

Jens Grube

## **Beurteilung von konservierenden Bodenbearbeitungssystemen zur Bewirtschaftung peripherer Ackerbaustandorte**

- unter Berücksichtigung verfahrenstechnischer, ökonomischer,  
ökologischer sowie pflanzenbaulicher und  
bodenphysikalischer Parameter -



Cuvillier Verlag Göttingen

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

AUS DEM INSTITUT FÜR LANDTECHNIK

DIREKTOR: PROF. DR. H. SEUFERT

Braugasse 7, 35390 Giessen

**Beurteilung von konservierenden Bodenbearbeitungssystemen zur  
Bewirtschaftung peripherer Ackerbaustandorte**

- unter Berücksichtigung verfahrenstechnischer, ökonomischer, ökologischer sowie  
pflanzenbaulicher und bodenphysikalischer Parameter -

**Evaluation of Conservation Tillage Systems for the Cultivation of Peripheral Fieldsites**

- in consideration of process engineering, economics, ecology,  
plant husbandry and soil physics -

Dem Fachbereich 09  
Agrarwissenschaften, Ökotropologie  
und Umweltmanagement  
der Justus-Liebig-Universität Giessen

als

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)  
vorgelegt von

Dipl.- Ing. agr. Jens Grube  
aus Frankfurt am Main  
Giessen 2002

Dekan: Prof. Dr. W. Köhler

Vorsitzender: Prof. Dr. V. Dzapo

1. Gutachter: Prof. Dr. H. Seufert

2. Gutachter Prof. Dr. R. Marquard

Prüfer: Prof. Dr. H. Boland

Prüfer: Prof. Dr. E. Weigand

Tag der mündlichen Prüfung: 16.12.2002

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Verzeichnis der Tabellen .....</b>	<b>V</b>
<b>Verzeichnis der Abbildungen.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen, Einheiten und Formelzeichen.....</b>	<b>XI</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Problemstellung.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Zielsetzung.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Literaturübersicht.....</b>	<b>6</b>
<b>4.1. Historischer Abriss der Bodenbearbeitung und Aussaat.....</b>	<b>6</b>
<b>4.2. Gesetzliche Rahmenbedingungen der Pflanzenproduktion.....</b>	<b>11</b>
<b>4.3. Wechselwirkungen von Bodenbearbeitung und Bodenbeschaffenheit.....</b>	<b>17</b>
4.3.1. Indikatoren der Bodenbeschaffenheit.....	17
4.3.2. Auswirkungen von Bearbeitungsmaßnahmen auf die Bodenbeschaffenheit .....	18
<b>4.4. Physikalische und messtechnische Grundlagen .....</b>	<b>20</b>
4.4.1. Physikalische Grundlagen des Messens.....	20
4.4.2. Messverfahren .....	22
4.4.2.1. Kraftmessung.....	22
4.4.2.1.1. DMS-Kraftaufnehmer.....	22
4.4.2.1.2. Piezoelektrischer Kraftaufnehmer.....	23
4.4.2.1.3. Magnetoelastische Kraftaufnehmer .....	24
4.4.2.1.4. Induktive Kraftaufnehmer.....	25
4.4.2.2. Drehmomentmessung .....	25
4.4.2.2.1. Messung des Aktionsmomentes.....	25
4.4.2.2.2. Messung des Reaktionsmomentes.....	26
4.4.2.2.3. DMS-Drehmomentaufnehmer.....	26
4.4.2.2.4. Drehmomentmessung nach dem induktiven Prinzip .....	26
4.4.2.2.5. Drehmomentmessung nach dem Wirbelstromprinzip.....	27
4.4.2.2.6. Drehmomentmessung nach dem Piezoelektrischen Prinzip .....	27
4.4.2.3. Drehzahlmessung.....	28
4.4.2.3.1. Drehzahlaufnehmer nach dem generatorischen Prinzip.....	28
4.4.2.3.2. Digitale Drehzahlsensoren.....	28
4.4.2.3.3. Aktiver induktiver Sensor .....	28
4.4.2.3.4. Passiver induktiver Sensor .....	29
4.4.2.3.5. Feldplatte und Halleffektsensor .....	30
4.4.2.4. Wegmessung.....	30
4.4.2.4.1. Doppler Radar Sensor .....	30
4.4.2.4.2. Peiseler Rad .....	31
4.4.2.4.3. Wegmessung mit Hilfe des Hall Prinzips .....	31
4.4.3. Definition der Messfehler.....	32
4.4.3.1. Wahrer Wert .....	32

4.4.3.2.	Messfehler .....	33
4.4.3.3.	Systematische Messabweichung.....	34
4.4.3.4.	Genauigkeit.....	34
4.4.3.5.	Fehlerrechnung.....	35
<b>5.</b>	<b>Material und angewandte Methoden.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1.</b>	<b>Material .....</b>	<b>37</b>
5.1.1.	Untersuchungsbetrieb und -schläge .....	37
5.1.1.1.	Versuchsaufbau.....	40
5.1.1.2.	Bodenklasse und Bodentyp .....	40
5.1.2.	Maschinen .....	41
<b>5.2.</b>	<b>Angewandte Methoden .....</b>	<b>42</b>
5.2.1.	Methodische Parameter der Verfahrenstechnik .....	42
5.2.1.1.	Eingriffsintensität und Effizienz der Leistungstransformation .....	44
5.2.1.2.	Leistungs- und Kraftstoffbedarf.....	45
5.2.1.3.	Messung der benötigten Leistung.....	46
5.2.1.4.	Messung der Drehleistung.....	47
5.2.1.5.	Messung des Kraftstoffverbrauches .....	48
5.2.1.6.	Arbeitsgeschwindigkeit und Schlupf .....	49
5.2.1.7.	Schlagkraft.....	49
5.2.1.8.	Flächenleistung.....	50
5.2.1.9.	Bodenbelastung.....	50
5.2.1.10.	Wartungsintensität .....	52
5.2.2.	Ökologische Parameter .....	52
5.2.2.1.	Population der Lumbriciden .....	53
5.2.2.2.	Energieverbrauch je ha.....	53
5.2.2.3.	CO <sub>2</sub> -Energiebilanz .....	54
5.2.2.4.	Spuranteil je Hektar .....	54
5.2.2.5.	Bodenbeanspruchung.....	55
5.2.2.6.	Oberflächenstabilität.....	56
5.2.2.7.	Aggregatstabilität .....	57
5.2.3.	Pflanzenbauliche- und bodenphysikalische Parameter .....	58
5.2.3.1.	Einarbeitung von Ernterückständen.....	58
5.2.3.2.	Feldaufgang.....	59
5.2.3.3.	Pflanzenertrag .....	59
5.2.3.4.	Unkrautbesatz.....	59
5.2.3.5.	Gehalt an organischer Substanz .....	61
5.2.3.6.	Bodenwiderstandswerte (Porenraumverteilung).....	62

5.2.3.7.	Infiltrationskapazität (ungesättigt) .....	63
5.2.3.8.	Bodenfeuchtemessung .....	64
5.2.3.9.	Bodentemperaturmessung .....	65
5.2.3.10.	Außentemperaturmessung .....	66
5.2.3.11.	Niederschlagsmessung .....	66
5.2.4.	Ökonomische Parameter .....	67
5.2.4.1.	Kosten- und Leistungsrechnung .....	67
5.2.4.1.1.	Kostendefinition .....	67
5.2.4.1.2.	Leistungsdefinition .....	67
5.2.4.2.	Kostenrechnungssysteme .....	67
5.2.4.2.1.	Kostenrechnungssysteme nach Art und Umfang der Verrechnung .....	68
5.2.4.2.2.	Kostenrechnungssysteme nach Zeitbezug der Verrechnung .....	69
5.2.4.3.	Auswahl des Kostenrechnungssystems .....	69
5.2.4.3.1.	Kapitalbedarf für Investitionen .....	70
5.2.4.3.2.	Betriebsstoffkosten .....	70
5.2.4.3.3.	Wartungs- und Reparaturkosten .....	70
5.2.4.3.4.	Abschreibungen .....	71
5.2.4.3.5.	Ertrag .....	71
5.2.4.3.6.	Teilkosten der Produkteinheit .....	72
<b>6.</b>	<b>Ergebnisse und Analyse .....</b>	<b>73</b>
<b>6.1.</b>	<b>Verfahrenstechnische Ergebnisse .....</b>	<b>73</b>
6.1.1.	Eingriffsintensität und Effizienz der Leistungstransformation .....	73
6.1.1.1.	Verfahren Pflug .....	73
6.1.1.2.	Verfahren Flügelschargrubber mit Zinkenrotor .....	74
6.1.1.3.	Verfahren Frässaat .....	74
6.1.1.4.	Verfahren Direktsaat .....	74
6.1.2.	Leistungsbedarf .....	74
6.1.3.	Kraftstoffbedarf .....	76
6.1.4.	Arbeitsgeschwindigkeit und Schlupf .....	76
6.1.5.	Schlagkraft .....	78
6.1.6.	Flächenleistung .....	78
6.1.7.	Bodenbelastung und Fahrspuranteil .....	80
6.1.8.	Wartungsintensität .....	82
<b>6.2.</b>	<b>Messfehler im eingesetzten Messsystem .....</b>	<b>82</b>
<b>6.3.</b>	<b>Ökologische Ergebnisse .....</b>	<b>84</b>
6.3.1.	Population der Lumbriciden .....	84
6.3.2.	Energieverbrauch je ha .....	85
6.3.3.	CO <sub>2</sub> -Energiebilanz .....	86
6.3.4.	Bodenbeanspruchung .....	86
6.3.5.	Oberflächenstabilität und Aggregatstabilität .....	87

<b>6.4.</b>	<b>Pflanzenbauliche- und bodenphysikalische Ergebnisse .....</b>	<b>88</b>
6.4.1.	Einarbeitung von Ernterückständen.....	88
6.4.2.	Feldaufgang.....	89
6.4.3.	Ertragsparameter.....	90
6.4.4.	Unkrautbesatz.....	91
6.4.5.	Gehalt an organischer Substanz .....	91
6.4.6.	Bodenwiderstandswerte (Porenraumverteilung).....	92
6.4.7.	Infiltrationskapazität (ungesättigt) .....	93
6.5.	Bodenfeuchtemessung .....	94
6.6.	Temperaturmessung.....	95
<b>6.7.</b>	<b>Ökonomische Ergebnisse.....</b>	<b>97</b>
6.7.1.	Berechnung der Kostenmodule .....	98
6.7.2.	Berechnung der Teilkosten der Verfahren.....	98
6.7.3.	Kosten der Bearbeitungsverfahren je Hektar.....	100
6.7.4.	Kosten der Bearbeitungsverfahren je Dezitonne Ertrag .....	101
<b>7.</b>	<b>Vergleichende Betrachtung der Versuche am Institut für Landtechnik zur minimalen Bodenbearbeitung .....</b>	<b>103</b>
7.1.	Historie.....	103
7.2.	Darstellung der langjährigen Versuchsflächen .....	103
7.2.1.	Wernborn (Taunus).....	103
7.2.2.	Ossenheim (Wetterau).....	104
7.2.3.	Bruchköbel (Untermainebene).....	105
7.2.4.	Hassenhausen (Ebsdorfergrund).....	105
7.2.5.	Gießen - Hardthof (Lahntal).....	107
7.3.	Darstellung der Bearbeitungsgeräte .....	107
7.4.	Darstellung der Ergebnisse der langjährigen Versuche (>20 Jahre).....	107
<b>8.</b>	<b>Diskussion und Ausblick .....</b>	<b>111</b>
<b>9.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>115</b>
<b>10.</b>	<b>Summary .....</b>	<b>117</b>
<b>11.</b>	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis.....</b>	<b>122</b>
<b>Anhang:</b>	<b>.....</b>	<b>128</b>

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Auswirkungen auf Bodeneigenschaften .....	18
Tabelle 2: Gliederung für Messverfahren .....	21
Tabelle 3: Physikalische Effekte und Prinzipien zur Messgrößenumformung.....	22
Tabelle 4: Definition der Messfehlerarten.....	33
Tabelle 5: Abschätzung der Messunsicherheit.....	36
Tabelle 6: Abschätzung der Messunsicherheit 2.....	36
Tabelle 7: Betriebsdaten, Betrieb 1 .....	37
Tabelle 8: Betriebsdaten, Betrieb 2 .....	39
Tabelle 9: Mechanisierung der Versuche .....	41
Tabelle 10: Verwendete Messtechnik .....	43
Tabelle 11: Berechnete Daten und deren Quelle .....	43
Tabelle 12: Datengrundlage für die Berechnung der Bodenbelastung (best case).....	51
Tabelle 13: Datengrundlage für die Berechnung der Bodenbelastung (worst case).....	52
Tabelle 14: Gehalt an organischer Substanz im Boden .....	62
Tabelle 15: Kostenrechnungssysteme .....	68
Tabelle 16: Bedingungen zum Bearbeitungszeitpunkt .....	73
Tabelle 17: Leistungsbedarf der Varianten .....	75
Tabelle 18: Kraftstoffbedarf der Varianten .....	76
Tabelle 19: Arbeitsgeschwindigkeiten der Messfahrten .....	77
Tabelle 20: Schlupfwerte der Messfahrten.....	77
Tabelle 21: Schlagkraft unter optimalen und realen Bedingungen.....	78
Tabelle 22: Verfügbare Feldarbeitstage zur Bodenbearbeitung und Aussaat.....	79
Tabelle 23: Zeitspannen für Bodenbearbeitung und Aussaat ausgewählter Feldfrüchte .....	79
Tabelle 24: „Optimale“ jährliche Flächenleistungen der Bearbeitungsvarianten .....	80
Tabelle 25: „Reale“ jährliche Flächenleistung bei gegebener Schlagkonfiguration.....	80
Tabelle 26: Belastungsparameter (best case).....	81
Tabelle 27: Belastungsparameter (worst case).....	81
Tabelle 28: Messunsicherheit der Verfahrenstechnik über die Versuchsjahre .....	83
Tabelle 29: Energieverbrauch je Hektar .....	85
Tabelle 30: CO <sub>2</sub> -Ausstoß durch Verbrennung von Dieselkraftstoff je Hektar .....	86
Tabelle 31: Angebaute Früchte auf den Versuchsfeldern .....	91
Tabelle 32: Unkräuter auf den Versuchsfeldern.....	91
Tabelle 33: Bodenfeuchte in Vol%, März 2002 in 10cm Tiefe.....	93
Tabelle 34: Porengrößenklassen, Druckstufen und dazugehörige pF-Werte .....	93
Tabelle 35: Bodenfeuchtemessungen 2001 (Statistik).....	94

Tabelle 36: Bodenfeuchtemessungen 2001/02 (Statistik).....	95
Tabelle 37: Statistik Außentemperaturmessungen 2001 .....	95
Tabelle 38: Statistik Außentemperaturmessungen 2001/02 .....	95
Tabelle 39: Statistik der Bodentemperatur 2001 in °C .....	96
Tabelle 40: Statistik der Bodentemperatur 2001/02 in °C .....	96
Tabelle 41: Reparaturkosten der einzelnen Varianten je Hektar.....	97
Tabelle 42: Nutzungsdauer und Lebensleistung der Maschine .....	97
Tabelle 43: Kostenvergleich Euro je Hektar mit der Basis $P_{opt}$ und $P_{real}$ .....	100
Tabelle 44: Kostenvergleich Euro je Dezitonne Ertrag mit der Basis $P_{opt}$ und $P_{real}$ .....	101
Tabelle 45: Standortkennzeichen der langjährigen Versuchsflächen .....	103
Tabelle 46: Bearbeitungsvarianten auf den langjährigen Versuchsflächen .....	107
Tabelle 47: Mögliche Steigerung der jährlichen Flächenleistung .....	114
Tabelle 48: Legende zur Statistik der verfahrenstechnischen Parameter .....	134
Tabelle 49: Statistik verfahrenstechnische Messungen 2000 .....	135
Tabelle 50: Statistik verfahrenstechnische Messungen 2001 .....	136
Tabelle 51: Statistik verfahrenstechnische Messungen 2002 .....	137
Tabelle 52: Erträge der Versuchsjahre [ $dt \cdot ha^{-1}$ ] .....	142
Tabelle 53: Statistik Ernteerhebungen VF1.....	143
Tabelle 54: Statistik Ernteerhebungen VF2.....	144
Tabelle 55: Statistik Ernteerhebungen VF3.....	145
Tabelle 56: Modul Grubber (Stoppelbearbeitung).....	147
Tabelle 57: Modul Pflanzenschutz (für zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahme) .....	147
Tabelle 58: Modul P (Klima 5 optimal) .....	147
Tabelle 59: Modul P (Klima 5 real).....	148
Tabelle 60: Modul P (Klima 6 optimal) .....	148
Tabelle 61: Modul P (Klima 6 real).....	149
Tabelle 62: Modul FR (Klima 5 optimal).....	149
Tabelle 63: Modul FR (Klima 5 real).....	149
Tabelle 64: Modul FR (Klima 6 optimal).....	150
Tabelle 65: Modul FR (Klima 6 real).....	150
Tabelle 66: Modul FS (Klima 5 optimal) .....	150
Tabelle 67: Modul FS (Klima 5 real).....	150
Tabelle 68: Modul FS (Klima 6 optimal) .....	151
Tabelle 69: Modul FS (Klima 6 real).....	151
Tabelle 70: Modul D (Klima 5 optimal) .....	151
Tabelle 71: Modul D (Klima 5 real).....	151
Tabelle 72: Modul D (Klima 6 optimal) .....	152

---

Tabelle 73: Modul D (Klima 6 real).....	152
Tabelle 74: Modul Schlepper.....	152
Tabelle 75: Maschinenkombination Klimaregion 5 real.....	153
Tabelle 76: Maschinenkombination Klimaregion 5 optimal .....	154
Tabelle 77: Maschinenkombination Klimaregion 6 real.....	155
Tabelle 78: Maschinenkombination Klimaregion 6 optimal .....	156
Tabelle 79: Datengrundlage zur Berechnung des prozentualen Vergleichs der Kosten je Hektar für die Verfahren unter optimalen Bedingungen.....	158
Tabelle 80: Datengrundlage zur Berechnung des prozentualen Vergleichs der Kosten je Hektar für die Verfahren unter realen Bedingungen .....	158
Tabelle 81: Datengrundlage zur Berechnung des prozentualen Vergleichs der Kosten je Dezitonne für die Verfahren unter optimalen Bedingungen .....	158
Tabelle 82: Datengrundlage zur Berechnung des prozentualen Vergleichs der Kosten je Dezitonne für die Verfahren unter realen Bedingungen .....	159

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Ökosystem Boden .....	2
Abbildung 2: Kostenverteilung für den Ackerbau in der Marktfruchtproduktion .....	4
Abbildung 3: Pflügen in Menschenanspannung .....	6
Abbildung 4: Pflügen mit dem Pferdegespann .....	7
Abbildung 5: Pflügen mit dem Dampfpflug .....	8
Abbildung 6: Pflügen mit einem Traktor (um 1949).....	9
Abbildung 7: Pflügen mit einem Traktor (heute).....	9
Abbildung 8: Aussaat heute .....	10
Abbildung 9: Systematik der Bodenbearbeitung .....	11
Abbildung 10: Einteilung der Bodenarten .....	17
Abbildung 11: Aufgaben und Eingriffe der Bodenbearbeitung .....	19
Abbildung 12: Grundlagen des Messens .....	20
Abbildung 13: Elastische Verformung eines DMS (schematisch) .....	23
Abbildung 14: Prinzip eines Piezoelektrischen Sensors .....	23
Abbildung 15: Prinzip eines aktiven induktiven Sensors .....	29
Abbildung 16: Prinzip eines Hallgebers.....	30
Abbildung 17: Schaltbild zur Drehzahlerfassung mittels Halleffektsensor .....	32
Abbildung 18: Erklärungsmodell der Messgenauigkeit .....	34
Abbildung 19: Lageplan Betrieb 1 .....	37
Abbildung 20: Versuchsfeld 1 im Ausschnitt .....	38
Abbildung 21: Lageplan Betrieb 2 .....	38
Abbildung 22: Versuchsfeld 2 im Ausschnitt .....	39
Abbildung 23: Versuchsfeld 3 im Ausschnitt .....	40
Abbildung 24: Eingesetzte Messtechnik Bodenbearbeitung .....	42
Abbildung 25: Prozesskette – Datenerfassung und Aufbereitung .....	43
Abbildung 26: Einfluss auf Verfahrensgrößen .....	44
Abbildung 27: Kraftmessrahmen .....	46
Abbildung 28: Prinzip der Drehmomentmessdose .....	47
Abbildung 29: Aufbau einer Messbrücke mit Kontrollwiderstand .....	47
Abbildung 30: Formel der Drehleistung .....	48
Abbildung 31: Prinzip der Durchflussmessung von Dieselkraftstoff .....	48
Abbildung 32: Berechnung des Schlupf .....	49
Abbildung 33: Berechnung des Energieverbrauches pro Hektar .....	54
Abbildung 34: Berechnung des Spuranteils für einen Arbeitsgang .....	55
Abbildung 35: Porenklasseneinteilung .....	62

Abbildung 36: Penetrologger .....	63
Abbildung 37: TDR-Sonde zur Bodenfeuchtemessung.....	64
Abbildung 38: Messsonden zur Temperaturmessung .....	65
Abbildung 39: Außentemperatursensor.....	66
Abbildung 40: Niederschlagsmessgerät.....	66
Abbildung 41: Wartungsintensität der Versuchsvarianten.....	82
Abbildung 42: Population der Lumbriciden.....	84
Abbildung 43: Biomasse der Regenwürmer und Strohabbau nach langfristig geänderter Bodenbearbeitung.....	85
Abbildung 44: Änderung des Porenvolumens durch Traktorüberfahrt .....	87
Abbildung 45: Aggregatstabilität in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tongehalt.....	87
Abbildung 46: Dynamik der Aggregatstabilität einer Vegetationsperiode .....	88
Abbildung 47: Stroheinarbeitung der verschiedenen Verfahren.....	89
Abbildung 48: Feldaufgang WW des VF2 im Jahr 2001 .....	89
Abbildung 49: Pflanzenertrag WW. des VF2 im Jahr 2001 .....	90
Abbildung 50: Bodenwiderstand VF 2 .....	92
Abbildung 51: Infiltrationskapazitäten.....	94
Abbildung 52: Teilkostenrechnungsbogen VF3 2001.....	99
Abbildung 53: Vergleich der Kosten je ha zu optimalen Bedingungen mit Basis P.....	101
Abbildung 54: Vergleich der Kosten je dt. zu optimalen Bedingungen mit Basis P.....	102
Abbildung 55: Ertragsübersicht Wernborn .....	108
Abbildung 56: Ertragsübersicht Ossenheim .....	108
Abbildung 57: Ertragsübersicht Bruchköbel .....	109
Abbildung 58: Ertragsübersicht Hassenhausen .....	109
Abbildung 59: Ertragsübersicht Gießen .....	110
Abbildung 60: Verfahrenstechnische Ergebnisse der langjährigen Versuche.....	110
Abbildung 61: Bodenfeuchte - Messungen 2001 .....	128
Abbildung 62: Bodenfeuchte - Messungen 2001/2002 .....	128
Abbildung 63: Bodentemperatur - Messungen 2001 -3cm.....	129
Abbildung 64: Bodentemperatur - Messungen 2001 -10cm.....	129
Abbildung 65: Bodentemperatur - Messungen 2001 -20cm.....	130
Abbildung 66: Bodentemperatur - Messungen 2001/2002 -3cm .....	130
Abbildung 67: Bodentemperatur - Messungen 2001/02 -10cm .....	131
Abbildung 68: Bodentemperatur - Messungen 2001/02 -20cm .....	131
Abbildung 70: Kraftstoffbedarf der Verfahren in l je kWh .....	132
Abbildung 71: Kraftstoffbedarf der Varianten in g je kWh .....	133
Abbildung 72: Leistungsbedarf der Bearbeitungsvarianten.....	133

---

Abbildung 73: Leistungsbedarf der Bearbeitungsverfahren je Meter Arbeitsbreite .....	134
Abbildung 74: VF1-2000-SG .....	138
Abbildung 75: VF1-2001-WR .....	138
Abbildung 76: VF1-2002-TR.....	139
Abbildung 77: VF2-2000-SM.....	139
Abbildung 78: VF2-2001-WW.....	140
Abbildung 79: VF2-2002-WG .....	140
Abbildung 80: VF3-2000-Ha.....	141
Abbildung 81: VF3-2001-WW.....	141
Abbildung 82: VF3-2002-WG .....	142
Abbildung 83: Penetrometermessungen auf dem VF1 .....	146
Abbildung 84: Penetrometermessungen auf dem VF2 .....	146
Abbildung 85: Penetrometermessungen auf dem VF3 .....	146
Abbildung 86: Vergleich der Kosten je ha zu realen Bedingungen mit Basis P .....	157
Abbildung 87: Vergleich der Kosten je dt. zu realen Bedingungen mit Basis P .....	157

## Verzeichnis der Abkürzungen, Einheiten und Formelzeichen

°C	Grad Celsius
€	Euro
A	Fläche
a	Jahr
AB	Arbeitsbreite
Abb.	Abbildung
Akh	Arbeitskraftstunde
BL	Bundesländer
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
D	Direktsaat
d	Tag
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
d.h.	dass heißt
DK	Dielektrizitätskonstante
DMS	Dehnungsmessstreifen
DIN	Deutsche Industrie Norm
dt.	Dezitonne
etc.	et cetera
F	Kraft
f.	folgend
ff.	fortfolgend
FR	Flügelschargrubber mit Zinkenrotor
FS	Frässaat
HA	Hafer
ha	Hektar
i.d.R.	in der Regel
KAK	Kationenaustauschkapazität
KE	Kreiselegge
KG	Kreiselgrubber
km*h <sup>-1</sup>	Kilometer je Stunde
kN	Kilonewton
kNm	Kilonewtonmeter
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft

kW	Kilowatt
l	Liter
LF	landwirtschaftlich genutzte Fläche
m	Meter
M	Drehmoment
mAB	Meter Arbeitsbreite
m*s <sup>-1</sup>	Meter je Sekunde
ml	Milliliter
mV	Millivolt
mww	meter working width
N	Newton
N.N.	Normal Null
Nm	Newtonmeter
NT	No-Tillage = Direktsaat
P	Pflug
P <sub>p</sub>	Primärbodenbearbeitung des Verfahrens Pflug
PS	Pflanzenschutz
S.	Seite
SFB	Sonderforschungsbereich
SG	Sommergerste
Skh	Schlepperkraftstunde
SM	Silomais
t	Zeit
Tab.	Tabelle
Temp.	Temperatur
TDR	Time Domain Reflectometry
TR	Triticale
u.a.	unter anderem
ü.a.	über alles
v	Geschwindigkeit
V	Volt
VF	Versuchsfeld
WG	Wintergerste
WR	Winterraps
WW	Winterweizen
z.B.	zum Beispiel

## 1. Einleitung

Die Aufgaben der Bodenbearbeitung sind trendfrei, da seit jeher die Ziele verfolgt werden, die Ertragsfähigkeit eines Standortes zu verbessern und langfristig zu erhalten, ohne auf die Umwelt negativ einzuwirken.

Diese Ziele sollen mit Hilfe von ackerbaulichen, geräte- und verfahrenstechnischen Maßnahmen bewältigt werden, zu denen die Erhaltung und Verbesserung der Bodenstruktur, das Einarbeiten von Ernterückständen sowie von organischen und mineralischen Düngern, das Herrichten des Saatbettes sowie die Unkrautbekämpfung zählen. Dies wird mit Bodenbearbeitungsgeräten erreicht indem sie den Boden wenden, lockern, oder krümeln und mischen, verdichten und packen sowie eibnen oder formen. Um jedoch einen gewünschten Saathorizont herzustellen, ist, neben dem verfahrenstechnischen Wissen, eine Kenntnis des jeweiligen Bodengefüges sowie bodenphysikalischer und –chemischer Grundlagen, wie Kationenaustauschkapazität, Tongehalt, Humusgehalt etc. von Bedeutung.

Die Entwicklung der Bodenbearbeitungstechnik von der manuellen Bearbeitung über die Menschen- und Tieranspannung, vom Dampfpflug bis hin zur Einführung der Traktoren und deren Weiterentwicklung bis zum heutigen Zeitpunkt, stellt in ihrer Gesamtheit eine beeindruckende Thematik dar. Insbesondere die Entwicklungen des letzten halben Jahrhunderts haben die Pflanzenproduktion und damit ebenso die gesamte Landwirtschaft nachhaltig geprägt. Waren zu Beginn des letzten Jahrhunderts Bodenbearbeitung mit Traktoren beziehungsweise ohne Tiergespann noch nahezu undenkbar, ist es heute durchaus üblich mit Traktoren in der Leistungsklasse bis 200 kW zu arbeiten.

Heute nimmt die konservierende Bodenbearbeitung hierbei einen besonderen Stellenwert ein. Sie wird von der Bildung eines stabilen Bodengefüges mit guter Tragfähigkeit und reduzierter Bearbeitungsintensität geprägt (ESTLER, 1996). Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten die Bodenbearbeitung und die Aussaat zu realisieren. Unterschiede der Bearbeitungssysteme liegen in erster Linie in der Eingriffs- und Bearbeitungsintensität sowie im Zeitraum zwischen Bodenbearbeitung und Aussaat. Weiterhin differiert der optimale Bearbeitungszeitpunkt, durch unterschiedliche Beanspruchung des Bodens, durch die verschiedenen Bearbeitungssysteme, erheblich. Folgendes Schaubild soll einleitend eine Reihe von Einflussfaktoren der Bodenbearbeitung auf das Ökosystem Boden darstellen.

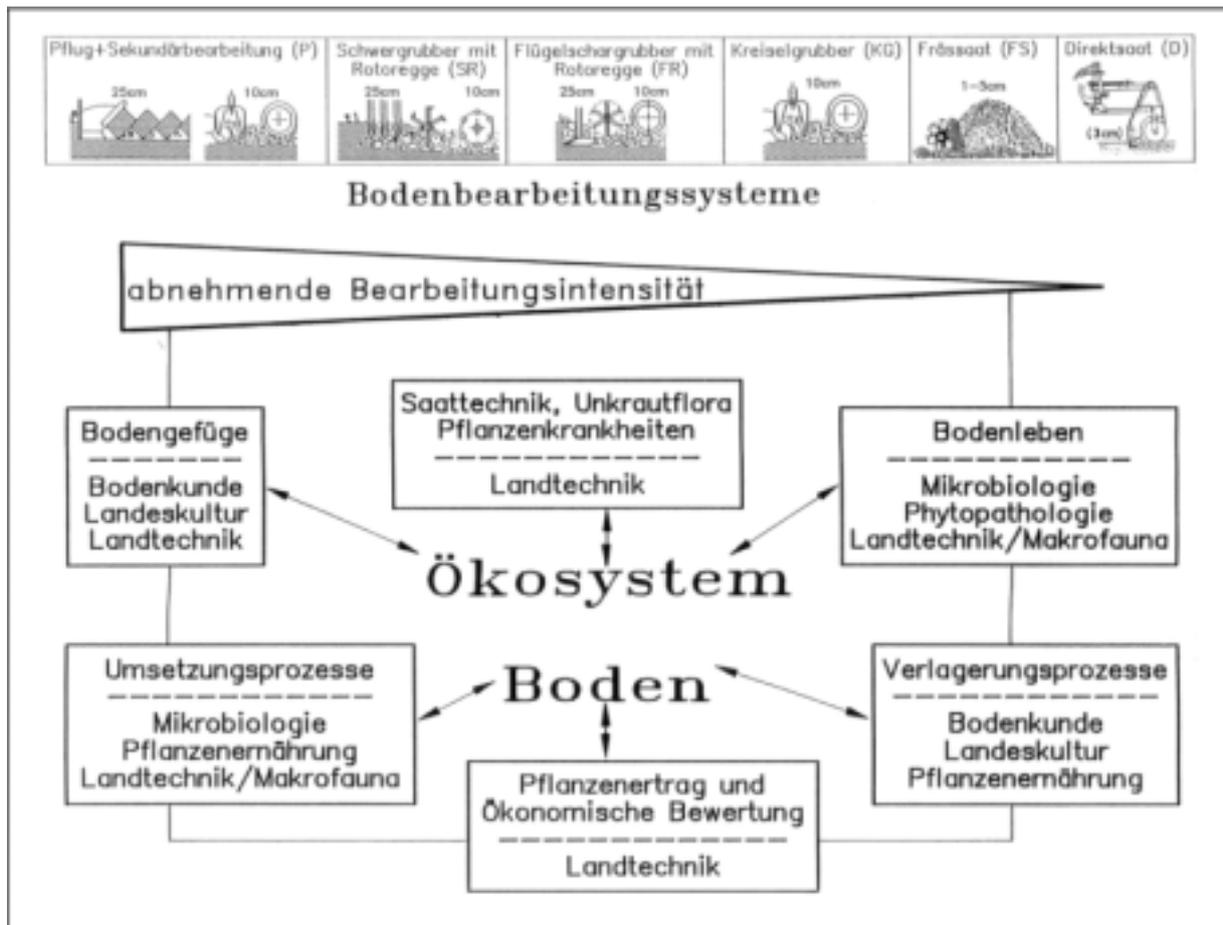


Abbildung 1: Ökosystem Boden

Quelle: nach Tebrügge, 1992

In den letzten Jahren haben sich die Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft und damit einhergehend auch für den Pflanzenbau bemerkenswert geändert. Vor allem überarbeitete und zeitbezogen formulierte Gesetze beeinflussen heute die Tätigkeiten des landwirtschaftlichen Unternehmers nicht nur nachhaltig, sondern geradezu unausweichlich. So wird sich vielleicht in Zukunft die Politik der Ausgleichszahlungen nicht mehr nach der angebauten Frucht richten, sondern nach bodenerhaltenden und –schonenden Bearbeitungsmaßnahmen. Kritisch zu betrachten ist hierbei nur, dass Investitionen im gesamten landwirtschaftlichen Sektor meist mittel- bis langfristig ausgelegt sind und eine Entscheidungshilfe in Bezug auf Abwägung der Konsequenzen einer solchen Investition von Nöten ist.

Aus diesem Grund muss es heute Ziel sein, eine fachlich fundierte Grundlage für Landwirtschaftliche Unternehmen zu liefern, um im Sinne einer ökonomisch wie auch ökologisch nachhaltigen Landbewirtschaftung planerisch tätig zu werden, sowie diese ohne ein zu großes Risiko auch umsetzen zu können, um den Boden als Produktionsfaktor neben Arbeit und Kapital langfristig zu sichern.

## 2. Problemstellung

Bodenbearbeitung gehört zu den sichtbarsten Merkmalen landwirtschaftlicher Tätigkeit. Ihre klassischen Aufgaben sind die Bodenlockerung, die Einleitung standort- und fruchtart-spezifischer Verbesserungen des Wasser-, Luft- und Wärmehaushaltes des Bodens und die Bereinigung von Schäden am Bodengefüge. Außerdem ist neben der Verbesserung des Gefügeaufbaus auch die Homogenisierung der Krume von Bedeutung, wobei auf einen möglichst störungsfreien Übergang zum Unterboden zu achten ist. Des Weiteren sind, wie bereits angedeutet, Gegenmaßnahmen zur Unkraut- und Ungrasentwicklung, wie auch eine gelungene Einarbeitung und Zersetzung organischer Massen, Zieleffekte der Bodenbearbeitung (SEUFERT, 1995). Insgesamt betrachtet ist die Bodenbearbeitung eine Kulturmaßnahme des Menschen, die das Gleichgewicht und damit verbunden die Dynamik zwischen Bodengefüge und den endogenen (z.B. Bodenart) sowie exogenen (z.B. Temperatur) Faktoren beeinflusst. Dies hat einen mehr oder weniger starken Eingriff in den Lebensraum der Organismen zur Folge (SCHACHTSCHABEL ET AL., 1998). Aus diesem Grund ist es die Aufgabe eines jeden Landbewirtschafters, den Boden als Lebensraum, aber insbesondere auch als für den Pflanzenbau wichtigsten Produktionsfaktor zu erhalten.

Im Rahmen der guten fachlichen Praxis, welche auch sinnbeschreibend im Bundesbodenschutzgesetz (2001) in Paragraph 17 verankert ist, tritt die sogenannte konservierende Bodenbearbeitung als empfohlene vorzügliche Bodenbearbeitung in den Vordergrund. Unter den gegebenen rechtlichen Rahmenbedingungen ist es für landwirtschaftliche Unternehmer nicht immer einfach, die Konsequenzen ihrer Entscheidungen sowohl ökonomisch als auch ökologisch abzuschätzen. In wie weit regionaltypische Gegebenheiten diese Konsequenzen beeinflussen ist bislang nicht eindeutig geklärt.

Aufgrund des vorliegenden technischen Fortschritts sind spezifische Bewirtschaftungsanpassungen an Boden und Klima zunehmend besser möglich, was bedeutet, diese auch flächenbezogen umsetzen zu können. Man könnte somit den wechselnden Merkmalen klimatischer, geografischer, geologischer und topographischer Art im Sinne der „guten fachlichen Praxis“ vorzüglicher gerecht werden. Kenntnisse zu kleinräumigen Veränderungen dieser Parameter, einhergehend mit strukturellen Gegebenheiten, sind für zielorientierte Vorschläge zur „guten fachlichen Praxis“ für die Bodenbearbeitung gemäß den Empfehlungen des BMVEL (2001), von erfolgsentscheidender Bedeutung. Zugehörige Informationen werden mit zunehmender Heterogenität der örtlichen Gegebenheiten, wie sie in der Untersuchungsregion vorzufinden sind immer notwendiger und wertvoller. Ebenso ist eine sogenannte „teilschlagorientierte“ Bearbeitung aus weiteren Empfehlungen des Bundes-

naturschutzgesetzes, des Bundesbodenschutzgesetzes, des Wasserhaushaltsgesetzes, der Düngeverordnung, des Pflanzenschutzgesetzes sowie des Produkthaftungsgesetzes auf Informationen in dreidimensionaler Betrachtung angewiesen.

Ökonomische Informationen nehmen hierbei einen wichtigen Teil dieser Informationen ein. Da jede Bodenbearbeitungsmaßnahme mit Kosten verbunden ist, die Preise für Betriebsmittel langfristig eher steigen als fallen, es sich jedoch bei den Preisen für erzeugte Produkte nicht gleich verhält, gilt es, im Produktionsprozess Einsparungen zu erzielen. Heute betragen die Produktionskosten für den Pflanzenbau im Durchschnitt rund 1600 € je Hektar und Jahr. In Regionen wie Hessen, liegen die Kosten mit fast 2000 € je Hektar sogar noch höher. Hierbei nehmen die Arbeitserledigungskosten den größten Anteil mit 57% der Gesamtkosten ein. Eine Reduktion dieses Kostenblockes sollte der erste Schritt bei der Senkung von Kosten sein.

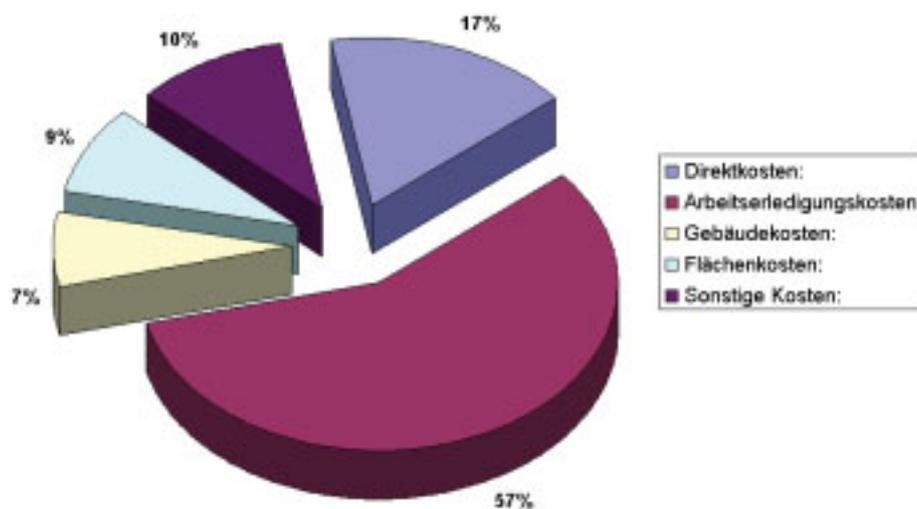


Abbildung 2: Kostenverteilung für den Ackerbau in der Marktfruchtproduktion

Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage HESSE, J. und BB GÖTTINGEN

Bei langjähriger Anwendung verschiedener Bodenbearbeitungssysteme können zahlreiche Wechselwirkungen im Boden, die auf die systemspezifischen Eingriffscharakteristika der unterschiedlichen Bearbeitungswerkzeuge zurückzuführen sind, festgestellt werden. Des Weiteren treten bei einer Reduzierung der Bearbeitungsintensität ebenso ökonomische Effekte ein. Die Deutlichkeit dieser Wechselwirkungen ist zwar standortabhängig, ist jedoch mehr oder weniger in ihrer Tendenz ausgeprägt (BEISECKER, TEBRÜGGE, 1994). Einige dieser Tendenzen wurden im Rahmen des DFG Sonderforschungsbereich 299 „Landnutzungs-konzepte für periphere Regionen“ näher beleuchtet und bilden die Grundlage für die Bewertung von Bodenbearbeitungssystemen, vor allem nach ökonomischen Gesichtspunkten.

### 3. Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die durchgeführten Untersuchungen im Rahmen des SFB Teilprojektes C1.3 zu beschreiben und zu bewerten, sowie mit bereits bestehenden Ergebnissen, soweit möglich, zu vergleichen. Da der Untersuchungszeitraum auf drei Vegetationsperioden beschränkt ist, kann diese Arbeit lediglich einen beschreibenden Charakter aufweisen.

Die Zielsetzung beinhaltet die Bewertung unterschiedlicher Mechanisierungsstrategien für periphere Ackerbaustandorte in Abhängigkeit ausgewählter verfahrenstechnischer, ökonomischer, ökologischer und pflanzenbaulicher Parameter. Die Auswahl der Mechanisierung orientiert sich zum einen an der vorherrschenden, im Einsatz befindlichen Technik, sowie unterschiedlicher Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat.

Somit können im Anschluss an die Versuchstätigkeiten erste Aussagen über Vorzugsvarianten der Mechanisierung für die speziellen Anforderungen peripherer Ackerbaustandorte getroffen werden, die dann einer detaillierteren ökonomischen Analyse unterzogen werden sollen.

In der ökonomischen Betrachtung sind die Kosten der Arbeitserledigung in Eigenmechanisierung denen des überbetrieblichen Maschineneinsatzes (ÜMV) gegenüberzustellen.

Parallel zu den Beurteilungen auf der Basis institutseigener Vorarbeiten sind begleitende standortspezifische Feldversuche anzulegen, auf denen ausgewählte Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung Anwendung finden sollen, um die Einordnung und Bewertung für periphere Standorte begründet vornehmen zu können. Eine Erfassung der Parameter, welche für diese Bewertung nötig sind, soll im Überblick dargestellt sowie durch Messungen mit der dazugehörigen Messtechnik im Feldversuch durchgeführt werden.

## 4. Literaturübersicht

### 4.1. Historischer Abriss der Bodenbearbeitung und Aussaat

Bereits in der Zeit um 11.500 v. Chr. ist in China eine erste Bodenbearbeitung nachgewiesen. Diese lässt auf ein grundlegendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen dem Bearbeiten des Bodens, dem Säen und dem Erntens von Früchten mit Hilfe der Verfahrenstechnik schließen. Sicher hat der Pflanzenbau zu dieser Zeit noch nicht die Qualität der heutigen Zeit, jedoch legte diese einfache Art der Produktion von Nahrungsmitteln den Grundstein vieler Hochkulturen. Vom jagenden und sammelnden Nomaden zum Ackerbau betreibenden Sesshaften. In dieser Art und Weise vollzog sich die Entwicklung in zahlreichen Kulturen. Allerdings geht man davon aus, dass Jagen, Fischen und Sammeln ein einfacheres und angenehmeres Leben erlaubten, während Ackerbau und Viehzucht mühsamer waren. Landwirtschaftliche Tätigkeiten gingen nicht mit einer bequemeren Lebensweise einher, sondern wurden aus Notwendigkeit betrieben. So dürfte diese Entwicklung durch bestimmte Faktoren gefördert worden sein – ein Ansteigen der Bevölkerungszahlen durch bessere Lebensbedingungen am Ende der letzten Eiszeit oder abnehmende Jagd- und Sammelmöglichkeiten.



Abbildung 3: Pflügen in Menschenanspannung

Quelle: DEUTSCHES MUSEUM, 2002

Die Landwirtschaft entwickelte sich eher evolutionär in kleinen Schritten, als durch eine plötzliche Revolution, obwohl sie sich in der riesigen vorgeschichtlichen Zeitspanne vergleichsweise schnell durchsetzen konnte.

Zu Beginn der Domestikation waren die dafür ausgewählten Pflanzen und Tiere keine Grundnahrungsmittel. Die Menschen scheinen erst im Laufe von Jahrhunderten oder in einigen Fällen auch Jahrtausenden von ihnen ökonomisch abhängig geworden zu sein. Es gab viele Stadien der „Halbdomestikation“ und kumulative Veränderungen in den Beziehungen zwischen Mensch und Natur. Landwirtschaft ersetzte die Nahrungssuche nur schrittweise, und in vielen Teilen der Welt hielten sich Jagen, Fischen und Sammeln auch noch lange nach dem Sesshaftwerden als Hauptnahrungsquelle. Es ist daher nicht möglich, zu sagen, wann die Domestikation einer bestimmten Art begann. Deshalb kann auch der „Entstehungszeitpunkt“ einer standortgebundenen Landwirtschaft nicht genau festgelegt werden.

Die historische Entwicklung der Bodenbearbeitung führt zunächst von der manuellen Bearbeitung über die Menschen- und Tieranspannung. Als erste Pflüge dienten wahrscheinlich Astgabeln: Das eine Astende wurde durch den Boden bewegt, während die anderen als Griffe dienten. Man konnte diese Pflüge schieben oder von Menschen oder Tieren an Seilen ziehen lassen (vgl. Abbildung 3). Die Römer der Antike verwendeten einen leichten Pflug mit eisernem Schar, der von Ochsen gezogen wurde. Ein schwerer Pflug auf Rädern wurde im Mittelalter zum Umgraben des festeren Bodens im nordwestlichen Europa zwischen dem 5. und 15. Jahrhundert entwickelt. Um in den Boden einschneiden zu können, war er mit einer scharfen Spitze aus Eisen oder Stahl ausgestattet. Um 1730 wurde in England der Rotherham-Pflug entwickelt, welcher aufgrund seines dreieckigen Rahmens leichter zu bedienen war. Dieser lieferte die Grundform für alle weiteren Pflüge mit Pferdeanspannung.



Abbildung 4: Pflügen mit dem Pferdegespann

Bis in die dreißiger Jahre des 19. Jahrhunderts blieb der Pflug fast unverändert. Schließlich erfand der amerikanische Schmied John Deere das Pflugschar aus Stahl (vgl. Abbildung 4). Zweirädrige Pflüge mit Fahrersitz tauchten während der sechziger Jahre des 19. Jahrhun-

derts auf. Die Aussaat wurde in diesem Zeitabschnitt ebenfalls mit Hilfe der Pferdeanspannung durchgeführt.

Mit Beginn der industriellen Revolution und damit einhergehend der Entwicklung der Dampfmaschine hielt diese auch seit den vierziger Jahren des 19. Jh. in der Landwirtschaft Einzug. Neben der Fabrikation von Lokomobilen, welche ab ca. 1845 den Dienst in der Landwirtschaft (siehe Abbildung 5) aufnahmen, jedoch aufgrund ihres hohen Eigengewichtes und ihres immensen Anschaffungspreises (1917: 40.000-60.000 Goldmark, was zu damaliger Zeit einem mittelgroßen Bauernhof entsprach) nur beschränkten Einsatz fanden.

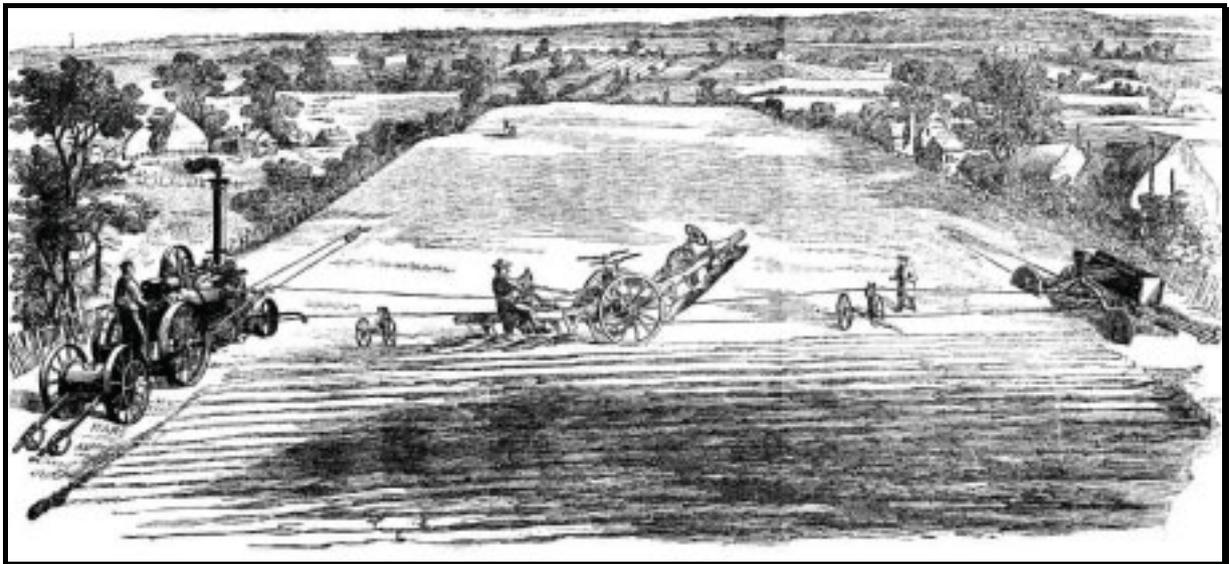


Abbildung 5: Pflügen mit dem Dampfplug

Quelle: ANONYMUS, 1862

Nach 1900 ersetzten die billigeren, mit Kraftstoff betriebenen Traktoren allmählich den Pferdeplug. Sie wurden jedoch erst ab 1924 mit der Einführung eines kleinen Allzwecktraktors und mit der Entwicklung der Niederdruck-Gummiräder 1932 verstärkt eingesetzt. Zu Beginn waren die Traktoren noch ohne Hydraulikanlage ausgerüstet und die Pflüge wurden an der Ackerschleife befestigt, was dazu führte, dass eine Person den Pflug führen musste (siehe Abbildung 6).

Die ersten Hydraulikanlagen vereinfachten die Arbeit mit dem Traktor zunehmend. Zunächst die Gespanndrillen für die Tieranspannung verwendet, konnten nun Drillmaschinen direkt an den Traktor angebaut werden. Zur Aussaat von Getreide wurden bereits in dieser Zeit zusätzlich Gitterreifen an den Traktor angebaut, um die Aufstandsfläche zu vergrößern und somit den Bodendruck zu reduzieren.



Abbildung 6: Pflügen mit einem Traktor (um 1949)

Quelle: TEBRÜGGE, 2002

In den darauf folgenden Jahrzehnten veränderte sich das Bild der Bodenbearbeitungs- und Saattechnik zunehmend. Durch größere Leistungen der Zugmaschinen wurden die Anzahl der Pflugschare erhöht, was nicht immer einem schonenden Umgang mit dem Boden zur Folge hatte.



Abbildung 7: Pflügen mit einem Traktor (heute)

Heute existieren viele Möglichkeiten eine bodenschonende Bewirtschaftung durchzuführen. Es existieren z.B. mittlerweile Reifendruckregelanlagen, die das Absenken des Reifendruckes zum Befahren des Feldes und somit zur Vergrößerung der Aufstandsfläche, sowie damit einhergehend zur Verringerung Kontaktflächendruckes, zur Folge haben. Wird die Arbeit auf dem Feld beendet, ist es innerhalb kürzester Zeit möglich den Reifeninnendruck

wieder auf das Optimum für Straßenfahrten zu erhöhen. Somit können Bodenschadverdichtungen, wie sie unter anderem beim Pflügen entstehen, minimiert werden.

Im Bereich der Saatechnik sind im Laufe der letzten Jahrzehnte ebenfalls erhebliche Fortschritte gemacht worden. Neben allen Arten von Bestelltechniken, nach vorher erfolgter Grundbodenbearbeitung, finden sich immer mehr Maschinen auf dem Markt, die das Prinzip der reduzierten Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat unterstützen. Folgende Abbildung 8 zeigt eine Direktsaatmaschine, welche die minimalste Form der Bodenbearbeitung darstellt. Sie zieht lediglich Saatschlitze in Ablagetiefe des Saatgutes.



Abbildung 8: Aussaat heute

Folgende Abbildung 9 gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der Primär- (Grundbodenbearbeitung) und Sekundärbodenbearbeitung (Saatbettbereitung) sowie über mögliche Aussaattechniken. Weiterhin wird in diesem Schaubild eine Einteilung zwischen konventioneller Bodenbearbeitung mit Pflug, konservierender Bodenbearbeitung ohne Pflug, bzw. mit und ohne Grubber, sowie Direktsaat ohne Bodenbearbeitung, vorgenommen.

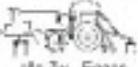
Bodenbearbeitungs- system	Arbeitsabschnitte			Ablauf der Arbeitsgänge
	Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat	
<u>Konventionelle Bodenbearbeitung</u> mit Pflug		 		getrennt
		alle Zw.-Eggen  	Bodenfräse oder Rotonegge	reduziert Saatbettbereitung u. Saat zusammengefasst
				alle Arbeitsgänge <b>zusammengefasst</b>
<u>Konservierende Bodenbearbeitung</u> ohne Pflug mit Schäl-, Kurz- oder Schichtengrubber	 	 	Roll- oder Schiebenschar 	getrennt
	 	v.a. Rotonegge 	Bodenfräse oder Zw.-Egge 	reduziert Saatbettbereitung u. Saat zusammengefasst
				alle Arbeitsgänge <b>zusammengefasst</b>
ohne Grubber	—	  	  	Ohne Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat <b>zusammengefasst</b>
<u>Ohne Bodenbearbeitung</u> Direktsaat	—	—	 	Anlegen von Saschlitten

Abbildung 9: Systematik der Bodenbearbeitung

Quelle: SEUFERT, 2001

#### 4.2. Gesetzliche Rahmenbedingungen der Pflanzenproduktion

Im Zuge der Neufassung diverser Gesetze und Verordnungen wird nunmehr die Sonderstellung der landwirtschaftlichen Produktion immer mehr zurückgedrängt und einer Industrieproduktion gleichgestellt. Daher ist es für den Produzenten von Nahrungsmitteln, bzw. Rohstoffen von Nahrungsmitteln essentiell die geforderten Auflagen zu verinnerlichen und eine größtmögliche Sorgfalt gerade in Bezug auf die Dokumentation der einzelnen Produktionsschritte sowie die Qualität der erzeugten Produkte walten zu lassen. Im Folgenden werden nun die für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion relevanten Gesetzgebungen beschrieben. Weiterhin ergeben sich aus den jeweiligen Gesetzen länderspezifische Anwendungsverordnungen, welche an dieser Stelle auszugsweise aufgeführt, jedoch nicht näher beschrieben werden.

- Bundesbodenschutzgesetz (BBODSCHG) vom 09. Sept. 2001
- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (BNATSCHG) vom 29. Okt. 2001
- Düngemittelgesetz vom 29. Okt. 2001
- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KRW-/ABFG) vom 27. Sept. 1994

- Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (PFLSCHG) vom 29. Okt. 2001
- Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (PRODHFTG) vom 2. Nov. 2000
- Umwelthaftungsgesetz (UMWELTHG) vom 10. Dez. 1990
- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG) vom 9. Sept. 2001
- Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 16. Juli 1997
- Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (Grundwasserverordnung) vom 18. März 1997
- Lebensmittelhygiene-Verordnung (LMHV) vom 21. Mai 2001
- Verordnung über Höchstmengen an Mykotoxinen in Lebensmitteln (MHmV) vom 2. Juni 1999
- Verordnung über Anwendungsverbote für Pflanzenschutzmittel (Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung) vom 27. Okt. 1999
- Verordnung über Pflanzenschutzmittel und Pflanzenschutzgeräte (Pflanzenschutzmittelverordnung) vom 9. Nov. 2001
- Pflanzenschutz-Sachkundeverordnung vom 7. Mai 2001
- Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BbodSchV) vom 12. Juli 1999

<b>Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG)</b>	<p>Ziele sind die Abwehr von schädlichen Bodenveränderungen, die Sanierung von Böden und Altlasten der durch diese verursachten Gewässerverunreinigungen und die Vorsorge gegen künftige nachhaltige Bodeneinwirkungen. Letzteres bedeutet eine nachhaltige Sicherung sowie Wiederherstellung der Bodenfunktionen. Nicht geschützt ist der Boden an sich. Das BBodSchG hat die Funktion eines Leitgesetzes.</p> <p>Die Vorsorgepflicht des § 7 hat primär die Bodenverunreinigungen im Blick.</p> <p>Die landwirtschaftliche Bodennutzung ist in § 17 Abs.1 u. 2 normiert; sie schützt die physiologische Struktur des Bodens mit den Zielen der „guten fachlichen Praxis“: Nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource neben der Erhaltung der naturbetonten Strukturelemente.</p> <p>Das allgemeinere BBodSchG tritt bei bodenbezogenen Anforderungen hinter spezielleres Fachrecht wie KrW-/AbfG, Düngemittelrecht, Pflanzenschutzrecht, Baurecht und das Bundesimmissionsschutzgesetz zurück.</p>
---	---

<b>Düngemittelgesetz (DMG)</b>	<p>Aus der Anwendung der „guten fachlichen Praxis“ folgt, dass Düngemittel zielgerichtet und umweltschonend angewandt und insbesondere Belastungen des Naturhaushaltes nach Möglichkeit vermieden werden sollen.</p> <p>Die Düngung der „guten fachlichen Praxis“ nach § 1a Abs.1 dient der Versorgung der Pflanzen mit notwendigen Nährstoffen sowie der Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit, um insbesondere die Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ hochwertigen, preiswerten Erzeugnissen zu sichern.</p> <p>Nach § 1a Abs.2 soll die Düngung nach Art, Menge und Zeit auf den Bedarf der Pflanzen und des Bodens unter Berücksichtigung der im Boden verfügbaren Nährstoffe und organischen Substanz, sowie der Standort- und Anbaubedingungen ausgerichtet werden.</p> <p>§ 1a Abs.3 ermächtigt das Bundesministerium für Landwirtschaft im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Umwelt „die Grundsätze der guten fachlichen Praxis“ als auch die flächenbezogene Obergrenzen (siehe Dünge-VO) näher zu bestimmen.</p>
<b>Umwelthaftungsgesetz (UmweltHG)</b>	<p>Ziele: Bei Umwelteinwirkungen - Lücken im Haftungssystem schließen und der Umweltvorsorge dienen.</p> <p>Verschuldensunabhängige Gefährdungshaftung.</p> <p>Tritt durch Umwelteinwirkung eine Rechtsgüterverletzung ein, kann der Geschädigte den daraus entstehenden Schaden ersetzt verlangen.</p>
<b>Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)</b>	<p>Ziel ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Sicherung der natürlichen Ressourcen, d.h. von Rohstoffen. Abfälle zur Verwertung, zur Beseitigung deren sich der Besitzer entledigt oder entledigen will (subjektiver Abfallbegriff) oder entledigen muss (Entledigungspflicht) (objektiver Abfallbegriff).</p> <p>Abfall und Wirtschaftsdünger / Beseitigung und Düngung sind in § 8 Abs.2 S.1 Nr.2 geregelt. Nach Maßgabe § 8 Abs.2 S.2 sind nur insoweit Rechts-VO zur Bekämpfung von Gefahren zu erlassen, wenn die Düngung über die „gute fachliche Praxis“ nach § 1a DMG hinaus geht. Die gute fachliche Praxis und damit auch die Gefahrlosigkeit bleibt gewahrt, wenn die Düngung nach Art, Menge und Zeit auf den Bedarf der Pflanzen und des Bodens ausgerichtet wird. Wann und wie zu verwerten ist, regelt für die landwirtschaftliche Düngung allgemein § 5 Abs.2-6.</p>

**Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (BNatSchG)**

Ziel ist der Schutz, die Pflege und die Entwicklung der Natur und Landschaft im besiedelten und unbesiedelten Bereich, dass

1. die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts,
2. die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter,
3. die Pflanzen- und Tierwelt sowie
4. die Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft

als Lebensgrundlagen des Menschen und als Voraussetzung für seine Erholung in Natur und Landschaft nachhaltig gesichert sind.

Die sich daraus ergebenden Anforderungen sind untereinander und gegen die sonstigen Anforderungen der Allgemeinheit an Natur und Landschaft abzuwägen. Insbesondere ist Boden zu erhalten; ein Verlust seiner natürlichen Fruchtbarkeit ist zu vermeiden.

Eingriffe in Natur- und Landschaft sind nur unter bestimmten Voraussetzungen zulässig. Bei zulässigem Eingriff müssen Ersatzmaßnahmen durchgeführt bzw. Ausgleichsabgabe gezahlt werden. Die der „guten fachlichen Praxis“ entsprechende land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung widerspricht i.d.R. nicht den Zielen des Naturschutzes. Privilegiert ist grundsätzlich nur die aktuelle landwirtschaftliche Nutzung. Es wird neben § 17 Abs.2 BBodSchG erstmals die gute fachliche Praxis im Naturschutzgesetz festgeschrieben. „Ordnungsgemäße Landwirtschaft“ – ökonomisch orientierter Landwirtschaft sollen ökologische Zügel angelegt werden.

Biotopverbund herstellen; Wiederherstellung von schützenswerten Flächen, jede Fläche könnte in einen undifferenzierten, ursprünglichen Zustand versetzt werden; Öko-Landbau ist das Leitbild; Aufgabe des Vertragsnaturschutzes, nicht jede Nutzungsbeschränkung, die über die gute fachliche Praxis hinausgeht, muss entschädigt werden.

Schlagspezifische Dokumentation über Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln.

Es besteht nur noch eine Interessenabwägung zwischen „Naturschutz“ und „Allgemeinheit“; das sog. „Verbandsklagerecht“ wird in das Gesetz mit aufgenommen.

<b>Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)</b>	<p>Verschuldensunabhängige Haftung durch Fehler des Produktes.</p> <p>Es werden hier alle landwirtschaftliche Erzeugnisse, unabhängig ob sie der Ernährung oder sonstigen Zwecken dienen, erfasst.</p> <p>Gefährdungshaftung: Das Hauptproblem bei Lebensmitteln liegt nicht im Verschuldensnachweis, sondern im Bereich der Kausalität. Dies führt zu dem Themenbereich des Nachweises von Prüfungs- und Kontrollpflichten, Qualitätsmanagement und Zertifizierungssystemen, um beweisen zu können, dass das Produkt den landwirtschaftlichen Betrieb einwandfrei verlassen hat.</p>
<b>Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO)</b>	<p>Die Straßenverkehrsordnung (StVO), welche den öffentlichen Verkehr regelt und lenkt, wendet sich an alle Verkehrsteilnehmer.</p> <p>Neben der StVO steht die StVZO. Sie befasst sich mit Zulassungsfragen, Bau- und Betriebsvorschriften. Für die Landwirtschaft gelten hieraus einige spezielle Vorschriften. Vornehmlich aus dem Bereich zulässige Maße von landwirtschaftlichen Fahrzeugen und ihrer Ladung u.a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fahrzeugbreite maximal 3 m;</li> <li>▪ Länge Einzelfahrzeug maximal 12 m;</li> <li>▪ Länge bei Fahrzeugzügen maximal 18 m;</li> <li>▪ Höhe maximal 4 m;</li> <li>▪ Zulässige Gesamtmasse des Zuges maximal 40,0 t;</li> </ul>
<b>Wasserhaushaltsgesetz (WHG)</b>	<p>Ziel ist der Gewässerschutz; BImSchG und BBodSchG unterstützen u.a. die Ziele des WHG; Unterscheidung zwischen Scheindüngung und ökonomischer Überdüngung.</p> <p>§ 19 Abs.1 formuliert präzise und detaillierte Düngeregelungen in Trinkwasserschutzgebieten; aus diesen ergeben sich nach § 19 Abs.2 sogenannte Schutzanordnungen; sie verbieten oder beschränken sachlich, zeitlich oder örtlich bestimmte Maßnahmen landwirtschaftlichen Handelns (Düngen, Nutzungsart, bauliche Anlagen); dies stellt i.d.R. eine bloße Sozialbindungen des Eigentums nach Art. 14 Abs.1 S.2 u. Abs.2 dar – keine Enteignung.</p> <p>Ferner muss hierzu eine sog. Musterwasserschutzgebiets-VO erlassen werden, welche eine dreiteilige Zoneneinteilung des Wasserschutzgebietes vorsieht.</p> <p>„Gute landwirtschaftliche Praxis“ orientiert sich hiernach an dem Kriterium des maximalen erzielbaren Ertrages.</p> <p>Der Status Quo ist hier somit die „ordnungsgemäße Landwirtschaft“.</p>

<p style="text-align: center;"><b>Düngeverordnung (Dünge-VO)</b></p>	<p>Aufgrund § 1a Abs.3 DMG werden hier die einzelnen Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen näher bestimmt.</p> <p>Dies „Grundsätze“ sollen den wirtschaftlichen Interessen der Landwirtschaft und der Erzeugung qualitativ hochwertiger Produkte dienen. Nach § 6 PflSchG gehören auch die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes zur „guten fachlichen Praxis“. Der düngemittelanwendungsbezogene § 1a DMG, zusammen mit den anwendungsbezogenen Bestimmungen des § 6 PflSchG, prägen das, was unter „ordnungsgemäßer Landwirtschaft“ zu verstehen ist.</p> <p>Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft sind wie vergleichbare Mineraldünger anzuwenden.</p> <p>Es sind z.B. für Organischen Dünger (Flüssigmist) besondere Regeln zu beachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nach Möglichkeit sollen gegen Ammoniakverflüchtigungen künftig wirksame Techniken verstärkten Einsatz finden;</li> <li>▪ auf Ackerland max. 170 kg N*ha<sup>-1</sup>*a<sup>-1</sup> ;</li> <li>▪ Ausbringverbot zwischen 15. November und 15 Januar;</li> <li>▪ Aufzeichnungen über Nährstoffzufuhr an N, P, K sowie über die Abfuhr an diesen Nährstoffen sind alle drei Jahre bilanzierend durchzuführen.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (PflSchG)</b></p>	<p>Zweck dieses Gesetzes ist,</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pflanzen, insbesondere Kulturpflanzen, vor Schadorganismen und nichtparasitären Beeinträchtigungen zu schützen,</li> <li>2. Pflanzenerzeugnisse vor Schadorganismen zu schützen,...</li> <li>4. Gefahren abzuwenden, die durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln oder durch andere Maßnahmen des Pflanzenschutzes, insbesondere für die Gesundheit von Mensch und Tier und für den Naturhaushalt, entstehen können,</li> <li>5. Rechtsakte der Europäischen Gemeinschaft im Bereich des Pflanzenschutzrechts durchzuführen.</li> </ol> <p>Im PflSchG werden im ersten Abschnitt Begrifflichkeiten zum Pflanzenschutz definiert, in weiteren Abschnitten wird unter anderem der Pflanzenschutz, der Umgang mit Pflanzenschutzmitteln sowie die einzusetzende Technik erläutert.</p>

### 4.3. Wechselwirkungen von Bodenbearbeitung und Bodenbeschaffenheit

#### 4.3.1. Indikatoren der Bodenbeschaffenheit

Verwitterung, Verlagerung und Bodenbildung gestalten ein Gemisch verschieden großer, meist unregelmäßig geformter Teilchen. Als Bodenart wird eine charakteristische Korngrößenverteilung von Gesteinsresten, Mineralen und Mineralneubildungen bezeichnet. Sie ist ein relativ konstantes Kriterium der Bodenbewertung. Es erfolgt in der Regel eine Untergliederung der Feinbodenbestandteile in Sand (S), Schluff (U) und Ton (T).

