

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>SEITE</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen, Einheiten und Symbole .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Kurzfassung .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>XIX</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 ZIELSETZUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Untersuchungsansätze und Versuchsfragen .....</b>	<b>4</b>
<b>3 LITERATURÜBERSICHT ZUM DISSERTATIONSTHEMA .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 'Diffuse Eintragspfade' für Pflanzenschutzmittel und Nährstoffe in     Oberflächengewässer: Definition und Bedeutung .....</b>	<b>8</b>
3.1.1 Herbizid- und Nährstoffeinträge von ackerbaulich genutzten Flächen .....	11
3.1.1.1 Bedeutung des Oberflächenabflusses und Bodenabtrages .....	13
3.1.1.2 Bedeutung des Zwischenabflusses .....	17
3.1.1.3 Bedeutung des Drainageabflusses .....	19
<b>3.2 Verfahren der Bodenbearbeitung als Minderungsstrategie gegen Boden- und     Stoffausträge erosionsgefährdeter Ackerflächen .....</b>	<b>21</b>
3.2.1 Konservierende Bodenbearbeitung und das Direktsaatverfahren .....	22
<b>4 UNTERSUCHUNGSGEBIET UND EROSIONSRELEVANTE FAKTOREN .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Lage und Abgrenzung des Untersuchungsgebietes .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Gebietsrelevante Faktoren der Wassererosion .....</b>	<b>29</b>
4.2.1 Reliefentwicklung und Hangneigungsverhältnisse .....	29
4.2.2 Ausgangssubstrate der Bodenbildung .....	31
4.2.3 Bodenkundliche Ausstattung .....	34
4.2.4 Klima, typische Wetterlagen und erosive Niederschläge .....	36
<b>5 METHODEN UND MATERIAL .....</b>	<b>39</b>
<b>5.1 Die Feldversuchsfläche .....</b>	<b>39</b>
5.1.1 Standortcharakteristika und Bodenprofilbeschreibung .....	40

<b>5.2 Durchführung der Feldversuche 1997 - 2002 .....</b>	<b>44</b>
5.2.1 Pflanzenbauliche Maßnahmen und Produktionstechnik der Erntejahre 1998-2002 .....	45
5.2.1.1 Ackerkulturen und Fruchtfolge .....	45
5.2.1.2 Bodenbewirtschaftung und Bodenbearbeitungsvarianten .....	46
5.2.2 Angewandte Herbizide und ihre Eigenschaften .....	47
5.2.2.1 Metolachlor, Pendimethalin und Terbutylazin .....	48
5.2.2.2 Metazachlor .....	49
5.2.2.3 Chlortoluron und Isoproturon .....	49
5.2.2.4 Applikation der Herbizide im Feldversuch .....	50
5.2.3 Angewandte Düngemittel .....	50
5.2.4 Aufbau der Versuchsplots und -technik .....	51
5.2.4.1 Registrierung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag auf Großparzellen .....	52
5.2.4.2 Zwischenabflussmessung mittels Dränvlieskonstruktion .....	55
5.2.4.3 Erfassung von Dränageabflüssen .....	57
5.2.4.4 Erfassung von Niederschlägen .....	59
5.2.5 Durchführung regelmäßiger Messreihen und Bodenprobennahmen im Feld .....	60
5.2.5.1 Ermittlung aktueller Bodenbedeckungsgrade .....	60
5.2.5.2 Bodenprobennahme zur Standortcharakterisierung und zum Abbau- verhalten der angewandten Herbizide .....	62
<b>5.3 Durchführung von Laboranalysen .....</b>	<b>62</b>
5.3.1 Bodenuntersuchungen zur Standortcharakterisierung .....	63
5.3.1.1 Bodenchemische Kennwerte .....	63
5.3.1.2 Bodenphysikalische Kennwerte .....	64
5.3.2 Aufbereitung der Abflussproben .....	65
5.3.2.1 Phasentrennung und Konservierung .....	65
5.3.3 Analyse der Herbizide .....	66
5.3.3.1 Extraktion und Erfassung der eingesetzten Herbizide .....	67
5.3.4 Nährstoffanalysen .....	69
5.3.4.1 Stickstoff- und Phosphorbestimmung im Wasser und Boden .....	69
5.3.5 Datenauswertung und Statistik .....	71
<b>6 ERGEBNISSE DER VERSUCHSJAHRE 1997 - 2002 .....</b>	<b>72</b>
<b>6.1 Bodenabtrag und Stoffausträge mit dem Oberflächenabfluss .....</b>	<b>72</b>
6.1.1 Abflussereignisse der Messphasen im Mais von 1998 - 2002 .....	72
6.1.1.1 Austräge der applizierten Herbizide im Wasser und Boden .....	77
6.1.1.2 Austräge von Stickstoff und Phosphor im Wasser und Boden .....	85
6.1.2 Abflussereignisse der Messphasen im Winterraps von 1997 – 2001.....	90
6.1.2.1 Austräge des applizierten Herbizides im Wasser und Boden .....	93
6.1.2.2 Austräge von Stickstoff und Phosphor im Wasser und Boden .....	96

