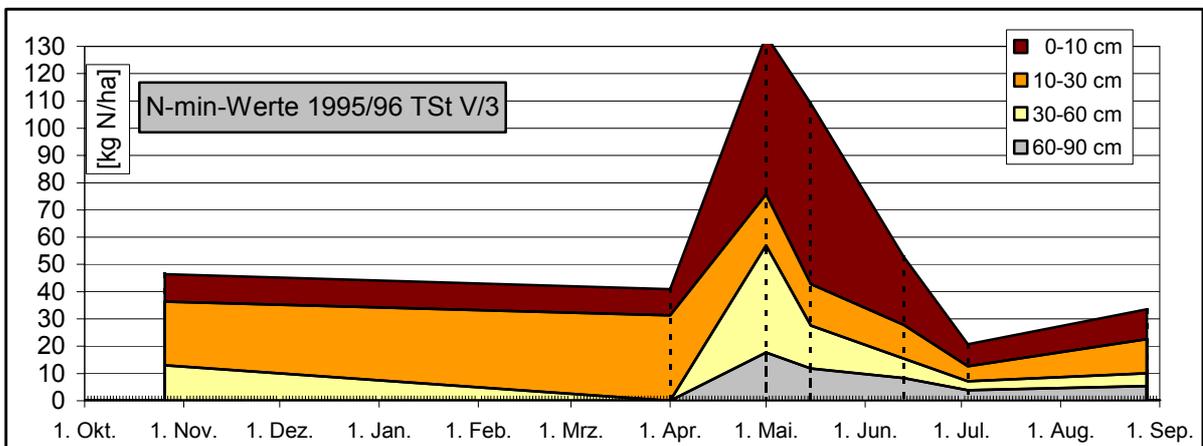


Abbildung 81: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1995/96

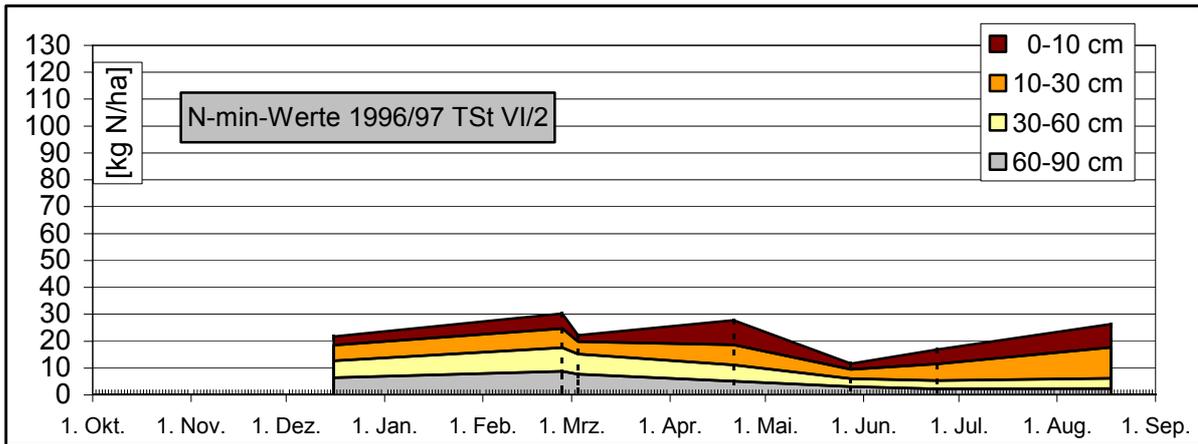


Abbildung 82: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1996/97

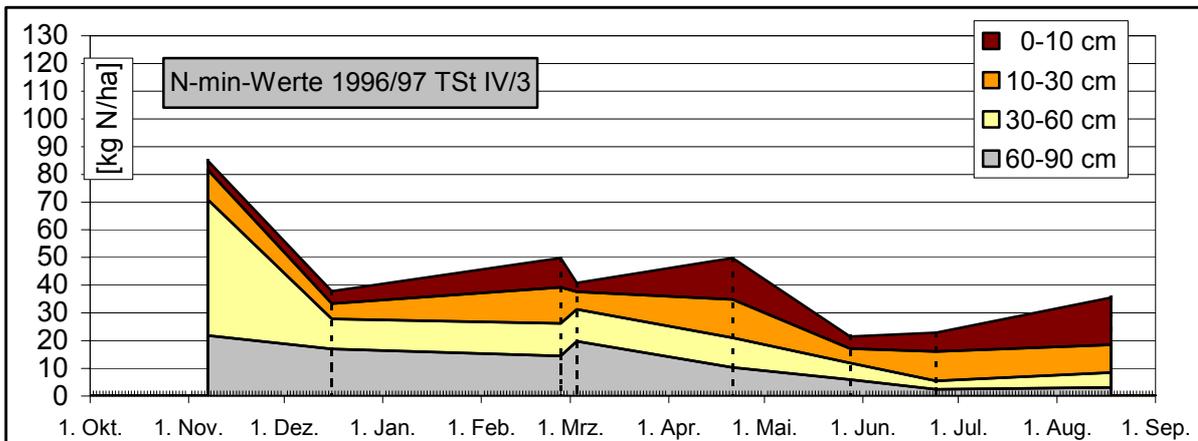


Abbildung 83: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1996/97

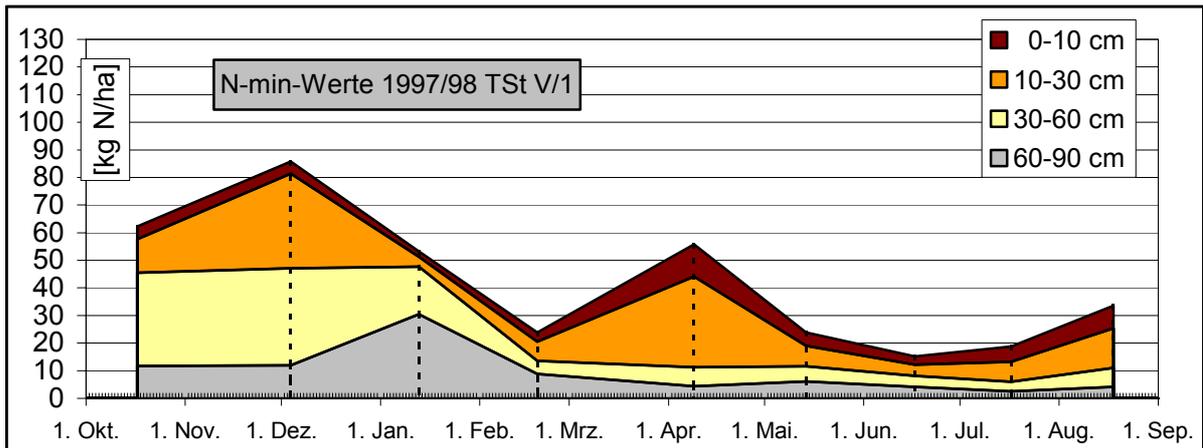


Abbildung 84: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1997/98

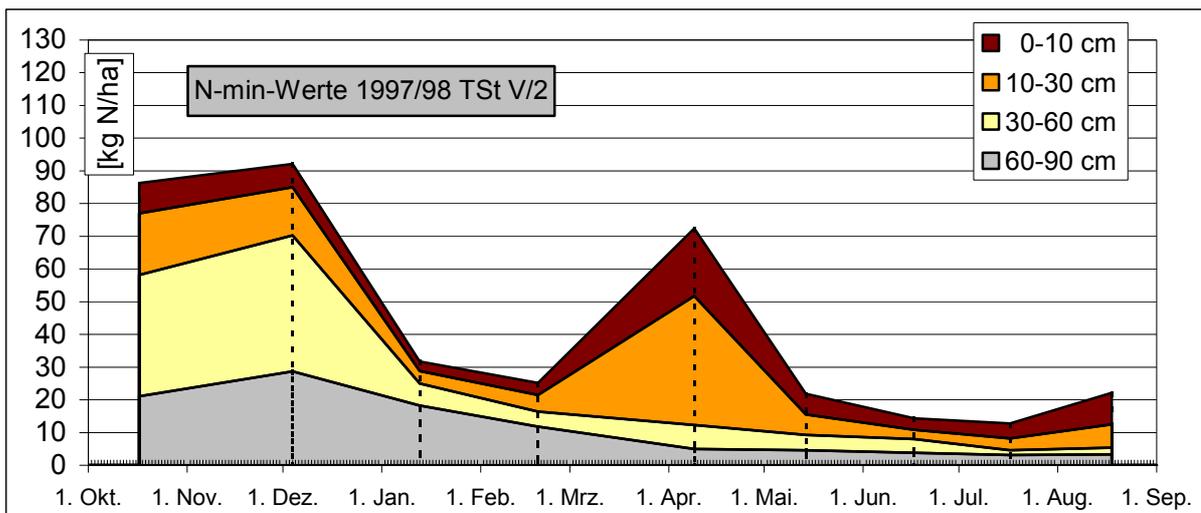


Abbildung 85: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1997/98

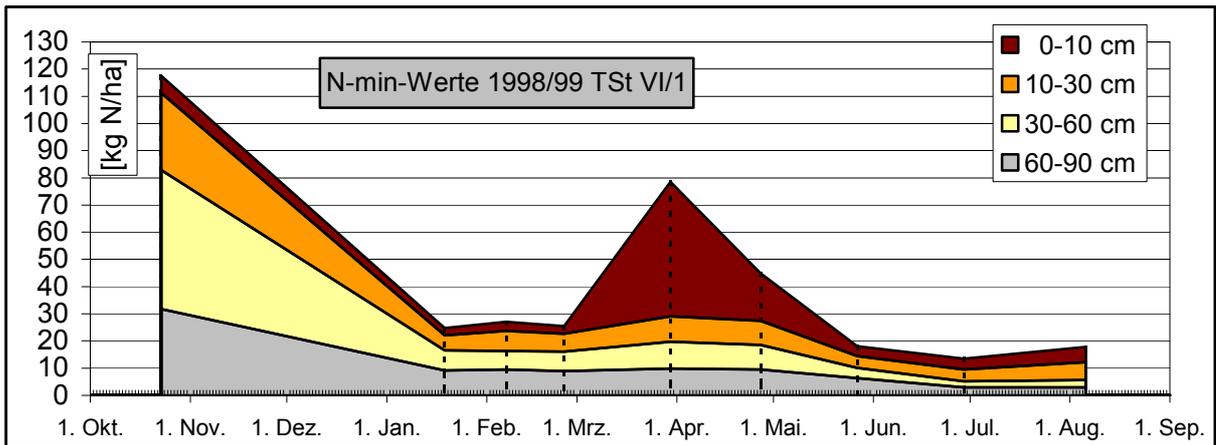


Abbildung 86: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1998/99

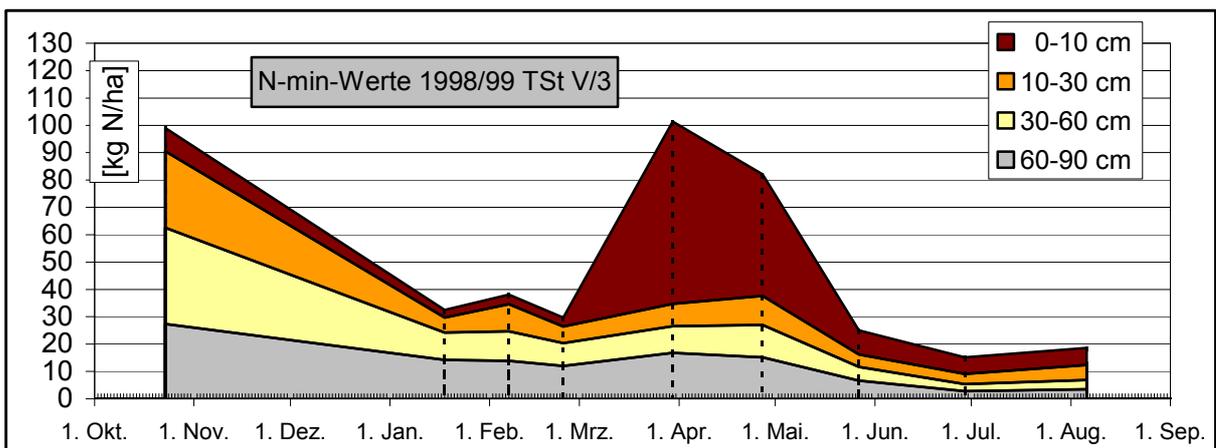


Abbildung 87: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1998/99