Folgende Abbildung 10 veranschaulicht die unterschiedlichen Zusammensetzungen der Feinbodenbestandteile.

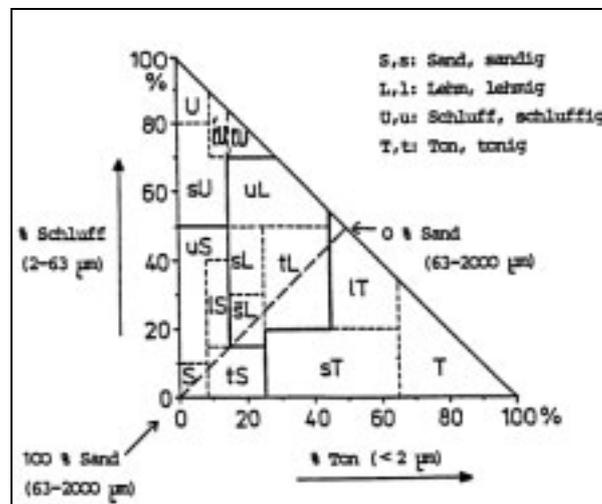


Abbildung 10: Einteilung der Bodenarten

Quelle: TU-BERLIN

Erst eine mit lebender und toter organischer Substanz durchsetzte Verwitterungsschicht ist aus sich selbst heraus Träger und Vermittler von Pflanzenwachstum. Sie prägt die Entwicklung von Verwitterungsprodukten über den Rohboden zum Boden im eigentlichen Sinne. Standortfaktoren bestimmen Menge und Qualität der organischen Substanz im Boden und dessen ökonomische und ökologische Eigenschaften wie z.B. Ertragsbildung und Filtereigenschaften.

Tabelle 1: Auswirkungen auf Bodeneigenschaften

Standortfaktoren	Organische Bodensubstanz	Bodeneigenschaften	Funktion	
<b>Klima</b>	Inert	<b>Rohdichte, Porenvolumen</b>	Filterung	Ertrag
Ausgangsgestein, Bodenart		<b>Porenraumverteilung</b>		
Exposition		<b>Aggregatstabilität</b>		
Grund-, Stauwasser	Umsetzbar	<b>Austauschkapazität</b>		
<b>Nutzung</b>		<b>Pufferung</b>		
Kulturart		<b>Biolog. Aktivität</b>		
Bodenbearbeitung		<b>Stoffdynamik</b>		
Melioration		<b>Bodenreaktion</b>		
Düngung		<b>Wuchsstoffe</b>		
▲			<b>Ernterückstände</b>	

Quelle: KUNTZE (1994)

Da klimatische Bedingungen die Bodeneigenschaften beeinflussen und somit ebenso Auswirkungen auf den Ertrag der Kulturpflanzen haben, ist eine Aufzeichnung der Klimadaten von Vorteil.

#### 4.3.2. Auswirkungen von Bearbeitungsmaßnahmen auf die Bodenbeschaffenheit

Die Aufgaben und Auswirkungen der Bodenbearbeitung sind in Abbildung 11 beschrieben. Eine zielorientierte Bodenbearbeitung beinhaltet jedoch nicht nur positive Einflüsse, negative Einflüsse, wie die Schädigung des Bodengefüges durch die Bearbeitung, stehen diesen gegenüber. Das Ausmaß der Schäden übertrifft die fördernden Effekte bei unsachgemäßer Anwendung dieser Technik bei weitem.

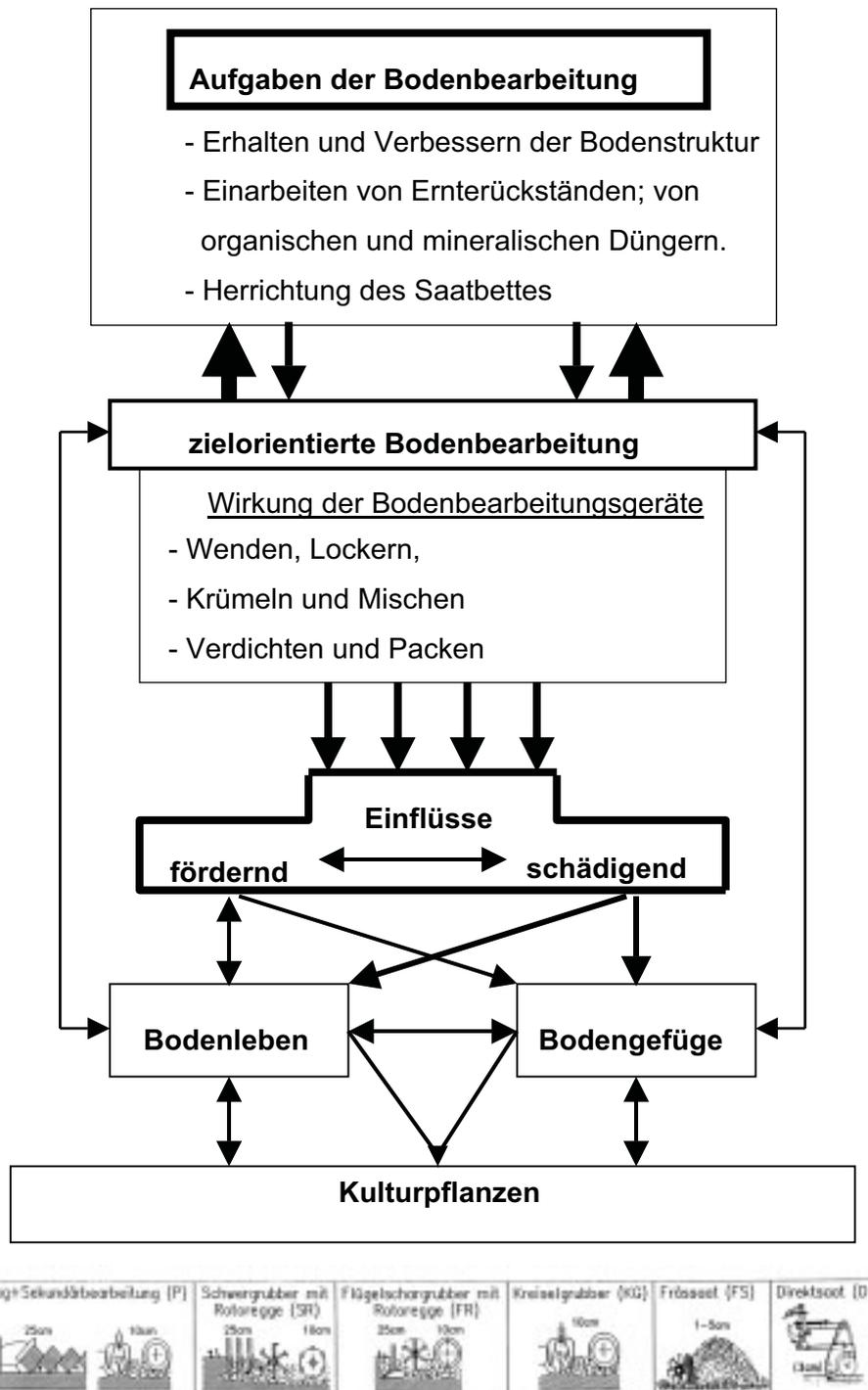


Abbildung 11: Aufgaben und Eingriffe der Bodenbearbeitung

Quelle: SEUFERT, 2001

#### 4.4. Physikalische und messtechnische Grundlagen

„Das beste Mittel gegen Sinnestäuschungen ist das Messen, Zählen und Wägen.

Dadurch wird die Herrschaft der Sinne über uns beseitigt. Wir richten uns nicht mehr nach dem sinnlichen Eindruck der Größe, der Zahl, des Gewichts der Gegenstände, sondern berechnen, messen und wägen sie. Und das ist Sache der Denkkraft, Sache des Geistes in uns“ (Plato 427-347 v. Chr.).

##### 4.4.1. Physikalische Grundlagen des Messens

 **Messen = Vergleichen einer Größe mit festgelegter Einheit**

Größen = meßbare physikalische / technische Eigenschaften 


Meßergebnis einer Größe		= Zahlenwert $\times$ Einheit	
Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit	
Länge 	$l$	 Meter	<b>m</b>
Masse 	$m$	 Kilogramm	<b>kg</b>
Zeitdauer 	$t$	 Sekunde	<b>s</b>
elektrische Stromstärke 	$I$	 Ampère	<b>A</b>
thermodynamische Temperatur	$T$	 Kelvin	<b>K</b>
Stoffmenge 	$n$	 Mol	<b>mol</b>
Lichtstärke 	$I$	 Candela	<b>cd</b>

Abbildung 12: Grundlagen des Messens

Quelle: SEUFERT (2001b)

Für die Messung der oben genannten Größen existieren unterschiedlichste Messverfahren. Die Messverfahren (Funktionsweise einer Messeinrichtung) lassen sich nach verschiedenen Kriterien gliedern (vgl. Tabelle 2). Welches Verfahren bei einer Messaufgabe zur Anwendung kommt, hängt z.B. von der Art des Merkmals, von der geforderten Genauigkeit der Messung, vom finanziellen Rahmen, vom Platzbedarf, den Umgebungsbedingungen, dem geforderten Ausgangssignal und der erlaubten Rückwirkung auf die Messgröße ab.

Tabelle 2: Gliederung für Messverfahren

Verfahren	Beispiele	Bemerkung
direkt	Balkenwaage, Bandmaß	Vergleich mit gleichartiger Größe
indirekt	Spannungsanalyse mit DMS, Federwaage	Messgröße nicht gleich Messwert
analog	Thermometer, Zeigerinstrument, Tachometer	Kontinuierliche Skala
digital	DVM, Uhr, Balkenwaage, Kilometerzähler	Quantisierung; kleinste mögliche Schrittweite ist definiert
kontinuierlich	Thermometer, Tachometer, Zeigerinstrument	Zeitliche Kontinuität der Beobachtung
diskontinuierlich	DVM, Digitaluhr, Transientenrekorder	Jedes Verfahren mit A/D -Wandlung oder Multiplexer!
Ausschlagsverfahren	- Federwaage, Zeigerinstrument	Bürde beachten; Nichtlinearitäten
Kompensationsverfahren	Balkenwaage, Nullstromverfahren	(nicht beliebig zu beschleunigen) Regelkreis; Rückwirkungsfreie Verfahren
absolut	Thermometer, Bandmaß, codierte Weggeber	Definierter Nullpunkt als Bezug
relativ	Inkrementalgeber, Zeitmessung	Vergleich zweier Werte; Zählen

Quelle: PROFOS (1992), überarbeitet

Folgende Tabelle 3 gibt einen Überblick über Messprinzipien in Abhängigkeit der gewünschten Eingangs- und Ausgangsgrößen. Auch die Auswahl des Messprinzips hängt, neben den oben aufgeführten Faktoren, von einer Reihe von Einflussfaktoren, z.B. von der beabsichtigten Weiterverarbeitung des Signals und den Übertragungsbedingungen (z.B. Ex-Schutzbedingungen, keine Stromversorgung möglich ...), ab. Häufig entsteht das Ausgangssignal eines Messgrößenaufnehmers aus einer Überlagerung verschiedener physikalischer Effekte, wobei die nicht erwünschten Einflüsse auf das Signal Störgrößen darstellen und durch konstruktive oder rechnerische Korrekturen minimiert werden müssen.

Tabelle 3: Physikalische Effekte und Prinzipien zur Messgrößenumformung

Eingangsgröße	Ausgangsgröße				
	mechanisch	thermisch	elektrisch	magnetisch	optisch
mechanisch	Hebel, Pendel, elastische Deformation	Wärmepumpe, Kältepumpe, Reibung	Geometrieabhängigkeit von R, L und C Piezoeffekt	magnetoelastische Effekte Magnetohydrodynamik	Interferometrie Spannungsoptik
thermisch	Thermoelastizität Dampfdruck	thermische Kreisprozesse	Temperaturabhängigkeit von R, L und C	thermomagnetische Effekte	Wärmestrahlung Thermo-lumineszenz
elektrisch	Induktion Lorentz-Kraft, Piezoeffekte	Joulesche Wärme Thomson-effekt	Transformator Transistor Influenz	Elektromagnetismus	elektroop. Kerr-Effekt
magnetisch	magnetomechanische Effekte	magnetokalorische Effekte	magneto-elektrische Effekte Hall-Effekt	magnet. Suszeptibilität	magnetooptische Effekte
optisch	Strahlungsdruck	Adsorption	Photoeffekt, Optovoltaik	magnetooptische Speicher	Interferenz Bildwandler Laser

Quelle: BEITZ (1990), überarbeitet

#### 4.4.2. Messverfahren<sup>1</sup>

In den folgenden Kapiteln soll ein Auswahl möglicher Messverfahren gegeben werden. Zunächst wird die Messung von Kräften betrachtet. Im Anschluss daran werden mögliche Messprinzipien der Drehmomentmessung aufgezeigt. Weiterhin werden Messverfahren zur Drehzahlmessung und Wegmessung erläutert.

##### 4.4.2.1. Kraftmessung

###### 4.4.2.1.1. DMS-Kraftaufnehmer

Wird ein elektrischer Leiter so auf ein Messobjekt geklebt, dass er von ihm elektrisch isoliert ist, aber dessen Dehnungen und Stauchungen bis zu einem gewissen Grad mitmacht, so ändert sich der elektrische Widerstand  $R$  des Leiters, welcher unter anderem von dem spezifischen Widerstand sowie der Länge  $l$  des Körpers abhängig ist.

Diesen Effekt nutzt man im Bereich der elastischen Verformung bei Dehnungsmessstreifen (DMS) aus. Folgende Abbildung 13 zeigt die elastische Verformung einer DMS-Anordnung. Trifft eine Kraft  $F$  auf den unbelasteten Körper so staucht dieser sich. Dies führt nun zu einer Stauchung des DMS ( $R_1$ ) sowie zu einer Dehnung des DMS ( $R_2$ ).

<sup>1</sup> In Anlehnung an UNTERSWEIG (1999), GOCH (2001)

Durch die damit verbundene Änderung des spezifischen Widerstandes wird nun ebenfalls die an die DMS angelegte Spannung beeinflusst.

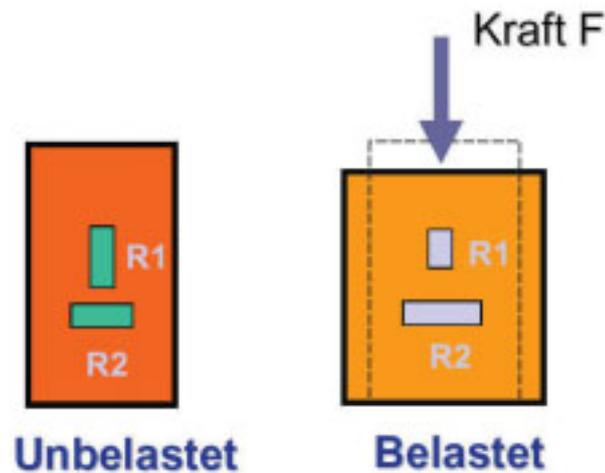


Abbildung 13: Elastische Verformung eines DMS (schematisch)

Quelle: HESSE, T. (2002)

#### 4.4.2.1.2. Piezoelektrischer Kraftaufnehmer

Prinzip eines piezoelektrischen Sensors ist es, dass sich Kristallgitter (1), welche sich zwischen einem Stempel (2) und einer Auflage (4) befinden, aufgrund einer Krafteinwirkung auf einen Stempel (2) deformieren, was zu Ladungsverschiebungen führt welche dann mit Hilfe der Zwischenelektrode (3) gemessen werden können. Dadurch, dass die Quarzkristalle sehr steif sind, haben sie in der Regel einen Messweg von  $< 10\mu\text{m}$ . Die Eigenverformung kann daher meist vernachlässigt werden. Es lassen sich Messwege im Bereich von unter  $1\mu\text{m}$  messen. Der nutzbare Messbereich erstreckt sich über mehrere Zehnerpotenzen.

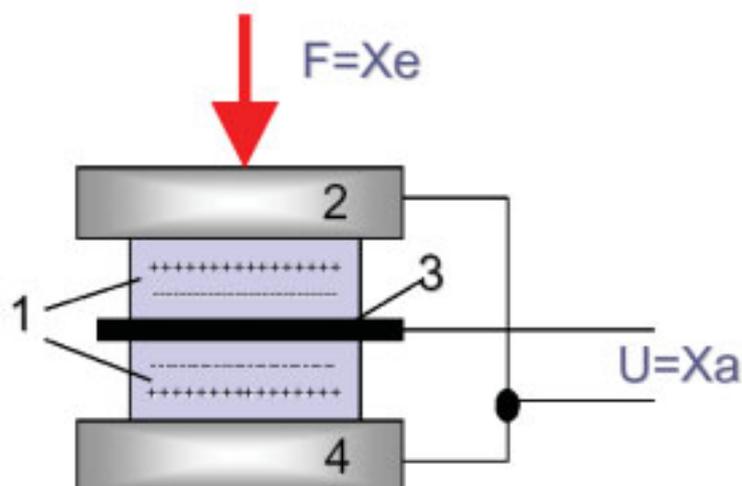


Abbildung 14: Prinzip eines Piezoelektrischen Sensors

Quelle: HESSE, T. (2002)

Mit piezoelektrischen Kraftaufnehmern lassen sich keine echten statischen Messungen durchführen, weil die elektrische Ladung nicht über beliebig lange Zeiträume aufrechterhalten werden kann. Zum einen haben die Isolationsmaterialien einen endlichen Widerstand, zum anderen sind die zur Auswertung verwendeten Ladungsverstärker mit Leckverlusten behaftet. Besonders bei kleiner Teilauslastung machen sich diese Effekte bemerkbar. Man spricht daher nur von quasistatischer Messfähigkeit der piezoelektrischen Aufnehmer. Eine statische Kalibrierung ist aber in den meisten Fällen möglich.

Die Anforderungen an das Isolationsmaterial sind außerordentlich hoch. Geringste Isolationsdefekte bewirken große Messfehler. Der Einsatz bei hoher Feuchtigkeit kann daher problematisch sein. Somit hätte diese Messtechnik bei dem Einsatz in landtechnischen Messungen einen entscheidenden Nachteil.

#### 4.4.2.1.3. Magnetoelastische Kraftaufnehmer

Als magnetoelastischen Effekt bezeichnet man die Wechselwirkung zwischen der mechanischen Spannung und Dehnung einerseits und den magnetischen Größen Induktion bzw. magnetische Feldstärke in ferromagnetischen Stoffen andererseits. Zu den ferromagnetischen Stoffen gehören unter anderem Eisen, Nickel und Kobalt. Im festen Aggregatzustand bilden diese Stoffe sogenannte Weißsche Bezirke, in denen das magnetische Moment der Atome gleichgerichtet ist. Normalerweise sind diese Bezirke so verschieden orientiert, dass makroskopisch keine Magnetisierung des Materials zu erkennen ist. Ein äußeres Magnetfeld oder eine mechanische Spannung ändern die Weißschen Bezirke in Betrag und Richtung, so dass nach außen ein magnetischer Effekt entsteht.

Bei einem Anisotropiewandler ist das Magnetfeld nicht geführt, ändert also Permeabilität und Richtung. Messtechnisch kann die Änderung des Magnetfeldes induktiv oder transformatorisch erfasst werden. Die induktive Erfassung ist für die Anisotropiewandler messtechnisch unbedeutend, da die Effekte bei diesem Prinzip klein sind. Nur die transformatorisch arbeitenden Anisotropiewandler haben Bedeutung erlangt. Die wichtigste Gruppe der magnetoelastischen Wandler sind die 45° Anisotropiewandler.

Aufgebaut sind diese Kraftaufnehmer aus einzelnen ferromagnetischen Blechen. Die Bleche sind elektrisch getrennt, um Wirbelströme zu verringern. Zwei unter 45° durch das Blechpaket laufende Spulen stellen den transformatorischen Wandler dar. Die Erreger Spule W1 erzeugt ein magnetisches Feld, das im unbelasteten Fall keine elektrische Spannung in der Sekundärwicklung W2 induziert. Durch eine mechanische Spannung verändert sich die Form

des Magnetfeldes, so dass in der Sekundärwicklung eine elektrische Spannung induziert wird, welche proportional der mechanischen Spannung ist.

Zur Vermeidung von Luftspalteffekten werden die Wicklungen immer einteilig ausgeführt. Daher müssen diese durch den Blechstapel durchgefädelt werden, was technologisch aufwendig ist. Zur Reduzierung des Aufwandes werden meist nur sehr wenige Windungen verwendet.

Entscheidend für die Abweichungen ist die gleichmäßige Kraftverteilung über dem Blechstapel. Dazu müssen die Aufstandsflächen eben und vor allem hinreichend steif sein, damit die Krafteinleitung gleichmäßig über der gesamten Fläche erfolgt.

#### 4.4.2.1.4. Induktive Kraftaufnehmer

Bei Kraftaufnehmern, die nach dem induktiven Prinzip arbeiten, wird die aufgebrachte Messkraft durch den Verformungsweg des Federkörpers bestimmt. Dazu werden als Wandler induktive Weggeber verwendet. Um den Aufwand möglichst gering zu halten, wird in der Regel ein Weggeber in einer Symmetrieachse angebracht. Dadurch ist ein geringer Einfluß parasitärer Belastungen gewährleistet.

Ein wesentlicher Vorteil liegt in dem berührungslosen Messprinzip. Dadurch lassen sich sehr kleine Messbereiche bis ca. 0,05N realisieren. Mit dem DMS Prinzip sind derart kleine Messbereiche nicht mehr möglich, da die DMS selbst einen undefinierten Kraftnebenschluss darstellen. Das Ausgangssignal induktiver Kraftaufnehmer liegt typisch bei 8 bis 10mV/V und damit deutlich über dem von DMS-Kraftaufnehmern.

#### 4.4.2.2. Drehmomentmessung

##### 4.4.2.2.1. Messung des Aktionsmomentes

Der Vorteil dieser Methode liegt in der geringen Messabweichung, die sich mit diesem Prinzip erreichen lässt. Einen Anwendungsschwerpunkt hat die Messung des Aktionsmomentes bei dynamischen Messungen. Die wichtigsten Messprinzipien sind:

- Die DMS-Methode nutzt die durch mechanischen Spannungen entstehenden Schubdehnungen unter 45° oder Biegedehnungen an der Oberfläche.
- Die induktive Methode erfasst die durch die Drehmomentenbelastung verursachte Verdrillung einer Torsionsstrecke.
- Die Wirbelstrom-Methode erfasst die Impedanzänderung durch die Verdrehung von Wirbelstromfeldern.

- Die piezoelektrische Methode nutzt den Schubeffekt bei Quarzen.

Prinzipiell kann jeder Wellenstrang im Kraftfluss zur Messung benutzt werden.

Für die Messung des Aktionsmomentes ist ein System erforderlich, das in der Lage ist das Messsignal von der rotierenden Welle zu einem festen Standort zu übertragen. Die Übertragung kann berührend mit Schleifringen oder berührungslos mit frequenz- oder amplitudenmodulierten Signalen erfolgen. Die Schleifringmethoden hat den Vorteil, dass keine Beschränkung der dynamischen Messfähigkeit durch die Übertragung gegeben ist. Von Nachteil ist der Verschleiß und eine Drehzahlbeschränkung auf ca.  $6000\text{min}^{-1}$ . Eine berührungslose Übertragung zeigt keinen Verschleiß und hat eine deutlich höhere Drehzahlgrenze, die nur durch die auftretenden Fliehkräfte beschränkt ist.

#### 4.4.2.2.2. Messung des Reaktionsmomentes

Außerhalb des Wellenstranges lässt sich über einen Hebelarm und eine Kraftmessung das Reaktionsmoment messen. Der Vorteil liegt hier in dem wesentlich einfacheren Aufbau des Messsystems, da keine Messwertübertragung zwischen Rotor und Stator erforderlich ist. Der Nachteil ist, dass dynamische Messungen aufgrund der Massenträgheit der beteiligten, meist großen Drehmassen schon bei kleinen Frequenzen verfälscht werden. Ferner erlaubt die Lagerreibung meist nur eingeschränkte Genauigkeiten.

#### 4.4.2.2.3. DMS-Drehmomentaufnehmer

Das physikalische Prinzip der DMS-Messung wurde in Kapitel 4.4.1.1 beschrieben. Wie bereits erwähnt, nutzt die DMS-Methode die durch Spannungen entstehenden Schubdehnungen unter  $45^\circ$  zur Drehachse oder Biegedehnungen an der Oberfläche. Die Messwertübertragung von der rotierenden Welle zum Brückenverstärker kann entweder über Schleifringe oder berührungslos über induktive oder kapazitive Kopplung erfolgen. Mit DMS-Aufnehmern lassen sich je nach Bauform und Aufwand Messabweichungen von etwa 0,1% bis 1% realisieren. Aufgrund der hohen Verdrehsteifigkeit lassen sie sich sowohl für statische als auch für dynamische Messungen einsetzen. Der Messbereichsumfang reicht von etwa 5Nm bis 25kNm.

#### 4.4.2.2.4. Drehmomentmessung nach dem induktiven Prinzip

Das am meisten verwendete induktive Verfahren zur Messung von Drehmomenten ist die Messung nach dem Tauchanker-Prinzip. Hier wird mittels Hebeln aus der Verdrillung der

Torsionsstrecke ein Messweg erzeugt und induktiv mittels Tauchanker-Wegaufnehmern erfasst.

Die Speisung induktiver Drehmomentenmesswellen muss mit einer Trägerfrequenz erfolgen. Die berührungslose Übertragung ist daher naheliegend.

Induktive Drehmomentenwellen haben ein hohes Ausgangssignal von ca. 6 mV/V. Sie werden von 2Nm bis 50kNm angeboten. Die typische Messabweichung liegt bei 0,5%. Durch geringe Verdrehwinkel  $< 0,25^\circ$  sind sowohl statische als auch dynamische Messungen möglich.

#### 4.4.2.2.5. Drehmomentmessung nach dem Wirbelstromprinzip

Auf einer Welle werden scheiben- oder hülsenförmige Bauteile mit elektrisch leitenden und nichtleitenden Zonen aufgebracht, die sich bei Verdrillung der Welle verschieben. In einer ortsfesten Messspule wird über Wirbelstromeffekte eine Impedanzänderung hervorgerufen. Von der Messspule, die von einem hochfrequenten Strom gespeist wird, werden Wirbelströme auf den Segmentscheiben erzeugt. Ändert sich die Überdeckung der Segmentscheiben durch ein Drehmoment, dann wird durch Rückwirkung die Impedanz der Spule verändert.

Die typische Messabweichung liegt bei 0,5%. Die angebotenen Messbereiche reichen von 1Nm bis 1kNm. Der wesentliche Vorteil ist, dass keine aufwendige Übertragung erforderlich ist. Die Berührungslosigkeit ist quasi prinzipbedingt. Daher sind relativ einfache und kostengünstige Aufbauten möglich.

#### 4.4.2.2.6. Drehmomentmessung nach dem Piezoelektrischen Prinzip

Wie bereits beschrieben bedienen sich diese Aufnehmer des Schubeffekts von Quarzen. Die einzelnen Quarze sind in einer isolierenden Masse eingebettet. Beidseitig sind die Quarze flächig mit Teilen zur Drehmomentenein- und -ausleitung verbunden, die unter einer Vorspannung stehen. Damit können mittels Reibung Schubkräfte übertragen werden.

Wegen ihrer kompakten Bauform werden piezoelektrische Drehmomentenaufnehmer bevorzugt bei der Überwachung mechanischer Bearbeitungsvorgänge eingesetzt. Die Tatsache, dass keine statischen Messungen möglich sind, ist in solchen Anwendungen nicht von Belang. Typischer Einsatzfall ist die Überwachung von Bohrvorgängen. Es lassen sich so Werkzeugverschleiß und Werkzeugbruch erkennen.

#### 4.4.2.3. Drehzahlmessung

##### 4.4.2.3.1. Drehzahlaufnehmer nach dem generatorischen Prinzip

Wird eine elektrische Maschine angetrieben, wirkt sie als Generator. Die Generatorspannung hängt von der mechanischen Drehzahl ab, da die Änderung des magnetischen Flusses  $\Phi$  bei größerer Drehzahl rascher erfolgt und die induzierte Spannung  $u \sim d\Phi/dt$  ist. Die Erregung der Maschine kann über eine Gleichstromwicklung oder über einen Dauermagneten erfolgen.

Bei konstanter mechanischer Drehzahl  $\omega$  wird der Anker sinusförmig vom Feld des Permanentmagneten durchsetzt. Dieses hat einen sinusförmigen Fluss durch die Spule zur Folge. Diese drehzahlabhängige Wechselspannung kann durch eine im Generator vorhandene Kommutierungseinrichtung oder durch einen elektronisch gesteuerten Gleichrichter in eine drehrichtungsabhängige pulsierende Gleichspannung umgeformt werden. Um die Welligkeit dieser Gleichspannung gering zu halten und um die Dynamik des Messvorgangs zu verbessern bildet man den Anker als Trommelanker mit mehreren gegeneinander versetzten Wicklungen aus. Es ist ebenfalls möglich einen schleifringlosen Generator mit einem Dauermagneten als Rotor und Wicklungen im Stator zu bauen.

##### 4.4.2.3.2. Digitale Drehzahlsensoren

Eine drehzahlproportionale Frequenz erhält man durch Erfassung einer oder mehrerer, am Umfang der rotierenden Welle angebrachten Markierungen die entweder

- induktiv,
- optisch oder
- magnetisch

abgetastet werden.

Die Ermittlung der Drehzahl kann über eine Auszählung der durch die Abtastung erhaltenen Impulse während eines konstanten Zeitintervalls bzw. des Abstandes zwischen zwei Impulsen erfolgen (Zählverfahren) oder durch eine Frequenz-Spannungsumsetzung (Mittelwertverfahren) vorgenommen werden.

##### 4.4.2.3.3. Aktiver induktiver Sensor

Das Prinzip des aktiven, induktiven Sensors ist aus Abbildung 15 zu erkennen. Im Magnetfeld eines Permanentmagneten um den, oder in unmittelbarer Nähe dessen, sich eine Spule mit  $n$  Windungen befindet, dreht sich ein ferromagnetisches Zahnrad mit der mechanischen Kreisfrequenz  $\omega$ .

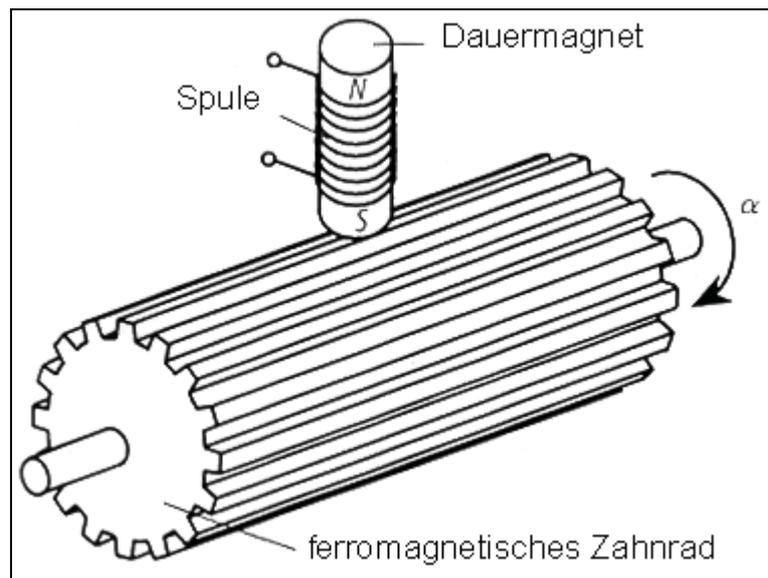


Abbildung 15: Prinzip eines aktiven induktiven Sensors

Wenn die Zahnschnecke in der Nähe des Magnetpols ist, wird der magnetische Widerstand minimal, der magnetische Fluss hat den Wert  $B_{\max}$ . Liegt der Magnetpol zwischen den Zähnen ist der Fluss  $B_{\min}$ . Den Fluss durch die Spule kann man in guter Näherung als sinusförmig annehmen.

Der beschriebene Drehzahlsensor weist folgende Vorteile auf. Er ist sehr robust, temperatur- und verschmutzungsunempfindlich, die Verwendung eines konstruktiv gegebenen Zahn- oder Lüfterrades ist möglich und er benötigt keine Hilfsenergie. Nachteilig ist die Tatsache, dass bei geringen Drehzahlen nur geringe Amplitudenwerte induziert werden.

#### 4.4.2.3.4. Passiver induktiver Sensor

Der zuvor erwähnte Sensor basiert auf der drehzahlproportionalen Modulation eines magnetischen Widerstandes und bedarf rotierender ferromagnetischer Teile.

Wird die Sensorspule von einem Wechselstrom gespeist, so kann jede Feldrückwirkung eines elektrisch leitenden oder ferromagnetischen Körpers durch Wirbelströme oder durch Änderung des magnetischen Widerstandes mittels einer Auswerteschaltung erfasst werden. Mit diesem Verfahren ist die Drehzahlmessung an Zahnrädern, Lüfterflügeln o.ä. möglich, die aus Aluminium, Messing, metallisiertem Kunststoff usw. hergestellt sind.

#### 4.4.2.3.5. Feldplatte und Halleffektsensor

Feldplatten sind magnetisch steuerbare ohmsche Widerstände. Die magnetfeldbedingte Widerstandserhöhung ist in etwa linear.

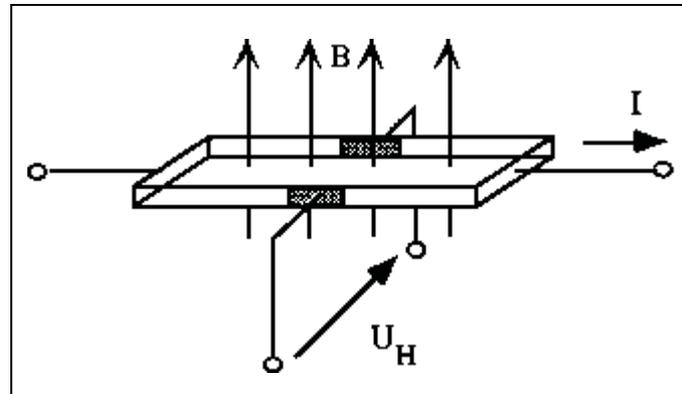


Abbildung 16: Prinzip eines Hallgebers

Unter einem Halleffektsensor versteht man ein Halbleiterplättchen mit vier Anschlüssen, siehe Abbildung 16. Setzt man das von einem Gleichstrom (I) durchflossene Plättchen einem Magnetfeld aus, so tritt an den anderen beiden gegenüberliegenden Anschlüssen die magnetflussproportionale Hallspannung ( $U_H$ ) auf. Diese Gleichspannung kann bei einer Flussdichte (B) von 1 Tesla einen Wert bis etwa 0,5 V erreichen

$$U_H = \frac{1}{n \cdot e_0} \cdot \frac{1}{d} \cdot I \cdot B$$

n: Elektronen pro cm<sup>3</sup> im Plättchen

e<sub>0</sub>: Ladung des Elektrons

d: Dicke des Plättchens

Sowohl die Feldplatte als auch der Halleffektsensor können zur Drehzahlmessung herangezogen werden. Wird bei dem dargestellten Sensorprinzip in den Magnetfluss eine Feldplatte oder ein Halleffektsensor eingebracht, kann die drehzahlproportionale Flussmodulation mittels einfacher Auswerteschaltung erfasst werden.

#### 4.4.2.4. Wegmessung

##### 4.4.2.4.1. Doppler Radar Sensor

Sogenannte TGSS (True Ground Speed Sensoren) liefern berührungslos ein Signal zur Messung von Geschwindigkeiten, Flächen oder Entfernungen. Bei diesen Radarsensoren wird eine Niedrigenergie K-Band Mikrowelle auf den Boden gesendet und vom Boden reflek-

tiert. Das reflektierte Signal unterscheidet sich vom gesendeten durch eine Doppler-Frequenzverschiebung. Die Differenz der Frequenz ist direkt proportional zur Geschwindigkeit. Das Hauptanwendungsgebiet dieser Sensoren ist dort, wo Radschlupf ein Problem darstellt.

#### 4.4.2.4.2. Peiseler Rad

Eine konstruktiv einfache Möglichkeit eine Strecke ohne Radschlupf zu messen ist die Verwendung eines sog. Peiseler Rades. Hierbei wird ein Rad mit einem definierten Umfang an das Messfahrzeug angebaut und  $x$  Impulse Pro Radumdrehung aufgezeichnet. Da dieses Rad nicht angetrieben ist, sondern lediglich mitrollen muss, treten auf ebenen Untergründen keine Schlupfwerte auf. Jedoch ist die Wegmessung mit dem Peissler Rad für unebene Untergründe nicht bzw. nur ungenügend geeignet, da durch Verlust des Bodenkontaktes eine genaue Messung nicht immer gewährleistet werden kann.

#### 4.4.2.4.3. Wegmessung mit Hilfe des Hall Prinzips

Wie bereits im Kapitel 4.4.2.3.5 beschrieben handelt es sich bei einem Hall-Generator um ein von einem Gleichstrom durchflossenes Plättchen, auf welches ein Magnetfeld einwirkt. Nutzt man nun das Ferromagnetische Material einer Antriebsachse bzw. eines in die Achse implementierten Zahnrades, so kommt es durch die Drehbewegung des Zahnrades zu einer Änderung des magnetischen Fluss. Der Sensor detektiert somit die Bewegung von ferromagnetischen Strukturen über die Veränderung des magnetischen Fluss. Das Sensorelement ist mit einem Permanentmagneten vorgespannt.

Ein Zahn oder eine Lücke, die sich am Sensor vorbei bewegt, beeinflusst das Magnetfeld unterschiedlich. Dadurch wird bei einem Hallsensor eine Änderung der Hallspannung erzeugt. Die Magnetfeldänderungen sind somit in eine elektrische Größe umsetzbar und werden entsprechend gefiltert und aufbereitet. Das Ausgangssignal des Sensors ist eine Rechteckspannung, welche die Magnetfeldänderung widerspiegelt. Die Anzahl der Zählimpulse werden nun durch die Anzahl der Impulse pro Umdrehung dividiert. Die so gewonnene Anzahl der Radumdrehungen multipliziert mit dem Umfang des Rades ergibt den zurückgelegten Weg des Rades. Da dieses Verfahren lediglich in der Lage ist eine Drehzahl der Achse zu messen, ermöglicht diese Art der Messung jedoch keine schlupffreie Messung des Weges.

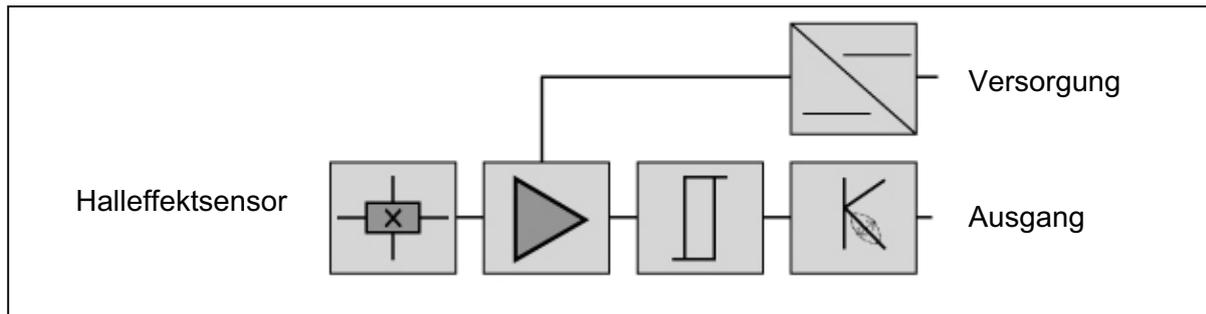


Abbildung 17: Schaltbild zur Drehzahlerfassung mittels Halleffektsensor

Quelle: RHEINTACHO (2002)

#### 4.4.3. Definition der Messfehler

Ein Messergebnis ohne Angabe der Messunsicherheit ist so unsicher, das man darauf verzichten sollte. (HEBESTREIT, 2002). Aus diesem Grund werden im folgenden Kapitel die Grundlagen der Messung sowie der Messfehlerbestimmung näher erläutert. Hierbei werden ausgewählte Definitionen und Erläuterungen des Problemfeldes „Fehler bei Messungen“ dargestellt.

##### 4.4.3.1. Wahrer Wert

In DIN 55350 Teil 13 ist der wahre Wert definiert als:

Tatsächlicher Wert einer Messgröße unter den bei der Ermittlung herrschenden Bedingungen. Beispielsweise hat die Länge einer vermarkten Strecke einen tatsächlichen wahren Wert. Er ist der Strecke zugewiesen, unabhängig davon, ob er bekannt oder unbekannt ist. Der Erwartungswert hingegen ist der theoretische Mittelwert der Messwerte. Das Messergebnis repräsentiert den tatsächlichen Wert der Messgröße nur dann, wenn die systematischen Messabweichungen eliminiert sind und wahrer Wert und Erwartungswert zusammenfallen. Der wahre Wert ist kein Begriff der mathematischen Statistik, sondern der Messtechnik (Metrologie). Es gibt Anwendungsbereiche der Statistik, in denen der wahre Wert nicht erscheint, wie beispielsweise bei Untersuchungen im Bereich der:

- Biologie/Landwirtschaft: Messung des Durchmessers von Körnern,
- Medizin: Messung des Blutdrucks von Patienten,
- Qualitätssicherung: Messung der Lebensdauer von Glühlampen.

Bei diesen Untersuchungen handelt es sich um eine Vielzahl von zu untersuchenden Messgegenständen, aus denen der Schätzwert für den Erwartungswert der Messgröße „Korndurchmesser“ „Blutdruck“ oder „Lebensdauer“ zu bestimmen ist, also der Mittelwert einer mehr oder weniger großen Anzahl von Messgegenständen.

Der einzelne Messwert ist sozusagen mit dem einzelnen Messgegenstand identisch. Wenn eine Glühbirne durchgebrannt ist, steht ihre Lebensdauer fest und eine Wiederholungsmessung ist nicht mehr möglich. In der Messtechnik der Ingenieurdisziplinen ist die Messgröße meist gleichzusetzen mit einem Messgegenstand (z.B. die Länge einer Strecke), welche mehrfach bestimmt werden kann.

#### 4.4.3.2. Messfehler

Bei Messfehlern kann folgende Einteilung vorgenommen werden. Je nach Art des Fehlers ist es vor der Messung bereits möglich Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Folgende Tabelle beschreibt die Arten der Messfehler sowie die zu treffenden Gegenmaßnahmen.

Tabelle 4: Definition der Messfehlerarten

Bezeichnung	Definition	Gegenmaßnahme
<b>Grobe Fehler</b>	Hierunter versteht man Irrtümer, Fehlüberlegungen oder Missverständnisse bei der Bedienung und Ablesung der Messinstrumente (z.B. auch falsche Messbereichseinstellung), bei der Protokollierung der Messdaten, Rechen- und Vorzeichenfehler, Programmierfehler in den Auswerteprogrammen und dergleichen mehr.	<b>äußerste Sorgfalt</b> bei dem Aufbau und Betreiben des Messsystems (Selbstdisziplin!) sowie regelmäßige <b>Überprüfung</b> und <b>Kontrollen</b> auch während den Messungen.
<b>Systematische Fehler</b>	(nach DIN 1319,T1 systematische Messabweichungen) Hierunter versteht man solche Fehleranteile, welche bei Wiederholung einer Messung unter <b>identischen</b> Messbedingungen einen <b>konstanten</b> Wert besitzen, d.h. jedes mal in gleicher Größe und mit dem gleichen Sinn (Vorzeichen) auftreten.	korrekte Kalibrierung und Justierung der Messgeräte, sowie Überprüfung der Einstellungen bei Veränderungen am Messsystem.
<b>Zufällige Messfehler</b>	(nach DIN 1319,T1 zufällige Messabweichungen) Im Allgemeinen führen Wiederholungen unter <b>identischen</b> Messbedingungen nicht jedes mal zu gleichen Messwerten; vielmehr treten Abweichungen auf, welche nach Betrag und Vorzeichen <b>zufallsbedingt</b> schwanken. Diese statistisch schwankenden Messfehleranteile nennt man <b>zufällige</b> Messfehler. Sie lassen sich mit den Methoden der <b>statistischen Mathematik</b> behandeln.	KEINE! – da es sich um zufällige Fehler handelt.  Durch statistische Verfahren kann aber ein Bestwert (Mittelwert) für die gesuchte Messgröße und für ihre Streuung (Standardabweichung, Varianz) angegeben werden. → Fehlerrechnung

Quelle: nach STRIEBEL (2000)

#### 4.4.3.3. Systematische Messabweichung

Die Definition der systematischen Messabweichung  $\delta = \mu - \hat{X}$  stellt die Beziehung zwischen der Statistik und der physikalischen Wirklichkeit her. In den Wahrscheinlichkeitsverteilungen der mathematischen Statistik sind systematische Messabweichungen nicht enthalten, sie „haben nichts mit Wahrscheinlichkeitstheorie zu tun“, (KREYSZIG, 1968). Außer in den Fällen, in denen wahre Werte durch mathematische Bedingungen a-priori vorgegeben sind (Beispiel: Winkelsumme eines ebenen Dreiecks = 200 gon), entzieht sich der wahre Wert grundsätzlich der Bestimmung, weil es keine Messmethode ohne Messabweichungen gibt. Da er (wie auch der Erwartungswert) ein ideeller Wert ist, muss man sich für Vergleichsmessungen mit einem Näherungswert abfinden, den man allerdings durch entsprechenden Aufwand sehr nahe an den unbekanntem wahren Wert „heranschieben“ kann. Er wird in der Messtechnik als richtiger Wert  $X_r$  bezeichnet. Voraussetzung für die Bestimmung des Näherungswertes für einen wahren Wert ist folglich ein Messgerät, welches als Vergleichsnorm (Sollwert) dienen kann.

#### 4.4.3.4. Genauigkeit

Nach DIN 55350 Teil 13 beinhaltet der Begriff Genauigkeit zwei Kriterien, die Präzision und die Richtigkeit (vgl. Abbildung 18). Beispielsweise darf sich eine Varianz-Kovarianz-berechnung nur auf den Mittelwert der Messwerte beziehen, beim Beispiel der Zielscheibe in der folgenden Abbildung ist das der Mittelwert der Treffer.

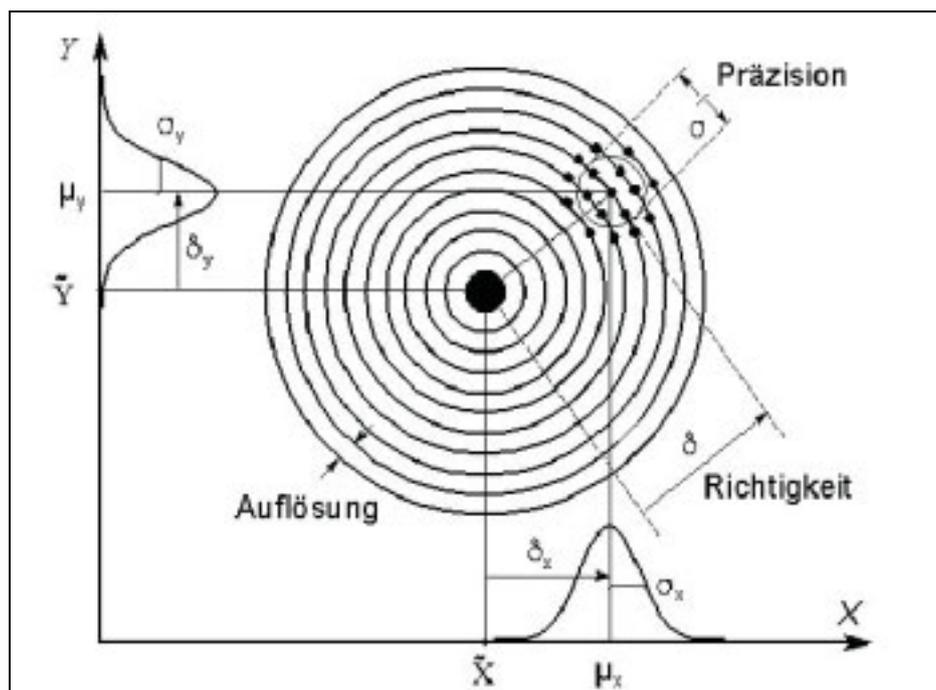


Abbildung 18: Erklärungsmodell der Messgenauigkeit

Quelle: SCHMIDT (1997)

Eine Standardabweichung und der mit ihr gebildete Vertrauensbereich für den Erwartungswert kann per definitionem nur ein Maß für die Präzision der Messwerte darstellen, d.h. ein Maß für das Zufallsstreuen der Messwerte um deren Erwartungswert. Das Maß der Richtigkeit ist die systematische Messabweichung zwischen Erwartungswert und wahren Wert. Somit ist die Richtigkeit eines Messergebnisses nicht mit der Standardabweichung angeben.

Die nach DIN1319-1 definierten Genauigkeitsklassen für Messgeräte ist ein Einteilungsraster für Messgeräte, welches je nach Einteilung in eine Genauigkeitsklasse bestimmte, vorgegebene messtechnische Forderungen erfüllt, so dass Messabweichungen dieser Messgeräte innerhalb festgelegter Grenzen bleiben. Somit bieten die Genauigkeitsklassen ein einfaches Hilfsmittel für die Abschätzung der Messunsicherheit.

#### 4.4.3.5. Fehlerrechnung

Messabweichungen eines Messsystems sind bei korrektem Aufbau sowie korrekter Kalibrierung abhängig von der Genauigkeit der eingesetzten Messtechnik, sowie dem Auftreten von zufälligen Fehlern. Da zufällige Fehler nicht beeinflussbar sind, kann eine Fehlerminimierung folglich nur durch Korrektur systematischer Fehler minimiert werden. Folgendes Beispiel soll die Fehlerberechnung näher erläutern:

a) grobe Abschätzung der Messunsicherheit:

Wägezelle (Messbereich; MB = 50kN)  
(Genauigkeitsklasse; GK = 0,1)  
(mittlerer Messwert;  $M_M = 25,637\text{kN}$ )  
(min. Messwert;  $M_{\text{Min}} = 17,702\text{kN}$ )  
(max. Messwert;  $M_{\text{Max}} = 34,413\text{kN}$ )

Messunsicherheit (im Mittel):

$$u = MB * GK = 50\text{kN} * 0,1\% = 0,05\text{kN}$$

$$\Rightarrow 25,587\text{kN} = M_M - u \leq \text{wahrer Wert} \geq M_M + u = 25,687\text{kN}$$

relative Unsicherheit (im Mittel):

$$u * M^{-1} = 0,05\text{kN} * 25,637^{-1} = 0,195\%$$

b) Abschätzung der Messunsicherheit

Wägezelle (Messbereich; MB = 50kN)  
(Genauigkeitsklasse; GK = 0,1)  
(mittlerer Messwert;  $M_M = 25,637\text{kN}$ )

(Linearitätsabweichung = 0,1%)

$$\text{(Temperaturkoeffizient des Nullsignals; TKN} = 0,1\% * 10\text{K}^{-1}\text{)}$$

(Temperaturkoeffizient des Kennwertes;  $TKK = 0,1\% \cdot 10K^{-1}$ )

(Referenztemperatur =  $20^{\circ}C$ )

(Temperatur der Wägezelle während der Messung =  $20^{\circ}C \pm 1K$ )

Tabelle 5: Abschätzung der Messunsicherheit

	Einzelfehler	Einzelfehlerquadrate
Linearitätsfehler: $0,1\% \cdot 50kN =$	0,05kN	0,0025kN <sup>2</sup>
Temp. Fehler (TKN): $0,1\% \cdot 10K^{-1} \cdot 50kN \cdot 2K$	0,01kN	0,0001kN <sup>2</sup>
Temp. Fehler (TKK): $0,1\% \cdot 10K^{-1} \cdot 26kN \cdot 2K$	0,0052kN	0,000027kN <sup>2</sup>
	Summe	Wurzel aus der Summe der Einzelfehlerquadrate
Messunsicherheit:	0,0652kN	0,0513kN
	schlimmster Fall	zu erwartende Unsicherheit

c) Messunsicherheit bei einer kleinen Änderung des Messwertes bei einer Abweichung von 0,5kN

Tabelle 6: Abschätzung der Messunsicherheit 2

	Einzelfehler	Einzelfehlerquadrate
Linearitätsfehler: $0,1\% \cdot 50kN \cdot (0,5kN \cdot 50kN^{-1})^{1/2} =$	$5 \cdot 10^{-3}kN$	$2,5 \cdot 10^{-5}kN^2$
alternativ: $0,1\% \cdot 0,5kN$	0,0005kN	$2,5 \cdot 10^{-7}kN^2$
Temp. Fehler (TKN): vernachlässigbar	0,01kN	0,0001kN <sup>2</sup>
Temp. Fehler (TKK): $0,1\% \cdot 10K^{-1} \cdot 0,5 \cdot 2K$	0,0001kN	$1 \cdot 10^{-8}kN^2$
	Summe	Wurzel aus der Summe der Einzelfehlerquadrate
Messunsicherheit:	0,010605kN	0,0100kN
	schlimmster Fall	zu erwartende Unsicherheit

d) Fehlerfortpflanzung in einem Messsystem

In einem Messsystem gehen die Fehler aller Einzelkomponenten in das Messsystem ein, wobei die Messkette nicht besser sein kann als ihr schlechtestes Glied. Einzelfehler können wie hier am Beispiel des Systems Kraftaufnehmer- und Verstärkerfehler ersichtlich, pythagoräisch addiert werden.

$$\text{Gesamtfehler} = \sqrt{\text{Kraftaufnehmer}^2 + \text{Verst.Fehler}^2}$$

## 5. Material und angewandte Methoden

Die für die Bearbeitung des Teilprojektes C 1.3 sowie für diese Arbeit relevanten Fragestellungen werden im folgenden analysiert und erläutert.

### 5.1. Material

#### 5.1.1. Untersuchungsbetrieb und -schläge

Die herangezogenen Flächen der untersuchten Betriebe befinden sich zum einen in der Gemeinde Hohenahr (Betrieb 1) sowie in der Gemeinde Silberg (Betrieb 2).

Betrieb 1:



Abbildung 19: Lageplan Betrieb 1

Tabelle 7: Betriebsdaten, Betrieb 1

LF	320 ha
Ackerfläche	275 ha
Flurstücke	1300
Ø Schlaggröße	1,0 ha
Höhe über N.N.	307 – 435 m
Ø Jahrestemperatur	7,6 °C
Ø Niederschlag	720 mm
Versuchsfeld 1	1,34 ha

Der Betrieb arbeitet mit reduzierter Bodenbearbeitung. Im Einsatz ist eine Howard Fräse mit aufgesattelter pneumatischer Accord-Drillmaschine mit einer Arbeitsbreite von 3,0 m sowie

eine Niemeyer Kreiselegge mit aufgesattelter Accord Drilltechnik (AB 3,0 m). Die Fruchtfolge des Betriebes ist eine klassische Getreidefruchtfolge mit drei Getreidegliedern sowie einem Blattfruchtglied (SG, WR, TR, WG).

Die folgende Abbildung zeigt die Lage des Versuchsfeldes im Ausschnitt.



Abbildung 20: Versuchsfeld 1 im Ausschnitt

Das Versuchsfeld „Am Altbruch“ hat eine Feldlänge von 134,8 m bzw. 140,0 m sowie eine Breite von 92,7 m bzw. 93,2 m. Die Größe des Versuchsfeldes beträgt 1,33 ha.

Betrieb 2:



Abbildung 21: Lageplan Betrieb 2

Tabelle 8: Betriebsdaten, Betrieb 2

LF:	172,2 ha
Ackerfläche:	94,8 ha
Flurstücke	1099
Ø Schlaggröße:	1,1 ha
Höhe über N.N.:	320 – 400 m
Ø Jahrestemperatur:	7,6 °C
Ø Niederschlag:	800 mm
Versuchsfeld 2	1,28 ha
Versuchsfeld 3	2,77 ha

Der Betrieb 2 setzt zur Bodenbearbeitung nahezu ausschließlich eine Mechanisierung mit einem Lemken 4-Schar Vollandpflug mit Vorschäler mit einer Arbeitsbreite von 1,60m, sowie einer Rabewerk Kreiselegge mit aufgesattelter pneumatischer Accord-Sämaschine und einer Arbeitsbreite von 3,00 m ein. Die Fruchtfolge wird durch die Hangneigung der Schläge bestimmt. Auf dem Versuchsfeld 2, wie auf nahezu allen anderen ebenen Flächen, wird in der dreigliedrigen Fruchtfolge Silomais als Blattfrucht angebaut (SM, WW, WG).

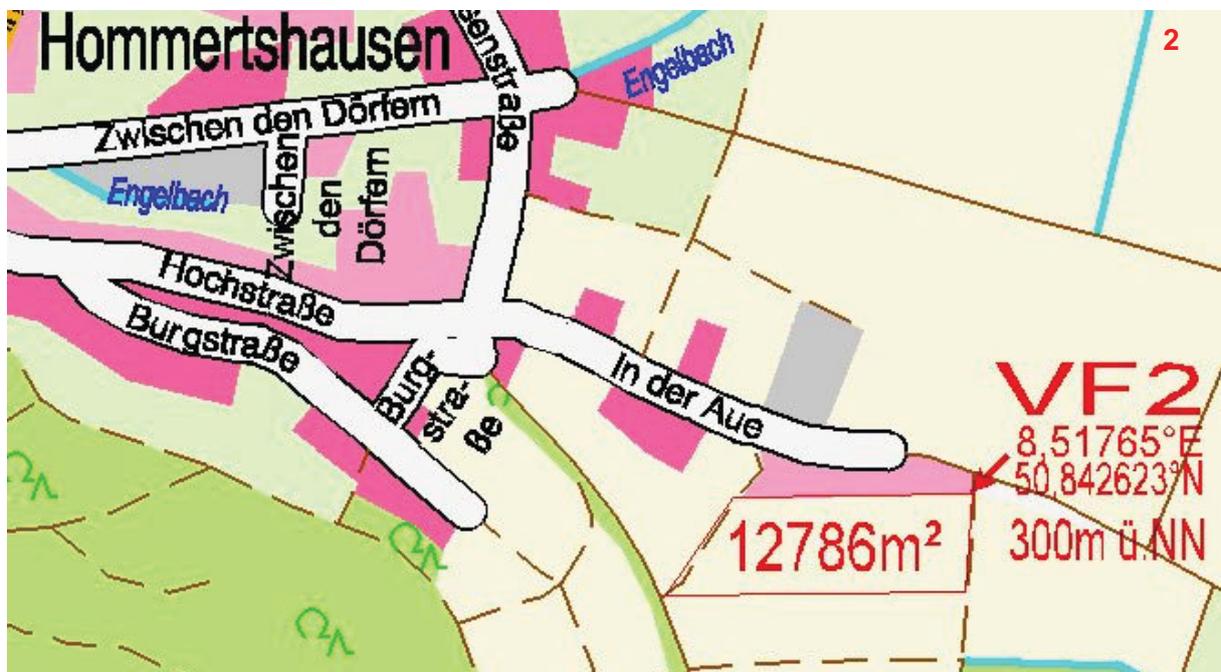


Abbildung 22: Versuchsfeld 2 im Ausschnitt

Auf Flächen mit Hangneigung, wie es bei Feld 3 der Fall ist, herrscht auf dem Versuchsbetrieb 2 in der Regel eine reine Getreidefruchtfolge vor (Ha, WW, WG).



Abbildung 23: Versuchsfeld 3 im Ausschnitt

#### 5.1.1.1. Versuchsaufbau

Als Versuchsanordnung wurde ein Parzellenversuch ausgewählt. Da die Bearbeitung mit der nachfolgend beschriebenen Technik durchgeführt wird, definiert sich die Parzellenbreite über ein Vielfaches der Arbeitsbreite der jeweiligen Maschine. Erhebungen auf den Versuchsfeldern werden jeweils im Zentrum der Parzelle über die gesamte Schlaglänge verteilt durchgeführt. Auf VF1 und VF2 ist der Versuch in zwei Wiederholungen angelegt (WDH1 und WDH2), auf VF3 existiert auch noch eine dritte Wiederholung (WDH3).

#### 5.1.1.2. Bodenklasse und Bodentyp

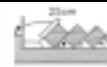
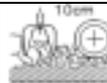
- | ▪ Versuchsfeld: | Bodenklasse     | Bodentyp       |
|-----------------|-----------------|----------------|
| ○ VF1:          | Braunerden      | Braunerde [BB] |
| ○ VF2:          | Stauwasserböden | Pseudogley     |
| ○ VF3:          | Braunerde       | Braunerde [BB] |

Auf den Versuchsstandorten handelt es sich bei Versuchsfeld 1 und 3 um Braunerden, bei Versuchsfeld 2 um einen Stauwasserboden. Die Tiefgründigkeit liegt auf den drei Standorten bei rund 40 cm auf dem Versuchsfeld 1 und 2 sowie in der Senke des Versuchsfeldes 3. Auf den steinigten Kuppen des Versuchsfeldes 3 liegt diese bei ca. 15 cm.

## 5.1.2. Maschinen

Die eingesetzte Verfahrenstechnik ist so ausgelegt, dass der Bereich der Grundbodenbearbeitung, Sekundärbodenbearbeitung sowie Aussaat im jeweiligen Verfahren beinhaltet ist. Folgende Tabelle 9 stellt die Bearbeitungsvarianten inklusive Anzahl der Arbeitsschritte, Arbeitsbreite und Bearbeitungstiefe dar. Als Besonderheit ist herauszustellen, dass sowohl die „Direktsaat“ (D) als auch die „Frässaat“ (FS) nur die oberen drei cm der Bodenkrume beeinflussen. Dies bezieht sich auf das im ersten Versuchsjahr verwendete Verfahren. Bei dem Frässaatverfahren der Versuchsjahre 2001 und 2002 werden fünf bis sechs cm Tiefe. Der entstehende Erdstrom wird durch eine nachlaufende Walze geteilt, wodurch der Hauptteil der abgefrästen Erde vor der Walze zum liegen kommt und durch diese rückverfestigt wird. Der Rest des Erdstroms kommt hinter der Säschiene zum liegen und deckt das Saatgut ab. Bei der Variante „D“ beschränkt sich die Bearbeitung sogar nur auf die Meißelschare der Säorgane. Die „Pflugvariante“ (P), bestehend aus Pflug (P<sub>p</sub>) und Kreiselegge (KE), sowie die Variante „Flügelschargrubber mit Zinkenrotor“ (FR) weisen eine Bearbeitungstiefe von 25 cm bei der Primärbodenbearbeitung, sowie eine Bearbeitungstiefe von 10 cm bei der Sekundärbodenbearbeitung, auf. Die Aussaat bei der Variante P erfolgt im Rahmen der Sekundärbodenbearbeitung, bei der Variante FS und FR erfolgt die Aussaat im Zuge der Bodenbearbeitung, bei der Direktsaat ohne vorherige Bearbeitung des Bodens. Als Zugmaschine dient ein Fendt Xylon 524<sup>®</sup> mit 108 kW, welcher mit der zuvor beschriebenen Messtechnik ausgestattet wurde. Vor der Bodenbearbeitung wird bei den Varianten P, FR und FS eine flache Stoppelbearbeitung durchgeführt.

Tabelle 9: Mechanisierung der Versuche

	Sym- bol	bestehend aus	Anzahl der Ar- beits- schritte	Arbeits- breite [m]	Anbauart	Bearbei- tungstiefe [cm]	Beschrei- bung
<b>P</b>		Pflug (P <sub>p</sub> )	2	1,60	Dreipunkt starr	25	wendend
		Kreiselegge (KE)		3,00	Dreipunkt starr	10	mischend
<b>FR</b>		Flügelschargrubber mit Zinkenrotor	1	2,50	Dreipunkt starr	25 10	mischend
<b>FS</b>		Frässaat	1	3,00	Dreipunkt starr	3-6	mischend
<b>D</b>		Direktsaat	1	3,00	Unterlen- ker gezogen	Saatschlitz in Ablagetiefe	keine Bearbei- tung

## 5.2. Angewandte Methoden

### 5.2.1. Methodische Parameter der Verfahrenstechnik

Die unterschiedlichen Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren sind vorrangig durch unterschiedliche Eingriffsintensitäten in den Boden gekennzeichnet. Im Rahmen langjähriger Untersuchungen der Wirkungsweise unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren auf den Boden, am Institut für Landtechnik, verfolgt man, dass die Eingriffsintensität von der konventionellen über die reduzierte Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat auf den Versuchsstandorten deutlich abnimmt. Somit sind insbesondere die Größen Kraft- und Leistungsbedarf sowie der Kraftstoffbedarf zu betrachten. Hierzu wird in das Messfahrzeug eingebaute Messtechnik der Firmen HBM<sup>®</sup>, Fahr<sup>®</sup>, Mannesmann VDO<sup>®</sup> sowie Lucas Controlsystems<sup>®</sup> eingesetzt und in der nachstehenden Abbildung 24 näher erläutert. Bereits im Fendt Xylon<sup>®</sup> installierte Messsensoren werden unter „Fendt“ beschrieben. Folgende Tabelle 10 beschreibt die eingesetzten Messgeräte nach Hersteller, Bezeichnung sowie nach den gemessenen Kenngrößen.