6.1.3	Abflussereignisse der Messphasen im Winterweizen von 1997 – 2002.....	98
6.1.3.1	Austräge der applizierten Herbizide im Wasser und Boden .....	101
6.1.3.2	Austräge von Stickstoff und Phosphor im Wasser und Boden .....	105
<b>6.2</b>	<b>Boden- und Stoffausträge mit dem Zwischenabfluss .....</b>	<b>109</b>
6.2.1	Abflussereignisse der Messphase im Winterweizen 1999/2000.....	109
6.2.1.1	Austräge der applizierten Herbizide mit dem Zwischenabfluss.....	111
6.2.1.2	Austräge von Stickstoff und Phosphor mit dem Zwischenabfluss .....	113
<b>6.3</b>	<b>Boden- und Stoffausträge über Drainageabflüsse .....</b>	<b>115</b>
6.3.1	Abflussereignisse der Messphasen im Winterweizen 1998 .....	115
6.3.1.1	Austräge des applizierten Herbizides mit dem Drainageabfluss .....	118
6.3.1.2	Austräge von Stickstoff und Phosphor mit dem Drainageabfluss .....	120
6.3.2	Abflussereignisse der Messphase im Winterweizen 1999/2000 .....	122
6.3.2.1	Austräge der applizierten Herbizide mit dem Drainagewasser .....	124
6.3.2.2	Austräge von Stickstoff und Phosphor mit dem Drainagewasser .....	126
<b>6.4</b>	<b>Ergebnisse zum Bodenbedeckungsgrad in den Bearbeitungsvarianten der untersuchten Anbaukulturen im Hinblick auf den Oberflächenabfluss und Bodenabtrag .....</b>	<b>129</b>
6.4.1	Versuchsjahre im Mais 1999 - 2001 .....	129
6.4.2	Versuchsjahre im Winterweizen 1999 - 2001 .....	133
6.4.3	Versuchsjahre im Winterweizen 1998 - 2002 .....	134
<b>6.5</b>	<b>Ergebnisse zum Abbau der applizierten Herbizide .....</b>	<b>141</b>
6.5.1	Rückstandskonzentrationen im humosen Oberboden .....	141
6.5.1.1	Metolachlor, Pendimethalin und Terbutylazin .....	142
6.5.1.2	Metazachlor .....	144
6.5.1.3	Chlortoluron und Isoproturon .....	145
<b>7</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>148</b>
7.1	Quantifizierung von Boden- und Stoffausträgen über die Eintragspfade Oberflächen-, Zwischen- und Drainageabfluss nach Niederschlagsereignissen ...	148
7.2	Die Bodenbedeckung als entscheidender Faktor für die erosionshemmende Wirksamkeit einer reduzierten Bodenbearbeitung .....	163
7.3	Standortspezifisches Verhalten der angewandten Wirkstoffe im Boden .....	165
7.4	Abschließende Betrachtung und Ausblick .....	169
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>172</b>
<b>9</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>175</b>
<b>ANHANG</b>	<b>.....</b>	<b>1- 40</b>