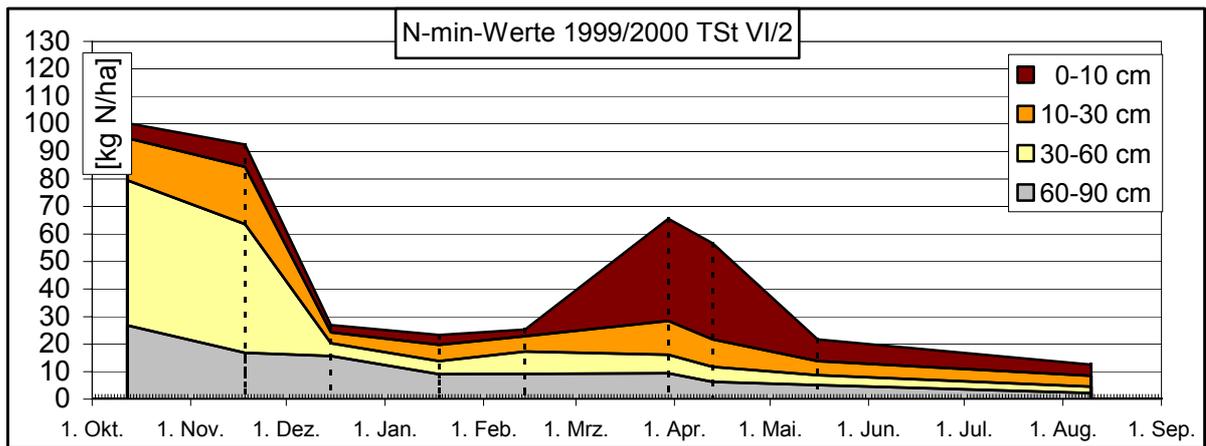


Abbildung 88: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1999/2000

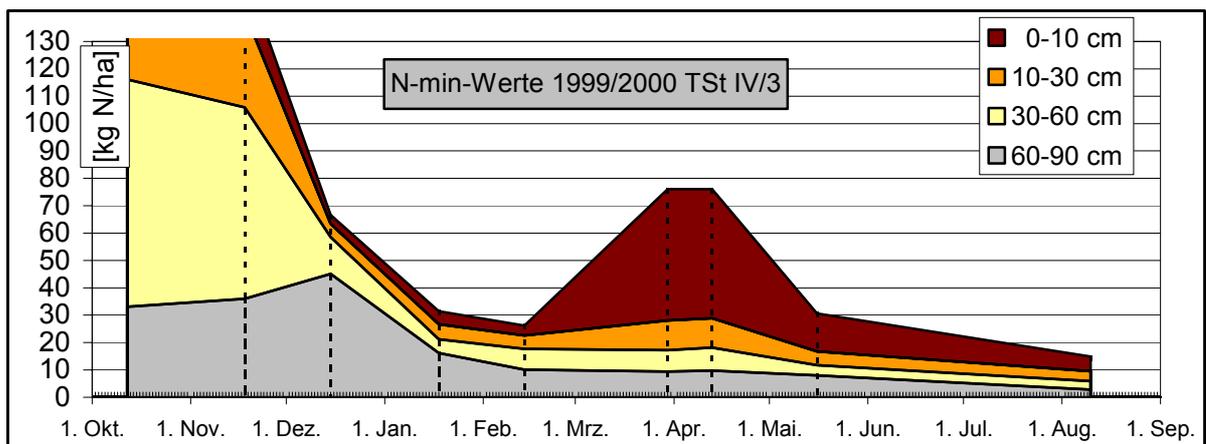


Abbildung 89: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste 1999/2000

3.5.3 Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste

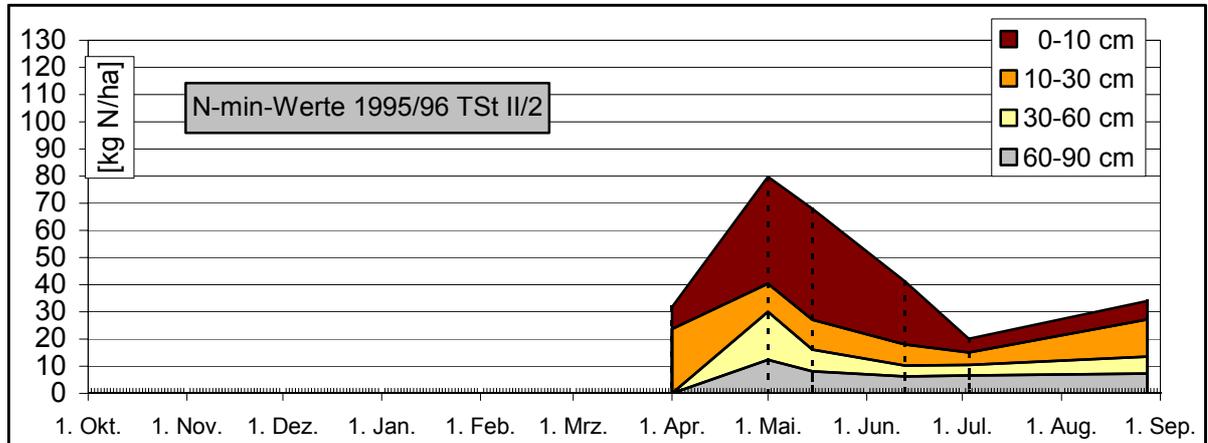


Abbildung 90: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1995/96

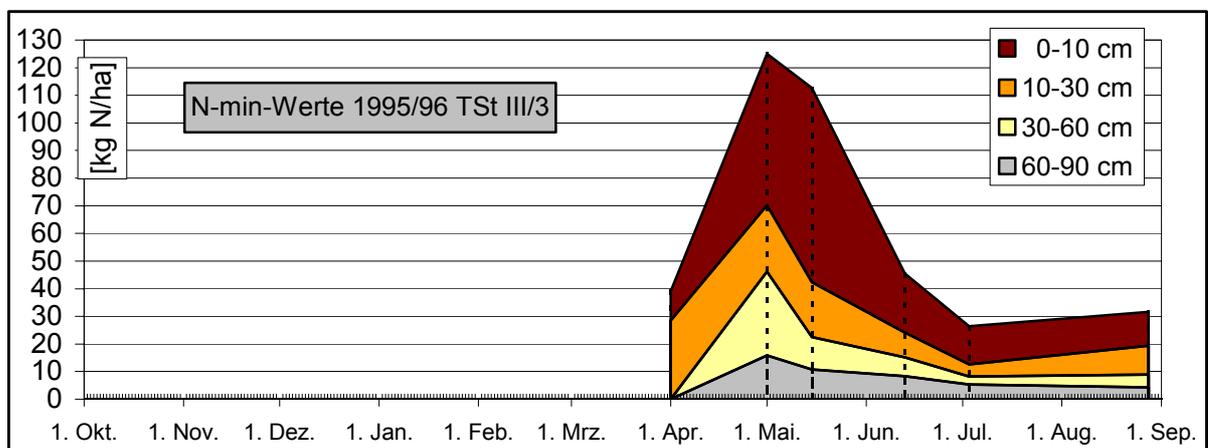


Abbildung 91: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1995/96

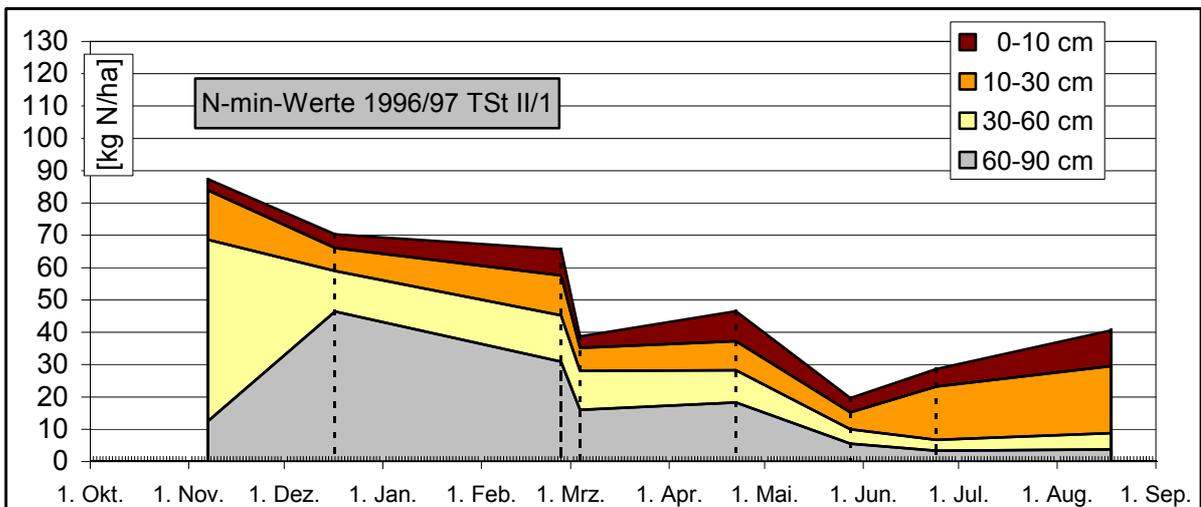


Abbildung 92: N_{min}-Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1996/97

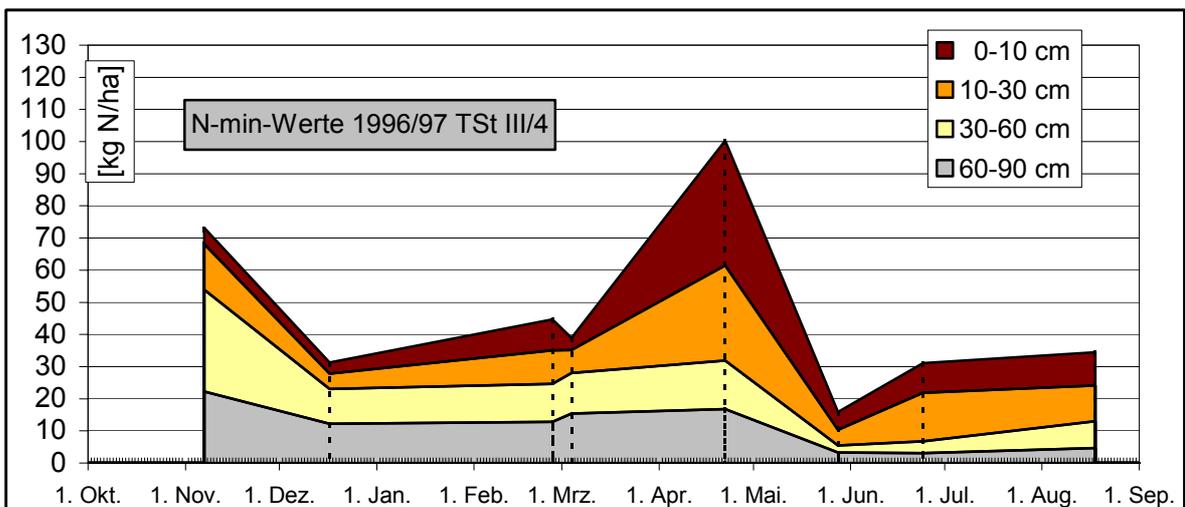


Abbildung 93: N_{min}-Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1996/97