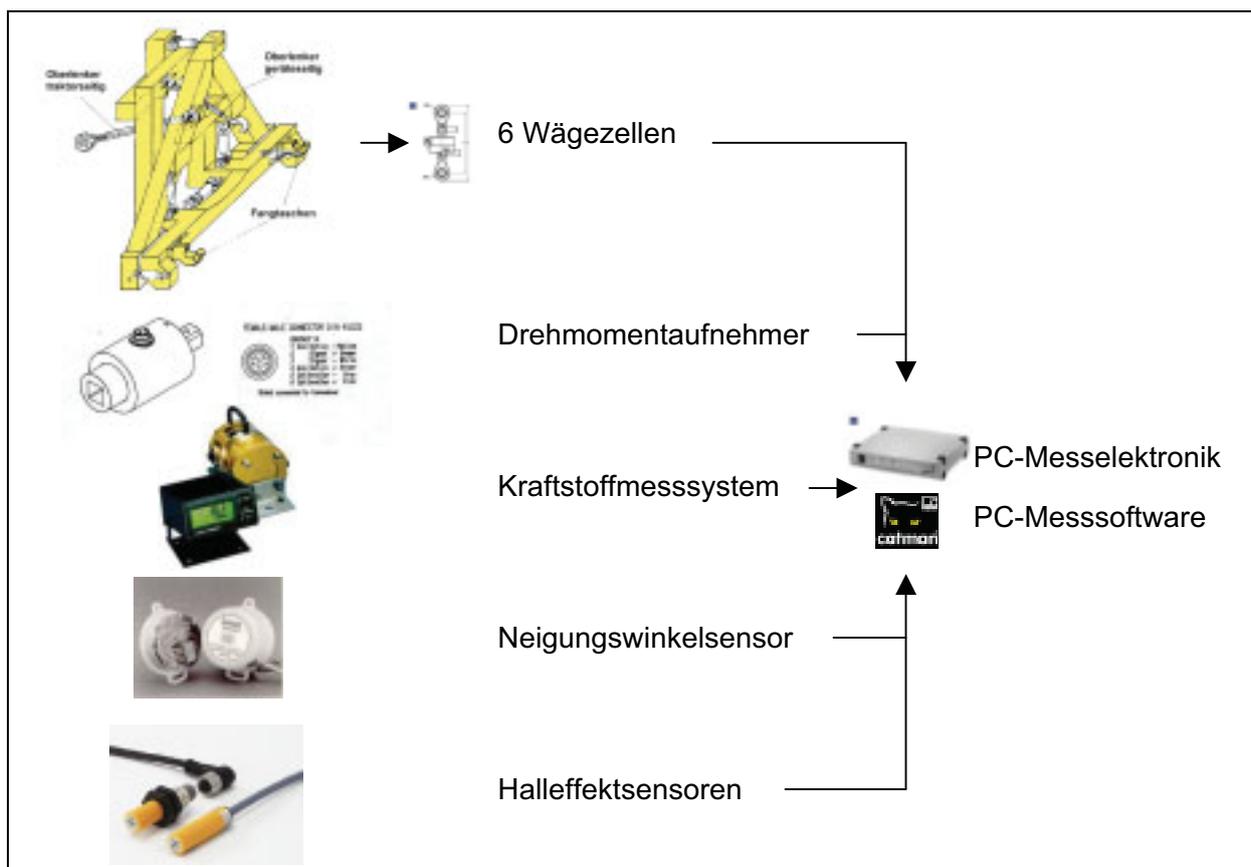


Abbildung 24: Eingesetzte Messtechnik Bodenbearbeitung

Tabelle 10: Verwendete Messtechnik

Hersteller	Bezeichnung	gemessene Kenngrößen
„Fendt“	Halleffektsensor 1 Radarsensor Halleffektsensor 2	Getriebe wahre Strecke Motordrehzahl
HBM	U2A Kraft- und Wägezelle Spider 8 Catman	Zugkräfte, Messdatenerfassungssystem Messdatenerfassungssoftware
Fahr	Drehmomentaufnehmer DG25/65UK	Drehmoment
Mannesmann-VDO	EDM 14.4.01	Dieserverbrauchsmesssystem
Lucas Controlsystems	Accu Star	Neigungswinkelsensor

Mit den Onlinemessungen während der Bearbeitung werden die Messdaten für die unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme, inklusive der Aussaat, erfasst. Die Aufnahme der Daten erfolgt während der tatsächlichen Bestellung auf den ausgewiesenen Parzellen. Ebenfalls online werden die Daten während jeder Messfahrt mittels der Erfassungssoftware gespeichert und nach den Messungen exportiert. Folgende Abbildung 25 stellt die Prozesskette der Datenerfassung und –aufbereitung am Beispiel der Kraft dar. Im Rahmen der Datenauswertung werden auf der Basis der Messdaten die in Tabelle 11 aufgeführten Kenngrößen mit der Software MS-Excel<sup>®</sup> berechnet.

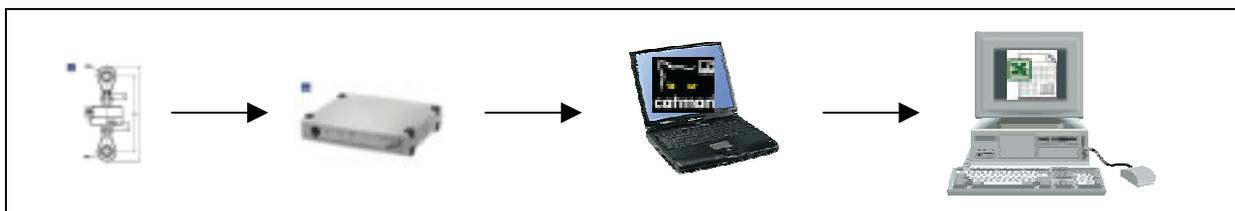


Abbildung 25: Prozesskette – Datenerfassung und Aufbereitung

Tabelle 11: Berechnete Daten und deren Quelle

Berechnete Kenngrößen	Quelle der Rohdaten	Kalibrierwert (κ)	Formel
Geschwindigkeit [v]	Spider 8 (Zeit[t]) Radarsensor (digit [d])	101,325 <sup>1)</sup>	$v [km \cdot h^{-1}] = \kappa^{-1} \cdot d \cdot t^{-1} [s] \cdot 3,6$
Dieserverbrauch pro Zeit [V*t <sup>-1</sup> ]	Spider 8 (Zeit [t]) EDM 14.4.01 (digit [d])	322 <sup>2)</sup>	$V \cdot t^{-1} [l \cdot h^{-1}] = \kappa^{-1} \cdot d \cdot Zeit^{-1} [s] \cdot 3600$
Zugkraft [F]	U2A (a <sub>1,2,3</sub> [mV*V <sup>-1</sup> ])	5000 <sup>3)</sup>	$F [N] = ((a_1 [mV \cdot V^{-1}] \cdot 2^{-1} [mV \cdot V^{-1}]) \cdot \kappa \cdot 9,81 [m \cdot s^{-2}]) + ((a_2 [mV \cdot V^{-1}] \cdot 2^{-1} [mV \cdot V^{-1}]) \cdot \kappa \cdot 9,81 [m \cdot s^{-2}]) + ((a_3 [mV \cdot V^{-1}] \cdot 2^{-1} [mV \cdot V^{-1}]) \cdot \kappa \cdot 9,81 [m \cdot s^{-2}])$
Zugleistung [P <sub>Z</sub> ]	F [kN] v [m*s <sup>-1</sup> ]		$P_Z [kW] = F [kN] \cdot v [m \cdot s^{-1}]$
Drehmoment [M]	DG25/65UK (a [mV*V <sup>-1</sup> ])	904,1 <sup>4)</sup>	$M [Nm] = \kappa \cdot (a [mV \cdot V^{-1}] \cdot 2^{-1} [mV \cdot V^{-1}])$
Drehleistung P <sub>D</sub>	M [Nm] Hallsensor 2 (f [kHz])	40 <sup>5)</sup>	$P_D [kW] = \kappa^{-1} \cdot M [Nm] \cdot 2 \cdot \pi \cdot f [kHz]$

<sup>1)</sup> [m<sup>-1</sup>]

<sup>2)</sup> [l<sup>-1</sup>]

<sup>3)</sup> [kg]

<sup>4)</sup> [Nm]

<sup>5)</sup> [n<sup>-1</sup>]

Aus diesen erfassten sowie berechneten Kenngrößen können nun folgende Parameter bestimmt werden.

- Schlupf
- Flächenleistung
- Schlagkraft

#### 5.2.1.1. Eingriffsintensität und Effizienz der Leistungstransformation

Der Landwirt hat unter den Bedingungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen die Aufgabe, seine einzelnen Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital und Boden ökonomisch effizient und ökologisch präzise einzusetzen. Im Mittelpunkt der Bodenbearbeitung steht der Schlepper, der infolge seines steigenden technischen Standards und der steigenden Maschinenkosten die wachsenden Löhne zu kompensieren hat.

Hinsichtlich der Leistungstransformation bedeutet dies, dass der Übergang zu allradgetriebenen Schlepper die Zugkraft durch eine gleichmäßige Massenverteilung auf beide Achsen erheblich verbessert. Aufgrund der geringeren Eingriffsintensität wird der Gefahr der Bodenverdichtung durch Schlupf vorgebeugt. Des weiteren ist der Übergang von der Zugkraft zum Zapfwellenantrieb als positiv zu bewerten, wodurch die Laufwerksverluste, insbesondere im Bereich des gefügeschädigenden Schlupfes, vermieden werden.

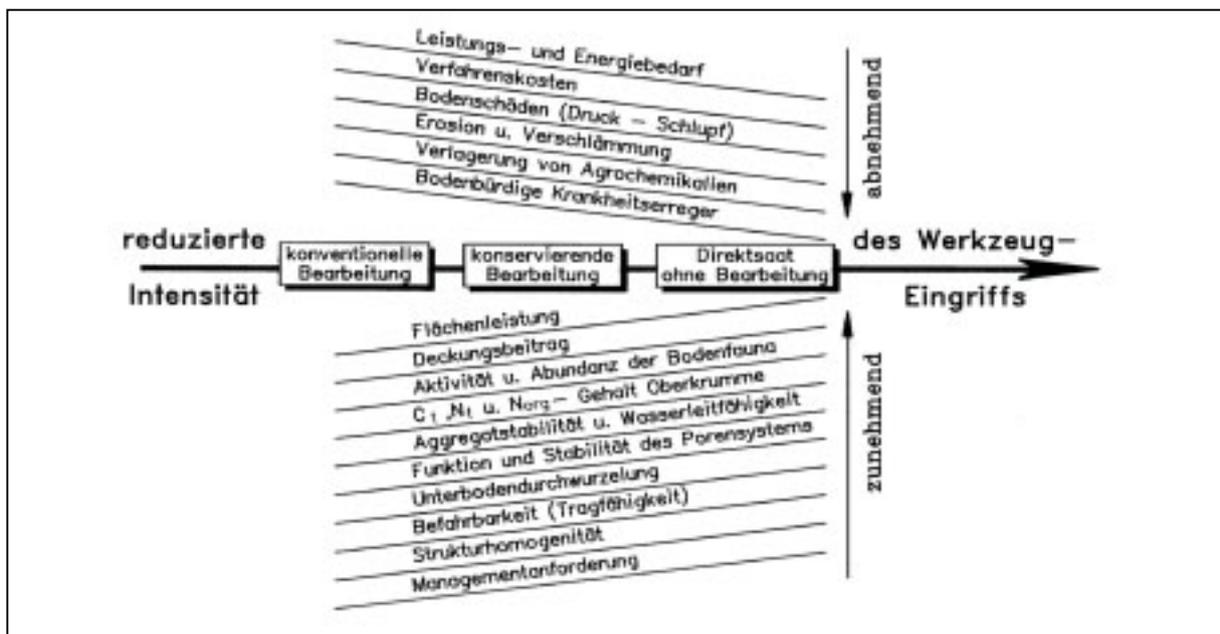


Abbildung 26: Einfluss auf Verfahrensgrößen

Quelle: TEBRÜGGE, 1994

Die unterschiedlichen Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren sind durch unterschiedliche Eingriffsintensitäten in den Boden gekennzeichnet. Im Rahmen der Wirkungsweise unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren auf den Boden kommt man zu dem Ergebnis, dass die Eingriffsintensität von der konventionellen über die reduzierte Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat deutlich abnimmt (TEBRÜGGE, 1994).

Ein Maßstab für die Eingriffsintensität ist neben dem Aggregierungserfolg, der in der Regel als gewogener mittlerer Durchmesser der Bodenaggregate dargestellt und durch eine Aggregatgrößenanalyse von Bodenproben erfasst wird, der Energieaufwand. Die Pflugvariante benötigt einen deutlich höheren Energieaufwand, jedoch weist das Aggregatgemisch nach der Bearbeitung einen deutlich höheren Wert gegenüber der Grubbervariante auf. Ursachen hierfür können in der grobscholligen Pflugarbeit und in der schlechteren Bodenstruktur im Bereich von 15 – 20 cm gesucht werden, die durch die wendende Pflugarbeit in den oberen zu bearbeitenden Bereich gelangt (TEBRÜGGE, 1985).

Die Direktsaatvariante, die sich durch einen außerordentlich geringen Leistungsbedarf kennzeichnet, liegt jedoch hinsichtlich ihres mittleren Aggregierungswertes auf dem Niveau der Pflugvariante, obwohl auf den untersuchten Flächen (vgl. Kap. 7) in 5 Jahren kein mechanischer Eingriff stattfand. Hieraus kann abgeleitet werden, dass sich unter den vorliegenden Standortverhältnissen auf den Direktsaatparzellen eine vergleichsweise stabile Krümelstruktur entwickelt hat (TEBRÜGGE, 1985). Weiterhin hat die Bodenbearbeitung, mit Ausnahme der Direktsaat, die Aufgabe, die verbleibende organische Substanz der Vorfrucht in den Boden einzuarbeiten. Dazu übt die Qualität der Einarbeitung, sowie die Eingriffsintensität, einen erheblichen Einfluss auf die unmittelbar an der Bodenoberfläche und insbesondere auf die im Boden ablaufenden biologischen und physikalischen Prozesse aus. Durch die homogene Einbindung der organischen Substanz in aerobe Zonen des Bodens kann ein zügiger Ab- und Umbau gewährleistet werden. Dies wiederum wirkt sich dann positiv auf die Strukturstabilisierung des Bodens aus, insbesondere auf verschlammungs- und erosionsgefährdeten Standorten (TEBRÜGGE, 1982).

#### 5.2.1.2. Leistungs- und Kraftstoffbedarf

Zur ökonomischen Beurteilung von Verfahrenskosten sind verfahrenstechnischen Kennwerte, wie Zugkraft- und Drehleistungsbedarf sowie der Kraftstoffverbrauch von Bedeutung, welche für die ausgewählten Gerätevarianten untersucht werden sollen.

Die Pflugvariante erweist sich in vorangegangenen Untersuchungen als das energie- und arbeitsaufwendigste Verfahren, im Vergleich zu den in früheren Untersuchungen (vgl.

TEBRÜGGE, 2002) verwendeten Verfahren. Im Zuge der Erhöhung der Mineralölpreise und des zukünftigen Wegfalls der Gasölverbilligung für die Landwirtschaft wird der Aspekt des Kraftstoffverbrauchs interessanter denn je. In den Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit werden Messungen zum Kraftstoffbedarf in peripheren Regionen durchgeführt. Dies geschieht mittels Durchflussmessgerät, welches während der verfahrenstechnischen Messungen im Messfahrzeug eingebaut ist.

### 5.2.1.3. Messung der benötigten Leistung

Der am Institut für Landtechnik der Justus-Liebig-Universität Gießen entwickelte und hergestellte Sechs-Komponenten-Kraftmessrahmen gestattet es, die zwischen Traktor und Anbaugerät auftretenden Kräfte nach Größe und Lage zu bestimmen. Er besteht aus zwei Teilen, die mit sechs orthogonalen bzw. parallelen Wägezellen verbunden sind, wie auf Bild 27 zu erkennen ist. Ein dreieckiger Träger ist am Traktor befestigt. Das zweite Teil greift als L-förmiger Rahmen durch den Dreiecksrahmen hindurch. Daran sind an einer Querstrebe die Unterlenker angebracht. Damit ergibt sich ein nur geringer horizontaler Versatz des Anbaugerätes von 26cm.

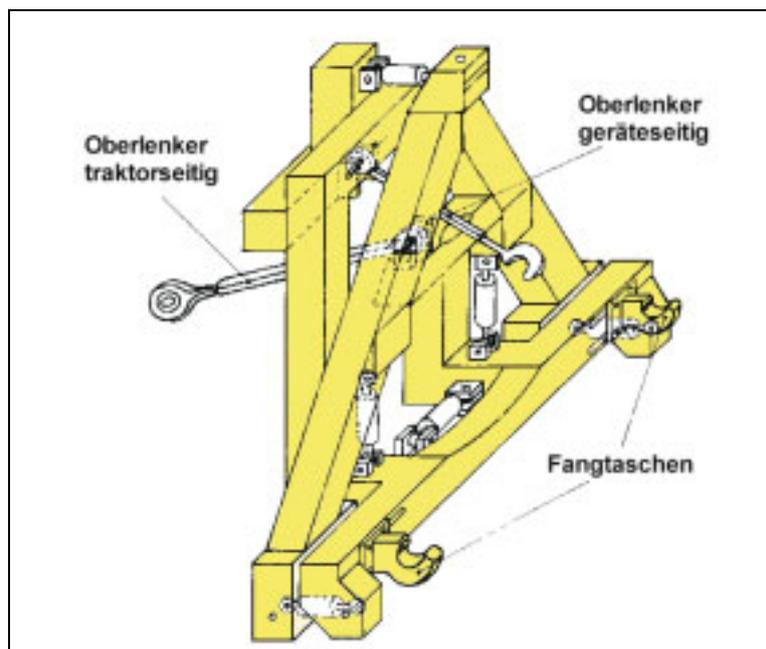


Abbildung 27: Kraftmessrahmen

Der Nullabgleich erfolgt, indem der Messrahmen ohne Last am Traktor frei hängt. Dabei hängt das gerätefesteste Teil des Rahmens am traktorseitigen Teil. Im Freigang kehrt sich jedoch die Krafrichtung an den beiden vertikalen Wägezellen um, da sich dann die Unterlenker frei bewegen können und nicht mehr durch die Hubwelle in ihrer vertikalen Position gehalten werden. Somit hängt der traktorseitige Teil des Messrahmens am gerätefesten. Der Kraftmessrahmen steht für Geräte mit einem Zugkraftbedarf von ca. 100kN zur Verfügung.

Zusammen mit dem Messtraktor des Instituts für Landtechnik ermöglicht er die Messung von Kräften, des Zapfwellendrehmoments, des Schlupfes sowie des Kraftstoffverbrauchs.

#### 5.2.1.4. Messung der Drehleistung

Das Drehmoment wird mit Hilfe des Drehmomentsensors DG 25/65 UK der Maschinenfabrik Fahr gemessen. Das Messprinzip beruht auf der Verwendung von Dehnungsmessstreifen, welche so angeordnet sind, dass sämtliche Axial- und Biegekräfte aufgehoben werden und nur das Drehmoment gemessen wird. In der verwendeten Messdose ist ein passiver Sensor, ohne Verstärker eingebaut.

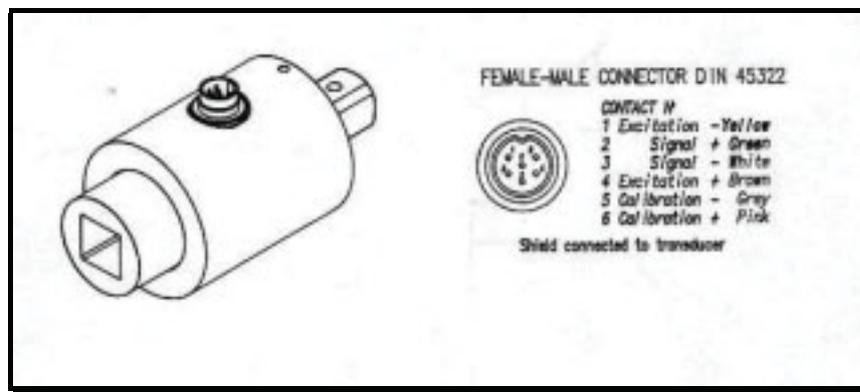


Abbildung 28: Prinzip der Drehmomentmessdose

Quelle: IBN (2002), überarbeitet

Der Kennwert des Sensors, liegt bei 2mV pro Volt Ausgangsspannung. Dieser Kennwert ist abhängig von der Konstruktion sowie den verwendeten DMS. Die Messdose hat eine Belastbarkeit von 904,1 Nm. Bei einer Einstellung der Verstärkereingangsempfindlichkeit von 2mV/V erhält man bei Beaufschlagung des eingesetzten Sensors mit der Nennlast eine Ausgangsspannung von 10 V. Die folgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau des verwendeten Messgerätes.

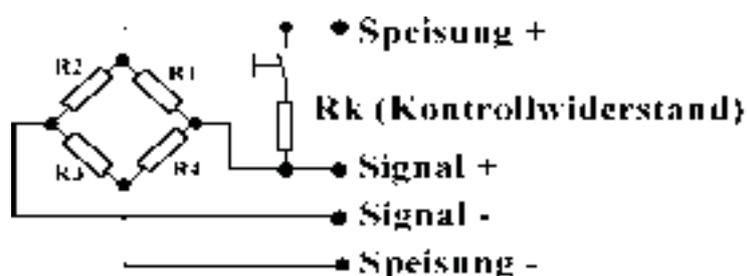


Abbildung 29: Aufbau einer Messbrücke mit Kontrollwiderstand

Quelle: Lorenz (2001), überarbeitet

Die Drehleistung wird ermittelt, indem das Drehmoment mit der Winkelgeschwindigkeit (in  $\text{rad} \cdot \text{sec}^{-1}$ ) multipliziert wird. Folgende Formel veranschaulicht dies.

$$P = F * s * \omega = M * 2\pi * \eta * 60^{-1} [\text{Watt}]$$

$$\omega(\text{Winkelgeschwindigkeit}) = [\text{rad} * \text{sec}^{-1}]$$

$$\eta(\text{Drehzahl}) = [\text{l} * \text{min}^{-1}]$$

Abbildung 30: Formel der Drehleistung

#### 5.2.1.5. Messung des Kraftstoffverbrauches

Zielsetzung für die Installation von Messgeräten oder Systemen der Kraftstoffmessung bei Fahrzeugen ist es, die Funktionen der einzelnen Motorbestandteile aufrecht zu erhalten. So muss z.B. die Konditionierung des Kraftstoffes hinsichtlich Temperatur, Druck und Blasenfreiheit den Fahrbedingungen entsprechen. Im ersten Versuchsjahr wurde der Kraftstoffverbrauch mit einem Messsystem der Firma Pierburg gemessen. In dem neu eingerichteten Messtraktor wurde ein Messsystem von Mannesmann VDO eingebaut. Folgendes Schaubild beschreibt die Installation des Kraftstoffmessgerätes.

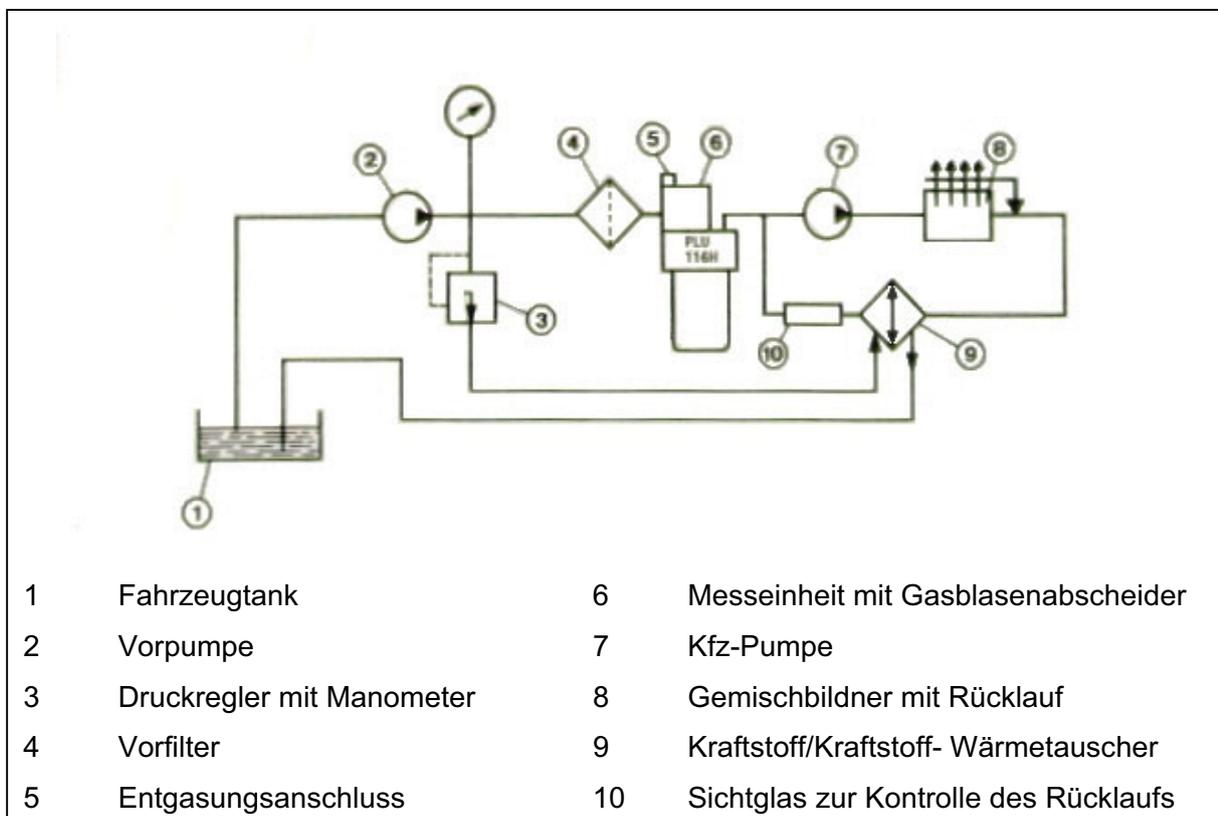


Abbildung 31: Prinzip der Durchflussmessung von Dieselkraftstoff

Quelle: PI, 2001

### 5.2.1.6. Arbeitsgeschwindigkeit und Schlupf

Die Arbeitsgeschwindigkeit ist zum einen abhängig von der Schlepperleistung, den Bearbeitungsgeräten und dem Bodentyp. Insbesondere der Bodentyp, aber auch Verdichtungen des Bodens beeinträchtigen den Schlupf.

Durch die Kraftübertragung auf den trockenen Boden werden die Bodenteilchen gegeneinander minimal verschoben, hingegen ist diese Verschiebung bei feuchtem Boden deutlich höher. Gleichzeitig kommt es zu einer Boden- und Reifendeformation. Diese bewirkt beim angetriebenen Rad eine Verringerung des tatsächlich zurückgelegten Weges des Rades, als er sich beim freien Abrollen des Radumfangs ergeben würde. Diese Differenz des unterschiedlich zurückgelegten Weges wird als Schlupf bezeichnet. Ohne Schlupf ist eine Kraftübertragung nicht möglich. In der Regel beträgt er 15-20%, wobei 100% Schlupf ein Durchdrehen der Räder im Stand, und 0% Schlupf, Radumfang = zurückgelegter Weg, bedeutet (DÖRFLER, 1991). Als Bodenverdichtung wird die Zunahme der Bodendichte bzw. die entsprechende Abnahme des Porenvolumens definiert (SCHACHTSCHABEL,1998). Häufig ist sie die Folge unterschiedlicher Einarbeitungsintensitäten von Ernterückständen in den Boden. Die Werte der Arbeitsgeschwindigkeit schwanken für die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren zwischen 3,1 km/h und 15 km/h. An dem verwendeten Versuchstraktor sind sowohl ein Radarsensor als auch ein Radsensor angebracht um die Berechnung des Schlupfes zu ermöglichen.

P1	= Radarsignal (gemessen in DIGITS)
P2	= Radsignal (gemessen in DIGITS)
1 DIGIT	= 118 Impulse/Meter (Radar) 101,325 Impulse/Meter (Rad)
Schlupf	= $(P2 - P1 / P2) * 100\%$

Abbildung 32: Berechnung des Schlupf

### 5.2.1.7. Schlagkraft

Als Schlagkraft ist in dieser Arbeit die Leistung der Maschine in Abhängigkeit zur Fahrtgeschwindigkeit, pro Stunde sowie Arbeitsbreite definiert. Schlagkraft ist insbesondere in den Fällen von Nöten, in denen zahlreiche Betriebsabläufe gleichzeitig und am für die Vegetation optimalen Zeitpunkt durchgeführt werden müssen. Einflussgrößen wie Witterung oder Bodenzustand, müssen stets berücksichtigt und die Mechanisierung entsprechend gewählt werden.

#### 5.2.1.8. Flächenleistung

Die jährliche Flächenleistung kann aus der Schlagkraft sowie den verfügbaren Feldarbeitstagen im jeweiligen Klimagebiet mit der entsprechenden Bodenart durch KTBL Daten (KTBL, 1998) ermittelt werden. Als Auslastungsschwelle wird die klimatisch jährlich mögliche Flächenleistung angenommen. Die betriebsspezifische Flächenausstattung wird bei der Ermittlung außer acht gelassen, da sie nur eine Momentaufnahme darstellt und sich Betriebe sich je nach wirtschaftlicher Entwicklung sowie regionalem Strukturwandel unterschiedlich entwickeln. Als Annahmen werden in dieser Arbeit zwei verschiedene Ansätze verfolgt. Zum einen wird die mögliche Flächenleistung anhand der tatsächlich ermittelten Zeitwerte während der durchgeführten Messungen berechnet (optimale Flächenleistung) zum anderen werden die Wendezeiten während der Durchführung der Messfahrten mit berücksichtigt (reale Flächenleistung), wobei durch das Messsystem keine Verzögerungen im Arbeitsablauf auftreten.

#### 5.2.1.9. Bodenbelastung

Die Bodenbelastung hängt entscheidend von der Beschaffenheit des Bodens, sowie von der Eingriffsintensität der einzelnen Verfahren ab. Durch unsachgemäßes Befahren auf der lockeren Ackerbodenfläche entstehen häufig tiefe Spuren. In einer Tiefe von 10 bis 25 cm sind die stärksten Verdichtungen zu finden. Der Druck geht radial vom Reifen eines Fahrzeuges aus und verdichtet im mittleren Krümmenbereich eine etwa 5 cm dicke Schicht. Dabei erreicht der Bodenwiderstand Werte über 20 bar und ist für Wurzel und Wasser fast undurchdringlich, weil sich das Wasser in der muldenförmigen Verdichtungszone staut und dadurch reduktive Verhältnisse entstehen. Derartige Schäden werden vermieden, indem die geforderten Schutzmaßnahmen, auch im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes, berücksichtigt und eingehalten werden (ESTLER, 1996).

Problematisch bei der durchzuführenden Analyse der Bodenbelastung der einzelnen Verfahren ist das Argumente, dass die Berechnung der Bodenbelastung verschiedene Ansätze verfolgen kann:

- a) Alle Reifen (resp. Achsen) werden mit der Last der entsprechenden Maschine bewertet.
- b) Alle Reifen (resp. Achsen) werden mit der Last der entsprechenden Maschine bewertet, wobei ein Multipasseffekt einbezogen wird.
- c) Nur die Reifen (resp. Achsen) werden berücksichtigt, deren Druck auf den Boden am Größten ist.
- d) Nur die Reifen (resp. Achsen) werden berücksichtigt, deren Gesamtlast am Größten ist.

Folgende Tabellen dienen hier als Datengrundlage für die Berechnungen der Bodenbelastungen. Die Gewichte der Arbeitsmaschinen entsprechen denen der eingesetzten Maschinen. Die Gewichte der Sämaschinen sind Leergewichte. Diese werden angenommen, da die Saatgutmengen, sowie Saatgutarten die in der Sämaschine verwendet werden, nicht einheitlich sind und somit von Fall zu Fall dem Ergebnis aufgeschlagen werden müssen.

Folgende Unterschiede sind in den Berechnungen zu beachten:

- „Best case“:
  - Die Zugmaschine ist nach dem Leistungsbedarf der Maschine ausgewählt.
  - Es wird keine Pflanzenschutzmassnahme mit einem Totalherbizid vor der Aussaat benötigt.
  - Es werden ausschließlich die Spurbreiten der Arbeitsmaschinen verwendet, die eine erste Überführung auf dem Boden durchführen.

Tabelle 12: Datengrundlage für die Berechnung der Bodenbelastung (best case)

Variante	Maschinen	Gewicht [kg]	Reifenbreite [m]
P	Schlepper (110 kW)	7000	0,61
	4-Schar-Drehpflug (1,7 m)	1050	
	Kreiselegge + Saattechnik (3 m)	1910	
	Stoppelgrubber	800	
FR	Schlepper (112 kW)	7500	0,61
	Flügelschargrubber mit Zinkenrotor (2,5 m)	2500	
	Stoppelgrubber	800	
FS	Schlepper (74 kW)	6550	0,61
	Frässaat (3m)	1850	0,26
D	Schlepper (58 kW)	6000	0,61
	Direktsaatmaschine (3 m)	3150	0,45

- „Worst case“:
  - Alle Maschinen werden mit der gleichen Zugmaschine gefahren.
  - Es wird eine Pflanzenschutzmassnahme mit einem Totalherbizid vor der Aussaat benötigt.
  - Es werden die Spurbreiten der Arbeitsmaschinen verwendet, auch wenn diese über Boden fahren, der bereits befahren wurde.

Tabelle 13: Datengrundlage für die Berechnung der Bodenbelastung (worst case)

Variante	Maschinen	Gewicht [kg]	Reifenbreite [m]
<b>P</b>	Schlepper (110 kW)	7000	0,61
	Pflanzenschutzspritze (12 m)	1000	
	4-Schar-Drehpflug (1,7 m)	730	
	Kreiselegge + Saattechnik (3 m)	1910	
	Stoppelgrubber (3m)	800	
<b>FR</b>	Schlepper (110 kW)	7000	0,61
	Pflanzenschutzspritze (12 m)	1000	
	Flügelschargrubber mit Zinkenrotor (2,5 m)	2500	
	Stoppelgrubber (3m)	800	
<b>FS</b>	Schlepper (110 kW)	7000	0,61
	Pflanzenschutzspritze (12 m)	1000	
	Frässaat (3m)	1850	
<b>D</b>	Schlepper (110 kW)	7000	0,61
	Pflanzenschutzspritze (12 m)	1000	
	Direktsaatmaschine (3 m)	2800	

#### 5.2.1.10. Wartungsintensität

Wartung ist als Maßnahme der vorbeugenden Instandhaltung definiert. Zur Wartung werden alle Pflegemaßnahmen von Maschinen gerechnet wie Reinigen, Abschmieren, Justieren, Nachfüllen von Betriebsstoffen sowie ähnliche Maßnahmen zur Verminderung von Verschleißerscheinungen (nach ARENTZEN, 1988). Bei allen Bodenbearbeitungsgeräten, insbesondere aber bei angetriebenen oder rotierenden Werkzeugen der Maschinen, differieren die Wartungsintervalle in Abhängigkeit von Witterung und Tiefgründigkeit der zu bearbeitenden Böden. Im Durchschnitt nimmt die Wartungsintensität mit der Intensität der Bodenbearbeitung zu. Bei zapfwellengetriebenen Maschinen erhöht sich die Wartungsintensität durch die Rotation der Wellen sowie Werkzeuge nochmals. Die Wartungsintensität wird letztlich durch Aufbau der Maschinen, der Eingriffsintensität der Werkzeuge sowie der Bodenbeschaffenheit der Versuchsfelder bestimmt.

#### 5.2.2. Ökologische Parameter

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit können nicht alle in diesem Kapitel aufgeführten Untersuchungen durchgeführt werden. Folgende Parameter werden aus vorangegangenen Arbeiten übertragen, welche im Rahmen der über zwanzig jährigen Versuchstätigkeiten des Instituts für Landtechnik erstellt wurden.

- Überrollungen je Hektar (TEBRÜGGE, 1995)
- Bodenbeanspruchung (TEBRÜGGE, 1995)
- Oberflächenstabilität (GROß, Dissertation, 1996)
- Aggregatstabilität (GROß, Dissertation, 1996)

### 5.2.2.1. Population der Lumbriciden

Nach langjähriger Anwendung der reduzierten bzw. konservierenden Bodenbearbeitung, sowie durch die Direktsaat, stellt sich ein neues bodenphysikalisches und –biologisches Gleichgewicht ein. Hierbei leisten z.B. die Lumbriciden mit ihrem stabilen Röhrensystem und der guten Durchmischung des Bodens einen beträchtlichen Beitrag. Auf den unbearbeiteten Flächen können sich Lumbriciden wesentlich ungestörter entwickeln, so dass sich bei nichtwendender Bearbeitung durch die Gruberverfahren zweimal mehr und bei Direktsaat sogar viermal mehr Regenwürmer im Vergleich zum Pflugverfahren ergeben. Diese Regenwurmröhren tragen zu einer guten Wasserdurchlässigkeit, Durchlüftung sowie Durchwurzelbarkeit des Bodenkörpers bei. So ist die Anzahl solcher Regenwurmröhren bei Direktsaat sieben- bis achtmal und bei den Gruberverfahren zwei- bis dreimal höher als bei konventioneller Bodenbearbeitung (BÖHRNSEN, 1993). Um Tendenzen herauszustellen, wird die Regenwurmpopulation auf den Versuchsfeldern mit folgender Methode untersucht.

Verfahren zur Untersuchung der Lumbricidenpopulation:

Die Regenwürmer werden mit 10-20l einer 0,2%igen Formalinlösung aus dem Boden ausgetrieben. Die jeweilige Grundfläche beträgt  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup>. Pro Variante werden acht Wiederholungen durchgeführt. Ein Teil der Lumbriciden ist nach rund einer halben Stunde im aufgelegten Rahmen zu finden. Nach 40 Minuten werden die oberen 35cm Erde innerhalb des Rahmens abgetragen und nach Individuen durchsucht. Im Anschluss daran werden die Lumbriciden pro Wiederholung gezählt. Es ist darauf zu achten, dass der Boden nicht zu trocken ist.

### 5.2.2.2. Energieverbrauch je ha

Der Energieverbrauch setzt sich zusammen aus verbrauchtem Motor-, Getriebe- und Hydrauliköl sowie dem verbrauchten Kraftstoff pro Hektar. Die Ölverbräuche werden über die Hektarleistung pro Stunde der einzelnen Mechanisierungsvarianten aufsummiert und für einen Hektar berechnet. Der Kraftstoffverbrauch pro Hektar wird anhand der ermittelten Werte im Rahmen der Kraftmessungen errechnet. Hierbei ist die gefahrene Zeit mit der Geschwindigkeit zu multiplizieren. Dieser Wert ist wiederum mit der Arbeitsbreite der jeweiligen Variante zu multiplizieren. Der verbrauchte Kraftstoff ist dann in Bezug auf die bearbeitete Fläche zu setzen und auf einen Hektar hochzurechnen. Die folgende Formel soll die Berechnung des Energieverbrauches pro Hektar noch einmal veranschaulichen.

$$\left( \frac{V}{F} \right)_{vx} = \left[ \frac{V_{DVX}}{(v_{vx} * t_{vx}) * D_{vx}} \right] + \left( \frac{V_M + V_G + V_H}{WI} \right)$$

$$\Rightarrow \left( \frac{V}{F} \right)_{vx} \div F_{vx} * 10.000 = \frac{l}{ha}_{vx}$$

V = Verbrauchsvolumen der Variante X

F<sub>VX</sub> = Fläche der Variante X

V<sub>DVX</sub> = Dieserverbrauch der Variante X

V<sub>M</sub> = Motorölverbrauch des Zugfahrzeug

V<sub>G</sub> = Getriebeölverbrauch des Zugfahrzeug

V<sub>H</sub> = Hydraulikölverbrauch des Zugfahrzeug

v<sub>VX</sub> = Fahrgeschwindigkeit der Variante X

t<sub>VX</sub> = Zeitdauer der Überfahrt bei Variante X

D<sub>VX</sub> = Arbeitsbreite der Variante X

WI = Wartungsintervall in Hektar

Abbildung 33: Berechnung des Energieverbrauches pro Hektar

### 5.2.2.3. CO<sub>2</sub>- Energiebilanz

Als CO<sub>2</sub>- Energiebilanz ist in dieser Arbeit lediglich der Kraftstoff- und Betriebsstoffverbrauch pro Hektar definiert. Die Humusanreicherung des Bodens in Bezug auf die verschiedenen Mechanisierungsvarianten kann aufgrund ihrer Abhängigkeit von z.B. Bodentyp oder Bodenleben nicht hinreichend genau erfasst werden, um ein allgemeingültiges Ergebnis zu erzielen. Durch die Einsparung von Dieseldieselkraftstoff können bei der Pflanzenproduktion sogenannte Treibhausgase wie z.B. CO<sub>2</sub> eingespart werden. Durch die Verbrennung von 100 Litern Dieseldieselkraftstoff, mit einer Dichte (ρ) von 0,84 kg\*l<sup>-1</sup> werden rund 303 kg CO<sub>2</sub> freigesetzt (ÖKOENERGIE, 2000).

### 5.2.2.4. Spuranteil je Hektar

Der Spuranteil pro Hektar ist abhängig von der Arbeitsbreite der jeweiligen Bearbeitungsvariante sowie der Anzahl der Überfahrten, die zwischen dem Zeitpunkt der Ernte bis zum Zeitpunkt der Aussaat zur Stoppelbearbeitung, Saatbettbereitung sowie zur Aussaat benötigt werden. Weiterhin ist der Spuranteil abhängig von der Auflagebreite der Bereifung der verwendeten Zugmaschine. Der Spuranteil pro Hektar lässt sich somit für einen Arbeitsgang mit folgender Formel berechnen.

$$\frac{Sp}{ha} (\%) = *2 \left[ \frac{SB_T}{AB_{MX}} + \left( \frac{SB_{MX}}{AB_{MX}} * (1 - \ddot{U}L_{MX}) \right) + \left( \frac{\ddot{U}L_{MX}}{AB_{MX}} * I \right) \right] * 100$$

SP = Spuranteil (gemessen in m<sup>2</sup>)

SB<sub>T</sub> = Auflagebreite des Schlepperhinterreifens

AB<sub>MX</sub> = Arbeitsbreite der Maschine X

SB<sub>MX</sub> = Auflagebreite der Maschinenbereifung der Maschine X

ÜL<sub>MX</sub> = Überlappungsanteil zwischen SB<sub>T</sub> und SB<sub>MX</sub>

I = Gewichtungsfaktor des Multipasseffekts zwischen SB<sub>T</sub> und SB<sub>MX</sub> (hier = 0)

Abbildung 34: Berechnung des Spuranteils für einen Arbeitsgang

Um den gesamten Spuranteil pro Bearbeitungsvariante zu ermitteln, müssen die Teilberechnungen aufsummiert werden. Schlepper und Maschine stellen hierbei jeweils eine Einheit dar. Innerhalb dieser Einheiten existieren per Definition keine Multipasseffekte. Ein Multipasseffekt ist hierbei die wiederholte Überrollung einer bereits vorhandenen Fahrspur. Es existieren in dieser Modellannahme somit ausschließlich Multipasseffekte zwischen Schlepper und Maschine, sofern die Maschine eine tragende Bereifung besitzt. Hierbei gibt es verschiedene Berechnungsmöglichkeiten der Fahrtstrecke sowie des Spuranteils. In dieser Arbeit werden zwei Berechnungen durchgeführt. Zum einen die Berechnung der Fahrspuren, die von dem Arbeitssystem mit der kompletten Reifenbreite überfahren werden ohne dabei bereits vorhandene Überfahrten durch die Zugmaschine zu berücksichtigen (Worst case) und zum anderen nur die neu befahrene zu der bereits überrollten Fläche hinzu zu addieren (Best case).

#### 5.2.2.5. Bodenbeanspruchung

Die verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten haben unterschiedliche Bodenbeanspruchungen zur Folge. So nimmt der Porenraum > 3 µm bei dem Verfahren Pflug ausgehend von einem hohen Niveau über die untersuchte Tiefe kontinuierlich ab. Andererseits findet sich auf den nicht bearbeiteten Parzellen, ab einer Tiefe von etwa 20cm, ein starker Anstieg der Grobporen, so dass der Gesamtporenraum in 40cm Tiefe über dem der bearbeiteten Parzellen liegt. Zwischen diesen Extremen liegt das Verfahren Flügelschargrubber mit Zinkenrotor, dass wegen seiner geringen Bearbeitungsintensität kaum Auswirkungen auf die Lockerung und Homogenisierung des Oberbodens hat. Des weiteren werden natürliche Prozesse der Gefügebildung (sowohl physikalischer als auch biologischer Art) nicht im gleichen Ausmaß verhindert oder gestört, wie auf der gepflügten Fläche (GRUBER, 1994).

Ferner hat die Bodenoberfläche als Schnittstelle zwischen Bodenkörper und Atmosphäre die elementare Bedeutung für den Wasser- und Lufthaushalt der Kulturböden. Diese sind nach der konventionellen Saatbettbereitung meist feinkrümelige Grenzschichten und als solche der direkten Niederschlagswirkung ungeschützt ausgesetzt. Die Aufprallenergie der Regentropfen führt in Verbindung mit der Luftsprennung zur Aggregatzerstörung mit nachfolgenden Transport- und Sedimentationsprozessen der abgelösten Feinpartikel (vgl. GROSS, 1992).

#### 5.2.2.6. Oberflächenstabilität

Für die Landwirtschaft ist eine langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, also eine nachhaltige Bewirtschaftung des Bodens, von großer Notwendigkeit. Die grundlegendste Eigenschaft des Bodens ist die intensive, gegenseitige Durchdringung der Phasen Bodenmatrix (feste Phase), Bodenlösung (flüssige Phase) und Bodenluft (gasförmige Phase). Dabei nehmen die verschiedenen Phasen unterschiedliche Gesamtvolumina ein. Der Boden besteht zu ca. 50% aus der Matrix und 50% Porenraum, der wiederum mit Bodenlösung (20-50%) und Bodenluft (0-30%) erfüllt ist (Gisi, 1990). Des Weiteren wirken auf den Boden die Faktoren Textur (Bodenart, Körnung und Humusgehalt), Bodengefüge (Bodendichte, Gesamtporenvolumen und Porenverteilung) und Bodenzustand (Aggregatstabilität und Aggregatgrößenverteilung) ein (SEUFERT, 1995). Als Textur werden die Feststoffe der Böden, die als Gemische aus Mineralkörnern, Gesteinsbruchstücken und Humuspartikeln unterschiedlicher Form bestehen, bezeichnet. Es werden verschiedene Korngrößenfraktionen unterschieden, deren Mengenanteile als Korngrößenverteilung oder Körnung bezeichnet werden. Die Körnung zählt zu den wichtigsten Eigenschaften für die Bodenentwicklung, die Ertragsfähigkeit sowie die Puffer- und Filtereigenschaften der Böden (SCHACHTSCHABEL, 1998).

Ein intaktes Bodengefüge gleicht im Aufbau einem Schwamm. Das Porenvolumen ist dabei unterschiedlich mit Wasser, Luft und Wurzeln gefüllt und beeinflusst den Pflanzenstandort und die biologische Aktivität. Außerdem ist für die Mobilität von Wasser und Gasen sowie für das Pflanzenwachstum und das Bodenleben nicht nur das Porenvolumen insgesamt wichtig, sondern auch deren Fraktionierung in Grob-, Mittel und Feinporen. Der Luft- und Wasserhaushalt des Bodens wird durch die Porenart und –größenverteilung entschieden beeinflusst. So wird das Niederschlagswasser in den Grobporen so schwach gebunden, dass es innerhalb 3 bis 4 Tagen versickert ist (SEUFERT, 1995). Diese Grobporen sorgen jedoch für eine gute Durchlüftung und verhindern im humiden Klima einen Wasserstau, fördern aber die Nährstoffauswaschung (SCHACHTSCHABEL, 1998).

Dem gegenüber werden die Mittelporen als Speicherporen bezeichnet, weil in ihnen das Wasser, überwiegend pflanzenverfügbares Haftwasser, gebunden wird, das aufgrund der

relativ hohen Saugspannung mit abnehmender Porengröße immer schwerer von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden kann. Die Feinporen binden das Wasser so stark, dass es für die Pflanzenwurzeln nicht aufzunehmen ist, weshalb es auch als Totwasser bezeichnet wird. Die Porengrößenverteilung wird im wesentlichen durch die Bodenart und das Bodengefüge bestimmt. Ein Tonboden verfügt über einen großen Anteil Feinporen, ein Sandboden hingegen über einen größeren Grobporenanteil (SEUFERT, 1995). Die Messung des Porenvolumens wird in Kapitel 5.2.3.6 beschrieben.

#### 5.2.2.7. Aggregatstabilität

Ein Bodenaggregat ist eine in der Natur vorkommende natürliche Verbindung von organischen und anorganischen Partikeln, die in der Art verbunden sind, dass die Stärke der inneren die Teilchen verbindenden Kräfte, die äußeren Kräfte der Umgebung, in der das Aggregat existiert, übertreffen. Wird jedoch dieses Verhältnis zugunsten der äußeren auf das Aggregat einwirkenden Kräfte (z.B. Regen) umgekehrt, dann führt dies zur Zerstörung des Aggregats. Des weiteren kann die Aggregatstabilität auch als Widerstandsfähigkeit des Bodengefüges gegenüber Veränderungen bezeichnet werden, wobei diese Veränderungen unterschiedliche Ursachen haben können. Ferner können bei unterschiedlicher Belastung verschiedene Gegenkräfte zur Wirkung kommen, die, wie die Aggregatstabilität, immer in Bezug zur jeweiligen Belastung zu setzen sind (GROSS, 1996).

In vielen Fällen ist eine mehr oder weniger ausgeprägte Verschlämmung zu beobachten. In Abhängigkeit ihrer Feuchte kann diese wenige mm bis ca. 2 cm mächtige Kruste eine erhebliche Barriere für Keimpflanzen bedeuten und außerdem den Bodenlufthaushalt ungünstig beeinflussen (GROSS, 1992). Die Wirkung der Bodenbearbeitung kann positiv oder negativ in Bezug auf den Zustand des Agrarökosystems sein. So ist ein wichtiger Aspekt das Pflügen eines nassen Bodens, da an der Krumbasis eine Verdichtung entsteht und diese Staunässe und Sauerstoffmangel in der Ackerkrume fördert. Außerdem wird dadurch die Aktivität des Bodenlebens gestört und der Abbau von eingepflügten Ernteresten verzögert (BÄUMER, 1995). Ein zügiger Ab- und Umbau organischer Substanz kann nämlich nur durch die homogene Einbindung dieser in die aeroben Zonen des Bodens erzielt werden, was gleichzeitig mit einer strukturstabilisierenden Wirkung vor allem auf verschlammungs- und erosionsgefährdeten Standorten verbunden ist (TEBRÜGGE, 1982).

Dieser negative Rückkopplungseffekt setzt sich auch in den folgenden Jahren fort, da derartige Bodenverdichtungen mit mechanischen Mitteln kaum aufzulösen sind. Ein positiver Rückkopplungseffekt erweist sich als ökologisch vorteilhafter. Dieser entsteht, wenn eine Bodenruhe unter mehrjährigem Futterbau eingehalten oder durch den Verzicht auf tiefgrei-

fende Bodenlockerung und –wendung eine fortgesetzte Mulchwirtschaft durch reduzierte Bodenbearbeitung erzielt wird (BÄUMER, 1995). Die Aggregatstabilität wird sehr stark durch die Körnung des Bodens, die chemischen Bodeneigenschaften sowie durch den Tonanteil des Bodens beeinflusst. Die Aggregatstabilität kann durch diverse Parameter beschrieben werden. Zum einen wird sie durch den Aggregierungserfolg, zum anderen durch die Porenraumverteilung (vgl. 5.2.3.6) oder durch die Infiltrationskapazität (vgl. 5.2.3.7) ermittelt.

### 5.2.3. Pflanzenbauliche- und bodenphysikalische Parameter

Folgende Parameter werden in dieser Arbeit besprochen aufgrund des kurzen Untersuchungszeitraumes und den damit verbundenen geringfügigen Veränderungen auf den Versuchsstandorten können, sich langfristig einstellende Parameter nur mit Hilfe bereits vorangegangener Untersuchungen abgeschätzt werden. Folgende Übersicht der pflanzenbaulichen und bodenphysikalischen Parameter gibt einen Überblick, über die aus Vorarbeiten übernommenen Ergebnisse.

Parameter:

Stroheinarbeitung	(SCHMIDT, 1989)
Gehalt an organischer Substanz	(TEBRÜGGE, 1994)
Infiltrationskapazität	(TEBRÜGGE, 1999)

#### 5.2.3.1. Einarbeitung von Ernterückständen

SCHMIDT und TEBRÜGGE (1989) beschreibt die Einarbeitung von Ernterückständen wie folgt: Bei der Bodenbearbeitung werden auf der Bodenoberfläche befindliche pflanzliche Reststoffe (Unkraut, Stroh, Ausfallgetreide) mehr oder weniger tief in den Boden eingemischt. Hauptsächlich die Strohinkorporation bestimmt den Erfolg eines Getreidemulchsaatenverfahrens. Größere Strohmenge an der Bodenoberfläche bzw. im Saatbett können durch Verstopfungen die Aussaat beeinträchtigen, das Saatbett physikalisch verschlechtern sowie durch chemische Abbauprodukte die Keimung behindern. SCHMIDT (1991) führt weiter aus, dass die quantitative Verteilung der aufliegenden Strohmenge über die bearbeiteten Horizonte abhängig ist von der

- Bearbeitungstiefe,
- Werkzeugform und Kombination der Werkzeuge,
- Anzahl der Werkzeuge je Meter Arbeitsbreite,
- sowie der Bewegungsbahn der Werkzeuge im Boden.

#### 5.2.3.2. Feldaufgang

Der Feldaufgang wird im Zeitraum zwischen den Entwicklungsstadien 13 (3-Blatt-Stadium) und 21 (Bestockungsbeginn) erfasst. Dieser Zeitraum wird gewählt, da dort alle keimfähigen Körner aufgelaufen, aber noch nicht bestockt sind und somit ein optimales Auszählungsergebnis erreicht wird. Die Pflanzen der verschiedenen Varianten werden jeweils acht Mal mit Hilfe eines Zählrahmens von  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup> Fläche, auf jedem Versuchsfeld gezählt. Mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms MS-Excel<sup>®</sup> werden die gewonnenen Rohdaten zum durchschnittlichen Feldaufgang pro Variante und m<sup>2</sup> verrechnet.

#### 5.2.3.3. Pflanzenertrag

Zur Ermittlung der Ertragsparameter werden pro Variante sechs Beprobungen je Versuchsfeld mit Hilfe eines Zählrahmens mit der Fläche von 1m<sup>2</sup> genommen. Die Quadratmeter-schnitte werden abgesackt und stationär gedroschen. Nach dem Dreschvorgang werden die ausgedroschenen Körner getrocknet und der Ertrag je Hektar berechnet. Somit ergibt sich ein Ertrag je Hektar mit 0% Restfeuchte. Ernteverluste, wie sie durch das Dreschen mit einem Mähdrescher entstehen, werden nicht berücksichtigt, da diese je nach Einstellung und Arbeitsweise des jeweiligen Dreschers stark differieren können.

#### 5.2.3.4. Unkrautbesatz

Als Unkraut oder Ungras werden im landwirtschaftlichen Sprachgebrauch die Pflanzen bezeichnet, die auf bearbeitetem Kulturland neben den erwünschten Kulturpflanzen wachsen. Hierbei handelt es sich weitgehend um Wildkräuter, die sich in ihrer Verbreitung und Lebensweise an die unterschiedlichen Verhältnisse des bearbeiteten Bodens angepasst haben. In erster Linie treten Unkräuter und –gräser u.a. als Platz-, Wasser- und Nahrungskonkurrent für Nutzpflanzen auf. Selbst Kulturpflanzen können zu Unkräutern werden. Dies ist dann der Fall, wenn im Rahmen der Fruchtfolge die Ausfallkörner der Vorfrucht den wirtschaftlichen Wert der stehenden Frucht mindern und somit unter Umständen reguliert werden müssen, um ein optimales Ernteergebnis zu erzielen. Neben einer „normalen Verunkrautung“ ist ein Trend hin zu einer speziellen Verunkrautung zu verzeichnen. Diese Problemunkräuter werden mit bestehenden Herbizidsystemen nicht optimal erfasst. Aus diesem Grund ist es notwendig auf diese Unkräuter ein Hauptaugenmerk zu werfen. Somit stellt sich die Frage auf Welche Art und Weise der Pflanzenschutz im allgemeinen und die Regulierung von Problemunkräutern durchgeführt werden kann. Im Pflanzenschutzgesetz (PFLSCHG, 2001) in der Fassung vom 29. Oktober 2001 ist die Durchführung des Pflanzenschutz in § 2 klar geregelt. Pflanzenschutz darf demnach nur nach guter fachlicher Praxis durchgeführt werden.

Die gute fachliche Praxis dient insbesondere der Gesunderhaltung und Qualitätssicherung von Pflanzen und Pflanzenerzeugnissen durch vorbeugende Maßnahmen, Verhütung der Einschleppung oder Verschleppung von Schadorganismen, Abwehr oder Bekämpfung von Schadorganismen und der Abwehr von Gefahren, die durch die Anwendung, das Lagern und den sonstigen Umgang mit Pflanzenschutzmitteln oder durch andere Maßnahmen des Pflanzenschutzes, insbesondere für die Gesundheit von Mensch und Tier und für den Naturhaushalt, entstehen können.

Zur guten fachlichen Praxis gehört, dass die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes und der Schutz des Grundwassers berücksichtigt werden. Der Pflanzenschutz vollzieht sich in dynamischen biologischen Systemen, die von einer Vielzahl von Variablen bestimmt werden. Viele dieser Variablen sind von dem Personal, welches die Pflanzenschutzmaßnahmen durchführt, weder exakt vorhersehbar noch gestaltbar. Die gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz ist somit stets von der speziellen Situation vor Ort abhängig und daher auch nur im Hinblick auf den Einzelfall beurteilbar. Es lassen sich jedoch allgemeine Grundsätze für die Durchführung der guten fachlichen Praxis formulieren, wie nach heutigem gesichertem Wissen die generelle Ausrichtung des Pflanzenschutzes erfolgen sollte. Die gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz umfasst mehr als nur die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Als machbare und zumutbare Handlungsanforderung für jeden, der Pflanzenschutzmaßnahmen durchführt, müssen auch vorbeugende acker- und pflanzenbauliche oder andere nichtchemische Maßnahmen eingeschlossen werden.

Weiterhin ist die gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz Ausdruck des Status quo. Sie stellt damit die Summe der positiven und negativen Erfahrungen, die bisher im Pflanzenschutz gesammelt wurden, dar. Sie ist gleichzeitig das umgesetzte und bewährte Ergebnis der Forschungsarbeit. Somit ändern und entwickeln sich, u.a. auch bestimmt von den jeweiligen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, im Zeitablauf Inhalt und Durchführung der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz. Nicht bewährte und nicht mehr akzeptable Methoden werden verworfen, neue Elemente in das Instrumentarium des praktischen Pflanzenschutzes eingefügt. Die Mannigfaltigkeit der angebauten Kulturpflanzen und ihrer Schadorganismen, aber auch der unterschiedliche Wissensstand über ihre wechselseitigen Beziehungen führen dazu, dass die im konkreten Fall zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur Schadensabwehr und -reduzierung nach Art und Wirksamkeit verschieden sind. Die gute fachliche Praxis ist Basisstrategie im Pflanzenschutz und beinhaltet die Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen, die in der Wissenschaft als gesichert gelten, aufgrund praktischer Erfahrungen als geeignet, angemessen und notwendig anerkannt sind,

von der amtlichen Beratung empfohlen werden und den sachkundigen Anwendern bekannt sind (BMEL, 1998).

Um die Notwendigkeit einer Pflanzenschutzmaßnahme zu erfassen, werden auf jeder Variante 8 Unkrautauszählungen durchgeführt. Als Hilfe dient hierzu ein Zählrahmen mit der Grundfläche von 1m<sup>2</sup>. Sollten die tatsächlich gezählten Unkräuter und –gräser über der Schadschwelle liegen, so ist eine Pflanzenschutzmaßnahme in Erwägung zu ziehen. Die Höhe der Schadschwellen ist z.B. dem WARNDIENST ACKERBAU des RP GIESSEN zu entnehmen.

#### 5.2.3.5. Gehalt an organischer Substanz

Unter organischer Substanz wird die Gesamtheit der toten (postmortalen) organischen Stoffe verstanden; sie umfasst mithin sowohl die Streu als auch den Humuskörper. Der Humuskörper eines Bodens ist charakterisiert durch Menge und Art der organischen Stoffe in seinen verschiedenen Horizonten. Der Humuskörper ist zu unterscheiden in Streustoffe, als organisches Ausgangsmaterial, zu dem auch tote Wurzeln und Bodenorganismen sowie Huminstoffe gehören. Da jedoch beide Gruppen weder räumlich noch – bislang – analytisch streng zu trennen sind, sollte der Humuskörper gleichermaßen durch Methoden der Pflanzenanalyse und der eigentlichen Huminstoffanalyse charakterisiert werden (SCHLICHTING et al., 1995)

Für die Bestimmung der organischen Substanz gibt es drei Möglichkeiten:

- Präparative Abtrennung des Mineralkörpers und Wägen.  
Diese Methode führt aber nur im Falle von L-Lagen, O- und H-Horizonten zum Ziel, da sonst organische und mineralische Stoffe meist miteinander verknüpft sind.
- Selektiver (chemischer) Abbau und Bestimmung aus der Gewichts Differenz.  
Diesem Verfahren haftet der Mangel an, dass meist nur flüchtig gehende Bestandteile erfasst werden und dass der Eingriff entweder zu schwach für einen vollständigen Abbau der organischen Stoffe oder so stark ist, dass auch mineralische Stoffe angegriffen werden.
- Bestimmung charakteristischer Elemente und Errechnung der Menge bei Annahme eines „typischen“ Anteils dieser Elemente.  
Die Schwäche dieser Methode liegt in der recht unterschiedlichen Zusammensetzung der Humuskörper, die es fragwürdig macht, einen einheitlichen Umrechnungsfaktor zu verwenden. Der C-Gehalt der Huminstoffe liegt deutlich über 50%, derjenige der Streu meist zwischen 40 und 50%. Daher werden, auch der einfachen Rechnungen wegen,

meist 50% unterstellt, mithin der Humusgehalt durch Multiplikation des C-Gehaltes mit 2 abgeleitet (nach SCHLICHTING et al., 1995).

FINNERN et al. (1996) führen aus, dass die organische Substanz annähernd aus den im Labor ermittelten Werten für organischen Kohlenstoff ( $C_{Org}$ ) berechnet werden kann, indem mit dem Faktor 1,72 multipliziert wird. Bei Torfen und Auflagehumus wird der Faktor 2 verwendet. Folgende Tabelle gibt die Einstufung und Bezeichnung des Humusgehaltes an.

Tabelle 14: Gehalt an organischer Substanz im Boden

Kurzzeichen	Masse-%	Bezeichnung
h0	0	Humusfrei
h1	<1	Sehr schwach humos
h2	1 – 2	Schwach humos
h3	2 – 4	Mittel humos
h4	4 – 8	Stark humos
h5	8 – 15	Sehr stark humos
h6	15 – 30	Äußerst (extrem) humos, anmoorig (z.B. bei Aa-Horizont)
h7	>30	organisch (z.B. H-, L-, O-Horizonte)

Quelle: Finnern et al. (1996)

#### 5.2.3.6. Bodenwiderstandswerte (Porenraumverteilung)

Ein Hohlraumssystem ist charakterisiert durch Menge und Größe der Poren (Porengrößenverteilung) sowie deren Form. Die Gestaltung des Porenraumes wird zwar wesentlich von Größe, Form und innerem Bau der Bodenaggregate bestimmt, ist aber auch von der Größe und Form der Primärpartikel abhängig. Die gewonnenen Daten müssen somit, wenn sie nicht eindeutig zuzuordnen sind, gesondert erfasst werden. Größe und Form der Poren lassen sich nur durch ausmessen bestimmen. Da dies sehr aufwendig ist, werden sie bei den üblichen Messmethoden zum Äquivalentdurchmesser zusammengezogen. Folgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Porenklassen auf.

Feinporen	=	< 0,2 µm
Mittelporen	=	0,2 – 10 µm
Feine Grobporen	=	10 – 50 µm
Grobporen	=	50 – 1000 µm
Gröbstporen	=	> 1000 µm

Abbildung 35: Porenklasseneinteilung

Quelle: Eigene Darstellung nach SCHLICHTING (1995)

Im Rahmen der Versuchstätigkeit werden auf den drei Standorten Penetrometermessungen auf allen Parzellen, mit dem unten abgebildeten Penetrologger, durchgeführt. Je Variante werden sechs Messungen durchgeführt. Bei gestörten Messungen werden diese fünf mal im Umkreis von 25cm um den ersten gestörten Messpunkt wiederholt, um ein ungestörtes Messergebnis zu erzielen. Sollte es nicht gelingen ein ungestörtes Messergebnis zu erzielen, so wird das letzte Messergebnis gespeichert. Während der Messung wird für jeden Messpunkt Außentemperatur, Luftfeuchte und Bodenfeuchte gemessen, sowie Bemerkungen über gestörte Messungen notiert.



Abbildung 36: Penetrologger

#### 5.2.3.7. Infiltrationskapazität (ungesättigt)

Die ungesättigte Infiltrationskapazität kann auch als Infiltrationskapazität bezeichnet werden. Für die Wasserzufuhr zu einem terrestrischen und somit grundwasserfesten Boden sind die Niederschläge die überwiegende Quelle. Daneben kann vor allem der Zufluss von Oberflächenwasser vorkommen. Die Frage, wie groß der Anteil des Niederschlagwassers ist, der im Boden versickern kann, und daher auch, wie viel als Oberflächenwasser abläuft, kann mit Hilfe des Doppelringinfiltrometers gemessen und somit beantwortet werden (in Anlehnung an HARTGE, 1999). SCHLICHTING et al. (1995) beschreiben den methodischen Versuchsaufbau wie folgt:

Die Bestimmung der Versickerungsintensität mittels Doppelringinfiltrometer ist die Bestimmung mit Hilfe von zwei konzentrischen Stahlringen (Zylindern), wobei die Infiltration im inneren Ring mit bekannter Querschnittsfläche gemessen wird. Ein innerer Stahlring von 25 cm<sup>2</sup> - 100 cm<sup>2</sup> Querschnitt wird in den Boden gedrückt, so dass er ca. 4 –5 cm übersteht. Ein äußerer Ring mit wesentlich größerem Durchmesser von 30 – 50 cm wird ebenfalls in den Boden gedrückt und steht mindestens soweit über, wie der Innere. Beide Ringe werden nun gleich hoch mit Wasser befüllt, wobei die Wassermenge des inneren Ringes genau registriert

wird. Die aus dem inneren Ring infiltrierte Wassermenge wird in Abhängigkeit von der Zeit registriert. Je nach Verlauf der Infiltration sind die Zeitintervalle und Wassermengen so zu verändern, dass beide verlässlich gemessen werden können. Die Messung wird solange fortgesetzt, bis sich die Infiltration (Menge pro Zeit) nicht mehr ändert. Dieser Zeitpunkt tritt je nach Vorsättigung des Bodens nach 10 – 60 Minuten ein.