**Tabellenverzeichnis**

		Seite
Tab. 1	Diffuse und punktförmige Quellen für PSM- und Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer aus dem Bereich der landwirtschaftlichen Produktion	9
Tab. 2	Niederschlagshöhe (mm/24 h) in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit (Station Rüthen, 1951-1980) im Bereich des östlichen Haarstranges	37
Tab. 3	Verteilung der Niederschläge (langjähriges Monats- u. Jahresmittel in mm v. 1975 - 2000) der Messstelle Menzel, ca. 2 km (westlich) vom Untersuchungsstandort und auf der Feldversuchsfläche (1997 - 2002)	41
Tab. 4	Chemische und physikalische Bodenkennwerte des Leitprofils	43
Tab. 5	Ausgewählte Herbizide und ihre spezifischen Eigenschaften	48
Tab. 6	Aufwand- und Wirkstoffmengen der für die untersuchten Ackerkulturen applizierten Herbizide	50
Tab. 7	Chemische Analysen zur Bestimmung von Bodenkennwerten	64
Tab. 8	Korngrößenanalyse zur Bestimmung der Bodentextur	64
Tab. 9	Mittlere Wiederfindungsraten einzelner im Feldversuch applizierter Wirkstoffe im Wasser (WFR <sub>i,w</sub> ) und Boden (WFR <sub>i,s</sub> ) nach den Untersuchungsjahren 1997 – 2000	69
Tab. 10	Messphasen im Mais mit Niederschlagsdaten und Anzahl der Abflussereignisse	72
Tab. 11	Niederschlagsereignisse mit Oberflächenabfluss der Versuchsjahre 1998 – 1999 und 2001 im Mais	73
Tab. 12	Oberflächenabflussereignisse auf den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) in den Versuchsjahren 1998, 1999 und 2001 im Mais	74
Tab. 13 a	Herbizidkonzentrationen ( $\mu\text{g/l}$ ) im Runoff-Wasser während der Abflussereignisse 1998, 999 und 2001 im Mais in den Versuchsplots Pflug und konservierend (Mulchsaat). (Applikationstermine: 21.05.98, 20.05.99, 19.05.01; Präparat: STENTAN: 6 l/ha)	78

		Seite
Tab. 13 b	Sedimentgehalte (g/l) im Runoff und Herbizidgehalte ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) im Runoff-Sediment der Versuchsplots Pflug und konservierend (Mulchsaat) während der Abflussereignisse 1998, 1999 und 2001 im Mais. (Applikationstermine: 21.05.98, 20.05.99, 19.05.01; Präparat: STENTAN = 6 l/ha)	79
Tab. 14	Herbizidausträge von den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Mais, sowie relative Herbizidanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelergebnissen für das Versuchsjahr 1998 (Applikation: STENTAN: 6 l/ha)	81
Tab. 15	Herbizidausträge von den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Mais, sowie relative Herbizidanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelergebnissen für das Versuchsjahr 1999 (Applikation: STENTAN: 6 l/ha)	82
Tab. 16	Herbizidausträge von den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Mais, sowie relative Herbizidanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelergebnissen für das Versuchsjahr 2001 (Applikation: STENTAN: 6 l/ha)	83
Tab. 17 a	Nährstoffkonzentrationen (mg/l) im Runoff-Wasser der Versuchsplots Pflug und konservierend (Mulchsaat) während der Abflussereignisse 1998, 1999 und 2001 im Mais	85
Tab. 17 b	Sedimentgehalte (g/l) im Runoff und Nährstoffgehalte (g/kg) im Runoff-Sediment der Versuchsplots Pflug und konservierend (Mulchsaat) während der Abflussereignisse 1998, 1999 und 2001 im Mais	87
Tab. 18	Nährstoffausträge von den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Mais, sowie relative Nährstoffanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelergebnissen für das Versuchsjahr 1998	88
Tab. 19	Nährstoffausträge von den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Mais, sowie relative Nährstoffanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelergebnissen für das Versuchsjahr 1999	88
Tab. 20	Nährstoffausträge von den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Mais, sowie relative Nährstoffanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelergebnissen für das Versuchsjahr 2001	89
Tab. 21	Messphasen im Winterraps mit Niederschlagsdaten und Anzahl der Abflussereignisse	91