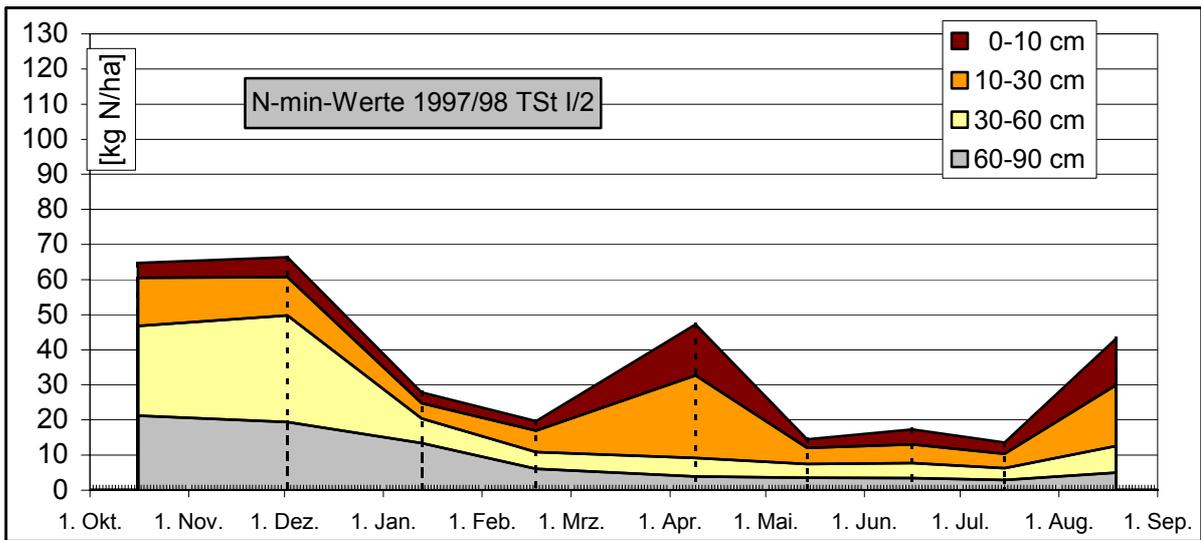


Abbildung 94: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1997/98

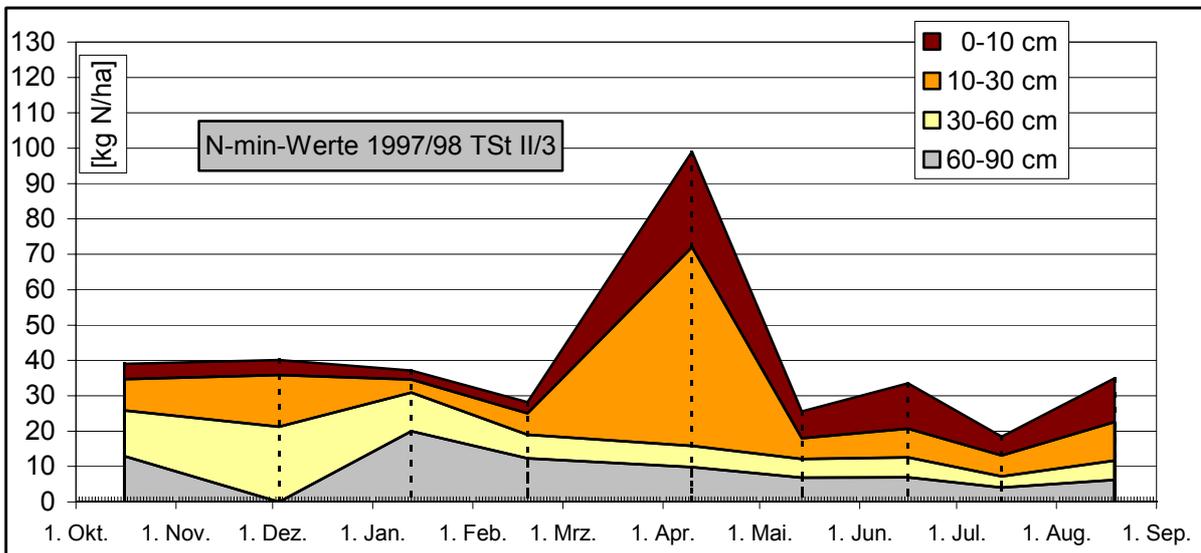


Abbildung 95: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1997/98

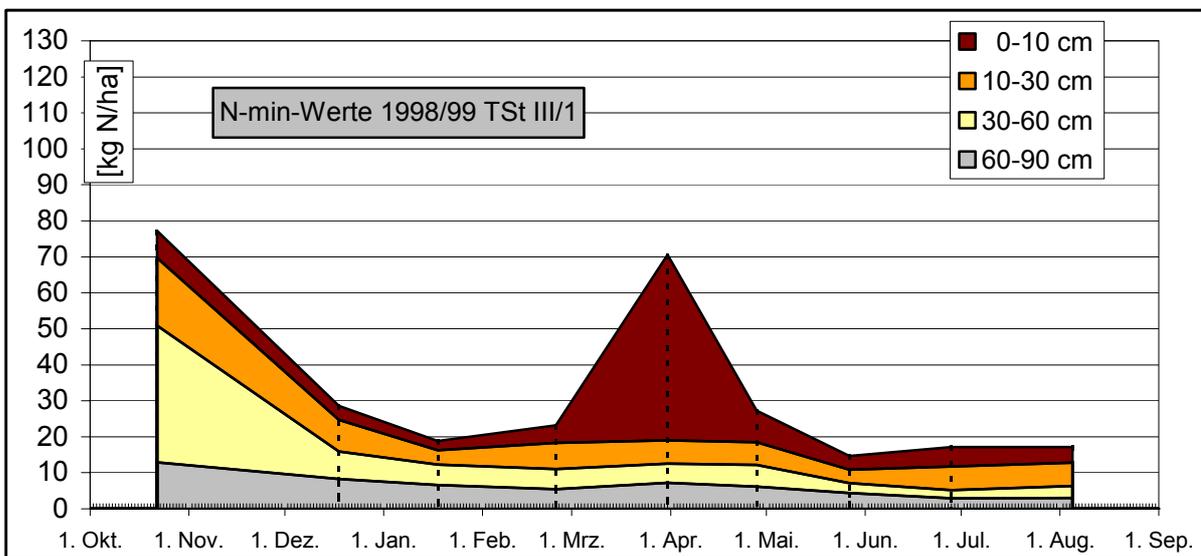


Abbildung 96: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1998/99

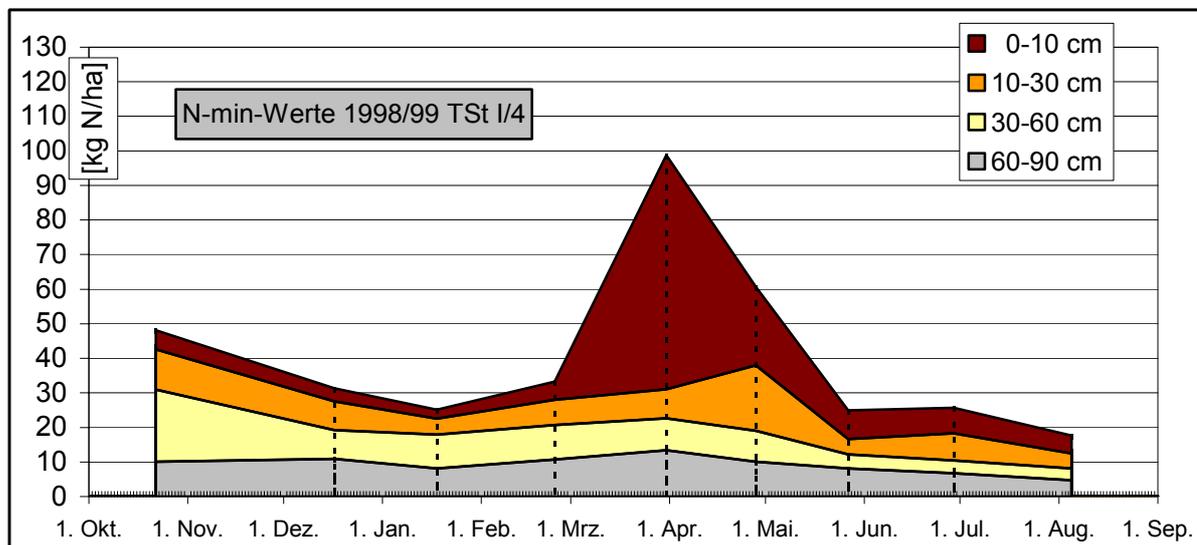


Abbildung 97: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1998/99

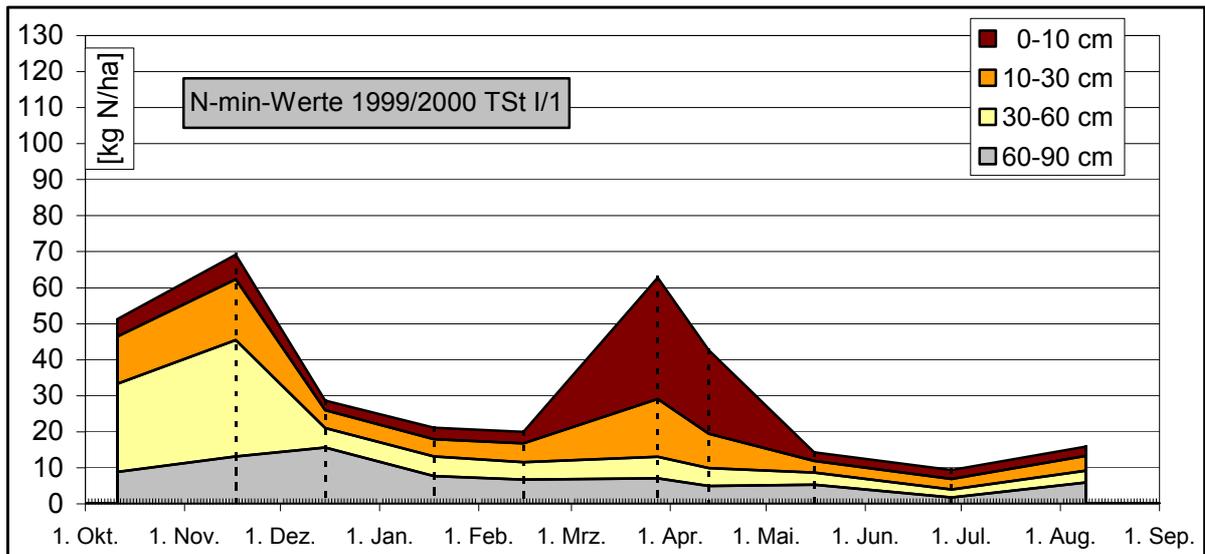


Abbildung 98: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Pflugbestellung in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 1999/2000

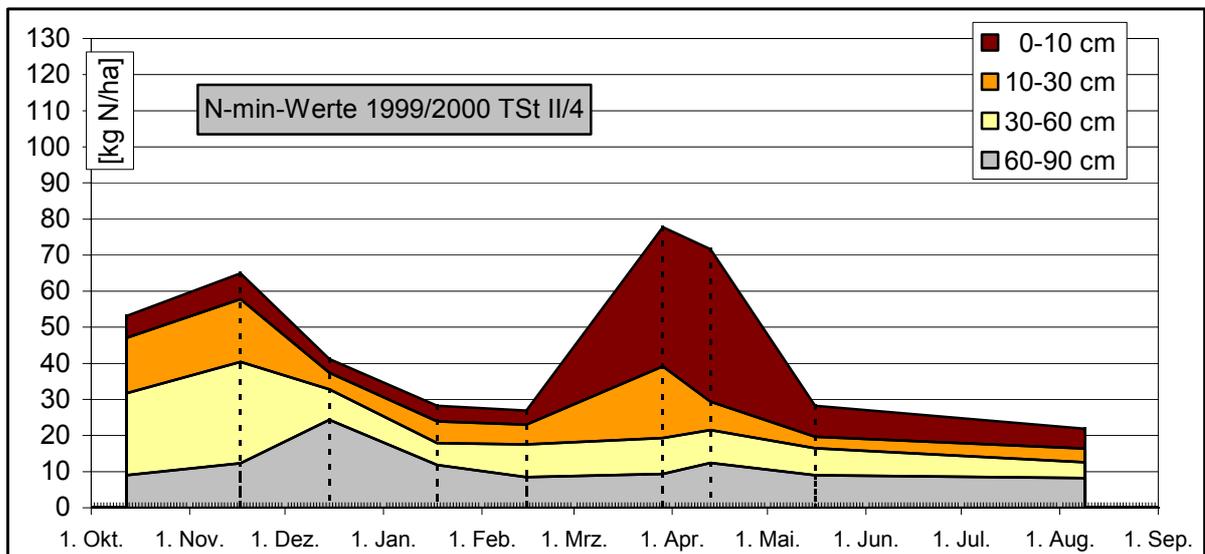


Abbildung 99: N_{\min} -Gehalte im Boden unter Weizen nach Mulchsaat in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste 199/2000

Die exemplarische Darstellung der jährlichen Verläufe der N_{\min} -Gehalte unter Winterweizen lässt bereits erkennen, dass unter den pfluglos bestellten Kulturen mehr Nitrat zur Verfügung steht als unter den gepflügten.

Damit ergibt sich schon eine Erklärung für die höheren Rohproteingehalte (s. Kap. 3.3) des Weizens bei Mulchsaat, der sich insbesondere in der Monokultur sowie in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste deutlich herauskristallisiert hatte.

Gerade weil zu dieser Fragestellung eine fast unübersehbar große Datenmenge vorhanden ist, so macht erst die Zusammenfassung die Zusammenhänge deutlich. Tabelle 5 zeigt die Jahresmittel der Bodennitratgehalte über *alle* Versuchsjahre und *alle* Fruchtfolgen auf. Daraus wird ersichtlich, dass unter Mulchsaat durchschnittlich 15,7 % mehr Nitrat für das Pflanzenwachstum zur Verfügung standen!

Wie bereits aus den Jahresverläufen der Nitratgehalte hervorgeht, so ist vor allem in der späteren Vegetationszeit (Juni/Juli) für Pflanzen nach Mulchsaat mehr verfügbarer Stickstoff im Boden gewesen, der sich sowohl in den absoluten Erträgen als auch der Kornqualität (Rohproteingehalt) vor allem des Weizens bemerkbar machte. Keine der anderen Kulturen zeigte somit eine derart positive Reaktion auf den Pflugverzicht. Das liegt natürlich auch daran, dass die N-Düngung nicht auf die maximale Versorgung ausgerichtet wurde. Nur so war es überhaupt möglich, die Veränderungen in der Nitrat-Mobilisierung aufzudecken.

Tabelle 5: Jahresmittel der Bodennitratgehalte (kg/ha N) in 0-90 cm Tiefe im Vergleich von Pflug- und Mulchsaat

	1996	1997	1998	1999	2000	Ø 1996-2000
Pflug	58	35	38	37	39	
Mulchsaat	68	41	45	43	43	
% mehr Nitrat bei Mulchsaat	16.7	18.3	17.4	16.4	9.6	15.7

3.5.3.1 Wirkung der Vorfrucht Futtererbsen auf die Wintergerste

In der Versuchsanlage wurde die N-Düngung für jedes Versuchsglied entwicklungs- und witterungsabhängig dem Bedarf angepasst. In den Fruchtfolgen gibt es deshalb folgende Unterschiede im Düngungssystem der Gerste:

- Wintergerste nach Winterweizen: ca. 180 kg N/ha mineralisch
- Wintergerste nach Futtererbsen: ca. 110 kg N/ha mineralisch

3.5.3.1.1 Mineralisierung im Spätsommer

Abbildung 100 zeigt die N_{\min} -Gehalte des Bodens unter Wintergerste nach verschiedenen Vorfrüchten (Winterweizen bzw. Futtererbsen) sowohl in den gepflügten als auch in den ungepflügten Varianten in den drei Wintern von 1997/98 bis 1999/2000.

Sehr deutlich treten in allen Untersuchungsjahren die hohen N_{\min} -Gehalte nach den Futtererbsen hervor. Das Ergebnis ist nicht überraschend, da Leguminosen in der Lage sind, große Stickstoffmengen in biologisch leicht verfügbarer Form zu binden. So ist aber zwangsläufig eine hohe Mineralisierung in den Spätsommer- und Herbstmonaten zu erwarten. Aus Abbildung 100 lassen sich nach Erbsen Mineralisierungsschübe von 60 bis 160 kg N/ha ableiten. Im Vergleich dazu sind die N_{\min} -Gehalte des Bodens nach Winterweizen deutlich geringer. Die Mineralisierungsschübe vor Winter betragen zwischen 30-35 kg N/ha (ohne Herstdüngung) und 60-100 kg N/ha (mit 30-50 kg N/ha Herstdüngung).

Zu diesen unter Gerste gemessenen Werten müssten die Nährstoffentzüge der Wintergerste mit etwa 25 kg N/ha vor Winter noch addiert werden. Aber angesichts der tatsächlichen Stickstofffreisetzung nach den Erbsen nehmen sich die Nährstoffentzüge der Wintergerste vor Winter doch recht bescheiden aus.

3.5.3.1.2 Einfluss der Bodenbearbeitung

Der Einfluss der Bodenbearbeitung scheint gegenläufig zu sein: Während nach Weizen ein Pflugeinsatz geringere N_{\min} -Werte als die ungepflügte Bodenbearbeitung zur Folge hat, ist es nach der Vorfrucht Erbsen eher umgekehrt. Dies könnte mit der schnellen mikrobiologischen Zersetzbarkeit der Wurzelmasse zusammenhängen: Während durch den Pflug die überwiegend oberflächennahe unterirdische Masse des Weizens tiefer verteilt wird, bringt er die tiefer verteilte unterirdische Masse der Erbsen eher an die Oberfläche, wo die mikrobielle Hauptaktivität stattfindet.