#### 5.2.3.8. Bodenfeuchtemessung

Zur Messung der Bodenfeuchte wird auf dem Versuchsfeld 1, auf der ersten Wiederholung jeder Bearbeitungsvariante, eine Bodenfeuchtesonde in 20cm Tiefe installiert. Diese Sonden arbeiten nach dem TDR-Prinzip.

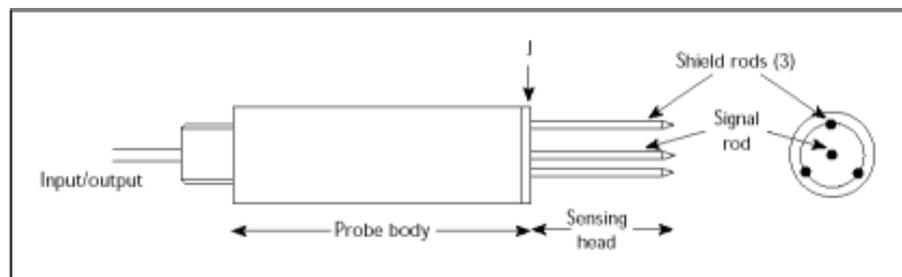


Abbildung 37: TDR-Sonde zur Bodenfeuchtemessung

Quelle: Miller, J.D. und G.J. Gaskin

Die Time Domain Reflectometry ist ein elektrotechnisches Verfahren, das für die Untersuchung von elektrischen Leitungen entwickelt wurde. Zu diesem Zweck wird ein Spannungsimpuls auf die Leitung geschickt. Der Impuls läuft entlang der Leitung und bildet um die Leitung eine elektromagnetische Welle. Die Time Domain Reflectometry (TDR) hat sich seit Ende der 70er Jahre ebenfalls als sehr zuverlässige und leicht zu handhabende Methode zur Messung der Materialfeuchte etabliert. Im Vergleich zu bisherigen Verfahren, wie zum Beispiel der Ofentrocknungsmethode, bietet die TDR-Methode die Möglichkeit einer sehr schnellen und nicht destruktiven Messung. Gegenüber der Neutronen-Moderation und der Gamma-Abschwächung ist die TDR-Messung wesentlich leichter zu handhaben. Grundlage für die Anwendung von TDR als Feuchtemesssystem bildet die folgende Gleichung:

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}}$$

Demnach ist die Geschwindigkeit  $c$  einer elektromagnetischen Welle im Vakuum gleich der Lichtgeschwindigkeit  $c_0$ . Außerhalb des Vakuums ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  nur von der relativen Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon_r$  und der magnetischen Permeabilität  $\mu_r$  des Materials, in dem sich die Welle ausbreitet, abhängig.

Letztere kann in nicht magnetischen Materialien gleich 1 gesetzt werden, so dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit nur von der relativen Dielektrizitätszahl abhängig ist. Zur Bestimmung der Dielektrizitätszahl muss also die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle entlang einer Leitung bekannter Länge  $l$  gemessen werden. Aus praktischen Gründen werden dafür zwei oder drei parallele Stäbe (TDR-Sonde) als Verlängerung einer Koaxial-Leitung in das zu messende Material eingebracht. Am Ende der Stäbe wird die Welle reflektiert und läuft die gleiche Strecke wieder zurück (2l). Mit der gemessenen Laufzeit  $t$  der Welle kann die Geschwindigkeit mit der folgenden Gleichung ermittelt werden und damit dann die Dielektrizitätskonstante berechnet werden:

$$c = \frac{2l}{t}$$

Aufgrund der hohen Dielektrizitätskonstanten (DK) von Wasser ( $\epsilon_r = 81$ ) und den sehr niedrigen DK von trockenen porösen Materialien ( $\epsilon_r < 5$ ), ist die DK von feuchten porösen Materialien in erster Linie eine Funktion des Wassergehaltes und damit prinzipiell bestimmbar.

#### 5.2.3.9. Bodentemperaturmessung

Im Rahmen der Erfassung der Klimadaten werden auf der ersten Wiederholung der Bodenbearbeitungsvarianten auf dem Versuchsfeld 1 jeweils drei Bodentemperaturmesssonden installiert. Diese werden in 3cm, 10cm und 20cm Tiefe in den ungestörten Boden eingebracht. Datenlogger für die Bodentemperatur und die Bodenfeuchte werden in einer Kunststoffbox im Versuchsfeld bodennah eingegraben, um vor Fremdeinwirkungen geschützt zu sein. Pro Bearbeitungsvariante wird ein Datenlogger benötigt. Das Messintervall beträgt 10 Minuten, das Logintervall beträgt 20 Minuten. Somit kommt es bei den gespeicherten Werten zu einer Mittelwertbildung von zwei Werten.



Abbildung 38: Messsonden zur Temperaturmessung

#### 5.2.3.10. Außentemperaturmessung

Für die Messung der Außentemperatur werden die unten abgebildeten Datalogger mit eingebautem Temperaturfühler eingesetzt. Der Vorteil dieser Temperatursensoren ist die einfache Bauweise sowie die damit verbundenen niedrigen Kosten. Des Weiteren können sie mit einem Einsatzspektrum bei Temperaturen von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $80^{\circ}\text{C}$  ohne Probleme in der Untersuchungsregion eingesetzt werden.



Abbildung 39: Außentemperatursensor

Quelle: GEMINI, 2001

Die Temperatursensoren werden ebenfalls auf der ersten Wiederholung der Bearbeitungsvarianten des Versuchsfeldes 1 in Bodennähe installiert, so dass sie die Temperatur im Pflanzenbestand direkt über dem Boden aufzeichnen. Als Mess- und Logintervall werden 24 Minuten eingestellt.

#### 5.2.3.11. Niederschlagsmessung

Das eingesetzte automatische Niederschlagsmessgerät arbeitet mit einem Wippenmesswerk, welches über einen Reed-Kontakt einen prellfreien Impuls erzeugt, wobei ein Impuls einer Regenmenge von  $0,1\text{mm}\cdot\text{m}^{-2}$  entspricht. Die Anzahl der Wippungen werden über zehn Minuten aufsummiert und dann im Datenlogger gespeichert.



Abbildung 40: Niederschlagsmessgerät

#### 5.2.4. Ökonomische Parameter

Ökonomische Gesichtspunkte sind bei einer Beurteilung verschiedener Bearbeitungsverfahren zur gleichen Zweckerfüllung, aber letztlich für jede aufwandserzeugende Bemühung geeignet um festzustellen, ob im Sinne einer Nutzenmaximierung vernünftig oder rational gehandelt wurde oder werden konnte. Somit sind Aufwand bzw. Kosten den möglichen Erträgen gegenüber zu stellen. Die methodische Vorgehensweise hierzu wird in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

##### 5.2.4.1. Kosten- und Leistungsrechnung

Die Kosten- und Leistungsrechnung hat zur Aufgabe, sowohl als Entscheidungshilfe bei der Planung und Kontrolle zu dienen, als auch Produktionsvorgänge zu dokumentieren ( nach Haberstock, 1997). Für den Verfahrensvergleich von Bodenbearbeitungssystemen nach ökonomischen Gesichtspunkten ist es unerlässlich die finanziellen Aufwendungen für Maschinen, Geräte sowie Arbeitskräfte, die zu einer ordnungsgemäßen Bewirtschaftung nötig sind, zu betrachten.

###### 5.2.4.1.1. Kostendefinition

Kosten sind (nach OLFERT 1999) allgemein der wertmäßige Verzehr von Produktionsfaktoren zur Erstellung und Verwertung betrieblicher Leistungen und zur Sicherung der dafür notwendigen Kapazitäten. In Analogie gilt ebenso, dass Kosten monetär bewertete Verbräuche von Gütern und Diensten zur Herstellung und zum Absatz von betrieblichen Leistungen sowie zur Aufrechterhaltung der dafür erforderlichen Kapazitäten sind (HUMMEL 1990).

###### 5.2.4.1.2. Leistungsdefinition

Die Definition der Leistung, als Gegenspieler der Kosten, ist der Wert des Prozessergebnisses, d.h. der bewertete mengenmäßige Output (Arentzen, 1988). Leistungen werden in diesem Zusammenhang oft durch den Begriff „Erlöse“ ersetzt. Unter dem Gesichtspunkt der Kostenrechnung ist die Unterscheidung zwischen absatzbestimmten, innerbetrieblichen Leistungen sowie öffentlicher Transferzahlungen von besonderer Bedeutung.

##### 5.2.4.2. Kostenrechnungssysteme

Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten die anfallenden Kosten zu ermitteln. In der Regel erfolgt ihre Differenzierung nach Zeitbezug bzw. nach Art und Umfang der Kostenverrechnung (Arentzen, 1988):

- Zeitbezogene Kostenrechnung
  - Istkostenrechnung
  - Normalkostenrechnung
  - Plankostenrechnung
- Nach Art und Umfang der Kostenverrechnung
  - Vollkostenrechnung
  - Teilkostenrechnung

Eine Kombination dieser beiden Kriterien ist für die Charakterisierung eines Kostenrechnungssystems erforderlich. Wie in folgender Tabelle dargestellt, ergeben sich somit theoretisch sechs mögliche Kostenrechnungssysteme.

Tabelle 15: Kostenrechnungssysteme

Zeitbezug ➤	Vergangenheit		Zukunft
Sachumfang und Art der Verrechnung ▼	Istkosten	Normalkosten	Plankosten
Vollkostenrechnung	Istkostenrechnung auf Vollkostenbasis	Normalkosten auf Vollkostenbasis	Plankostenrechnung auf Vollkostenbasis (starr und flexibel)
Teilkostenrechnung	Istkostenrechnung auf Teilkostenbasis	<b>Normalkosten auf Teilkostenbasis</b>	Plankostenrechnung auf Teilkostenbasis (=Grenzplankostenrechnung, Relative Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung)

Quelle: nach Haberstock (1997)

#### 5.2.4.2.1. Kostenrechnungssysteme nach Art und Umfang der Verrechnung

Die Vollkostenrechnung rechnet mit vollen Kosten, d.h., dass sämtliche Kostenarten auf die Kostenträger verrechnet werden. Für Einzelkosten geschieht dies direkt, für Gemeinkosten (unter Berücksichtigung der innerbetrieblichen Leistungsverflechtung) über die Kostenstellen (JossÉ, 2001). Sie widerspricht bezüglich der Gemeinkosten dem Verursachungsprinzip. Das Grundproblem bleibt die letztlich immer willkürliche Verteilung der Gemeinkosten, weshalb eine zusätzliche Teilkostenrechnung Sinn macht.

Die Teilkostenrechnung ist jedes Kostenrechnungssystem, das (im Gegensatz zur Vollkostenrechnung) einem Kalkulationsobjekt nur bestimmte Teile der gesamten Kosten zurechnet (JossÉ, 2001). Damit kann dem Verursachungsprinzip entsprechend Rechnung getragen werden, da die Kostenträger nur mit den Kosten belastet werden, die durch sie verursacht werden.

#### 5.2.4.2.2. Kostenrechnungssysteme nach Zeitbezug der Verrechnung

Istkosten sind alle Kosten die während einer Abrechnungsperiode anfallen, d.h. mit Ist-Preisen (Anschaffungspreisen) bewertete Ist-Verbrauchsmengen. Eine reine Istkostenrechnung ist jedoch in der Regel kaum durchführbar, da der Vollständigkeit halber stets bestimmte Kostenarten mit Durchschnitts- oder Plancharakter verrechnet werden müssen (HABERSTOCK, 1997). Die Kosten werden prinzipiell ohne Korrekturen und ohne Ausschaltung von Zufallsschwankungen auf die Kostenstellen und Kostenträger verrechnet. Somit ist eine Nachkalkulation möglich. Von Nachteil bei der Istkostenrechnung ist jedoch, dass sie keine wirksame Kostenkontrolle und Kostenanalyse ermöglicht und die Istwerte zudem oft von den Normalwerten abweichen (OLFERT, 1999).

Als Normalkosten bezeichnet man Kosten, die sich als Durchschnitt der Istkosten vergangener Perioden ergeben. Die Normalkostenrechnung (Durchschnittsbildung = Normalisierung der Kosten) verringert sowohl die Vor- als auch die Nachteile der Istkostenrechnung (HABERSTOCK, 1997).

Unter Plankosten versteht man Kosten, bei denen die Mengen und Preise der für eine geplante Aussaat benötigten Produktionsfaktoren geplante Größen sind (HABERSTOCK, 1997; OLFERT, 1999). In der flexiblen Plankostenrechnung (zu Vollkosten) werden die auftretenden Beschäftigungsänderungen (flexibel) angepasst. Dieses System erfordert bereits in der Kostenplanung eine Trennung der Kosten in fixe und variable Bestandteile (Kostenaufspaltung), anders ist keine sinnvolle Umrechnung der Plankosten von der Plan- auf die Istbeschäftigung möglich. Diese auf die Istbeschäftigung umgerechneten Plankosten bezeichnet man als Sollkosten. Durch Vergleich der Istkosten mit den Sollkosten, führt man eine Kostenkontrolle, den Soll-Ist-Vergleich, durch (HABERSTOCK, 1997). Dabei können Kostenabweichungen ermittelt werden (OLFERT, 1999).

#### 5.2.4.3. Auswahl des Kostenrechnungssystems

In der vorliegenden Arbeit werden vier verschiedene Verfahren der Bodenbearbeitung inklusive der Aussaat untersucht. Für die ökonomische Beurteilung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren ist es erforderlich, im Bereich der Direktkosten ausschließlich die Kosten der Pflanzenschutzmittel der abweichenden Pflanzenschutzmaßnahmen zu berücksichtigen und im Bereich der Arbeiterledigungskosten werden die jeweiligen Kosten für Maschine und Arbeitskraft der Bodenbearbeitung, der Aussaat und der abweichenden Pflanzenschutzmaßnahmen einbezogen. Somit kommt als Kostenrechnungssystem nach *Sachumfang und Art der Verrechnung* nur die Teilkostenrechnung in Frage. Sie verrechnet ausschließlich ausgewählte Teile der angefallenen Kosten auf die Kostenträger.

Dies führt bei der Auswahl des Kostenrechnungssystems bezüglich des *Zeitbezuges* zu der Form der Normalkostenrechnung.

Die Kombination von Teilkostenrechnung und Normalkosten führt nach der angewandten Nomenklatur zu dem anzuwendenden Kostenrechnungssystem der Normalkostenrechnung auf Teilkostenbasis. Die so ermittelten Teilkosten je Hektar werden zu ihrer Beurteilung ins Verhältnis zu den Erträgen in Dezitonnen des Produktionsverfahrens gestellt.

#### 5.2.4.3.1. Kapitalbedarf für Investitionen

Anschaffungskosten sind im Allgemeinen Aufwendungen, die geleistet werden, um einen Vermögensgegenstand zu erwerben und ihn in einen betriebseigenen Zustand zu versetzen, soweit sie dem Vermögensgegenstand einzeln zugeordnet werden können. Der Kapitalbedarf für Investitionen setzt sich aus dem Anschaffungspreis und den Anschaffungsnebenkosten (z.B.: Maklergebühr, Provisionen, etc.) zusammen. Bei Anschaffungspreis unterscheidet man zwischen Neuwert (Neumaschine) und Verkehrswert (Gebrauchtmachine). Bei abnutzbaren Wirtschaftsgütern bilden die Anschaffungskosten die Grundlage für die Höhe der Abschreibungen (nach Arentzen, 1988). Die Anschaffungskosten werden für die eingesetzten Geräte, sofern vorhanden, nach Listenpreis oder nach KTBL-Daten ermittelt.

#### 5.2.4.3.2. Betriebsstoffkosten

Betriebsstoffkosten sind Kosten für Stoffe, die, ohne selbst in die Produkte einzugehen, zur Durchführung des Bearbeitungs- oder Fertigungsprozesses benötigt werden. Als wesentliche Positionen sind hier Kosten für Kraftstoff und Schmierstoffe zu nennen.

#### 5.2.4.3.3. Wartungs- und Reparaturkosten

Wartungskosten sind Kosten der Reinigung, Pflege und laufenden Instandhaltung von Geräten, Maschinen und maschinellen Anlagen aller Art. Wartungskosten sind Teil der Instandhaltungskosten. Reparatur- oder Instandhaltungskosten sind Kosten zur Erhaltung der Betriebsanlagen in einsatzfähigem Zustand. Entsprechend dem Instandhaltungsbegriff nach DIN 31051 „Kosten für Wartungs- (Wartungskosten), Inspektions- (Inspektionskosten) und Instandsetzungsmaßnahmen (Instandsetzungskosten)“ bzw. nach dem Ziel der einzelnen Maßnahmentearten differenziert man in Kosten für anlagenbezogene Verschleißbeobachtung, Verschleißhemmung und Verschleißbeseitigung (nach ARENTZEN, 1988).

#### 5.2.4.3.4. Abschreibungen

Als Abschreibung wird im engeren Sinne der Betrag bzw. die Methode zur Ermittlung des Betrages bezeichnet, der bei Gegenständen des Anlagevermögens, die im Laufe der Nutzungsdauer durch Nutzung im Wert gemindert werden, diesen Werteverlust erfassen soll und dementsprechend in der Gewinn- und Verlustrechnung als Aufwand (bzw. in der Kostenrechnung als Kosten) erscheint. Die Abschreibungsfähigkeit bezieht sich im ursprünglichen Sinne nur auf abnutzbare Gegenstände des Anlagevermögens, die sowohl materieller wie immaterieller Art (z.B.: Lizenzen, Patente, etc.) sein können, wobei die aktivierten Anschaffungs- oder Herstellungskosten (nach deutschem Recht) entsprechend der voraussichtlichen betrieblichen Nutzungsdauer jedes Jahr um einen bestimmten Teilbetrag zur Erfassung des in der Rechnungsperiode an dem einzelnen Vermögensgegenstand eingetretenen Werteverzehr gekürzt werden (nach ARENTZEN, 1988).

In der vorliegenden Arbeit wird zwischen zwei Abschreibungsarten ausgewählt.

- Lineare Abschreibung
- Leistungsbezogene Abschreibung

Die lineare Abschreibung wird eingesetzt wenn die bearbeitete Fläche pro Jahr ( $A_a$ ) kleiner der Gesamtfläche ( $A_{ges}$ ) welche die Maschine leisten kann dividiert durch die Nutzungsdauer ( $t_N$ ) ist.

$$A_a < A_{ges} \cdot t_N^{-1}$$

Es wird leistungsbezogen abgeschrieben, wenn die bearbeitete Fläche pro Jahr ( $A_a$ ) größer oder gleich der Gesamtfläche ( $A_{ges}$ ) welche die Maschine leisten kann dividiert durch die Nutzungsdauer ( $t_N$ ) ist.

$$A_a \geq A_{ges} \cdot t_N^{-1}$$

#### 5.2.4.3.5. Ertrag

Als Ertrag sind in der Betriebswirtschaftslehre alle von einer Unternehmung in einer Periode der Erstellung von Gütern oder Dienstleistungen zugerechneten Einnahmen definiert (nach ARENTZEN, 1988).

Somit stellen die Erntemengen der einzelnen Versuchsvarianten den Ertrag der jeweiligen Versuchsanstellung dar. Wird der Ertrag der Varianten nun mit dem jeweils zu erzielenden Marktpreis multipliziert, so erhält man den Erlös der Variante. Der Erlös wird ermittelt indem der durchschnittliche Ertrag der einzelnen Varianten mit dem tatsächlich erzielten Marktpreis

bzw. dem Veredelungswert multipliziert wird. Da der Marktpreis jedoch großen Schwankungen unterworfen ist, wird in dieser Arbeit darauf verzichtet die Erlöse zu berechnen. Um eine regionale Vergleichbarkeit herzustellen müssten weiterhin die absoluten Ertragsunterschiede der einzelnen Versuchsstandorte in Relation zueinander gestellt werden.

#### 5.2.4.3.6. Teilkosten der Produkteinheit

Als Teilkosten der Produkteinheit sind die methodisch ausgewählten Verfahrenskosten pro Dezitonne zu berechnen. Somit entsteht eine absolute Kostendifferenz zwischen den Verfahrenen.

Folgende Formel gibt die Berechnung der Teilkosten  $K_T$  der Variante X wieder.

$$K_{X T} = \sum K_{X \text{ Dir}} + \sum K_{X A} = \left( K_{X \text{ PS}} + K_{X \text{ Z(Dir)}} \right) + \left( K_{X N} + K_{X \text{ Z(A)}} + K_{X \text{ VS}} + K_{X R} + K_{X B} + K_{X \text{ Lohn}} \right)$$

$K_{X T}$  = Teilkosten der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X \text{ Dir}}$  = Direkte Kosten der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X A}$  = Arbeitserledigungskosten der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X \text{ PS}}$  = Kosten der zusätzlichen Pflanzenschutzmaßnahme der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X \text{ Z(Dir)}}$  = zusätzlicher Zinsansatz Feldinventar der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X N}$  = Abschreibungskosten der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X \text{ Z(A)}}$  = Kosten des für die Arbeitserledigung eingesetzten Kapitals der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X \text{ VS}}$  = Kosten für Versicherungen der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X R}$  = Kosten für Reparaturen der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X B}$  = Kosten für Betriebsstoffe der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

$K_{X \text{ Lohn}}$  = Lohnkosten der Variante X [ $\text{€} * \text{ha}^{-1}$ ]

## 6. Ergebnisse und Analyse

### 6.1. Verfahrenstechnische Ergebnisse

Als verfahrenstechnische Ergebnisse sind der Leistungsbedarf, Kraftstoffbedarf, die Flächenleistung, Schlagkraft, Bodenbelastung sowie Wartungsintensität zu nennen. Die Ergebnisse hierzu sind nachfolgend aufgeführt. Statistiken mit sowohl minimalem wie maximalen Werten, als auch Standardabweichungen für die jeweilige Fragestellung, sind im Anhang der Arbeit zu ersehen. In folgender Tabelle sind die klimatischen Bedingungen zum Bearbeitungszeitpunkt aufgeführt. Für das Jahr 2000 erfolgten keine Messungen der Bodenfeuchte. Aus der erachteten Notwendigkeit, diese aufzunehmen, wurde für die Versuchsjahre 2001 und 2002 die erforderliche Messtechnik beschafft.

Tabelle 16: Bedingungen zum Bearbeitungszeitpunkt

	Bodenfeuchte [Vol%]	Luftfeuchte [%]	Temperatur [°C]
D01	38,29	68,08	15,88
D02	37,47	53,00	16,00
FS01	37,49	65,43	16,77
FS02	37,02	53,00	16,00
FR01	32,81	67,97	15,87
FR02	29,97	53,00	16,00
P01	27,10	71,27	15,13
P02	37,47	53,00	16,00

#### 6.1.1. Eingriffsintensität und Effizienz der Leistungstransformation

In diesem Kapitel werden die verfahrensspezifischen Eigenschaften dargestellt. Hierzu sind Abbildung 11, Abbildung 41 sowie Tabelle 9 erklärend zu verstehen.

##### 6.1.1.1. Verfahren Pflug

Das Verfahren Pflug hat in Bezug auf die Eingriffsintensität den höchsten Einfluss auf das Bodengefüge. Durch die wendende Primärbodenbearbeitung wird das Bodengefüge bis auf 25 cm Krumentiefe gelockert. Die Sekundärbodenbearbeitung einer Kreiselegge, durchmischt und ebnet den bearbeiteten Horizont bis in eine Tiefe von etwa 10 cm ein. Da es sich bei der Kreiselegge um ein Gerät mit aufgesattelter Kastensämaschine handelt, wird die Saat bei diesem Arbeitsgang mit erledigt.

#### 6.1.1.2. Verfahren Flügelschargrubber mit Zinkenrotor

Bei dem Verfahren FR lockern drei Flügelschare den Boden durch Anheben in 25 cm Tiefe, um ihn anschließend mit dem Zinkenrotor in 10 cm zu durchmischen und zu zerkleinern. Durch die Verminderte Primärbodenbearbeitung kann hier ebenso von einer Verminderung der Eingriffsintensität gesprochen werden. Im gleichen Arbeitsgang der Bodenbearbeitung erfolgt bei dieser Maschine die Aussaat über eine pneumatische Drillmaschine mit Scheibenscharen.

#### 6.1.1.3. Verfahren Frässaat

Die Eingriffsintensität des Frässaatverfahrens beschränkt sich auf das flächige Bearbeiten des Saathorizonts in gewünschter Ablagetiefe der zu säenden Frucht. Mit der Fräswelle wird diese Bodenschicht abgehobelt und hinter die Säschiene geworfen. Dies bezieht sich auf das im ersten Versuchsjahr verwendete Verfahren. Bei dem Frässaatverfahren der Versuchsjahre 2001 und 2002 werden fünf bis sechs cm Tiefe. Der entstehende Erdstrom wird durch eine nachlaufende Walze geteilt, wodurch der Hauptteil der abgefrästen Erde vor der Walze zum liegen kommt und durch diese rückverfestigt wird. Der Rest des Erdstroms kommt hinter der Säschiene zum liegen und deckt das Saatgut ab. Dieses Verfahren arbeitet mit einer pneumatischen Drillmaschine mit einer Breitsaattechnik. Bei diesem Verfahren entfällt somit die Primärbodenbearbeitung.

#### 6.1.1.4. Verfahren Direktsaat

Den geringsten Eingriff in den Boden hat unter den vier untersuchten Verfahren das Verfahren Direktsaat. Dieses Verfahren kommt völlig ohne Bodenbearbeitung aus. Hier werden ausschließlich Saatschlitz mit Hilfe der Meißelschare in den Boden geritzt, in die vor dem Zudrücken mit einem Gitterrad das Saatgut abgelegt wird. Am Ende der Maschine läuft ein rotierender, hydraulisch angetriebener Striegel zur Verteilung der Pflanzenreste der Vorfrucht.

#### 6.1.2. Leistungsbedarf

Der Leistungsbedarf setzt sich bei allen Varianten aus Drehleistung und Zugleistung zusammen. Er wird in Tabelle 17 sowohl als Gesamtleistung pro Variante bzw. pro Arbeitsgang als auch als Leistungsbedarf je Meter Arbeitsbreite (mAB) ausgewiesen.

Wie aus der nachfolgenden Tabelle zu ersehen ist, erweist sich bei den Messungen des Leistungsbedarfs, bezogen auf den Meter Arbeitsbreite, die Direktsaat mit Werten zwischen

12,14 und 12,94 kW\*mAB<sup>-1</sup> über alle Versuchsjahre als vorzügliches Verfahren. Die Steigerung des Leistungsbedarfs, im Vergleich der beiden Messjahre, ist in erster Linie mit der Änderung der Bodenbeschaffenheit zu begründen. Die Variante FS liegt im Bereich zwischen 16,09 und 16,33 kW\*mAB<sup>-1</sup>. Der Wert im Versuchsjahr 2000 ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Messungen mit einer anderen Frässtechnik mit 2,5 m Arbeitsbreite durchgeführt wurden.

Tabelle 17: Leistungsbedarf der Varianten

	<b>Drehleistung</b>	<b>Zugleistung</b>	<b>Gesamtleistung</b>	<b>Drehleistung</b>	<b>Zugleistung</b>	<b>Gesamtleistung</b>
	<b>P[kW]</b>	<b>P[kW]</b>	<b>P[kW]</b>	<b>P[kW*mAB<sup>-1</sup>]</b>	<b>P[kW*mAB<sup>-1</sup>]</b>	<b>P[kW*mAB<sup>-1</sup>]</b>
<b>D00-MW</b>	3,18	33,23	36,41	1,06	11,08	12,14
<b>D01-MW</b>	6,31	31,37	37,68	2,10	10,46	12,56
<b>D02-MW</b>	4,48	34,24	38,82	1,49	11,41	12,94
<b>FS00-MW</b>	42,05	-7,64	34,39	14,02	-2,55	13,76
<b>FS01-MW</b>	46,77	2,23	48,99	15,59	0,74	16,33
<b>FS02-MW</b>	46,16	2,10	48,28	15,39	0,70	16,09
<b>FR00-MW</b>	36,57	45,64	82,23	14,63	18,25	32,89
<b>FR01-MW</b>	47,22	21,52	68,73	18,89	8,61	27,49
<b>FR02-MW</b>	40,27	29,18	69,42	16,11	11,67	27,77
<b>P00-MW</b>	47,71	66,05	113,52	15,90	36,17	52,00
<b>P01-MW</b>	36,87	47,79	84,66	12,29	26,79	39,08
<b>P02-MW</b>	36,21	36,48	72,69	12,07	19,73	31,80
<b>P<sub>p</sub>00-MW</b>	0	48,54	48,54	0	30,34	30,34
<b>P<sub>p</sub>01-MW</b>	0	37,24	37,24	0	23,28	23,28
<b>P<sup>p</sup>02-MW</b>	0	25,94	25,94	0	16,21	16,21
<b>KE00-MW</b>	47,71	17,50	64,98	15,90	5,83	21,66
<b>KE01-MW</b>	36,87	10,55	47,42	12,29	3,52	15,81
<b>KE02-MW</b>	36,21	10,53	46,75	12,07	3,51	15,58

Das Prinzip der Frässtechnik mit ihrer sich in Fahrtrichtung drehenden Fräswelle, hat jedoch die Eigenschaft, eine schiebende Wirkung auf die Zugmaschine auszuüben. Somit ist eine Leistungssteigerung von 30% vor allem der um 0,5 m größeren Arbeitsbreite zuzurechnen.

Das Verfahren FR liegt mit der Leistung je Meter Arbeitsbreite zwischen 32,89 kW\*mAB<sup>-1</sup> und 27,49 kW\*mAB<sup>-1</sup>. Die Variante P hat aufgrund ihrer zwei Arbeitsgänge in beiden Versuchsdurchgängen mit Werten zwischen 31,8 und 52,00 kW\*mAB<sup>-1</sup> den höchsten Leistungsbedarf. Problematisch hierbei wirkt sich aus, dass im Jahr 2001 die Primärbodenbearbeitung aus Zeitgründen (Witterungsbedingungen) nicht gemessen werden konnte. Für P<sub>p</sub>01-MW wurden Mittelwerte aus den Versuchsjahren 2000 und 2002 gebildet, um die Sekundärbodenbearbeitung KE bzw. das Gesamtverfahren P in diesem Jahr als Vergleichsgrundlage zu erhalten.

## 6.1.3. Kraftstoffbedarf

Die Messung des Kraftstoffbedarfes erfolgte während der Leistungsmessungen mittels des oben genannten Durchflussmesssystems. In Tabelle 18 sind die erfassten Volumina, bezogen auf eine Stunde, einen Hektar sowie eine Kilowattstunde zu ersehen, sowie die Masse Kraftstoff je Kilowattstunde.

Tabelle 18: Kraftstoffbedarf der Varianten

	Kraftstoff	Kraftstoff	Kraftstoff	Kraftstoff
	V[l*h <sup>-1</sup> ]	V[l*ha <sup>-1</sup> ]	V[l*kwh <sup>-1</sup> ]	V[g*kwh <sup>-1</sup> ]
<b>D00-MW</b>	23,06	5,79	0,63	530,15
<b>D01-MW</b>	19,93	6,99	0,53	442,19
<b>D02-MW</b>	19,55	5,84	0,51	421,76
<b>FS00-MW</b>	32,64	14,81	0,95	797,25
<b>FS01-MW</b>	20,91	8,47	0,43	357,07
<b>FS02-MW</b>	20,53	8,64	0,43	355,32
<b>FR00-MW</b>	24,46	15,26	0,30	248,64
<b>FR01-MW</b>	26,49	22,78	0,39	321,60
<b>FR02-MW</b>	26,30	25,08	0,38	318,89
<b>P00-MW</b>	51,66	38,91	0,93	779,93
<b>P01-MW</b>	42,07	33,67	1,17	767,39
<b>P02-MW</b>	37,84	29,33	1,12	935,71
<b>P<sub>p</sub>00-MW</b>	23,72	22,87	0,50	421,08
<b>P<sub>p</sub>01-MW</b>	20,30	19,35	0,59	280,72
<b>P<sub>p</sub>02-MW</b>	16,89	15,84	0,67	560,94
<b>KE00-MW</b>	27,94	16,04	0,43	358,85
<b>KE01-MW</b>	21,76	14,32	0,58	486,66
<b>KE02-MW</b>	20,95	13,49	0,45	374,77

Bezogen auf den Kraftstoffbedarf je Hektar liegen die Verbräuche der Direktsaatvariante zwischen 5,79 und 6,99 Litern an erster Stelle. Das Verfahren FS liegt mit Werten zwischen 8,47 l\*ha<sup>-1</sup> und 14,81 l\*ha<sup>-1</sup> an zweiter Stelle, gefolgt vom Verfahren FR mit Werten zwischen 15,26 l\*ha<sup>-1</sup> und 25,08 l\*ha<sup>-1</sup>. Die Variante P liegt mit einem Verbrauch pro Hektar von 40,2 bzw. 37,2 Litern an letzter Stelle. Je Kilowattstunde ergibt sich für die einzelnen Verfahren eine andere Reihenfolge. Führend mit Werten zwischen 0,30 l\*kwh<sup>-1</sup> und 0,39 l\*kwh<sup>-1</sup> ist hier das Verfahren FR aufgrund seines bereits beschriebenen Leistungsbedarfs. An zweiter Stelle liegt das Verfahren FS (außer im Jahr 2000, vgl. Problematik Leistungsbedarf) mit Werten von 0,43 l\*kwh<sup>-1</sup>. An dritter Stelle folgt das Verfahren D mit Werten zwischen 0,51 l\*kwh<sup>-1</sup> und 0,63 l\*kwh<sup>-1</sup>. Das Verfahren P belegt auch hier aufgrund der zwei Arbeitsgänge mit Werten zwischen 0,93 l\*kwh<sup>-1</sup> und 1,17 l\*kwh<sup>-1</sup> den letzten Platz.

#### 6.1.4. Arbeitsgeschwindigkeit und Schlupf

Die durchschnittlichen Arbeitsgeschwindigkeiten der Messfahrten sind für die einzelnen Jahre in der folgenden Tabelle 19 aufgeführt. Es wurde für alle Geschwindigkeiten jeweils die ermittelte momentane wahre Wegstrecken des Radarsensors durch die momentane gemessene Zeitdauer dividiert sowie von  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  in  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  umgerechnet und als Datengrundlage verwendet. Die Statistiken zu den gemessenen Werten sind im Anhang ersichtlich.

Tabelle 19: Arbeitsgeschwindigkeiten der Messfahrten

	<b>D</b>	<b>FS</b>	<b>FR</b>	<b>P<sub>p</sub></b>	<b>KE</b>
<b>v [<math>\text{km}\cdot\text{h}^{-1}</math>] 2000</b>	13,31	8,47	6,41	6,70	5,79
<b>v [<math>\text{km}\cdot\text{h}^{-1}</math>] 2001</b>	9,45	8,18	4,57	6,68	5,07
<b>v [<math>\text{km}\cdot\text{h}^{-1}</math>] 2002</b>	11,24	7,91	4,28	6,66	5,19
<b>v [<math>\text{km}\cdot\text{h}^{-1}</math>] MW</b>	11,33	8,19	5,08	6,68	5,35

Die Variante D hat mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von  $13,31 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  im Jahr 2000 und mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von  $11,33 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  über alle Versuchsjahre die höchste Arbeitsgeschwindigkeit. Die Durchschnittsgeschwindigkeit des Verfahrens FS beträgt über alle Versuchsjahre  $8,19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . An dritter Stelle steht die Primärbodenbearbeitung des Verfahrens P mit einer mittleren Geschwindigkeit von  $6,68 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  über alle Versuchsjahre. Die Sekundärbodenbearbeitung und Aussaat (KE) des Verfahrens P liegt mit einer mittleren Geschwindigkeit von  $5,36 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  an vierter Position. Die niedrigste Arbeitsgeschwindigkeit mit  $5,08 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  über alle Versuchsjahre erreicht das Verfahren FR. Zu berücksichtigen ist hierbei jedoch, dass für das gesamte Verfahren P keine zusammengefassten Werte existieren.

Die Werte des Schlupfes der einzelnen Versuchsjahre sowie im Mittel über alle Jahre sind in folgender Tabelle 20 aufgeführt.

Tabelle 20: Schlupfwerte der Messfahrten

	<b>D</b>	<b>FS</b>	<b>FR</b>	<b>P<sub>p</sub></b>	<b>KE</b>
<b>Schlupf [%] 2000</b>	14,51	11,31	17,49	8,42	14,29
<b>Schlupf [%] 2001</b>	9,39	8,06	11,76	9,86	9,53
<b>Schlupf [%] 2002</b>	11,31	9,39	14,12	11,30	10,56
<b>Schlupf [%] –MW</b>	11,73	9,58	14,46	9,86	11,46

Die Schlupfwerte sind in Verbindung mit der Arbeitsgeschwindigkeit und der Bodefeuchte zum Bearbeitungszeitpunkt zu sehen. Mit mittleren Schlupfwerten von 9,58% weist die Fräs-saat aufgrund ihrer schiebenden Arbeitsweise den geringsten Schlupf auf. Im Jahr 2002 weisen sowohl die Direktsaat als auch die Primärbodenbearbeitung des Verfahren P nahezu identische Schlupfwerte auf wobei als Begründung für die Direktsaat die Arbeitsgeschwindigkeit, für die Bearbeitung mit dem Pflug aber dessen Zugkraftbedarf, im Vordergrund steht. Die Sekundärbodenbearbeitung des Verfahrens Pflug weist einen mittleren Schlupf von 11,46% und das Verfahren FR einen mittleren Schlupf von 14,46% auf.

#### 6.1.5. Schlagkraft

Die bearbeitete Fläche je Arbeitskraftstunde ist sehr stark abhängig von der Feldkonfiguration sowie den Schlaggrößen. In Tabelle 21 ist die Schlagkraft unter optimalen Bedingungen und unter real angetroffenen Bedingungen aufgestellt. „Optimal“ heißt in diesem Zusammenhang, dass die Anzahl der Wendungen, die benötigt werden, um einen Hektar zu bearbeiten, gegen Null gehen. „Real“ hätten aber zwischen 37 und 106 Wendungen gefahren werden müssen, um einen Hektar zu bestellen (Ausgangsgröße: 90m Schlaglänge). Somit gehen Wendezeiten in die Bearbeitungszeit ein, welche insbesondere bei großen Maschinenlängen sowie beengten Wendemöglichkeiten ins Gewicht fallen. Für die jährliche Flächenleistung und somit für die Auslastung der Maschinen im Rahmen der ökonomischen Betrachtungen werden die einzelbetrieblichen Flächenbegrenzungen außer Acht gelassen. Herauszustellen gilt es hierbei, dass die Flächenleistungen jeweils für das Gesamtverfahren ausgewiesen sind. Somit bezieht sich die Flächenleistung bei dem Verfahren Pflug auf Bodenbearbeitung und Aussaat.

Tabelle 21: Schlagkraft unter optimalen und realen Bedingungen

	D			FS			FR			P		
	00	01	02	00	01	02	00	01	02	00	01	02
<b>Flächenleistung opt. [ha*h<sup>-1</sup>]</b>	3,41	2,82	3,35	1,95	2,47	2,38	1,32	1,14	1,05	1,36	1,25	1,31
<b>Flächenleistung real [ha*h<sup>-1</sup>]</b>	0,68	0,65	0,67	0,69	0,74	0,74	0,56	0,53	0,51	0,54	0,52	0,53
<b>Anzahl Wendungen je Hektar</b>	<b>37</b>			<b>37</b>			<b>44</b>			<b>106</b>		

#### 6.1.6. Flächenleistung

Die mögliche, jährliche Flächenleistung der einzelnen Verfahrensvarianten werden durch die Flächenleistung je Arbeitskraftstunde (vgl. Kap.6.2.5) sowie durch die Feldarbeitstage in der Zeit der Aussaat bestimmt. Die auf den Untersuchungsbetrieben vorherrschenden klimati-

schen Bedingungen entsprechen der Klimazone 5 für Betrieb 2, bzw. Klimazone 6 für Betrieb 1 (KTBL, 1998). Dies bedeutet für mittelschwere Böden einen Zeitraum zwischen 83 und 104 Feldarbeitstagen, an denen Arbeiten der Anspruchsstufe 2 durchgeführt werden können. Zu den Arbeiten der Anspruchsstufe 2 zählen u.a. die Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung sowie Aussaat. In Tabelle 22 sind die verfügbaren Feldarbeitstage in Halbmonatsschritten aufgelistet.

Tabelle 22: Verfügbare Feldarbeitstage zur Bodenbearbeitung und Aussaat

Halbmonat	Klima 5 (m)	Klima 6 (m)	Halbmonat	Klima 5 (m)	Klima 6 (m)
März 1	0	0	Juli 2	7	9
März 2	0	0	August 1	8	9
April 1	1	2	August 2	7	9
April 2	4	6	September 1	7	9
Mai 1	6	7	September 2	8	9
Mai 2	7	8	Oktober 1	5	6
Juni 1	7	8	Oktober 2	2	4
Juni 2	6	8	November 1	0	1
Juli 1	8	9	November 2	0	0

m = mittelschwere Böden

Somit ergeben sich für den Zeitraum der Bodenbearbeitung und Aussaat für die unterschiedlichen Früchte die in der Tabelle 23 dargestellten Feldarbeitstage und Zeitspannen.

Tabelle 23: Zeitspannen für Bodenbearbeitung und Aussaat ausgewählter Feldfrüchte

Fruchtart	Klimagebiet	Zeitspanne der Aussaat	Verfügbare Feldarbeitstage innerhalb der Zeitspanne	
			5	6
Hafer		März 2 – April 2	5	8
Sommergerste		März 1 – April 1	1	2
Silomais		April 2 – Mai 1	10	13
Winterraps		August 1 – August 2	15	18
Wintergerste		August 2 – Oktober 1	27	33
Triticale		September 1 – Oktober 2	20	28
Winterweizen		September 2 – November 1	15	20
<b>gesamt über Sommerung</b>		März 1 – Mai 1	11	15
<b>gesamt über Winterung</b>		August 1 – November 1	37	47
<b>gesamt pro Jahr</b>			48	62

Für die unterschiedlichen Mechanisierungsvarianten ergeben sich somit rechnerisch die in Tabelle 24 dargestellten möglichen Flächenleistungen pro Jahr, wenn man von einer Arbeitszeit von acht Stunden pro Tag ausgeht und die Flächenkonfiguration keine Restriktionen auferlegt.

Tabelle 24: „Optimale“ jährliche Flächenleistungen der Bearbeitungsvarianten

Variante	Schlagkraft [ $\text{ha} \cdot \text{d}^{-1}$ ]	Bodenbearbeitungs- und Saattage [d]		Jährliche Flächenleistung [ $\text{ha} \cdot \text{a}^{-1}$ ]	
		Klima 5	Klima 6	Klima 5	Klima 6
<b>P</b>	7,85	48	62	376	486
<b>FR</b>	10,56			506	654
<b>FS</b>	19,76			948	1225
<b>D</b>	27,28			1309	1691

Die Differenz der „optimalen“ (vgl. 6.2.5) Flächenleistung innerhalb der Klimagebiete fällt mit 376,56 bzw. 486,39 ha bei der Variante P, im Vergleich zu 1309,4 bzw. 1691,36 ha bei der Variante D, deutlich zu Gunsten der minimalen Bestelltechnik aus.

Unter tatsächlichen Bedingungen, wie ungünstige Schlagkonfigurationen bzw. –größen, reduzieren sich die möglichen Flächenleistungen auf die in Tabelle 25 dargestellten Werte (vgl. auch 6.2.5), wobei herauszustellen ist, dass Wendezeiten in diesem Zusammenhang nicht nur von maschinenbedingten Parametern abhängen, sondern das Gesichtspunkte wie z.B. Fahreigenschaften in die Dauer der Wendung mit eingehen.

Tabelle 25: „Reale“ jährliche Flächenleistung bei gegebener Schlagkonfiguration

Variante	Schlagkraft [ $\text{ha} \cdot \text{d}^{-1}$ ]	Bodenbearbeitungs- und Saattage [d]		jährliche Flächenleistung [ $\text{ha} \cdot \text{a}^{-1}$ ]	
		Klima 5	Klima 6	Klima 5	Klima 6
<b>P</b>	3,36	48	62	161	208
<b>FR</b>	4,36			207	267
<b>FS</b>	5,72			274	354
<b>D</b>	5,32			255	329

#### 6.1.7. Bodenbelastung und Fahrspuranteil

Verfahren unterschiedlicher Bodenbearbeitungsintensitäten beanspruchen den Boden während der Stoppelbearbeitung sowie der Primär- und Sekundärbodenbearbeitung in unterschiedlicher Weise. Betrachtet man die beiden Varianten P und D, so ergibt sich hinsichtlich der zurückgelegten Fahrtstrecke pro Hektar eine Differenz von über acht Kilometer, wobei insbesondere bei der Pflugvariante durch das Fahren in der Pflugfurche in 25 cm Bodentiefe hier eine Strecke von rund drei Kilometern zurückgelegt wird. Somit wird im Gegensatz zur

Direktsaat der Boden auf der Krumbasis durch das anteilige Gewicht der Zugmaschine belastet (vgl. Kap. 5.2.1.9). Der Anteil der Fahrspuren je Hektar für das Gesamtverfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung verdeutlicht, dass beim konventionellen Pflugverfahren nahezu 153% der Fläche mit Fahrspuren belegt wird. Nahezu 36% davon entfallen wiederum auf das Befahren der Krumbasis. Durch die Anwendung der Direktsaat bei drei Meter Arbeitsbreite reduziert sich dieser Anteil auf rund 59% im besten Fall. Durch die schmalere Bereifung des Frässaatverfahrens reduziert sich dieser Wert auf 58%.

Tabelle 26: Belastungsparameter (best case)

	Gesamtgewicht	Fahrtstrecke	Fahrtstrecke in 20cm Tiefe	Fahrspuren	Fahrspuranteil je ha	Fahrspuranteil in 20cm Tiefe je ha
P	24,44 t	12,55 km	5,88 km	1,53 ha	153,10 %	35,88 %
FR	10,00 t	7,33 km		0,89 ha	89,47 %	
FS	8,35 t	3,33 km		0,58 ha	58,00 %	
D	8,80 t	3,33 km		0,59 ha	59,33 %	

Berechnet man die Belastungsparameter nach der größten möglichen Belastung, so ergeben sich die in Tabelle 27 dargestellten Werte. Für die Variante P bedeutet dies einen Fahrspuranteil je ha von 163,26%. Für die Variante D steigt der Fahrspuranteil auf 81% an. Dies ist vor allem mit der voll eingehenden Reifenbreite der Maschine von 0,45m zu erklären.

Tabelle 27: Belastungsparameter (worst case)

	Gesamtgewicht	Fahrtstrecke	Fahrtstrecke in 20cm Tiefe	Fahrspuren	Fahrspuranteil	Fahrspuranteil in 20cm Tiefe
P	32,44 t	13,38 km	5,88 km	1,63 ha	163,26 %	35,88 %
FR	19,10 t	8,17 km		1,00 ha	99,63 %	
FS	10,65 t	4,17 km		0,68 ha	68,17 %	
D	18,80 t	4,17 km		0,81 ha	80,83 %	

Es ist hierbei anzumerken das die Problematik der Bodenbelastung durch Maschinengewichte und Reifenbeschaffenheiten in dieser Arbeit nicht ausführlicher behandelt werden konnte. Es ist weiterhin herauszustellen, das große Teile der jeweiligen Maschinengewichte vom Verfahren erwünscht bzw. sogar benötigt werden, um die gewünschte Arbeitsqualität zu erreichen und somit eine Bewertung der ermittelten Parameter in Form eines Belastungsindex hier nicht erstrebenswert ist.

### 6.1.8. Wartungsintensität

Im Rahmen der Untersuchungen ist festzustellen, dass Bodenbearbeitungsgeräte mit abnehmender Intensität des Eingriffes in den Boden einem geringeren Verschleiß unterworfen sind. Hierbei ist hervorzuheben, dass die Verfahrensvariante P mit zwei notwendigen Arbeitsgängen sowie durch die wendende Grundbodenbearbeitung, als auch der Sekundärbodenbearbeitung mit zapfwellengetriebenen Werkzeugen, einem relativ hohen Verschleiß unterliegt und somit die Wartungshäufigkeit zunimmt. Die Variante FR hat aufgrund ihrer Bearbeitungstiefe der Sekundärbodenbearbeitung von 10 cm sowie des zapfwellengetriebenen Zinkenrotors einen niedrigeren Verschleiß. Angesichts der geringen Bearbeitungstiefe birgt die Variante FS trotz ihrer zapfwellengetriebenen Arbeitsweise einen weitaus niedrigeren Verschleiß. Durch die fehlende Bodenbearbeitung des Verfahrens D beschränkt sich der Verschleiß dieser Variante auf die Abnutzung der Meißelschare, welche den Saatschlitz ziehen. Bei allen Varianten spielen die Bodenbeschaffenheit sowie die Mächtigkeit des Bearbeitungshorizontes in Bezug auf den Werkzeugverschleiß eine entscheidende Rolle. Bei sandigen sowie sehr steinigem Böden erhöht sich der Verschleiß um ein Vielfaches. Reguläre Wartungsintervalle von acht Betriebsstunden sind bei allen vier Varianten zu beachten, um außerplanmäßige Reparaturen zu vermeiden. In Abbildung 41 sind die Wartungsintensitäten der einzelnen Varianten schematisch dargestellt.

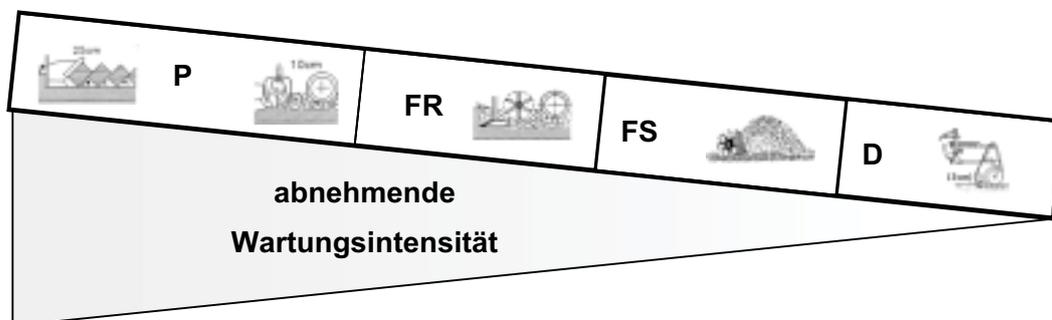


Abbildung 41: Wartungsintensität der Versuchsvarianten

## 6.2. Messfehler im eingesetzten Messsystem

Die eingesetzte, bereits näher beschriebene Messtechnik für die Erfassung der zu messenden Parameter sowie deren Anwendung in der Praxis, ist wie jede Technik, mit mehr oder minder großen Abweichungen vom erzielten Messergebnis behaftet. Aus diesem Grund soll im folgenden Kapitel eine Abschätzung der Messunsicherheit erfolgen. Die in Tabelle 28 angegebenen Werte, sind absolute Werte der zu erwartenden Messunsicherheit des jeweiligen Messsystems. Für die Begleitmessungen der Bodenfeuchte, der Temperaturen und des Niederschlages sind die jeweiligen maximal möglichen Messabweichungen gemäß der Herstellerangaben dargestellt.

Der kalibrierte Temperaturwert der Kraft- und Drehmomentmessungen wich während der Messungen maximal um  $\pm 0,7\text{K}$  je Messperiode ab, was für die Berechnung des Temperaturkoeffizienten von Bedeutung ist. Bei jedem Maschinenwechsel wurde die Messtechnik erneut ein Nullabgleich durchgeführt.

Tabelle 28: Messunsicherheit der Verfahrenstechnik über die Versuchsjahre

	Messfehler System Kraft F[kN]			Messfehler System Kraftstoff V[l]			Messfehler System Neigungswinkel Neig.[°]			Messfehler System Drehmoment M[Nm]		
	MW	Min	Max	MW	Min	Max	MW	Min	Max	MW	Min	Max
<b>D00</b>	0,013	0,011	0,023	0,001	0,001	0,002				0,584	0,113	1,423
<b>D01</b>	0,017	0,010	0,035	0,002	0,002	0,003	0,022	0,013	0,074	1,152	0,832	2,100
<b>D02</b>	0,034	0,024	0,028	0,002	0,001	0,002	0,026	0,026	0,188	0,807	0,725	1,287
<b>FS00</b>	0,005	0,016	0,008	0,004	0,004	0,004				8,041	1,251	9,048
<b>FS01</b>	0,003	0,004	0,011	0,003	0,002	0,004	0,029	0,018	0,073	8,369	2,333	16,158
<b>FS02</b>	0,003	0,008	0,009	0,003	0,003	0,004	0,034	0,012	0,072	8,250	2,333	15,975
<b>FR00</b>	0,036	0,025	0,049	0,003	0,003	0,003				6,994	0,389	14,091
<b>FR01</b>	0,024	0,011	0,039	0,007	0,007	0,008	0,031	0,012	0,064	8,615	1,062	17,242
<b>FR02</b>	0,029	0,016	0,043	0,013	0,004	0,023	0,032	0,005	0,116	7,588	3,411	14,508
<b>Pp00</b>	0,036	0,022	0,055	0,003	0,002	0,003						
<b>Pp02</b>	0,015	0,027	0,027	0,003	0,002	0,003	0,016	0,011	0,094			
<b>KE00</b>	0,016	0,006	0,025	0,003	0,003	0,004				9,123	0,362	18,096
<b>KE01</b>	0,011	0,011	0,015	0,005	0,004	0,006	0,025	0,009	0,196	6,411	4,108	9,299
<b>KE02</b>	0,009	0,009	0,013	0,004	0,004	0,005	0,028	0,009	0,012	6,295	3,500	9,299
<b>ü.a.</b>	<b>0,018</b>	<b>0,003</b>	<b>0,055</b>	<b>0,004</b>	<b>0,001</b>	<b>0,023</b>	<b>0,027</b>	<b>0,009</b>	<b>0,196</b>	<b>6,019</b>	<b>0,113</b>	<b>18,096</b>

Messunsicherheit Außentemperatur :  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  des jeweiligen Messwertes im Temperaturbereich zwischen  $0$  und  $70^\circ\text{C}$

Messfehler Bodenfeuchte: maximal  $\pm 2,5\%$  des jeweiligen Messwertes

Messfehler Bodentemperatur: Abweichung des Messwertes  $<0,2^\circ$  bei  $25^\circ\text{C}$  Temperatur)

Datalogger zur Bodenfeuchte

und –temperaturmessung:

Fehler ist im Vergleich zu den gemessenen Werten vernachlässigbar klein ( $<0,01\%$ )

Messfehler Regenmesser:

$\pm 2\%$  unter Einbeziehung der Intensitätskennlinie bei waagrechtem Aufbau

Datalogger Regenmesser:

$\pm 1$  Zählimpuls pro Aufzeichnungsintervall

### 6.3. Ökologische Ergebnisse

#### 6.3.1. Population der Lumbriciden

Die Erfassung der Lumbriciden wurde auf den Versuchsfeldern zwei und drei durchgeführt. Die Ersterhebungen wurden vom 26.06. – 28.06.2001 durchgeführt, da zu einem früheren Zeitpunkt noch keine Veränderungen auf den Varianten FR, FS und D zu erwarten waren. Dies ist ebenfalls zu vertreten, da die Ausgangssituation bei Versuchsbeginn mit der Variante P erhalten worden ist. Abbildung 42 zeigt die gewonnenen Versuchsergebnisse.

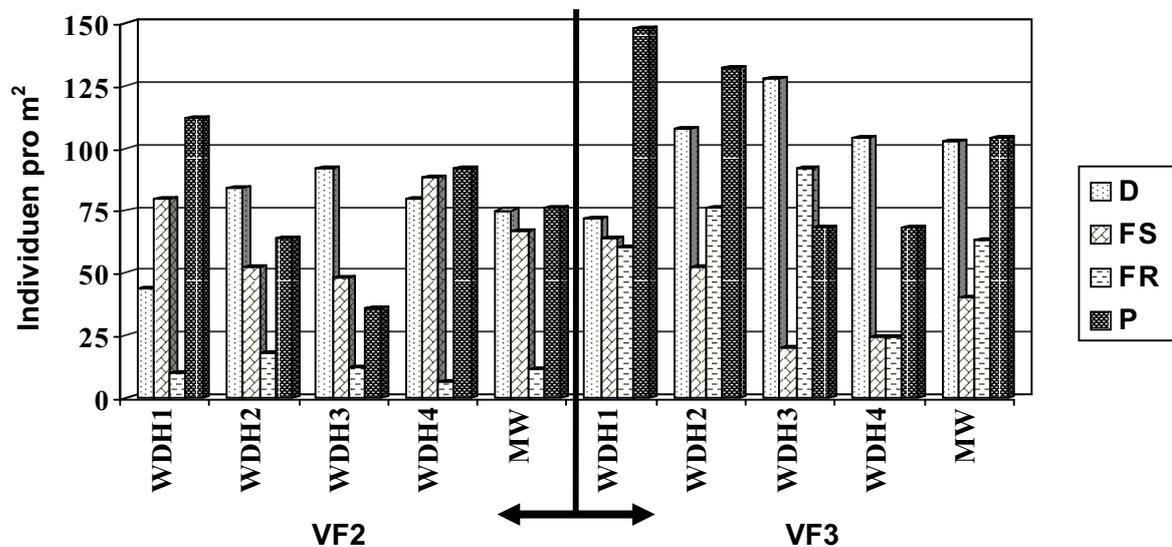


Abbildung 42: Population der Lumbriciden

Im Vergleich zu langjähriger unterschiedlicher Bodenbearbeitung (vgl. Abbildung 43) ist herauszustellen, dass keine wiederholbaren sowie signifikanten Unterschiede der Regenwurmpopulation erfasst werden konnten. Dies zeigt z.B. der Wert von 148 Individuen auf dem Versuchsfeld 2 auf der ersten Wiederholung auf der Variante P. Im Vergleich hierzu wurden auf der gleichen Wiederholung bei dem Verfahren D 72, dem Verfahren FS 64 und dem Verfahren FR 60 Individuen gezählt. Diese Ergebnisse sind weit von dem in der Literatur mehrfach beschriebenen (u.a. Friebe, 1992) P:FR:D Verhältnis von 1:2:4 entfernt. Dies ist auf die geringe Dauer der unterschiedlichen Bodenbearbeitung zurückzuführen, da die Generationszeiten der einzelnen Lumbricidenarten bis zu ein Jahr betragen.

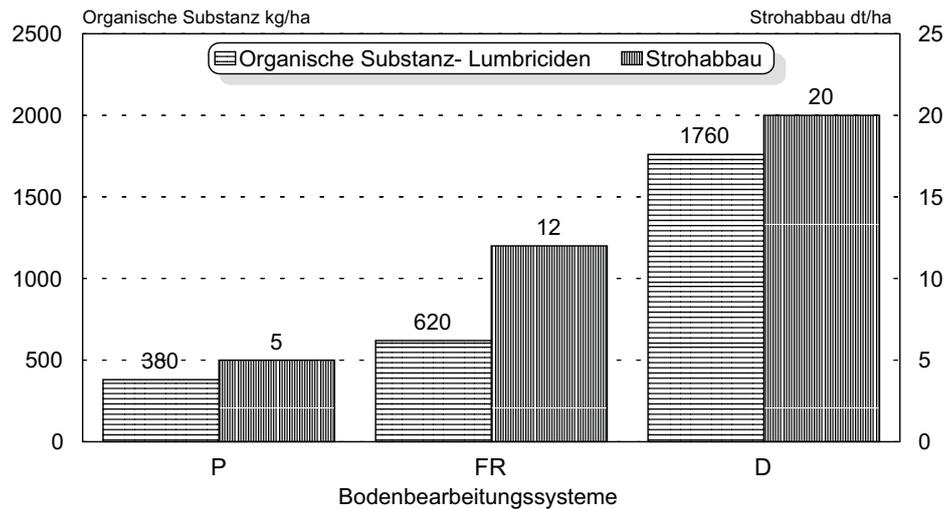


Abbildung 43: Biomasse der Regenwürmer und Strohabbau nach langfristig geänderter Bodenbearbeitung

Quelle: Friebe (1992)

### 6.3.2. Energieverbrauch je ha

Der Energieverbrauch je Hektar setzt sich zusammen aus dem Kraftstoffverbrauch je Hektar und dem Motor- sowie Hydraulikölverbrauch. Der Verbrauch der Öle beträgt bei der verwendeten landwirtschaftlichen Zugmaschine 207 Liter Öl je 1000 Betriebsstunden (Fendt). Leckagen an den ölführenden Systemen sind nicht berücksichtigt. Die Berechnung erfolgt exemplarisch an den Durchschnittsverbräuchen der Versuchsjahre sowie unter der Berücksichtigung der bearbeiteten Fläche je Stunde. Für die einzelnen Verfahren ergeben sich somit folgende Ergebnisse. Der Energiebedarf der Variante D ist mit  $6,26 \text{ l*ha}^{-1}$  am geringsten, gefolgt von der Variante FS mit  $10,73 \text{ l*ha}^{-1}$  im Mittel über alle Versuchsjahre. An dritter Stelle liegt das Verfahren FR mit  $21,21 \text{ l*ha}^{-1}$ , gefolgt von dem Verfahren P mit  $34,31 \text{ l*ha}^{-1}$  im Mittel über den Versuchszeitraum. Folgende Tabelle 29 gibt Aufschluss über die einzelnen Mengen an Kraftstoff sowie Öl.

Tabelle 29: Energieverbrauch je Hektar

	D	FS	FR	P
Kraftstoff [ $\text{l*ha}^{-1}$ ]	6,21	10,64	21,04	33,97
Motoröl [ $\text{l*ha}^{-1}$ ]	0,019	0,026	0,047	0,095
Hydrauliköl [ $\text{l*ha}^{-1}$ ]	0,020	0,028	0,050	0,100
Getriebeöl [ $\text{l*ha}^{-1}$ ]	0,028	0,040	0,071	0,144
<b><math>\Sigma</math> Energie [<math>\text{l*ha}^{-1}</math>]:</b>	<b>6,27</b>	<b>10,73</b>	<b>21,21</b>	<b>34,31</b>

### 6.3.3. CO<sub>2</sub>-Energiebilanz

Durch die Einsparung von Dieselkraftstoff können bei der Pflanzenproduktion sogenannte Treibhausgase wie z.B. CO<sub>2</sub> eingespart werden. Durch die Verbrennung von 100 Litern Dieselkraftstoff, mit einer Dichte ( $\rho$ ) von 0,84 kg·l<sup>-1</sup> werden rund 303 kg CO<sub>2</sub> freigesetzt (Ökonomie, 2000). Daraus ergibt sich, wie in folgender Tabelle 30 dargestellt, für die unterschiedlichen Bearbeitungsvarianten folgender CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

Tabelle 30: CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch Verbrennung von Dieselkraftstoff je Hektar

Variante	D			FS			FR			P		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002
V [l·ha <sup>-1</sup> ]	5,79	6,99	5,84	14,81	8,47	8,64	15,26	22,78	25,08	38,91	33,67	29,33
kg CO <sub>2</sub> ·ha <sup>-1</sup>	17,38	21,00	17,53	44,47	25,43	25,94	45,83	68,42	75,31	116,84	101,12	88,09
% von P	<b>14,87</b>	<b>20,77</b>	<b>19,90</b>	<b>38,06</b>	<b>25,15</b>	<b>29,44</b>	<b>39,22</b>	<b>67,66</b>	<b>85,49</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Durch Minimierung der Bearbeitungsintensität der ausgewählten landwirtschaftlichen Flächen können allein durch die Einsparung von Dieselkraftstoff bis zu 85% des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, zur Basis der Variante P, vermieden werden. Bindung der organischen Substanz und Verminderung des C<sub>org</sub>-Abbaus sind weitere zu erwartende Aspekte, welche durch eine konservierende Bodenbearbeitung auftreten werden (vgl. Kap 6.3.5).

### 6.3.4. Bodenbeanspruchung

Bodenbelastungen durch schwere Arbeitsmaschinen können zu Veränderungen im Bodengefüge und damit zu negativen Auswirkungen, z.B. auf das Ertragsverhalten, führen. In erster Linie wird hierbei das Grobporenvolumen reduziert, was sowohl die Wasserinfiltration als auch die Durchlüftung des Bodens einschränkt. Durch eine Reduzierung der Bearbeitungsintensität hat der Boden die Möglichkeit ein quasi natürliches Gefüge, durch Quellung und Schrumpfung sowie durch biogene Prozesse aufzubauen. Kennzeichen derartiger Oberböden ist eine vergleichsweise höhere Lagerungsdichte, was zu einer deutlich verbesserten Befahrbarkeit bzw. höheren Belastbarkeit führt (vgl. Kap. 6.1.7).

Aus den Untersuchungen von Gruber (1993) ist zu entnehmen, dass sich das Porenraumvolumen durch die Auflastung einer Zugmaschine auf der Pflugvariante bis in eine Tiefe von 40 cm reduziert, während die Direktsaatvariante über alle Bodentiefen keine Einwirkungen erkennen lässt.