Tab. 22	Niederschlagsereignisse mit Oberflächenabfluss der Versuchsjahre 1998 und 2000 im Winterraps	92
Tab. 23	Oberflächenabflussereignisse in den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) 1998 und 2000 im Winterraps	93
Tab. 24 a	Herbizidkonzentration ( $\mu\text{g/l}$ ) im Runoff-Wasser der Versuchsplots auf der Pflugvariante Während der Abflussereignisse 2000 im Winterraps in (Applikationstermin: 29.08.; Präparat: BUTISAN TOP = 2 l/ha)	94
Tab. 24 b	Sedimentgehalte (g/l) im Runoff und Herbizidgehalte ( $\mu\text{g/kg}$ ) im Runoff-Sediment der Versuchsplots auf der Pflugvariante während der Abflussereignisse 2000 im Winterraps (Applikationstermin: 29.08.; Präparat: BUTISAN TOP = 2 l/ha)	94
Tab. 25	Herbizidausträge von der Bearbeitungsvariante Pflug im Winterraps, sowie relative Herbizidanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelereignissen für das Versuchsjahr 2000 (Applikation: BUTISAN TOP: 2 l/ha)	95
Tab. 26 a	Nährstoffkonzentrationen (mg/l) im Runoff-Wasser der Versuchsplots auf der Pflugvariante während der Abflussereignisse 2000 im Winterraps	96
Tab. 26 b	Sedimentgehalte (g/l) im Runoff und Nährstoffgehalte (mg/kg) im Runoff-Sediment der Versuchsplots auf der Pflugvariante während der Abflussereignisse 2000 im Winterraps	97
Tab. 27	Nährstoffausträge von der Bearbeitungsvariante Pflug im Winterraps, sowie relative Nährstoffanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelereignissen für das Versuchsjahr 2000	98
Tab. 28	Messphasen im Winterweizen mit Niederschlagsdaten und Anzahl der Abflussereignisse	99
Tab. 29	Niederschlagsereignisse mit Oberflächenabfluss der Versuchsjahre 1998/1999 und 1999/2000 im Winterweizen	100
Tab. 30	Oberflächenabflussereignisse in den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) 1999/2000 im Winterweizen	101
Tab. 31	Herbizidkonzentrationen ( $\mu\text{g/l}$ ) im Runoff-Wasser der Versuchsplots Pflug und konservierend (Mulchsaat) während der Abflussereignisse 1999/2000 im Winterweizen Applikationstermin: 13.10.99; Präparate: DICURAN = 1,5 l/ha, IPU = 3 l/ha	102

		Seite
Tab. 32	Herbizidausträge von den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Winterweizen, sowie relative Herbizidanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelereignissen für das Versuchsjahr 1999/2000 (Applikation: DICURAN: 1,5 l/ha, IPU: 3 l/ha)	104
Tab. 33	Sedimentgehalte (g/l) im Runoff und Nährstoffkonzentrationen (mg/l) im Runoff-Wasser der Versuchsplots Pflug und konservierend (Mulchsaat) während der Abflussereignisse 1999/2000 im Winterweizen	106
Tab. 34	Nährstoffausträge von den Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Winterweizen, sowie relative Nährstoffanteile im Runoff-Wasser und Runoff-Sediment nach Einzelereignissen für das Versuchsjahr 1999/2000	107
Tab. 35	Messphasen im Winterraps und Winterweizen mit Niederschlagsdaten und Anzahl der Zwischenabflussereignisse	109
Tab. 36	Herbizidkonzentrationen ( $\mu\text{g/l}$ ) im Zwischenabfluss vom 22.02. bis 31.03.2000 in den Bearbeitungsvarianten ( $n = 2$ ) Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat während der Messphase 1999/2000 im Winterweizen. Applikationstermin: 13.10.99; Präparate: DICURAN = 1,5 l/ha, IPU = 3 l/ha	111
Tab. 37	Konzentrationen an $\text{NO}_3\text{-N}$ , $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{PO}_4\text{-P}$ im Zwischenabfluss vom 22.02. – 31.03.2000 in den Bearbeitungsvarianten ( $n = 2$ ) Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat während der Messphase 1999/00 im Winterweizen	113
Tab. 38	Mittlere Konzentrationen ( $\mu\text{g/l}$ ) an Metazachlor im Drainagewasser zwischen dem 15.09. und 13.10.1998 in den Varianten ( $n = 2$ ) Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat während der Messphase im Winterraps. Applikationstermin: 07.09.98 (BUTISAN TOP = 2 l/ha)	119
Tab. 39	Konzentrationen (mg/l) an $\text{NO}_3\text{-N}$ , $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{PO}_4\text{-P}$ im Drainagewasser zwischen dem 15.09. und 13.10.1998 während der Messphase im Winterraps in den Varianten ( $n = 1$ ) Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	121
Tab. 40	Herbizidkonzentrationen ( $\mu\text{g/l}$ ) an Chlortoluron und Isoproturon im Drainagewasser Zwischen dem 09.03. und 14.03.2000 während der Messphase im Winterweizen in den Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat. Applikationstermin: 1.10.99; Präparate: DICURAN = 1,5 l/ha, IPU = 3 l/ha	125