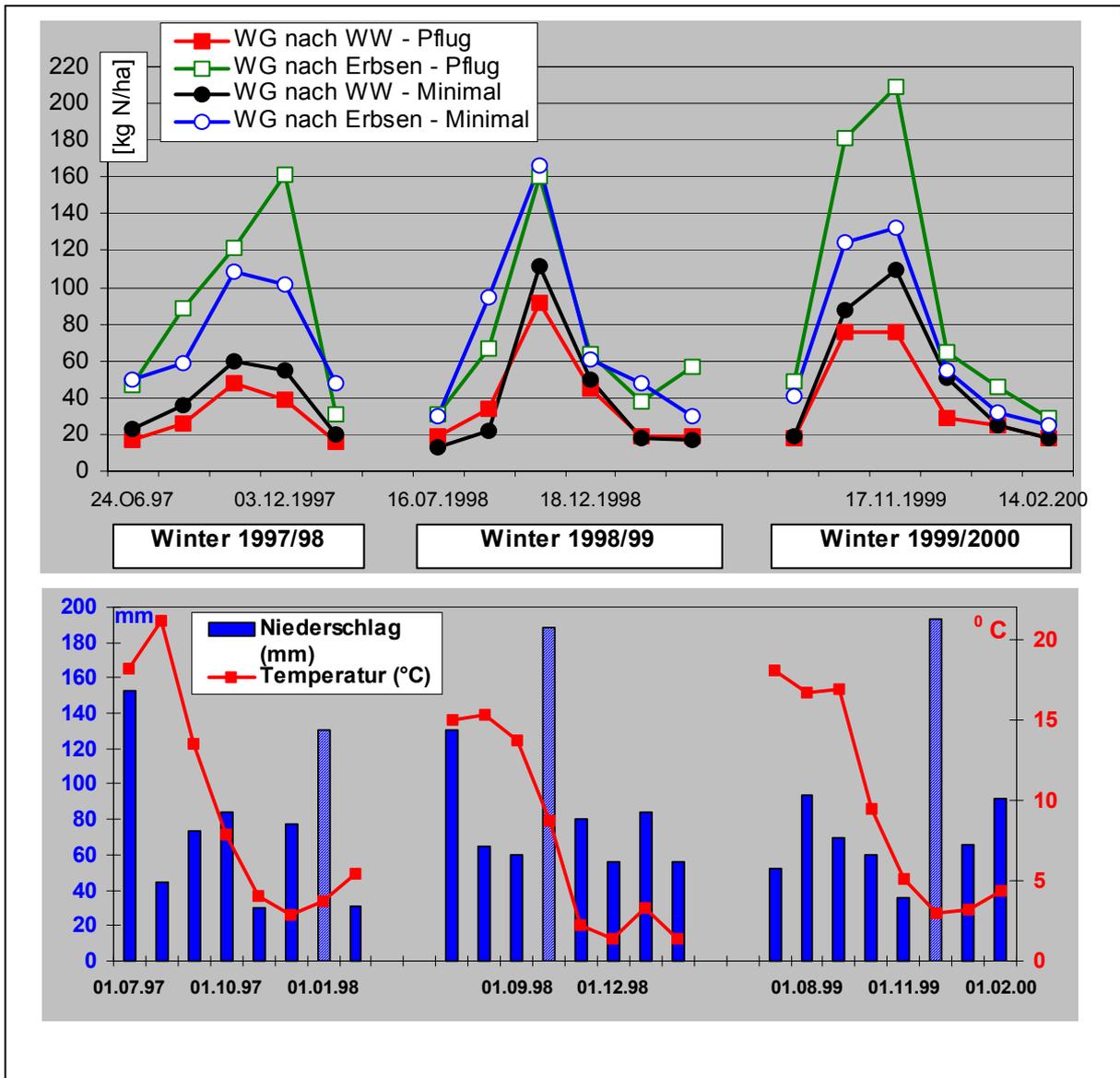


Abbildung 100: N_{min}-Gehalte im Boden unter Gerste in Abhängigkeit von der Vorfrucht und Witterung

3.5.3.1.3 N-Verluste über Winter

Deutlicher als andere Einflussfaktoren macht sich die Jahreswitterung bemerkbar. Abbildung 100 zeigt im unteren Teil die monatlichen Niederschlagsmengen und Durchschnittstemperaturen. Intensive Niederschläge im Januar 1998, Oktober 1998 und Anfang Dezember 1999 waren die Ursache für den steilen Abfall der N_{min}-Gehalte in den untersuchten Jahren. Dieser niederschlagsbedingte Effekt wurde in diesem Versuch 1999/2000 bei 14-tägiger Bodenuntersuchung (unter Weizen-Monokultur) besonders gut sichtbar.

Der Verlauf der in der Abbildung 100 dargestellten N_{\min} -Gehalte macht deutlich, dass die winterlichen Niederschläge eine erhebliche N-Verlagerung in den Bereich unterhalb 90 cm zur Folge hatten. In den Untersuchungsjahren verringert sich der gemessene Nitratgehalt in 0-90 cm Tiefe über Winter dabei um folgende Stickstoffmengen:

Tabelle 6: Stickstoffverluste über Winter nach Erbsen im Vergleich zu Weizen

Vorfrucht	Hauptfrucht	Bodenbearbeitung	Stickstoffverluste (kg N/ha)
Weizen	Gerste	Pflug	32 – 73
Weizen	Gerste	Mulch	39 – 95
Futtererbsen	Gerste	Pflug	123 - 180
Futtererbsen	Gerste	Mulch	61 – 136

Die Ergebnisse zeigen, dass der Pflugverzicht die N-Verlagerung nach Erbsen erheblich verringert hat. Zur Eindämmung der N-Auswaschung nach Leguminosen muss nach diesen Erfahrungen die pfluglose Bestellung der Folgefrucht zwingend empfohlen werden!

3.5.3.1.4 N-Verfügbarkeit im Frühjahr

Die Nitratgehalte des Bodens hatten sich durch die winterlichen Niederschläge bis zum Februar weitgehend nivelliert, und auch in den nachfolgenden Vegetationsperioden traten keine aussagekräftigen Unterschiede auf. Dennoch kann ab dem Frühjahr wieder von einer verstärkten Stickstoffmineralisierung nach Erbsen ausgegangen werden. Dieser Stickstoff wurde jedoch von den Gerstenpflanzen laufend für die Deckung des Nährstoffbedarfes aufgezehrt und bildete einen beachtlichen Nährstoff-schatz: Im Vergleich zur Vorfrucht Weizen wurden nach Erbsen 70-80 kg N/ha an Mineraldünger eingespart!

In diesem Versuch hat es sich als sinnvoll erwiesen, bei Gerste nach Erbsen die letzte N-Gabe völlig auszulassen, weil zu diesem Zeitpunkt auf dem Versuchsstandort die Stickstoffmineralisierung einen hohen Umfang erreichte und erheblich zur Versorgung der Pflanzen beitragen konnte.

3.5.3.1.5 Standfestigkeit der Sorten

Da die Freisetzung des Stickstoffs stark von der Witterung (Bodenfeuchte und –temperatur) beeinflusst wird, ist dieser Prozess wenig vorhersehbar. Aus diesem Grund kommt der Standfestigkeit der Gerste eine besondere Bedeutung zu. Die Sorte „Krimhild“ des Systemversuchs wurde dabei oft auf die Probe gestellt. Unter ungünstigen Umständen, wenn die Witterung eine unbefriedigende Wirkung der Wachstumsregler mit sich brachte (1998) und dazu noch schwere Schauerböen im Juni über den Versuchsstandort hinwegfegten, kam es auch zu Lager mit Ertragseinbrüchen.

3.5.3.1.6 Ertragswirkung der Fruchtfolge

Im Vergleich beider Fruchtfolgen vermindern die Erbsen als Vorfrucht den mineralischen N-Düngungsaufwand zu Wintergerste um 70 kg N/ha, was auch ökonomisch nicht unerheblich ist. Insgesamt zeigte sich die Gerste nach Erbsen immer sehr viel vitaler als nach Weizen, was sich trotz reduzierter Mineraldüngung auch in höheren Erträgen bemerkbar machte.

Tabelle 7: Vergleich der mineralischen N-Düngung von Gerste nach Weizen und nach Erbsen

Vorfrucht	Hauptfrucht	N-Düngung (kg N/ha)	Durchschnittsertrag 1997, 1999, 2000 Mittel aus Pflug + Minimal (dt/ha bei Korngröße > 2,2 mm)
Weizen	Gerste	180	80
Futtererbsen	Gerste	110	86

3.5.3.1.7 Schlussfolgerungen

In der ackerbaulichen Praxis wird man unter heutigen Bedingungen eher Weizen nach Leguminosen anbauen als Wintergerste, weil die Probleme der Bestandesführung geringer sind. Außerdem setzt Weizen den organisch gebundenen Stickstoff ja auch gerade nach Mulchsaat ganz besonders gut und effektiv in hohe Kornqualität um.

Aus diesem Grund ist es für die Praxis empfehlenswert, eine modifizierte fünfgliedrige Fruchtfolge zu erproben:

Raps – Weizen – Ackerbohnen – Weizen – Gerste.

3.6 Regenwurmaktivität

Die Unterschiede in den Bodennitratgehalten deuten bereits darauf hin, dass in den Mulchsaatflächen eine höhere biologische Aktivität vorhanden sein musste. Aufgrund der großen Bedeutung der Regenwürmer für die Einmischung organischer Substanz wurde deshalb im letzten Projektjahr die Aktivität dieser Bodentiere mit einem speziellen Verfahren überprüft.

3.6.1 Erfassung der Regenwurmgänge

Im Rahmen des Projektes wurden im letzten Versuchsjahr in allen 20 Teilstücken des Versuches 1 x 1m große Parzellen mit dem Spaten freigelegt, mit einer Maurerkelle abgezogen und geglättet. Anschließend konnte das lockere Bodenmaterial mit einem Industriestaubsauger entfernt werden, wodurch alle dauerhaften Regenwurmgänge sichtbar wurden.



Abbildung 101: Anlage einer Auswertungspartelle zur Erfassung der Regenwurmgänge.



Abbildung 102: Jeder Regenwurm gang wurde bei der Zählung mit einem Zahnstocher markiert, um Doppelzählungen zu vermeiden.

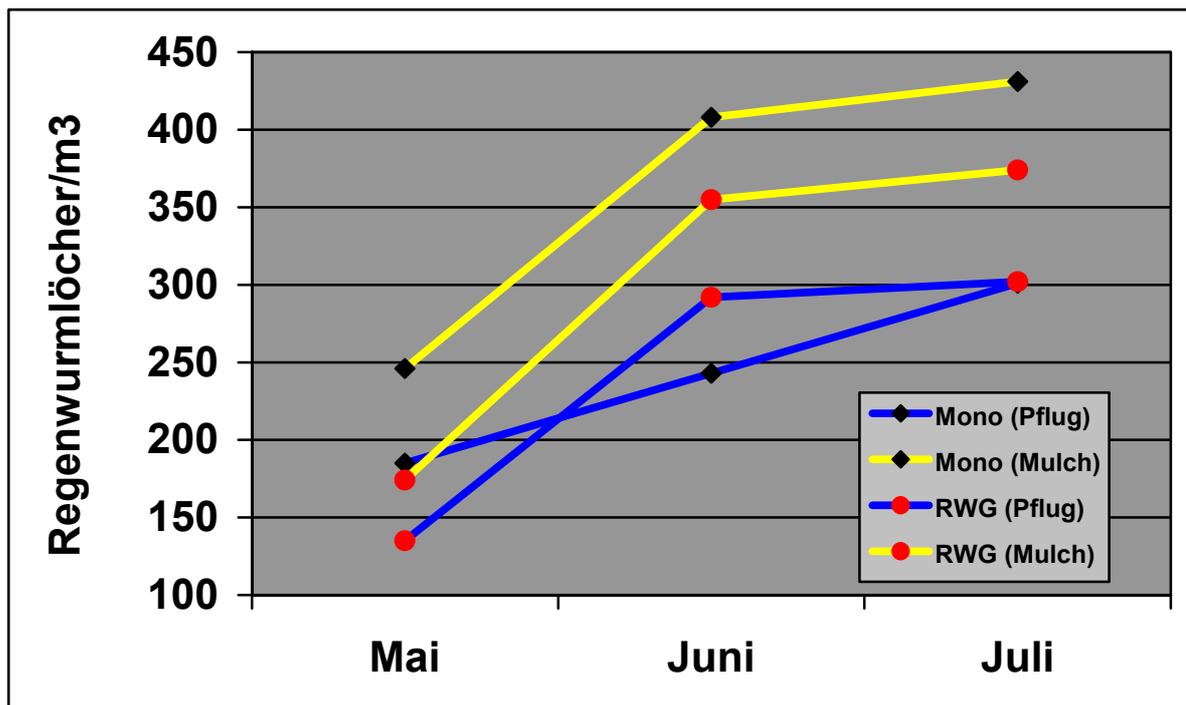


Abbildung 103: Anzahl der Regenwurmgänge unter Weizen bei Pflug- und Mulchsaat nach 8-jähriger Versuchsdauer

Mit der beschriebenen Methode konnten sehr aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden. Der herausragendste Befund ergab sich dabei in der Weizenmonokultur: In keiner anderen Fruchtfolge waren ähnlich hohe Regenwurmaktivitäten zu finden wie in dieser. Sowohl in Weizenmonokultur als auch in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste war nach Mulchsaat die Anzahl der Regenwurmgänge deutlich höher als nach Pflugbestellung (s. Abb. 103).

Durch die starken vertikalen Wanderungsbewegungen innerhalb des Bodenprofils tragen die Regenwürmer ganz erheblich zu einer Verlagerung organischer Substanz bei, die somit auch in die tieferen Bodenschichten gelangt. Dort kann dann auch in den warmen Sommerwochen während der Hauptwachstumsperiode eine Mineralisierung erfolgen. Somit wird den Pflanzen leicht verfügbarer Stickstoff in einer Bodentiefe zur Verfügung gestellt, in der noch aktives Wurzelwachstum zur Wasseraufnahme zu verzeichnen ist. Auf diese Weise verfügen gerade die Weizenpflanzen in der späten Phase der Kornfüllung über ein besseres N-Angebot, das sich in den deutlich erhöhten Rohproteingehalten widerspiegelt.

Eine späte, mineralische N-Düngung erbringt solche Effekte beim heutigen Ertrags- und Düngungsniveau kaum noch, da nur die Wurzeln in den oberen Bodenschichten überhaupt Kontakt zu dem Minereraldünger haben. Deren Funktion ist aber ab Anfang Juli durch Austrocknung des Bodens meistens stark eingeschränkt.

3.6.2 Statistische Auswertung der Ergebnisse

Tabelle 8: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Anzahl von Regenwurmlöchern in Abhängigkeit vom Beprobungstermin, der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung. Hier: Beprobungstermin

	Weizen		Gerste		Raps		Hafer		Erbsen	
Datum	Löcher/qm***		Löcher/qm*		Löcher/qm***		Löcher/qm*		Löcher/qm	n.s.
21.05.2001	196	a	178	a	146	a	134	a	173	a
19.06.2001	297	b	289	b	272	b	204	ab	290	a
04.07.2001	347	c	268	b	326	c	287	b	335	a

Erläuterungen: * = signifikant; *** = sehr hoch signifikant; n.s. = nicht signifikant

Unterschiedliche Buchstaben hinter den Varianten bedeuten, dass sich die Varianten statistisch abgesichert unterscheiden.

Mit sehr hoher Signifikanz nimmt die Anzahl der Regenwurmgänge unter Weizen, Gerste und Raps in der Zeit von Mai bis Juli zu. Beim Hafer gibt es ähnliche Effekte, deren statistische Absicherung aber nicht so hoch ist; ähnliches gilt für Erbsen.

Tabelle 9: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Anzahl von Regenwurmlöchern in Abhängigkeit vom Beprobungstermin, der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung. Hier: Fruchtfolge

	Weizen		Gerste		Raps	
Fruchtfolge	Löcher/qm	*	Löcher/qm	n.s.	Löcher/qm	*
Mono-3	296	b				
Mono-5	308	b				
RWG	272	ab	249	a	274	b
RHWEG	244	a	241	a	222	a

Erläuterungen: * = signifikant; *** = sehr hoch signifikant; n.s. = nicht signifikant

Unterschiedliche Buchstaben hinter den Varianten bedeuten, dass sich die Varianten statistisch abgesichert unterscheiden.