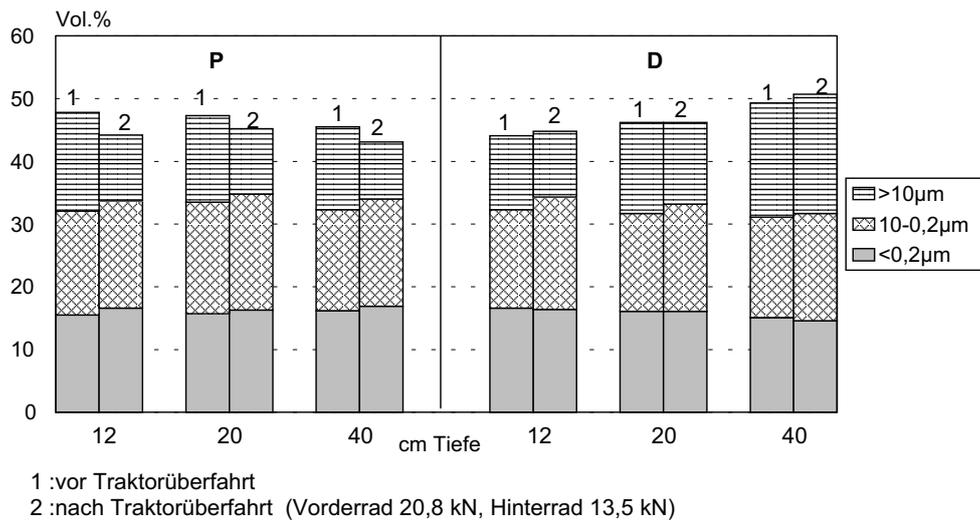


Abbildung 44: Änderung des Porenvolumens durch Traktorüberfahrt

Quelle: Gruber (1993)

### 6.3.5. Oberflächenstabilität und Aggregatstabilität

Aus den Untersuchungen von Groß (1996) geht hervor, dass neben dem Tongehalt des Bodens vor allem die Bodenbearbeitungsintensität auf leichteren Böden erheblichen Einfluß auf die Aggregatstabilität hat. Bereits bei einem Tongehalt von 27% weisen die Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung einen deutlich höheren Stabilitätsindex auf (vgl. Abbildung 45). Je geringer der Tongehalt des Bodens ist, um so stärker tritt dieser Effekt in den Vordergrund.

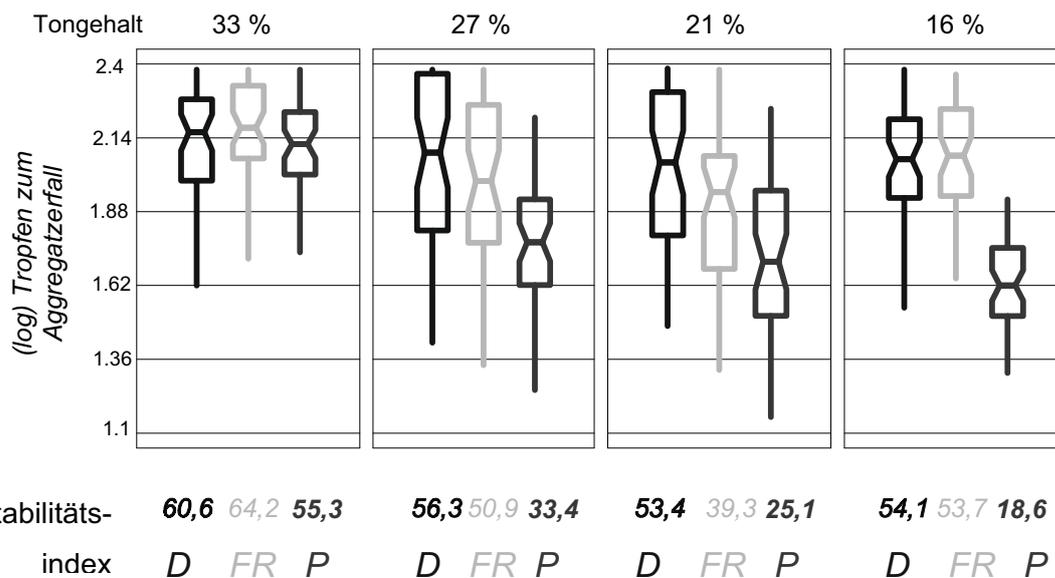


Abbildung 45: Aggregatstabilität in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tongehalt

Quelle: Groß (1996)

In den gleichen Untersuchungen konnte am Institut für Landtechnik (Groß, 1996) nachgewiesen werden, dass über den gesamten Vegetationszeitraum hinweg (April – Oktober) zwar die Aggregatstabilitäten einer gewissen Schwankung unterliegen, jedoch stets im Vergleich zur P-Variante die Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung deutlich höhere Stabilitäten aufweisen.

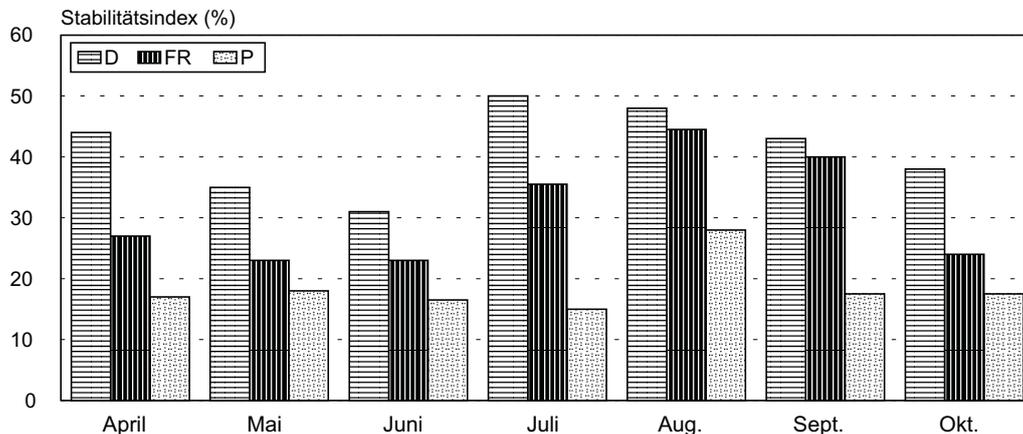


Abbildung 46: Dynamik der Aggregatstabilität einer Vegetationsperiode

Quelle: nach Groß (1996)

Als Parameter der Oberflächenstabilität kann unter anderem der Verschlammungsindex herangezogen werden. Dieser gibt Auskunft, in welchem Maße die Ackeroberfläche durch natürliche Niederschlagsereignisse während der Vegetationsperiode verschlämmt. Es ist abzuleiten, dass mit zunehmender Niederschlagsenergie [ $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ] die Variante P eine ansteigende Verschlammung aufweist. Die D-Variante erweist sich über den gesamten Messzeitraum als außerordentlich verschlammungsunanfällig. Die konservierende Variante FR nimmt hier eine Mittelstellung ein.

## 6.4. Pflanzenbauliche- und bodenphysikalische Ergebnisse

### 6.4.1. Einarbeitung von Ernterückständen

Unterschiedliche Werkzeugformen und deren Kombinationen bewirken zusammen mit der Bearbeitungstiefe sowie der -intensität eine differenzierte Einmischung der pflanzlichen Residuen. Für das wendende Pflugverfahren werden die organischen Pflanzenrückstände mehr oder weniger schichtartig in der Bodenzone zwischen 15 und 25 cm eingelegt. Das konservierende Verfahren in Form des Flügelscharrubbers mit Zinkenrotor mischt hingegen die organischen Reststoffe zu 60% im Saattiepenhorizont bis zu 5 cm ein. Auf der Direktsaatvariante verbleiben nahezu 100% der pflanzlichen Rückstände auf der Bodenoberfläche vgl. Abbildung 47). Zahlreiche Veröffentlichungen belegen, dass von der oberflächennahen

Einarbeitung oder dem Belassen der Pflanzenrückstände auf der Ackeroberfläche sowohl direkte als auch indirekte Wirkungen auf das Ökosystem Boden einhergehen [u.a. Schmidt (1989), Friebe (1992), Tebrügge (1994), Groß (1996)].

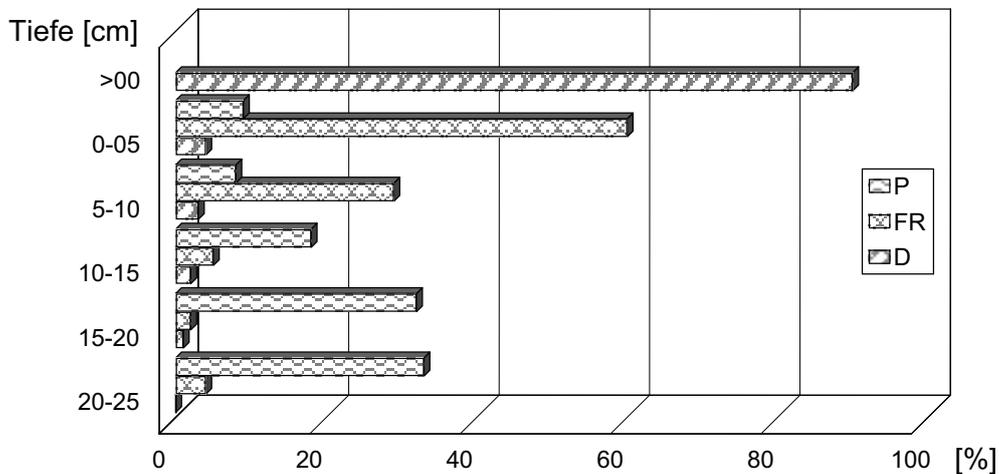


Abbildung 47: Stroheinarbeitung der verschiedenen Verfahren

Quelle: nach Schmidt (1989)

Somit stellt die Art und Weise der Stroheinarbeitung eine der Schlüsselfunktionen im Vergleich der unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren dar.

#### 6.4.2. Feldaufgang

Der Feldaufgang wurde auf den drei Versuchsstandorten erhoben. Die Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter werden durch Saatstärke, Keimfähigkeit des Saatgutes sowohl durch das Aussaatverfahren (Ablagetiefe und –genauigkeit) als auch durch die Bodenbeschaffenheit beeinflusst. Als Beispiel hierzu stellt folgende Abbildung 48 den Auflauf auf dem Versuchsfeld zwei im Jahr 2001 dar.

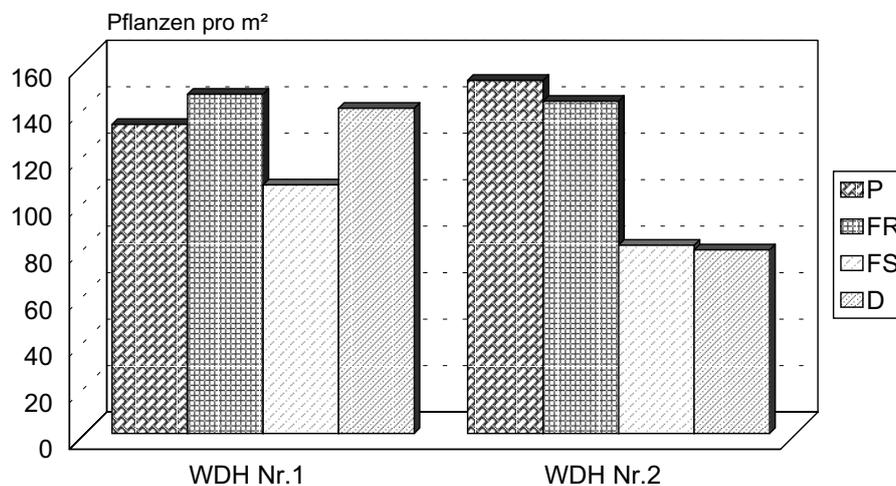


Abbildung 48: Feldaufgang WW des VF2 im Jahr 2001

Im internen Vergleich der Variante P ist eine größere Anzahl Pflanzen auf der zweiten Wiederholung (WDH Nr.2) zu ersehen. Dies ist durch eine Änderung der Bodenbeschaffenheit sowie der Keimfähigkeit des Saatgutes zu erklären. Auf dem Versuchsbetrieb 2 wurde kein zertifiziertes Saatgut eingesetzt, was insgesamt zu einem geringeren Feldaufgang führte. Klimatische Rahmenbedingungen zum Saattermin und somit eine nicht optimale Bodenbeschaffenheit für die Varianten D und FS hatten zur Folge, dass der Feldaufgang auf der zweiten Wiederholung sehr niedrig ausfiel. Die Saatstärken wurden für alle Varianten identisch gewählt und den Erfahrungswerten des jeweiligen Landwirts mit der Versuchsfläche angepasst.

#### 6.4.3. Ertragsparameter

Der Pflanzenertrag wurde im Rahmen der Versuchsanstellung auf allen drei Versuchsfeldern erhoben. Exemplarisch sind in Abbildung 49 die Weizenerträge der einzelnen Bearbeitungsvarianten aufgeführt. Durch die problematische Aussaat kam es auf den Varianten D und FS zu Totalausfällen von rund 20% der Fläche. Diese Ausfälle traten im unteren staunassen Bereich auf den Varianten D und FS des Versuchsfeldes 2 auf.

Die Variante FR lieferte auf diesem Standort im Jahr 2001 mit  $78,55 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$  den höchsten Ertrag. Die Variante P erreichte einen Durchschnittsertrag von  $63,37 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Die Varianten FS und D erzielten lediglich  $59,41$  und  $55,13 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Addiert man zu den Erträgen der Varianten FS und D 20% Ertragsausfall hinzu, so liegen diese bei  $71,29$  bzw.  $66,16 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

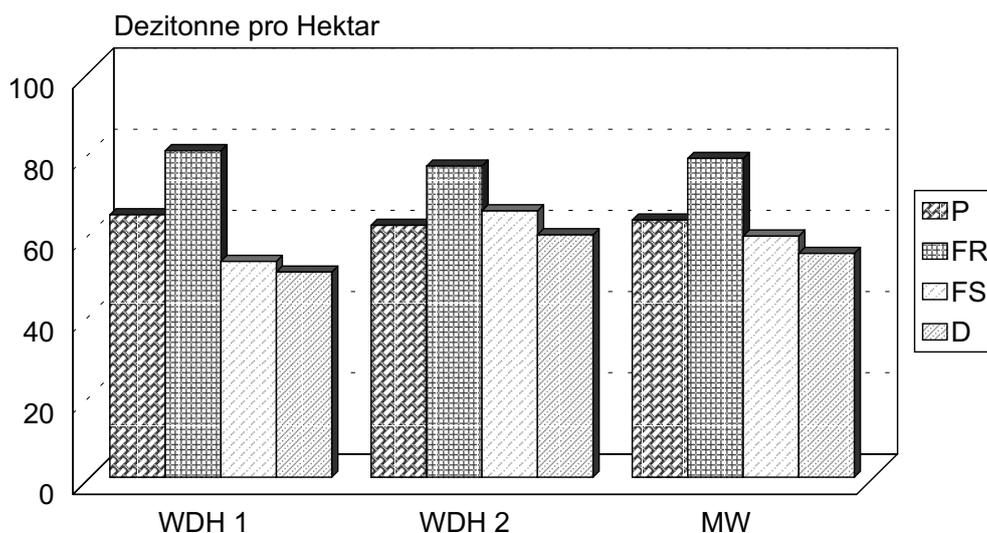


Abbildung 49: Pflanzenertrag WW. des VF2 im Jahr 2001

Auf den übrigen Versuchsflächen lagen die Varianten im Mittel der Proben in einem sehr engen Bereich (vgl. Anhang). Folgende Tabelle 31 stellt die angebauten Fruchtarten auf den

Versuchsfeldern im Zeitraum der Untersuchung dar. Eine detaillierte Ertragsübersicht befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

Tabelle 31: Angebaute Früchte auf den Versuchsfeldern

Jahr	2000	2001	2002
VF1	Sommergerste	Winterraps	Triticale
VF2	Silomais	Winterweizen	Wintergerste
VF3	Hafer	Winterweizen	Wintergerste

#### 6.4.4. Unkrautbesatz

Der Unkrautbesatz auf den Parzellen wurde im Rahmen der Versuchsanstellung während der gesamten Vegetationsperiode von den Landwirten sowie von den Betreuern der Versuche begutachtet. Notwendige Pflanzenschutzmaßnahmen wurden auf den Versuchsfeldern durchgeführt. In Tabelle 32 sind die auf den Versuchsfeldern aufgetretenen Unkräuter aufgelistet.

Tabelle 32: Unkräuter auf den Versuchsfeldern

Unkrautart	VF1	VF2	VF3
Ackerkratzdistel	-	+	+
Ackerstiefmütterchen	-	0	0
Ackervergissmeinnicht	-	-	0
Ackerwinde	-	+	0
Ausfallgetreide	-	0	-
Hirtentäschel	-	0	+
Kamille	0	+	0
Klee	-	-	+
Klettenlabkraut	+	+	+
Knöterich	-	0	0
Melde	0	+	-
Quecke	-	+	-
Sonnenwolfsmilch	-	0	-
Taubnessel	-	-	0
Vogelmiere	-	+	0

+ = starkes Auftreten (oberhalb der Schadschwelle)

0 = seltenes Auftreten (unterhalb der Schadschwelle)

- = kein Auftreten

#### 6.4.5. Gehalt an organischer Substanz

Der Gehalt an organischer Substanz wird sowohl von den gegebenen Standortbedingungen als auch von der Intensität der Bodenbewirtschaftung geprägt. Hinsichtlich der Verteilung in der Ackerkrume ergeben sich bei langfristiger Anwendung differenzierter Bearbeitungsverfahren typische Verteilungsmuster des  $C_{org}$ -Gehaltes, die primär auf die unterschiedliche

Einarbeitung zurückzuführen sind. In Analogie zu den Untersuchungen, unter anderem von EEA (1998), KINSELLA (1995), GONZALEZ-FERNANDEZ (1997), sowie Gregorich (1995), ist auch für die drei Untersuchungsstandorte zu erwarten, dass die Pflugvariante einen nahezu gleichmäßigen  $C_{org}$ -Gehalt in der gesamten Ackerkrume aufweist, während bei der konservierenden Bearbeitung (FR), verstärkt aber bei der Fräs- sowie Direktsaat, eine Akkumulation im oberen Bodenhorizont (0-10cm) stattfindet.

#### 6.4.6. Bodenwiderstandswerte (Porenraumverteilung)

Die Bodenwiderstandswerte wurden im dritten Versuchsjahr gemessen, da in den ersten beiden Jahren der Versuchsanstellung keine Veränderungen des Bodens zu erwarten waren. Exemplarisch werden an dieser Stelle in Abbildung 50 die aufgezeichneten Werte der Penetrometermessung aufgezeigt. Die einzelnen Graphen sind die Mittelwerte der Messungen je Variante auf dem Versuchsfeld 2 mit  $n=12$  für jede Variante. Wie deutlich zu erkennen, liegt die Kraft, welche aufgewendet werden muss, um den Konus in die Erde zu drücken, bei den Varianten D und FS im Bereich der oberen 20 cm, deutlich höher als bei den Varianten FR und P. Die Kräfte der Varianten FR und P steigen im Bereich unterhalb des Bearbeitungshorizontes der Sekundärbodenbearbeitung stetig an. Bei dem Graphen der Variante P ist ein Anstieg nach 20 cm sowie 25 cm zu erkennen. Diese Verdichtungszone ist auf die Primärbodenbearbeitung zurück zu führen.

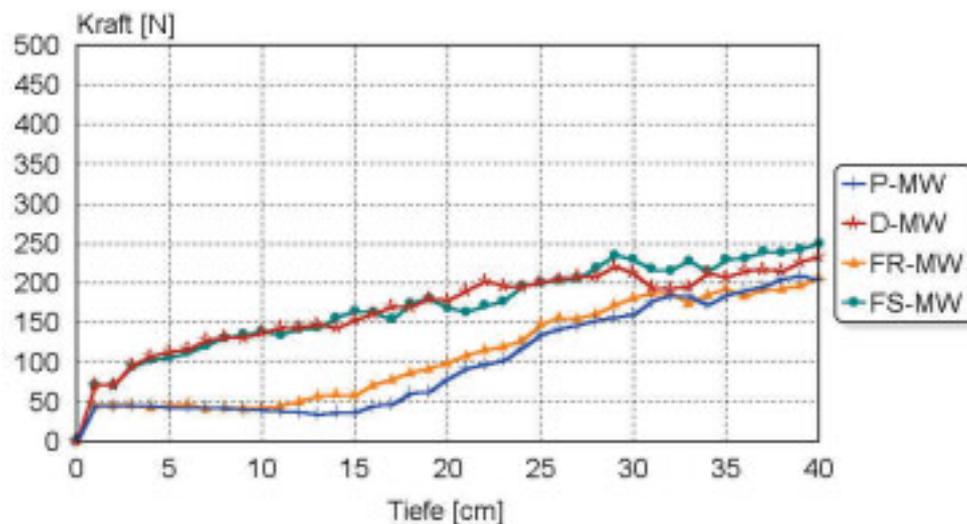


Abbildung 50: Bodenwiderstand VF 2

Die höheren Bodenwiderstandswerte der Varianten D und FS haben zur Folge, dass Bodenbelastungen durch das Befahren mit Maschinen zum Zwecke des Pflanzenschutzes, der Düngung oder der Ernte bei den Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung weitaus geringer sind, als bei den Varianten FR und P. Aufgrund der nahe beieinander liegenden Boden-

feuchten während der Messung, sind Effekte, welche die Versuchsergebnisse beeinflussen, äußerst gering.

Tabelle 33: Bodenfeuchte in Vol%, März 2002 in 10cm Tiefe

<b>Standort</b>	<b>P</b>	<b>FR</b>	<b>FS</b>	<b>D</b>
VF2	32,83	38,13	34,86	34,81
Stabw.	3,99	3,38	1,40	2,48

GRUBER (1993) verwendet in seiner Arbeit die Methode nach RICHARDS und FIREMANN, welche die Porengrößen ermittelt, indem ungestörte Stechzylinderproben mit einem Volumen von 100cm<sup>3</sup>, nach Aufsättigen mit Wasser, in Drucktöpfen bei Überdruckstufen von 25, 60, 100, 300 und 1000 hPa (cm Wassersäule) entwässert werden.

Der pF-Wert als Größe der vorhandenen Wassersaugspannung ergibt sich aus dem Logarithmus (lg) der angelegten Druckspannung in cm Wassersäule. Eine mögliche Einteilung des Porenraumes ist in folgender Tabelle 34 zu ersehen.

Tabelle 34: Porengrößenklassen, Druckstufen und dazugehörige pF-Werte

<b>Porengrößenbereich</b>	<b>hPa</b>	<b>pF-Wert</b>
<b>Sehr weite Grobpore</b>	<b>&gt;120 µm</b>	25
<b>Weite Grobporen</b>	<b>50 – 120 µm</b>	60
<b>Mittlere Grobporen</b>	<b>30 – 50µm</b>	100
<b>Enge Grobporen</b>	<b>10 – 30 µm</b>	300
<b>Weite Mittelporen</b>	<b>3 – 10 µm</b>	1000
<b>Enge Mittelporen</b>	<b>0,2 – 3 µm</b>	15000
<b>Feinporen</b>	<b>&lt; 0,2 µm</b>	> 4,2

Quelle: GRUBER (1993), überarbeitet

#### 6.4.7. Infiltrationskapazität (ungesättigt)

Im Unterschied zur Infiltrationsmessung mittels Doppelringinfiltrimeter geben Infiltrationsmessungen eine realitätsnähere Aussage über die Wasseraufnahmekapazität des Bodens wieder, da hier der Boden im natürlichen Zustand belassen wird und nicht durch eine Kies- oder Sandauflage am Verschlämmen gehindert wird. Infiltration bedeutet in diesem Zusammenhang ungesättigte Wasserleitfähigkeit. Bedingt durch eine höhere Aggregatstabilität sowie durch die Auflage oder oberflächennahe Einarbeitung von Pflanzenrückständen, als auch durch ein vertikal orientiertes Makroporensystem bei Direktsaat bzw. konservierender

Bodenbearbeitung, ist der Boden in der Lage, hohe Wassermengen in kürzester Zeit aufzunehmen.

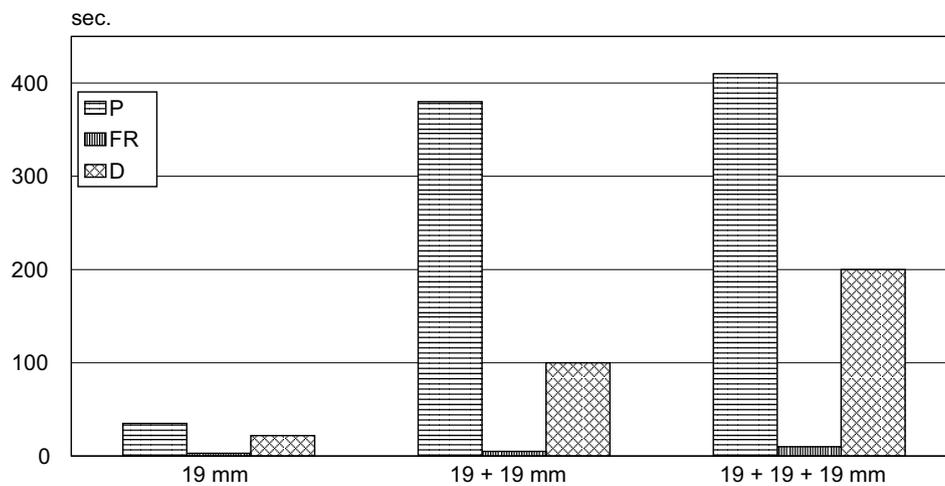


Abbildung 51: Infiltrationskapazitäten

Abbildung 51 (nach Tebrügge, 1999) belegt, dass nach einer einmaligen Aufgabe von  $19 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2}$  bei der Pflugvariante eine ähnliche Versickerungsleistung wie bei der Direktsaat gegeben ist, jedoch bei einer zweiten und dritten Aufgabe der gleichen Menge eine vergleichsweise schlechtere Infiltration auftritt. Die Ursache hierfür ist in der Instabilität oberflächennaher Aggregate zu sehen, die eine Verschlammung der Ackeroberfläche bewirkt.

### 6.5. Bodenfeuchtemessung

Die versuchsbegleitend durchgeführten Messungen der Bodenfeuchte sind im Folgenden näher erläutert. Da es sich um dynamische Messungen an einem Punkt des Versuchsfeldes ohne Wiederholung handelt, kann keine statistische Absicherung der Daten erfolgen. Die gewonnenen Daten haben somit nur beschreibenden Charakter.

Tabelle 35: Bodenfeuchtemessungen 2001 (Statistik)

	P	FR	FS	D
Min [Vol%]	19,78	18,04	17,19	17,39
Max [Vol%]	43,63	42,38	43,86	40,92
<b>Mittelwert [Vol%]</b>	<b>35,54</b>	<b>31,32</b>	<b>33,61</b>	<b>30,63</b>
Standardabweichung	8,37	8,37	9,59	7,60

Es ist herauszustellen, dass die Bodenfeuchten in den Jahren 2001 und 2002 auf der Parzelle P mit 35,54 Vol% sowie 35,94 Vol% am höchsten waren. Die niedrigsten Feuchten wurden auf der Parzelle D mit 30,63 Vol% im Jahr 2001, bzw. mit 31,46 Vol% im Jahr 2002,

gemessen. Die Varianten FS und FR lagen mit ihren Ergebnissen zwischen den Varianten P und D. In den Tabellen 35 und 36 sind die Werte der Messungen über den Versuchszeitraum abgetragen. Im Anhang sind Abbildungen der Feuchte der beiden Versuchsjahre inkl. der Niederschlagsmengen ersichtlich.

Tabelle 36: Bodenfeuchtemessungen 2001/02 (Statistik)

	<b>P</b>	<b>FR</b>	<b>FS</b>	<b>D</b>
Min [Vol%]	12,37	16,26	13,45	14,41
Max [Vol%]	43,43	38,38	39,36	41,18
<b>Mittelwert [Vol%]</b>	<b>35,94</b>	<b>32,98</b>	<b>30,70</b>	<b>31,46</b>
Standardabweichung	8,94	5,85	6,89	7,10

#### 6.6. Temperaturmessung

In den folgenden Tabellen 37 und 38 sind die statistischen Werte der Außentemperaturmessungen über den Messzeitraum für die beiden Messjahre ersichtlich. Im Jahr 2001 wurde im Zeitraum von März bis Mitte Juli gemessen. Die Durchschnittstemperatur lag in diesem Zeitraum mit 13,78 °C um rund 4 °C über dem regionalen jährlichen Mittelwert.

Tabelle 37: Statistik Außentemperaturmessungen 2001

	<b>P</b>	<b>FR</b>	<b>FS</b>	<b>MW</b>
Min [°C]	2,74	3,26	2,74	
Max [°C]	38,20	31,60	33,00	
<b>Mittelwert [°C]</b>	<b>14,17</b>	<b>13,64</b>	<b>13,54</b>	<b>13,78</b>
Standardabweichung	5,879	5,12	5,22	

In der Vegetationsperiode 2001/02 wurde von November bis Juli gemessen. In Anbetracht, dass der Messzeitraum den Winter einschließt, ist ein Mittelwert unter dem regionalen jährlichen Mittel zu erklären. Im Zeitraum der Messung 2001/02 lag der Mittelwert bei 5,72 °C.

Tabelle 38: Statistik Außentemperaturmessungen 2001/02

	<b>P</b>	<b>FR</b>	<b>FS</b>	<b>D</b>	<b>MW</b>
Min [°C]	-12,80	-11,50	-13,50	-16,90	
Max [°C]	33,50	30,70	35,50	38,80	
<b>Mittelwert [°C]</b>	<b>5,66</b>	<b>4,37</b>	<b>7,15</b>	<b>5,70</b>	5,72
Standardabweichung	7,51	6,81	7,68	7,80	

Die Temperaturunterschiede der einzelnen Varianten sind darauf zurückzuführen, das im Pflanzenbestand gemessen wurde und dieser, aufgrund der Versuchsanlage der Temperaturmessungen, Witterungseinflüssen unterschiedlich ausgesetzt bzw. der Pflanzenbestand unterschiedlich gestört war.

Die Bodentemperaturmessung in dem frostfreien Zeitraum von März bis Juli 2001 ist in der folgenden Tabelle abgehandelt. Geringfügige Temperaturunterschiede sind innerhalb der Varianten in Bezug auf die Tiefe festzustellen. Diese Unterschiede belaufen sich auf ca. 0,3°C pro zehn Zentimeter. Zwischen den einzelnen Bearbeitungsvarianten sind keine nennenswerten Unterschiede herauszustellen. In einer Tiefe von drei Zentimetern war die Temperatur auf der Variante P mit 10,87 °C im Mittel am höchsten, gefolgt von der Variante D mit 10,31 °C. Die Varianten FR und FS liegen mit Temperaturen von 10,08 °C bzw. 10,07°C in dieser Tiefe sehr eng nebeneinander. In den übrigen Tiefen stellt sich sowohl das Verhältnis, als auch die Reihenfolge der Varianten ähnlich dar.

Tabelle 39: Statistik der Bodentemperatur 2001 in °C

	P			FR			FS			D		
	-3cm	-10cm	-20cm	-3cm	-10cm	-20cm	-3cm	-10cm	-20cm	-3cm	-10cm	-20cm
Min	-3,02	0,52	1,31	0,22	0,81	1,36	0,45	0,97	1,48	0,17	0,59	1,15
Max	27,85	21,84	18,65	22,88	20,26	18,15	22,28	19,49	17,51	22,77	20,12	18,04
<b>Mittelwert</b>	<b>10,87</b>	<b>10,58</b>	<b>10,27</b>	<b>10,08</b>	<b>9,88</b>	<b>9,55</b>	<b>10,07</b>	<b>9,82</b>	<b>9,46</b>	<b>10,31</b>	<b>10,00</b>	<b>9,71</b>
Standardabweichung	5,19	4,20	3,67	4,71	4,16	3,77	4,46	4,01	3,69	4,68	4,21	3,86

Im Messzeitraum 2001/02 ist bei den Bodentemperaturen ebenso wie für die Außentemperaturen festzuhalten, dass der Mittelwert der einzelnen Messungen um ca. 3°C niedriger ist, als bei den Messungen 2001 ohne Einbeziehung des Winters.

Tabelle 40: Statistik der Bodentemperatur 2001/02 in °C

	P			FR			FS			D		
	-3cm	-10cm	-20cm									
Min	-2,45	-0,69	0,41	-2,81	-0,17	0,73	-2,2	-0,09	0,68	-2,6	-0,34	0,59
Max	23,57	20,33	17,72	21,89	18,42	17,05	22,79	19,88	17,94	23,44	19,52	17,6
<b>Mittelwert</b>	<b>7,30</b>	<b>7,38</b>	<b>7,36</b>	<b>7,29</b>	<b>7,24</b>	<b>7,35</b>	<b>7,41</b>	<b>7,46</b>	<b>7,48</b>	<b>8,15</b>	<b>7,99</b>	<b>8,00</b>
Standardabweichung	5,77	5,37	4,85	5,57	4,99	4,63	5,63	5,18	4,81	6,07	5,58	5,10

Insgesamt ergibt sich ebenfalls ein anderes Bild. Die Tiefen von 20 cm sind bis auf die Direktsaatvarianten die Wärmsten, da sie im Winter nicht unter Null Grad lagen. Weiterhin gilt aber für alle Messbereiche von –10 cm und –20 cm, dass die Mittelwerte innerhalb des Verfahrens maximal 0,12°C voneinander abweichen.

## 6.7. Ökonomische Ergebnisse

Im Rahmen der ökonomischen Berechnungen sind folgende Grundannahmen unterstellt:

- Berechnungsgrundlage sind die in Kapitel 2.5.1 aufgeführten Maschinen.
- Die aufgrund der Flächenkonfiguration mögliche Flächenleistung entspricht einer Auslastung von 100% (vgl. Kap.3.1.4). Es wird unterschieden in Klimaregion 5 und 6 sowie reale und optimale Flächenleistung.
- Unter den Kostenpunkten Pflanzenschutz (Direktkosten und Arbeitserledigungskosten) sind ausschließlich Pflanzenschutzmaßnahmen, die nicht auf allen Varianten einheitlich durchgeführt wurden, berechnet.
- Die Arbeitserledigungskosten für Pflanzenschutz sowie für Stoppelbearbeitung sind auf Basis der kalkulatorischen Daten des KTBL (2002) sowie des LAK überbetriebliche Maschinenverwendung (Seufert, 2002) berechnet.
- Reparaturkosten werden aufgrund der in Kapitel 3.1.6 dargestellten Ergebnisse mit den Beträgen aus Tabelle 41 berechnet. Diese Werte werden in Anlehnung an die gewonnenen Erfahrungswerte der zwanzigjährigen Bodenbearbeitungsversuche verwendet.

Tabelle 41: Reparaturkosten der einzelnen Varianten je Hektar

Variante	D	FS	FR	P <sub>primär</sub>	KE <sub>sekundär</sub>
€*ha <sup>-1</sup>	8	10	12	12	8

Folgende Bedingungen liegen den ökonomischen Berechnungen weiterhin zu Grunde:

- Abschreibung:
  - nach Zeit: 10 Jahre, wenn klimabedingte, topographische Auslastung kleiner der maschinenbedingten Auslastungsschwelle ist,
  - nach Leistung: wenn klimabedingte, topographische Auslastung größer der maschinenbedingten Auslastungsschwelle ist (vgl. Tabelle 42).

Tabelle 42: Nutzungsdauer und Lebensleistung der Maschine

	D	FS	FR	P <sub>primär</sub>	KE <sub>sekundär</sub>
Lebensleistung [ha]	2100	2250	2500	2000	3000
Lebensdauer [a]	10	10	10	10	10
Auslastungsschwelle [ha*a <sup>-1</sup> ]	210	225	250	200	300

- Zinssatz:
  - bei zusätzlicher PS-Maßnahme vor der Aussaat 8 v.H. (Direktkosten),
  - 8 v.H. des halben Anschaffungswertes (Arbeitserledigungskosten).
- Betriebsstoffe: erhobene Verbräuche je Hektar ( Kap. 3.1.2 und 3.2.2) multipliziert mit 0,5 € pro Liter Dieselkraftstoff und 1,6 € pro Liter Öl.
- Entlohnung: Je Arbeitsstunde (Akh) werden 18 € Lohnkosten angesetzt.
- Zugmaschine: Es wird jeweils eine Zugmaschine eingesetzt, welche dem Leistungsbedarf zuzüglich 40% Leistungsreserve (Schlupf etc.; vgl. Kunze, 1990) der Variante entspricht. (vgl. Kap. 3.1.1)
- Ertrag: Der ermittelte Pflanzenertrag der einzelnen Wiederholungen auf einem Versuchsfeld wird zu einem Mittelwert für das jeweilige Verfahren im Versuchsjahr zusammengefasst. Er wird auf einen Feuchtegehalt von 15% berechnet.

#### 6.7.1. Berechnung der Kostenmodule

Für die Berechnung der Teilkosten werden folgende Module sowie entsprechende Maschinenkombinationen, jeweils in Abhängigkeit der Klimabedingungen (vgl.: Anhang; Module), berechnet:

- Modul Grubber (Stoppelbearbeitung)
- Modul Pflanzenschutz (zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahme)
- Modul P, Modul FR,
- Modul FS, Modul D,
- Modul Schlepper
- Maschinenkombination

#### 6.7.2. Berechnung der Teilkosten der Verfahren

In Abbildung 52 ist exemplarisch der schematische Aufbau der Teilkostenrechnung zu sehen. Im Kopf des Bogens sind Informationen zum Abrechnungsbetrieb und -zeitraum sowie zur angebauten Frucht enthalten. Die Verfahren sind nach optimaler- und realer Schlagkonfiguration eingeteilt und berechnet worden. In Zeile 1 sind die Erträge der Varianten abgetragen. In Zeile 2 sind die Direktkosten für die zusätzlichen Pflanzenschutzmaßnahmen sowie deren Zinsansatz enthalten. Zeile 3 enthält die Arbeitserledigungskosten der jeweiligen Varianten inklusive der Entlohnung. In den Zeilen 4 und 5 sind die Teilkosten, bezogen auf den Hektar sowie auf die Dezitonne, aufgeführt. Die jeweilige Differenz zu der Referenzvariante P ist aus den Zeilen 6 und 7 zu ersehen.

Abbildung 52: Teilkostenrechnungsbogen VF3 2001

Kostenrechnung Ackerbau												
Betriebszweig: Wintergerste												
Jahr 2002												
Leistungsort/ Kostenart	Variante											
	P opt	P real	FR opt	FR real	FS opt.	FS real	D opt	D real				
<b>Betrieb: 2 (Klima 5)</b>												
<b>Schlag: VF3</b>												
<b>Anschaffungswert</b>	€ 42222,00	42222,00	28210,00	28210,00	28670,00	28670,00	32900,00	32900,00				
<b>Auslastung der Maschine</b>	ha	376,56	161,50	473,10	209,04	848,82	1196,19	254,17				
<b>1. Leistungen</b>	Ertrag dt	49,4	49,4	42,5	42,5	43,8	42,2	42,2				
<b>2. Direktkosten</b>												
	zusätzliche PS-Maßnahme [€/ha]	0	0	0	0	0	0	12,88				
	zusätzlicher Zinsansatz Feldinventar [€/ha]	0	0	0	0	0	0	1,03				
	Summe [€/ha]	0	0	0	0	0	0	13,91				
<b>3. Arbeitsverledigungs-</b>												
<b>kosten</b>	Abschreibung Maschinen [€/ha]	29,09	42,79	21,78	30,33	19,42	19,14	22,70				
	Zinsansatz Maschinenkapital [€/ha]	9,96	19,26	8,07	13,85	5,43	2,66	8,45				
	Maschinenversicherung [€/ha]	0,95	1,81	0,74	1,23	0,49	0,27	0,53				
	Reparatur [€/ha]	38,35	51,97	26,45	33,62	21,25	12,42	18,37				
	Betriebsstoffe [€/ha]	24,43	24,43	15,05	15,05	11,16	4,89	4,89				
	Entlohnung [€/ha]	13,19	84,05	27,80	46,26	21,34	11,78	33,13				
	Summe [€/ha]	115,98	224,32	99,89	140,35	79,09	51,16	88,08				
<b>4. Summe Teilkosten / ha</b>	[€/ha]	115,98	224,32	99,89	140,35	79,09	65,07	101,98				
<b>5. Summe Teilkosten / dt.</b>	[€/dt.]	2,35	4,54	2,35	3,30	1,81	1,21	2,09				
<b>6. Differenz zu P/ha</b>	[€/ha]	0,00	0,00	-16,09	-83,96	-36,89	-50,91	-122,33				
<b>7. Differenz zu P/dt.</b>	[€/dt.]	0,00	0,00	0,01	-1,23	-0,54	-1,13	-2,45				

### 6.7.3. Kosten der Bearbeitungsverfahren je Hektar

Zusammenfassend gibt Tabelle 43 Auskunft über die Kostendifferenzen der untersuchten Bearbeitungsverfahren. Die Kosten der Variante P wurden als Basis gesetzt. Die abgetragenen Werte der übrigen Verfahren stellen die Differenz zu den Kosten des Verfahrens P, jeweils zu optimalen Bedingungen sowie realen Bedingungen, dar. Auf VF2 sind unter realen Bedingungen in allen Versuchsjahren und auf VF3 im Versuchsjahr 2000 die deutlichsten Kostenunterschiede mit rund 150 € je Hektar zwischen dem Verfahren P und D zu erkennen, wobei diese Flächen in der Klimaregion 5 zu finden sind. Die absolute Teilkostenbelastung ist für die Variante D unter optimalen Bedingungen auf dem Versuchsfeld 1 über alle Versuchsjahre mit 36,91 € am geringsten. Verbesserte Schlagkonfigurationen bzw. größere Schläge würden die Verfahrenskosten, und hier insbesondere den Teil der Arbeitserledigungskosten, weiterhin senken.

Tabelle 43: Kostenvergleich Euro je Hektar mit der Basis  $P_{opt}$  und  $P_{real}$

[\text{€}\cdot\text{ha}^{-1}]	P opt.	P real	FR opt.	FR real	FS opt.	FS real	D opt.	D real	Fruchtart
<b>VF1 2000</b>	144,67	219,20	-45,24	-81,79	-65,84	-110,98	-107,76	-146,23	SG
<b>VF1 2001</b>	144,67	219,20	-45,24	-81,79	-65,84	-110,98	-107,76	-146,23	WR
<b>VF1 2002</b>	144,67	219,20	-45,24	-81,79	-65,84	-110,98	-107,76	-146,23	TR
<b>VF2 2000</b>	115,98	224,32	-16,09	-83,96	-36,89	-115,29	-78,82	-150,18	SM
<b>VF2 2001</b>	115,98	224,32	-16,09	-83,96	-36,89	-115,29	-78,82	-150,18	WW
<b>VF2 2002</b>	115,98	224,32	-16,09	-83,96	-36,89	-115,29	-78,82	-150,18	WG
<b>VF3 2000</b>	115,98	224,32	-16,09	-83,96	-36,89	-115,29	-78,82	-150,18	HA
<b>VF3 2001</b>	115,98	224,32	-16,09	-83,96	-36,89	-115,29	-50,91	-122,33	WW
<b>VF3 2002</b>	115,98	224,32	-16,09	-83,96	-36,89	-115,29	-50,91	-122,33	WG

Folgende Abbildung 53 veranschaulicht noch einmal die relativen Kostenunterschiede der Verfahren unter optimalen Bedingungen. Hieraus ist deutlich zu erkennen, dass die nicht konventionellen Verfahren FR, FS und D in Klimastufe 6 durch die höheren möglichen Jahresleistungen eine niedrigere Kostenbelastung je Hektar im Vergleich zu dem Verfahren P verursachen. Des weiteren ist aber ebenfalls ersichtlich, dass die Abfolge der Arbeitsverfahren je Versuchsfeld identisch ist. Teuerstes Verfahren ist jeweils das Verfahren P mit 100%, gefolgt vom Verfahren FR mit 68,73% für Versuchsfeld 1, sowie 86,13% für Versuchsfeld 2 und 3. Das Verfahren FS liegt mit 54,49% für Versuchsfeld 1 und 68,19% für Versuchsfeld 2 und 3 ebenso wie das Verfahren D mit 25,52% für Versuchsfeld 1 sowie 32,04% für das Versuchsfeld 2 und das Versuchsfeld drei im Jahr 2000 unter den beiden anderen Varianten. Im Jahr 2001 und 2002 war auf der Direktsaatparzelle des Versuchsfeldes 3 eine zusätzliche Pflanzenschutzmassnahme notwendig, wodurch diese Werte um rund 24% über dem Wert des Jahres 2000 liegen.

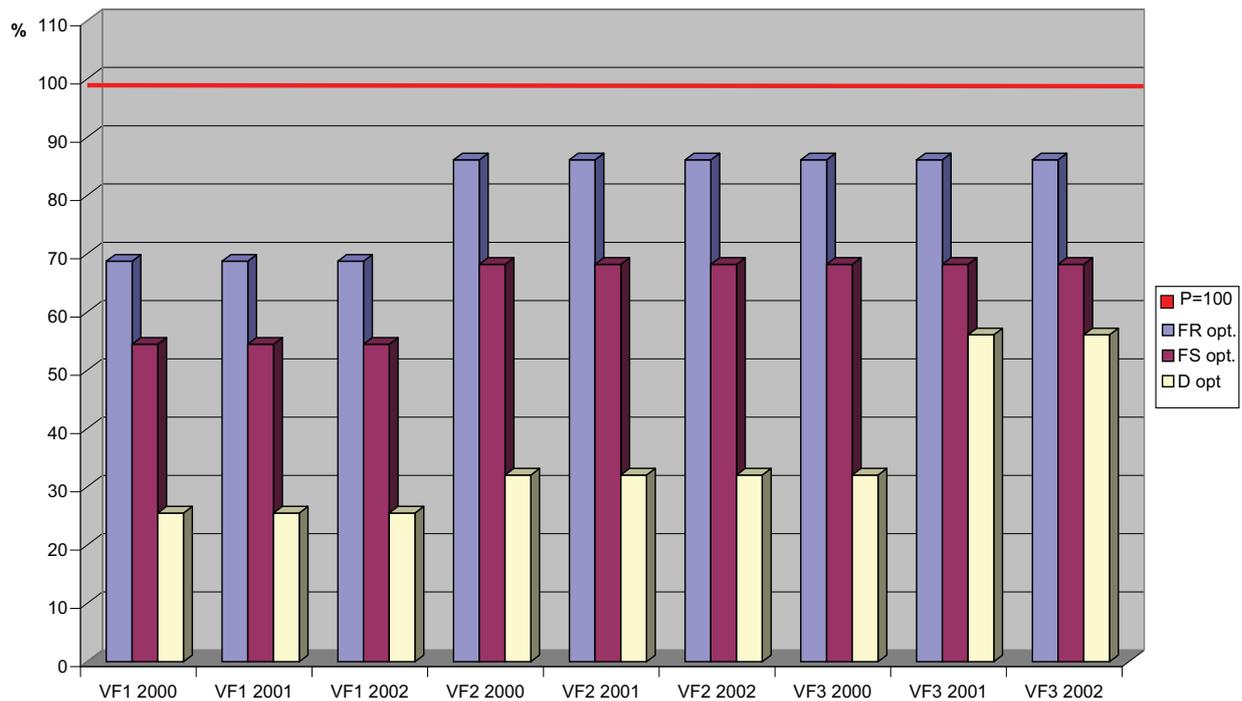


Abbildung 53: Vergleich der Kosten je ha zu optimalen Bedingungen mit Basis P

#### 6.7.4. Kosten der Bearbeitungsverfahren je Dezitonne Ertrag

Der Bezug der Kosten auf Ertrag ist je nach Ertragspotential sowie Management des Pflanzenbaus sehr unterschiedlich. Die hier dargestellten Ergebnisse unterstellen, bis auf ausgewiesene zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahmen, identische, nicht verfahrensabhängige Strategien im Pflanzenschutz. Dennoch kann der Vergleich innerhalb eines Versuchsjahres Aufschluss über Kostensenkungen je Dezitonne Ertrag geben.

Tabelle 44: Kostenvergleich Euro je Dezitonne Ertrag mit der Basis P<sub>opt</sub> und P<sub>real</sub>

[\u20ac*dt. <sup>-1</sup> ]	P opt.	P real	FR opt.	FR real	FS opt.	FS real	D opt.	D real	Fruchtart
<b>VF1 2000</b>	2,55	3,87	-0,66	-1,26	-1,00	-1,73	-1,86	-2,50	SG
<b>VF1 2001</b>	2,89	4,38	-1,29	-2,17	-1,45	-2,40	-2,25	-3,11	WR
<b>VF1 2002</b>	1,75	2,64	-0,47	-0,89	-0,67	-1,17	-1,28	-1,72	TR
<b>VF2 2000</b>	0,24	0,45	-0,03	-0,16	-0,07	-0,23	-0,15	-0,29	SM
<b>VF2 2001 korr.</b>	1,83	3,54	-0,56	-1,75	-0,50	-1,70	-1,16	-2,19	WW
<b>VF2 2002</b>	3,78	7,31	-1,13	-3,58	-1,93	-4,76	-2,73	-5,21	WG
<b>VF3 2000</b>	2,64	5,11	-0,24	-1,74	-0,84	-2,63	-1,85	-3,53	HA
<b>VF3 2001</b>	1,80	3,49	-0,20	-1,23	-0,52	-1,72	-0,95	-2,02	WW
<b>VF3 2002</b>	2,35	4,54	0,01	-1,23	-0,54	-2,04	-1,13	-2,45	WG

Tabelle 44 veranschaulicht die Differenzen der einzelnen Varianten zum Verfahren P, in Euro je Dezitonne, auf den verschiedenen Versuchsflächen im Untersuchungszeitraum. Inner-

halb der einzelnen Versuchsjahre können bis zu 3,50 € je Dezentonne (VF3 2000, Variante D) eingespart werden, indem die Eingriffsintensität der Bodenbearbeitung reduziert wird.

In Bezug auf das prozentuale Verhältnis gestaltet sich das Ergebnis prinzipiell ähnlich wie für die Kostenbelastung je Hektar. Durch die Ertragsabhängigkeit kommt es jedoch vereinzelt, wie am Beispiel der Frässaat im Versuchsjahr 2001 auf dem Versuchsfeld 2 sowie für das Verfahren FR im Versuchsjahr 2002 auf dem Versuchsfeld 3, zu Änderungen in der Reihenfolge von kostenintensivstem zu kostenextensivstem Verfahren.

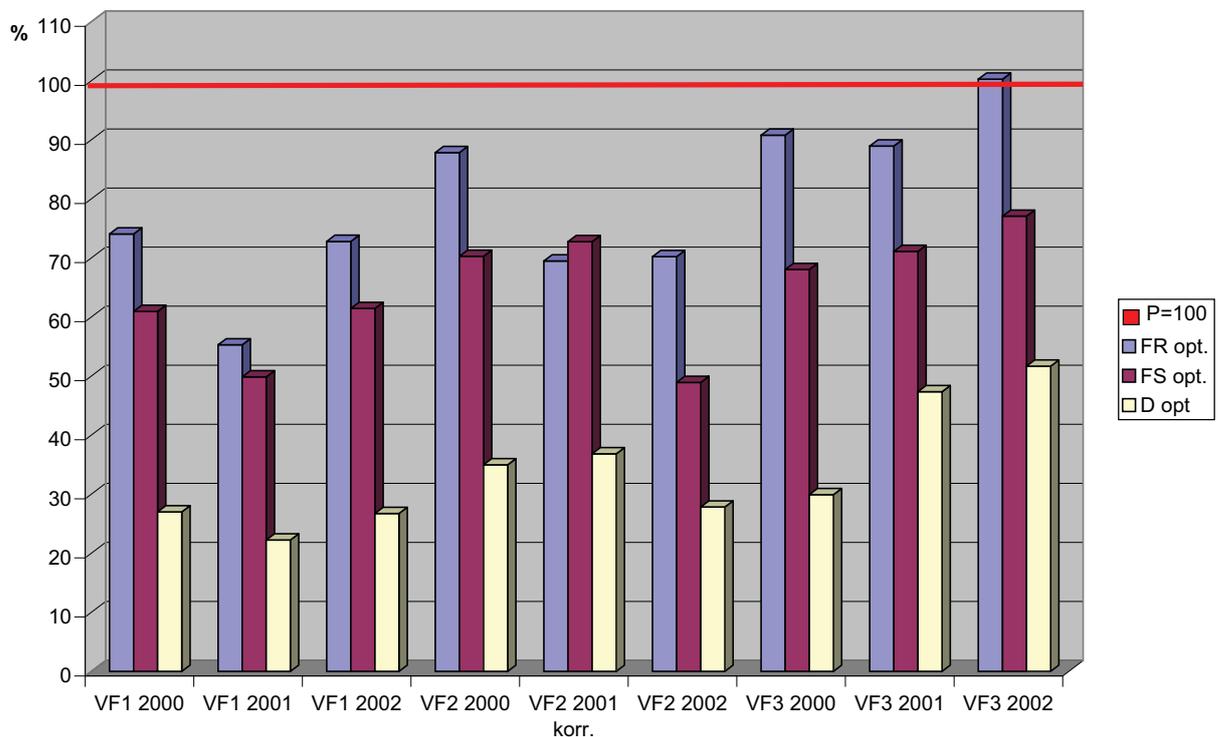


Abbildung 54: Vergleich der Kosten je dt. zu optimalen Bedingungen mit Basis P

## 7. Vergleichende Betrachtung der Versuche am Institut für Landtechnik zur minimalen Bodenbearbeitung

In diesem Kapitel der Arbeit werden die Versuchsflächen der Versuche des Instituts für Landtechnik, die seit nunmehr über 20 Jahren mit den unterschiedlichen Systemen bearbeitet werden, näher vorgestellt sowie einige ausgewählte Ergebnisse der Bodenbearbeitung zum Vergleich und zur Einordnung gegenüber den Ausführungen des Kapitel 6 dargestellt.

### 7.1. Historie

Die Versuchsanstellungen mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsintensitäten begannen im Jahr 1979 auf fünf verschiedenen Standorten. Zahlreiche Diplomarbeiten und Dissertationen wurden über diese Thematik seither verfasst. In den Jahren 1994, 1995, 1996 und 1997 wurden Workshops zur konservierenden Bodenbearbeitung und Direktsaat am Institut für Landtechnik mit namhaften Wissenschaftlern durchgeführt. Heute ist diese Versuchsreihe weltweit die einzige ihrer Art.

### 7.2. Darstellung der langjährigen Versuchsflächen

Folgende Tabelle 45 gibt Aufschluss über die unterschiedlichen Bodenarten der fünf bewirtschafteten Versuchsfelder. Im folgenden werden nun die einzelnen Versuchsstandorte näher beschrieben.

Tabelle 45: Standortkennzeichen der langjährigen Versuchsflächen

Standort	Textur			C <sub>org</sub> (in %)	pH (CaCl <sub>2</sub> )
	Ton	Schluff (in %)	Sand		
Wernborn	26,5	55,9	17,6	1,25	4,8
Ossenheim	21,2	67,3	11,5	1,59	7,3
Bruchköbel	5,7	29,3	65	0,66	5,4
Hassenhausen	13,8	66,7	19,5	1,3	6,7
Gießen	31	53	16	1,52	6,6

Quelle: TEBRÜGGE (1994), überarbeitet

#### 7.2.1. Wernborn (Taunus)

Der Standort (ca. 280 - 300 m NN) befindet sich im östlichen Hintertaunus. Die mittlere Niederschlagssumme beträgt 600 - 650 mm (Nov. - Apr. ca. 300 mm, Mai - Okt. ca. 300 - 350 mm). Die Jahresmitteltemperatur beträgt etwa 7 - 8°C. Bei dem Boden handelt es sich um eine Pseudogley-Parabraunerde aus umgelagertem Lößlehm.

Profilbeschreibung: Kolluvial überprägte, erodierte Pseudogley-Parabraunerde über Tonschieferzersatz

Ap: 0 - 28 cm	graubrauner (10YR 4/4), humoser, schluffiger Lehm bis schluffig-toniger Lehm, schwach steinig; Bröckelgefüge, teils Krümelgefüge, Lagerungsdichte mittel bis hoch; Regenwurmgänge, gut durchwurzelt; gerade, deutliche Begrenzung zum
M: 28 - 42 cm	graubrauner, etwas dunklerer schluffiger Lehm bis schluffig-toniger Lehm, schwach bis mittel steinig; teils Bröckelgefüge, teils Krümelgefüge, Lagerungsdichte hoch, wenig biogene Grobporen; undeutliche, wellige Begrenzung zum
II SBT: 42 - 70/80 cm	graubrauner (10YR 4/4), gelbbrauner (10YR 5/8), schluffig-toniger Lehm bis toniger Lehm aus umgelagertem Lößlehm, schwach bis mittel steinig, teils Quarzite, Mn - Konkretionen; in Subpolyeder zerfallendes Prismengefüge mit mittlerer Lagerungsdichte, mittlerer Anteil an biogenen Grobporen; mittel durchwurzelt, vor allem in Regenwurmhängen und entlang der Prismen, deutliche Begrenzung zum anstehenden Ausgangsgestein.
III Cv: 80 cm +	toniger Lehm bis lehmiger Ton, schwach steinig; solifluidal umgelagerter Tonschieferzersatz. Mn - Konkretionen, Lagerungsdichte hoch, aber durchwurzelt.

Mit den Versuchen wurde im Jahr 1979 begonnen.

### 7.2.2. Ossenheim (Wetterau)

Der Standort liegt in der Wetterau mit einer Jahresmitteltemperatur von über 9°C und einer mittleren Jahresniederschlagssumme von 550 - 600 mm. Der Boden ist eine Tschernosem-Parabraunerde aus Löß mit vergleytem Unterboden.

Profilbeschreibung: Tschernosem-Parabraunerde aus Löß mit vergleytem Unterboden

Ap1: 0 - 25 cm	dunkelgraubrauner (10YR 4/2), humoser, schluffiger Lehm, teils Krümelgefüge mit offener bis halboffener Lagerungsart und geringer bis mittlerer Packungsdichte, teils Bröckelgefüge mit offener bis halboffener Lagerungsart und mittlerer Packungsdichte, stellenweise Wurmlösungsgefüge, sehr stark durchwurzelt; wellige, undeutliche Begrenzung zum
Ap2: 25 - 35 cm	dunkelgraubrauner (10YR 4/2), humoser, schluffiger Lehm, teils Bröckelgefüge mit offener bis halboffener Lagerungsart und mittlerer

	Packungsdichte, teils Plattengefüge mit geschlossener Lagerungsart und hoher Packungsdichte, einzelne Regenwurmröhren, mittel bis stark durchwurzelt, Wurzeln häufig an Aggregatoberflächen, gerade, deutliche Begrenzung zum
(Go)AhBt: 35 - 90 cm	dunkelgraubrauner (Matrix 10YR 5/3), Tontapeten (10YR 3/3 - 2/4), schluffiger Lehm bis schluffig toniger Lehm, Polyeder- bis Subpolyedergefüge, deutlich sichtbare Tontapeten, halboffene Lagerungsart mit mittlerer Packungsdichte, sehr viele Regenwurmröhren, mittel bis stark durchwurzelt, viele Fe - und Mn – Konkretionen, schwach wellige, deutliche Begrenzung zum
GoBtv: 90 - 100 cm	gelblichbrauner (Matrix 10YR 5/3, Tontapeten 10YR 3/5 - 2/4), schluffiger Lehm bis schluffig toniger Lehm, Subpolyedergefüge, mit offener Lagerungsart und mittlerer Packungsdichte, sehr viele Regenwurmröhren, mittel durchwurzelt; wellige, undeutliche Begrenzung zum
GoCc: 110 cm +	gelblichbrauner, schwach marmorierter (10YR 6/4 - 7/4), stark lehmiger Schluff, CaCO <sub>3</sub> - Konkretionen, Kohärentgefüge, hohe Packungsdichte, mittel durchwurzelt

Versuchsbeginn war hier ebenfalls im Jahr 1979.

### 7.2.3. Bruchköbel (Untermainebene)

Der Standort liegt in der Untermainebene auf 109 m über NN. Die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt bei über 9° C und die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge beläuft sich auf 600 mm. Der Boden ist eine Braunerde aus Flugsand. Er weist einen für Sandboden hohen pH-Wert von 6,5 (CaCl<sub>2</sub>) auf, bei einem Gehalt an organischer Substanz von 0,65%. Der Tonanteil liegt bei nur 7%. Der Standort ist beregnungsfähig. Die betriebsübliche Fruchtfolge ist Zuckerrüben, Winterweizen, Winterweizen, Wintergerste. Die Ernterückstände verbleiben auf der Ackerfläche. Das Stroh wird flach eingearbeitet.

Versuchsbeginn war auf diesem Standort das Jahr 1979.

### 7.2.4. Hassenhausen (Ebsdorfergrund)

Der Standort liegt am Rande des Marburger Lahntales, Gemarkung Erbenhausen; sehr schwach geneigter Mittelhang; Höhe u. NN: 250 m; Niederschlagssumme: 630 mm; Jahresmitteltemperatur: 7,5°C. Der Boden ist eine schwach pseudovergleyte Parabraunerde aus Lößlehm über Buntsandstein.

Profilbeschreibung: schwach pseudovergleyte Parabraunerde aus Lößlehm über Buntsandstein

Variante Direktsaat

(r)Ap<sub>1</sub> 0-25 humoser schwach toniger bis toniger Schluff (Ut<sub>2</sub> - Ut<sub>3</sub>); teils Platten-, teils Kohärentgefüge in halboffener Lagerungsart, mittlere Festigkeit und geringer bis mittlerer Eindringwiderstand bei hohem bis sehr hohem Makroporenanteil, Verteilung der Wurzeln gleichmäßig, Packungsdichte mittel bis gering; undeutliche Begrenzung zum

(r) Ap<sub>1</sub> 25-35 sehr schwach humoser schwach toniger bis toniger Schluff (Ut<sub>2</sub> - Ut<sub>3</sub>); verlassene Krumenschicht: scharfkantiges Bröckelgefüge mit fast geschlossener Lagerungsart, mittlere bis hohe Festigkeit bei mittlerem bis hohem Eindringwiderstand, hoher Makroporenanteil, der sehr stark durchwurzelt ist, Packungsdichte mittel; deutliche Begrenzung Variante Flügelschargrubber mit Rotor egge

Variante FR

Ap 0-25 humoser schwach toniger bis toniger Schluff (Ut<sub>2</sub>- Ut<sub>3</sub>); Bröckelgefüge mit halboffener Lagerungsart, sehr geringe Festigkeit bei sehr geringem Eindringwiderstand, teilweise Kompartimente mit hoher Festigkeit und hohem Eindringwiderstand, hoher Makroporenanteil, gleichmäßige Wurzelverteilung, Packungsdichte gering; etwas wellige Begrenzung zum

(r)Ap 25-35 sehr schwach humoser schwach toniger bis toniger Schluff (Ut<sub>2</sub> - Ut<sub>3</sub>); verlassene Krumenschicht; Subpolyeder-, teilweise Plattengefüge, mittlere bis hohe Festigkeit und hoher Eindringwiderstand, hoher Makroporenanteil, Packungsdichte mittel bis hoch; deutliche Begrenzung .

Variante Pflug

Ap 0-25 schwach humoser schwach toniger bis toniger Schluff (Ut<sub>2</sub> - Ut<sub>3</sub>); Bröckelgefüge in sperriger bis halboffener Lagerungsart, zeitweise Kohärentgefüge, Wechsel von Bereichen geringer Festigkeit bei sehr geringem Eindringwiderstand mit Kompartimenten mittlerer Festigkeit und mittlerem Eindringwiderstand, mittlerer Makroporenanteil, gleichmäßige Wurzelverteilung, Packungsdichte gering bis mittel; deutliche Begrenzung zum

(r)Ap 25-35 sehr schwach humoser schwach toniger bis toniger Schluff (Ut<sub>2</sub> - Ut<sub>3</sub>); verlassene Krumenschicht: Subpolyederggefüge mit halboffener bis fast geschlossener Lagerungsart, mittlere Festigkeit bei geringem Eindringwiderstand, etwas ungleichmäßige Wurzelverteilung, Packungsdichte gering bis mittel; deutliche Begrenzung.

### 7.2.5. Gießen - Hardthof (Lahntal)

Der Standort befindet sich im Gießener Lahntal. Die mittlere Niederschlagssumme beträgt ca. 600 mm. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8°C. Bei dem Boden handelt es sich um einen braunen Auenboden.

Profilbeschreibung: Brauner Auenboden

Ap <sub>1</sub> : 0 - 25 cm	dunkelgraubrauner (IIGOM) humoser schluffiger bis schluffig-toniger Lehm, vereinzelt Kies; Bröckelgefüge, teilweise Krümelgefüge, Lagerungsdichte mittel bis hoch; vereinzelt Regenwurmröhren; gut durchwurzelt, gerade, deutliche Begrenzung zum
Ap <sub>2</sub> : 25 - 35 cm	graubrauner schluffiger bis schluffig-toniger Lehm, vereinzelt Kies; scharfkantiges Bröckelgefüge, Lagerungsdichte hoch bis sehr hoch, Wurzeln vor allem in Trockenrissen und auf Aggregatoberflächen; sehr wenig Regenwurmgänge, gerade, deutliche Begrenzung zum
IIMSw: 35 - 80 cm+	braungrauer, stark marmorierter lehmiger Sand bis lehmiger Schluff (Laacher-See-Bimstuff), Kohärentgefüge, Lagerungsdichte gering, Regenwurmröhren; Wurzeln vor allem in Regenwurmröhren.

### 7.3. Darstellung der Bearbeitungsgeräte

Auf den Versuchsflächen werden neben den bereits beschriebenen Bodenbearbeitungsverfahren zusätzlich noch ein Verfahren SR und ein Verfahren KG eingesetzt. Bei dem Verfahren Schwergrubber mit Rotoregge (SR) wird die Primärbodenbearbeitung mit dem namengebenden Gerät durchgeführt. Die Aussaat erfolgt in einem zweiten Arbeitsschritt mit Kreiselegge oder Kreiselgrubber mit aufgesattelter Kastensämaschine. Das Verfahren KG verzichtet auf die eigentliche Primärbodenbearbeitung. Es wird eine Saatbettbereitung mit einem Kreiselgrubber durchgeführt. Im gleichen Arbeitsgang erfolgt die Aussaat.

Tabelle 46: Bearbeitungsvarianten auf den langjährigen Versuchsflächen

Standort	P	KG	SR	FR	FS	D
Wernborn	X	X	X	X	X	X
Ossenheim	X			X		X
Bruchköbel	X		X			X
Hassenhausen	X		X	X		X
Gießen	X	X	X	X	X	X

### 7.4. Darstellung der Ergebnisse der langjährigen Versuche (>20 Jahre)

In diesem Kapitel soll ein kurzer Abriss über die erarbeiteten Ergebnisse der Versuchstätigkeit gegeben werden. Aus den zahlreichen Dissertationen und Diplomarbeiten welche in den

Versuchsjahren angefertigt wurden und welche zahlreiche Ergebnisse lieferten, deren Darstellung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden, wurden folgende Darstellungen somit exemplarisch ausgewählt.