		Seite
Tab. 41	Konzentrationen (mg/l) an NO <sub>3</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N und PO <sub>4</sub> -P im Dränagewasser zwischen dem 09.03. und 14.03.2000 während der Messphase im Winterweizen in den Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	126
Tab.42	Bodenbedeckung sowie absoluter und relativer Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in den Versuchsplots der Varianten konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat im Vergleich zur Pflugvariante während der Messphasen mit Mais in den Versuchsjahren 1999 und 2001	132
Tab. 43	Bodenbedeckung sowie absoluter und relativer Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in den Versuchsplots der Varianten konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat im Vergleich zur Pflugvariante während der Messphase mit Winterweizen im Versuchsjahr 1999/2000	136
Tab. 44	Tage nach Aussaat von Mais, Winterraps und Winterweizen mit hoher Erosionsgefahr (Bodenbedeckung ≤ 30 %) auf der Versuchsfläche	138

### Tabellen im Anhang

Tab. 1	Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Parzelle mit Winterraps 1997 - 2002	3
Tab. 2	Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Parzelle mit Winterweizen 1997 - 2002	4
Tab. 3	Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Parzelle mit Mais 1998 - 2002	5
Tab. 4	Durchschnittserträge der Erntejahre 1998 - 2000 für die untersuchten Kulturen auf der Versuchsfläche	6
Tab. 5	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 1997	7
Tab. 6	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 1998	7
Tab. 7	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 1999	8
Tab. 8	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 2000	8
Tab. 9	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 2001	9



Tab. 10	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 2002	9
Tab. 11	Niederschlagsdaten zu den Oberflächenabflussereignissen der Versuchsjahre 1998, 1999 und 2001 im Mais sowie des Versuchsjahres 2000 im Winterraps	10
Tab. 12	Stoffkonzentrationen und -austräge im Runoff-Wasser von 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 1998 im Mais	11 - 12
Tab. 13	Stoffkonzentrationen und -austräge im Runoff-Sediment von 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 1998 im Mais	13 – 14
Tab. 14	Stoffkonzentrationen und -austräge im Runoff-Wasser von 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 1999 im Mais	15
Tab. 15	Stoffkonzentrationen und -austräge im Runoff-Sediment von 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 1999 im Mais	16
Tab. 16	Stoffkonzentrationen und -austräge im Runoff-Wasser von 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 2001 im Mais	17
Tab. 17	Stoffkonzentrationen und -austräge im Runoff-Sediment von 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 2001 im Mais	18
Tab. 18	Stoffkonzentrationen und -austräge im Runoff-Wasser der Pflugvariante (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 2000 im Winterraps	19 - 22
Tab. 19	Stoffkonzentrationen und -austräge im Runoff-Sediment der Pflugvariante (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 2000 im Winterraps	23 - 26
Tab. 20	Niederschlagsdaten zu den Oberflächenabflussereignissen des Versuchsjahres 1999/2000 im Winterweizen	27
Tab. 21	Stoffkonzentrationen und -austräge im Runoff-Wasser von 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 1999/2000 im Winterweizen	28 - 30
Tab. 22	Stoffkonzentrationen und -austräge mit dem Zwischenabfluss in 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 1999/2000 im Winterweizen	31 - 32