Die höhere Anzahl von Regenwurmgängen unter beiden Monoweizenversuchen unterscheidet sich signifikant von den beiden anderen Fruchtfolgen. In der Wintergerste sind keine Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen nachweisbar. Im Raps sind die Regenwürmer mit signifikantem Unterschied in der dreigliedrigen Fruchtfolge aktiver als in der fünfgliedrigen.

Tabelle 10: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Anzahl von Regenwurmlöchern in Abhängigkeit vom Beprobungstermin, der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung. Hier: Bodenbearbeitung

	Weizen		Gerste		Raps		Hafer		Erbsen	
Bodenbearbeitung	Löcher/qm***		Löcher/qm*		Löcher/qm**		Löcher/qm n.s.		Löcher/qm n.s.	
Pflug	232	a	231	a	215	a	175	a	249	a
Mulchsaat	328	b	259	a	281	b	242	a	283	a

Erläuterungen: * = signifikant; *** = sehr hoch signifikant; n.s. = nicht signifikant

Unterschiedliche Buchstaben hinter den Varianten bedeuten, dass sich die Varianten statistisch abgesichert unterscheiden.

Im Weizen sind die höheren Regenwurmaktivitäten in der Mulchsaat statistisch sehr hoch signifikant gegen die Pflugbestellung abgesichert. Auch im Raps ergeben sich deutlich höhere Aktivitäten bei Pflugverzicht, die hoch signifikant abgesichert werden konnten.

3.6.3 Schlussfolgerungen

Die Auszählung der Regenwurmgänge erbrachte das überraschende Ergebnis, dass insbesondere unter pfluglos bestelltem Monoweizen die höchste Aktivität an Regenwürmern zu finden war. Bedingt durch die regelmäßige Anlieferung des gleichen Nahrungssubstrates konnte sich anscheinend eine sehr stabile Population aufbauen. Damit wurde eine sehr gute Grundlage zur Verbesserung des Strohabbaus geschaffen. Wenn es gelingt, das Stroh auf Streichholzlänge zu häckseln und gleichmäßig auszubringen, dann besteht auch nach einer langstrohigen Weizensorte bei Monokultur eine hohe Dynamik in der Umsetzung der organischen Substanz.

3.7 Auftreten von Unkräutern und Ungräsern

In Praxis und Beratung herrscht die Befürchtung vor, dass sich bei Pflugverzicht grundsätzlich Probleme mit der Regulation von Ungräsern einstellen. Diese Entwicklung hängt jedoch sehr stark vom Ausgangsbesatz ab. Beginnt man mit pfluglosem Ackerbau auf einem Ackerfuchsschwanzstandort, auf dem bereits Herbizidresistenzen etabliert sind, dann wird der Pflugverzicht –oft in Kombination mit Frühsaat– sicher Probleme bereiten.

Stellt man aber auf einem Standort mit normaler Mischverunkrautung die Bodenbearbeitung um, so müssen nicht zwangsläufig Probleme auftreten. Diese Ausgangssituation fand sich in Ostenfeld zu Beginn der 90er Jahre, und die Ergebnisse des Versuches sind in jeder Hinsicht hoffnungsvoll.

3.7.1 Durchführung der Untersuchung

Bei der Anlage des Versuches wurde auf Herbizidvarianten ganz bewusst verzichtet und in Raps und Getreide praxisüblich mit Blatt/Bodenherbiziden gearbeitet. Dabei kamen im Getreide (Mulch und Pflug) „Bacara“ und „Herold“ wegen der guten Windhalmwirkung beider Produkte im Rahmen eines Anti-Resistenz-Managements zum Einsatz. Im Raps erfolgte in den ersten Jahren die Anwendung von reinen „Butisan-Produkten, die wegen der zunehmenden Verunkrautung mit Rauke-Arten gegen Clomazone-haltige Präparate (bei Pflug- und Mulchsaat) ausgetauscht wurden. Es gab keine Verträglichkeitsprobleme mit dem Wirkstoff Clomazone bei pflugloser Bestellung.

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Bodenbearbeitung zu erfassen, wurde dann im letzten Versuchsjahr während der Vegetationsperiode 2001 eine aufwändige Analyse zum Auftreten von Unkraut und Ungras durchgeführt. Dabei kamen unter anderem folgende Verfahren zur Anwendung:

- a) Einbindung von Kontrollparzellen in allen Fruchtfolgen in der Kultur Winterweizen ohne jeglichen Herbizideinsatz zur Erfassung sämtlicher aufgelaufener Unkräuter und Ungräser
- b) Erfassung des Feldaufgangs aus ca. 12 cm Bodentiefe in den „Regenwurm-kontrollparzellen“

3.7.1.1 Herbizidfreie Kontrollparzellen im Winterweizen

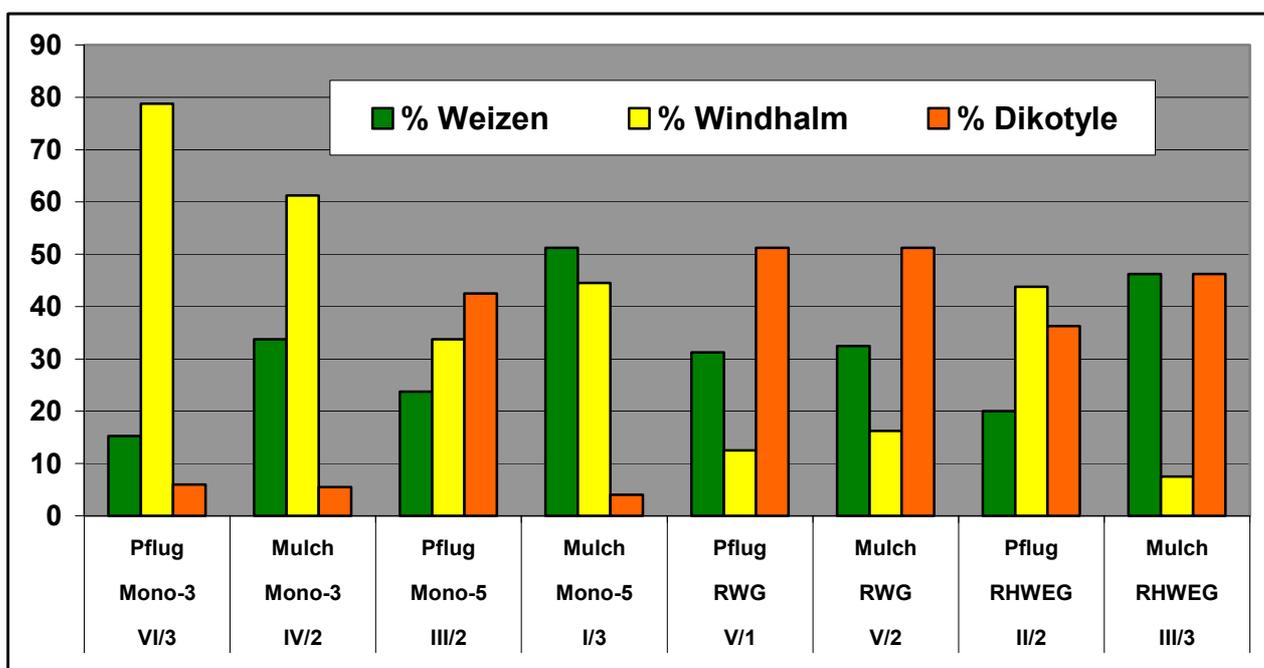


Abbildung 104: Prozentualer Anteil von Weizen, Windhalm und Unkräutern in den herbizidfreien Parzellen aller Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsvarianten

Die Abbildungen 105 und 106 geben einen Eindruck von den herbizidfreien Versuchspartellen mit Winterweizen nach sieben Jahren erfolgreichen Herbizideinsatzes. Der Auflauf von Unkräutern und Ungräsern spiegelt somit das alte Samenpotential des Bodens wider!



Abbildung 105: Die herbizidfreien Parzellen zeigten schon im Juni 2001 einen erheblichen Besatz an Windhalm.



Abbildung 106: Im Juli 2001 dominierte der Windhalm die gesamte Parzelle

Die in Abbildung 104 (S. 86) dargestellten Bonituren brachten folgende Ergebnisse:

- Die beiden Monoweizenversuche unterschieden sich durch große lokale Unterschiede im Auftreten der Unkräuter und Ungräser. Versuch Mono-3 wies grundsätzlich eine stärkere Verungrasung auf als Versuch Mono-5. Da während der gesamten Versuchsdauer mit den eingesetzten Herbiziden ausgezeichnete Wirkungsgrade von fast 100% gegen Windhalm erzielt worden waren, ist das Windhalmauftreten zweifellos eine Folge des Samenvorrates im Boden, der sich über Jahrzehnte aufgebaut hatte.
- In den Fruchtfolgen RWG und RHWEG waren deutlich mehr Unkräuter als Ungräser aufgelaufen.

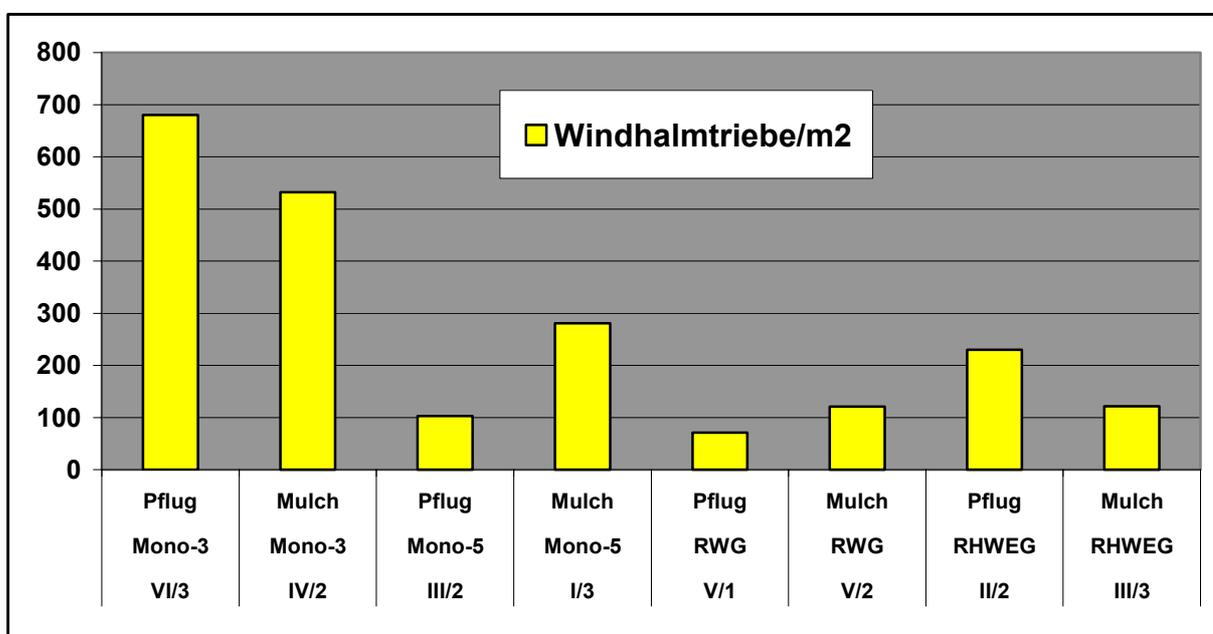


Abbildung 107: Windhalmtriebe pro m² in herbizidfreien Weizenparzellen

Aus Abbildung 107 geht hervor, dass mit Ausnahme des stark mit Windhalm belasteten Versuches Mono-3 keine andere Fruchtfolgefläche einen vergleichbarem Aufruf von Windhalm hervorbrachte. Hier gab es also sich erhebliche regionale Unterschiede im Samenpotential des Bodens.

Eine Tendenz zum verstärkten Aufruf von Windhalm lässt sich im pfluglosen Monoweizen des Versuches Mono-5 sowie in der Fruchtfolge R-W-G erkennen. In der Fruchtfolge R-H-W-E-G lief nach dem Pflügen deutlich mehr Windhalm auf.

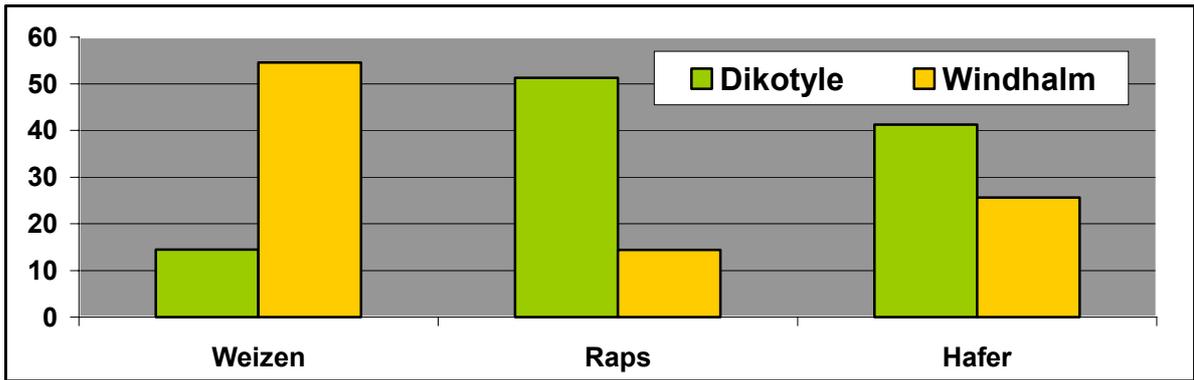


Abbildung 108: Prozentualer Anteil der Unkräuter und des Windhalms nach unterschiedlichen Vorfrüchten

Abbildung 108 zeigt den Einfluss der Vorfrüchte auf das Auftreten des Windhalms und Dikotylers. Es zeichnete sich eine Tendenz zu verstärktem Auflauf von Windhalm beim Anbau von Weizen nach Weizen ab, während nach Raps und Hafer ein deutlich geringerer Feldaufgang in der herbizidfreien Kontrolle festzustellen war.