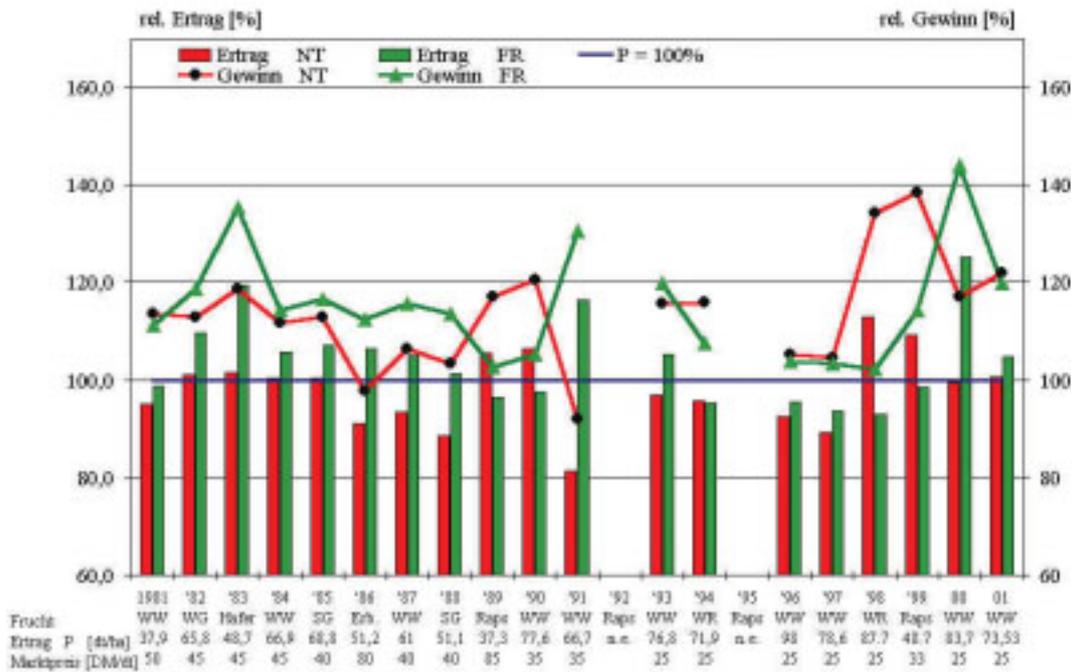


Abbildung 55: Ertragsübersicht Wernborn

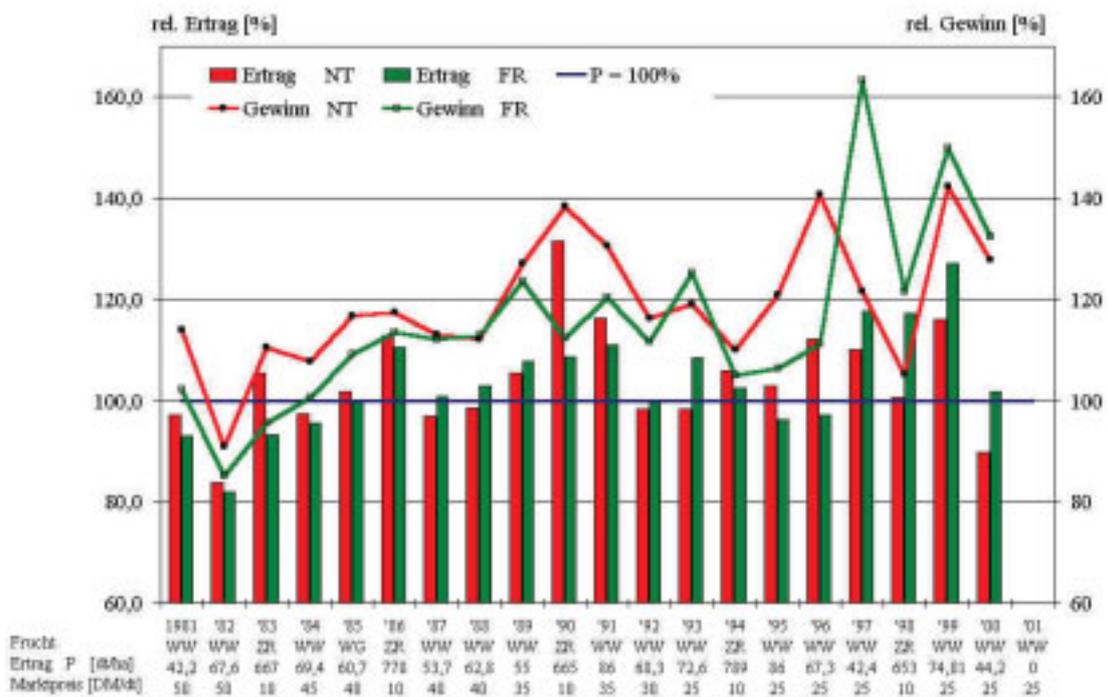


Abbildung 56: Ertragsübersicht Ossenheim

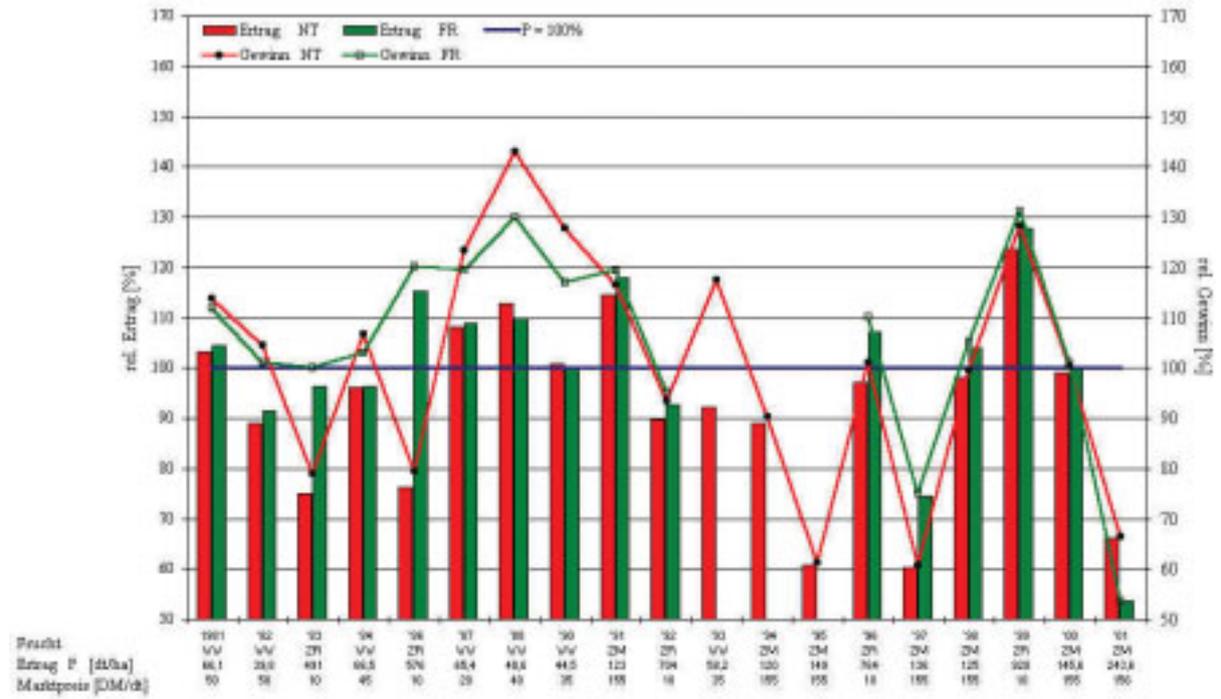


Abbildung 57: Ertragsübersicht Bruchköbel

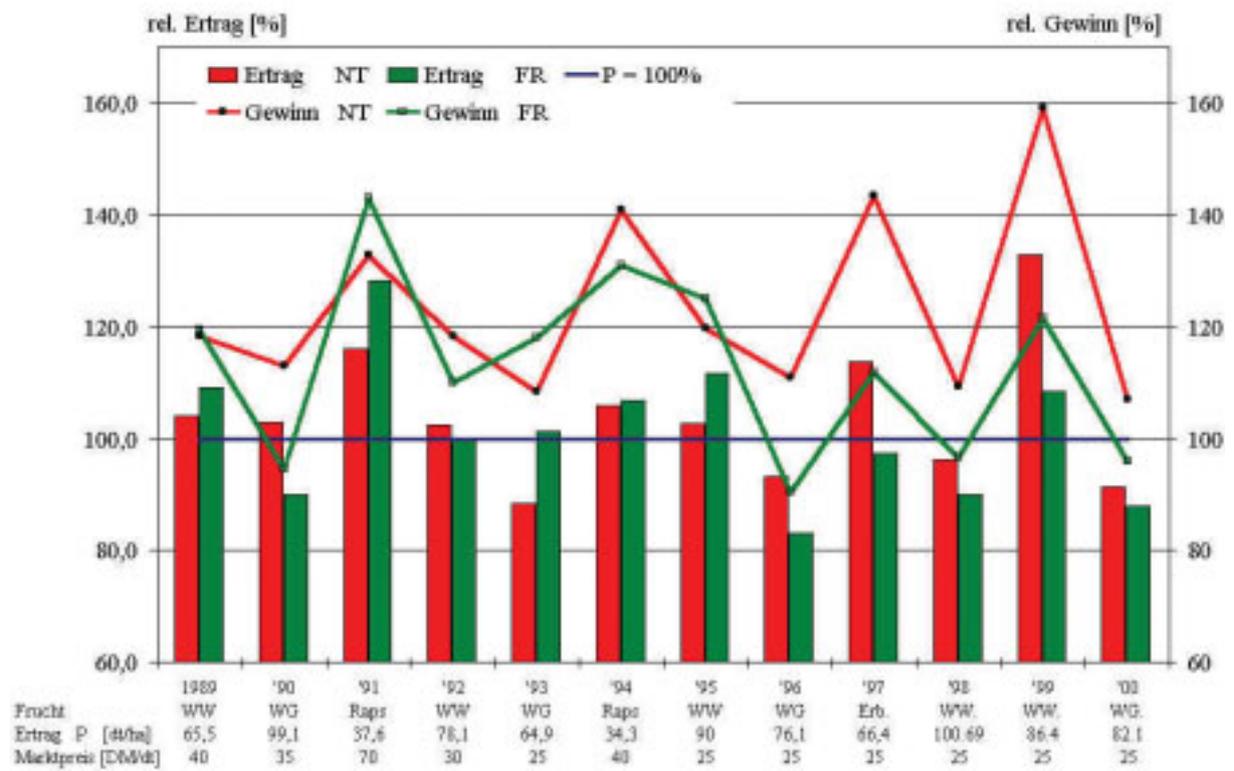


Abbildung 58: Ertragsübersicht Hassenhausen

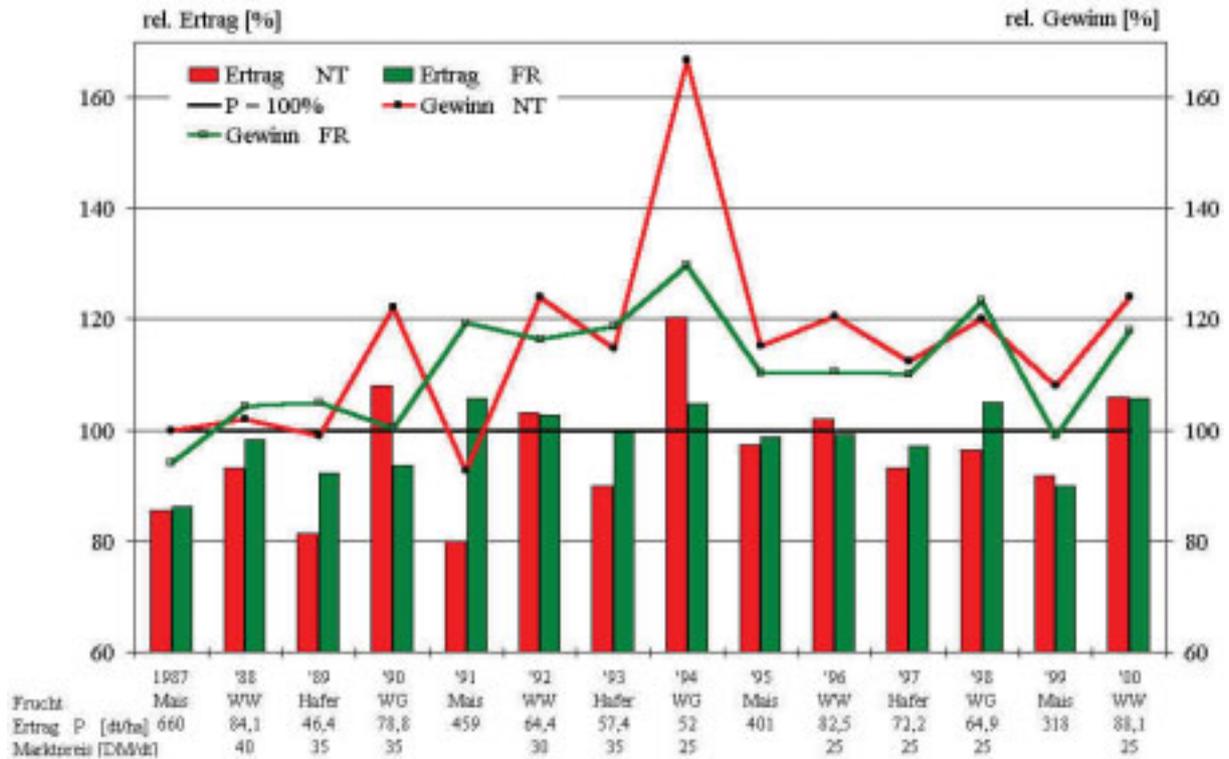


Abbildung 59: Ertragsübersicht Gießen

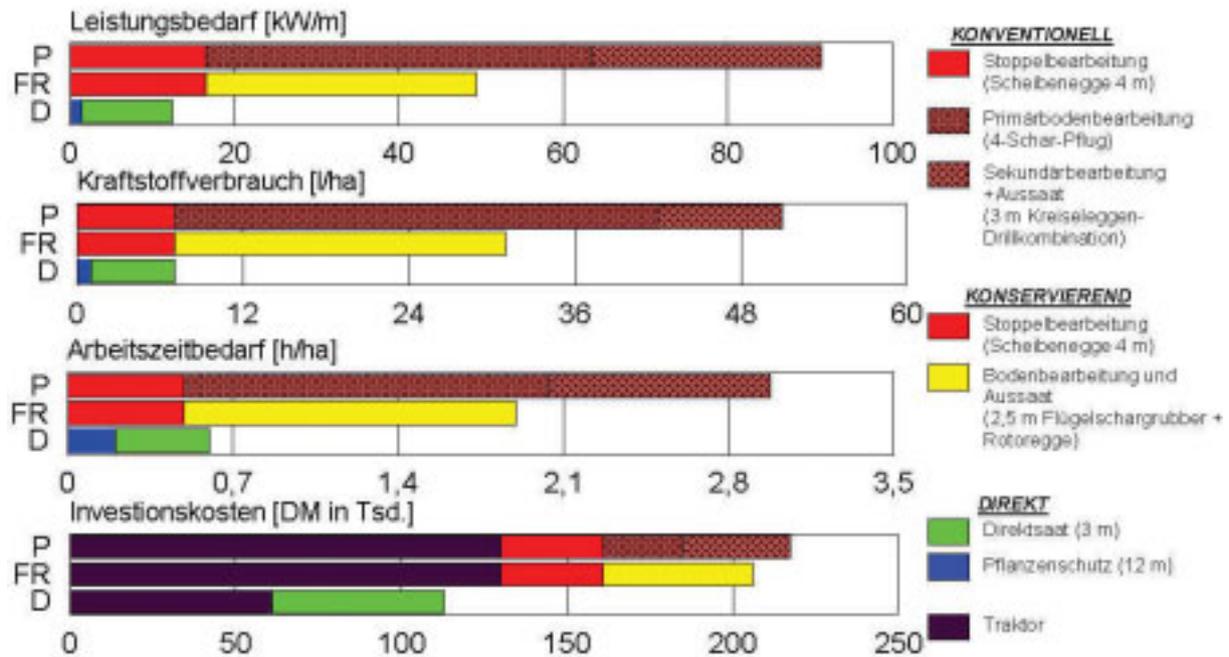


Abbildung 60: Verfahrenstechnische Ergebnisse der langjährigen Versuche

Quellen: Abbildungen 55-60, Tebrügge 2002b, überarbeitet

## 8. Diskussion und Ausblick

Die vorliegende Arbeit „Beurteilung von konservierenden Bodenbearbeitungssystemen zur Bewirtschaftung peripherer Ackerbaustandorte“ hat das vordergründige Ziel, an Hand vier ausgewählter Verfahrenstechniken - welche die aktuellen Bodenbearbeitungsverfahren grundsätzlich und aktuell repräsentieren –sowohl verfahrenstechnische, pflanzenbauliche, ökologische, bodenphysikalische als auch ökonomische Vergleiche herauszuarbeiten. Die Arbeiten erfolgten unter besonderen Konditionen peripherer Lagen im Lahn-Dill-Bergland.

Die Verfahrensauswahl orientierte sich an den Verfahren, welche bereits seit mehr als zwanzig Jahren in Versuchen im Institut für Landtechnik eingesetzt werden, sowie an dem bestehenden Angebot an Verfahrenstechnik zur Bodenbearbeitung und Aussaat. Die vier ausgewählten Bodenbearbeitungssysteme stehen repräsentativ für grundsätzliche Verfahrensvarianten.

Zum einen wurde das konventionelle Pflugverfahren ausgewählt, welches als Leitgerät der Bodenbearbeitung in der praktischen Landwirtschaft den größten Einsatz findet. Als reduziertes, konservierendes Verfahren wurde das Verfahren Flügelschargrubber mit Zinkenrotor (FR) ausgewählt, welches auf eine wendende Bodenbearbeitung verzichtet sowie Bodenbearbeitung und Aussaat in einem Arbeitsgang durchführt. Des weiteren wurde das Verfahren Frässaat (FS) als Bindeglied zwischen konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat (D) ausgewählt. Bei diesem Verfahren wird der Oberboden auf zwei unterschiedliche Weisen abgefräst. Bei dem Verfahren des ersten Versuchsjahres wird der Oberboden in Ablagetiefe des Saatgutes abgefräst und in einem Erdstrom hinter die Breitsäschiene befördert. Bei dem Verfahren der Versuchsjahre 2001 und 2002 wird der Oberboden auf fünf bis sechs Zentimeter abgefräst. Ein Großteil der Erde kommt vor einer Walze zum liegen und wird aus Ablagetiefe rückverdichtet, während der restliche Boden hinter der Walze und Säschiene das Saatgut abdeckt. Schließlich kam in den Versuchen das Verfahren Direktsaat (D) zum Einsatz, welches die geringste Eingriffsintensität der vier Verfahren aufweist, da es lediglich Saatschlitze in den Boden zieht, in welche das Saatgut abgelegt wird.

Um verfahrenstechnische Parameter messen zu können, musste es Ziel sein, ein Messsystem zusammen zu stellen, was es erlaubt, während der eigentlichen Bestellung Messungen durchzuführen. Dem bereits bestehenden Messsystem war es prinzipiell möglich, die gewünschten Parameter zu erfassen, jedoch war es für den Fahrer des Messfahrzeuges nicht möglich, gleichzeitig das genaue Anschlussfahren bei der Aussaat auszuführen, da er zusätzlich mit dem Überwachen des Messsystems beschäftigt war. Das eingesetzte Messfahr-

zeug, ein Systemschlepper, machte es aufgrund des guten Platzangebotes möglich, die Messungen mit zwei Personen zu fahren. Somit konnten mit neuer PC-Messelektronik und Notebook die Messungen durch den Messtechniker verfolgt werden, während sich der Fahrer ausschließlich auf den eigentlichen Arbeitsablauf der Bodenbearbeitung konzentrieren konnte.

Somit wurde die Erfassung der erforderlichen verfahrenstechnischen Parameter für eine ökonomische Bewertung der vier Bearbeitungsverfahren mit Hilfe dieses Messsystems in drei Versuchsjahren durchgeführt. Zugkraftmessungen, Drehmomentmessungen sowie Kraftstoffdurchflussmessungen, die Messung der Arbeitsgeschwindigkeit wurden im Rahmen der Versuchstätigkeit durchgeführt sowie die daraus resultierenden Werte für Leistungsbedarf, Kraftstoffverbrauch und Schlupf ermittelt.

Im Hinblick auf die bestehende Problematik des Bodenschutzes sowie der immer notwendiger werdenden Kostenreduktion der landwirtschaftlichen Produktion, bieten die gewonnenen Ergebnisse für periphere Regionen eine Perspektive im Sinne der nachhaltigen Landbewirtschaftung, d.h. in Bezug auf die Erhaltung von Landschaft und Nahrungsmittelproduktion. Die Verminderung der Bodenbelastung, des Leistungsbedarfs, des Kraftstoffverbrauchs und damit einhergehend auch des Treibhausgases CO<sub>2</sub>, durch eine Reduzierung der Eingriffintensität der Bodenbearbeitung, liefern dem landwirtschaftlichen Unternehmer Anreize, die konventionelle Bodenbearbeitung zu reduzieren, und auf konservierende Bodenbearbeitungssysteme überzugehen.

Eine Reduktion des Leistungsbedarfs von bis zu 68% bei der Direktsaat (D) sowie 70% bei dem Verfahren Frässaat (FS), aber selbst von 39,5% beim konservierenden Verfahren Flügelschargrubber mit Rotoregge (FR), geben einen Eindruck, welche Ressourceneinsparung durch eine Umstellung der Bodenbearbeitung erreicht werden kann. Ähnlich verhält es sich bei dem Kraftstoffbedarf. Benötigt die Pflugvariante (P) 34 Liter je Hektar im Mittel über alle Versuchsjahre, so reduziert sich dieser Wert auf 21 Liter je Hektar bei dem Verfahren FR, auf 10,6 Liter je Hektar beim Verfahren FS. Das Direktsaatverfahren benötigt hierbei im Mittel aller Jahre 6,2 Liter je Hektar. Dies bedeutet im Hinblick auf eine CO<sub>2</sub>-Einsparung, dass mit einem Direktsaatverfahren bei der Bodenbearbeitung bis zu 85% weniger CO<sub>2</sub> durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe je Hektar ausgestoßen werden.

Weitere positive Nebeneffekte sind eine Verbesserung der Bodenstruktur sowie eine Vermehrung des Bodenlebens bei reduzierter Bodenbearbeitung. So ist es nach einigen Jahren der Umstellung auf vielen Standorten nicht mehr notwendig den Boden zu lockern, da insbesondere Regenwürmer ein weitreichendes Bioporensystem aufgebaut haben, durch welches

sich die Pflanzen über ihre Wurzeln mit Nährstoffen und Wasser versorgen können. Durch die höhere Lagerungsdichte der Direktsaat im Oberboden ist außerdem eine bessere Befahrbarkeit zu erreichen, was unter Umständen ebenso einen bodenschonenden Effekt hat, wenn man an die Überfahrten zum Pflanzenschutz und zur Düngung denkt.

Eine Senkung der Arbeitserledigungskosten um bis zu 150 € je Hektar und Jahr bei dem Verfahren D aber selbst geringere Einsparungen von 81 € je Hektar beim Verfahren FR sowie 110 € je Hektar beim Verfahren FS tragen dazu bei die Gesamtkosten zu reduzieren. Diese Einsparungen sind unter den real gegebenen Bedingungen in der Untersuchungsregion zu erreichen, obwohl die Flächenstruktur denkbar ungünstig für jegliche Bearbeitung ist, da Wendezeiten auf beengtem Raum die Flächenleistung reduzieren. Aus diesem Grund stellt die konservierende Bodenbearbeitung im Rahmen der dreijährigen Erhebung eine deutliche Alternative zu konventioneller Verfahrenstechnik dar, sofern die Standortbedingungen und insbesondere die Bodenbeschaffenheit dies zulassen. Auf sandigen Standorten, auf denen der Boden nur mäßig oder gar nicht schrumpfen und quellen kann sowie Standorten mit extremem Unkrautdruck, der mit Pflanzenschutzmassnahmen nicht zu vermindern ist, wird das Verfahren Pflug seine Berechtigung nicht verlieren. Angemerkt sei an dieser Stelle, dass die ökonomische Bewertung, speziell für die untersuchten drei Flächen in jeweils drei Versuchsjahren, aussagekräftig ist. Für andere Betriebe bzw. andere Flächen sind die ökonomischen Parameter jeweils je nach standortspezifischer Auslastung der Maschinen sowohl in Bezug auf Flächenkonfiguration als auch in Bezug auf klimatische Gegebenheiten neu zu berechnen.

Weiterhin liegen die Einsparungseffekte insbesondere im Bereich des Zeitbedarfs je Hektar. Kann unter realen Bedingungen mit einem konventionellen Verfahren, mit Pflug und Kreisellegge, im Minimum eine Fläche von lediglich 3,36 Hektar pro Tag bearbeitet und gesät werden, da das gesamte Verfahren unter anderem 106 Wendungen je Hektar durchzuführen hat, so liegt die Tagesleistung bei einem Direktsaatverfahren, mit 37 Wendungen je Hektar, bei 5,32 Hektar und bei dem Verfahren FS, mit ebenfalls 37 Wendungen je Hektar, aufgrund der kürzeren bauartbedingten Wendezeiten, durch den Anbau an die Dreipunkthydraulik, bei 5,72 Hektar pro Tag.

Dies hat zur Folge, dass die jährliche Flächenleistung unter realen Bedingungen von 161 Hektar auf 274 in Klimaregion 5 erhöht werden kann. In Klimaregion 6 ist eine Steigerung von 208 Hektar auf 355 Hektar möglich, ohne die gegebenen realen Bedingungen zu verändern. Besteht nun aber zusätzlich die Möglichkeit Flächengrößen zu verändern sowie Schlagkonfigurationen zu verbessern, so sind weitaus größere Steigerungen möglich.

Tabelle 47: Mögliche Steigerung der jährlichen Flächenleistung

Variante	Jährliche Flächenleistung [ha*a <sup>-1</sup> ]					
	Klima 5			Klima 6		
	real	optimal	Differenz	real	optimal	Differenz
<b>P</b>	161,5	376,56	215,06	208,6	486,39	277,79
<b>FR</b>	207,36	506,88	299,52	267,84	654,72	386,88
<b>FS</b>	274,56	948,48	673,92	354,64	1225,12	870,48
<b>D</b>	255,36	1309,4	1054,04	329,84	1691,36	1361,52

So liegt die Spanne durch das Verändern der Flächenkonfiguration und –größe innerhalb der Verfahren zwischen 215 Hektar pro Jahr und 1054 Hektar pro Jahr für Klimaregion 5 bzw. zwischen 277,79 Hektar pro Jahr und 1361,52 Hektar pro Jahr in Klimaregion 6. Werden nun zusätzlich die Verfahren von konventioneller Bearbeitung auf Direktsaat umgestellt, so sind Steigerungen der Flächenleistung von 1147,9 Hektar je Jahr für Klimastufe 5 sowie 1482,76 Hektar je Jahr für Klimastufe 6 möglich. Da diese „optimalen“ Flächengrößen in der Realität aufgrund gegebener Landschaftsstrukturen sowie aufgrund rechtlicher Rahmenbedingungen nicht herstellbar sind, liefern sie dennoch eine Vorstellung, welchen Einfluss eine Landschaftsstruktur bzw. deren Änderung auf die Leistungsfähigkeit von Bodenbearbeitungssystemen hat.

Um sowohl höhere Flächenleistungen als auch die ohne Veränderungen der Schläge zu erzielenden jährlichen Flächenleistungen zu erreichen, ist eine Bearbeitung der Fläche letztlich nur noch durch überbetrieblichen Maschineneinsatz zu gewährleisten. Die hohe Kapitalbindung bei einer Eigenmechanisierung würde sich nur dann rentieren, wenn der landwirtschaftliche Unternehmer die freien Maschinenkapazitäten anderen Landwirten entgeltlich zur Verfügung stellt. Da jedoch insbesondere die gesetzlichen Grundlagen zum Umgang mit der Natur einen erheblichen Einfluß auf die verfahrenstechnischen Möglichkeiten in Bezug auf die Bodenbearbeitung haben, werden in Zukunft nicht nur ökonomische Ergebnisse Ausschlag geben, sondern die Anforderungen an die im gesamten Pflanzenbau notwendigen Maßnahmen, wie unter anderem Pflanzenschutz und Düngung, den Einsatz von reduzierter Bodenbearbeitungstechnik bestimmen. Durch Veränderungen im Bereich der gesetzlichen Rahmenbedingungen wird sich in den nächsten Jahren ergeben, welche Bodenbearbeitung sich in peripheren Regionen, aber auch im gesamten Bundesgebiet, wenn nicht sogar europaweit, durchsetzen wird. Wenn die Rahmenbedingungen gegeben sind, können landwirtschaftliche Unternehmer mit Hilfe konservierender Bodenbearbeitungssysteme oder Direktsaattechniken insbesondere die Arbeiterledigungskosten im Pflanzenbau reduzieren.

## 9. Zusammenfassung

Der Pflanzenbau stellt in Deutschland nicht nur eine wichtige Einkommensquelle für landwirtschaftliche Unternehmer dar. Vielmehr ist der Pflanzenbau auch ein entscheidendes Merkmal der bestehenden Kulturlandschaft. Stetig kleiner werdende Margen im Bereich der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion haben bei geringer werdendem Nutzen und steigenden Kosten, unter Umständen ein Brachfallen der Ackerflächen zur Folge. Dies ist in der Tatsache begründet, dass die wirtschaftliche Basis eines jeden Unternehmens die Beachtung der Grundsätze der Finanzierung, des Dreiecks: Rentabilität – Liquidität – Stabilität, sein muß, da bei Nichtbeachtung nur eines dieser drei Kriterien die Erhaltung des Betriebes auf dem Spiel steht.

Aus dieser Problematik heraus soll mit dieser Arbeit ein primär verfahrenstechnischer, aber ebenso ein ökonomischer, ökologischer, pflanzenbaulicher und bodenphysikalischer Ansatz herausgestellt, sowie die Frage der optimalen Bodenbearbeitungsform aufgegriffen und systematisch analysiert werden. Hierzu ist es unerlässlich nicht nur verfahrenstechnische Parameter messen zu können. Entwicklungen im Bereich Bodenbearbeitung werden zunächst vorgestellt, um dann einen Überblick an prinzipiellen Messmethoden für die Messung der erforderlichen Parameter zu geben. Im methodischen Teil dieser Arbeit werden dann die für eine Bewertung erforderlichen Materialien und Methoden herausgestellt. Im Ergebnisteil werden schließlich die erhaltenen Ergebnisse aufgezeigt und analysiert.

Zusammenfassend ist auszuführen, dass eine Reduktion der Verfahrenskosten somit ein geeignetes Mittel wäre, um der oben genannten Entwicklung entgegen zu wirken. Dies kann durch den Einsatz von reduzierter Bearbeitungstechnik erreicht werden. So liegen die Einsparungseffekte insbesondere im Bereich der Arbeitserledigungskosten durch einen geringeren Zeitbedarf je Hektar, aber auch in der Einsparung von Leistung und Kraftstoff. Kann unter realen Bedingungen mit einem konventionellen Verfahren, mit Pflug und Kreiselegge, auf dem Versuchsfeld 1 eine Fläche von 3,36 Hektar pro Tag aufgrund der denkbar schlechten Flächenkonfiguration sowie 106 Wendungen je Hektar für das Verfahren, bearbeitet und gesät werden, so liegt die Tagesleistung bei einem Direktsaatverfahren bei 5,32 Hektar und bei dem Verfahren Frässaat aufgrund der kürzeren bauartbedingten Wendezeiten bei 5,72 Hektar pro Tag. Dies hat zur Folge, dass die jährliche Flächenleistung bei zusätzlicher Änderung der Schlagkonfigurationen und –größen je nach Klimaregion theoretisch um bis zu 1147 Hektar je Jahr für Klimastufe 5 sowie 1482 Hektar je Jahr für Klimastufe 6 gesteigert werden könnte. Da dies selbst bei einhergehender erheblicher Einsparung von Arbeitszeit je Hektar

in einem landwirtschaftlichen Familienbetrieb nicht zu leisten ist, kommt für diese Entwicklung nur eine Art der überbetrieblichen Maschinenverwendung in Frage.

Herauszustellen gilt es jedoch, dass sich die konventionelle Bodenbearbeitung nicht ohne Grund über Jahrhunderte aufrecht erhalten konnte. Zum einen gibt es Ackerbaustandorte, welche aufgrund ihrer natürlichen Gegebenheiten und hier insbesondere aufgrund der Bodenart, nicht auf Direktsaattechniken zurückgreifen können und zum anderen steigen die Anforderungen an das Management mit der Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität. Letztlich ist der landwirtschaftliche Unternehmer gefragt, das für ihn optimale Bearbeitungsverfahren mit allen dazugehörigen Einflussfaktoren zu ermitteln, um eine nachhaltige Perspektive für die Zukunft seines Produktionszweiges Pflanzenbau zu gewährleisten.

## 10. Summary

### ABSTRACT

The specific mechanical intensity of tillage machines exerts a direct and indirect influence on the ecosystem soil. Intention of this subproject of the collaborative research centre is the process engineering, economic, ecologic and husbandric evaluation of different conservation tillage methods under conditions of peripheral fieldsites. The agricultural- and process engineering scientific contribution should help to build up an operational land use with the help of practical agriculture. The machine concepts of conservation tillage are characterised by the intensity of the implements working in the soil. The influence of four tested soil tillage methods to ecosystem soil should be assessed and evaluated with reference to climate, soil structure, farm structure, crop rotation, the average size of the fieldsites of this peripheral regions as well as the product input- and output prices. Especially the methods of power-requirement measuring, wheel spin, soil moisture, and earthworm activity will be pointed out. The collected solutions and their evaluation will be figured out. Further more the process solutions have to regard the minimisation of process costs. This subproject should deliver the optimal management of tillage mechanisation form for peripheral regions.

### INTRODUCTION

In the Collaborative Research Centre the subproject C 1.3 delivers basics for the use of tillage and drilltechnique in the future. This technique has a big impact on the income of farmers. In this research the effects on soil, ecology, economy and husbandry should be delivered in order to built up strategies for the professional use of conservation tillage. This should give farmers in peripheral regions the chance to increase their income or accordingly to have the same benefit if proceeds depreciate and to protect the ecosystem soil.

With the use of timely, prevailing tillage technique, structure damages can be repaired and prevented and soil can built up a quasi natural structure. Because of the new soil protection law in the federal republic of germany the farmer is forced to protect the soil against erosion and soil compaction (BMVEL, 2001). This problems can be solved with the use of conservation tillage. Modern tillage systems without an upturning functioning and with a lower intensity give many possibilities to preserve the soil functions and to reduce costs because of less passages on the field.

In the results of this project the experiences of the 22 years long-term application of reduced and no-tillage of the institute of agricultural engineering (viz. e.g. Tebrügge, 1995) will be included.

## **MATERIALS AND METHODS**

The different cultivation procedures are characterized by different intensities of the depth of engagement into the soil. In the context of investigations of many years of different tillage systems, one pursues that the intensity decreases clearly from the conventional over the reduced cultivation up to the no-tillage. Thus in particular the draught force and power demand as well as the fuel requirement have to be regarded. For this the measuring technique of the companies HBM, Fahr, Mannesmann-VDO as well as Lucas Controlsystems is inserted in the measuring tractor. In figure 24 as well as table 10 these instruments are described.

With the on-line measurements during the tillage and seeding, the measuring data of the different cultivation systems are recorded. The recording and storing of the data take place during the actual work on the designated plots. The data are exported after the measurements. The figure 25 represents the process chain of the data acquisition and preparation by the example of the force.

Further on economic criteria are useful for an evaluation of different tillage systems which have the same purpose fulfilment. But in general for each expenditure-producing effort it is suitable to determine if maximization of benefit can reasonably or rationally be reached. Cost accounting systems can be differentiated for this after time, reference and according to special scope and type of the allocation of costs. In the research normal costs of tillage systems during several repeats will be determined. From this the determination of the cost accounting system follows as "normal costs on fractional cost base".

As method for acquisition and for the comparison of different process costs only the relevant direct- and work completion costs are regarded. As a basis method Flock (2000) developed the so called "branch of industry account" on the basis of a cost-performance calculation (complete cost accounting), which is also as basis of the "new branch of industry account" of the DLG commission for economical counselling and accountancy (DLG, 2000). The branch of industry account is a technically aligned controller. It has apart from the weak point analysis also the function to collect planning bases (Flock, 2000). For this the factor costs are completely registered and evaluated.

For the economic evaluation of the different tillage systems it is necessary that in the area of the direct costs, the costs of the plant protection are only taken into account, if this move on plant protection is not made on all variants. Within the area of the work completion costs the respective costs of machine and manpower of the cultivation, the sowing and the deviating plant protection measures. The determined fractional costs are put for their evaluation in relation to the yields [dt.] of the tillage system.

## RESULTS

The basic cultivation, the secondary cultivation as well as sowing is contained in the assigned process engineering. Table 9 represents the processing variants inclusive number of the work procedures, work width and processing depth. A special feature is that both the "no-till system [D]" and the "rotary cultivator with air seeding [FS]" influence only the upper three cm of the soil. With the version "D" it is limited only to the share of the seeding organs. The "plough variant [P]", consisting of mouldboard plough and vertical rotary harrow, as well as the variant "Chisel plough with rotary harrow [FR]" indicate a processing depth of 25 cm during the primary cultivation as well as a processing depth of 10 cm during the secondary cultivation. The sowing of the variant P is done in the context of the secondary cultivation, at the version FS and FR the sowing takes place in the course of the cultivation and at the NT the seeding takes place without previous tilling of the soil. As tractor serves a Fendt Xylon524<sup>®</sup> with 108 kW. Before the cultivation with the versions P, FR and FS a flat stubble cleaning is executed.

Choice of the investigation farms:

First two reference farms in the investigation area, the so called "Lahn-Dill-Bergland" are selected. Three experimental fields with regional-typical soil types are chosen. The investigation farm 1 operates for quite some time with reduced tillage system "rotary cultivator with air seeding" as well as with a "rotary harrow" without basic cultivation. The investigation farm 2 operates with conventional technique. For the basic cultivation 4 share plough with work width of 1,60 m is used. For the secondary cultivation a rotary harrow with up-saddled seeding machine with working width of three meters is used.

Power requirement:

The power demand consists with all versions of turning power and tractive power. As is to be seen in table 3, the power requirement per meter working width [kW\*mww<sup>-1</sup>] proves the no-till variant with values between 12.14 and 12.94 kW\*mww<sup>-1</sup> as an excellent system. The increase of the power demand in the comparison of the two measuring years is to be justified primarily with the modification of the soil conditions. The version P is because of its two

processing steps in both attempt passages with values between 31.80 and 52.00 kW\*mww<sup>-1</sup> the system with the highest power requirement. The version FR with values 27.49 and 32,89 kW\*mww<sup>-1</sup> as well as the version FS with values between 11,46 and 16,33 kW\*mww<sup>-1</sup> are situated related to the power demand between the versions P and D.

The measurement of the fuel requirement took place during the force measurements by a flow measuring system specified above. In table 4 the volumes related to one hour, to hectare as well as for each kilowatt-hour are shown. Related to the fuel requirement per hectare the D version needs between 5.79 and 6.99 litres. The version P is situated with a consumption per hectare between 29.33 and 38.91 litres in last place. The procedures FR with values between 15.26 and 25.08 litres as well as FS with values between 8.47 and 14.81 litres are situated again between the versions P and D.

#### Annual Fieldwork:

The possible, annual fieldwork time of the individual variants is the result of multiplying the possible fieldwork per hour and farm work days in the time of the sowing determines. The climatic conditions prevailing on the investigation farms correspond to climate zone 5 for farm 2 and 6 for farm 1 (KTBL, 1998) according to KTBL climate zone classification. This means for moderately severe soils between 83 and 104 farm work days with work of the requirement level 2. Among the work of the requirement level 2 the basic cultivation, seedbed preparation as well as sowing.

In table 24 the possible performances per year for the different mechanization versions is shown, if one proceeds from work time of eight hours per day and the surface configuration imposes no restrictions. The difference of the performance within the climatic areas is 376.56 or 486.39 hectares, at the version P, and 1309.4 or 1691.36 hectares, at the version D. The reduced tillage is clearly to favour.

Under extreme conditions, like unfavourable field configurations or sizes, the possible performances reduces to the values represented in table 25.

The processed area per hour depends very strongly on the field configuration as well as the field sizes. In table 21 the impact force under optimal conditions and under really found conditions is set up. "Optimal" is called in this connection that the number of turns, which are needed, in order to process one hectare goes against zero. "Real" between 37 and 106 turns per hectare are needed (initial value: 90m length of field). So time for turning around enter the operating time, which fall in particular with large machine lengths as well as restrained turning possibilities in the weight.

Economic results:

The schematic structure of the direct costs accounting (viz. figure 52):

In the heading informations about the farm, period as well as the cultivated fruit are signed in. The variants are scheduled and calculated in optimal and real field configuration. In line 1 the yields of the variants are listed. In line 2 the direct costs of the additional plant protection measures as well as their interest of 8% are shown. Line 3 contains the work completion costs of the respective variants including the remuneration of 18€ per hour. In the lines 4 and 5 is specified the fractional costs related to the hectare as well as on the quintal. The respective difference to the reference version P is figured out in the lines 6 and 7.

The cost differences of the examined tillage systems per hectare and per quintal are calculated. As base zero the costs of variant P were set. On VF2 (investigation field 2) for example the clearest cost differences with up to 150 € per hectare between the variants are evident. Improved field configurations or larger fields would lower the costs further on.

The reference of the costs to yield is very different depending upon potential of yield as well as management of the crop farming. The results represented here, do not subordinate, up to proven additional plant protection measures, identical procedure dependent strategies. Nevertheless the comparison can show a reduction of costs per quintal yield. Within the individual years of trial up to 3.50 € for each quintal could be saved.

## CONCLUSION

Regarding the existing problems of the soil protection as well as the necessity of cost reduction in the agricultural production the won results offer a perspective in the sense of the lasting land management regarding the preservation of landscape and food production also for peripheral regions. The reduction of the soil load, the power demand, the fuel consumption and with it accompanying also the emission of the greenhouse gas CO<sub>2</sub>, also a lowering of the costs up to 150 € per hectare and year do not only supply to the agricultural enterpriser the incentives to reduce the processing intensity. Even in consideration of the fact that in the investigation region the field structure is unfavourable for the application of conservation tillage, even if the turning time reduces the field performance because of restrained space, represents No-tillage in the context of the two-year collection an alternative to conventional process engineering. The won results can be transferred to the entire investigation region, because the examined cultivation procedures can be applied to all areas of arable land. The economic evaluation has to be calculated for every specific field again, depending upon location-specific extent of utilization of the machines and regarding the field configuration and the climatic conditions.

## 11. Literatur- und Quellenverzeichnis

- ANONYMUS (1862): Der Fowler'sche Dampfpflug in seiner Construction und Anwendung. Besonderer Abdruck aus den Analen der Landwirtschaft BD. XXXIX. Hft. 4 u. 5, Landwirtschaftliche Verlagsbuchhandlung Gustaf Bosselmann, Berlin
- ARENTZEN, U. (1997): Gabler-Wirtschaftslexikon. 14. vollst. überarb. und erw. Aufl., Gabler-Verlag, Wiesbaden.
- BASCH, G. und F. TEBRÜGGE (2001): The Importance of conservation tillage with regard to the Kyoto protocol, Proceedings of the International Meeting on climate change and the Kyoto protocol in Evora (Portugal), 15-16.11.2001
- BB GÖTTINGEN (2001): Betriebswirtschaftliches Büro Göttingen. Betriebsvergleiche. unveröffentlicht, Göttingen.
- BÄUMER, K. (1995): Ökologische Aspekte der Bodenbearbeitung. Zeitgemäße Bodenbearbeitungssysteme, Bericht Nr.62, ALB Hessen
- BBODSCHG (2001): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. <http://www.GolnForm.de>. Vom 17. März 1998, BGBl. I S. 502, geändert am 9. September 2001, BGBl. I S. 2331, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- BEITZ, W. und K.-H. KÜTTNER (1990): Taschenbuch für den Maschinenbau 17. Aufl. Springer Verlag, Berlin.
- BMEL (1998): Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz. Eigenverlag, Bonn.
- BMVEL (2001): .Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Eigenverlag, Bonn.
- BNATSCHG (2001): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege. <http://www.GolnForm.de>. In der Fassung der Bekanntmachung vom 21. September 1998, BGBl. I S. 2994, zuletzt geändert durch Art. 205 der Verordnung vom 29. Oktober 2001, BGBl. I S. 2785, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- BÖHRNSEN, A. und F. TEBRÜGGE (1993): Direktsaat oder Pflug, Grubber oder Frässaat? In: Agrar-Übersicht 8, S.18-21.
- DIN 1319-1 (1995): DIN e.V. (Hrsg) DIN 1319-1: Grundlagen der Messtechnik Teil 1 Grundbegriffe. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 1319-3 (1996): DIN e.V. (Hrsg) DIN1319-3: Grundlagen der Messtechnik Teil 3 Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße, Messunsicherheit. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 1319-4 (1999): DIN e.V. (Hrsg) DIN1319-4: Grundlagen der Messtechnik Teil 4 Auswertung von Messungen, Messunsicherheit. Beuth Verlag, Berlin

- DIN 55350 (1987): DIN e. V. (Hrsg.) DIN 55350: Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik. Beuth Verlag, Berlin
- DLG (2000): .Die neue Betriebszweigabrechnung. Der Leitfaden für Beratung und Praxis. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt.
- DMG (2001): Düngemittelgesetz. <http://www.GolnForm.de>. In der Fassung der Bekanntmachung vom 15. November 1977, BGBl. I S. 2134, zuletzt geändert durch Art. 183 der Verordnung vom 29. Oktober 2001, BGBl. I S, 2785 Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- DÖRFLER, H. (1991): Der praktische Landwirt. 4. völlig neubearbeitete Auflage, Verlagsunion Agrar, München.
- DÜNGE-VO (1997): Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen .<http://www.GolnForm.de>. Vom 26. Januar 1996, BGBl. I S. 118 geändert am 16. Juli 1997, BGBl. I S. 1835, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- EIJKELKAMP (2000): Complementary Information 16.99.20. - Soil / Water Temperature Sensor
- ESTLER, M. und H. KNITTEL. (1996): Praktische Bodenbearbeitung. 2. völlig überarbeitete Auflage, Verlagsunion Agrar, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt.
- EEA (1998): (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY) Soil Degradation, chapter 11, p.23 1-246.; chapter 2, climate change, p. 37-59. In: Europe's Environment: The Second Assessment, Elsevier Science Ltd., pp. 293.
- FENDT: Bedienungs- und Wartungsanleitung Fendt Xylon 524. Marktoberdorf
- FINNERN, H. et al. (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. verbesserte Aufl. Hannover.
- FLOCK, C. (2000): Betriebszweigabrechnungen in der Landwirtschaft. Verlag Pflug und Feder, Sankt Augustin.
- FRIEBE, B. (Hrsg.) (1992): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12.-13. Mai 1992 in Giessen. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns
- GEMINI (2001): Tinytalk Temperatursensor URL: <http://ww2.gemini dataloggers.com/Data-Sheets/Tinys/TK0014.pdf>
- GISI, U. (1990): Bodenökologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- GOCH, G. et al. (2001): Laborskript zur Vorlesung Messtechnik und Sensorik. Fachbereich 4 im Fachgebiet 08 der Universität Bremen. 2.Auflage, Bremen.
- GONZALEZ-FERNANDEZ, P. (1997): Effect of soil tillage on organic matter and chemical properties, p. 43-49. In: Conservation agriculture: agronomic, environmental and economic bases (in Spanish), Spanish Association for Conservation Agriculture (AEAC/ SV), Cordoba, Spain, pp. 372.

- GREGORICH, E.G. et al. (1995): Changes in soil organic matter. Ch. 5. En: D.F. Acton and L.J. Gregorich (eds.), The Health of our Soils. Toward sustainable agriculture in Canada, CLBRR Research Branch, Publication 1906/E, Agriculture and Agri-Food Canada.
- GRIEBEL, J. (1989): Wirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf landtechnische Leistungsparameter, Boden und Pflanze. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns. Dissertation.
- GROß, U. (1996): Einfluß unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Verschlammungsneigung und Aggregatstabilität verschiedener Böden. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns. Dissertation.
- GRUBER, W. (1993): Auswirkungen der Bodenbelastung mit landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen und der Bodenbearbeitung auf das Bodengefüge. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns. Dissertation.
- HABERSTOCK, L. (1997): .Kostenrechnung I - Einführung. Steuer- und Wirtschaftsverlag, Hamburg, 9. Auflage.
- HARTGE, K. H. und R. HORN (1999): Einführung in die Bodenphysik. 3. überarb. Aufl. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- HEBESTREIT, A. (2002): Erzielbare Messgenauigkeiten bei der Anwendung von Wägezellen. Workshop Wägetechnik HBM, 11.04.2002 Weinheim.
- HESSE, J. und H. SEUFERT (2001): Vorlesungsunterlagen Bereich Kostenmanagement. unveröffentlicht. Institut für Landtechnik Giessen.
- HESSE, T. (2002): Grundlagen der praktischen Messtechnik. Workshop Wägetechnik HBM, 11.04.2002 Weinheim.
- HUMMEL, S. und W. MÄNNEL (1990): Kostenrechnung – Bd. 1: Grundlagen, Aufbau und Anwendungen. 4. völlig neu bearb. u. erw. Aufl., Nachdruck, Gabler-Verlag, Wiesbaden.
- IBN (2002): <http://www.ibn-waagen.de/moment/moment.htm>
- JOSSÉ, G. (2001): Basiswissen Kostenrechnung. 2., durchges. Aufl., Deutscher Taschenbuch Verlag, München.
- KINSELLA, J. (1995): The effect of various tillage systems in soil compaction, p. 15-17. In: Farming for a better Environment, A White Paper, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, pp. 67.
- KTBL (1998): .Taschenbuch Landwirtschaft 1998/99. LV Druck im Landwirtschaftsverlag GmbH Münster, Darmstadt.
- KTBL (2002): [http://www.ktbl.de/manag/kosten/ma\\_landw.htm](http://www.ktbl.de/manag/kosten/ma_landw.htm)
- KREYSZIG, E (1968): Statistische Methoden und ihre Anwendungen. 3. Auflage, Verlag Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen

- KRW-/ABFG (1994): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. <http://www.juris.de>. In der Fassung vom 27. September 1994 BGBl I 1994, 2705, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- KUNTZE, H. et al. (1994): Bodenkunde. 5. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- KUNZE R. F. (1990): Das neue Traktorlexikon. Vogel Verlag, Würzburg
- LORENZ (2001): Begriffserklärung Drehmomentsensoren. <http://www.lorenz-messtechnik.de>.
- MILLER, J.D. und G.J. GASKIN (1998): Theta Probe ML2X Principles of operations and applications. <http://www.mluri.sari.ac.uk/thetaprobe/tprobe.pdf>
- OLFERT, K. (1999): Kostenrechnung. 11., überarb. und erw. Aufl., Friedrich-Kiehl-Verlag, Ludwigshafen.
- ÖKOENERGIE (2000): Magazin zur Förderung erneuerbarer Energie und Energieeffizienz. H. Nr.30, Ed.: Universität für Bodenkultur Wien, Ökosoziales Forum Österreich.
- PFLSCHG (2001): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen. <http://www.GoInForm.de>. In der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1998, BGBl. I S. 971, zuletzt geändert durch Art. 186 der Verordnung vom 29. Oktober 2001, BGBl. I S. 2785. Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- PI PIERBURG INSTRUMENTS (2001): <HTTP://WWW.PIERBURG-INSTRUMENTS.DE>
- PRODHAF TG (2000): Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte. <http://www.GoInForm.de>. Vom 15. Dezember 1989, BGBl. I S. 2198, zuletzt geändert durch Gesetz vom 2. November 2000, BGBl. I S. 1478, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- PROFOS, P. und T. PFEIFER (HRSG.) (1992): Handbuch der industriellen Messtechnik 5. Aufl. München, Wien, Oldenbourg
- SCHACHTSCHABEL, P und F. SCHEFFER (1998): Lehrbuch der Bodenkunde 13. durchges. Aufl. Enke Verlag, Stuttgart
- SCHMIDT, D. und F. TEBRÜGGE (1989): Stand der Technik, Entwicklungstendenzen und Forschungsbedarf bei der Sätechnik „Mulchsaat von Getreide“. in: KTBL - Bodenbearbeitungs- und Bestellsysteme in der Diskussion, Arbeitspapier Nr. 130. S.32-47. Darmstadt.
- SCHMIDT, D. (1991): Vergleich verschiedener Getreidesaatgutablagetechniken für die Kombination mit einem Zinkenrotor unter besonderer Berücksichtigung der Ablage in den Erdstrom. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns. Dissertation.
- SCHMIDT, H. (1997): Was ist Genauigkeit? Zum Einfluß systematischer Abweichungen auf Mess- und Ausgleichsergebnisse. Geodätisches Institut der RWTH Aachen.
- SCHLICHTING, E. et al. (1995): Bodenkundliches Praktikum. 2. neubearb Aufl. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien.

- SEUFERT, H.: (1995): Zeitgemäße Bodenbearbeitungssysteme, Bericht Nr.62, ALB Hessen, Kassel
- SEUFERT, H. und G. WEISE (1995): Der Eingriff in den Boden bei der Bestellung, Bericht Nr.62, ALB Hessen, Kassel
- SEUFERT (2001): Vorlesungsunterlagen Bodenbearbeitung und Aussaat. unveröffentlicht. Institut für Landtechnik Giessen.
- SEUFERT (2001b): Vorlesungsunterlagen Grundlagen. unveröffentlicht. Institut für Landtechnik Giessen.
- SEUFERT, H. und H.G. HASSENPLUG (1995): Reifenkonstruktionen und ihr Einfluß auf das Bodengefüge. Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Bauwesen Hessen e.V., Bericht Nr.46, Kassel
- SEUFERT, H. und A. MÜLLER (2002): Verrechnungssätze für überbetriebliche Maschinenarbeit in Hessen. Richtwerte 2002/03. Landesarbeitskreis überbetriebliche Maschinenverwendung. Eigenverlag LAK / HDLGN.
- STRIEBEL, W. (2000): Messung beendet – was nun? Einführung in die Fehlerrechnung <http://www.uni-ulm.de/~horausche/Fehlerrechnung/Fehlerrechnung.pdf>
- STVZO (2002): Straßenverkehrs- Zulassungs-Ordnung. <http://www.stvzo.de/stvzo/inhalt.htm>. In der Fassung der Bekanntmachung vom 28. September 1988 BGBl. I S. 1793, zuletzt geändert durch Artikel 3 des StVRÄndG vom 11. September 2002 BGBl. I S. 3574, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- TEBRÜGGE, F. (1982): Wirkung verschiedener Bodenbearbeitungstechniken auf Strukturaufbau und –stabilität des Bodens. In: Landtechnik 2, S.58-61.
- TEBRÜGGE, F. et al. (1985): Bodenbearbeitung und Bestelltechnik heute energie-, arbeits-, kostensparend und bodenschonend. Landtechnik 40, 2, S.73ff.
- TEBRÜGGE, F. und H. EICHORN (1992): Die ökologischen und ökologischen Aspekte von Bodenbearbeitungssystemen. in: FRIEBE, B.: Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12.-13. Mai 1992 in Gießen. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Niederklein.
- TEBRÜGGE, F. (2000): Bodenbearbeitung: Langfristige Auswirkungen ausgewählter Systeme. AGRARfinanz 7, S. 6-7.
- TEBRÜGGE, F. (2000): Reduceret Jordbearbejding: Samme udbytte- men storre daekningsbidrag. (Ergebnisse 20-jähriger Versuche zur reduzierten Bodenbearbeitung und Direktsaat). Agrologisk 10/2000, S. 18-20.
- TEBRÜGGE, F. (2000): Visionen für die Direktsaat. Landwirtschaft ohne Pflug, 5, S. 16-20.

- TEBRÜGGE, F. (2001): No-tillage visions – Protection of soil, water and climate and influence on management and farm income. Intern Congress Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge, Madrid Spain 01-05.10.2001. in: Hrsg.: L. Garcia- Torres, J. Benites A. Martinez- Vilela: Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge,
- TEBRÜGGE, F. (2002): Photoarchiv. unveröffentlicht.
- TEBRÜGGE, F. (2002b): Ergebnisse der Versuchsfelder. Feldführer Der Versuchsfelder, unveröffentlicht. Institut für Landtechnik.
- TEBRÜGGE, F. und J. ABELSOVA (1999): Auswirkung der Pflug-Bodenbearbeitung und Direktsaat auf biogene Durchporung und ungesättigte Infiltrationsleistung des Bodens. Landtechnik 1/99, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- TEBRÜGGE, F. und A. BÖHRNSEN (2000): Direktsaat -Beurteilung durch Landwirte und Experten in der EU und Nebraska. Landtechnik 55, 1, S. 17-19.
- TEBRÜGGE, F. und A. BÖHRNSEN (2001): Farmer's and expert's opinion on no-tillage in western Europe and Nebraska (USA) in: Hrsg.: L. Garcia- Torres, J. Benites A. Martinez- Vilela: Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge,
- TEBRÜGGE, F. und M. DREIER (Hrsg.) (1994): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristige Auswirkungen auf den Boden. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns
- TEBRÜGGE, F. und R.-A. DÜRING (1999b): Reducing tillage intensity - a review of results from long-term study in Germany. Soil and Tillage, 53 (1), p.15-28.
- TEBRÜGGE, F. und A. WAGNER (1995): Soil structure and trafficability after long-term application of no-tillage. In: experience with the applicability of no-tillage crop production in the west-european countries. Concerted action No. AIR 3-CT 93-1464. Proceedings of the EC-Workshop-II-. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns.
- TU-BERLIN (2002): <http://www.tu-berlin.de/fb7/ioeb/bodenkunde/Skriptkartier/Skript-Kart-Teil4.htm>
- UMWELTHG (2002): Umwelthaftungsgesetz. <http://www.Goln-Form.de>. Artikel 1 des Gesetzes vom 10. Dezember1990, BGBl. I S. 2634 geändert durch Art. 9 Abs. 4 des Gesetzes vom 19. Juli 2002, BGBl. I S. 2674, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- UNTERSWEIG, W (1999): Prüfstand zur Messung mechanischer Größen . Diplomarbeit. [http://www.emt.uni-linz.ac.at/education/diplomarbeiten/da\\_untersweg/Diplomarbeit.html](http://www.emt.uni-linz.ac.at/education/diplomarbeiten/da_untersweg/Diplomarbeit.html)
- WHG (2002): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. <http://www.Goln-Form.de>. In der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002, BGBl. I S. 3245, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- WIECHERS, R. (2002): <http://www.deutzland.de/landwirtschaft.htm>

## Anhang:

### Bodenfeuchtemessungen:

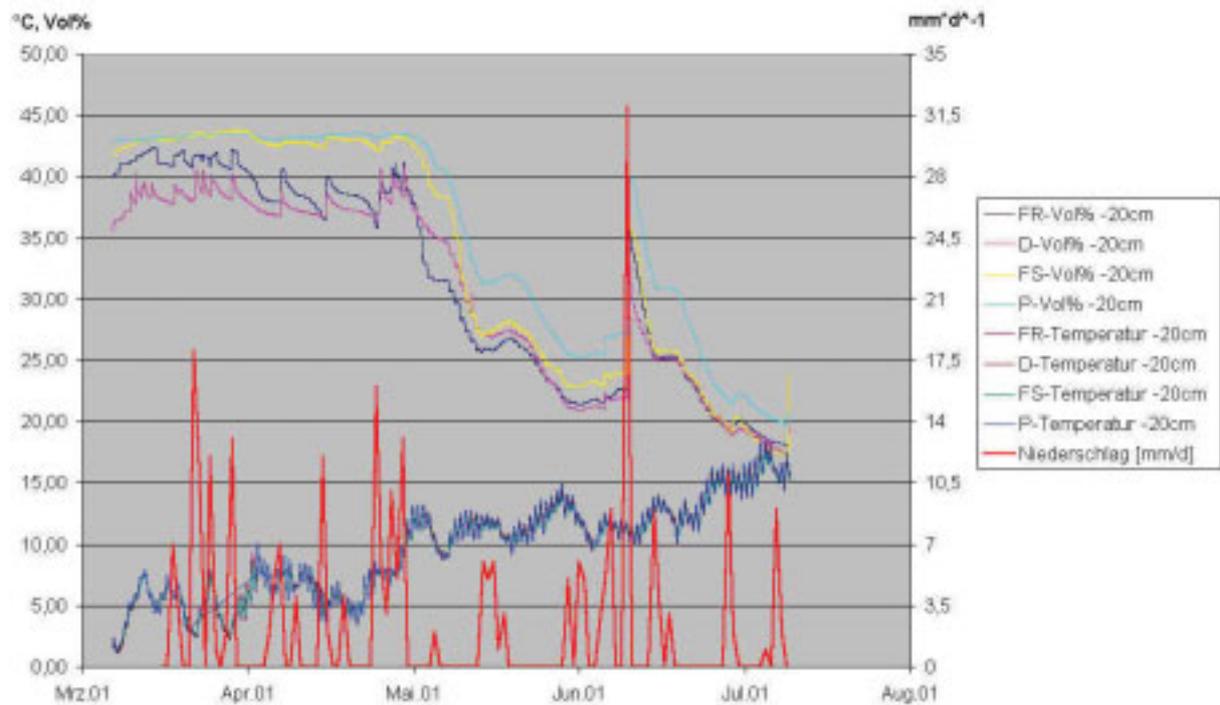


Abbildung 61: Bodenfeuchte - Messungen 2001

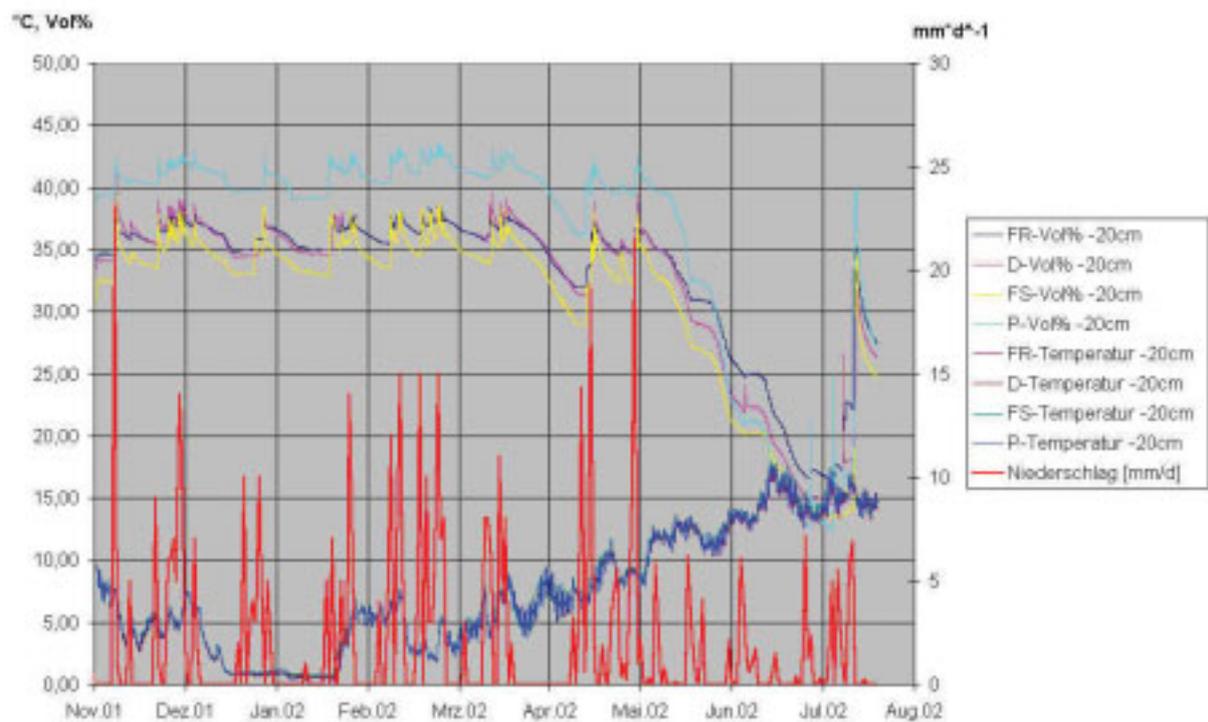


Abbildung 62: Bodenfeuchte - Messungen 2001/2002

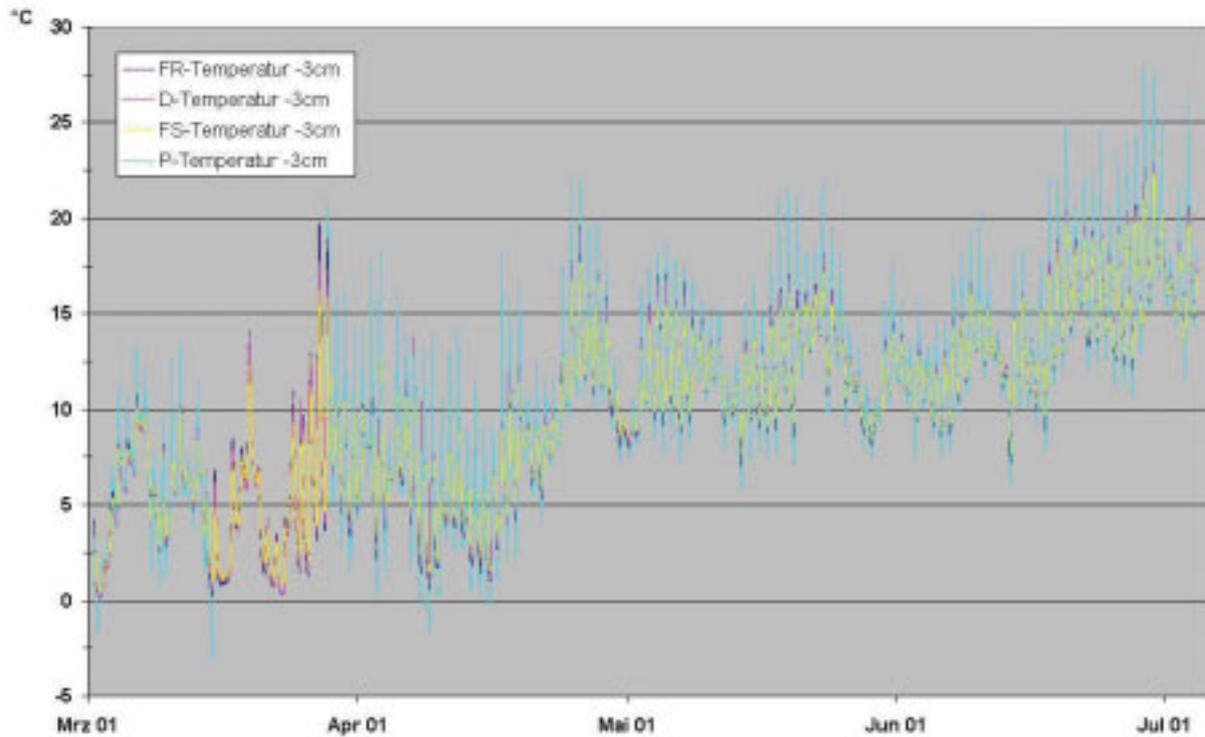
**Bodentemperaturmessungen:**

Abbildung 63: Bodentemperatur - Messungen 2001 -3cm

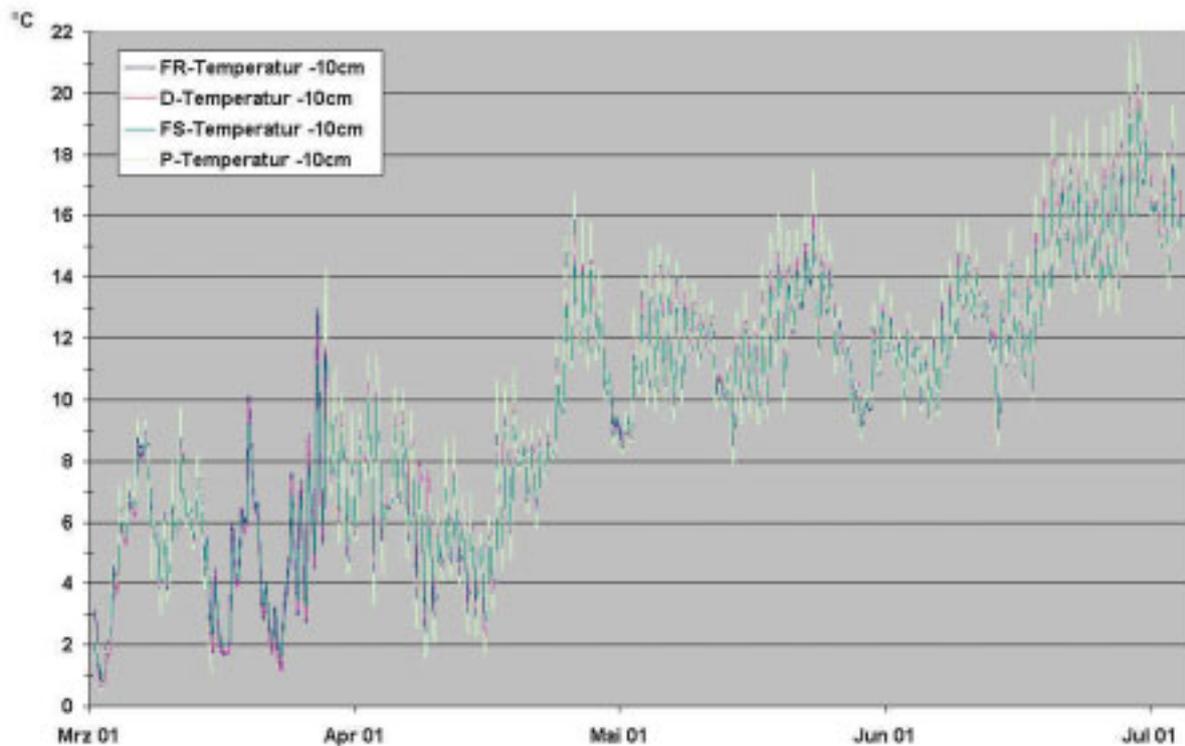


Abbildung 64: Bodentemperatur - Messungen 2001 -10cm

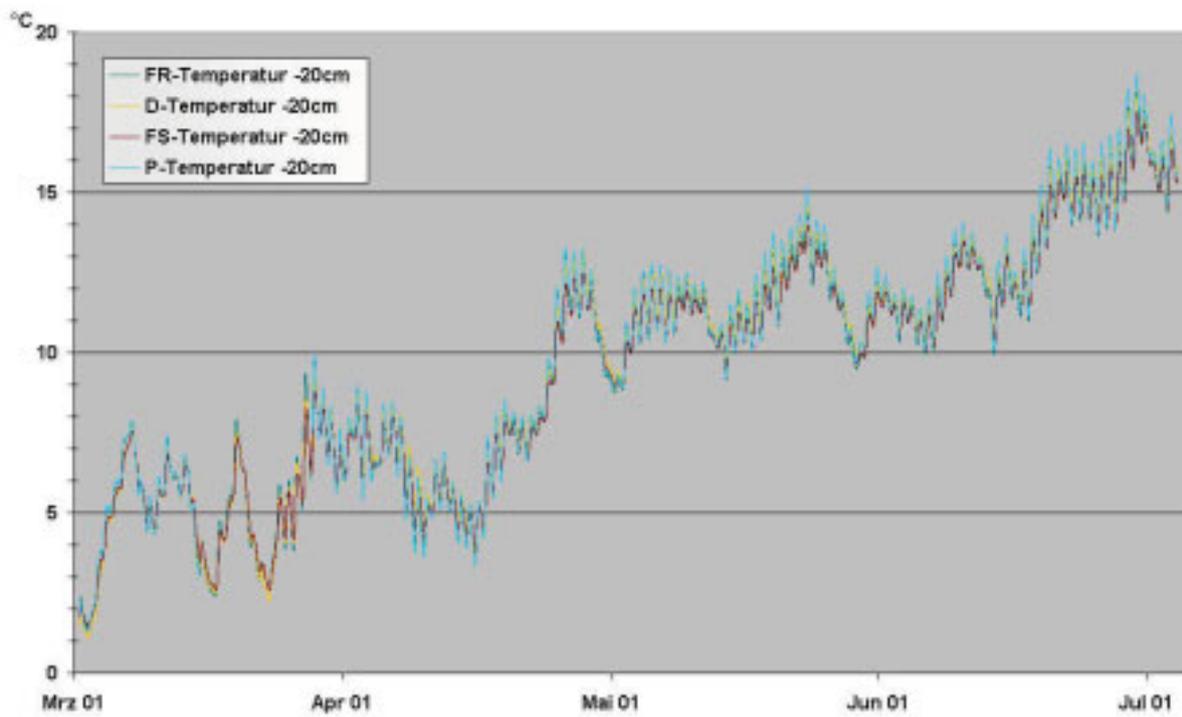


Abbildung 65: Bodentemperatur - Messungen 2001 –20cm

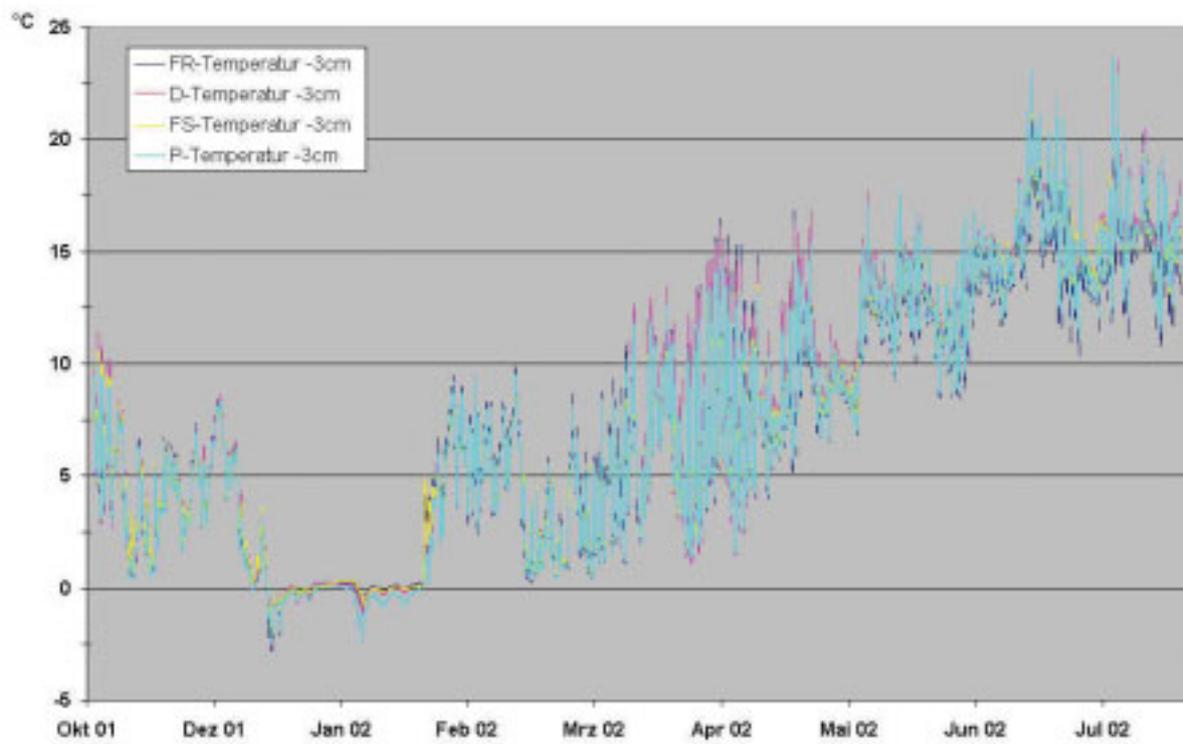


Abbildung 66: Bodentemperatur - Messungen 2001/2002 –3cm

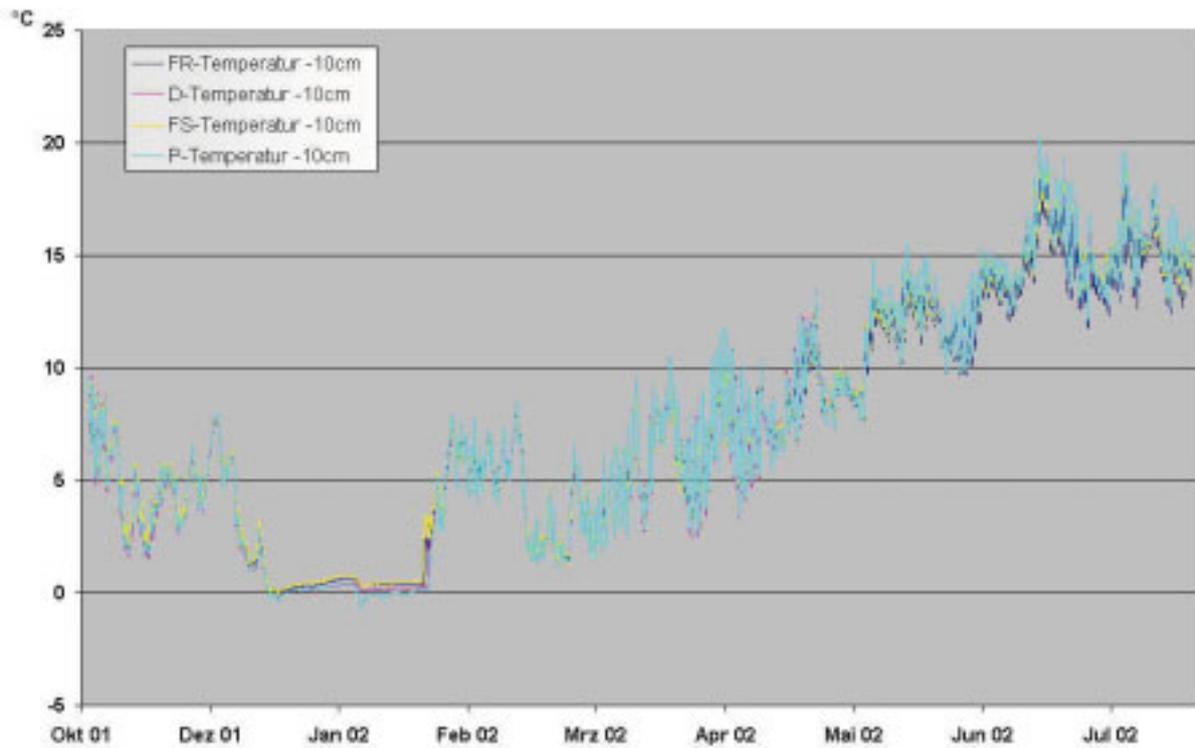


Abbildung 67: Bodentemperatur - Messungen 2001/02 –10cm

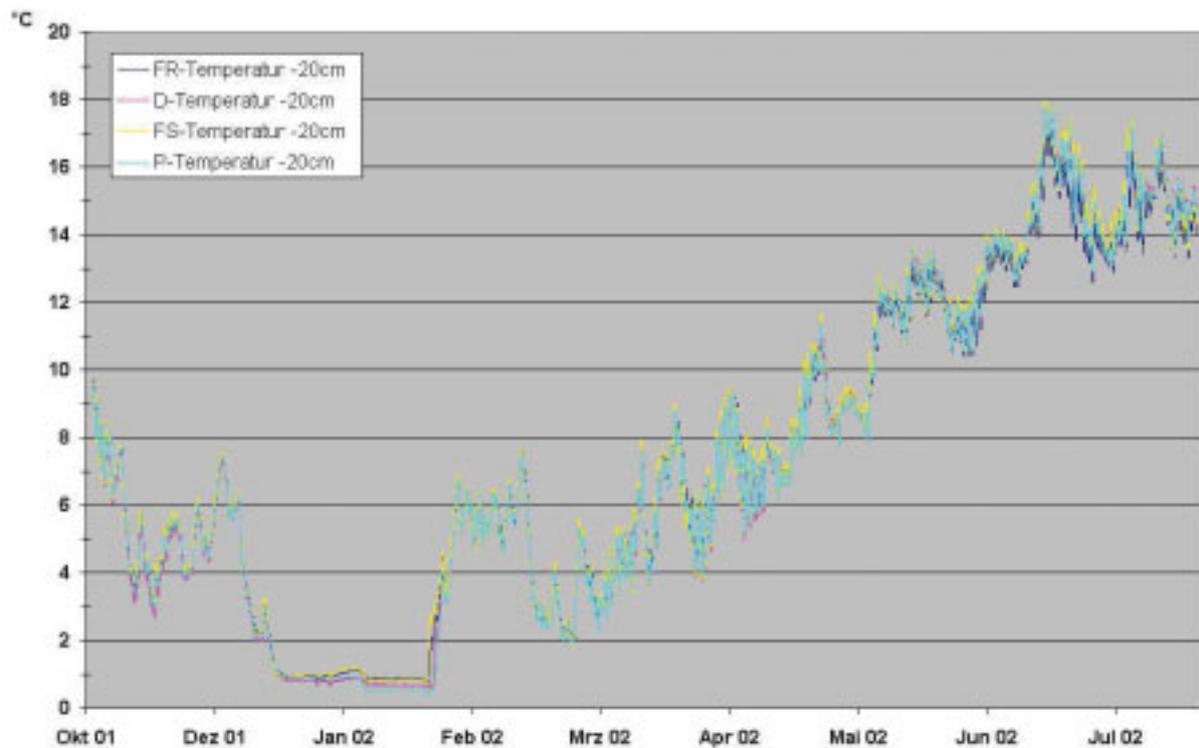


Abbildung 68: Bodentemperatur - Messungen 2001/02 –20cm

**Kraftstoffmessungen:**

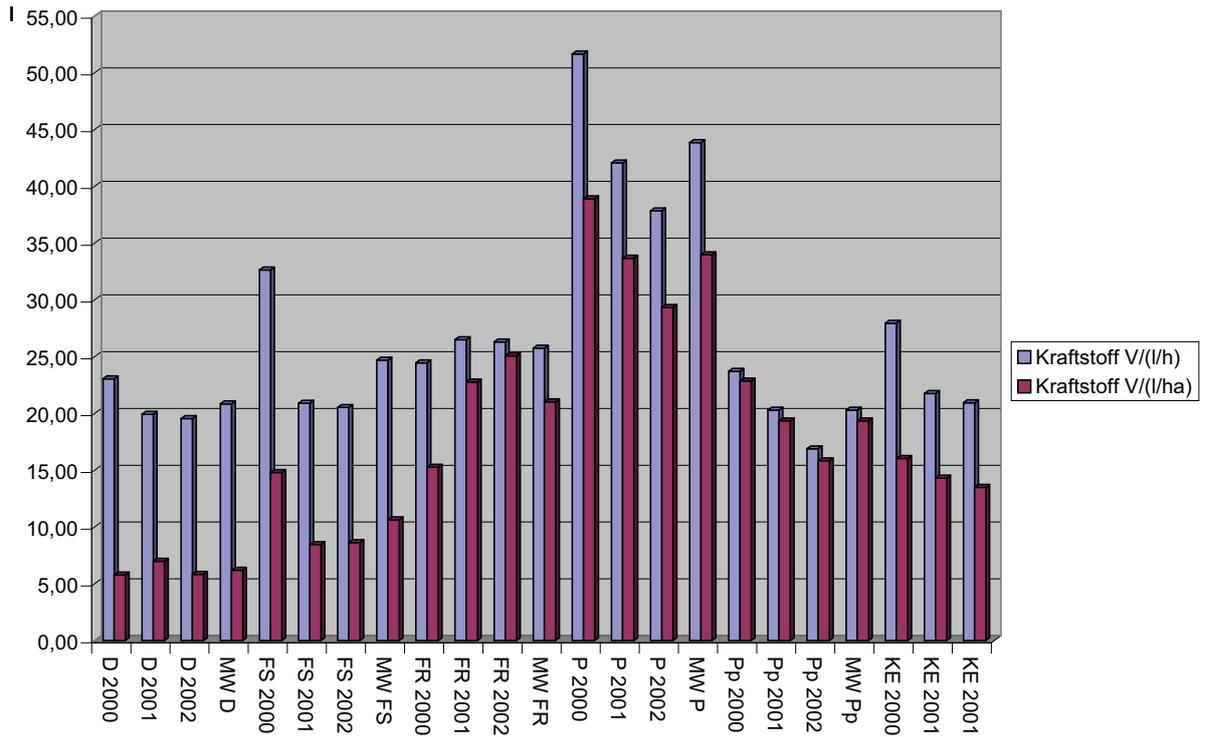


Abbildung 69: Kraftstoffbedarf der Bearbeitungsverfahren je ha und je l

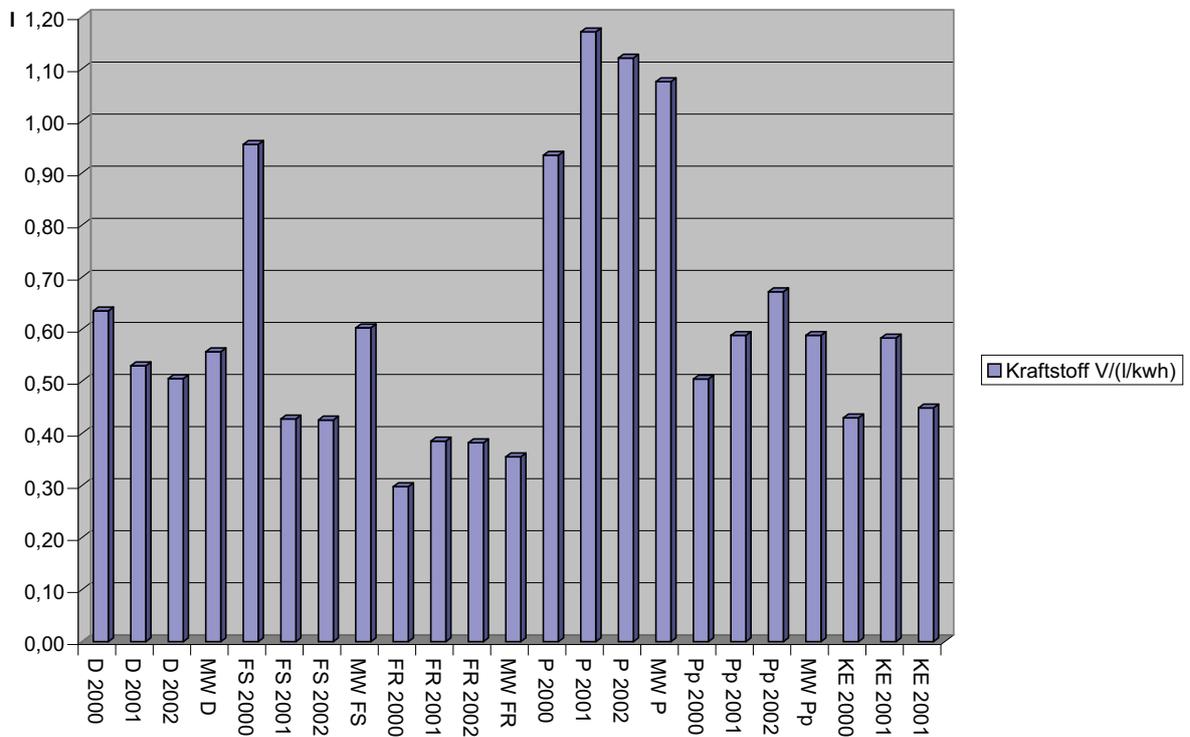


Abbildung 70: Kraftstoffbedarf der Verfahren in l je kWh

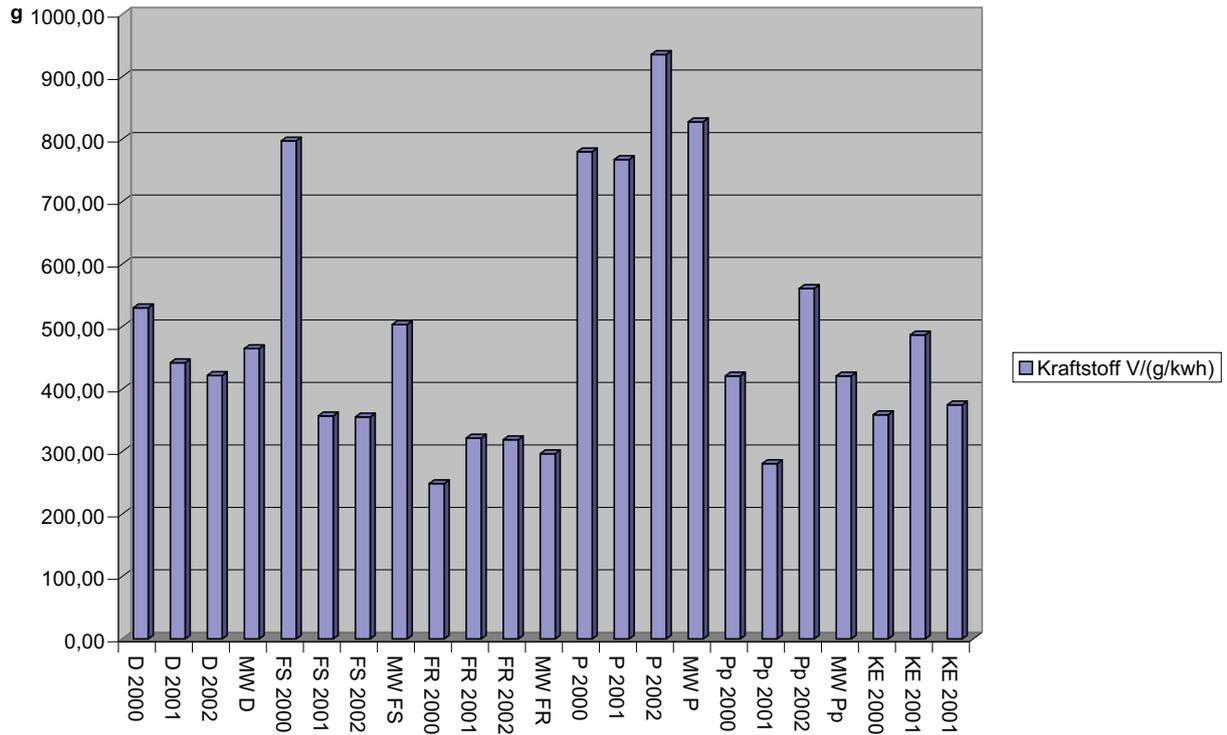


Abbildung 71: Kraftstoffbedarf der Varianten in g je kWh

**Leistungsmessungen:**

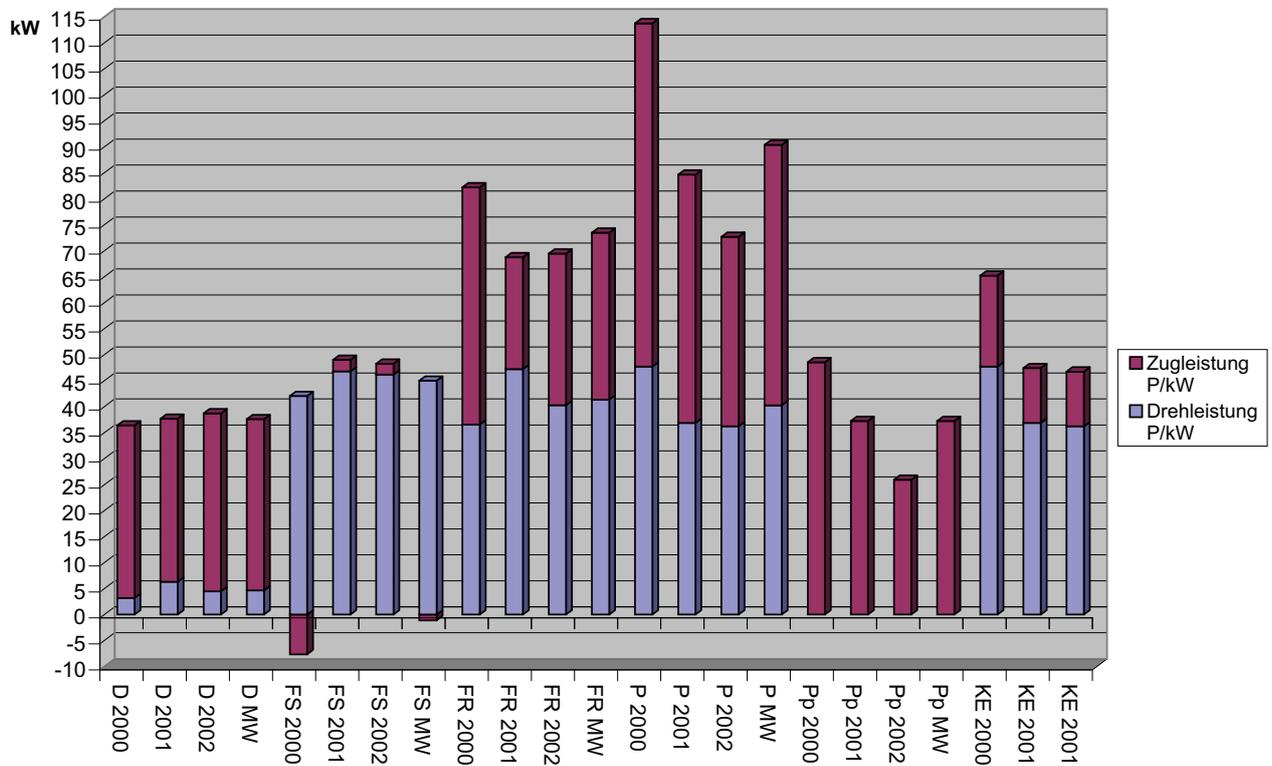


Abbildung 72: Leistungsbedarf der Bearbeitungsvarianten

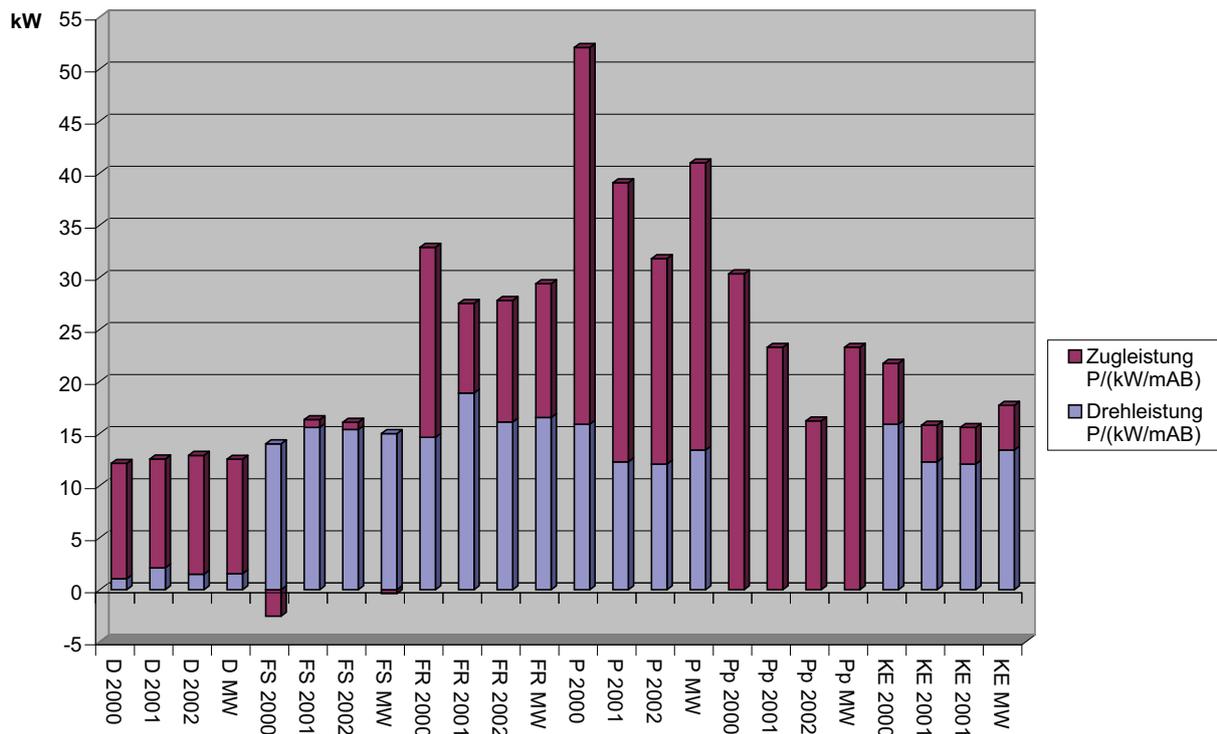


Abbildung 73: Leistungsbedarf der Bearbeitungsverfahren je Meter Arbeitsbreite

Tabelle 48: Legende zur Statistik der verfahrenstechnischen Parameter

Lfd. Nr.	Legende	Lfd. Nr.	Legende
1	Getriebe $v[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	11	Drehmoment $M[\text{Nm}]$
2	Radar $v[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	12	Drehleistung $P[\text{kW}]$
3	Schlupf $S[\%]$	13	Zugleistung $P[\text{kW}]$
4	Kraftstoff $V[\text{l}]$	14	Gesamtleistung $P[\text{kW}]$
5	Kraftstoff $V[\text{l}\cdot\text{h}^{-1}]$	15	Kraftstoff $V[\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}]$
6	Neigung $\text{Neig}[^{\circ}]$ (im Jahr 2000 nicht messbar)	16	Radar $v[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
7	Zugkraft $F[\text{kN}]$	17	Fläche $A[\text{m}^2]$
8	Vertikalkraft $F[\text{kN}]$ (im Jahr 2000 nicht messbar)	18	Kraftstoff $V[\text{l}\cdot\text{kWh}^{-1}]$
9	Querkraft $F[\text{kN}]$ (im Jahr 2000 nicht messbar)	19	Kraftstoff $V[\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}]$
10	Zapfwelle $n[1\cdot\text{min}^{-1}]$ (im Jahr 2000 nicht messbar)		

Tabelle 49: Statistik verfahrenstechnische Messungen 2000

Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
D00-MW	11,38	13,31	14,51	0,08	23,06		9,00				29,17	3,18	33,23	<b>36,41</b>	5,79	3,70	157,96	0,63	530,15	
D00-Min	10,78	12,71	11,11	0,08	20,29		0,12				5,63	0,61	4,62	<b>7,36</b>	4,97	3,53	148,85	0,59	493,09	
D00-Max	11,92	13,91	15,65	0,11	25,75		16,51				71,06	7,74	62,45	<b>65,10</b>	6,42	3,86	171,72	0,66	554,85	
D00-STABW	0,36	0,31	0,79	0,01	2,24		2,18				7,61	0,83	7,78	<b>7,82</b>	0,60	0,09	9,73	0,03	28,69	
<b>n= 2857</b>																				
FS00-MW	7,52	8,47	11,31	0,26	32,64		-3,25				401,55	42,05	-7,64	<b>34,39</b>	14,81	2,35	178,18	0,95	797,25	
FS00-Min	7,19	8,13	6,67	0,23	29,01		-11,44				62,47	6,54	-26,83	<b>-13,78</b>	13,51	2,26	173,86	0,78	653,46	
FS00-Max	7,99	8,86	14,40	0,28	34,09		5,52				451,82	47,31	12,67	<b>57,68</b>	15,58	2,46	185,27	1,06	886,05	
FS00-STABW	0,25	0,23	1,29	0,02	2,42		2,44				60,12	6,30	5,73	<b>7,97</b>	0,96	0,06	4,92	0,12	101,92	
<b>n= 5829</b>																				
FR00-MW	5,29	6,41	17,49	0,20	24,46		25,63				349,24	36,57	45,64	<b>82,23</b>	15,26	1,78	129,19	0,30	248,64	
FR00-Min	5,03	5,96	8,33	0,19	23,25		17,70				19,44	2,04	30,97	<b>48,33</b>	14,78	1,66	126,07	0,27	228,27	
FR00-Max	5,49	6,95	23,26	0,22	27,14		34,41				703,66	73,69	64,49	<b>131,18</b>	16,02	1,93	135,88	0,33	272,06	
FR00-STABW	0,13	0,21	1,93	0,01	1,84		2,53				101,15	10,59	4,74	<b>11,49</b>	0,60	0,06	4,52	0,02	20,25	
<b>n= 5818</b>																				
Pp00-MW	6,14	6,70	8,42	0,19	23,72		25,13				0,00	0,00	48,54	<b>48,54</b>	22,87	1,87	86,28	0,50	421,08	
Pp00-Min	4,47	6,57	3,11	0,16	20,93		15,16				0,00	0,00	31,42	<b>31,42</b>	20,23	1,84	65,39	0,50	413,42	
Pp00-Max	6,56	7,00	31,90	0,22	27,18		38,68				0,00	0,00	68,18	<b>68,18</b>	25,50	1,93	87,18	0,51	428,74	
Pp00-STABW	0,38	0,07	4,86	0,02	3,01		3,88				0,00	0,00	7,14	<b>7,14</b>	3,73	0,02	1,27	0,01	10,83	
<b>n= 10004</b>																				
KE00-MW	6,76	5,79	14,29	0,22	27,94		10,91				455,57	47,71	17,50	<b>64,98</b>	16,04	1,61	139,08	0,43	358,85	
KE00-Min	6,56	5,63	11,77	0,20	25,25		3,84				18,08	1,89	6,22	<b>15,55</b>	14,32	1,56	137,79	0,39	326,34	
KE00-Max	6,89	5,88	17,00	0,24	30,64		17,96				903,65	94,63	28,67	<b>110,89</b>	17,76	1,63	140,38	0,47	391,36	
KE00-STABW	0,12	0,05	2,28	0,03	3,81		2,24				91,25	9,56	3,52	<b>10,67</b>	2,43	0,02	1,83	0,06	45,97	
<b>n= 2873</b>																				

Tabelle 50: Statistik verfahrenstechnische Messungen 2001

Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
<b>D01-MW</b>	10,42	9,45	9,39	0,15	19,93	-1,12	11,96	9,06	0,64	1047,02	57,51	6,31	31,37	<b>37,68</b>	6,99	2,62	208,78	0,53	442,19	
<b>D01-Min</b>	9,15	8,59	4,34	0,11	18,24	-6,40	-1,62	4,08	-0,07	1002,60	41,55	4,41	4,43	<b>11,72</b>	6,41	2,39	169,47	0,49	411,85	
<b>D01-Max</b>	10,72	10,21	15,75	0,17	21,08	3,70	24,44	13,51	4,01	1083,78	104,86	11,44	64,23	<b>70,29</b>	7,40	2,80	232,21	0,59	495,00	
<b>D01-STABW</b>	0,17	0,17	0,68	0,02	1,12	1,59	2,89	1,02	0,54	21,39	7,51	0,85	7,56	<b>7,71</b>	0,36	0,05	20,16	0,03	22,88	
<b>n= 13219</b>																				
<b>FS01-MW</b>	8,90	8,18	8,06	0,19	20,91	-1,47	0,96	-4,29	-0,04	1068,92	417,91	46,77	2,23	<b>48,99</b>	8,47	2,27	225,56	0,43	357,07	
<b>FS01-Min</b>	7,63	7,11	2,95	0,13	18,87	-9,09	-2,09	-6,39	-2,13	981,60	116,52	13,00	-4,69	<b>20,83</b>	7,25	2,11	173,09	0,39	327,38	
<b>FS01-Max</b>	11,06	10,66	12,66	0,24	22,27	3,66	7,29	-1,59	2,69	1116,00	806,91	89,00	20,03	<b>89,72</b>	9,35	2,80	259,69	0,47	390,73	
<b>FS01-STABW</b>	0,55	0,51	0,53	0,04	1,02	1,36	1,44	0,51	0,30	7,63	72,63	8,10	3,36	<b>7,99</b>	0,63	0,14	31,71	0,02	20,86	
<b>n= 16571</b>																				
<b>FR01-MW</b>	5,18	4,57	11,76	0,49	26,49	-1,55	16,96	2,16	0,79	1048,34	430,21	47,22	21,52	<b>68,73</b>	22,78	1,27	215,36	0,39	321,60	
<b>FR01-Min</b>	4,58	3,55	8,32	0,46	24,66	-5,10	7,73	-0,47	-0,11	1002,60	53,05	5,85	9,81	<b>25,76</b>	19,72	0,99	187,74	0,36	301,54	
<b>FR01-Max</b>	6,10	5,33	19,38	0,51	30,29	3,17	27,21	13,99	2,23	1065,30	861,05	94,97	34,72	<b>113,51</b>	26,20	1,48	257,29	0,43	356,23	
<b>FR01-STABW</b>	0,03	0,05	0,62	0,02	1,59	1,12	2,22	0,81	0,31	6,29	75,51	8,25	2,81	<b>8,70</b>	1,64	0,01	18,16	0,02	15,87	
<b>n= 39945</b>																				
<b>KE01-MW</b>	5,60	5,07	9,53	0,31	21,76	-1,22	7,50	0,47	1,08	1100,02	320,13	36,87	10,55	<b>47,42</b>	14,32	1,41	218,90	0,58	486,66	
<b>KE01-Min</b>	4,58	4,15	5,04	0,27	21,06	-4,45	-7,44	-0,51	-0,67	1030,14	205,16	23,35	4,14	<b>33,31</b>	11,34	1,15	186,03	0,44	366,99	
<b>KE01-Max</b>	7,21	6,76	18,66	0,39	22,61	9,79	10,25	24,49	2,81	1136,28	464,35	53,87	17,35	<b>66,03</b>	15,20	1,88	265,02	1,81	1509,60	
<b>KE01-STABW</b>	0,47	0,46	0,70	0,04	0,55	0,74	0,79	0,71	0,31	13,01	30,76	3,46	1,17	<b>3,88</b>	1,04	0,13	26,59	0,41	339,54	
<b>n= 28463</b>																				

Tabelle 51: Statistik verfahrenstechnische Messungen 2002

Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
<b>D02-MW</b>	12,67	11,24	11,31	0,12	19,55	-1,30	10,64	2,50	0,50	1062,03	40,28	4,48	34,24	<b>38,82</b>	5,84	3,12	201,56	0,51	421,76	
<b>D02-Min</b>	11,82	10,69	5,45	0,10	18,71	-18,22	-31,91	-0,71	-2,79	1030,14	-36,18	-4,02	-13,50	<b>-8,65</b>	5,46	0,00	167,06	0,47	395,74	
<b>D02-Max</b>	13,73	12,22	20,90	0,15	20,30	9,38	27,07	7,27	2,97	1122,72	64,28	7,21	77,07	<b>80,36</b>	6,12	3,27	248,78	0,54	451,19	
<b>D02-STABW</b>	0,12	0,14	0,66	0,02	0,67	2,39	4,38	0,46	0,28	13,86	7,75	0,86	11,10	<b>11,23</b>	0,27	0,07	28,53	0,02	20,14	
<b>n= 7602</b>																				
<b>FS02-MW</b>	8,73	7,91	9,39	0,22	20,53	-1,70	0,96	-1,07	0,00	1069,98	412,00	46,16	2,10	<b>48,28</b>	8,64	2,20	251,58	0,43	355,32	
<b>FS02-Min</b>	7,63	7,02	4,07	0,20	18,51	-5,61	-2,69	-1,60	-1,25	991,98	116,52	13,00	-5,81	<b>20,82</b>	7,79	1,95	248,20	0,38	318,67	
<b>FS02-Max</b>	9,15	8,78	23,25	0,24	21,71	3,59	7,29	-0,40	2,69	1083,78	797,74	87,01	15,95	<b>89,67</b>	9,22	2,44	255,92	0,46	381,18	
<b>FS02-STABW</b>	0,07	0,08	0,46	0,02	1,31	1,53	1,44	0,13	0,28	7,58	74,42	8,32	3,14	<b>8,17</b>	0,59	0,02	3,26	0,03	26,23	
<b>n= 9531</b>																				
<b>FR02-MW</b>	4,98	4,28	14,12	0,90	26,30	-1,62	24,61	1,76	0,39	1015,62	378,90	40,27	29,18	<b>69,42</b>	25,08	1,19	361,27	0,38	318,89	
<b>FR02-Min</b>	3,05	3,78	-18,65	0,28	24,85	-7,61	15,92	1,16	-1,78	833,28	170,33	18,38	19,05	<b>45,28</b>	22,72	1,05	93,93	0,36	297,45	
<b>FR02-Max</b>	6,10	5,43	33,26	1,54	28,63	5,81	42,01	3,96	2,32	1065,30	724,51	75,27	47,98	<b>108,41</b>	29,43	1,51	612,95	0,42	354,25	
<b>FR02-STABW</b>	0,14	0,15	0,94	0,42	1,09	2,26	2,98	0,21	0,37	34,18	57,28	6,03	3,25	<b>7,16</b>	2,06	0,04	172,19	0,02	17,77	
<b>n= 64838</b>																				
<b>Pp02-MW</b>	7,51	6,66	11,30	0,18	16,89	-0,79	14,04	2,35	0,18	0,00	0,00	0,00	25,94	<b>25,94</b>	15,84	1,85	115,82	0,67	560,94	
<b>Pp02-Min</b>	6,86	5,43	1,12	0,14	12,94	-5,67	3,16	1,17	-1,16	0,00	0,00	0,00	5,95	<b>5,95</b>	11,89	0,00	107,39	0,59	491,72	
<b>Pp02-Max</b>	7,63	8,14	28,81	0,22	18,56	4,71	26,54	3,39	1,45	0,00	0,00	0,00	47,18	<b>47,18</b>	17,52	2,26	129,09	0,92	766,80	
<b>Pp02-STABW</b>	0,05	0,07	1,00	0,02	1,47	1,12	2,94	0,25	0,32	0,00	0,00	0,00	5,34	<b>5,34</b>	1,48	0,02	6,88	0,09	74,00	
<b>n= 23542</b>																				
<b>KE02-MW</b>	5,80	5,19	10,56	0,29	20,95	-1,38	7,34	0,57	0,21	1100,68	314,34	36,21	10,53	<b>46,75</b>	13,49	1,44	213,47	0,45	374,77	
<b>KE02-Min</b>	4,58	3,51	1,32	0,26	19,75	-4,45	1,82	0,10	-0,22	1065,24	174,78	19,95	3,31	<b>27,38</b>	11,25	1,14	180,97	0,43	362,64	
<b>KE02-Max</b>	7,25	6,77	42,44	0,32	22,15	0,59	9,89	1,39	10,12	1136,28	464,35	52,10	17,15	<b>65,87</b>	14,34	1,88	242,87	0,46	387,65	
<b>KE02-STABW</b>	0,65	0,64	1,08	0,02	0,85	0,84	0,79	0,15	0,28	13,67	33,23	3,65	1,38	<b>4,26</b>	1,31	0,18	22,87	0,01	8,93	
<b>n= 12334</b>																				

## Ertragsmessungen:

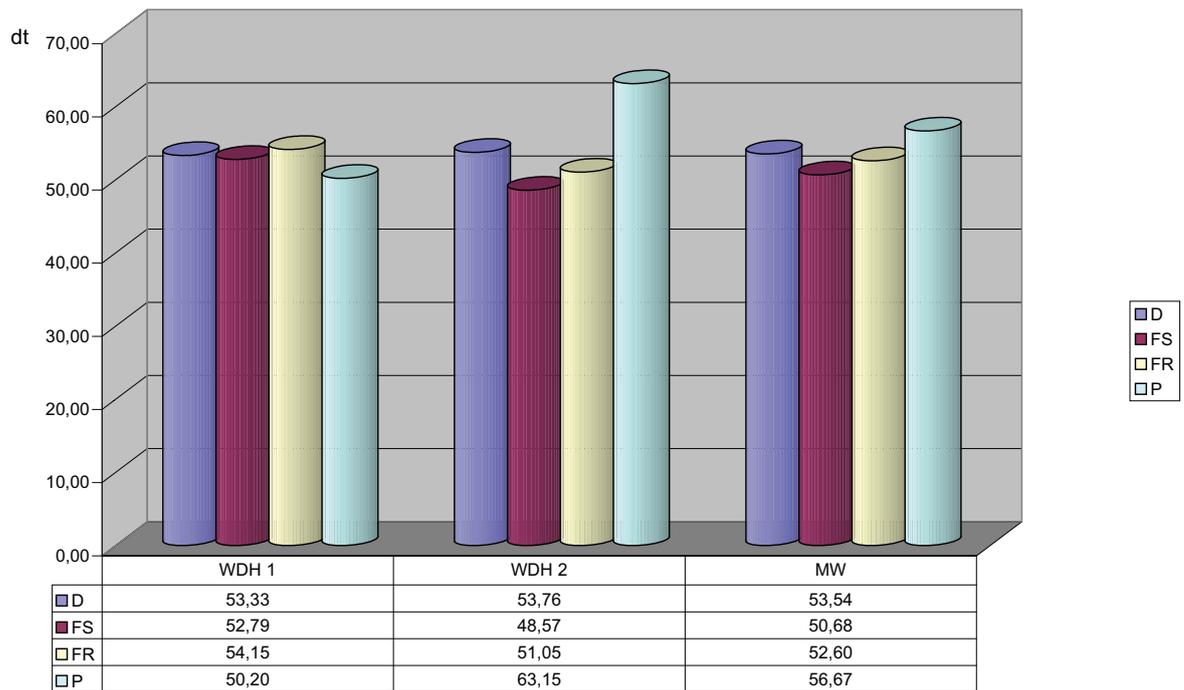


Abbildung 74: VF1-2000-SG

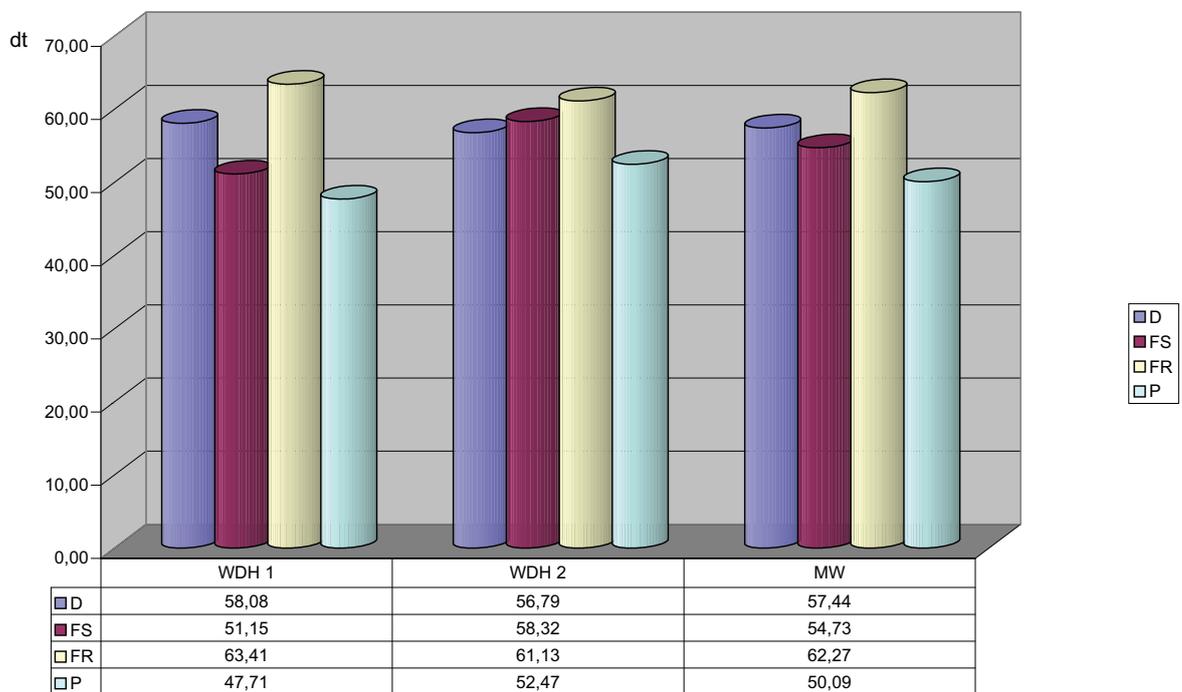


Abbildung 75: VF1-2001-WR

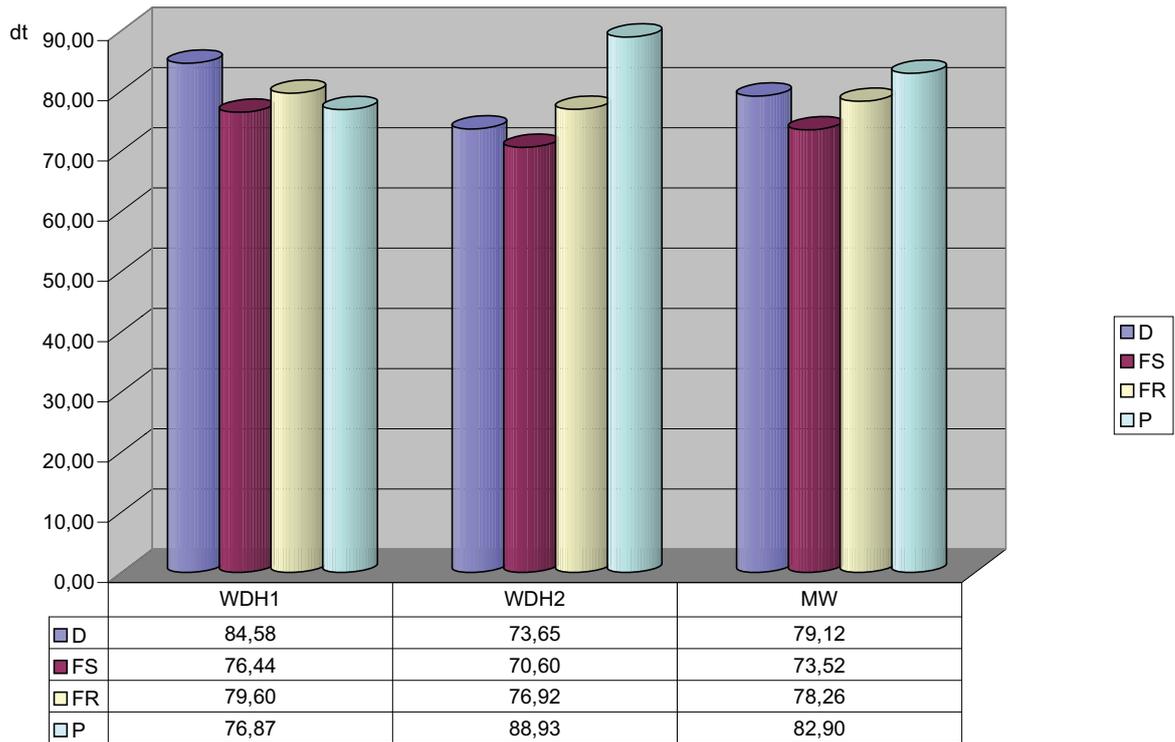


Abbildung 76: VF1-2002-TR

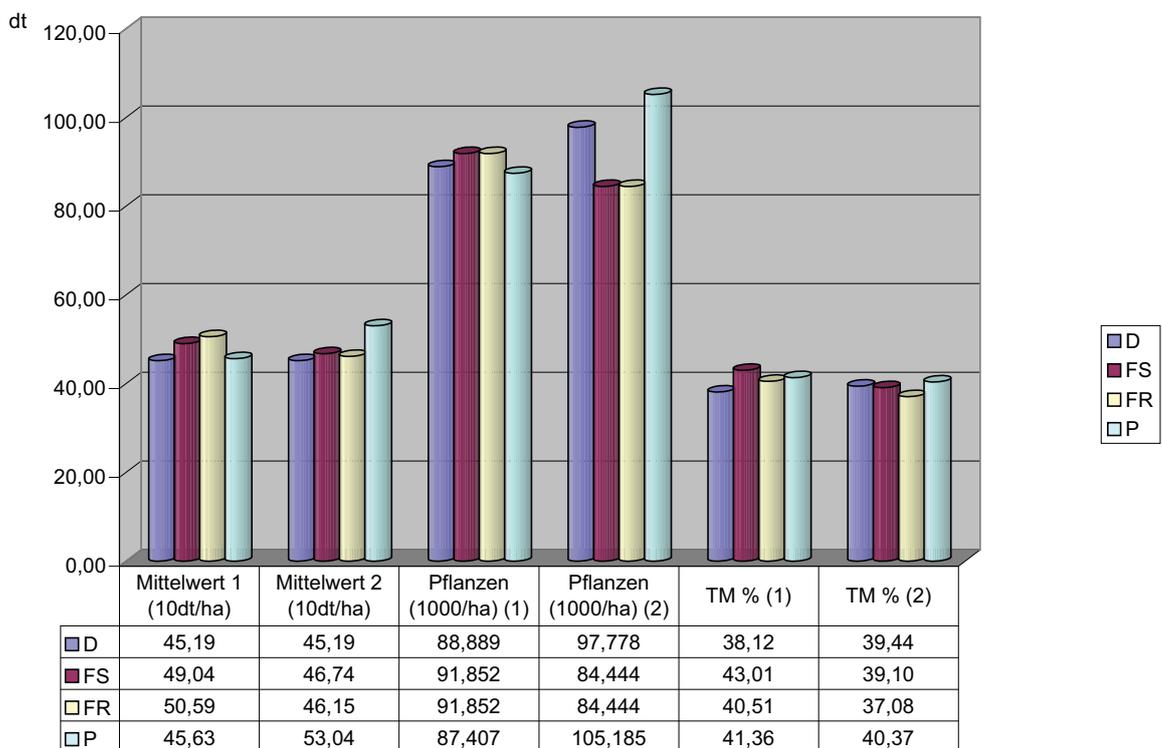


Abbildung 77: VF2-2000-SM

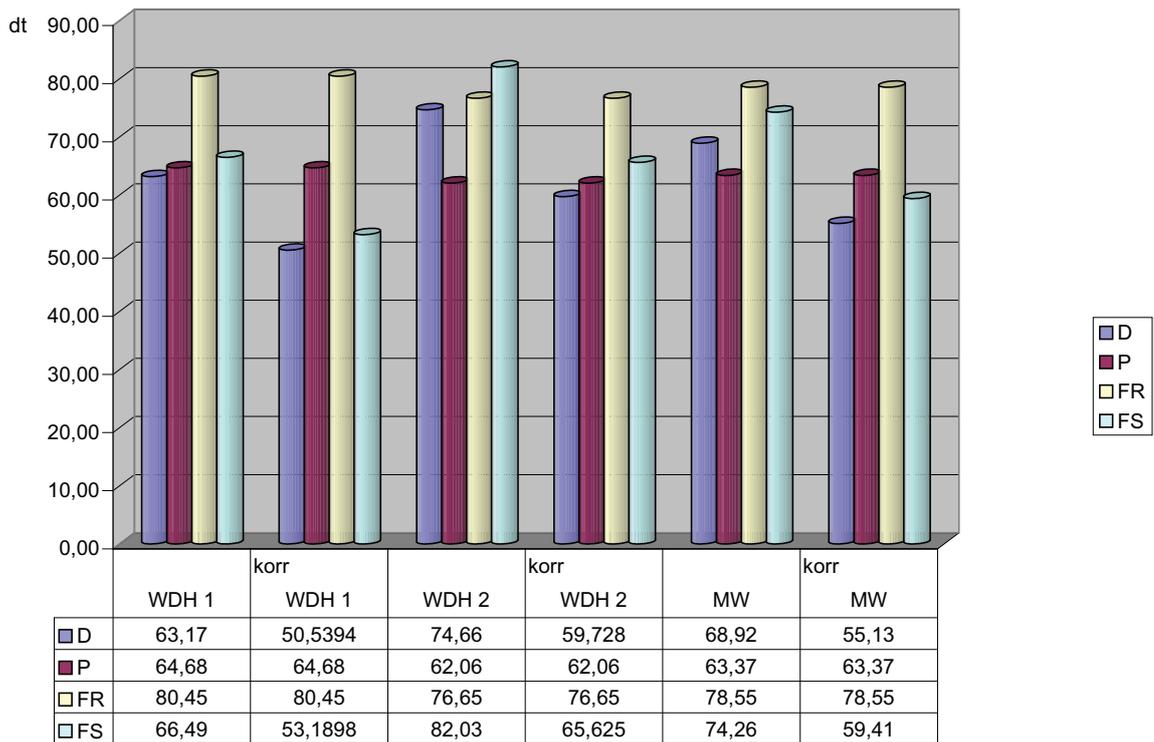


Abbildung 78: VF2-2001-WW

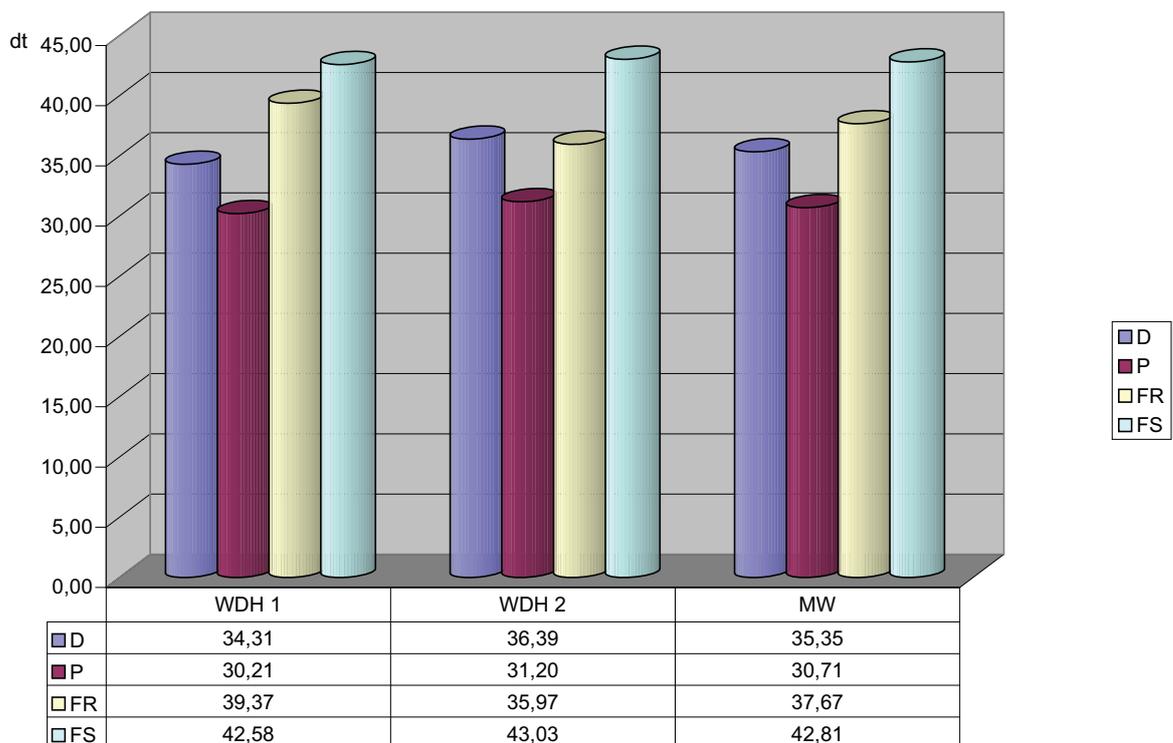


Abbildung 79: VF2-2002-WG

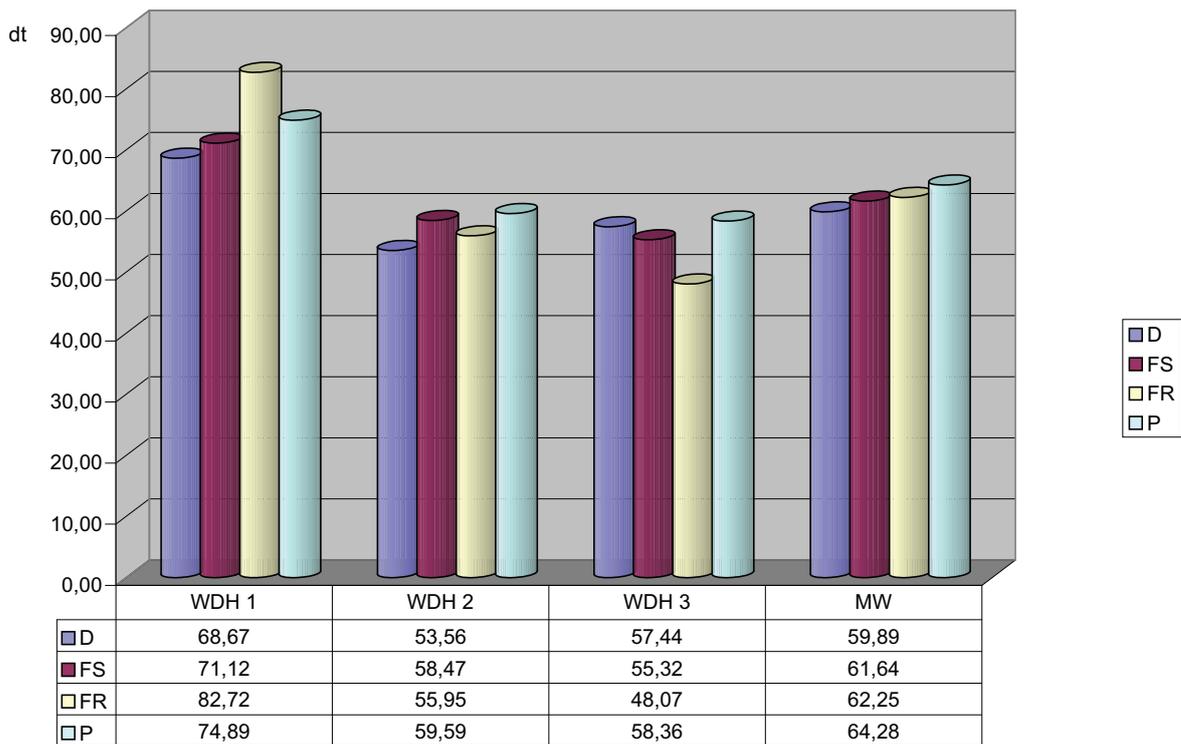


Abbildung 80: VF3-2000-Ha

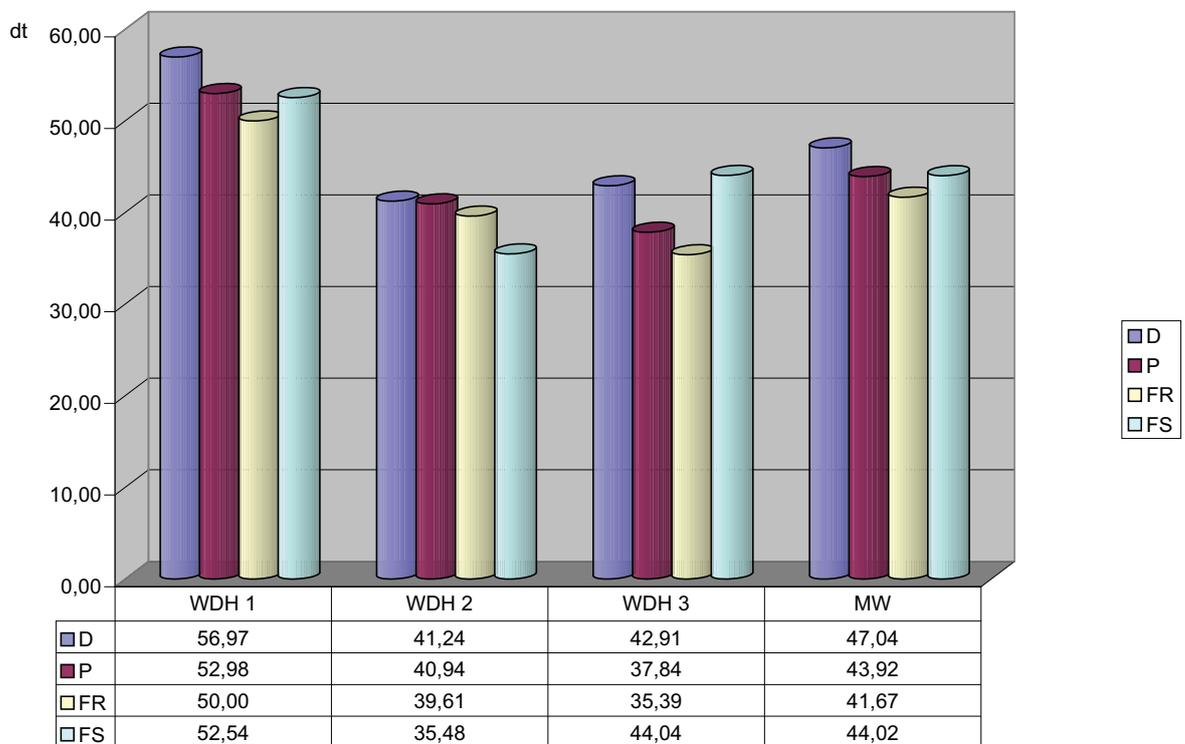


Abbildung 81: VF3-2001-WW

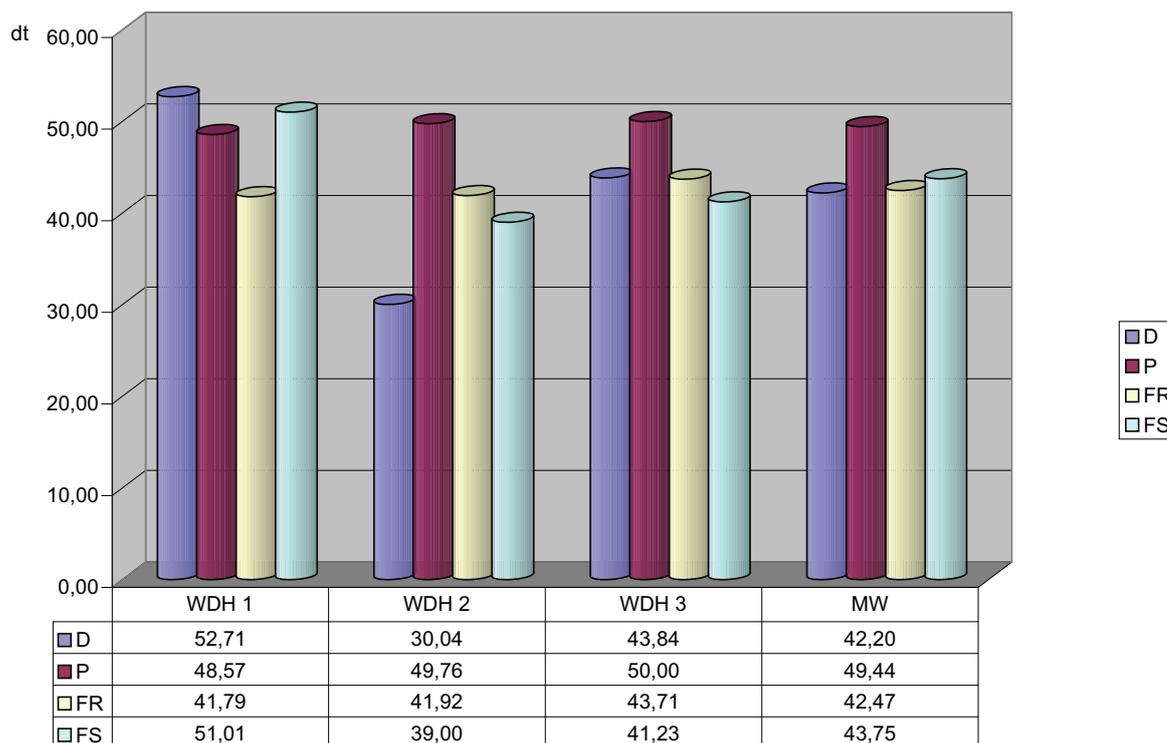


Abbildung 82: VF3-2002-WG

Tabelle 52: Erträge der Versuchsjahre [dt\*ha<sup>-1</sup>]