		Seite
Tab. 23	Stoffkonzentrationen und -austräge mit dem Drainageabfluss in 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 2000 im Winterraps	33
Tab. 24	Stoffkonzentrationen und -austräge mit dem Drainageabfluss in 3 Bearbeitungsvarianten (Versuchsplots I + II) während des Versuchsjahres 1999(2000 im Winterweizen	34
Tab. 25	Rückstandsgehalte von Herbiziden im humosen Oberboden (0 – 5 cm) zwischen 1 und 56 Tagen nach Applikation der Versuchsjahre 1998/99 im Mais	35
Tab. 26	Rückstandsgehalte von Herbiziden im humosen Oberboden (0 – 5 cm) zwischen 1 und 56 Tagen nach Applikation der Versuchsjahre 2000/02 im Mais	36
Tab. 27	Rückstandsgehalte des Herbizides Metazachlor im Oberboden (0 – 5 cm) zwischen 1 und 56 Tagen nach Applikation der Versuchsjahre 1998 – 2001 im Winterraps	37
Tab. 28	Rückstandsgehalte von Herbiziden im Oberboden (0 – 5 cm) zwischen 1 und 56 Tagen nach Applikation in verschiedenen Versuchsjahren im Winterweizen	38

**Abbildungsverzeichnis**

	Seite	
Abb. 1	Übersichtskarte (verkl.) und Kartenausschnitt (vergr.) von Nordrhein-Westfalen mit Untersuchungsgebiet Haarstrang	27
Abb. 2	Kartenausschnitt von NRW mit der Einstufung erosionsgefährdeter Böden im markierten Bereich des Haarstranges	29
Abb. 3	Höhenreliefkarte des Haarstranges zwischen Lippe, Möhne und Ruhr	30
Abb. 4	Geologische Übersichtskarte der Münsterländer Oberkreidemulde mit Lage des Haarstranges	32
Abb. 5	Geologisches Profil durch den östlichen Teil des Haarstranges	32
Abb. 6	Karte der Bodenregionen Nordrhein-Westfalens mit Lage des Haarstranges	35
Abb. 7	Kartenausschnitte von NRW mit der Kreisgrenze von Soest und der Lage der Versuchsfläche	39
Abb. 8	Ausschnitt der digitalen Karte der Erosionsgefährdung von NRW mit Skizze der Feldversuchsfläche	41
Abb. 9	Ausschnitt der Bodenkarte von NRW, (M = 1 : 50000, vergrößert), Blatt L 4516 Büren mit der Versuchsfläche	42
Abb. 10	Foto des Leitprofiles für die Feldversuchsfläche	43
Abb. 11	Karte (M = 1:5000) mit Schema der Versuchsfläche	46
Abb. 12	Luftbild der Feldversuchsfläche (Jun. 1999)	46
Abb. 13	Schema für die Anbaufläche einer Ackerkultur auf der Versuchsfläche mit Bodenbearbeitungsvarianten, Versuchsplots und Dränvlieskonstruktionen	52
Abb. 14	Schema zur Funktionsweise der Messtechnik. Quelle: SEYFAHRT et al. (1993)	54
Abb. 15	Schematische Darstellung der Erfassung von Zwischenabfluss mittels Dränagevlies	56
Abb. 16	Lage der Dränagenstränge auf der Anbaufläche mit Winter-raps	58
Abb. 17 a + 17 b	Gezählte und nicht gezählte Pflanzenteile bei der Zählmethode nach FRIELINGHAUS et al. (1998)	61