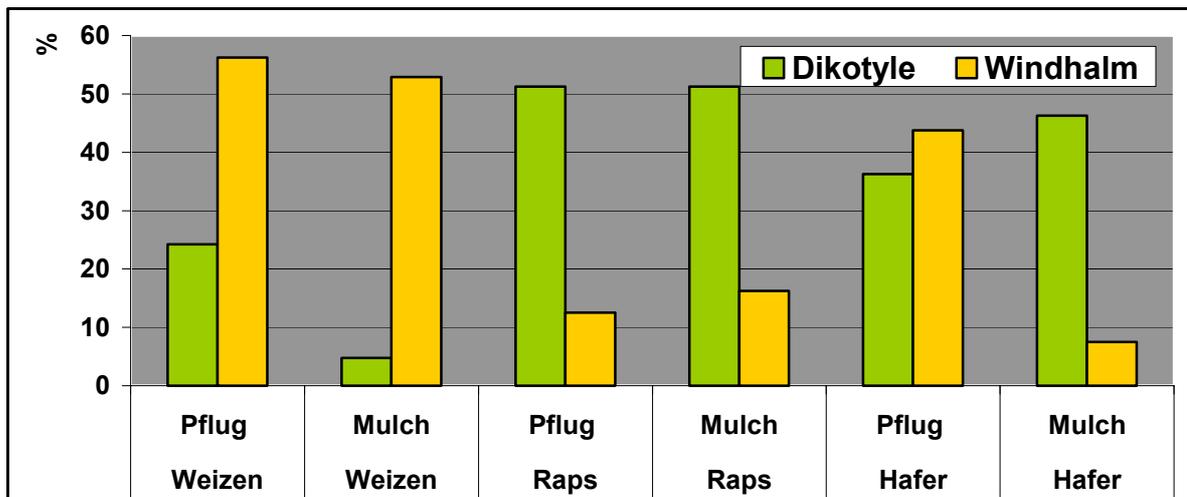


Abbildung 109: Prozentualer Anteil der Unkräuter und des Windhalms nach Vorfrüchten und Bodenbearbeitungsvarianten

Abb. 109 zeigt ein einheitliches Bild: Beim Weizen als Vorfrucht ist in der gepflügten Variante sowohl der Anteil der Unkräuter als auch des Windhalms höher als in der pfluglosen Variante. Diese Beobachtung trifft auch für Hafer als Vorfrucht zu. Raps als Vorfrucht fördert deutlich erkennbar den Anteil der Unkräuter.

3.7.1.1.1 Statistische Verrechnung

Die mehrfaktorielle Verrechnung erbrachte folgende Ergebnisse:

- Die beiden Weizenmonokulturen Mono-3 und Mono-5 unterscheiden sich sehr hoch signifikant im Besatz mit Windhalm, was auf dem unterschiedlichen Samenpotential im Boden beruht.
- Der Windhalmbesatz den Fruchtfolgen Raps-Weizen-Gerste und Raps-Hafer-Weizen-Erbesen-Gerste ist sehr hoch signifikant geringer als in den Monokulturen.
- Die pfluglose Bodenbearbeitung hat einen signifikant geringeren Besatz mit Windhalm aufzuweisen als die Pflugbestellung.

Tabelle 11: Statistische Verrechnung aller Daten (logarithmiert) aus der Bonitur der herbizidfreien Weizenparzellen

	Windhalm (%)		Kamille (%)		Vogelmiere (%)		Klettenlabkraut (%)		Hirten-täschel (%)		Vergissmeinnicht (%)		Ackerstiefmütterchen (%)	
Fruchtfolge		***		n.s.		***		n.s.		***		***		n.s.
Mono-3	1.8	c	0.4	a	0.0	a	0.5	a	0.0	a	0.0	a	0.1	a
Mono-5	1.6	b	0.6	a	0.5	b	0.9	a	0.0	a	0.0	a	0.0	a
RWG	1.2	a	0.7	a	1.3	c	0.4	a	0.5	b	0.9	b	0.0	a
RHWEG	1.3	a	0.7	a	0.6	b	0.8	a	0.0	a	0.0	a	0.0	a
Bodenbearbeitung		*		***		***		**		**		n.s.		n.s.
Pflug	1.5	b	1.0	b	0.9	b	0.5	a	0.2	b	0.2	a	0.0	a
Mulch	1.4	a	0.2	a	0.4	a	0.9	b	0.0	a	0.3	a	0.0	a

Erläuterungen: *** = sehr hoch signifikant; ** = hoch signifikant; * = signifikant, n.s. = nicht signifikant
Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich entsprechend der angegebenen Signifikanz (Duncan-Test)

3.7.1.1.2 Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Projektes wurde versucht, nicht grundsätzlich einen Einsatz von Totalherbiziden wie „Round up“ oder ähnliche in der Mulchsaat einzuplanen, um die Kosten gering zu halten. Statt dessen sollte nach Möglichkeit aufgelaufenes Unkraut und Ungras mit den mechanischen Maßnahmen erfasst werden. Die exakte Analyse der Auflaufs von Unkräutern und Ungräsern aus dem Feldversuch zeigte, dass es erhebliche regionale Unterschiede in der Verteilung von Unkraut- und Ungrassamen gibt. Das machten die identischen Versuche Mono-3 und Mono-5 sehr deutlich.

Insgesamt lässt sich anhand der typischen Verunkrautung nicht nachweisen, dass der Pflugverzicht die Vergrasung fördert, denn die Mulchsaatvarianten hatten geringere Auflaufraten bei Windhalm zu vorzuweisen als die gepflügten. Bei Getreide als Vorfrucht stieg allerdings die Keimrate der Ungräser aus dem Samenvorrat des Bodens, was vor allem bei Weizenmonokultur zu einer erheblichen Verstärkung des Ungrasbesatzes führen kann und zu einer Selektion resistenter Einzelpflanzen führt.

3.7.1.2 Auflauf von Unkräutern und Ungräsern aus 12 cm Bodentiefe

Durch die Anlage der großen Parzellen zur Erfassung der Regenwurmgänge bestand die einmalige Möglichkeit, das Samenpotential in 12 cm Bodentiefe anhand des tatsächlichen Feldaufganges zu erfassen (Abb. 111).

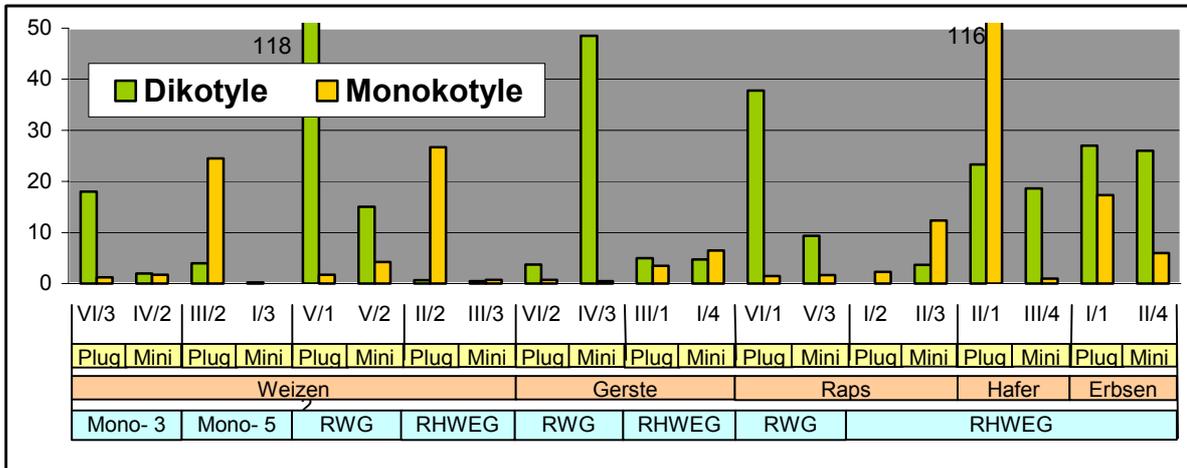


Abbildung 110: Auflauf von Mono- und Dikotylen aus 12 cm Bodentiefe in allen Kulturen aller Fruchtfolgen (Mini=Mulchsaat)

Die Übersicht aller Fruchtfolgen und Kulturen in Abbildung 110 zeigt, wie stark der Auflauf von Unkraut- und Ungraspflanzen nach gepflügter Bestellung war. Bei pflugloser Bestellung gelangten weitaus weniger Samen aus tieferen Bodenschichten in den bearbeiteten Bereich, wodurch sich die Auflauftrate allmählich vermindert.

Noch deutlicher wird dieser Effekt bei Zusammenfassung aller Daten in Abbildung 111:

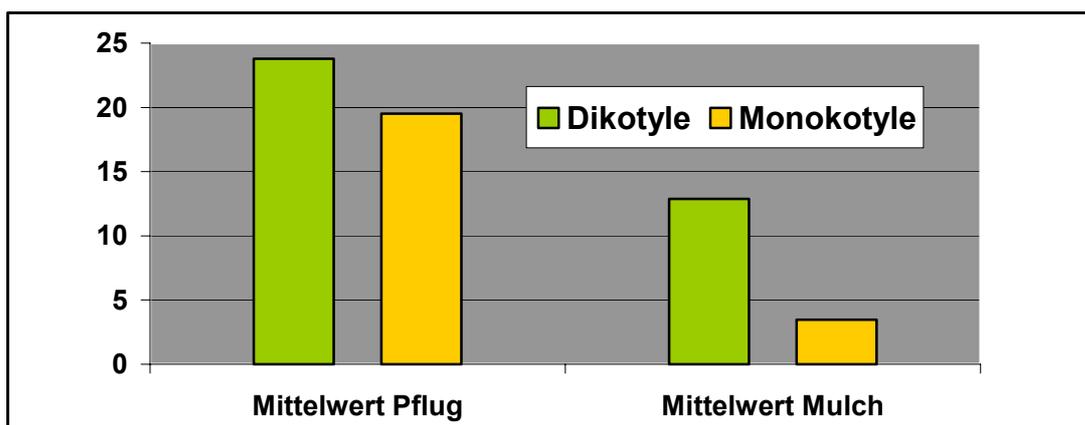


Abbildung 111: Mittelwert aufgelaufener Unkräuter und Ungräser in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungsvarianten

Aus Abbildung 111 geht sehr deutlich hervor, dass das Samenpotential von Unkräutern und Ungräsern in 12 cm Bodentiefe bei nichtwendender Bodenbearbeitung deutlich geringer ist als nach Pflugbestellung.

Unterschiede gibt es allerdings in Abhängigkeit von der Fruchtfolge, was aus Abbildung 112 hervorgeht.

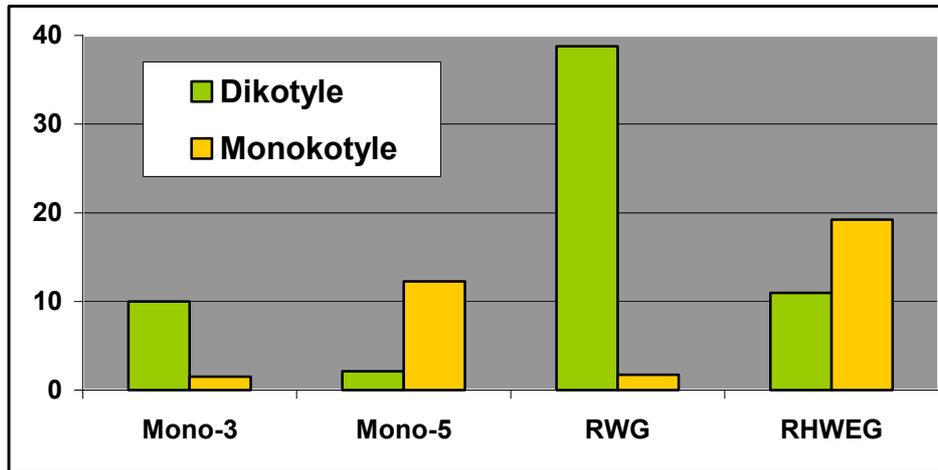


Abbildung 112: Anteil Mono- und Dikotylen in 12 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der Fruchtfolge

Es zeigte sich, dass in der Fruchtfolge RWG der höchste Anteil von Unkräutern (Dikotyle), in der Fruchtfolge RHWEG der höchste Anteil von Ungräsern (Monokotyle) aufgelaufen war. Die beiden Monokulturen Mono-3 und Mono-5 unterschieden sich wieder signifikant in der Besatzstärke des Windhalms, was sich über die unterschiedliche regionale Samenverteilung in Boden gut erklären lässt.

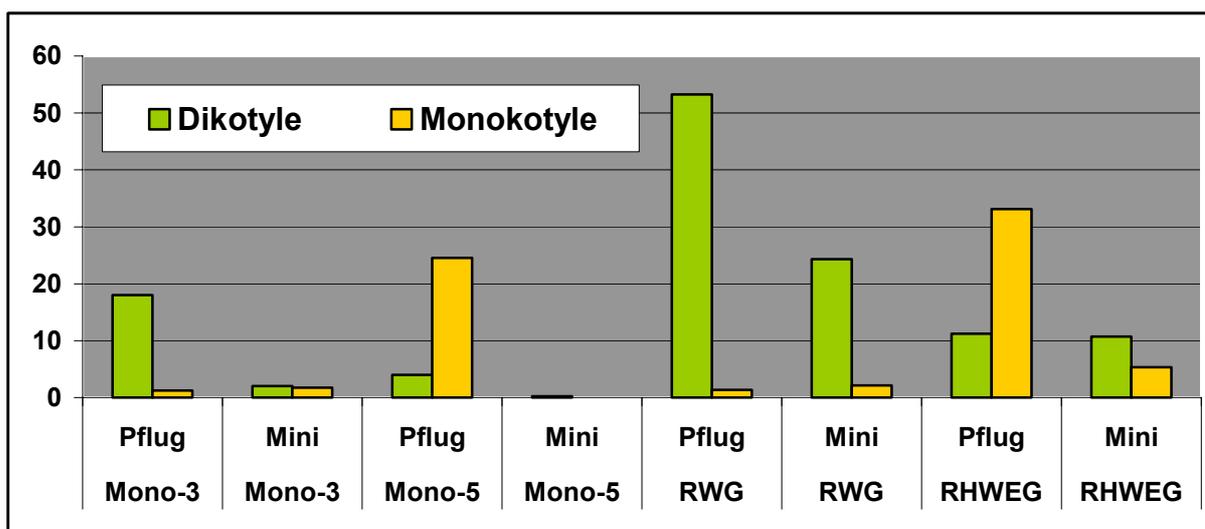


Abbildung 113: Auflauf von Mono- und Dikotylen in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung

Abbildung 113 zeigt eindrucksvoll, dass die höchsten Auflafraten in 12 cm Bodentiefe in der Fruchtfolge RWG nach dem Pflügen festzustellen waren, während sich in der pfluglosen Variante dieser Fruchtfolge eine deutliche Reduzierung bemerkbar machte.