Jahr	WDH	P			FR			FS			D		
		2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002
VF1	1	50,20	47,71	76,87	54,15	63,41	79,60	52,79	51,15	76,44	53,33	58,08	84,58
	2	63,15	52,47	88,93	51,05	61,13	76,92	48,57	58,32	70,60	53,76	56,79	73,65
	MW	<b>56,67</b>	<b>50,09</b>	<b>82,90</b>	<b>52,6</b>	<b>62,27</b>	<b>78,26</b>	<b>50,68</b>	<b>54,73</b>	<b>73,52</b>	<b>53,54</b>	<b>57,44</b>	<b>79,12</b>
VF2	1	456,3	64,68	30,21	505,9	80,45	39,37	490,4	53,19	42,58	451,9	50,54	34,31
	2	530,4	62,06	31,20	461,5	76,65	35,97	467,4	65,63	43,03	451,9	59,73	36,39
	MW	<b>493,3</b>	<b>63,37</b>	<b>30,71</b>	<b>483,7</b>	<b>78,55</b>	<b>37,67</b>	<b>478,9</b>	<b>59,41</b>	<b>42,81</b>	<b>451,9</b>	<b>55,13</b>	<b>35,35</b>
VF3	1	52,98	74,89	48,57	50,00	82,82	41,79	52,54	71,12	51,01	56,97	68,67	52,71
	2	40,94	59,59	49,76	39,61	55,95	41,92	35,48	58,47	39,00	41,24	53,56	30,04
	3	37,84	58,36	50,00	35,39	48,07	43,71	44,04	55,32	41,23	42,91	57,44	43,48
	MW	<b>43,92</b>	<b>64,28</b>	<b>49,44</b>	<b>41,67</b>	<b>62,25</b>	<b>42,47</b>	<b>44,02</b>	<b>61,64</b>	<b>43,75</b>	<b>47,04</b>	<b>59,89</b>	<b>42,20</b>

Tabelle 53: Statistik Ernteerhebungen VF1

VF1-2000 Sommergerste n= 2*6 pro Variante, alle Werte in dt. (ausser es ist eine abweichende Einheit angegeben)										
	WDH 1	WDH 2	MW	MW +15%	Stdabw ges	min ges	max ges	Var ges	Stdabw % <sup>-1</sup> [ges]	
D	53,33	53,76	53,54	61,58	7,13	41,97	66,67	50,83	13,32	
FS	52,79	48,57	50,68	58,28	7,45	34,75	58,17	55,55	14,71	
FR	54,15	51,05	52,60	60,49	5,15	43,64	60,52	26,53	9,79	
P	50,20	63,15	56,67	65,18	7,51	46,59	67,34	56,33	13,24	
VF1-2001 Winterraps n= 2*4 pro Variante										
	WDH 1	WDH 2	MW	MW +15%	Stdabw ges	min ges	max ges	Var ges	Stdabw % <sup>-1</sup> [ges]	
D	58,08	56,79	57,44	66,05	7,95	42,86	68,79	63,24	13,85	
FS	51,15	58,32	54,73	62,94	6,29	47,53	63,79	39,57	11,49	
FR	63,41	61,13	62,27	71,61	7,24	51,31	72,74	52,43	11,63	
P	47,71	52,47	50,09	57,60	3,69	43,19	55,10	13,65	7,38	
VF1-2002 Triticale n= 2*6 pro Variante										
	WDH1	WDH2	MW	MW +15%	Stdabw ges	min ges	max ges	Var ges	Stdabw % <sup>-1</sup> [ges]	
D	84,58	73,65	79,12	90,99	16,94	54,48	112,59	286,91	21,41	
FS	76,44	70,61	73,53	84,56	8,26	57,51	84,29	68,19	11,23	
FR	79,60	76,92	78,26	90,00	7,66	64,55	90,65	58,74	9,79	
P	76,87	88,93	82,90	95,33	10,12	65,10	107,24	102,40	12,21	

Tabelle 54: Statistik Ernteerhebungen VF2

<b>VF2-2000</b>		Silomais n= 2*3 pro Variante									
	<b>WDH 1</b>	<b>WDH 2</b>	<b>MW</b>	<b>MW +15%</b>	<b>Stdabw ges</b>	<b>min ges</b>	<b>max ges</b>	<b>Var ges</b>	<b>Stdabw <sup>20</sup>%<sup>-1</sup> [ges]</b>		
<b>D</b>	451,85	451,85	451,85	519,63	28,79	404,44	480,00	828,97	6,37		
<b>FS</b>	490,37	467,41	478,89	550,72	51,69	397,78	533,33	2672,10	10,79		
<b>FR</b>	505,93	461,48	483,70	556,26	44,37	422,22	551,11	1968,72	9,17		
<b>P</b>	456,30	530,37	493,33	567,33	90,55	364,44	628,89	8199,51	18,35		
<b>VF2-2001</b>		Winterweizen n= 2*4 pro Variante									
	<b>WDH 1</b>	<b>WDH 2</b>	<b>MW</b>	<b>MW +15%</b>	<b>Stdabw ges</b>	<b>min ges</b>	<b>max ges</b>	<b>Var ges</b>	<b>Stdabw <sup>20</sup>%<sup>-1</sup> [ges]</b>		
<b>D</b>	63,17	74,66	68,92	79,25	11,89	55,09	85,49	141,42	17,26		
<b>P</b>	64,68	62,06	63,37	72,88	6,45	54,77	72,13	41,62	10,18		
<b>FR</b>	80,45	76,65	78,55	90,33	8,03	68,09	91,52	64,53	10,23		
<b>FS</b>	66,49	82,03	74,26	85,40	14,31	49,13	97,35	204,91	19,28		
<b>VF2-2002</b>		Wintergerste n= 2*6 pro Variante									
	<b>WDH 1</b>	<b>WDH 2</b>	<b>MW</b>	<b>MW +15%</b>	<b>Stdabw ges</b>	<b>min ges</b>	<b>max ges</b>	<b>Var ges</b>	<b>Stdabw <sup>20</sup>%<sup>-1</sup> [ges]</b>		
<b>D kor.</b>	50,54	59,73	55,13	63,40	9,51	44,07	68,39	90,51	17,26		
<b>FS kor.</b>	53,19	65,63	59,41	68,32	11,45	39,31	77,88	131,14	19,28		
<b>D</b>	34,31	36,39	35,35	40,65	5,65	26,82	44,13	31,87	15,97		
<b>P</b>	30,21	31,20	30,71	35,31	7,81	13,39	38,74	61,00	25,44		
<b>FR</b>	39,37	35,97	37,67	43,32	5,73	25,50	47,87	32,82	15,21		
<b>FS</b>	42,58	43,03	42,81	49,23	9,94	31,05	58,09	98,87	23,23		

Tabelle 55: Statistik Ernteerhebungen VF3

VF3-2000 Hafer n=3*6 pro Variante												
	WDH 1	WDH 2	WDH 3	MW	MW +15%	Stdabw ges	min ges	max ges	Var ges	Stdabw % <sup>-1</sup> [ges]		
D	56,97	41,24	42,91	47,04	54,10	10,19	32,34	67,75	103,77	21,66		
P	52,98	40,94	37,84	43,92	50,51	8,47	31,31	58,04	71,73	19,28		
FR	50,00	39,61	35,39	41,67	47,92	10,95	21,99	58,19	119,87	26,28		
FS	52,54	35,48	44,04	44,02	50,62	12,15	28,72	77,20	147,71	27,61		
VF3-2001 Winterweizen n=3*4 pro Variante												
	WDH 1	WDH 2	WDH 3	MW	MW +15%	Stdabw ges	min ges	max ges	Var ges	Stdabw % <sup>-1</sup> [ges]		
D	68,67	53,56	57,44	59,89	68,87	14,07	39,84	79,95	197,85	23,49		
FS	71,12	58,47	55,32	61,64	70,88	13,49	39,13	84,68	182,02	21,89		
FR	82,72	55,95	48,07	62,25	71,59	17,55	37,80	86,23	307,91	28,19		
P	74,89	59,59	58,36	64,28	73,92	12,78	40,47	79,54	163,25	19,88		
VF3-2002 Wintergerste n=3*6 pro Variante												
	WDH 1	WDH 2	WDH 3	MW	MW +15%	Stdabw ges	min ges	max ges	Var ges	Stdabw % <sup>-1</sup> [ges]		
D	52,71	30,04	43,84	42,20	48,53	12,20	22,15	63,99	148,94	28,92		
P	48,57	49,76	50,00	49,44	56,86	6,33	39,24	63,55	40,03	12,80		
FR	41,79	41,92	43,71	42,47	48,84	5,75	27,75	51,35	33,05	13,54		
FS	51,01	39,00	41,23	43,75	50,31	8,52	31,05	60,79	72,58	19,47		

### Penetrometermessungen:

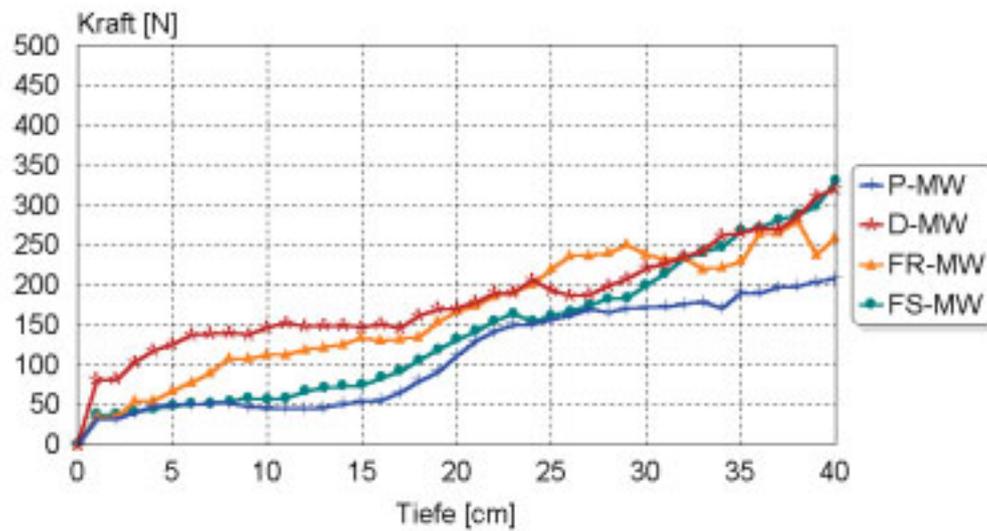


Abbildung 83: Penetrometermessungen auf dem VF1

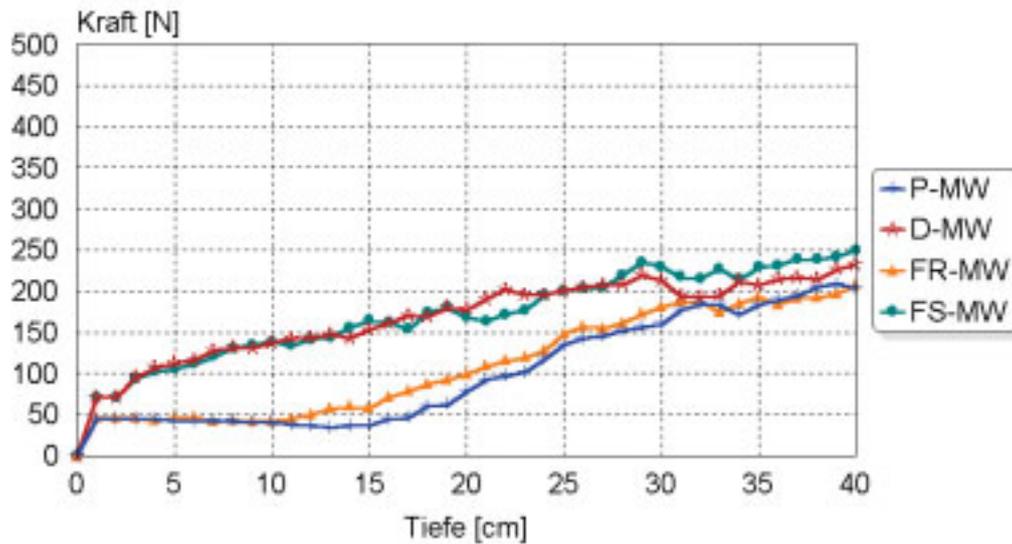


Abbildung 84: Penetrometermessungen auf dem VF2

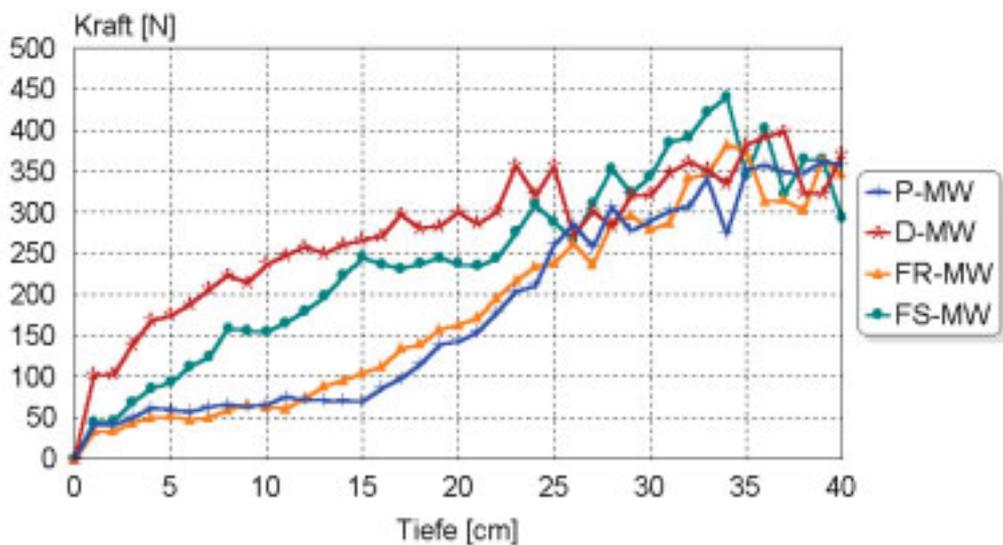


Abbildung 85: Penetrometermessungen auf dem VF3

**Module:**

Tabelle 56: Modul Grubber (Stoppelbearbeitung)

Kostenposition	Grubber		Schlepper I	
	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/h]
Abschreibung	285,26	2,66	4.748,02	5,69
Zinsansatz	160,04	1,49	2.280,04	2,73
weitere Festkosten	0	0	400,00	0,48
Reparaturen	428	4	5.414,50	6,50
Betriebsstoffe	0	0	5.329,87	6,39
<b>Gesamtkosten</b>	<b>873,3</b>	<b>8,15</b>	<b>18.172,43</b>	<b>21,79</b>
gesamter Arbeitsgang				
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]		
Abschreibung	5.033,28	<b>6,83</b>		
Zinsansatz	2.440,08	<b>3,49</b>		
weitere Festkosten	400,00	<b>0,35</b>		
Reparaturen	5.842,50	<b>8,76</b>		
Betriebsstoffe	5.329,87	<b>4,68</b>		
<b>Gesamtkosten</b>	<b>19.045,73</b>	<b>24,12</b>		

Tabelle 57: Modul Pflanzenschutz (für zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahme)

Kostenposition	PS-Spritze		Schlepper PS	
	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	799,9	1,33	2.998,72	1,20
Zinsansatz	320,04	0,53	1.440,04	0,57
weitere Festkosten	60,00	0,10	250,00	0,10
Reparaturen	600,00	1,00	4.581,50	1,83
Betriebsstoffe	0,00	0,00	3.481,61	1,39
<b>Gesamtkosten</b>	<b>1779,94</b>	<b>2,96</b>	<b>12.751,87</b>	<b>5,09</b>
gesamter Arbeitsgang				
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]		
Abschreibung	3.798,62	<b>2,53</b>		
Zinsansatz	1.760,08	<b>1,10</b>		
weitere Festkosten	310,00	<b>0,20</b>		
Reparaturen	5.181,50	<b>2,83</b>		
Betriebsstoffe	3.481,61	<b>1,39</b>		
<b>Gesamtkosten</b>	<b>14.531,81</b>	<b>8,05</b>		

Tabelle 58: Modul P (Klima 5 optimal)

ha	Preis in €		Akh/ha		
<b>376,56 (P)</b>	14272		1,02		
<b>627,22 (KE)</b>	23950		0,61		
		Pflug		Kreiselege	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]	
Abschreibung	2687,15	7,14	5007,33	7,98	
Zinsansatz	570,88	1,52	958,00	1,53	
weitere Festkosten	0,00	0,00	0,00	0,00	
Reparaturen	4518,74	12	5017,78	8	
Betriebsstoffe	4649,14	12,35	4640,94	7,40	
<b>Gesamtkosten</b>	<b>12425,91</b>	<b>33,00</b>	<b>15624,06</b>	<b>24,91</b>	
		Schlepper P		Schlepper KE	
Kostenposition	[€/Jahr]	€/ha	[€/Jahr]	€/ha	
Abschreibung	2.998,72	3,66	4.748,02	3,48	
Zinsansatz	1.440,04	1,75	2.280,04	1,67	
weitere Festkosten	250,00	0,31	400,00	0,29	
Reparaturen	4.581,50	5,61	5.414,50	3,98	
Betriebsstoffe	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Gesamtkosten</b>	<b>9.270,26</b>	<b>11,33</b>	<b>12.842,56</b>	<b>9,43</b>	
		Gesamtverfahren P			
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]			
Abschreibung	15441,22	<b>22,26</b>			
Zinsansatz	5248,96	<b>6,47</b>			
weitere Festkosten	650,00	<b>0,60</b>			
Reparaturen	19532,53	<b>29,59</b>			
Betriebsstoffe	9290,09	<b>19,75</b>			
<b>Gesamtkosten</b>	<b>50162,79</b>	<b>78,67</b>			

Tabelle 59: Modul P (Klima 5 real)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>161,50 (P)</b>	14272		1,02	
<b>246,38 (KE)</b>	23950		0,61	
	Pflug		Kreiselegge	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	1427,20	8,84	2395,00	9,72
Zinsansatz	570,88	3,53	958,00	3,89
weitere Festkosten	0,00	0,00	0,00	0,00
Reparaturen	1937,98	12,00	1971,03	8,00
Betriebsstoffe	1993,90	12,35	1823,00	7,40
Gesamtkosten	5929,96	36,72	7147,03	29,01
	Schlepper P		Schlepper KE	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	2998,72	8,54	4748,02	8,87
Zinsansatz	1440,04	4,09	2280,04	4,25
weitere Festkosten	250,00	0,71	400,00	0,75
Reparaturen	4581,50	13,08	5414,50	10,13
Betriebsstoffe				0,00
Gesamtkosten	9270,26	26,42	12842,56	24,00
	Gesamtverfahren P			
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]		
Abschreibung	11568,94	<b>35,96</b>		
Zinsansatz	5248,96	<b>15,77</b>		
weitere Festkosten	650,00	<b>1,46</b>		
Reparaturen	13905,01	<b>43,21</b>		
Betriebsstoffe	3816,90	<b>19,75</b>		
Gesamtkosten	35189,81	<b>116,15</b>		

Tabelle 60: Modul P (Klima 6 optimal)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>486,39 (P)</b>	14272		1,02	
<b>810,16 (KE)</b>	23950		0,61	
	Pflug		Kreiselegge	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	3470,90	7,14	6467,80	7,98
Zinsansatz	570,88	1,17	958,00	1,18
weitere Festkosten	0,00	0,00	0,00	0,00
Reparaturen	5836,71	12,00	6481,31	8,00
Betriebsstoffe	6005,14	12,35	5994,55	7,40
Gesamtkosten	15883,63	32,66	19901,66	24,57
	Schlepper P		Schlepper KE	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	2.998,72	3,66	4.748,02	3,48
Zinsansatz	1.440,04	1,75	2.280,04	1,67
weitere Festkosten	250,00	0,31	400,00	0,29
Reparaturen	4.581,50	5,61	5.414,50	3,98
Betriebsstoffe				0,00
Gesamtkosten	9.270,26	11,33	12.842,56	9,43
	Gesamtverfahren P			
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]		
Abschreibung	17685,44	<b>22,26</b>		
Zinsansatz	5248,96	<b>5,78</b>		
weitere Festkosten	650,00	<b>0,60</b>		
Reparaturen	22314,01	<b>29,59</b>		
Betriebsstoffe	11999,70	<b>19,75</b>		
Gesamtkosten	57898,11	<b>77,98</b>		

Tabelle 61: Modul P (Klima 6 real)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>208,60 (P)</b>	14272		2,38	
<b>318,24 (KE)</b>	23950		1,56	
	Pflug		Kreiselegge	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	1488,58	7,14	2540,61	7,98
Zinsansatz	570,88	2,74	958,00	3,01
weitere Festkosten	0,00	0,00	0,00	0,00
Reparaturen	2503,22	12,00	2545,91	8,00
Betriebsstoffe	2575,46	12,35	2354,71	7,40
Gesamtkosten	7138,14	34,22	8399,23	26,39
	Schlepper P		Schlepper KE	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	2.998,72	8,54	4.748,02	8,87
Zinsansatz	1.440,04	4,09	2.280,04	4,25
weitere Festkosten	250,00	0,71	400,00	0,75
Reparaturen	4.581,50	13,08	5.414,50	10,13
Betriebsstoffe				
Gesamtkosten	9.270,26	26,42	12.842,56	24,00
	Gesamtverfahren P			
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]		
Abschreibung	11775,93	<b>32,52</b>		
Zinsansatz	5248,96	<b>14,09</b>		
weitere Festkosten	650,00	<b>1,46</b>		
Reparaturen	15045,13	<b>43,21</b>		
Betriebsstoffe	4930,17	<b>19,75</b>		
Gesamtkosten	37650,19	<b>111,03</b>		

Tabelle 62: Modul FR (Klima 5 optimal)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>473,10</b>	24210,00		0,812	
	FR		Schlepper FR	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	4581,49	9,68	5.414,42	5,27
Zinsansatz	968,40	2,05	2.600,04	2,53
weitere Festkosten	0,00	0,00	400,00	0,39
Reparaturen	5677,19	12,00	5.831,00	5,68
Betriebsstoffe	4902,84	10,36		
Gesamtkosten	16129,92	34,09	14.245,46	13,87
	Gesamtverfahren FR			
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]		
Abschreibung	9995,91	<b>14,95</b>		
Zinsansatz	3568,44	<b>4,58</b>		
weitere Festkosten	400,00	<b>0,39</b>		
Reparaturen	11508,19	<b>17,68</b>		
Betriebsstoffe	4902,84	<b>10,36</b>		
Gesamtkosten	30375,38	<b>47,97</b>		

Tabelle 63: Modul FR (Klima 5 real)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>209,04</b>	24210,00		1,837	
	FR		Schlepper FR	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	2421,00	11,58	5.414,42	11,92
Zinsansatz	968,40	4,63	2.600,04	5,73
weitere Festkosten	0,00	0,00	400,00	0,88
Reparaturen	2508,54	12,00	5.831,00	12,86
Betriebsstoffe	2166,38	10,36		
Gesamtkosten	8064,32	38,58	14.245,46	31,39
	Gesamtverfahren FR			
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]		
Abschreibung	7835,42	<b>23,50</b>		
Zinsansatz	3568,44	<b>10,36</b>		
weitere Festkosten	400,00	<b>0,88</b>		
Reparaturen	8339,54	<b>24,86</b>		
Betriebsstoffe	2166,38	<b>10,36</b>		
Gesamtkosten	22309,78	<b>69,97</b>		

Tabelle 64: Modul FR (Klima 6 optimal)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>611,09</b>	24210,00		0,812	
	FR		Schlepper FR	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	5917,76	9,68	5.414,42	5,27
Zinsansatz	968,40	1,58	2.600,04	2,53
weitere Festkosten	0,00	0,00	400,00	0,39
Reparaturen	7333,03	12,00	5.831,00	5,68
Betriebsstoffe	6332,84	10,36		
Gesamtkosten	20552,03	33,63	14.245,46	13,87
	Gesamtverfahren FR			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	11332,18		<b>14,95</b>	
Zinsansatz	3568,44		<b>4,12</b>	
weitere Festkosten	400,00		<b>0,39</b>	
Reparaturen	13164,03		<b>17,68</b>	
Betriebsstoffe	6332,84		<b>10,36</b>	
Gesamtkosten	34797,49		<b>47,50</b>	

Tabelle 66: Modul FS (Klima 5 optimal)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>848,82</b>	24670,00		0,452	
	FS		Schlepper FS	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	9306,82	10,96	2.998,72	1,62
Zinsansatz	986,80	1,16	1.440,04	0,78
weitere Festkosten	0,00	0,00	250,00	0,14
Reparaturen	8488,18	10,00	4.581,50	2,49
Betriebsstoffe	5501,15	6,48		
Gesamtkosten	24282,95	28,61	12.751,87	6,91
	Gesamtverfahren FS			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	12305,54		<b>12,59</b>	
Zinsansatz	2426,84		<b>1,94</b>	
weitere Festkosten	250,00		<b>0,14</b>	
Reparaturen	13069,68		<b>12,49</b>	
Betriebsstoffe	5501,15		<b>6,48</b>	
Gesamtkosten	33553,21		<b>33,63</b>	

Tabelle 65: Modul FR (Klima 6 real)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>270,02</b>	24210,00		1,837	
	FR		Schlepper FR	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	2614,83	9,68	5.414,42	11,92
Zinsansatz	968,40	3,59	2.600,04	5,73
weitere Festkosten	0,00	0,00	400,00	0,88
Reparaturen	3240,19	12,00	5.831,00	12,86
Betriebsstoffe	2798,24	10,36		
Gesamtkosten	9621,67	35,63	14.245,46	31,39
	Gesamtverfahren FR			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	8029,25		<b>21,61</b>	
Zinsansatz	3568,44		<b>9,32</b>	
weitere Festkosten	400,00		<b>0,88</b>	
Reparaturen	9071,19		<b>24,86</b>	
Betriebsstoffe	2798,24		<b>10,36</b>	
Gesamtkosten	23867,13		<b>67,03</b>	

Tabelle 67: Modul FS (Klima 5 real)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>274,82</b>	24670,00		1,397	
	FS		Schlepper FS	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	3013,30	10,96	2.998,72	5,02
Zinsansatz	986,80	3,59	1.440,04	2,40
weitere Festkosten	0,00	0,00	250,00	0,42
Reparaturen	2748,24	10,00	4.581,50	7,68
Betriebsstoffe	1781,13	6,48		
Gesamtkosten	8529,47	31,04	12.751,87	21,35
	Gesamtverfahren FS			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	6012,02		<b>15,98</b>	
Zinsansatz	2426,84		<b>5,99</b>	
weitere Festkosten	250,00		<b>0,42</b>	
Reparaturen	7329,74		<b>17,68</b>	
Betriebsstoffe	1781,13		<b>6,48</b>	
Gesamtkosten	17799,73		<b>46,56</b>	

Tabelle 68: Modul FS (Klima 6 optimal)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>1096,39</b>	24670,00		0,452	
	FS		Schlepper FS	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	12021,30	10,96	2.998,72	1,62
Zinsansatz	986,80	0,90	1.440,04	0,78
weitere Festkosten	0,00	0,00	250,00	0,14
Reparaturen	10963,90	10,00	4.581,50	2,49
Betriebsstoffe	7105,66	6,48		
Gesamtkosten	31077,66	28,35	9.270,26	5,03
	Gesamtverfahren FS			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	15020,02		<b>12,59</b>	
Zinsansatz	2426,84		<b>1,68</b>	
weitere Festkosten	250,00		<b>0,14</b>	
Reparaturen	15545,40		<b>12,49</b>	
Betriebsstoffe	7105,66		<b>6,48</b>	
Gesamtkosten	40347,92		<b>33,37</b>	

Tabelle 70: Modul D (Klima 5 optimal)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>1196,19</b>	32900,00		0,321	
	D		Schlepper D	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	18740,26	15,67	2498,92	0,96
Zinsansatz	1316,00	1,10	1200,04	0,46
weitere Festkosten	0,00	0,00	190,00	0,07
Reparaturen	9569,49	8,00	4165,00	1,61
Betriebsstoffe	4208,69	3,52		
Gesamtkosten	33834,45	28,29	8053,96	3,10
	Gesamtverfahren D			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	21239,18		<b>16,63</b>	
Zinsansatz	2516,04		<b>1,56</b>	
weitere Festkosten	190,00		<b>0,07</b>	
Reparaturen	13734,49		<b>9,61</b>	
Betriebsstoffe	4208,69		<b>3,52</b>	
Gesamtkosten	41888,41		<b>31,38</b>	

Tabelle 69: Modul FS (Klima 6 real)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>354,98</b>	24670,00		1,397	
	FS		Schlepper FS	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	3892,18	10,96	2.998,72	5,02
Zinsansatz	986,80	2,78	1.440,04	2,40
weitere Festkosten	0,00	0,00	250,00	0,42
Reparaturen	3549,82	10,00	4.581,50	7,68
Betriebsstoffe	2300,62	6,48		
Gesamtkosten	10729,41	30,23	9.270,26	15,52
	Gesamtverfahren FS			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	6890,90		<b>15,98</b>	
Zinsansatz	2426,84		<b>5,18</b>	
weitere Festkosten	250,00		<b>0,42</b>	
Reparaturen	8131,32		<b>17,68</b>	
Betriebsstoffe	2300,62		<b>6,48</b>	
Gesamtkosten	19999,67		<b>45,75</b>	

Tabelle 71: Modul D (Klima 5 real)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>254,17</b>	32900,00		1,511	
	D		Schlepper D	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	3982,00	15,67	2498,92	4,52
Zinsansatz	1316,00	5,18	1200,04	2,18
weitere Festkosten	0,00	0,00	190,00	0,33
Reparaturen	2033,36	8,00	4165,00	7,55
Betriebsstoffe	894,28	3,52		
Gesamtkosten	8225,64	32,36	8053,96	14,58
	Gesamtverfahren D			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	6480,92		<b>20,18</b>	
Zinsansatz	2516,04		<b>7,35</b>	
weitere Festkosten	190,00		<b>0,33</b>	
Reparaturen	6198,36		<b>15,55</b>	
Betriebsstoffe	894,28		<b>3,52</b>	
Gesamtkosten	16279,60		<b>46,94</b>	

Tabelle 72: Modul D (Klima 6 optimal)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>1545,07</b>	32900,00		0,321	
	D		Schlepper D	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	24206,17	15,67	2498,92	0,96
Zinsansatz	1316,00	0,85	1200,04	0,46
weitere Festkosten	0,00	0,00	190,00	0,07
Reparaturen	12360,60	8,00	4165,00	1,61
Betriebsstoffe	5436,23	3,52		
Gesamtkosten	43318,99	28,04	8053,96	3,10
	Gesamtverfahren D			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	26705,09		<b>16,63</b>	
Zinsansatz	2516,04		<b>1,31</b>	
weitere Festkosten	190,00		<b>0,07</b>	
Reparaturen	16525,60		<b>9,61</b>	
Betriebsstoffe	5436,23		<b>3,52</b>	
Gesamtkosten	51372,95		<b>31,13</b>	

Tabelle 73: Modul D (Klima 6 real)

ha	Preis in €		Akh/ha	
<b>328,3</b>	32900,00		1,511	
	D		Schlepper D	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/ha]	[€/Jahr]	[€/ha]
Abschreibung	5143,41	15,67	2498,92	4,52
Zinsansatz	1316,00	4,01	1200,04	2,18
weitere Festkosten	0,00	0,00	190,00	0,33
Reparaturen	2626,42	8,00	4165,00	7,55
Betriebsstoffe	1155,11	3,52		
Gesamtkosten	10240,95	31,19	8053,96	14,58
	Gesamtverfahren D			
Kostenposition	[€/Jahr]		[€/ha]	
Abschreibung	7642,33		<b>20,18</b>	
Zinsansatz	2516,04		<b>6,18</b>	
weitere Festkosten	190,00		<b>0,33</b>	
Reparaturen	6791,42		<b>15,55</b>	
Betriebsstoffe	1155,11		<b>3,52</b>	
Gesamtkosten	18294,91		<b>45,77</b>	

Tabelle 74: Modul Schlepper

Schlepper KE	Preis in €	Lebensdauer
<b>93-111 kW</b>	<b>57.000,00</b>	<b>10000 Skh</b>
	Ergebnis Schlepper KE	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/h]
Abschreibung	4.748,02	5,69
Zinsansatz	2.280,04	2,73
weitere Festkosten	400,00	0,48
Reparaturen	5.414,50	6,50
Betriebsstoffe	5.329,87	6,39
Gesamtkosten	18.172,43	21,79
<b>Schlepper P, FS, Düngung, PS, MD</b>	<b>Preis in €</b>	<b>Lebensdauer</b>
<b>60- 74 kW</b>	<b>36.000,00</b>	<b>10000</b>
	Ergebnis Schlepper P, FS	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/h]
Abschreibung	2.998,72	3,59
Zinsansatz	1.440,04	1,72
weitere Festkosten	250,00	0,30
Reparaturen	4.581,50	5,50
Betriebsstoffe	3.481,61	4,17
Gesamtkosten	12.751,87	15,28
<b>Schlepper D</b>	<b>Preis in €</b>	<b>Lebensdauer</b>
<b>49- 59 kW</b>	<b>30.000,00</b>	<b>10000 Skh</b>
	Ergebnis Schlepper D	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/h]
Abschreibung	2.498,92	2,99
Zinsansatz	1.200,04	1,44
weitere Festkosten	190,00	0,22
Reparaturen	4.165,00	5,00
Betriebsstoffe		
Gesamtkosten	8.053,96	9,65
<b>Schlepper FR</b>	<b>Preis in €</b>	<b>Lebensdauer</b>
<b>112-129 kW</b>	<b>65.000,00</b>	<b>10000 Skh</b>
	Ergebnis Schlepper FR	
Kostenposition	[€/Jahr]	[€/h]
Abschreibung	5.414,42	6,49
Zinsansatz	2.600,04	3,12
weitere Festkosten	400,00	0,48
Reparaturen	5.831,00	7,00
Betriebsstoffe	6.318,47	7,58
Gesamtkosten	20.563,93	24,67

## Maschinenkombinationen:

Tabelle 75: Maschinenkombination Klimaregion 5 real

Klima 5 realschlag		Stoppelbearbeitung** Bodenbearbeitung + Saat***		SUMME		P+PS		Stoppelbearbeitung** Bodenbearbeitung + Saat***		SUMME	
P		4000,00	38222,00	161,50	42222,00	107,00	38222,00	8000,00	4000,00	38222,00	50222,00
Anschaffungskosten*											
Auslastung**		107,00	161,50			107,00	161,50	600,00	4000,00	600,00	
Abschreibung		6,83	35,96		42,79	6,83	35,96	2,51	8,33	2,51	45,31
Zinssatz		3,49	15,77		19,26	3,49	15,77	1,10	3,49	1,10	20,36
weitere Festkosten		0,35	1,46		1,81	0,35	1,46	0,20	0,35	0,20	2,01
Reparaturen		8,76	43,21		51,97	8,76	43,21	2,82	8,76	2,82	54,79
Betriebsstoffe		4,68	19,75		24,43	4,68	19,75	1,38	4,68	1,38	25,81
Zeit [Aktiva]		13,19	70,85		84,05	13,19	70,85	5,94	13,19	5,94	89,99
Gesamtkosten		37,32	187,00		224,32	37,32	187,00	13,94	37,32	13,94	238,26
<b>FR</b>											
Stoppelbearbeitung		4000,00	24210,00		28210,00	4000,00	24210,00	8000,00	4000,00	24210,00	36210,00
Anschaffungskosten											
Auslastung		107,00	209,04			107,00	209,04	600,00	4000,00	600,00	
Abschreibung		6,83	23,50		30,33	6,83	23,50	2,51	6,83	2,51	32,85
Zinssatz		3,49	10,36		13,85	3,49	10,36	1,10	3,49	1,10	14,95
weitere Festkosten		0,35	0,88		1,23	0,35	0,88	0,20	0,35	0,20	1,43
Reparaturen		8,76	24,86		33,62	8,76	24,86	2,82	8,76	2,82	36,44
Betriebsstoffe		4,68	10,36		15,05	4,68	10,36	1,38	4,68	1,38	16,42
Zeit [Aktiva]		13,19	33,06		46,26	13,19	33,06	5,94	13,19	5,94	52,20
Gesamtkosten		37,32	103,03		140,35	37,32	103,03	13,94	37,32	13,94	154,29
<b>FS</b>											
Stoppelbearbeitung		4000,00	24670,00		28670,00	4000,00	24670,00	8000,00	4000,00	24670,00	36670,00
Anschaffungskosten											
Auslastung		107,00	274,62			107,00	274,62	600,00	4000,00	600,00	
Abschreibung		6,83	15,98		22,81	6,83	15,98	2,51	6,83	2,51	25,33
Zinssatz		3,49	5,99		9,49	3,49	5,99	1,10	3,49	1,10	10,59
weitere Festkosten		0,35	0,42		0,77	0,35	0,42	0,20	0,35	0,20	0,97
Reparaturen		8,76	17,68		26,45	8,76	17,68	2,82	8,76	2,82	29,26
Betriebsstoffe		4,68	6,48		11,16	4,68	6,48	1,38	4,68	1,38	12,54
Zeit [Aktiva]		13,19	25,15		38,34	13,19	25,15	5,94	13,19	5,94	44,28
Gesamtkosten		37,32	71,71		109,03	37,32	71,71	13,94	37,32	13,94	122,97
<b>D</b>											
Stoppelbearbeitung		0,00	32900,00		32900,00	0,00	32900,00	8000,00	0,00	32900,00	40900,00
Anschaffungskosten											
Auslastung		0,00	254,17			0,00	254,17	600,00	0,00	600,00	
Abschreibung		0,00	20,18		20,18	0,00	20,18	2,51	0,00	2,51	22,70
Zinssatz		0,00	7,35		7,35	0,00	7,35	1,10	0,00	1,10	8,45
weitere Festkosten		0,00	0,33		0,33	0,00	0,33	0,20	0,00	0,20	0,53
Reparaturen		0,00	15,55		15,55	0,00	15,55	2,82	0,00	2,82	18,37
Betriebsstoffe		0,00	3,52		3,52	0,00	3,52	1,38	0,00	1,38	4,89
Zeit [Aktiva]		0,00	27,19		27,19	0,00	27,19	5,94	0,00	5,94	33,13
Gesamtkosten		0,00	74,14		74,14	0,00	74,14	13,94	0,00	13,94	88,08

\* des Arbeitgerätes ohne Zugmaschine

\*\* des Arbeitgerätes

\*\*\* Kosten inklusive Zugmaschine

Tabelle 76: Maschinenkombination Klimaregion 5 optimal

Klima 5 Optimalschlag									
P		Stoppelbearbeitung** Bodenbearbeitung + Saat***		P + PS		Stoppelbearbeitung** Bodenbearbeitung + Saat*** Pflanzenschutz**		SUMME	
Anschaffungskosten*	4000	38222	42222,00	Anschaffungskosten*	4000	38222	8000	50222,00	
Auslastung**	107	377		Auslastung**	107	375,56	600		
Abschreibung	6,83	22,26	29,09	Abschreibung	6,83	22,26	2,51	31,81	
Zinssatz	3,49	6,47	9,96	Zinssatz	3,49	6,47	1,10	11,06	
weitere Festkosten	0,35	0,60	0,95	weitere Festkosten	0,35	0,60	0,20	1,15	
Reparaturen	8,76	29,59	38,35	Reparaturen	8,76	29,59	2,92	41,17	
Betriebsstoffe	4,68	19,75	24,43	Betriebsstoffe	4,68	19,75	1,38	25,81	
Zeit [A/h/ha]	13 €	0,000	13,19	Zeit [A/h/ha]	13 €	0,00	6 €	19,19	
Gesamtkosten	37,32	78,67	115,99	Gesamtkosten	37,32	78,67	14,00	129,98	
<b>FR</b>									
FR		Stoppelbearbeitung Bodenbearbeitung + Saat		FR + PS		Stoppelbearbeitung Bodenbearbeitung + Saat		SUMME	
Anschaffungskosten	4000	24210	28210,00	Anschaffungskosten	4000	24210	8000	36210,00	
Auslastung	107	473		Auslastung	107	473,10	600		
Abschreibung	6,83	14,95	21,78	Abschreibung	6,83	14,95	2,51	24,30	
Zinssatz	3,49	4,58	8,07	Zinssatz	3,49	4,58	1,10	9,17	
weitere Festkosten	0,35	0,39	0,74	weitere Festkosten	0,35	0,39	0,20	0,94	
Reparaturen	8,76	17,68	26,45	Reparaturen	8,76	17,68	2,82	29,26	
Betriebsstoffe	4,68	10,36	15,05	Betriebsstoffe	4,68	10,36	1,38	16,42	
Zeit	13 €	14,610	27,80	Zeit [A/h/ha]	13 €	14,61	6 €	33,80	
Gesamtkosten	37,32	62,58	99,89	Gesamtkosten	37,32	62,58	14,00	113,89	
<b>FS</b>									
FS		Stoppelbearbeitung Bodenbearbeitung + Saat		FS + PS		Stoppelbearbeitung Bodenbearbeitung + Saat		SUMME	
Anschaffungskosten	4000	24670	28670,00	Anschaffungskosten	4000	24670	6000	36670,00	
Auslastung	107	849		Auslastung	107	849	600		
Abschreibung	6,83	12,59	19,42	Abschreibung	6,83	13	2,51	21,93	
Zinssatz	3,49	1,94	5,43	Zinssatz	3,49	2	1,10	6,53	
weitere Festkosten	0,35	0,14	0,49	weitere Festkosten	0,35	0	0,20	0,69	
Reparaturen	8,76	12,49	21,25	Reparaturen	8,76	12	2,82	24,07	
Betriebsstoffe	4,68	6,48	11,16	Betriebsstoffe	4,68	6	1,38	12,54	
Zeit	13 €	6,143	21,34	Zeit	13 €	6	6 €	27,34	
Gesamtkosten	37,32	41,78	79,09	Gesamtkosten	37,32	41,78	14,00	93,10	
<b>D</b>									
D		Stoppelbearbeitung Bodenbearbeitung + Saat		D + PS		Stoppelbearbeitung Bodenbearbeitung + Saat		SUMME	
Anschaffungskosten	0	32900	32900,00	Anschaffungskosten	0	32900	8000	40900,00	
Auslastung	0	1196,19		Auslastung	0	1196,19	600		
Abschreibung	0	16,83	16,83	Abschreibung	0	16,83	2,51	19,14	
Zinssatz	0	1,56	1,56	Zinssatz	0	1,56	1,10	2,66	
weitere Festkosten	0	0,07	0,07	weitere Festkosten	0	0,07	0,20	0,27	
Reparaturen	0	9,61	9,61	Reparaturen	0	9,61	2,82	12,42	
Betriebsstoffe	0	3,52	3,52	Betriebsstoffe	0	3,52	1,38	4,89	
Zeit	0	5,778	5,78	Zeit	0	5,78	6,00	11,78	
Gesamtkosten	0,00	37,16	37,16	Gesamtkosten	0,00	37,16	14,00	51,16	

\* - des Arbeitsgerätes ohne Zugmaschine

\*\* - des Arbeitsgerätes

\*\*\*-Kosten inklusive Zugmaschine

Tabelle 77: Maschinenkombination Klimaregion 6 real

Klima 6 real/schlag		Stoppelbearbeitung** Bodenbearbeitung + Saat***		P+PS		Stoppelbearbeitung** Bodenbearbeitung + Saat*** Pflanzenschutz***	
P	FR	FS	D	FR+PS	FS+PS	D+PS	SUMME
Anschaffungskosten <sup>1</sup>	4000,00	4000,00	0,00	4000,00	4000,00	0,00	4000,00
Auslastung**	107,00	107,00	0,00	107,00	107,00	0,00	107,00
Abschreibung	6,83	6,83	0,00	6,83	6,83	0,00	6,83
Zinssatz	3,49	3,49	0,00	3,49	3,49	0,00	3,49
weitere Festkosten	0,35	0,35	0,00	0,35	0,35	0,00	0,35
Reparaturen	8,76	8,76	0,00	8,76	8,76	0,00	8,76
Betriebsstoffe	4,68	4,68	0,00	4,68	4,68	0,00	4,68
Zeit [A/h/ha]	13,19	13,19	0,00	13,19	13,19	0,00	13,19
Gesamtkosten	37,32	37,32	0,00	37,32	37,32	0,00	37,32
SUMME	42222,00	28210,00	32900,00	24210,00	24670,00	32900,00	50222,00
Anschaffungskosten	4000,00	4000,00	0,00	4000,00	4000,00	0,00	4000,00
Auslastung	107,00	107,00	0,00	107,00	107,00	0,00	107,00
Abschreibung	6,83	6,83	0,00	6,83	6,83	0,00	6,83
Zinssatz	3,49	3,49	0,00	3,49	3,49	0,00	3,49
weitere Festkosten	0,35	0,35	0,00	0,35	0,35	0,00	0,35
Reparaturen	8,76	8,76	0,00	8,76	8,76	0,00	8,76
Betriebsstoffe	4,68	4,68	0,00	4,68	4,68	0,00	4,68
Zeit [A/h/ha]	13,19	13,19	0,00	13,19	13,19	0,00	13,19
Gesamtkosten	37,32	37,32	0,00	37,32	37,32	0,00	37,32
SUMME	28210,00	26670,00	32900,00	24210,00	24670,00	32900,00	36210,00
Anschaffungskosten	4000,00	4000,00	0,00	4000,00	4000,00	0,00	4000,00
Auslastung	107,00	107,00	0,00	107,00	107,00	0,00	107,00
Abschreibung	6,83	6,83	0,00	6,83	6,83	0,00	6,83
Zinssatz	3,49	3,49	0,00	3,49	3,49	0,00	3,49
weitere Festkosten	0,35	0,35	0,00	0,35	0,35	0,00	0,35
Reparaturen	8,76	8,76	0,00	8,76	8,76	0,00	8,76
Betriebsstoffe	4,68	4,68	0,00	4,68	4,68	0,00	4,68
Zeit [A/h/ha]	13,19	13,19	0,00	13,19	13,19	0,00	13,19
Gesamtkosten	37,32	37,32	0,00	37,32	37,32	0,00	37,32
SUMME	26670,00	2281	32900,00	24210,00	24670,00	32900,00	36210,00
Anschaffungskosten	4000,00	4000,00	0,00	4000,00	4000,00	0,00	4000,00
Auslastung	107,00	107,00	0,00	107,00	107,00	0,00	107,00
Abschreibung	6,83	6,83	0,00	6,83	6,83	0,00	6,83
Zinssatz	3,49	3,49	0,00	3,49	3,49	0,00	3,49
weitere Festkosten	0,35	0,35	0,00	0,35	0,35	0,00	0,35
Reparaturen	8,76	8,76	0,00	8,76	8,76	0,00	8,76
Betriebsstoffe	4,68	4,68	0,00	4,68	4,68	0,00	4,68
Zeit [A/h/ha]	13,19	13,19	0,00	13,19	13,19	0,00	13,19
Gesamtkosten	37,32	37,32	0,00	37,32	37,32	0,00	37,32
SUMME	2281	867	32900,00	24210,00	24670,00	32900,00	36210,00

<sup>1</sup>: des Arbeitgerätes ohne Zugmaschine

\*\* : des Arbeitsgerätes

\*\*\*: Kosten inklusive Zugmaschine

Tabelle 78: Maschinenkombination Klimaregion 6 optimal

Klima 6 optimal abschlag		Stoppelbearbeitung** Bodenbearbeitung + Saat*** Pflanzenschutz***		P+PS		SUMME	
Anschaffungskosten*	4000,00	38222,00	4000,00	Anschaffungskosten*	4000,00	38222,00	4000,00
Auslastung**	107,00	486,39	107,00	Auslastung**	107,00	486,39	600,00
Abschreibung	6,83	22,26	6,83	Abschreibung	6,83	22,26	2,51
Zinssatz	3,49	5,76	3,49	Zinssatz	3,49	5,76	1,10
weitere Festkosten	0,35	0,60	0,35	weitere Festkosten	0,35	0,60	0,20
Reparaturen	8,76	28,59	8,76	Reparaturen	8,76	28,59	2,82
Betriebsstoffe	4,68	18,75	4,68	Betriebsstoffe	4,68	18,75	1,38
Zeit [Arbeitsstunden]	13,19	28,38	13,19	Zeit [Arbeitsstunden]	13,19	28,38	5,94
Gesamtkosten	37,32	107,35	37,32	Gesamtkosten	37,32	107,35	13,94
<b>FR</b>	<b>Stoppelbearbeitung</b>	<b>Bodenbearbeitung + Saat</b>	<b>Pflanzenschutz</b>	<b>FR+PS</b>	<b>Stoppelbearbeitung</b>	<b>Bodenbearbeitung + Saat</b>	<b>Pflanzenschutz</b>
Anschaffungskosten	4000,00	24210,00	8000,00	Anschaffungskosten	4000,00	24210,00	8000,00
Auslastung	107,00	611,09	600,00	Auslastung	107,00	611,09	600,00
Abschreibung	6,83	14,95	2,51	Abschreibung	6,83	14,95	2,51
Zinssatz	3,49	4,12	1,10	Zinssatz	3,49	4,12	1,10
weitere Festkosten	0,35	0,39	0,20	weitere Festkosten	0,35	0,39	0,20
Reparaturen	8,76	17,68	2,82	Reparaturen	8,76	17,68	2,82
Betriebsstoffe	4,68	10,36	1,38	Betriebsstoffe	4,68	10,36	1,38
Zeit [Arbeitsstunden]	13,19	14,61	5,94	Zeit [Arbeitsstunden]	13,19	14,61	5,94
Gesamtkosten	37,32	62,11	13,94	Gesamtkosten	37,32	62,11	13,94
<b>FS</b>	<b>Stoppelbearbeitung</b>	<b>Bodenbearbeitung + Saat</b>	<b>Pflanzenschutz</b>	<b>FS+PS</b>	<b>Stoppelbearbeitung</b>	<b>Bodenbearbeitung + Saat</b>	<b>Pflanzenschutz</b>
Anschaffungskosten	4000,00	24670,00	8000,00	Anschaffungskosten	4000,00	24670,00	8000,00
Auslastung	107,00	1096,39	600,00	Auslastung	107,00	1096,39	600,00
Abschreibung	6,83	12,59	2,51	Abschreibung	6,83	12,59	2,51
Zinssatz	3,49	1,88	1,10	Zinssatz	3,49	1,88	1,10
weitere Festkosten	0,35	0,14	0,20	weitere Festkosten	0,35	0,14	0,20
Reparaturen	8,76	12,49	2,82	Reparaturen	8,76	12,49	2,82
Betriebsstoffe	4,68	6,48	1,38	Betriebsstoffe	4,68	6,48	1,38
Zeit [Arbeitsstunden]	13,19	8,14	5,94	Zeit [Arbeitsstunden]	13,19	8,14	5,94
Gesamtkosten	37,32	41,51	13,94	Gesamtkosten	37,32	41,51	13,94
<b>B</b>	<b>Stoppelbearbeitung</b>	<b>Bodenbearbeitung + Saat</b>	<b>Pflanzenschutz</b>	<b>B + PS</b>	<b>Stoppelbearbeitung</b>	<b>Bodenbearbeitung + Saat</b>	<b>Pflanzenschutz</b>
Anschaffungskosten	0,00	32900,00	8000,00	Anschaffungskosten	0,00	32900,00	8000,00
Auslastung	0,00	1545,07	600,00	Auslastung	0,00	1545,07	600,00
Abschreibung	0,00	16,63	2,51	Abschreibung	0,00	16,63	2,51
Zinssatz	0,00	1,31	1,10	Zinssatz	0,00	1,31	1,10
weitere Festkosten	0,00	0,07	0,20	weitere Festkosten	0,00	0,07	0,20
Reparaturen	0,00	9,61	2,82	Reparaturen	0,00	9,61	2,82
Betriebsstoffe	0,00	3,52	1,38	Betriebsstoffe	0,00	3,52	1,38
Zeit [Arbeitsstunden]	0,00	5,78	5,94	Zeit [Arbeitsstunden]	0,00	5,78	5,94
Gesamtkosten	0,00	36,91	13,94	Gesamtkosten	0,00	36,91	13,94
<b>SUMME</b>	<b>SUMME</b>	<b>SUMME</b>	<b>SUMME</b>	<b>SUMME</b>	<b>SUMME</b>	<b>SUMME</b>	<b>SUMME</b>
	42222,00	38222,00	4000,00	42222,00	38222,00	4000,00	50222,00
	28210,00	24210,00	8000,00	28210,00	24210,00	8000,00	36210,00
	28670,00	24670,00	8000,00	28670,00	24670,00	8000,00	36670,00
	32900,00	32900,00	8000,00	32900,00	32900,00	8000,00	40900,00
	16,63	16,63	2,51	16,63	16,63	2,51	19,14
	1,31	1,31	1,10	1,31	1,31	1,10	2,41
	0,07	0,07	0,20	0,07	0,07	0,20	12,42
	9,61	9,61	2,82	9,61	9,61	2,82	4,89
	3,52	3,52	1,38	3,52	3,52	1,38	11,72
	5,78	5,78	5,94	5,78	5,78	5,94	50,86

\* des Arbeitserlöses ohne Zugmaschine

\*\* des Arbeitserlöses

\*\*\* Kosten inklusive Zugmaschine

Ökonomische Ergebnisse:

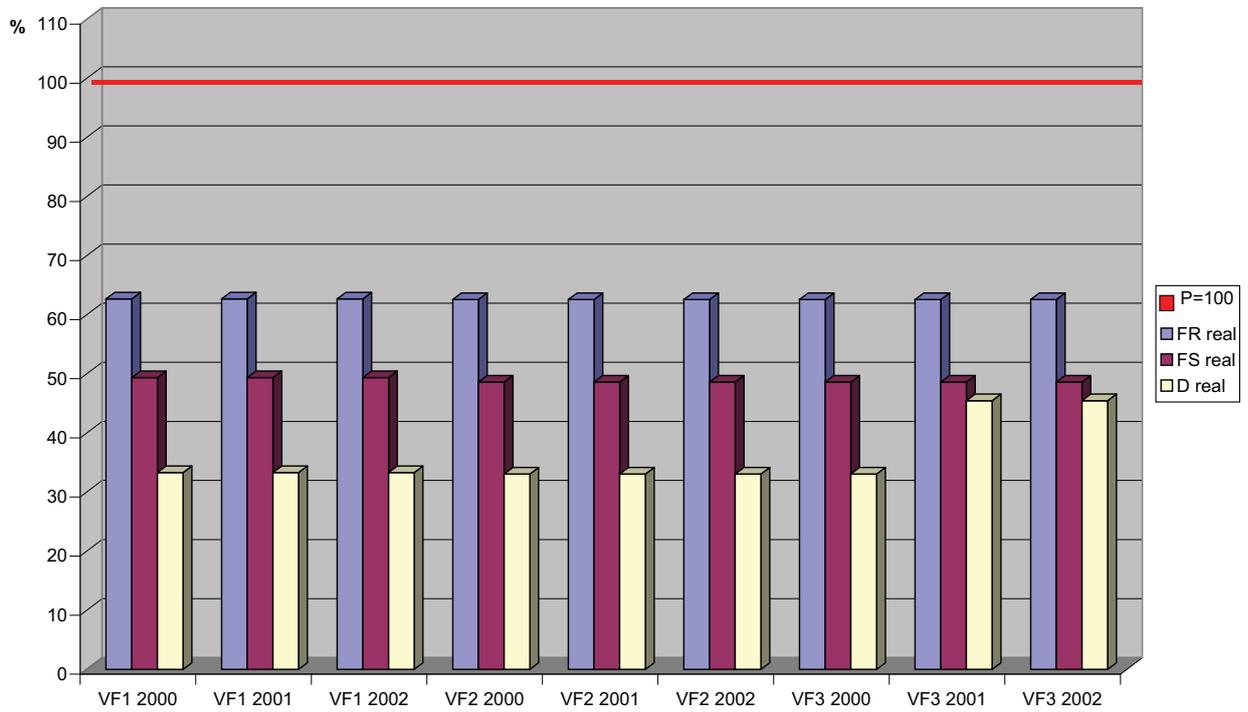


Abbildung 86: Vergleich der Kosten je ha zu realen Bedingungen mit Basis P

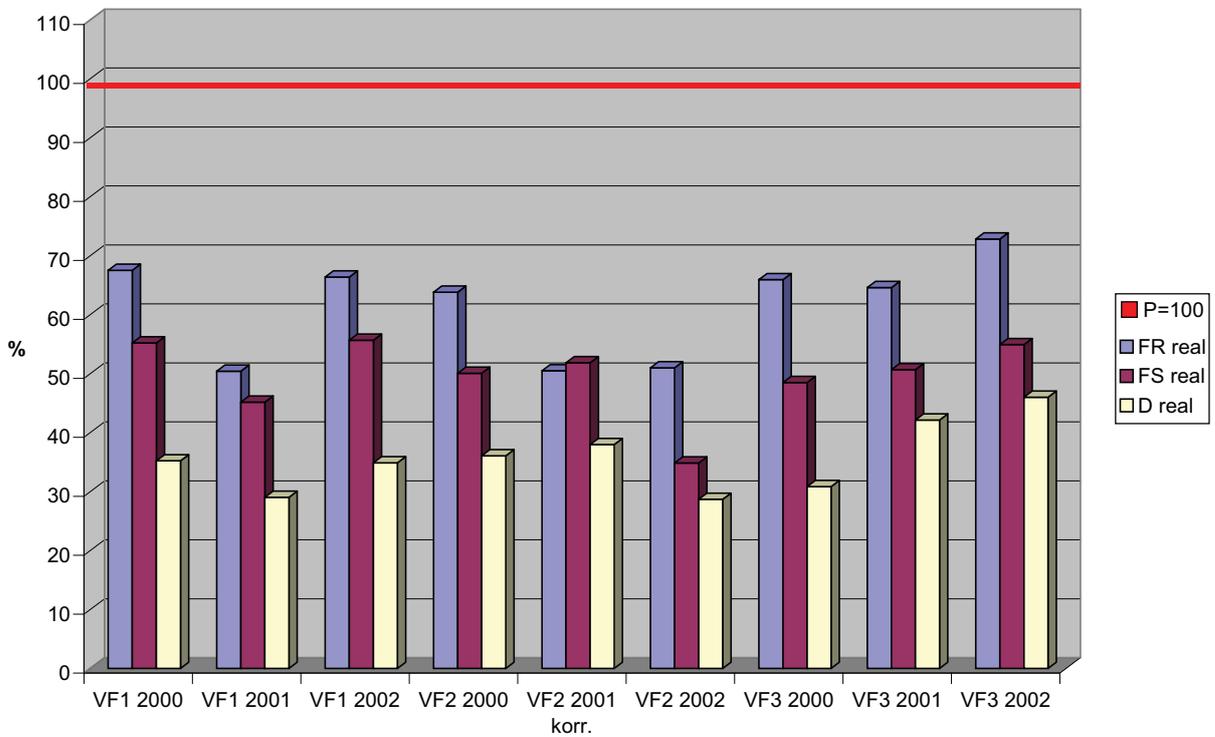


Abbildung 87: Vergleich der Kosten je dt. zu realen Bedingungen mit Basis P

Tabelle 79: Datengrundlage zur Berechnung des prozentualen Vergleichs der Kosten je Hektar für die Verfahren unter optimalen Bedingungen

	<b>P opt.</b>	<b>FR opt.</b>	<b>FS opt.</b>	<b>D opt.</b>
<b>VF1 2000</b>	100	68,728	54,49	25,515
<b>VF1 2001</b>	100	68,728	54,49	25,515
<b>VF1 2002</b>	100	68,728	54,49	25,515
<b>VF2 2000</b>	100	86,127	68,194	32,041
<b>VF2 2001</b>	100	86,127	68,194	32,041
<b>VF2 2002</b>	100	86,127	68,194	32,041
<b>VF3 2000</b>	100	86,127	68,194	32,041
<b>VF3 2001</b>	100	86,127	68,194	56,103
<b>VF3 2002</b>	100	86,127	68,194	56,103

Tabelle 80: Datengrundlage zur Berechnung des prozentualen Vergleichs der Kosten je Hektar für die Verfahren unter realen Bedingungen

	<b>P real</b>	<b>FR real</b>	<b>FS real</b>	<b>D real</b>
<b>VF1 2000</b>	100	62,686	49,368	33,29
<b>VF1 2001</b>	100	62,686	49,368	33,29
<b>VF1 2002</b>	100	62,686	49,368	33,29
<b>VF2 2000</b>	100	62,569	48,604	33,05
<b>VF2 2001</b>	100	62,569	48,604	33,05
<b>VF2 2002</b>	100	62,569	48,604	33,05
<b>VF3 2000</b>	100	62,569	48,604	33,05
<b>VF3 2001</b>	100	62,569	48,604	45,46
<b>VF3 2002</b>	100	62,569	48,604	45,46

Tabelle 81: Datengrundlage zur Berechnung des prozentualen Vergleichs der Kosten je Dezitonne für die Verfahren unter optimalen Bedingungen

	<b>P opt.</b>	<b>FR opt.</b>	<b>FS opt.</b>	<b>D opt.</b>
<b>VF1 2000</b>	100	74,052	60,937	27,007
<b>VF1 2001</b>	100	55,284	49,868	22,252
<b>VF1 2002</b>	100	72,799	61,438	26,735
<b>VF2 2000</b>	100	87,842	70,251	34,982
<b>VF2 2001 korr.</b>	100	69,489	72,747	36,829
<b>VF2 2002</b>	100	70,203	48,917	27,831
<b>VF3 2000</b>	100	90,787	68,039	29,916
<b>VF3 2001</b>	100	88,938	71,119	47,349
<b>VF3 2002</b>	100	100,26	77,064	51,686

Tabelle 82: Datengrundlage zur Berechnung des prozentualen Vergleichs der Kosten je De-  
zitonne für die Verfahren unter realen Bedingungen

	<b>P real</b>	<b>FR real</b>	<b>FS real</b>	<b>D real</b>
<b>VF1 2000</b>	100	67,541	55,209	35,23
<b>VF1 2001</b>	100	50,423	45,18	29,03
<b>VF1 2002</b>	100	66,398	55,663	34,88
<b>VF2 2000</b>	100	63,814	50,07	36,08
<b>VF2 2001 korr.</b>	100	50,482	51,849	37,99
<b>VF2 2002</b>	100	51	34,865	28,71
<b>VF3 2000</b>	100	65,954	48,493	30,86
<b>VF3 2001</b>	100	64,61	50,688	42,15
<b>VF3 2002</b>	100	72,837	54,926	46,01

Danksagung:

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Landtechnik der Justus-Liebig-Universität Giessen, im Teilprojekt C1.3 des Sonderforschungsbereiches 299 der deutschen Forschungsgemeinschaft.

Insbesondere möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. H. Seufert für die Bereitstellung des Themas danken. Mein Dank gilt ihm weiterhin zum einen dafür, dass er einer fachlichen sowie sachlichen Diskussion stets zugeneigt war. Zum anderen möchte ich ihm für die freundliche und äußerst angenehme Atmosphäre in seinem Institut, sowie die menschliche Unterstützung während meiner Tätigkeit am Institut, danken.

Für die freundschaftliche Zusammenarbeit möchte ich mich an dieser Stelle beim gesamten Team Landtechnik bedanken. Mein besonderer Dank gilt U. Bauer und R. Müller, meinen Mitstreitern auf dem Feld, ohne die das Fertigstellen dieser Arbeit in dieser kurzen Zeit nicht möglich gewesen wäre.

Weiterhin gilt es an dieser Stelle den Familien Leiter sowie der Familie Velte zu danken, die mir diese Arbeit erst ermöglichten indem sie bereitwillig für drei Jahre das sensible Ruder der Bodenbearbeitung und Bestelltechnik auf den Versuchsflächen aus der Hand gaben, und durch praktische und unternehmerischen Anregungen zu dem Gelingen dieser Arbeit maßgeblich beitrugen. Ich wünsche Ihnen auf diesem Weg alles erdenklich Gute für die Zukunft und eine glückliche Hand beim Umschiffen schwieriger Klippen.

Dank auch an meine „Giessener-“ und „Frankfurter-“ Freunde, egal wo sie heute auch leben!

Nicht zuletzt richte ich ein inniges Dankeschön an meine Familie.

Danke Emma, Berta, Renate, Peter, Ina, Jonathan, Neele, (dem Alter nach absteigend), für die seelische und moralische sowie monetäre Unterstützung die ihr mir habt zukommen lassen. Danke auch an Thomas und Ingo für die Infizierung mit dem Giessen-Virus.

Ohne Eure Unterstützung, die Ihr mir gegeben habt, egal auf welche Art und Weise, wäre ich heute nicht der, der ich bin, und auch sicher nicht da, wo ich bin.