		Seite
Abb. 18	Kumulierter Niederschlag und Oberflächenabfluss am 22.06.1998 in den Versuchsplots der Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Mais	75
Abb. 19	Kumulierter Niederschlag und Oberflächenabfluss am 22.06.1998 in den Versuchsplots der Bearbeitungsvarianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) im Mais	76
Abb. 20	Bodenabträge aus den Varianten Pflug und konservierend (Mulchsaat) in den Versuchsjahren mit Oberflächenabfluss im Mais und Darstellung der Toleranzgrenze des Bodenabtrages für den Versuchsstandort, berechnet nach der ABAG	80
Abb. 21	Minderung des Herbizidaustrages bei konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat in den Versuchsjahren 1998, 1999 und 2001 im Mais gegenüber der Bearbeitung mit dem Pflug	84
Abb. 22	Minderung des Nährstoffaustrages bei konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat in den Versuchsjahren 1998, 1999 und 2001 im Mais gegenüber der Bearbeitung mit dem Pflug	90
Abb. 23	Bodenabtrag in dem Versuchsjahr mit Oberflächenabfluss im Winterraps und Darstellung der Toleranzgrenze des Bodenabtrages für den Versuchsstandort, berechnet nach der ABAG	95
Abb. 24	Minderung des Herbizidaustrages bei konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat des Versuchsjahres 1999/2000 im Winterweizen gegenüber der Bearbeitung mit dem Pflug	105
Abb. 25	Minderung des Nährstoffaustrages bei konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat des Versuchsjahres 1999/2000 im Winterweizen gegenüber der Bearbeitung mit dem Pflug	108
Abb. 26	Kumulierter Niederschlag und Zwischenabfluss vom 22.02. bis 31.03.2000 während der Messphase mit Winterweizen 1999/2000 auf den Bearbeitungsvarianten (n = 2) Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	110
Abb. 27	Herbizidausträge an Chlortoluron und Isoproturon im Zwischenabfluss während der Messphase 1999/00 im Winterweizen vom 22.02. bis 31.03.2000 von den Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	112
Abb. 28	Nährstoffausträge an gelöstem Stickstoff (NO <sub>3</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N) und Phosphor (PO <sub>4</sub> -P) im Zwischenabfluss während der Messphase 1999/00 im Winterweizen vom 22.02. bis 31.03.2000 in den Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	114

		Seite
Abb. 29	Tagesniederschläge und Dränagenabfluss in den Bearbeitungsvarianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat während der Messphase im Winterraps 1998	116
Abb. 30	Kumulierter Niederschlag und Dränagenabfluss in den Bearbeitungsvarianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat während der Messphase im Winterraps 1998	117
Abb. 31	Wirkstoffaustrag an Metazachlor im Dränageabfluss zwischen dem 15.09. und 13.10.1998 während der Messphase im Winterraps in den Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	120
Abb. 32	Nährstoffausträge an gelöstem Stickstoff ( $\text{NO}_3\text{-N}$ , $\text{NH}_4\text{-N}$ ) und Phosphor ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) im Dränagewasser während der Messphase 1998 im Winterraps zwischen dem 15.09. und 13.10.1998 in den Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	122
Abb. 33	Tagesniederschläge und Dränageabfluss vom 07.03. bis 16.03.2000 während der Messphase mit Winterweizen 1999/2000 in den Bearbeitungsvarianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	123
Abb. 34	Kumulierter Niederschlag und Dränageabfluss vom 07.03. bis 16.03.2000 während der Messphase mit Winterweizen 1999/2000 in den Bearbeitungsvarianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	124
Abb. 35	Nährstoffausträge an gelöstem Stickstoff ( $\text{NO}_3\text{-N}$ , $\text{NH}_4\text{-N}$ ) und Phosphor ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) im Dränagewasser während der Messphase 1999/2000 im Winterweizen zwischen dem 09.03. und 14.03.2000 in den Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat	127
Abb. 36	Entwicklung der Bodenbedeckung in den Versuchplots der Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat während des Versuchsjahres 1999 im Mais (Aussaat: 10.05., Herbizidapplikation: 21.05.)	130
Abb. 37	Entwicklung der Bodenbedeckung in den Versuchplots der Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat während des Versuchsjahres 2001 im Mais, mit Angabe von Oberflächenabflussereignissen (Aussaat: 11.05., Herbizidapplikation: 20.05.)	131
Abb. 38	Entwicklung der Bodenbedeckung in den Versuchplots der Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat während des Versuchsjahres 2000 im Winterraps, mit Angabe von Oberflächenabflussereignissen (Aussaat: 24.08., Herbizidapplikation: 29.08.)	133