In der fünfgliedrigen Fruchtfolge ist der Anteil an keimfähigen Windhalmsamen deutlich größer, denn auch hier war die Auflaufquote nach wendender Bodenbearbeitung höher als nach Mulchsaat.

In den Monokulturen gab es –mit Ausnahme des Versuches Mono-5 mit ohnehin außergewöhnlich hohem Ungrasbesatz- keine Zunahme des Windhalmesatzes.

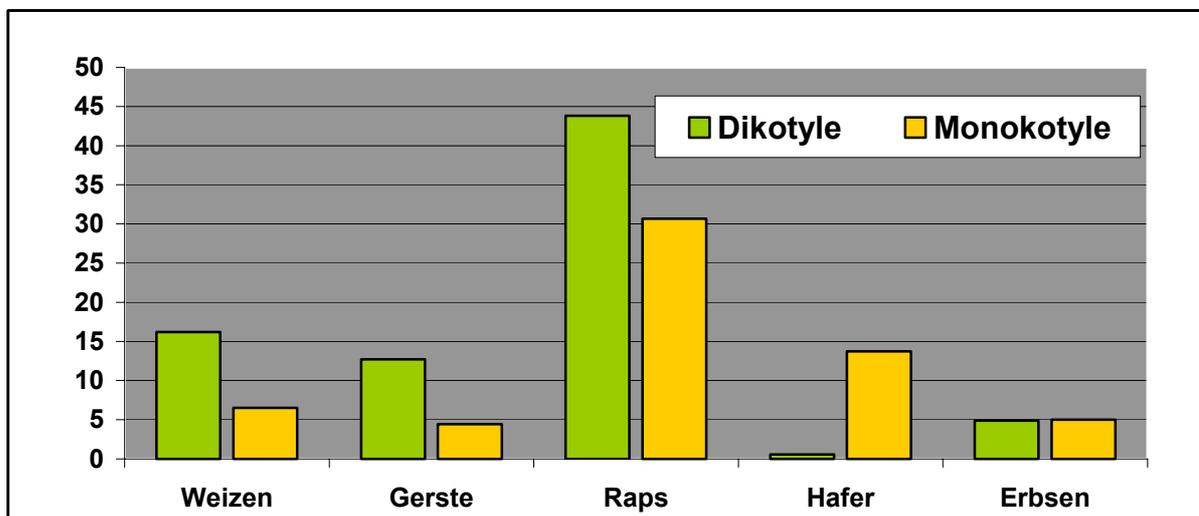


Abbildung 114: Auflauf Mono- und Dikotyle in Abhängigkeit von der Vorfrucht

Die höchste Auflaufquote aus 12 cm Bodentiefe ergab sich nach der Vorfrucht Raps (Abb. 114). Das ist gut zu erklären, denn Raps gilt ja schließlich als Kultur, die das Auflaufen von Unkraut und Ungras durch die Bodenschattierung zu verhindern vermag. So verbleibt natürlich auch ein höherer Anteil nicht gekeimter Samen im Boden.

Ein abschließendes Bild ergibt sich aus der Zusammenfassung von Vorfrüchten und Bodenbearbeitungsvarianten. Abbildung 115 zeigt, dass nach gepflügter Bestellung von Wintererbsen die höchsten Auflaufquoten sowohl bei Unkräutern als auch Ungräsern festzustellen waren.

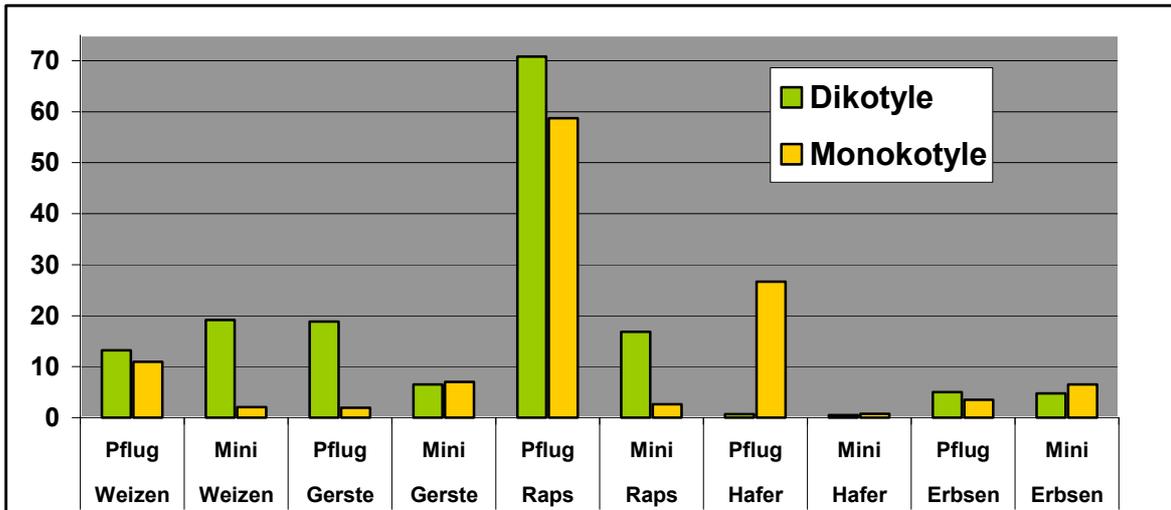


Abbildung 115: Auflauf von Mono- und Dikotylen aus 12 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung

3.7.1.2.1 Statistische Verrechnung

Tabelle 12: Dreifaktorielle statistische Verrechnung der Auflaufraten aus 12 cm Bodentiefe (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Frucht und Vorfrucht)

Fruchtfolge	Summe Dikotyle	***	Summe Monokotyle	n.s.	Gesamt	n.s.
Mono-3	10.0	a	1.5	a	11.5	a
Mono-5	2.1	a	12.3	a	14.4	a
RWG	40.0	b	2.1	a	42.1	a
RHWEG	10.3	a	18.0	a	28.3	a
Bodenbearbeitung	Summe Dikotyle	n.s.	Summe Monokotyle	*	Gesamt	**
Pflug	25.0	a	17.6	b	42.6	b
Mini	12.7	a	3.3	a	16.0	a
Vorfrucht	Summe Dikotyle	**	Summe Monokotyle	n.s.	Gesamt	***
Weizen	15.5	a	6.2	a	21.7	a
Gerste	14.6	a	5.5	a	20.1	a
Raps	47.1	b	26.7	a	73.8	b
Hafer	0.6	a	11.9	a	12.4	a
Erbsen	4.9	a	5.0	a	9.9	a

Erläuterungen: *** = sehr hoch signifikant; ** = hoch signifikant; * = signifikant, n.s. = nicht signifikant; Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich entsprechend der angegebenen Signifikanz (Duncan-Test)

Wichtigste Ergebnisse:

- Im *Vergleich der Fruchtfolgen* war bei RWG der höchste Auflauf von Dikotylen festgestellt worden (sehr hoch signifikant). Beim Auflauf der Monokotylen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen
- Im *Vergleich der Bodenbearbeitung* war der Auflauf von Monokotylen in der Pflugvariante signifikant höher als in der Mulchsaat.
- Im *Vergleich der Vorfrüchte* waren nach Raps mit hoher Signifikanz mehr Dikotyle aufgelaufen als nach anderen Vorfrüchten. Bei den Monokotylen ergab sich kein signifikanter Unterschied.

3.7.1.2.2 Schlussfolgerungen

Die Ermittlung des Auflaufs von Mono- und Dikotylen aus 12 cm Bodentiefe gab einen guten Eindruck vom Samenpotential in dieser Bodenschicht. Eine Förderung der Monokotylen bei Pflugverzicht (hier nur Windhalm) konnte nicht festgestellt werden. Statt dessen war der Auflauf nach wendender Bodenbearbeitung deutlich höher, was sich durch die tiefere Bodenvermischung erklären lässt. Damit wird insgesamt ein höheres Samenpotential zur Keimung angeregt.

Ein interessanter Effekt zeigt sich nach Raps als Vorfrucht, da in diesem Fall eine außergewöhnlich hohe Auflaufrate Mono- und Dikotylern festgestellt werden konnte. Das dürfte eine Folge der unkrautunterdrückenden Wirkung des Rapses sein, dessen Bodenbeschattung die Keimung von Ungräsern und Unkräutern deutlich vermindert. Eine Absenkung des Samenpotentials ist damit natürlich nicht verbunden, so dass in der Folgekultur mit erhöhten Keimraten gerechnet werden muss.

3.8 Ökonomische Bewertung

Für die ökonomische Auswertung wurden die Daten des gesamten Versuchszeitraumes berücksichtigt. In die Berechnungen flossen die absoluten Kornerträge ein, die als Mittelwerte aller Versuchsjahre in die DB-Berechnung eingebunden wurden (s. Tab. 13).

Bei dieser Analyse ist zu bedenken, dass die Sorten während des langen Versuchszeitraums nicht gewechselt wurden, um die Vergleichbarkeit über die Jahre zu gewährleisten.

Damit ergab sich aber zwangsläufig im Laufe der Jahre ein geringeres Ertragniveau, als es in der landwirtschaftlichen Praxis realisiert werden konnte. Dies gilt um so mehr, als seit Mitte der 1990er Jahre in Schleswig-Holstein kaum noch Qualitätsweizen, sondern fast ausschließlich hochertragreiche B- und C-Weizensorten zum Anbau gelangten.

Tabelle 13: Durchschnittserträge der Kulturen in den verschiedenen Versuchsvarianten

Frucht-Folge	Bearbeitung.	Ø-Ertrag Weizen „Zentos“ (dt/ha)	Ø-Ertrag Gerste „Krimhild“ (dt/ha)	Ø-Ertrag Raps „Express“ (dt/ha)	Ø-Ertrag Hafer „Jumbo“ (dt/ha)	Ø-Ertrag Erbsen (dt/ha)
Mono	Pflug	73	-----	-----	-----	-----
Mono	Mulch	77	-----	-----	-----	-----
RWG	Pflug	84	79	38	-----	-----
RWG	Mulch	88	75	39	-----	-----
RHWEG	Pflug	91	76	43	75	45
RHWEG	Mulch	88	74	37	76	34

Auch bei der Wintergerste sind die Unterschiede inzwischen beträchtlich. Zu Beginn der Untersuchungen stellte Krimhild als gelbmosaikresistente Sorte einen neuen Standard dar, der aber nach wenigen Jahren vom aktuellen Sortiment in den Schatten gestellt wurde. Somit sind die erzielten Marktleistungen –wie auch beim Weizen– nicht mit den Daten neuerer Sorten vergleichbar.

Dieser Sachverhalt spielt auch bei den Leguminosen eine Rolle. Wie schon an anderer Stelle dargelegt, wurde diese Kultur zur Auflockerung der Fruchtfolge als stickstoffliefernde Blattfrucht eingebunden. Schlechte Witterung im Juli und August hat in einigen Versuchsjahren zu erheblichem Lager und somit zu Ertragsverlusten geführt.

Unter den aktuellen Bedingungen würde es sehr viel mehr Sinn machen, mit den heute verfügbaren Ackerbohnsensorten zu arbeiten. Diese sind nicht nur weitaus standfester, sondern sie überragen mit Erträgen um und über 60 dt/ha die Futtererbsen erheblich.

Fazit:

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt anhand der im Mittel der Jahre gemessenen exakten naturalen Versuchsdaten. Die Naturalerträge und die Aufwendungen für Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmittel wurden mit dem Preisniveau des Wirtschaftsjahres 2001/2002 bewertet.

In Kapitel 3.8.1 wird ein Vergleich der Deckungsbeiträge der gesamten Fruchtfolgen bei Eigenmechanisierung vorgenommen.

3.8.1 Deckungsbeiträge bei Eigenmechanisierung

Auf der Basis der detaillierten Deckungsbeitragsermittlung der Einzelkulturen bei Eigenmechanisierung erfolgt in Tabelle 14 eine Zusammenfassung, indem die Deckungsbeiträge aller Fruchtfolgen gegenübergestellt werden.

Tabelle 14: Deckungsbeiträge von Pflug- und Mulchsaat im Vergleich der einzelnen Fruchtfolgen bei Eigenmechanisierung

Fruchtfolge	Weizenmonokultur		Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste		Raps-Weizen-Gerste	
	Pflug	Mulch	Pflug	Mulch	Pflug	Mulch
variable Kosten (€)						
Saatgutkosten	55.89	60.43	55.89	60.43	46.73	46.73
variable Maschinenkosten	160.04	136.72	160.12	136.47	129.61	105.28
Düngemittel	192.66	193.94	189.92	191.20	148.33	154.58
Pflanzenschutz	153.50	196.58	152.64	166.57	95.68	97.53
Hagelversicherung	3.66	3.86	4.56	4.42	3.80	3.85
Lohntrocknung	94.96	100.04	118.12	114.57	97.40	98.80
Zinsen für Umlaufkapital	21.47	22.50	21.37	21.20	11.85	11.37
Summe variable Kosten	682.18	714.08	702.61	694.87	533.40	518.13
Leistungen (€)						
Ertrag	916.01	964.99	1.139.42	1.105.20	950.05	963.68
Prämie	429.00	429.00	429.00	429.00	429.00	429.00
Summe Leistungen	1.345.01	1.393.99	1.568.42	1.534.20	1.379.05	1.392.68
DB (€)	662.83	679.91	865.81	839.33	845.65	874.55
Differenz (€)	17.08		-26,48		28,90	

Fazit:

- Bereits bei bestehender Eigenmechanisierung und Ausnutzung der Maschinen unterhalb der Abschreibungsschwelle ergibt sich ein Wettbewerbsvorteil für die Mulchsaat beim Monoweizen (17,08 €/ha), der sich in der Fruchtfolge R-W-G auf 28,90 €/ha vergrößert.
- Die errechnete Unterlegenheit in der 5-gliedrigen Fruchtfolge R-H-W-E-G in Höhe von 26,48 €/ha ergibt sich aus den unbefriedigenden Erbsenerträgen im Mittel der Versuchsperiode.
- Die zusätzlichen Vorteile der Mulchsaat, der verminderte Kapitalbedarf bei der Maschinenausstattung (Abschreibung, Zinskosten) sowie der etwas geringere Arbeitszeitbedarf sind in dieser Vergleichsrechnung noch nicht berücksichtigt.