	Seite
Abb. 39	135
Entwicklung der Bodenbedeckung in den Versuchplots der Varianten Pflug, konservierend (Mulchsaat) und Direktsaat während des Versuchsjahres 1999/2000 im Winterweizen, mit Angabe von Oberflächenabflussereignissen (Aussaat: 13.09., Herbizidapplikation: 13.10.)	
Abb. 40	140
Vorkommen von Metolachlor, Pendimethalin und Terbuthylazin in 0 – 5 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Pflug, Mulch und Direktsaat) während der Messphase mit Mais im Versuchsjahr 1998	
Abb. 41	142
Vorkommen von Metolachlor, Pendimethalin und Terbuthylazin in 0 – 5 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Pflug, Mulch- und Direktsaat) während der Messphase mit Mais im Versuchsjahr 1999	
Abb. 42	143
Vorkommen von Metolachlor, Pendimethalin und Terbuthylazin in 0 – 5 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Pflug, Mulch- und Direktsaat) während der Messphase mit Mais im Versuchsjahr 2001	
Abb. 43	145
Vorkommen von Metazachlor in 0 - 5 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Pflug, Mulch- und Direktsaat) während der Messphasen mit Winterraps in den Versuchsjahren 1998, 1999 und 2000	
Abb. 44	146
Vorkommen von Chlortoluron und Isoproturon in 0 - 5 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Pflug, Mulch- und Direktsaat) während der Messphasen mit Winterweizen im Versuchsjahr 1999/2000	

### Abbildungen im Anhang

Abb. 1	1
Flutrinnenspülung nach Starkregen am Haarstrang bei Menzel. Foto: 05.09.1987	
Abb. 2	1
Verspülungen und Verschlammungen im „Schalkstal“ bei Menzel. Foto: 05.09.1987	
Abb. 3	1
Verschütteter Entwässerungsgraben bei Menzel nach Erosionsereignis Foto: (05.09.1987)	
Abb. 4	1
Typischer „Off Site“-Schaden mit überfluteten und verschütteten Verkehrsweg am Haarstrang. Foto: (05.09.1987)	
Abb. 5	1
Blick auf die Versuchsfläche mit Bearbeitungsvarianten und Versuchplots im Winterraps Foto: (25.09.1997, Blickrichtung: Norden)	

		Seite
Abb. 6	Klimastation auf der Versuchsfläche	1
Abb. 7	Versuchsplot auf der Parzelle mit Winterweizen mit Ablaufvorrichtung	2
Abb. 8	Rohrsystem für die Ableitung von Oberflächenabfluss zum Messsystem	2
Abb. 9	Abfluss-Zulauf mit Verteilerkasten zum Messsystem in der Schutzhütte	2
Abb. 10	Installiertes Messsystem mit Kippwaage, Bypass zum Auffangtank und Datalogger	2
Abb. 11	1 l-Kippwaage mit Reedkontakt	2
Abb. 12	Blick in den Verteiler-Behälter mit Dreh- und Schwenkantrieb sowie Probenflaschen	2
Abb. 13	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 1997	7
Abb. 14	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 1998	7
Abb. 15	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 1999	8
Abb. 16	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 2000	8
Abb. 17	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 2001	9
Abb. 18	Temperatur- und Niederschlagsverlauf an der Versuchsfläche des Jahres 2002	9
Abb. 19	Bodenbedeckung des Versuchsjahres 2000 im Mais	35
Abb. 20	Bodenbedeckung des Versuchsjahres 2000 im Mais	35
Abb. 21	Bodenbedeckung des Versuchsjahres 1999 im Winterraps	35
Abb. 22	Bodenbedeckung des Versuchsjahres 2001 im Winterraps	35
Abb. 23	Bodenbedeckung des Versuchsjahres 2000/2001 im Winterweizen	36
Abb. 24	Bodenbedeckung des Versuchsjahres 2001/2002 im Winterweizen	36