3.8.2 Deckungsbeiträge bei Fremdmechanisierung

Da die vorstehende Vergleichskalkulation nur bei kurzfristiger Betrachtungsweise aussagekräftig ist, wurde mit den gleichen naturalen Daten eine zweite Vergleichsrechnung durchgeführt, die auch die Unterschiede im Maschinenkapital und beim Arbeitszeitbedarf berücksichtigt. Das geschieht in der Modellrechnung dadurch, dass in dieser Kalkulation für alle Feldarbeiten der Einsatz eines Lohnunternehmens unterstellt wird. Bei diesem Kalkulationsansatz werden die langfristig zu erwartenden Gewinnunterschiede besser deutlich, wenn auch im Einzelbetrieb in Abhängigkeit von der Maschinen- und Arbeitskräfteauslastung Abweichungen auftreten können.

In Tabelle 15 werden die Deckungsbeiträge der Fruchtfolgen bei Fremdmechanisierung dargestellt.

Tabelle 15: DB je ha bei Fremdmechanisierung

	Weizenmonokultur		Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste		Raps-Weizen-Gerste	
Fruchtfolge	Pflug	Mulch	Pflug	Mulch	Pflug	Mulch
DB (€)	336.08	367.88	538.83	527.71	573.88	615.77
Differenz (€)	31.80		-11,12		41,89	

Fazit:

- Wie zu erwarten, verbessert sich die Wettbewerbsstellung der Mulchsaat gegenüber der Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug im Mittel um ca. 15 €/ha im Vergleich zu der vorstehenden Betrachtung.
- Dadurch ergeben sich bei der Weizenmonokultur (31,80 €/ha) und bei der dreigliedrigen Fruchtfolge R-W-G (41,89 €/ha) recht klare Wettbewerbsvorteile für die Mulchsaat gegenüber dem Einsatz des Pfluges.
- Bei der fünfgliedrigen Fruchtfolge R-H-E-W-G liegen die Unterschiede mit 11,12 €/ha zugunsten des Pfluges innerhalb der Fehlergrenze.

3.8.3 Arbeitszeitbedarf

Für die Praxis der Marktfruchtbetriebe spielen nicht nur die Kosten der Arbeitserledigung eine wichtige Rolle, sondern auch der Arbeitszeitbedarf. Hohe Schlagkraft ist gerade in Schleswig-Holstein erforderlich, da die Anzahl der Feldarbeitstage nicht so hoch ist wie in anderen Regionen.

Aus diesem Grund werden pfluglose Bestellverfahren gerade für größere Ackerbaubetriebe immer interessanter. Tabelle 16 zeigt den Arbeitszeitbedarf in den verschiedenen Fruchtfolgen bei Pflug- und Mulchsaat. Daraus geht hervor, dass die Mulchsaat in den untersuchten Fruchtfolgen einen geringeren Arbeitszeitbedarf zur Folge hat.

Tabelle 16: Arbeitszeitbedarf der Fruchtfolgen bei Pflug- und Mulchsaat

Fruchtfolge	Weizenmonokultur		Raps-Weizen-Gerste		Raps-Hafer-Weizen-Erbsen-Gerste	
	Mono Pflug	Mulch	Pflug	Mulch	Pflug	Mulch
Arbeitszeitbedarf (Akh)	9,4	8,2	8,4	7,2	9,1	8,0

4 Zusammenfassung

Von 1994 bis 2001 wurde auf dem Versuchstandort Ostenfeld (Hügelland, AZ 50, Parabraunerde) des Fachbereichs Landbau der Fachhochschule Kiel ein Ackerbau-Forschungsprojekt mit finanzieller Unterstützung der „Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft“ durchgeführt.

Schwerpunkte der Untersuchungen

- **Vergleich dreier Fruchtfolgen:**
 - Weizen-Monokultur
 - Raps-Weizen-Gerste
 - Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste
- **Vergleich zweier Bestellverfahren:**
 - Gepflügte Bestellung
 - Pfluglose Bestellung (Mulchsaat)

Besonderheiten des Anbauverfahrens

- **Integriertes Produktionssystem**
 - Begrenzte mineralische N-Düngung
 - Epidemie-orientierter Pflanzenschutzmitteleinsatz
 - Stroh und Ernterückstände verblieben auf dem Acker
 - Sortenkonstanz über alle Versuchsjahre (Weizen: „Zentos“, Raps „Express“, Gerste „Krimhild“, Sommerhafer „Jumbo“)

Wichtige Ergebnisse für die landwirtschaftliche Praxis

- **Ertragsleistung**
 1. Weizen-Monokultur
 - Deutlich schnellere Regeneration der Ertragsleistung in Mulchsaat als nach Pflugbestellung und damit höhere Erträge
 2. Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste
 - Weizen: Deutlich höhere Erträge bei Mulchsaat
 - Raps: Höhere Erträge bei Mulchsaat
 - Gerste: Etwas geringere Erträge bei Mulchsaat mit deutlichem Trend zu identischen Erträgen im Laufe der Versuchsjahre

3. Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste

Weizen: Höhere Erträge bei gepflügter Bestellung

Raps: Deutlich höhere Erträge bei gepflügter Bestellung

Gerste: Höhere Erträge bei gepflügter Bestellung

Hafer: Höhere Erträge bei Mulchsaat

Erbсен: Höhere Erträge bei gepflügter Bestellung

- **Bodenphysikalische Parameter**

Schnellere Erwärmung gepflügter Flächen im Frühjahr und verzögerte Erwärmung der pfluglos bestellten Flächen

Sehr gleichmäßiger Anstieg der Bodendichtelagerung nach Mulchsaat

Hoher Lockerungsgrad bis ca. 20 cm Bodentiefe nach gepflügter Bestellung, danach starker Anstieg der Verdichtung

- **Qualitätsparameter**

Herausragend: Deutlich höhere Rohproteingehalte und –erträge im Winterweizen bei pflugloser Bestellung (alle Fruchtfolgen) bei identischer mineralischer Stickstoffdüngung

- **Stickstoff-Verfügbarkeit im Boden**

Insbesondere in der Hauptwachstumszeit und der Kornfüllungsphase des Weizens ist in den Mulchsaatflächen mehr N_{\min} verfügbar als in den gepflügten Böden. Damit erklärt die Stickstoffverfügbarkeit die höheren Rohproteingehalte des Weizens.

- **Pflanzenkrankheiten**

Weizen-Monokultur: Keine Zunahme von Fuß- und Halmgrunderkrankungen und Blattseptoria bei Pflugverzicht. In der gesunden Weizensorte „Zentos“ war ebenfalls keine Zunahme des Fusarium-Befalls bei Pflugverzicht nachweisbar. Im achten Jahr der Mulchsaat kam es zu einem verstärkten Auftreten von DTR-Blattdürre, die dort die Septoria-Blattdürre verdrängte

Raps-Weizen-Gerste: Keine Zunahme des Befalls mit Blatt-Septoria im Weizen bei Pflugverzicht, keine Zunahme von Fusarien. Im Raps kam es zu einem erheblichen Befall mit der Krankhaften Abreife in beiden Bodenbearbeitungsvarianten. In der Gerste gab es keine Unterschiede im Krankheitsgeschehen bei Pflug- und Mulchsaat.

Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste: Keine Veränderungen im Weizen und in der Gerste als Folge des Pflugverzichts. Im Raps war der Befall mit Krankhafter Abreife in beiden Bodenbearbeitungsvarianten geringer als in der dreigliedrigen Fruchtfolge. In der Gerste, im Hafer und in den Erbsen gab es keine Effekte, die auf die Bodenbearbeitung zurückgeführt werden könnten.

Im Vergleich der Fruchtfolgen tritt im Raps die Krankhafte Abreife weitaus stärker in der dreigliedrigen Fruchtfolge auf als in der fünfgliedrigen.

- **Regenwurmaktivität**

Grundsätzlich: Erheblich höhere Regenwurmaktivitäten bei Mulchsaat im Vergleich zur gepflügten Bestellung.

Im Vergleich der Fruchtfolgen: Höchste Aktivität von Regenwürmern unter pfluglos bestelltem Monoweizen.

- **Wirtschaftlichkeit**

Höhere Deckungsbeiträge nach Mulchsaat bei Weizen-Monokultur (17,08 €/ha) und in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste (28,90 €/ha).

Bei Fremdmechanisierung sind die Deckungsbeiträge in Weizen-Monokultur (31,80 €/ha) und der Fruchtfolge R-W-G (41,89 €/ha) bei Mulchsaat noch höher.

- **Fruchtfolgesystem**

Problematisch bei der fünfgliedrigen Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste ist die hohe N-Mineralisierung nach den Leguminosen. Durch Mulchsaat nach Erbsen lässt sich diese vermindern, jedoch nicht unterbinden. Ein weiteres Problem stellt die Bestandesführung in Gerste nach Erbsen dar.

Eine Nutzung dieses fünfgliedrigen Systems in der Praxis wäre eher auf der Basis: Raps-Weizen-Ackerbohnen-Weizen-Gerste sinnvoll. Dennoch wird damit nicht das Problem der Nitratauswaschung nach Leguminosen gelöst. Gerade die Niederschlagsverteilung in Schleswig-Holstein sorgt in den Herbst- und Wintermonaten für erhebliche Nitratverluste, die auch durch Mulchsaat nicht verhindert werden, sondern allenfalls ein wenig gemildert werden können.

5 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Im Rahmen des Forschungsprojektes waren zwei Fachkräfte im Rahmen einer zeitlich befristeten Anstellung mit der Durchführung zahlreicher Untersuchungen, Auswertungen und Analysen beschäftigt. Darüber hinaus erhielten sie Unterstützung durch eine Reihe anderer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die überwiegend mit Schwerpunktaufgaben betraut waren.

Während der Projektlaufzeit fest angestellt:	
von Blücher, G. Borusso	Projektassistent (1996-2002)
Stolecki, Gabriele	Laborantin (1996-2002)
Fest angestellte Mitarbeiter der Fachhochschule Kiel, die Aufgaben im Projekt durchgeführt haben	
Andresen, Ernst-August	Versuchstechniker (bis 2000)
Banck, Werner	Versuchstechniker
Ott, Hartmut	Laborleiter
Schrödter, Wolfgang	Versuchstechniker (ab 2000)
Bereitstellung der Versuchsflächen, Durchführung der Bodenbearbeitung (Pflug und Mulch), Unterstützung bei versuchstechnischen Arbeiten	
Kröger, Hermann	Eigentümer der "Lindenhofes" in Ostenfeld
Mitarbeiterinnen mit befristeter Anstellung	
Knoke, Karola	BTA (vorübergehend als ABM)
Neidenberger-Ott, Kerstin	Laborassistentin

Studenten im Rahmen der Diplomarbeit	
Andresen, Sönke Mai 2002	Auftreten von Unkräutern und Ungräsern in einem Fruchtfolgeversuch mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten am Fachbereich Landbau der FH Kiel von 1994-2001 am Standort Ostenfeld.
Borchert, Peter Mai 2000	Untersuchungen zur Weizenmonokultur auf einem Standort im schleswig-holsteinischen Hügelland unter besonderer Berücksichtigung von <i>Septoria tritici</i> .
Bruhn, Florian Mai 1999	Befallsverlauf der Weizenblattdürre <i>Septoria tritici</i> in der Fruchtfolge Raps-Hafer-Weizen-Erbсен-Gerste bei unterschiedlichen Verfahren der Bodenbearbeitung.
David, Fried Mai 2002	Ökonomische Auswertung eines Fruchtfolgeversuches mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsintensitäten am Fachbereich Landbau der FH Kiel von 1994-2001 am Standort Ostenfeld
Klamke, Helge Dezember 1999	Entwicklung des Krankheitsbefalls in der Wintergerstensorte „Krimhild“ in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Fruchtfolge.
Koppe, Hagen Mai 2000	Krankheitsbefall in Winterweizen in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Fruchtfolge unter besonderer Berücksichtigung von <i>Septoria tritici</i> .
Sens, Peter Mai 2002	Vergleichende Untersuchung der Regenwurmaktivitäten in einem Fruchtfolgeversuch mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsintensitäten am Fachbereich Landbau der FH Kiel von 1994-2001 am Standort Ostenfeld.
Sötje, Birger Mai 1998	Vergleich von konventionellen und konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren in der Praxis und im Feldversuchswesen.
Wischmann, Enno Mai 1999	Befallsverlauf der Weizenblattdürre <i>Septoria tritici</i> in der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste bei unterschiedlichen Verfahren der Bodenbearbeitung.

Allen Beteiligten sei an dieser Stelle für die geleistete Arbeit herzlich gedankt!

Auch wenn viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter entweder aufgrund ihrer zeitlich befristeten Arbeitsverträge oder den Abschluss der Diplomarbeit und des Studiums das Voranschreiten des gesamten Projektes nur bruchstückhaft miterleben konnten, so waren alle von der Grundidee überzeugt, der schleswig-holsteinischen Landwirtschaft durch angewandte Forschung praktikable Lösungsansätze zur Verfügung zu stellen. Alle haben im Rahmen des jeweiligen Aufgabenbereiches durch engagierte Mitarbeit zum erfolgreichen Abschluss des Vorhabens beigetragen!

Last but not least:

Ein derartiges Projekt neben allen sonstigen Verpflichtungen an der Fachhochschule durchzuführen fordert vom verantwortlichen Projektleiter sehr viel Zeit, die bei der Erfüllung der alltäglichen Aufgaben nicht immer zur Verfügung steht.

Deshalb möchte ich meiner Frau und meinen Kindern ganz herzlich für das Verständnis danken, an vielen Feierabenden und Wochenenden auf mich zu verzichten um damit ganz erheblich zum Gelingen dieses Vorhabens beizutragen! Das gilt insbesondere für die Zeit der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse, umfangreiche Literaturstudien und das Verfassen verschiedener Veröffentlichungen sowie dieses Abschlussberichtes.

6 Foto-Dokumentation der Pflanzenentwicklung

Auf den folgenden Seiten sind die Entwicklungsstadien sämtlicher Kulturen aller Fruchtfolgen beispielhaft für das Jahr 1999 dargestellt.

Die Bestände wurden zu folgenden Terminen fotografisch dokumentiert:

- Mitte April
- Mitte Mai
- Mitte Juni

Damit ist ein wichtiger Zeitraum der vegetativen Pflanzenentwicklung abgedeckt und man bekommt einen guten Eindruck von den Unterschieden der Bestandesentwicklung in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung.