

Universität für Bodenkultur

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



Department für Nachhaltige Agrarsysteme

Institut für Landtechnik



Beschreibung von Bodenbearbeitungsverfahren anhand von technischen, ökologischen und ökonomischen Kriterien

Masterarbeit

an der Universität für Bodenkultur

Masterstudium: Angewandte Pflanzenwissenschaften

vorgelegt von

Klaus Palmetshofer-Gassner Bakk.techn

0640285

betreut von

Univ.Ass.DI.Dr.nat.techn. Gerhard Moitzi

Ao.Univ.Prof.DI.Dr.nat.techn. Herbert Weingartmann

Wien, am 27.Mai 2014

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Ao. Univ. Prof. DI. Dr. Herbert Weingartmann vom Institut für Landtechnik. Für seine Themenstellung, die Betreuung und die Begutachtung der Masterarbeit bin ich sehr dankbar.

Bei Herrn Ass. Prof. DI. Dr. Gerhard Moitzi vom Institut für Landtechnik möchte ich mich herzlich für die tatkräftige Unterstützung und die zahlreichen Anregungen während der Erstellung der Arbeit bedanken.

Zutiefst zu Dank verpflichtet bin ich meinen Eltern und meiner Schwester, die mich nicht nur während meiner Masterarbeit, sondern während meines gesamten Studiums tatkräftig unterstützt und ermutigt haben.

Bei meinem Vater möchte ich mich auch für die Unterstützung bei der Literatursuche und seine Hilfe bei der Korrektur der Arbeit herzlich bedanken.

Last but not least, möchte ich mich bei allen Studienkollegen bedanken, die mir das Studienleben zu einer wunderbaren Zeit gemacht haben und stets ein offenes Ohr für mich hatten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	3
1.2 Zielsetzung	5
2 Bodenbearbeitungsverfahren	6
2.1 Systematik	6
2.1.1 Im Pflanzenbau verwendete Systematik	6
2.1.2 Systematik von Bodenbearbeitungssystemen nach KTBL (2006)	9
2.1.3 Einteilung im deutschen Sprachraum unter Einbindung der amerikanischen Systematik	10
2.2 Definitionen von Bodenbearbeitungsverfahren	11
2.2.1 Konventionelle Bodenbearbeitung	11
2.2.2 Konservierende Bodenbearbeitung	12
2.2.3 Dammverfahren (Ridge-Tillage, ridge-till)	16
2.3 Andere Bezeichnungen für Bodenbearbeitungsverfahren	17
2.3.1 Reduzierte Bodenbearbeitung	17
2.3.2 Rationelle Bodenbearbeitung	17
2.3.3 Minimalbodenbearbeitung	18
2.3.4 Integriertes Bodenbearbeitungssystem	18
3 Beschreibung von Maschinen und Geräten für die Bodenbearbeitung und Aussaatechnik	19
3.1 Wendende Bodenbearbeitung mit Pflug	19
3.1.1 Streichblechpflug	19
3.1.2 Sonderformen	25
3.2 Nichtwendende Bodenbearbeitungsgeräte	28
3.2.1 Grubber	28
3.2.2 Parapflug	39
3.2.3 Unterbodenlockerer (Tiefenlockerer, Tiefenmeißel)	40
3.2.4 Scheibensysteme	43
3.2.5 Gerätekombinationen	47
Kurzscheibenegge in Kombination mit vorlaufenden Strohstriegel	49
oder Crossboard	49

3.2.6	Geräte mit gefederten und starren Zinken	50
3.2.7	Geräte mit Bodenantrieb und Rotorprinzip (Dyna-Drive)	53
3.2.8	Wälzeggen (Krümelwalzen)	54
3.2.9	Walzen	55
3.2.10	Packer (Krumenpacker, Untergrundpacker, Keilringpacker)	61
3.2.11	Strohstriegel	64
3.2.12	Rotorstriegel (Rotary Hoe) - Rollstriegel	65
3.2.13	Kettenegge und Messerwalze	67
3.3	Zapfwellengetriebene Bodenbearbeitungsgeräte	68
3.3.1	Bodenfräse, Zinkenrotoren (Rotoregge, Rotorkrümler, Rotary tiller)	68
3.3.2	Kreiselegge, Kreiselgrubber	71
3.3.3	Spatenmaschine (stechend-werfend)	75
3.4	Gerätekombinationen	76
3.4.1	Kombinationen für die Grundboden- und Stoppelbearbeitung	77
3.4.2	Kombinationen für die Saatbettbereitung	77
3.4.3	Kombinationen von Bodenbearbeitungs- und Sägeräten	78
3.5	Technik für die Mulch- und Direktsaat	83
3.5.1	Scheibenschare	84
3.5.2	Schleppschar (Stiefelschar)	94
3.5.3	Meißelschar	95
3.5.4	Zinken – oder Grubbersämaschinen	99
	Schlitzsaat	101
3.5.5	Grubbersämaschinen mit Düngerablage	103
3.5.6	Kurzscheibenegge mit Scheibenscharsystem	104
3.5.7	Vergleich Scheiben- und Zinkensäschar	108
3.5.8	Spezialsäschar für die Direktsaat:	109
3.5.9	Saatgutablage in den Erdstrom der Kurzscheibenegge	116
3.5.10	Breitsaat	116
3.5.11	Striegelsaat	117
3.5.12	Güllesaat mit Saatgutdosierung	118
3.5.13	Säende Federstempelnachläufer (System Heko)	119
3.5.14	Mulch und Direktsaat mit der Einzelkornsämaschine	119
3.5.15	Mähdruschsaat (Vorernte- und Erntesaat)	120
3.5.16	Streifenbearbeitung (Strip-Tillage)	122

3.5.17	Dammverfahren für Mais (Ridge-tillage)	138
3.5.18	Dammverfahren mit angetriebener Direktsämaschine	142
3.5.19	Dammverfahren im Zuckerrübenbau	143
4	Technische Kriterien bei Bodenbearbeitungsverfahren	146
4.1	Zugkraftbedarf	146
	Spezifischer Zugkraftbedarf	147
4.2	Leistungsbedarf	148
4.3	Zugkraft- und Zugleistungsübertragung	151
4.3.1	Zugkraft in Abhängigkeit von Reifendruck und Gesamtmasse	152
4.3.2	Zugkraft und Schlupfversuch	155
4.4	Energiebedarf	156
4.4.1	Bestellverfahren im Vergleich	156
4.4.2	Ermittlung des Energiebedarfs	157
4.4.3	Beurteilung der Bestellverfahren	157
4.5	Kraftstoffverbrauch	159
4.5.1	Kraftstoffverbrauch für Arbeitsgänge im Ackerbau	160
	Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten	162
4.5.2	Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit der Bodenart und der Verfahren	163
4.5.3	Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren und Saatbettbereitung	164
4.5.4	Kraftstoffverbrauch und Zeitbedarf von verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren und unterschiedlicher Bearbeitungstiefe	165
4.5.5	Kraftstoffverbrauch im Getreidebau	166
4.5.6	Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlicher Grundbodenbearbeitung	166
4.5.7	Möglichkeiten der Kraftstoffeinsparung	167
4.5.8	Geräteeinstellung und Gerätewartung	168
4.6	Schardruck	169
4.7	Tiefenführung und Rückverfestigung	172
5	Ökologische Kriterien bei Bodenbearbeitungsverfahren	173
5.1	Bodenschutz	173
5.1.1	Bodenerosion	173
	Cross Compliance	176
5.1.2	Mulchpflanzverfahren im Kartoffelbau	188
5.2	Bodenverdichtung – Verdichtungsgefährdung	191

5.2.1	Ursachen und Auswirkungen von Bodenverdichtungen.....	192
5.2.2	Schlupf.....	207
5.3	Humus.....	213
5.3.1	Bewertungssysteme für Humusbildung.....	213
5.4	N ₂ O – Emissionen	217
5.5	CO ₂ – Emissionen	219
5.6	Herbizideinsatz.....	222
5.7	Beurteilung verschiedener Bodenbearbeitungssysteme	224
6	Ökonomische Kriterien bei Bodenbearbeitungsverfahren	226
6.1	Die Bodenbearbeitungsverfahren im Vergleich	226
6.1.1	Pflugverfahren.....	227
6.1.2	Tiefe Mulchverfahren	227
6.1.3	Flache Mulchverfahren	227
6.1.4	Streifenbearbeitung (Strip-Tillage)	229
6.1.5	Ridge Tillage (Dammverfahren).....	233
6.2	Wahl des Bestell - Verfahrens.....	234
6.3	Mögliche Bearbeitungsstrategien	235
6.4	Maschinen- und Arbeitserledigungskosten.....	237
7	Ergebnisse und Diskussion	241
7.1	Technische Kriterien.....	241
7.1.1	Ergebnisse	241
7.1.2	Diskussion.....	243
7.2	Ökologische Kriterien	245
7.2.1	Ergebnisse	245
7.2.2	Diskussion.....	247
7.3	Ökonomische Kriterien	253
7.3.1	Ergebnisse	253
7.3.2	Diskussion.....	254
8	Zusammenfassung	258
9	Weiterer Forschungsbedarf	262
10	Tabellenanhang.....	263
11	Literaturverzeichnis.....	276

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bodenbearbeitungssysteme in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitungsintensität	9
Abbildung 2: Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren in Abhängigkeit der Bodenbedeckung	10
Abbildung 3: Beetpflug, 7-Schare, rechts wendend Abbildung 4: 6-Schar Anbau-Volldrehpflug	19
Abbildung 5: Pflugkörperformen (Quelle: WENNER et al., 1973, 103)	20
Abbildung 6: Firmeninterne Normierung der Pflugkörper (Quelle: Firmenprospekt KVERNELAND)	20
Abbildung 7: Verschiedene Pflugkörperformen Abbildung 8: Furchenräumung Breitreifen	21
Abbildung 9: Hydraulische Schnittbreitenverstellung	22
Abbildung 10: Elektrohydraulische Drehwerksteuerung	22
Abbildung 11: Druckregelung von hydraulischen Oberlenker (A) und hydraulischem Stützrad (B)	22
Abbildung 12: Gewichtskräfte und Achslasten über Oberlenkerdruck	23
Abbildung 13: Triebbradschlupf und Kraftstoffverbrauch über Oberlenkerdruck	23
Abbildung 14: Maßbestimmungen am Pflug (Quelle: MEINERS et.al.,1997,188).	24
Abbildung 15: Aufbau des Scharkörpers beim Zweischichtenpflug (Quelle: GASSNER,2008)	25
Abbildung 16: Kleiner, stärker zylindrisch geformter Rautenkörper aus Metall oder Kunststoff	26
Abbildung 17: Die Arbeitsweise des Ecomat ermöglicht 3 verschiedene Arbeitsverfahren	26
Abbildung 18: 5-schariger Stoppelhobel der Firma Zobel (Quelle: Firmenprospekt Zobl)	27
Abbildung 19: Aufbau und Bezeichnungen am Grubber (Quelle: MEINERS 1997,190)	28
Abbildung 20: Grubberschare (Quelle: Conservation Tillage Systems and Management , 2000, 251)	29
Abbildung 21: „Haifischflosse“ Abbildung 22: „Low Disturbance Schar“	30
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen Arbeitsbreite und Arbeitstiefe verschiedener Scharformen	31
Abbildung 24: 2-balkiger Grubber mit Blattfedersteinsicherung (Quelle: Firmenprospekt Kverneland)	32
Abbildung 25: 2-balkiger Grubber „Synkro 2600“	33
Abbildung 26: 3-balkiger Grubber (Quelle: Werkbild HORSCH)	34
Abbildung 27: 8-balkiger Aufsattelgrubber mit Blattfederzinken, „VARIO“ von Köckerling	37
Abbildung 28: Wecodyn-Grubber (Quelle: LOP Sonderheft „Boden verbessern, Ertrag steigern“	38
Abbildung 29: Parapflug 4-scharig mit Scherbolzensicherung (Quelle: Werkbild Howard)	39
Abbildung 30: „Tiefenmeißel“ Abbildung 31: Zinken mit variabler Ausstattungsmöglichkeit	40
Abbildung 32: Tiefenlockerer „ALPEGO“ Abbildung 33: Zinken der Untergrundlockerer	41
Abbildung 34: Untergrundlockerer mit V-Rahmen	41
Abbildung 35: Agrisem Cultiplow 52 Combimulch	42
Abbildung 36: Ausleger –(Offset-) Scheibenegge Abbildung 37: Doppelscheibenegge	43
Abbildung 38: Bauarten der Scheiben von Scheibeneggen (Quelle: Werkbild Vaederstad)	44
Abbildung 39: Einzelaufhängung gefedert Abbildung 40: Kurzscheibenegge gezogene Version	45
Abbildung 41: Spatenrollegge Abbildung 42: Größte Spatenrollegge der Welt, 12 m AB,	46
Abbildung 43: Abfolge 1: Grubber 4-reihig + 2 Reihen Scheibenegge + Walze (Keilringwalze)	47
Abbildung 44: Kurzscheibenegge mit Strohstriegel Abbildung 45: Kurzscheibenegge mit Crossboard	49
Abbildung 46: Kennzeichnung und Arbeitsweise der Eggenzinken von Ackereggen	50

Abbildung 47: Veränderungen des Bearbeitungshorizontes bei Feingrubber und Zinkenegge	51
Abbildung 48: Kombination Feingrubber mit Federzinken und Wälzegen, vorne Flachstab, hinten Zahnwälzegen und zweireihigen Nachlaufstriegel, Einböck „Taifun.“ (Quelle: LOP 01/02-2014, 6)	52
Abbildung 49: Aufbau und Funktion des Dyna-Drive	53
Abbildung 50: Rotor Dyna-Drive	53
Abbildung 51: Wälzegen (Quelle: EICHORN et.al., 1999, 168)	54
Abbildung 52: Werkzeulemente der Walzen	56
Abbildung 53: Wirkungsweise einer Ackerwalze	56
Abbildung 54: Arbeitsweise der Prismenwalze bei der Aussaat (Quelle: Firmenprospekt Güttler)	57
Abbildung 55: Arbeitsbild der Prismenwalze	57
Abbildung 56: Rückverdichtungskurve Prismenwalze	57
Abbildung 57: Rohrpackerwalze (Lemken)	59
Abbildung 58: Zahnpackerwalze PW (Amazone)	59
Abbildung 59: Doppel-STW-Walze *) + Nachlauf-.....	59
Abbildung 60: Keilringwalze am Centaur (Amazone)	59
Abbildung 61: Kerner- Crackerwalze	59
Abbildung 62: Flexi-Coil-Walze	59
Abbildung 63: Güttler Prismenwalze	60
Abbildung 64: Cambridgewalze	60
Abbildung 65: Ringpackerwalze (Schneidring)	60
Abbildung 66: Front-Reifenpacker	60
Abbildung 67: HEKO Federstempelwalze	60
Abbildung 68: Terra Flow-Walze	60
Abbildung 69: Fliegl- Profilwalze (Eggenwalze)	60
Abbildung 70: Einsatzbereiche und Eignung von Packern	62
Abbildung 71: Packer bei der Pflugarbeit	62
Abbildung 72: Front-Packer (Werkbild Kverneland)	62
Abbildung 73: Flex Pack	63
Abbildung 74: Packomat	63
Abbildung 75: Wirkung von Absetzfrist und Packer auf den Abscherwiderstand	63
Abbildung 76: Strohstriegel	64
Abbildung 77: Striegelfeld mit geraden, runden Federstahlzinken	64
Abbildung 78: Rotorstriegel - Rotary Hoe(Nordamerika)	65
Abbildung 79: Rollstriegel (Europa)	65
Abbildung 80: Kelly Kettenegge	67
Abbildung 81: Rolling stalk cutter	67
Abbildung 82: Systematik zapfwellenbetriebener Bodenbearbeitungsgeräte (Quelle: ATL 2003, 16)	68
Abbildung 83: Bodenfräse (Quelle: EICHORN et.al., 1983, 138)	69
Abbildung 84: Messer u. Zinkenformen von Bodenfräsen und Zinkenrotoren	69
Abbildung 85: Bewegungsbahnen der Fräsmesser bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten	70
Abbildung 86: Bestellung unter dem Bodenwurf einer Fräse (Quelle: HEEGE, 1985,113)	70
Abbildung 87: Kreiselegge mit Packerwalze (Quelle: MEINERS, 1997, 192)	71
Abbildung 88: Kreiseleggenzinken schleppend	71
Abbildung 89: Bewegungsbahnen der Zinken einer Kreiselegge	71
Abbildung 90: „Qick Fix“ – Zinkenschnellwechsel	72
Abbildung 91: Montage Werkzeug los	72
Abbildung 92: Praktischer Einsatz der „LION“ als Kreiselgrubber mit Packerwalze beim Einarbeiten	73
Abbildung 93: Mögliche Kreisdrehzahlen „LION“ 3001/4001	73
Abbildung 94: Spatenmaschine mit stechend-werfenden Arbeitswerkzeugen	75
Abbildung 95: Systematik Gerätekombinationen (Quelle: Agrartechnische Lehrbriefe,2003,16)	76

Abbildung 96: Garegge mit Wälzgege als Nachlaufgerät (Quelle: MEINERS, 1997, 191)	78
Abbildung 97: Gerätekombination zur Bodenbearbeitung und Aussaat (Quelle: MEINERS, 1997,190)	78
Abbildung 98: Bestellkombinationen (Rüttelege, Zinkenrotor) (Quelle: GEHRING, 2001, 111)	79
Abbildung 99: Kreiselgrubber-Sämaschinen-Kombination (Schema)	81
Abbildung 100: Bestellkombination	Abbildung 101: Bestellsaat
Abbildung 102: Geräte für Saatbettbereitung und Saat nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung	82
Abbildung 103: Einscheibenschar	Abbildung 104: Einscheibenschar-angewinkelte
Abbildung 105: Einscheiben-Säschar-Einheit (Quelle: Pöttinger, Terrasem 4000 T)	85
Abbildung 106: Einscheibensämaschine „TANDEM FLEX“ – Firma „Auf der Landwehr“	86
Abbildung 107: Doppelscheibenschar	Abbildung 108: V-förmig, versetztes Doppelscheibenschar
Abbildung 109: Automatische Schardruckregelung am Doppelscheibenschar	88
Abbildung 110: Mulchsaatmaschine - Saatbettbereitung mit Kurzscheibenegge (Quelle: Werkbild	88
Abbildung 111: Mulchsaatmaschinen mit Einscheiben- bzw. Doppelscheibensätechnik	89
Abbildung 112: Schräg gestellte Doppelscheibenschare	90
Abbildung 113: Schematische Darstellung der Streifendüngung	90
Abbildung 114: Doppelscheibenschar mit zwei verschieden großen Scheiben	91
Abbildung 115: Triple Disc – Schar (Quelle: Köller und Linke, 2001,64)	91
Abbildung 116: Direktsämaschine mit dem Dreischeibensystem (Firmenprospekt Kuhn)	92
Abbildung 117: Klassische Direktsaat mit der Dreischeibensätechnik (Quelle: vgl.: LOP SH 2011, 6)	93
Abbildung 118: Schleppschar (Stiefelschar)	Abbildung 119: Säbelschar
Abbildung 120: Parallelogrammaufhängung- Meißelschar	95
Abbildung 121: Meißelschar	95
Abbildung 122: Saatgut-Einbettung mit dem Meißelschar der Amazone-„Primera DMC“	96
Abbildung 123: Doppelmeißel-Scharsystem (Quelle: Väderstad-Firmenprospekt 2012)	97
Abbildung 124: Kombi-Saat mit dem Doppelmeißel-Scharsystem (Quelle: Väderstad „Seed Hawk“)	97
Abbildung 125: Direktsaat mit der Doppelzinkenscharsätechnik Vaederstad „Seed Hawk SH 600“	98
Abbildung 126: Leichte Meißelschartechnik „Amazone Cayena“ (Quelle: LOP SH 2011, 39)	98
Abbildung 127: Mulchsaat mit der Zinkenschartentechnik „Köckerling Ultima 300“	99
Abbildung 128: Tiefenführung der Säzinken, Einebnung und Rückverfestigung.	100
Abbildung 129: Claydon SR-Drill mit dem pneumatischem Säsystem	101
Abbildung 130: Säwerkzeuge: vorne schmaler Lockerungszinken,	101
Abbildung 131: Saatgut und Düngerablage sowie Arbeitsweise der Winglet-Flügel	103
Abbildung 132: HORSCH-Sprinter (Airseeder) mit dem Duett-Schar (Quelle: Werkbild HORSCH)	103
Abbildung 133: Prinzip des HORSCH PPF-Systems (precision placement of fertilizer)	104
Abbildung 134: AGRISEM Tri-O-Sem -Sätechnik und Spezialschar	105
Abbildung 135: Tri-O-Sem - Prinzip der Saatgut- und Düngerablage (Quelle: AGRISEM –	105
Abbildung 136: Mulchsaat mit Unterfußdüngung mit der Terrasem fertilizer,	106
Abbildung 137: Die unterschiedlichen Arbeitseffekte von Scheiben und Zinkensäscharen	108
Abbildung 138: Das original Inverted T-Schar für die Direktsaat (von Baker, 1976b).	109

Abbildung 139: Formen des Inverted – T- Schares ($\perp$) (Baker Boot-Schar).....	110
Abbildung 140: Flügelschar mit einer zentralen Scheibe nach dem Prinzip „Baker boot“	111
Abbildung 141: Cross–Slot– Schar, horizontal getrennte Ablage von Saatgut und Dünger	112
Abbildung 142: Beispiele für Direktsaatvarianten (Quelle: Agrarforschung Schweiz, 2008).....	114
Abbildung 143: AGRISEM Disc-O-Mulch (Quelle: AGRISEM Firmenprospekt 2012).....	116
Abbildung 144: Pneumatische Aussaat von Feinsämereien (Quelle: Firmenprospekt.....	117
Väderstad „Bio-drill“ 360 (BDA))	Abbildung 145: Umbruchlose Grünlanderneuerung..... 117
Abbildung 146: Schwerstriegel (Quelle: LOP 4/2012, 7).....	117
Abbildung 147: Pneumatischer Düngerstreuer	117
Abbildung 148: Beimischung der Untersaat in die Gülle und Schleppschlauchausbringung.....	118
Abbildung 149: Zudosierung mit der pneumatischen Sämaschine von Technik Plus.....	118
Abbildung 150: Kombination aus Federstempelwalze mit Schleppzinken von Hendlmeier	119
Abbildung 151: Räumsterne an der Einzelkornsämaschine KUHN Maxima 2	119
Abbildung 152: Das Guillotine-Schar als Düngerschar an einer Einzelkornsämaschine	120
Abbildung 153: Mähdruschsaat (vgl. KÖLLER und LINKE 2001,61)	120
Abbildung 154: Mähdruschsaat, System Güttler, entwickelt 1993 (Quelle: Werkbild Güttler, 2007)	121
Abbildung 155: CLAAS – Mähdrescher Lexion 580, umgebaut 2009 (Quelle: LOP 7/2011, 41)	122
Abbildung 156: 4-reihige Streifenfräse optimiert mit einem kleinen Schar für eine Zusatzunterlockerung ..	123
Abbildung 157: Streifenbearbeitung mit Düngung und Aussaat (Quelle: Terra HORSCH 01/2010,6)	126
Abbildung 158: Düngerablage Zinken Focus TD (Quelle: HORSCH)	127
Abbildung 159: Strip – Tillage – Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat.....	128
Abbildung 160: Arbeitsbilder des Focus TD bei der Aussaat und Düngung	128
Abbildung 161: Strip Till- Sämaschine Väderstad „Spirit“ (Quelle: Firmenprospekt Vaederstad)	129
Abbildung 162: Winterraps (links) wird direkt auf den gelockerten Schlitz gesät, bei Getreide (rechts)	129
Abbildung 163: Streifenbearbeitung mit Düngerablage und Einzelkornsaat	130
Abbildung 164: KUHN-Striger, 6-reihig (Quelle: LOP 4/2011, 44)	131
Abbildung 165: Striger (Quelle:Werkbild KUHN).....	132
Abbildung 166: Einsatz des Strigers auf einer Fläche mit Zwischenfruchtmulch.	133
Abbildung 167: Striger im Detail (Quelle: LOP 9/10 2011, 8)	133
Abbildung 168: Streifenbearbeitung und Zuckerrübensaat in stehender Zwischenfrucht	134
Abbildung 169: Streifenbearbeitung, partielle Lockerung des Bodens X-Till S (Slurry) mit.....	134
Abbildung 170: Streifenbodenbearbeitung – Strip Tillage in den USA (Bildquelle: Dawn Equipment	136
Abbildung 171: Streifenlockerungsversuch	Abbildung 172: EXD-Einzelkornsätechnik..... 136
Abbildung 173: Streifenbodenbearbeitung KUHN	Abbildung 174: Streifenbearbeitung HORSCH..... 137
Abbildung 175: Tiger 6 DT im Herbsteinsatz – spurgetreue Führung mittels RTK.....	138
Abbildung 176: MulchMix-Schar, 80 mm breit	Abbildung 177: Dammaufbau im Herbst..... 139
Abbildung 178: GPS gesteuerte Scheibenseche	Abbildung 179: Mobile Referenzstation
Abbildung 180: Streifen-Rotordirektsämaschine	142
Abbildung 181: Dammgeometrie im Zuckerrübenbau (Quelle: www.suedzucker.de, Zugriff:	143

Abbildung 182: Verfahren I –Dammfräse (Quelle: SCHULZE LAMMERS et.al., 2004, 196).....	144
Abbildung 183: Verfahren II- Häufelkörper (Quelle: SCHULZE LAMMERS et.al., 2004, 196)	144
Abbildung 184: Verfahren III- Kreiselgrubber (Quelle: SCHULZE LAMMERS et.al., 2004, 196)	145
Abbildung 185: Radlast und Zugkraftverteilung Abbildung 186: Zugkraftbedarf beim Pflügen	147
Abbildung 187: Spezifischer Zugkraftbedarf für unterschiedliche Bearbeitungsverfahren Löss Standort	148
Abbildung 188: Zusammenhänge für die Ermittlung der erforderlichen Traktor- Motorleistung	149
Abbildung 189: Zugkraft und Zugleistungsübertragung Abbildung 190: Triebkraftbeiwerte.....	151
Abbildung 191: Zugkraft in % eines Treibradreifens in Abhängigkeit vom Reifeninnendruck:	153
Abbildung 192: Energiebedarf verschiedener Bestellverfahren [kWh/ha]	156
Abbildung 193: Kraftstoffverbrauch beim Pflügen in Abhängigkeit der Arbeitstiefe	161
Abbildung 194: Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten (Quelle:.....	162
Abbildung 195: Kraftstoffverbrauch in l/ha für Stoppel-, Grund- und Sekundärbearbeitung	163
Abbildung 196: Kraftstoffverbrauch (l/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung und	164
Abbildung 197: Kraftstoffverbrauch und Zeitbedarf von verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren	165
Abbildung 198: Mittlerer Kraftstoffverbrauch im Getreidebau bei unterschiedlichen Bestellverfahren	166
Abbildung 199: Kraftstoffverbrauch bei der Bestellung unter Variation der Grundbodenbearbeitung	166
Abbildung 200: Bestellsystem mit Fronttiefergrubber (Quelle: MOITZI, ÖKL- Kolloquium 2005).....	167
Abbildung 201: Hairpinning-Effekt Abbildung 202: Umgang mit Stroh	170
Abbildung 203: Strohräumer (Quelle: KÖLLER und LINKE, 2001,72)	171
Abbildung 204: Parallelogrammgeführtes Doppelscheibenschar.....	172
Abbildung 205: Schardruckregelung	172
Abbildung 206: Pflugsaat – Mulchsaat – Direktsaat (Quelle: Väderstad Firmenprospekt 2012).....	173
Abbildung 207: Wassererosion (li.) - intensive Bodenerosion nach Starkniederschlägen	173
Abbildung 208: Ursachen und Folgen der Bodenerosion durch Wasser	174
Abbildung 209: Beispiel für die Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit durch Erosion	175
Abbildung 210: Beispiel für die Berechnung des C-Faktors	176
Abbildung 211: Auswirkungen von Strip Till zu Mais auf die Bodenerosion durch Wasser	177
Abbildung 212: Saatbettbereitung	177
Abbildung 213: Saatbettbereitung - Vergleich der Bodenbearbeitungsintensität	178
Abbildung 214: Drei Strategien mit vorbeugenden Maßnahmen gegen Bodenabtrag	183
Abbildung 215: Geräteeinsatz bei konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung	184
Abbildung 216: Abfluss und Abtrag in Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad	186
Abbildung 217: Anlegen von Herbstdämmen im Kartoffelbau (Quelle: KIVELITZ et.al., 2010, 30)	189
Abbildung 218: Begrünte Herbstdämme Abbildung 219: Herbstdämme mit abgefrorener	189
Abbildung 220: Tiefenwirkung des Bodendruckes (Quelle: BOLLING und SÖHNE,1982)	193
Abbildung 221: Bulldozing-Effekt (Quelle: LOP 9/2009,29)	193
Abbildung 222: Bodenverdrängung durch unterschiedliche Bereifung (Quelle: LOP 9/2009,30)	194
Abbildung 223: Luftkapazität [%] von 16 Ackerschlägen (Quelle: WEYER, 2008,39)	196
Abbildung 224: Tiefenwirkung des Bodendruckes in bar bei unterschiedlicher Bodenfeuchte	197

Abbildung 225: Verlauf in der bearbeitenden Krume, der Pflugsohle und im Unterboden	197
Abbildung 226: Druckverteilung beim On-land-Pflügen und beim konventionellen Pflügen.....	198
Abbildung 227: Tiefenwirkung des Bodendrucks in Abhängigkeit von Bodenbearbeitungsverfahren	199
Abbildung 228: Der Problembereich Bodenverdichtung und Lösungsansätze (nach SOMMER,1997)	200
Abbildung 229: Spurtiefe eines 6-reihigen Rübenroders	201
Abbildung 230: Tragfähigkeit [kPa] von 8 Ackerschlägen in Abhängigkeit der Bodenbewirtschaftung	201
Abbildung 231: Breitreifen/Zwillingreifen (Quelle: ALSING et.al, 2002, 108)	202
Abbildung 232: Frontballastierung (Quelle: SEDLMAIR, ABZ-Triesdorf)	203
Abbildung 233: Permanente Fahrgassen (Quelle: LOP SH, 2011,40)	205
Abbildung 234: CTF im Gemüsebau. Die Traktorspur ist so breit wie die Beete	207
Abbildung 235: Funktionsweise des Soil Load Monitors (Quelle: WEIßBACH,2008)	210
Abbildung 236: Traktionsverstärkung am Grubber (Quelle: LOP, 09/2009,36).....	211
Abbildung 237: Bewertungssystem für die Humusversorgung verschiedener Anbausysteme	214
Abbildung 238: Veränderung der tiefenabhängigen C_{org} -Gehalte bei verschiedener Bodenbearbeitung.....	215
Abbildung 239: Vergleich der Verluste durch Denitrifikation zwischen Pflugverfahren und Direktsaat	218
Abbildung 240: Dieselvebrauch in l/ha und CO_2 - Ausstoß in kg (Quelle:ROSNER, 2011, 39)	219
Abbildung 241: Aufwandmenge Glyphosat bei Direktsaat und Pflug.....	222
Abbildung 242: Beurteilung verschiedener Bodenbearbeitungssysteme (Quelle: FAT Nr.501-1997,13)	224
Abbildung 243: Technischer Aufwand und Anzahl der Überfahrten	226
Abbildung 244: Pflugverfahren	Abbildung 245: Mulchverfahren.....
Abbildung 246: Konzept des Mulchsaatverfahrens (Quelle: FAT-Bericht 363 04/1989, 2)	227
Abbildung 247: Zwischenfruchteinsaat mit aufwendiger Technik	228
Abbildung 248: Zwischenfruchteinsaat mit geringem Aufwand.....	228
Abbildung 249: Winterweizen in Granskevitz, Rügen, Herbst 2011,	229
Abbildung 250: Temporäre Direktsaat in der Umstellungsphase bei Pferdebohnen	231
Abbildung 251: Verhältnis von Aufwand und Risiko bei verschiedenen Bestellverfahren.....	234
Abbildung 252: Entwicklungstendenzen für den Arbeitskraftstundenaufwand pro Hektar	235
Abbildung 253: Mögliche Bodenbearbeitungsstrategien	236
Abbildung 254: Ergebnisse der Parameter (Zugkraftbedarf, Leistungsbedarf, Kraftstoffverbrauch)	243
Abbildung 255: Ergebnisse zur Höhe des Schardrucks [kg] bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung	244
Abbildung 256: Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren in Abhängigkeit der Bodenbedeckung	247
Abbildung 257: Bodenabtrag[t/ha/a] und Humusgehalt [%] bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung	248
Abbildung 258: C-org Verluste [kg/ha/a] bei verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren	249
Abbildung 259: N-Abtrag [kg/ha/a] und P-Abtrag [kg/ha/a] bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung	250
Abbildung 260: Herbizideinsatz [l/ha] bei konventionell wendender Bodenbearbeitung und Direktsaat.....	251
Abbildung 261: Humusmenge [t/ha], CO_2 -Ausstoß [kg] durch Dieselvebrauch [l/ha] und die	252
Abbildung 262: Arbeitskraftbedarf [Akh/ha] und Technische Leistung [ha/h] von Verfahren	254
Abbildung 263: Grafik der Maschinenkosten von unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen in	255

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lockerbodenwirtschaft (BAUEMER,1992,abgeändert)	6
Tabelle 2: Lockerboden-Mulchwirtschaft (BAUEMER,1992,abgeändert)	7
Tabelle 3: Festboden- Mulchwirtschaft (BAUEMER,1992, abgeändert)	8
Tabelle 4: Extreme Festboden-Mulchwirtschaft (BAUEMER,1992, abgeändert)	9
Tabelle 5: Definition der Mulchsaat mit und ohne Saatbettbereitung (nach BRUNOTTE und SOMMER, 2005)	13
Tabelle 6: Technische Daten - Pflugübersicht (Quelle: Firma Pöttinger, Grieskirchen)	24
Tabelle 7: Vergleich zwischen ein- und zweischichtigem Pflügen (Quelle: RKL, Karteinummer 415,54)	25
Tabelle 8: Technische Daten - Übersicht 2-balkige Grubber (Quelle: Firma Pöttinger, Grieskirchen)	33
Tabelle 9: Technische Daten - Übersicht 3-balkige Grubber (Quelle:Firma Pöttinger, Grieskirchen)	34
Tabelle 10: Leistungsbedarf für Grubber – HORSCH Terrano 6 FM, 4-balkig mit 5,9 m Arbeitsbreite mit Flügelscharen auf einer Stoppelfläche (Maschinentest Sommer 2011) (vgl. terra Horsch 04/2012, 25) .	36
Tabelle 11: Technische Daten für Unterbodenlockerer („Tiefenmeißel“) (Quelle: Kverneland)	40
Tabelle 12: Technische Daten von Tiefenlockerer (Quelle: AGRISEM Cultiplow 52)	42
Tabelle 13: Technische Daten von Scheibeneggen (Quelle: GREIN, 2006, 128ff)	43
Tabelle 14: Technische Daten von Kurzscheibeneggen (Quelle: GREIN, 2006, 130 ff)	45
Tabelle 15: Technische Daten von Spatenrolleggen (Quelle: MEINERS,1997,192).....	46
Tabelle 16: Technische Daten von Gerätekombination (vgl.: GREIN, 2006,133).....	48
Tabelle 17: Technische Daten von Feingrubber (Quelle: Einböck-Firmenprospekt)	51
Tabelle 18: Technische Daten der Ackeregge (Normalzinken) (Quelle: Einböck, Firmenprospekt)	52
Tabelle 19: Technische Daten von Dyna-Drive (Quelle: FAT-Tänikon 01/1992)	53
Tabelle 20: Wirkungsweise der Wälzeggen (Quelle: EICHORN et.al., 1999,168).....	55
Tabelle 21: Technische Daten von Wälzeggen (vgl. WENNER et.al., BLV 1973, 128)	55
Tabelle 22: Technische Daten der Walzen (Quelle: ESTLER, et.al., 1984, 131)	56
Tabelle 23: Wirkung der Stoppelbearbeitung auf das Keimen von Unkräutern (Quelle: GREIN, 2006,135)	58
Tabelle 24: Anforderungsprofil / Bewertungsindex an die Walzentechnik in Stoppelbearbeitungsgeräten	61
Tabelle 25: Technische Daten – Heavy Duty Strohstriegel (Quelle: Firma Hatzenbichler)	65
Tabelle 26: Technische Daten der Kelly Kettenegge (Quelle: LOP 1 / 2 / 2012,7)	67
Tabelle 27: Technische Daten von Bodenfräsen (vgl.: ESTLER et.al., 1983, 138).....	69
Tabelle 28: Technische Daten von zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten	74
Tabelle 29: Relativer Leistungsbedarf zur Erreichung eines bestimmten Zerkleinerungsgrades.....	74
Tabelle 30: Technische Daten der Spatenmaschine (Quelle: Firmenprospekt CELLI Typ GR 190)	75
Tabelle 31: Kreiseleggen und Sämaschinen-Kombinationen im Vergleich (Quelle: Fortschrittlicher	80
Tabelle 32: Technische Daten der Dreischeiben-Direktsämaschine (Quelle: KUHN-Firmenprospekt	93
Tabelle 33: Technische Daten der Claydon SR-Drill (Quelle:Firma Sulky)	102
Tabelle 34: Technische Daten der Mulchsaatmaschine „Terrasem 6000 T“	107
Tabelle 35: Vor- und Nachteile der Säscharformen (Quelle: LOP SH I, 2011,19)	108
Tabelle 36: Direktsaat-Schare im Vergleich (Quelle: DLG 2008, 72)	115

Tabelle 37: Technische Daten der FOBRO Streifenfräse - OekoSem IV	124
Tabelle 38: Technische Daten – Strip Till-Sämaschine Horsch Focus TD 6 (Quelle: terra Horsch	127
Tabelle 39: Technische Daten - Strip Till-Sämaschine (Väderstad „Spirit“) (Quelle: Väderstad Spirit	130
<i>Tabelle 40: Technische Daten von Streifenbearbeitungsmaschinen (Striger)</i>	<i>131</i>
Tabelle 41: Vergleich Mulch- und Streifensaat von Zuckerrüben	137
Tabelle 42: Technische Daten – HORSCH Tiger 6 DT	138
Tabelle 43: Technische Kennwerte von Standardtraktoren mit Allradantrieb	146
Tabelle 44: Richtwerte für spezifische Pflugwiderstände [daN/dm ²]	149
Tabelle 45: Leistungsbedarf bei der Bodenbearbeitung und Bestellung	150
Tabelle 46: Auszug aus einem Traktor Prüfbericht zur Zugleistung.....	152
Tabelle 47: Einfluss von Reifendruck auf den Dieselverbrauch (VOLK 2006)	153
Tabelle 48: Einsparung in €/ha und Jahr in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsgerät	154
Tabelle 49: Zugkraft und Schlupfversuch	155
Tabelle 50: Mittelwerte der Weizenenerträge der drei Anbaujahre der verschiedenen Bestellverfahren	158
Tabelle 51: Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch [l/ha] für Arbeitsgänge im Ackerbau	160
Tabelle 52: Möglichkeiten der Kraftstoffeinsparung (Quelle: dlz 8/2008, 68 – BÖTTINGER).....	167
Tabelle 53: Dieselverbrauch eines 100 ha-Betriebes und Einsparungsmöglichkeiten	168
Tabelle 54: Übersicht über die Bauarten von Säscharen und der jeweilige Schardruck	169
Tabelle 55: Einzelbetrieblicher Nutzen-Kosten-Vergleich zum Erosionsschutz.....	180
Tabelle 56: Gemessene jährliche Abträge und Erträge 1994 – 2010.....	182
Tabelle 57: Erosionsgefahr bei verschiedenen Kulturen (Quelle: ANGERMAYR, 1988,8)	187
Tabelle 58: Indikatoren zum Problembereich Bodenschadverdichtung	191
Tabelle 59: Porenanteil am Gesamtbodenvolumen in %	196
Tabelle 60: Verdichtungsgrad bestimmende Faktoren (Quelle: Arbeitsunterlage des BMLUFWF, 04/1986)	196
Tabelle 61: Formel für die Berechnung des Schlupfes (Quelle: RENIUS, 1985,30).....	208
Tabelle 62: Regeln für effiziente Traktion von Luftreifen (Quelle: RENIUS,1985,32)	209
Tabelle 63: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Humusgehalt und Humusmenge	216
Tabelle 64: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf den Humusgehalt	217
Tabelle 65: CO ₂ -Emissionen bei der Herstellung von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln.....	219
Tabelle 66: Basisdaten für Dieseldieselkraftstoff mit CO ₂ - Emissionsfaktor (Quelle: MOITZI und BOXBERGER,	220
Tabelle 67: Daten des Produktionsverfahrens Winterweizen	228
Tabelle 68: Strip Tillage – Ökonomie und Arbeitswirtschaft	229
Tabelle 69: Kosten und Ertragsvergleich bei Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug	230
Tabelle 70: Direktsaat von Ackerbohnen im Vergleich zur Pflugbearbeitung.....	231
Tabelle 71: Ergebnisse mehrjähriger Bodenbearbeitungsversuche in NÖ (Quelle: ROSNER, 2011).....	232
Tabelle 72: Verfahren 72/1 und Verfahren 72/2.....	238
Tabelle 73: Verfahren 73/1 und Verfahren 73/2.....	239
Tabelle 74: Verfahren 74/1, Verfahren 74/2 und Verfahren 74/3.....	240

Tabelle 75: Technische Kriterien für die Bewertung von Bodenbearbeitungssystemen	242
Tabelle 76: Ökologische Kriterien für die Bewertung von Bodenbearbeitungssystemen	246
Tabelle 77: Ökonomische Kriterien für die Bewertung von Bodenbearbeitungssystemen	253
Tabelle 78: Berechnungen zu verschiedenen Maschinenkonzepten	263
Tabelle 79: Berechnungen zu verschiedenen Maschinenkonzepten	264
Tabelle 80: Verfahren 1-3	265
Tabelle 81: Verfahren 4-6	266
Tabelle 82: Verfahren 7a,b, 8	267
Tabelle 83: Verfahren 9-10	268
Tabelle 84: Verfahren 11-13	269
Tabelle 85: Mindesteinsatzfläche einer Maschine oder eines Gerätes.....	271
Tabelle 86: Eigenmechanisierung / Maschinenring oder Lohnunternehmer	272
Tabelle 87: Wirtschaftlichkeitsrechnung Kurzscheibenegge / Grubber im Vergleich	273
Tabelle 88: Vollkostenrechnung im Ackerbau (WW,WG).....	274
Tabelle 89: Variable Maschinenkosten- Produktionsverfahren Getreidebau und Winterraps	275

1 Einleitung

Den Boden bestens zu bearbeiten und die dafür geeignete Gerätetechnik zu verwenden, aber auch die Erhaltung einer langfristigen, hohen und sicheren Bodenfruchtbarkeit ist im Interesse der Ackerbauern.

Mit einer Vielzahl hervorragender Entwicklungen im Bereich der landtechnischen Industrie und der Wissenschaft kann auf die Unterschiedlichkeiten der Standorte eingegangen werden. Die Auswahl an Verfahren, Maschinen und Geräten war noch nie so groß wie heute. Es sind vor allem die gezogenen Geräte, die mit ihrer Werkzeugvielfalt einen enormen Variantenreichtum beschieren. Neben der klassischen, wendenden Bodenbearbeitung, haben vor allem auch die nicht wendenden Bodenbearbeitungsverfahren Bedeutung.

So wie eine zweckmäßige Mechanisierung einzelner Arbeitsgänge, ist vor allem das Zusammenstellen kompletter und ausgewogener Bodenbewirtschaftungssysteme, insbesondere die Kombination von Grundbodenbearbeitung und Aussaat von Bedeutung.

Neben den wichtigen ackerbaulichen Forderungen, gewinnen zunehmend ökologische Aspekte an Bedeutung. Die Erhaltung einer gesunden und intakten Umwelt, nimmt heutzutage einen hohen Stellenwert ein. So gilt es die Erosionsgefahr und die Wasserverdunstung zu reduzieren, die Wasserspeicherfähigkeit und die Tragfähigkeit des Bodens zu verbessern. Gleichzeitig soll der Wurzelraum erhalten, beziehungsweise verbessert werden. Unter diesem Aspekt müssen die Voraussetzungen für tierische Schädlinge und damit auch der Chemieeinsatz minimiert werden. Gute Auflaufbedingungen und Entwicklungsmöglichkeiten für die Kulturpflanzen zu schaffen muss oberste Priorität, haben.

Entscheidungen über neue Formen der Bodenbewirtschaftung, sowie die Auswahl und den Einsatz einer modernen Bodenbearbeitungstechnik, müssen sich mehr denn je auch darin orientieren, welche langfristigen Auswirkungen auf Boden, Pflanze und Umwelt zu erwarten sind.

Gleichzeitig lässt nur ein rationeller, schlagkräftiger, energiebewusster und kostenorientierter Einsatz der Bodenbearbeitungs- und Aussaattechnik, eine wirksame Reduzierung des Aufwandes erreichen.

Neue Formen der Bodenbewirtschaftung, wie beispielsweise die reduzierte Bodenbearbeitung, mit zeitweiligen Pflugverzicht, Mulchsaatverfahren für Reinkulturen oder der pfluglose Ackerbau, sind aus ökonomischer Sicht ein wichtiger Ansatz.

1.1 Problemstellung

In den letzten Jahren kam es laufend zu Fortentwicklungen bei Verfahren der Bodenbearbeitung. Als Gründe dafür, sind einerseits die Entwicklungen im Bereich der Bodenbearbeitungstechnik, andererseits aber auch neue Erkenntnisse aus der Wissenschaft und praktische Erfahrungen anzuführen. Diese Weiterentwicklungen haben dazu geführt, dass vorhandene Bodenbearbeitungsverfahren überdacht oder in Details verändert wurden.

Im Laufe der Zeit, kam es dadurch zur Verwendung von Begriffen, die oft Überschneidungen und auch Missverständnisse provozierten. Als Beispiele wären traditionelle, reduzierte, rationelle, integrierte Bodenbearbeitung, Minimalbodenbearbeitung, Lockerboden- und Festbodenwirtschaft, konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat zu nennen (vgl.: BRUNOTTE et.al., 2005, 8).

Mit der Einordnung von Bodenbearbeitungsverfahren haben sich bisher schon zahlreiche Autoren beschäftigt. BAUEMER (1992) gliederte als einer der ersten in Deutschland die Bearbeitungssysteme nach der Anzahl der Verfahrensschritte, der Art und Intensität der Bearbeitung und der Zweckbestimmung des Verfahrens. Auf diesen Überlegungen basierend, unterscheidet er eine Lockerbodenwirtschaft, eine Lockerboden-Mulchwirtschaft, eine Festboden-Mulchwirtschaft und eine extreme Festboden-Mulchwirtschaft (BAUEMER, 1992).

KÖLLER (1981) stellte anhand der wichtigsten Begriffe aus den USA eine Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren zusammen und erarbeitete in Anlehnung an diese eine erste Definition pflugloser Bearbeitungsverfahren in Deutschland. Dabei geht er von den Arbeitsschritten Stoppelbearbeitung, Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat aus und unterscheidet zwischen konventioneller Bodenbearbeitung (mit Pflug), konservierender Bodenbearbeitung (ohne Pflug) und Direktsaat.

Die konservierende Bodenbearbeitung wird nach Intensitätsstufen in eine Bearbeitung mit Lockerung und ohne Lockerung aufgeteilt. Diese Einteilung von KÖLLER (1981) wurde von KTBL (1993) übernommen und gilt heute als Standardeinteilung der Bodenbearbeitungssysteme.

Betrachtet man die Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren nicht nur in Europa, sondern auch in anderen Kontinenten, insbesondere in den USA, wird deutlich, dass die Einordnung der einzelnen Verfahren, sehr unterschiedlich ausfallen kann. In den USA erfolgt beispielsweise eine Differenzierung der Verfahren nicht nur anhand der Bodenbearbeitungsintensität, sondern auch aufgrund der Bodenbedeckung mit Mulchauflage (vgl.: LOIBL, 2006, 302f).

Der „Soil Conservation Service—(1994) teilt die Bodenbearbeitungssysteme nach dem Grad der Bodenbedeckung durch organische Rückstände in Prozent bzw. bei Getreide nach Masse der Rückstände auf der Bodenoberfläche in „Conventional tillage—(maximal 15 % Bodenbedeckung oder 560 kg/ha), „Reduced Tillage—(zwischen 15% und 30% Bodenbedeckung oder 560 und 1120 kg/ha) und „Conservation Tillage—(mehr als 30% Bodenbedeckung oder mehr als 1120 kg/ha) ein. —Conservation tillage—nach Definition des Soil Conservation Service - entspricht damit der ~~K~~onservierenden Bodenbearbeitung—nach KTBL-Definition und wird zusätzlich unterteilt in ~~mulch tillage—, ridge tillage— und no-tillage—~~.

Beim „mulch tillage—Verfahren findet vor der Saat eine Bodenbearbeitung statt. „Ridge tillage—lässt den Boden zwischen Vorfruchternte und Neubestellung unbearbeitet, wobei die Neubestellung ein furchenartiges Relief hinterlässt.

Auch bei ~~no-tillage—~~findet vor der Neubestellung keine Bearbeitung statt (DAHM, 2001).

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, anhand der verfügbaren Literatur, den bisherigen Stand der unterschiedlichen Systematiken von Bodenbearbeitungsverfahren aufzuzeigen. Des Weiteren soll ein Kriterienkatalog entwickelt werden, welcher aus technischen, ökologischen und ökonomischen Kriterien besteht. Für die ausgewählten technischen, ökologischen und ökonomischen Kriterien werden auf Basis von wissenschaftlichen und praxisnahen Untersuchungsergebnissen qualitative Bewertungen vorgenommen. Die jeweiligen Daten für die Erstellung des Kriterienkatalogs setzen sich sowohl aus praktischen als auch wissenschaftlichen Untersuchungen im Zusammenhang mit Bodenbearbeitungsverfahren zusammen. Für die Beurteilung der Verfahren aus ökonomischer Sicht wird eine Modellrechnung zu Maschinen und Arbeitserledigungskosten [€/ha] in Anlehnung an die ÖKL Richtwerte 2012 durchgeführt und die Ergebnisse von den verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren in einem Diagramm dargestellt.

2 Bodenbearbeitungsverfahren

2.1 Systematik

2.1.1 Im Pflanzenbau verwendete Systematik

BAUEMER (1992) teilt die Bodenbearbeitungsverfahren nach der Anzahl der Verfahrensschritte, der Art und Intensität der Bearbeitung und der Zweckbestimmung des Verfahrens ein.

Die einzelnen Verfahren werden wie folgt benannt:

Lockerbodenwirtschaft (BAUEMER,1992)

Unter diesem Begriff, sind alle Verfahren zusammengefasst, in denen die Grundbodenbearbeitung vor einer Hauptfrucht mit einer tiefgreifenden-lockernden und wendenden Pflugarbeit auf der gesamten Feldfläche erfolgt. Dabei wird die an der Oberfläche befindliche makroorganische Masse zum Großteil in den Boden eingearbeitet. Während der Teilbrache bleibt die Bodenoberfläche über Wochen und Monate ohne jede Bedeckung (vgl.: BAUEMER, 1992, 295f).

Tabelle 1: Lockerbodenwirtschaft (BAUEMER,1992,abgeändert)

Arbeitsweise	Verfahrensschritte	Geräte
Wendend mit Scharpflug auf volle Krumentiefe	Stoppelbearbeitung (<15 cm)	Schälplflug, Scheibenegge, Fräse, Zinkenrotor, Flügelschargrubber, Kreiselegge, Rüttelegge
	Grundbodenbearbeitung (10-40 cm)	Scharpflug, Scheibenpflug (mit Nachlaufeggen und Packern)
	Saatbettbereitung (<8 cm)	Kombination aus Feingrubber, Saat-, Wälzeggen und Walzen
	Saat	übliche Sämaschinen (Drill-, Band-, Breit- und Einzelkornsaat)

Lockerboden-Mulchwirtschaft (BAUEMER,1992)

Bei diesem Bearbeitungssystem wird die tiefgreifende, lockernde Bodenwendung durch eine tiefgreifende, wühlende Grundbodenbearbeitung ersetzt und es verbleibt je nach eingesetztem Gerät, eine unterschiedlich hohe Menge an Ernteresten auf der Bodenoberfläche (vgl.: BAUEMER, 1992,296).

Tabelle 2: Lockerboden-Mulchwirtschaft (BAUEMER,1992,abgeändert)

Arbeitsweise	Verfahrensschritte	Geräte
Wühlend, meist weniger als Krumentiefe	Stoppelbearbeitung (<15 cm)	Schälplflug, Scheiben-, Spatenrollegge, Fräse, Zinkenrotor, Flügelschargrubber, Kreisel- und Rüttelegge
	Grundbodenbearbeitung (10-40 cm)	Tief-,Rüttel-, Zweischichtengrubber, Parapflug mit Nachlaufgeräten
	Saatbettbereitung (<8 cm)	Kombination aus Feingrubber mit Saategge, Wälzegge und eventuell Walzen, Kreiselegge und Rüttelegge mit Walzenkombination
	Saat	übliche Sämaschinen (Drill-,Band-, Breit, Einzelkornsaat)

Festboden-Mulchwirtschaft (BAUEMER,1992)

Bei diesem Bodenbearbeitungssystem wird auf eine tiefe Lockerung des Bodens verzichtet. Die Festboden-Mulchwirtschaft bildet mit ihren Intensitätsabstufungen den stärksten Kontrast zur Lockerbodenwirtschaft (vgl.: BAEUMER, 1992, 296).

Tabelle 3: Festboden- Mulchwirtschaft (BAUEMER,1992, abgeändert)

Arbeitsweise	Verfahrensschritte	Geräte
in Saattiefe wühlend	Stoppelbearbeitung (<15 cm)	Spatenrollegge, Zinkenrotor, Kreisel-und Rüttelegge, Flügelschargrubber
	Grundbodenbearbeitung (10-40 cm)	keine
	Saatbettbereitung (<8 cm)	Zinkenrotor, Reihenfräse, Kreisel- oder Rüttelegge und Walzen
	Saat	Mulchsaat-Sämaschine (Ein-Zwei- oder Dreischeibendrilla maschinen, Breitsaatschiene, Sästempelsaat, spezielle Einzelkornsämaschine)

Extreme Festboden-Mulchwirtschaft (Direktsaat) (BAUEMER,1992)

Es findet keine Bodenbearbeitung statt. Der Boden wird bei der Saat in der Saatreihe mit speziellen Sämaschinen auf Saattiefe bearbeitet.

Tabelle 4: Extreme Festboden-Mulchwirtschaft (BAUEMER, 1992, abgeändert)

Arbeitsweise	Verfahrensschritte	Geräte
Boden wird nur in der Saattreihe bearbeitet	Stoppelbearbeitung (<15 cm)	keine
	Grundbodenbearbeitung (10-40 cm)	keine
	Saatbettbereitung (<8 cm)	keine
	Saat	Direktsaat-Sämaschine (Ein-Zwei-Dreischeiben- drillmaschine-, Sästempel Saat, spezielle Einzelkorn- sämaschine

2.1.2 Systematik von Bodenbearbeitungssystemen nach KTBL (2006)

In (Abb.1) ist die Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren nach KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft bis 2006) dargestellt. Demnach wird bei der Einteilung zwischen konventioneller Bodenbearbeitung mit Pflug, konservierender Bodenbearbeitung ohne Pflug mit Lockerung beziehungsweise ohne Lockerung sowie der Direktsaat unterschieden. Auf Grundlage dieser Dreiteilung ist in (Abb.1) eine Geräteauswahl für die Bodenbearbeitungsverfahren bezüglich der Arbeitsabschnitte Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat zusammengestellt.

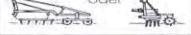
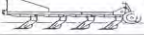
Bodenbearbeitungs- u. Bestellverfahren	Arbeitsabschnitte			Arbeitsgänge
	Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat	
Konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug		 oder 		getrennt
				reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert
Konservierende Bodenbearbeitung ohne Pflug mit Lockerung	 oder 	 oder 		getrennt
	 oder 	 oder 		reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert
ohne Lockerung		 oder  oder 		reduziert alle Arbeitsgänge kombiniert
Direktsaat keine Bodenbearbeitung				nur Saat

Abbildung 1: Bodenbearbeitungssysteme in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitungsintensität
(Quelle: KÖLLER und LINKE, 2001)

2.1.3 Einteilung im deutschen Sprachraum unter Einbindung der amerikanischen Systematik

LOIBL und KÖLLER (2006) überarbeiteten die Einteilung der Bodenbearbeitungssysteme mit dem Ziel einen internationalen Standard zu erreichen (Abb. 2). Entscheidend bei dieser Einteilung ist, dass neben der Intensität der Bodenbearbeitung auch die Menge der Mulchauflage nach der Saat miteinfließt. Bei der konventionellen Bodenbearbeitung wird demnach zwischen einer wendenden und nicht wendenden unterschieden. Die konservierende Bodenbearbeitung wird in die Verfahren Mulchsaat, Streifensaart und Direktsaat unterteilt, bei welchen mehr als 30 % der Mulchauflage an der Bodenoberfläche belassen werden (vgl.: LOIBL, 2006, 303).

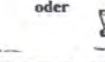
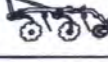
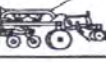
Bodenbearbeitungs- u. Bestellverfahren		Arbeitsabschnitte			Bodenbedeckung nach Saat	
		Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat		
Konventionelle Bodenbearbeitung	wendend		 oder 		bis 15% oder 560 kg/ha	
	nicht wendend		 oder 		15 - 30% oder 560 - 1120 kg/ha	
Konservierende Bodenbearbeitung	Mulchsaat nicht wendend	 oder 	 oder 		> 30 % oder > 1120 kg/ha	
			 oder 			
	Streifensaat streifenweise Lockerung bis 1/3 Reihenweite		oder 			
Direktsaat keine Bodenbearbeitung						

Abbildung 2: Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren in Abhängigkeit der Bodenbedeckung nach der Saat (Quelle: LOIBL und KÖLLER, 2006)

Ein wesentliches Kriterium für die Einteilung stellt der Bodenbedeckungsgrad nach der Saat dar.

Demnach liegen die Grenzen für den Bodenbedeckungsgrad nach der Saat bei konventioneller Bodenbearbeitung (wendend) bei 15% oder 560 kg/ha, bei konventioneller Bodenbearbeitung (nicht wendend) zwischen 15 - 30% oder 560-1120 kg/ha. Damit ein Verfahren als konservierend gilt sind ein Bodenbedeckungsgrad von mindestens 30% beziehungsweise 1120 kg/ha erforderlich.

2.2 Definitionen von Bodenbearbeitungsverfahren

2.2.1 Konventionelle Bodenbearbeitung

ESTLER (1999) dazu:

„Wesentliches Kennzeichen des konventionellen Verfahrens ist der Einsatz des Pfluges zur Grundbodenbearbeitung mit seiner auf Krumentiefe bodenwendenden Lockerung“.

KÖLLER und LINKE (2001) schreiben:

„Die konventionelle Bodenbearbeitung hat ihr wesentliches Kennzeichen in der alljährlichen Lockerung und Wendung der Ackerkrume auf volle Tiefe mit dem Pflug, wodurch gleichzeitig Pflanzenreststoffe der Vor- oder Zwischenfrucht und Unkraut eingearbeitet werden“.

American Society of Agricultural and Biological Engineers ASABE Standard (2010):

„Tillage operations traditionally performed in preparing a seedbed for a given crop and grown in a given geographical area“.

Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft definiert konventionelle Bodenbearbeitung (nach KTBL- Arbeitsblatt 236,1993) wie folgt:

„ Wesentliches Kennzeichen der konventionellen Bodenbearbeitung ist die alljährliche Lockerung auf Krumentiefe mit dem Pflug (Grundbodenbearbeitung, Primärbearbeitung), wobei gleichzeitig Pflanzenreststoffe der Vor- oder Zwischenfrucht und Unkraut eingearbeitet werden. Die Pflugarbeit hinterlässt eine von Reststoffen freie Ackeroberfläche als Voraussetzung für die störungsfreie Funktion herkömmlicher Sätechnik zur Drill- oder Breitsaat“.

2.2.2 Konservierende Bodenbearbeitung

Das (KTBL, 1993) definiert den Begriff „konservierende Bodenbearbeitung— folgendermaßen:

„Konservierende Bodenbearbeitung ist ein aus dem Amerikanischen übersetzter Begriff (conservation tillage) und bezeichnet dort jedes Bodenbearbeitungsverfahren, das relativ zur konventionellen Bodenbearbeitung, Boden und Wasserverluste vermindert. Als Voraussetzung wird hierfür in den USA angesehen, dass nach der Bestellung mindestens 30 % der Bodenoberfläche mit Pflanzenresten bedeckt sein müssen“.

EICHHORN (1999) schreibt:

„Bei der konservierenden Bodenbearbeitung wird als wesentliches Merkmal auf die Bodenwendung verzichtet, wobei die Pflanzenreststoffe der Vorfrucht in Abhängigkeit von der Eingriffstiefe und des Arbeitseffektes der jeweiligen Werkzeuge in die Oberkrume eingemischt werden oder im Direktsaatverfahren auf der Oberfläche verbleiben“.

Das Konzept von „Conservation Agriculture“ (CA) der FAO, 2012 (Food and Agricultural Organization of the United States), welche die konservierende Bodenbearbeitung als wesentlichen Baustein beinhaltet, wird folgendermaßen definiert:

„Conservation agriculture (CA) aims to achieve sustainable and profitable agriculture and subsequently aims at improved livelihoods of farmers through the application of the three CA principles: minimal soil disturbance, permanent soil cover and crop rotations. CA holds tremendous potential for all sizes of farms and agro-ecological systems, but its adoption is perhaps most urgently required by smallholder farmers, especially those facing acute labour shortages. It is a way to combine profitable agricultural production with environmental concerns and sustainability and it has been proven to work in a variety of agroecological zones and farming systems. It is been perceived by practitioners as a valid tool for Sustainable Land Management (SLM). It is because of this promise that FAO is actively involved in promoting CA, especially in developing and emerging economies. CA can only work optimally if the different

technical areas are considered simultaneously in an integrated way” (vgl.: <http://www.fao.org/ag/ca/>, Zugriff am 28.10.2013).

Nach der ASABE (2010) wird die konservierende Bodenbearbeitung wie folgt definiert: „Any tillage or seeding system that maintains a minimum of 30 % residue cover on the soil surface after planting to reduce soil erosion by water, or where soil erosion by wind is the primary concern, maintains at least 1.100 kg/ha (1,000 lb/acre) of flat small grain residue, equivalent on the soil surface during the official erosion period.“

2.2.2.1 Mulchsaat

Mulchsaat belässt Pflanzenreststoffe nahe an oder auf der Bodenoberfläche, mit dem Ziel, eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung zu erreichen und vor allem dem Schutz des Bodens vor Wasser- und Winderosion und der Verminderung von Stoffeinträgen in Gewässer vorzubeugen. Die Nachteile der Mulchsaat sind die hohen Anforderungen an die Sätechnik, eine stärkere Verunkrautungsgefahr, sowie unter Umständen spezielle Schädlingsprobleme (vgl.: SORGER, 1998, 4ff).

In (Tab. 5) ist die Definition der Mulchsaat mit und ohne Saatbettbereitung angeführt.

Tabelle 5: Definition der Mulchsaat mit und ohne Saatbettbereitung (nach BRUNOTTE und SOMMER, 2005)

Teilbereich	Mulchsaat		
Bezeichnung	mit Saatbettbereitung		ohne Saatbettbereitung
Definition	ganzflächig, flach eingearbeitete Reststoffe der Vor- und/oder Zwischenfrucht	streifenförmig, flach eingearbeitete Reststoffe der Vor- und/oder Zwischenfrucht	belassen von Reststoffen der Vor- und/ oder Zwischenfrucht auf der Bodenoberfläche
Ziel	- Bodenruhe, Bodenbedeckung - Vorbeugung von Verschlämmung und Erosion - Kosteneinsparung		
Sätechnik	Herkömmliche Techniken und Weiterentwicklung		Schneiden bzw. bandbreites Räumen von herkömmlichen Techniken (Scheibensäschare, Meißel-, Gänsefußschare)

2.2.2.2 Direktsaat (No-Tillage, Zero-Tillage)

Nach LINKE (1998) wird das Bestellverfahren der „Direktsaat—als Ackerbausystem definiert, „bei dem keine Bodenbearbeitung durchgeführt wird und die Ablage des Saatguts in den unbearbeiteten Boden erfolgt. Bei der Saat wird der Boden durch die einzelnen Säwerkzeuge jeweils nicht tiefer und breiter als die Saattiefe gelockert. Säverfahren, bei denen mehr als 50% der Bodenoberfläche gelockert und durchmischt werden, werden nicht zur Direktsaat gezählt—(LINKE, 1998).

ASABE (2010) definiert die Direktsaat folgendermaßen:

„A system where crops are grown in narrow slots or tilled strips in previously undisturbed soil. Soil disturbance is typically limited to that required for placement of fertilizer and/or seed, for clearing residue from the seed row and to no more than one third of row width. Plant residue is maintained on the soil surface year-round“.

Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft definiert Direktsaat (nach KTBL- Arbeitsblatt 236,1993) wie folgt:

„Die Direktsaat, definiert als eine Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung seit der vorangegangenen Ernte, ist weltweit auf unterschiedlichen Standorten mit Erfolg durchgeführt worden. Voraussetzung sind Zinkensäschare oder Scheibenmaschinen, die Säschritze öffnen, in die das Saatgut abgelegt wird. Anschließend wird dieses mit Boden- Reststoffgemisch bedeckt. Die Vorteile der Direktsaat sind vielfältig. Zahlreiche Versuche zeigen, dass Erosion durch Wasser oder Wind praktisch ausgeschlossen sind. Der Kraftstoffverbrauch kann im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung bis auf etwa ein Drittel reduziert, der Arbeitsaufwand zur Feldbestellung kann um bis zu 50% gesenkt werden. Diesen Vorteilen deren Bedeutung klima- und standortabhängig ist, stehen bekannte Nachteile wie z.B. phytosanitäre Probleme in wintergetreidebetonten Fruchtfolgen gegenüber“.

2.2.2.3 Streifensaat (Strip-Tillage)

Nach LOIBL (2006) erlaubt die Streifensaat eine streifenweise Lockerung vor oder während der Saat bis maximal 1/3 der Reihenweite. „Diese Definition bezieht sich sowohl auf das in Nordamerika verbreitete „Strip-Tillage“, bei dem vor der Saat Streifen gelockert werden, in die später eingesät wird, als auch auf Sämaschinen mit Meißelscharen, die während der Saat eine deutliche Lockerung bewirken“ (LOIBL, 2006, 303).

Nach HERMANN und BISCHOFF (2012) ist die Streifenbearbeitung (Strip-Tillage oder Strip-Till) mit partieller Lockerung des Bodens ein neues, in Europa noch wenig, aber in den USA verbreitetes Verfahren zur Bestellung von Reihenkulturen (z.B. Mais, Zuckerrüben, Körnerleguminosen, Raps). Die Streifenbearbeitung erfolgt in der Regel zusammen mit einer Unterfußdüngung entweder im absätzigen Verfahren mit anschließender Einzelkornsaat oder kombiniert mit der Aussaat. Statt den Boden ganzflächig zu lockern, wird bei der Streifenbearbeitung mit Lockerungswerkzeugen lediglich in der späteren Saatreihe gearbeitet (klassisches Strip-Till- Verfahren). Zwischen den gelockerten Streifen bleibt der Boden auf etwa zwei Dritteln der Fläche unbearbeitet und mit abgestorbenem Pflanzmaterial bedeckt. Strip- Till verbindet die Vorteile der konventionellen Bodenbearbeitung (u.a. Ertragssicherheit) mit den Vorteilen der Direktsaat (u.a. Erosionsschutz, Kosteneinsparung) bei weitgehender Minimierung der jeweiligen Nachteile. Strip- Till ermöglicht zudem die gezielte Düngung in und unter der Reihe“.

ASABE (2010) definiert die Streifensaat folgendermaßen:

„A system where crops are grown in narrow tilled strips in previously undisturbed soil. Seeded preparation, planting and fertilizer placement disturb no more than one third of row width. Plant residues maintained on the soil surface year-round“.

2.2.3 Dammverfahren (Ridge-Tillage, ridge-till)

Diese Art der Bodenbearbeitung wird für Reihenkulturen wie beispielsweise im Kartoffel-, Mais- und Gemüsebau angewendet. Dabei erfolgt die Bodenbearbeitung in Form von Dämmen in welche das Saatgut abgelegt wird. Solche Dämme können für mehrere Saisons an Ort und Stelle verbleiben, wobei sukzessive Kulturpflanzen in unbearbeitete Dämme angebaut oder diese Dämme auch jährlich neu gebildet werden (vgl.: BAKER und SAXTON, 1996, 4f).

ASABE (2010) definiert das Dammverfahren folgendermaßen:

„A system where crops are grown on pre-formed ridges separated by furrows protected by crop residue. Soil is left undisturbed from harvest to planting. After planting ridges are rebuilt by cultivation. Planting and fertilizer placement disturb less than one third of row width“.

Im Lexikon der Erde (vgl.: www.geodsz.com, Zugriff am 06.04.2013) wird der Begriff Dammverfahren folgendermaßen definiert:

„Das Verfahren der Dammkultur entstammt der biologisch- dynamischen Wirtschaftsweise und bedeutet Ausformen der Bodenoberfläche aus technologischen Gründen (begünstigt die Ertragsbildung, erleichtert Pflege und Ernte), aber auch zum Schutz vor Bodenerosion, Versalzungsschäden und zur Regulierung des Wasserhaushaltes.

Man unterscheidet Dammkultur, Hügelkultur und Häufelkultur.

Es handelt sich bei diesen um weniger verbreitete Verfahren für landwirtschaftliche Nutzpflanzen, im Gegensatz zur Flachkultur“.

2.3 *Andere Bezeichnungen für Bodenbearbeitungsverfahren*

Durch die Weiterentwicklungen der Bodenbearbeitungsverfahren haben sich in der Vergangenheit weitere Bezeichnungen verbreitet, die kurz definiert werden sollen.

2.3.1 Reduzierte Bodenbearbeitung

Grundsätzlich kennzeichnet der Begriff „reduzierte Bodenbearbeitung—die Reduktion von Arbeitsgängen durch Kombination oder Verzicht, und zwar in sämtlichen Arbeitsabschnitten von der Grundbodenbearbeitung bis zur Stoppelbearbeitung, unabhängig von der Wahl des Verfahrens, ob etwa mit oder ohne Pflug (BUCHNER und KÖLLER, 1990).

2.3.2 Rationelle Bodenbearbeitung

Nach BOONE et al. (1980) wird unter rationeller Bodenbearbeitung verstanden, dass die Bearbeitung im weitesten Sinne auf ein rationelles, vernünftiges Maß eingeschränkt wird. Dies kann die Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität auf Null, jedoch auch das Pflügen auf 25 cm bedeuten. Der Begriff „rationell—richtet sich sowohl auf die Ansprüche der folgenden Kulturart bezüglich des physikalischen Bodenzustandes als auch auf die Minderung der Produktionskosten.

2.3.3 Minimalbodenbearbeitung

Die Minimalbodenbearbeitung oder Minimal-Bestelltechnik bezeichnet Gerätekombinationen, mit denen die erforderlichen Maßnahmen für Bodenbearbeitung und Aussaat in einer Kombination zusammengefasst sind (vgl.: SCHÖN et.al., 1998, 205ff).

ASABE (2010) definiert den Begriff Minimalbodenbearbeitung folgendermaßen:

„The least soil manipulation necessary for crop production or for meeting tillage requirements under existing soil conditions—

2.3.4 Integriertes Bodenbearbeitungssystem

Kombination aus „konventioneller Pflugwirtschaft— und „reduzierter Bodenbearbeitung—Streichblechpflug wird nur dann eingesetzt, wenn das die Folgefrucht (z.B. bei Zuckerrübe, Kartoffel) verlangt oder die Bekämpfung von Unkräutern erfordert (vgl.: LIEBHARD, 1997).

3 Beschreibung von Maschinen und Geräten für die Bodenbearbeitung und Aussaattechnik

3.1 Wendende Bodenbearbeitung mit Pflug

3.1.1 Streichblechpflug

Neben dem Beetpflug (Abb. 3) gehört der Anbau-Volldrehpflug (Abb. 4) zu den am häufigsten eingesetzten Pflügen.

Beetpflüge werden 2-8 scharig, Anbauvolldrehpflüge 3-7 scharig, aufgesattelte Volldrehpflüge 5-14 scharig, Frontpflüge (Kverneland) 3-4 scharig gebaut.



Abbildung 3: Beetpflug, 7-Schare, rechts wendend
(Quelle:MEINERS et al., 1997, 185)



Abbildung 4: 6-Schar Anbau-Volldrehpflug
(Quelle:MEINERS et al.,1997,185)

Die vielen Einstellmöglichkeiten machen den Volldrehpflug zu einem leistungsstarken und verlässlichen Bodenbearbeitungsgerät und ermöglichen eine leichte Anpassung an unterschiedliche Bedingungen. Für die jeweiligen Bodenverhältnisse ist vor allem die Auswahl der geeigneten Streichblechform für ein gutes Arbeitsergebnis und die anschließende Saatbettbereitung entscheidend. Während auf leichten Böden ein steiler gestelltes Streichblech (Universalform) von Vorteil ist, lassen sich schwere Böden besser mit einer länglichen Form (Wendelform) bearbeiten. Eine bestimmte Körperform ist auch im Zusammenhang mit dem Kraftstoffverbrauch von Bedeutung, denn steil stehende Körper mit einer breiten Furchenräumung und guten Krümelung benötigen bauartbedingt mehr Zugkraft (vgl.: HEIER et. al., 2006,158ff).

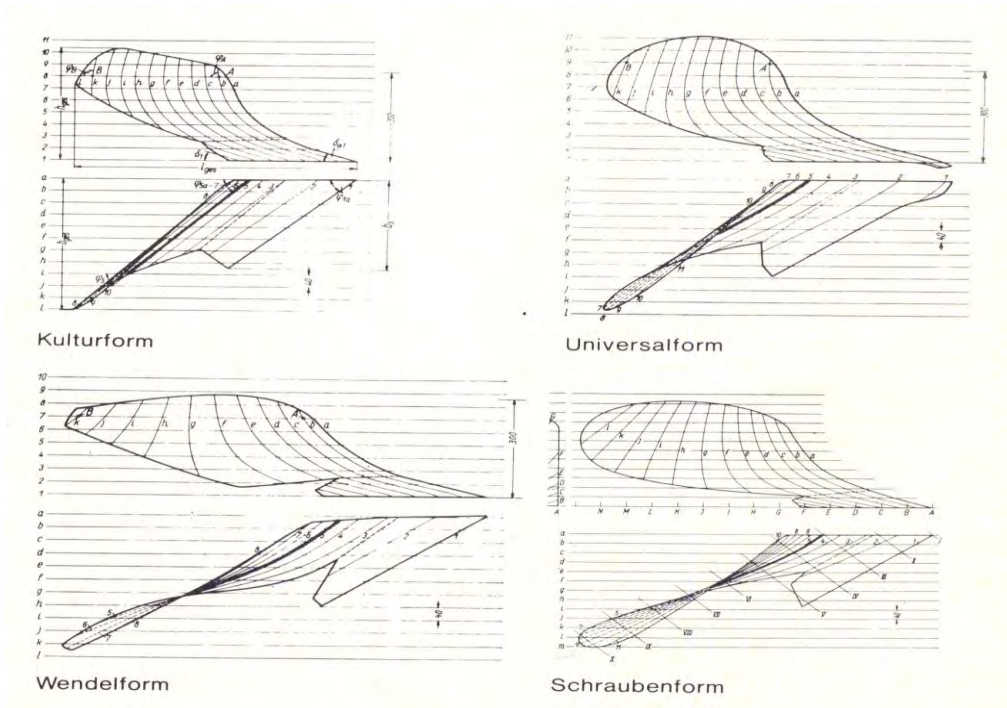


Abbildung 5: Pflugkörperformen (Quelle: WENNER et al., 1973, 103)



Abbildung 6: Firmeninterne Normierung der Pflugkörper (Quelle: Firmenprospekt KVERNELAND)

Körperform	Seiten- richtungs- winkel	Effekte bei konstantem Boden und konstanter Geschwindigkeit	Einsatzbereiche
Kulturform 	45–50°	↑ ↑ ↑ ↑	Sandböden, nur für geringe Geschwindig- keiten
Universalform 	30–35°	steigende Zerteilung des Bodens	Lehmböden Sandböden,
Wendelform 	25–30°	steigender Zugwiderstand	Lehm- und Tonböden
Schraubenform 	20–25°	steigender Seitentransport des Bodens steigende Einebnung der Oberfläche	Grünland

Abbildung 7: Verschiedene Pflugkörperformen
(Quelle: EICHHORN, 1999, 155)

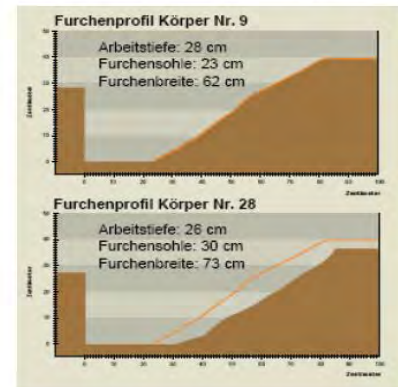


Abbildung 8: Furchenräumung Breitreifen
(Quelle: EICHHORN, 1999,55)

Die Festlegung der Intensität der Grundbodenbearbeitung, das heißt wie tief, wie breit und wie intensiv der Boden gekrümelt werden soll ist vor Einsatz des Pfluges von besonderer Bedeutung. Moderne Streichblechformen erlauben heute ein größeres Verhältnis von Tiefe zu Breite als 1:1,3, so dass so flach wie möglich und so tief wie nötig gepflügt werden kann. Für die meisten Böden reicht eine Arbeitstiefe unter 25 cm. Die Arbeitsbreite kann dabei von 30 bis über 50 cm (entspricht 12 - 20 Zoll) pro Körper mit einer hydraulischen Schnittbreitenverstellung vom Traktor aus variiert werden.

Während bei Saatzfurche und auf schweren Böden eine Schmale Einstellung notwendig ist, ist eine breite Einstellung speziell bei Herbstfurche und auf leichten Böden entscheidend (Abb. 9).

Eine elektrohydraulische Drehwerksteuerung (Abb. 10) ermöglicht die Einstellung und Speicherung der Pflugneigung vom Traktor aus. Insbesondere in Hanglagen macht der präzise, vom Pfluggewicht und vom Umschaltdruck unabhängige Winkelsensor den Drehvorgang sicher (vgl.: KTBL, 2009, 370).

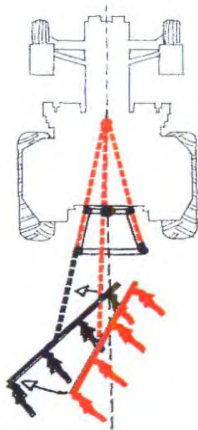


Abbildung 9: Hydraulische Schnittbreitenverstellung
(Quelle: Vaederstad)



Abbildung 10: Elektrohydraulische Drehwerksteuerung
(Quelle: Werkbild Lemken)

Für die Wirtschaftlichkeit ist vor allem die richtige Fahrgeschwindigkeit von 6 – 8 km/h mitentscheidend. Höhere Fahrgeschwindigkeiten führen zu einem überproportional höheren Anstieg des Verschleißes. Eine doppelte Fahrgeschwindigkeit bedeutet vierfachen Verschleiß (vgl.: HEIER et. al., 2006, 159 f).

Um eine exakte Pflugarbeit zu gewährleisten, sind eine regelmäßige Kontrolle der Furchentiefe, der Querneigung, der Vorderfurchenbreite und der Traktor-Pflug-Zuglinie von großer Bedeutung.

An der FAL Braunschweig wurde in Zusammenarbeit mit BOSCH Rexroth ein Konzept für eine permanente Übertragung vom Anbaupfluggewicht auf die Traktorhinterachse entwickelt. Durch diese Gewichtsübertragung vom Pflug auf den Traktor kann der Triebbratschlupf reduziert und damit der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden (Abb. 11-13).

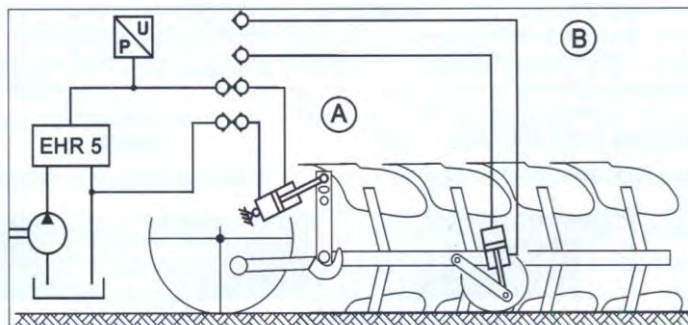


Abbildung 11: Druckregelung von hydraulischen Oberlenker (A) und hydraulischem Stützrad (B)
(Quelle: KTBL 6/2005, 330)

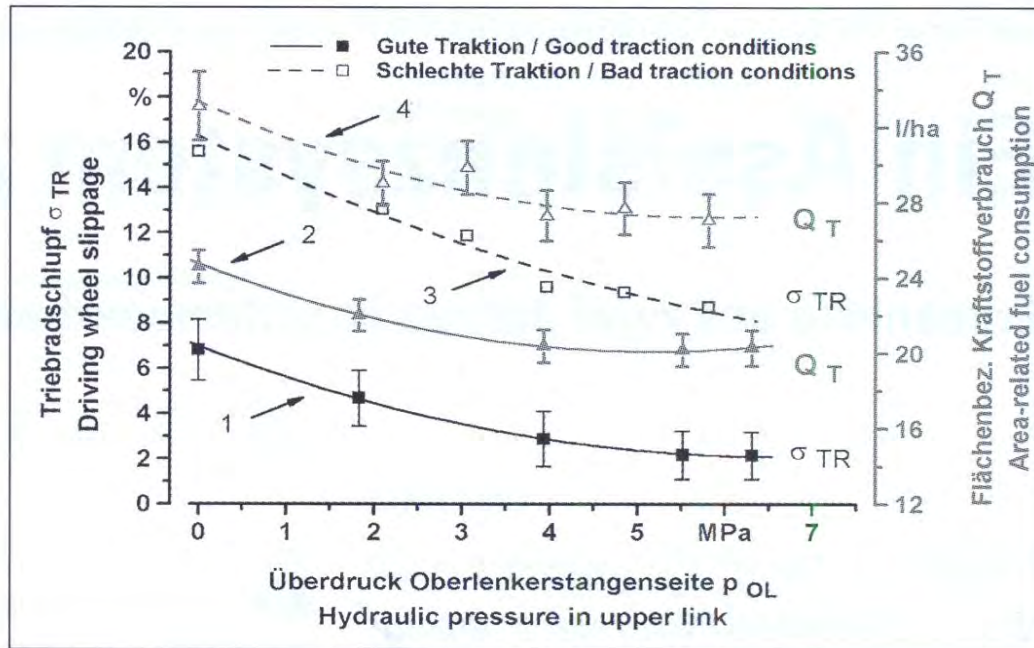


Abbildung 12: Gewichtskräfte und Achslasten über Oberlenkerdruck

(Quelle: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 6/2005, 331).

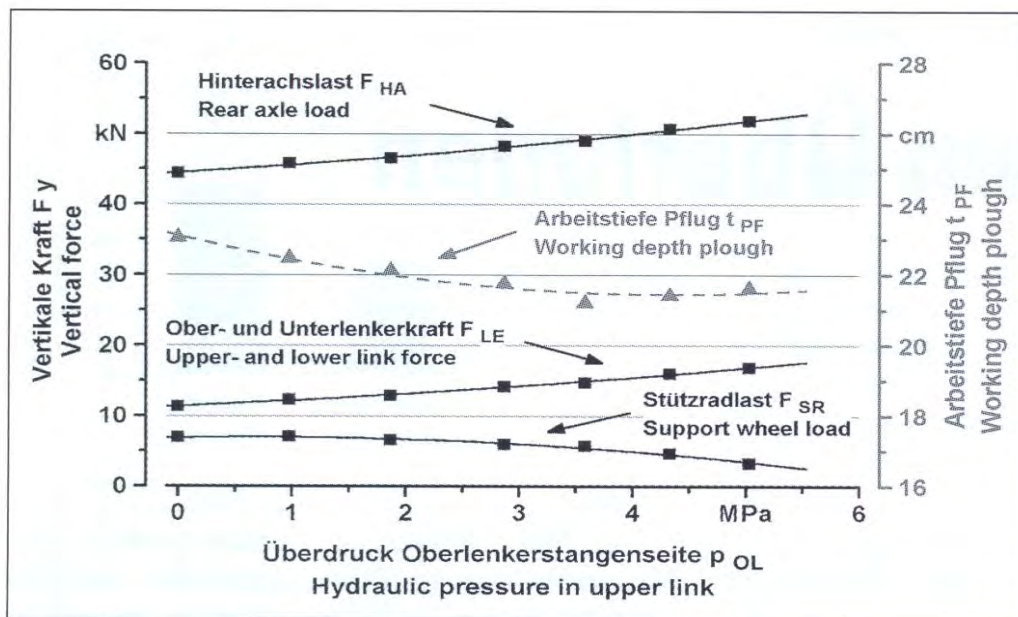


Abbildung 13: Triebbradslupf und Kraftstoffverbrauch über Oberlenkerdruck

(Quelle: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 6/2005, 331).

Für die Beurteilung und den Vergleich von Pflügen werden folgende Maße (Abb. 14) herangezogen.

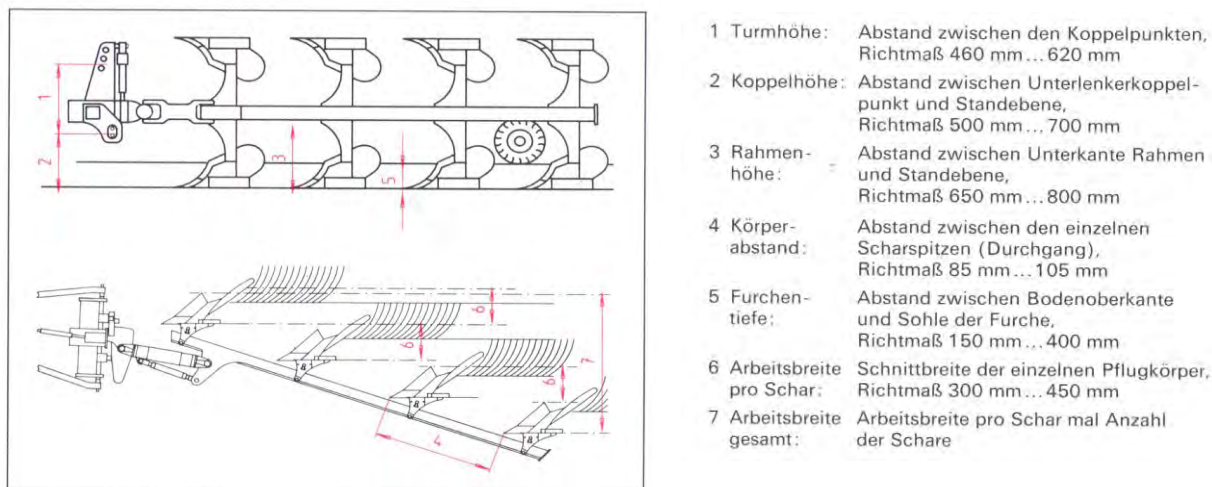


Abbildung 14: Maßbestimmungen am Pflug (Quelle: MEINERS et.al., 1997, 188).

In (Tab. 6) sind die Technischen Daten von Drehpflügen angeführt.

Tabelle 6: Technische Daten - Pflugübersicht (Quelle: Firma Pöttinger, Grieskirchen)

	Servo 25	Servo 35	Servo 35 S	Servo 45	Servo 45 S	Servo 6.50
Scharanzahl	2-4	3-5	4-6	4-5	3-6	6-9
Leistungsbedarf [KW/PS]	88/120	103/140	125/170		200/270	265/360
Rahmenhöhe [cm]	74/80	74/80		80/90		80
Körperabstand [cm]	85/95/102	88/95/102		95/102/115		102
Arbeitsbreite/Körper [cm]	33-48	23-54		23-60		33-53
Schnittbreitenverstellung	4-fach	5-fach oder stufenlos				
Eigenmasse [kg]	613	1463				
Sonderausrüstung: „plus“ mit stufenlosen Schnittbreiten von 30-50 cm „nova“ mit hydraulischer Steinsicherung (S)						

Die Pflugarbeit wird durch verschiedene Vorwerkzeuge und Zusatzausrüstungen wie Anlagensech, Messersech, Scheibensech, Vorschäler, Düngereinleger, Strohleithorn und Einlegestreichschiene unterstützt. Überlastsicherungen für Pflugkörper sind für extreme Belastungen unter anderem auf steinigem Böden erforderlich.

Bodenverdichtungen unterhalb der Sohle der Furche können durch Untergrundlockerer aufgebrochen werden. Ebenso Verdichtungen, die durch das Traktorrad hervorgerufen werden. Dabei kommen Untergrunddorne oder Untergrundscharre zum Einsatz. Sie sind in der Lage, den Boden bis zu 200 mm unter der Furchensohle aufzulockern (vgl.: MEINERS, 1997, 187).

3.1.2 Sonderformen

3.1.2.1 Zweischichtenpflug

Der Zweischichtenpflug (Abb. 15) wird vorwiegend im Biolandbau eingesetzt. Er erlaubt schon bei geringen Bearbeitungstiefen und gleichzeitiger Lockerung eine vollständige Inversion des Oberbodens. Er ähnelt vom Prinzip her dem Schälppflug, allerdings mit dem Zusatz, dass Lockerungsschare unterhalb des jeweiligen Pflugschars die Unterkrume zusätzlich lockern.

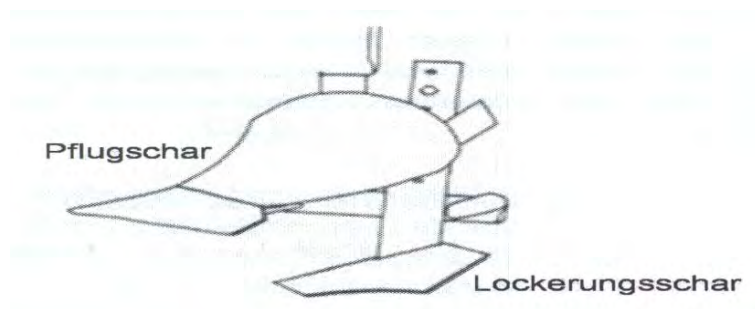


Abbildung 15: Aufbau des Scharkörpers beim Zweischichtenpflug (Quelle: GASSNER,2008)

In der Regel liegt die Arbeitstiefe der wendenden Bearbeitung bei <15 cm, jedoch können mit dem zusätzlichen, meist verstellbaren Lockerungskörper Gesamtarbeitstiefen von bis zu 30 cm erzielt werden. Die an der Oberfläche liegende organische Substanz (Erntereste, Gründüngung, etc.) kann so oberflächennah eingearbeitet werden und ein nach oben gelangen des Unterbodens wird vermieden. Das Zweischichtensystem wirkt sich durch den Wendevorgang positiv gegen Unkräuter und Vorkulturen aus, welche ohne chemische Mittel bekämpft werden können (vgl.: WALTHER, 2009, 66).

Die Gegenüberstellung von einschichtigem und zweischichtigem Pflügen durch das Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL) (Tab. 7) zeigt die technischen Unterschiede.

Tabelle 7: Vergleich zwischen ein- und zweischichtigem Pflügen (Quelle: RKL, Kartenummer 415,54)

Bearbeitung	zweischichtig 25 cm tief	einschichtig 25 cm tief
Pflug	10 cm wenden	25 cm wenden
Lockerungsschar	15 cm lockern	-----
Erdbewegungen t/ha	3.733	4.403
Dieserverbrauch l/ha	20,4	26,2
Schlupf in %	4,7	10,5
Arbeitszeitbedarf min/ha	130,5	145,7
Fahrgeschwindigkeit km/h	5,7	5,5

3.1.2.2 Schälpflug

Der Ecomat von der Firma Kverneland kann zu den Schälpflügen gerechnet werden. Diese Pflugform (Abb. 16) ist vor allem im ökologischen Landbau weit verbreitet, da neben der Möglichkeit organisches Material einzuarbeiten, auch eine effektive Bekämpfung der Wurzelunkräuter möglich ist. Vorteilhaft wirkt sich bei Schälpflügen gegenüber konventionellen Pflügen der reduzierte Zugkraftbedarf aus.

Durch spezielle neu entwickelte Pflugkörper, die stärker zylindrisch geformt sind, ist die Arbeitsqualität im Vergleich zu herkömmlichen Pflügen deutlich besser (vgl.: WALTHER, 2009, 67f).



Abbildung 16: Kleiner, stärker zylindrisch geformter Rautenkörper aus Metall oder Kunststoff
(Quelle: Firmenprospekt Kverneland)

Die Arbeitsweise des Ecomat ist in (Abb. 17) dargestellt.

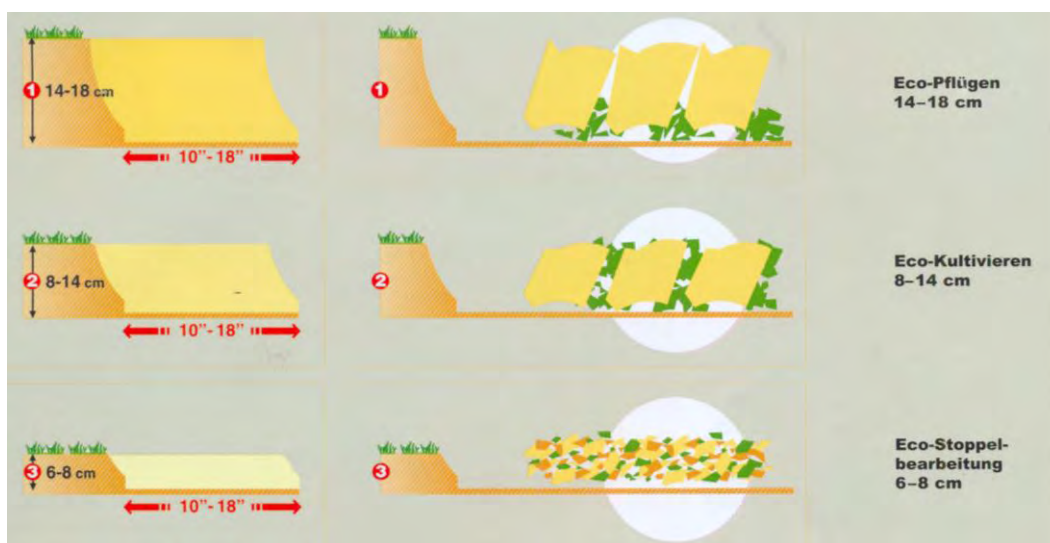


Abbildung 17: Die Arbeitsweise des Ecomat ermöglicht 3 verschiedene Arbeitsverfahren
(Quelle: Firmenprospekt Kverneland)

Der speziell entwickelte Pflugkörper kombiniert zu dem Strohleitblech und Scharmesser in einem Teil, was sich positiv auf die Leichtzügigkeit auswirkt.

So benötigt ein 8-Schar Ecomat inklusive Packer („Packomat— bei einer Arbeitsbreite von 3 m etwa ein Drittel weniger Traktorleistung im Vergleich zu einem herkömmlichen 7-Scharpflug (vgl.: WALTHER, 2009,67f).

Bei einer Arbeitstiefe von 6-10 cm und einer Arbeitsgeschwindigkeit von 10-15 km/h kann eine Flächenleistung von 3-4 ha/h erreicht werden.

3.1.2.3 Stoppelhobel

Der Stoppelhobel (Abb. 18) ist ein Beetpflug, der in der Stoppelbearbeitung eingesetzt wird und wegen der Arbeitstiefe von 4 – 11 cm keine Anforderungen hinsichtlich des Anpflügens, einer Spaltfurche oder eines Auseinanderschlagens stellt. Das Gerät hat 5 Schare (Scharbreite 35 cm) und eine Arbeitsbreite von 1,75 m. Für die exakte Tiefenführung ist vorne und hinten je ein Stützrad angebracht. Der Oberlenkerbolzen kann sich in einem Schlitz 10 cm bewegen.



Abbildung 18: 5-schariger Stoppelhobel der Firma Zobel (Quelle: Firmenprospekt Zobl)

Damit das Gerät trotz der flachen Arbeitsweise genügend Einzug hat sind zusätzliche Gewichte am Gerät montiert. Die Eigenmasse beträgt 750 kg. Der Leistungsbedarf beträgt mindestens 60 kW/80 PS. Die optimale Arbeitsgeschwindigkeit liegt bei 10 – 15 km/h. Die Hanglage führt zu unregelmäßiger Bearbeitung, der Stoppelhobel macht gute Arbeit auf ebenen Parzellen (vgl.: DIERAUER und BÖHLER, 2007, 2ff).

3.2 Nichtwendende Bodenbearbeitungsgeräte

3.2.1 Grubber

Der Grubbereinsatz (Abb. 19) gehört weltweit zu den am weitest verbreiteten Bodenbearbeitungstechniken.

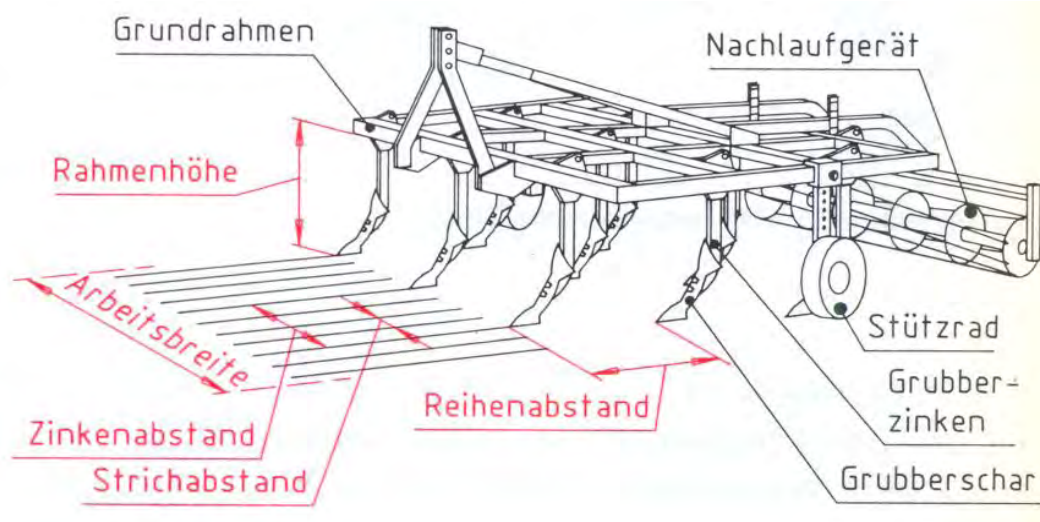


Abbildung 19: Aufbau und Bezeichnungen am Grubber (Quelle: MEINERS 1997,190)

Folgende Parameter bestimmen die Arbeitsweise, die unterschiedlichen Bauformen und Ausführungen des Grubbers (DREESBEIMDIEKE 2003):

- Scharaufbau/Scharform
- Scharbreite
- Länge und Aufbau des Zinkenstils
- Federungsart des Zinkenelements
- Durchmesser/Dicke des Zinkens
- Anordnung der Scharstiele im Verhältnis zur Scharbreite
- Anzahl der Scharreihen im Gerät
- Neigungswinkel und Bauform des Zinkenstieles
- Rahmenhöhe
- Strichabstand
- Entfernung der Schare innerhalb eines Balkens zueinander
- Tiefenführung
- Schnittwinkel des Schar

Um den Grubberzinken (Scharstil) vor Steinen zu schützen, muss er gefedert sein. Dies erfolgt entweder über Spiralfedersicherungen in unterschiedlichster Ausführung: hydraulisch, mit Scherschrauben oder Blattfederzinken. Der Auslösedruck von Steinsicherungen ist auf 250-400 kg eingestellt (vgl.: GREIN, 2006, 126f).

In (Abb. 20) sind die verschiedenen Grubberscharformen dargestellt.

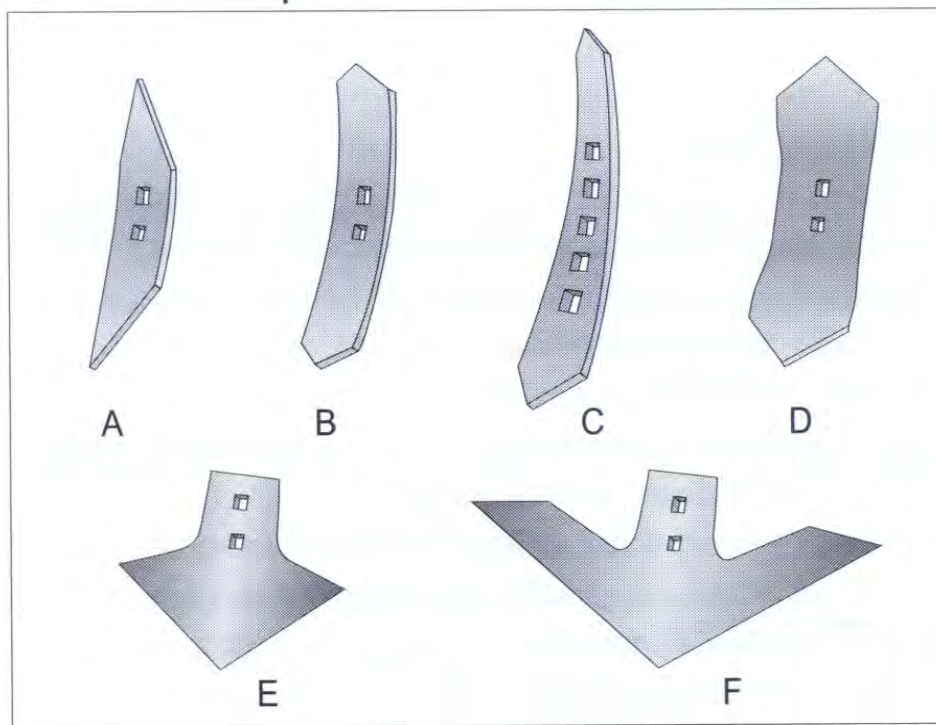


Abbildung 20: Grubberschare (Quelle: Conservation Tillage Systems and Management , 2000, 251)

- A : 2—Spikes zum Aufbrechen von Unterbodenverdichtungen und Pflugsohlen zur Verbesserung der Wasserinfiltration, Scharmaße zwischen 50 x 300 mm bis 50 x 400 mm (Schmalschar).
- B: 2—Wendbare Chisel Points zum Aufreißen von verkrusteten Böden und Herausheben von Wurzelunkräutern, Scharmaße zwischen 40 x 280 mm und 50 x 400 mm (Schmalschar).
- C: 3—Twisted Shovel – ähnelt der Arbeitsweise eines Pfluges, bei gleicher Arbeitstiefe und leicht wendenden Bodenfluß. Damit wird eine gute Bekämpfung von Wurzelunkräutern erzielt. Die Schare werden am Grubber (Scharstiel) rechts- und linksfördernd angebracht, damit sich die Seitenzugkräfte weitgehend ausgleichen (Wendelschar).

D: 4 - ½—Wendbares Double Point Shovel zur Bekämpfung von Wurzelunkräutern und zum Aufräumen der Bodenoberfläche als Schutz vor Winderosion.

Scharmaß ca. 100 x 350 mm (Breitschar).

E: 8—ed. 10— Dañ Weizenanbaugebieten verbreitete Medium Crown Sweep mit abgeschrägtem Fuß, um die Schneidfähigkeit zu erhalten. Scharbreite zwischen 200 und 250 mm (Gänsefußschar)

F: 12—4— 1618— High Crown Sweep für eine bessere Durchmischung des gelockerten Bodens. Scharbreite zwischen 300 und 500 mm. (1 Zoll = 25,4 mm) (Flügelschar) (DAHM, 2001, 32).

Sonderscharformen:

Zu den Sonderscharformen zählen die „Haifischflosse— und das sogenannte „Low disturbance Schar—, welche in (Abb. 21 und Abb. 22) dargestellt sind.



Abbildung 21: „Haifischflosse—
(Quelle: DAWEKE „Mulch master—LOP 05/2012,6)



Abbildung 22: „Low Disturbance Schar—
(Quelle: Väderstad, LOP 07/2011,8)

Die „Haifischflosse— ist ein Schmalschar mit einem Erdbalkentrenner, beim Leichtzugschar („Low Disturbance-Schar—) hat das Grubberschar einen Bügel, der den Erdstrom teilt. Diese Scharbauweisen sind sehr leichtzügig und ergeben eine geringere Mischwirkung. Das Stroh wird dabei nicht so stark in den Boden eingearbeitet, sondern bleibt mehr an der Bodenoberfläche. Dieser Effekt ist auf schweren Böden erwünscht. Bei einer Arbeitstiefe von 6 - 8 cm und einer Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h, beträgt der Leistungsbedarf mit diesen Scharen 16 kW/ 22PS/m Arbeitsbreite (Väderstad, 2012).

Der Zusammenhang zwischen Arbeitsbreite und Arbeitstiefe verschiedener Scharformen ist in (Abb. 23) dargestellt.

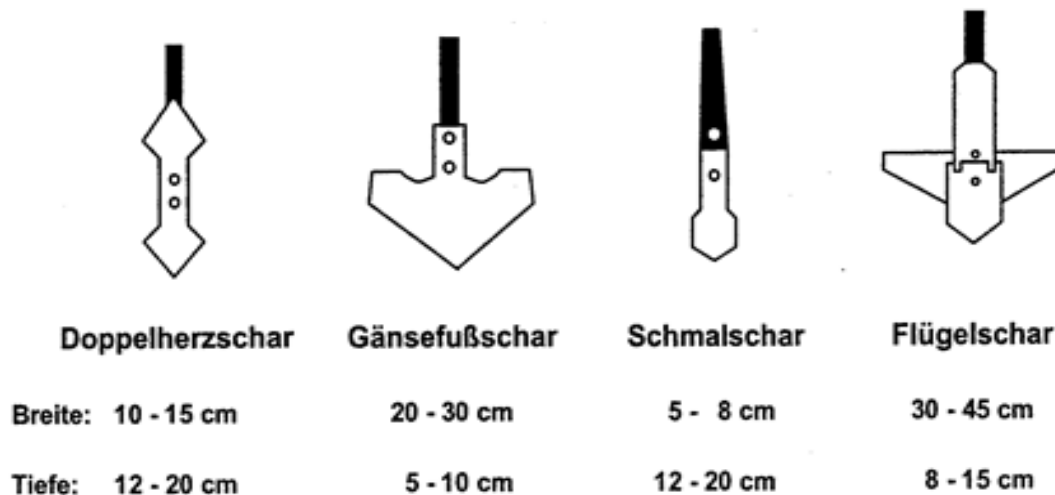


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen Arbeitsbreite und Arbeitstiefe verschiedener Scharformen
(Quelle: Amazone, 2002)

Je nach Aufgabe wird ein breit abscherendes oder schmal aufbrechendes Schar eingesetzt. Typisch für die flache Bearbeitung ist das Gänsefußschar. Auf festem oder trockenem Boden tut es sich schwer, einzudringen und die geringe Tiefe konstant zu halten. Den Nachteil meidet das Flügelschar, dessen Spitze wegen des Untergriffs die Arbeitstiefe sichert. Die dreiteilige Ausführung schafft höhere Festigkeit und die Möglichkeit, Teile auszutauschen.

Diese Formen bewegen den Boden nur wenig, haben also eine relativ geringe Mischwirkung. Das Stroh bleibt leicht in Streifen liegen – ein Nachteil, der bei mehrbalkigen Grubbern (mehr Zinkenreihen) gemindert wird. Für die tiefere Bearbeitung eignen sich schmale Schare. Das Flügelschar mit nur 300 mm Breite passt zur mittleren Arbeitstiefe: die Spitze reicht 120 mm, der Flügel 80 mm in die Krume bis 200 bzw. 150 mm. Das einfachere „Stoppelschar“ mit 150 – 200 mm kommt ebenfalls primär für die mittlere Tiefe in Frage.

Soll 200 mm tief gearbeitet werden, wird das Schar mit 50 – 80 mm eingesetzt. Denn je tiefer gearbeitet wird, desto bedeutsamer wird die aufbrechende Wirkung. Damit wird die natürliche Bodenstruktur besser gewahrt als durch die schneidende Funktion der Breitschare, die eher einen Horizont ausbilden.

Die Anordnung von Schar und Zinken beeinflusst die Bewegung des Bodens.

Ein flach abgewinkeltes Schar unterfährt den Boden, er gleitet an dem nach hinten gewundenen Stiel nach oben. Das spart Zugkraft im Vergleich zu einem senkrecht stehenden Zinken (WEIßBACH und ISENSEE, 2005, 491).

3.2.1.1 Grubbertechnik mit 2 Scharreihen (2-balkig)

Der 2-balkige Grubber (Abb. 24) wird vorwiegend als Flügelschargrubber eingesetzt und ist für den 3-Punktanbau konzipiert. Durch die 2-balkige Zinkenordnung, ergibt sich eine kurze Baulänge. Der Strichabstand differiert je nach Hersteller und Scharbreite zwischen 400 und 460 mm, was bei einer Scharbreite von 490 mm eine Überlappung von ca. 81-30 mm ergibt. Bei einem Balkenabstand von 800 mm findet eine ganzflächige Bearbeitung statt. Die Rahmenhöhe beträgt 700 - 820 mm.

2-balkige Grubber werden für den Traktoranbau bis zu 6 m gebaut. Der Scharaufbau ist dreiteilig, die Scharbreite beträgt ca. 45-50 cm. Am Scharstil befindet sich ein Schmalschar (ca. 10 cm) das eine nach oben mit ca. 40-45° gewölbte Form aufweist.

An den Seiten befinden sich schmal angestellte Schneidflügel. Damit das relativ breite Schar bei relativ trockenem Boden gut einzieht, sitzt das Schmalschar an seiner Spitze ca. 6 cm tiefer als die Seitenflügel, um so den Untergriff zu gewährleisten

(vgl.: GREIN, 2006, 119f).



Abbildung 24: 2-balkiger Grubber mit Blattfedersteinsicherung (Quelle: Firmenprospekt Kverneland)

Die (Tab. 8) zeigt die technischen Daten von 2-balkigen Grubbern.

Tabelle 8: Technische Daten - Übersicht 2-balkige Grubber (Quelle: Firma Pöttinger, Grieskirchen)

	SYNKRO 2600	SYNKRO 3000	SYNKRO 2600 S	SYNKRO 3000 S	SYNKRO 4700 SH
Arbeitsbreite [m]	2,6	3,0	2,6	3,0	4,7
Transportbreite [m]	2,6	3,0	2,6	3,0	3,0
Zinkenanzahl	6	7	6	7	11
Strichabstand [cm]	43				
Balkenabstand [cm]	75				
Rahmenhöhe [cm]	75		82		
Eigenmasse [kg]	560	650	680	760	1420
Leistungsbedarf [kW] [PS]	51-74 70-100	66-88 90-120	59-88 80-120	88-118 120-160	118-165 160-225



Abbildung 25: 2-balkiger Grubber „Synkro 2600—

Ausstattung mit Pendel-Rotopack Zinkenwalze und Kleesamenstreuer zum gleichzeitigen Aussäen der Zwischenfrucht beim Stoppelsturz (Quelle: Pöttinger Firmenprospekt 2012)

3.2.1.2 Grubbertechnik mit 3 Scharreihen (3-balkig)

Grubber mit 3-Scharreihen (Abb. 26) sollen die Vorteile der leichten zweireihigen Grubber mit den Vorteilen der vierreihigen, meist aufgesattelten Grubber, verbinden. Die Arbeitsbreite dieser Geräte beträgt 3 und 4 m, so dass diese an die Dreipunkthydraulik angebaut werden können. Der Aufbau ist fast identisch mit dem eines 2 balkigen Grubbers, mit dem Unterschied, dass hier mehr Zinken in 3 Reihen auf der gleichen Arbeitsbreite verteilt sind. Ihre Scharbreite beträgt ca. 25-27 cm, bei einem Strichabstand von ca. 30 cm.

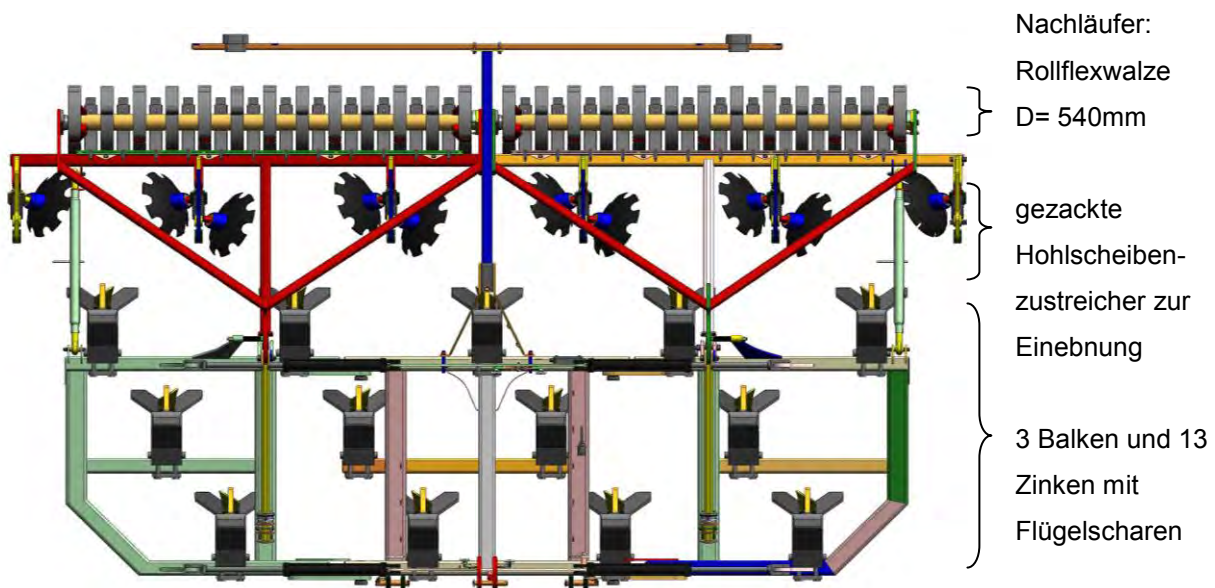


Abbildung 26: 3-balkiger Grubber (Quelle: Werkbild HORSCH)

Die (Tab. 9) zeigt die technischen Daten von 3-balkigen Grubbern.

Tabelle 9: Technische Daten - Übersicht 3-balkige Grubber (Quelle:Firma Pöttinger, Grieskirchen)

	SYNKRO 3003	SYNKRO 4003 K	SYNKRO 5300 K/T	SYNKRO 6300 T
Arbeitsbreite [m]	3	4	5	6
Transportbreite [m]	3			
Zinkenanzahl	11	14	18	21
Strichabstand [cm]	270	280		270
Balkenabstand [cm]	750			
Rahmenhöhe [cm]	80			
Eigenmasse [kg]	1150	2000	2500	3950
Leistungsbedarf [kW]	80	110	132	155
[PS]	110	150	180	210

Ein Nachteil dieser Bauart ist die größere Gesamtlänge, welche die Traktorvorderachse stark entlastet. Die hintere Walze übernimmt die Tiefenführung in Verbindung mit der Traktor- 3 Punktanhängung. Der Zugkraftbedarf liegt bei ca. 30 kW/40 PS pro m Arbeitsbreite. Der Traktor muss eine entsprechende Hubkraft aufweisen (vgl.: GREIN, 2006, 120 f).

3.2.1.3 Grubbertechnik mit 4 Scharreihen (4-balkig)

Bei 4-balkigen Grubbern sind die Schare etwa 31 cm breit. Bei einem Strichabstand von etwa 20-30 cm. Der Zinkenabstand von Reihe zu Reihe (Zinkendurchgang) beträgt ca. 80-100 cm. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die symmetrische Verteilung der Zinken innerhalb des Grubbers, um einerseits Verstopfungen an Engstellen zu vermeiden und um andererseits den absoluten Geradeauslauf zu gewährleisten (DREESBEIMDIEKE, 2003).

Es werden zwei verschiedene Typen unterschieden:

- **vierbalkige Flachgrubber** mit breitschneidenden Scharen (ca. 35 cm), mit einem sehr flachen Anstellwinkel von ca. 20-25° und mit einer niedrigen Rahmenhöhe von ca. 50-60 cm. Mögliche Arbeitstiefe 4-6 cm, eine tiefe Lockerung ist kaum möglich. Er gehört in die Kategorie flache Stoppelbearbeitung und flache Saatbettbereitung.
- **vierbalkige Grubber** mit einem Anstellwinkel von ca. 35°, mit Breitscharen ca. 35 cm oder Schmalscharen, ca. 10-15 cm und hohem Rahmendurchgang ca. 80 cm. Der Strichabstand ist ca. 20-30 cm. In der 3 m Version gibt es noch Anbauvarianten, ab 4 m Arbeitsbreite werden sie aufgesattelt auf ein Fahrwerk, das während der Arbeit eingefahren ist und nicht mitläuft.

Zur Einebnung werden Hohlscheibenzustreicher, Blattfederzustreicher oder dreihreihige Strohstriegel verwendet. Die Tiefenführung erfolgt entweder durch das Aufsattelfahrwerk oder eine Walze. An der Rahmenvorderseite sind höhenverstellbare Stützräder angebracht. Aufgrund der großen Baulänge werden alle vierbalkigen Grubber auf ein Fahrwerk aufgesattelt. Der Traktoranbau erfolgt über eine Zugdeichsel mit Untenanhängung oder mit einer drehbaren Anhängung an den Unterlenkern (vgl.: GREIN, 2006, 121).

Anders als der 4-balkige Flachgrubber, besitzt der 4-balkige Schwergrubber einen höheren Rahmen mit ca. 80-90 cm, bei einem höheren Eigengewicht. Die Scharbreite beträgt zwischen 10 und 31 cm. Das 31 cm Schar ist ein einteiliges Flügelschar mit einer geraden Scharkante. Die Scharwölbung beträgt 30-35° nach oben.

Das 10 cm breite Schmalschar hat eine zur Scharmitte hin vorgezogene und geneigte Scharspitze. Der Schnittwinkel ist mit 35-40° noch stärker ausgeprägt. Mit den 30 cm breiten Scharen sind Arbeitstiefen von 5-15 cm möglich, mit den Schmalscharen bis zu 30 cm. Der Balkenabstand beträgt ca. 100 cm, der Abstand der Schare am Balken ca. 80 cm. Damit ergibt sich ein großer Zinkendurchgang. Die Tiefenführung wird durch die verschiedensten Nachlaufwalzen übernommen.

Für einen 4-balkigen Grubber (HORSCH Terrano 6 FM) mit integriertem Fahrwerk und Zugkraftverstärker wurde der Zugleistungsbedarf in Abhängigkeit der Bearbeitungstiefe und Bodenart ermittelt (Tab. 10).

Tabelle 10: Leistungsbedarf für Grubber – HORSCH Terrano 6 FM, 4-balkig mit 5,9 m Arbeitsbreite mit Flügelscharen auf einer Stoppelfläche (Maschinentest Sommer 2011) (vgl. terra Horsch 04/2012, 25)

In Abhängigkeit der Arbeitsgeschwindigkeit:

Arbeitstiefe in cm	Arbeitsgeschwindigkeit in km/h	Leistungsbedarf kW / PS
10	14	260 / 355
15 – 20	7 – 10	260 / 355

In Abhängigkeit von den Bodenbedingungen und der Arbeitstiefe

Boden	Arbeitstiefe in cm	Leistungsbedarf kW / PS
Leichter Boden (Sand)	15	177 / 240
Schwerer Boden (Lehm)	25 – 30	295 -330 / 400-450
Leistungsbedarf pro m Arbeitsbreite beim Lockern: 52 kW / 70 PS		

3.2.1.4 Grubbertechnik mit 8 Scharreihen (8-balkig)

Der 8-balkige Grubber (Abb. 27) arbeitet mit 10 cm breiten Schmalscharen, mit einem Schnittwinkel von 30°, verteilt auf 8 Balken, bei einem Strichabstand von ca. 13 cm. Innerhalb des Scharbalkens beträgt der Abstand der Schare ca. 115 cm, der Balkenabstand ca. 65-95 cm, die Rahmenhöhe 85 cm. Die Scharstiele bestehen aus 16 mm starken Blattfederstielen, die während der Arbeit vibrieren und bei Steinen ausweichen können.

Die Tiefenführung erfolgt über die hintere Doppelwalze und die Stützräder am Frontrahmen, welche beide über Parallelgestänge verbunden sind. Das Verstellen der Arbeitstiefe erfolgt hydraulisch vom Fahrersitz aus.

Das Eigengewicht beträgt ca. 1000 kg/m Arbeitsbreite.

Der Zugkraftbedarf liegt je nach Arbeitstiefe bei 37- 46 kW/ 50-60 PS/ m Arbeitsbreite (vgl.: GREIN, 2006, 124f).



Abbildung 27: 8-balkiger Aufsattelgrubber mit Blattfederzinken, „VARIO—von Köckerling
(Quelle: Werkbild Köckerling)

3.2.1.5 Grubber für den Ökolandbau

Für den pfluglosen Ökolandbau wurden Spezialgrubber (Abb. 28) entwickelt.

Die Gänsefußschare schneiden flach und ganzflächig, die schmalen Zinken dahinter sorgen für die nötige Bodenlockerung.

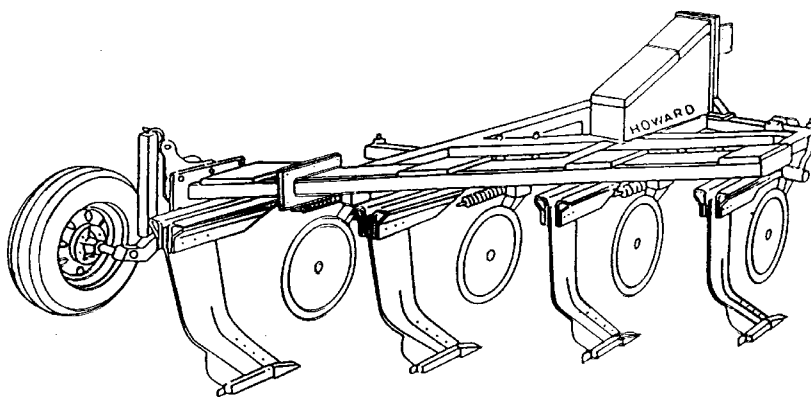


Abbildung 28: Wecodyn-Grubber (Quelle: LOP Sonderheft „Boden verbessern, Ertrag steigern— 2011, 29)

Die Gänsefußschare unterschneiden den Boden in 5 cm Tiefe, dabei werden die Beikräuter abgeschnitten, die Bodenlockerung erfolgt auf 15 cm Tiefe mit vier schmalen Zinken auf 3 m Arbeitsbreite. Die Saatbettbereitung erfolgt mit einer 5 cm tief arbeitenden Zinkenrotoregge (vgl.: BERNER et. al., 2010, 29ff).

3.2.2 Parapflug

Mit dem Parapflug (Abb. 29) ergibt sich eine Krumenlockerung ohne den Boden zu mischen und zu wenden. Die Scharelelemente sind starr und an einem Tragrahmen seitlich versetzt angeordnet. Der Parapflug ist ein Bodenbearbeitungsgerät, welches den Boden vertikal bearbeitet ("vertical tillage"). Er besitzt im unteren Bereich ausstellbare Lockerungswerkzeuge (-platten), die den Boden anheben, wobei in Analogie zum Flügelschar Bruchlinien im Bodenkörper entstehen. Er kann - in Verbindung mit mehrjähriger Direktsaat - zur Lockerung über die Krumenbasis hinaus eingesetzt werden. Seine bodenaufbrechende Wirkung nimmt mit zunehmendem Feuchtegehalt des Bodens ab (vgl.: EICHHORN, 1999, 165).



Parapflugzinken

Abbildung 29: Parapflug 4-scharig mit Scherbolzensicherung (Quelle: Werkbild Howard)

Der Parapflug hinterlässt eine relativ ebene Oberfläche und einen nachhaltigen Lockerungseffekt. Leistungsbedarf je Lockerungskörper: 18 – 26 kW / 25 – 35 PS.

Der Motorleistungsbedarf ist abhängig von den Bodenbedingungen, Einstellung, Arbeitstiefe und der Arbeitsgeschwindigkeit. Die Arbeitstiefe beträgt bis zu 50 cm. Überwiegend wird 30 – 40 cm tief gearbeitet (vgl.: KÖLLER und KNITTEL, 2001, 51f).

3.2.3 Unterbodenlockerer (Tiefenlockerer, Tiefenmeißel)

Sind Geräte für ein grobes, bodenverbesserndes Aufbrechen des Bodens unterhalb der Krume. Dazu gehören der gezogene Tiefpflug, der starre, gezogene Tiefgrubber, der zapfwellenbetriebene Wippscharlockerer und Hubschwenklockerer mit Zapfwellen- oder hydraulischem Antrieb (vgl.: ALSING, 2002,803).

Der Tiefenmeißel (Abb. 30 und Abb. 31) hebt keinen Boden aus tieferen Bodenhorizonten an die Oberfläche. Der Oberboden wird nur aufgeschlitzt, der Unterboden angehoben und gelockert.



Abbildung 30: „Tiefenmeißel—

(Quelle: Werkbild Kverneland)

Abbildung 31: Zinken mit variabler Ausstattungsmöglichkeit

(Quelle: Werkbild Kverneland)

Die (Tab. 11) zeigt die technischen Daten für Unterbodenlockerer.

Tabelle 11: Technische Daten für Unterbodenlockerer („Tiefenmeißel“) (Quelle: Kverneland)

Zinkenzahl	1	2	3	5
Arbeitsbreite (m)	0,8	1,8 – 2,7	1,8 – 2,7	3,0 – 4,5
Eigenmasse (kg)	250	590	880	1400
Leistungsbedarf ab kW/PS	45/61	65/88	110/176	150/204
Arbeitstiefe	bis 70 cm			
Zinkenabstand	600– 900 mm variierbar			
Zinken – Flügelschare	300 – 650 mm			
Zinkensicherung - Auslösekraft	1500 daN			
Tiefenführung durch	Walze oder Stützräder			

Wenn es der Untergrund nötig hat kommt der Tiefenlockerer (Abb. 32) nach der Ernte, bei völlig trockenem Boden, bei einer Bodenlockerungstiefe bis 65 cm, zum Einsatz.



Abbildung 32: Tiefenlockerer „ALPEGO—
(Quelle: LOP 9/2009,12)

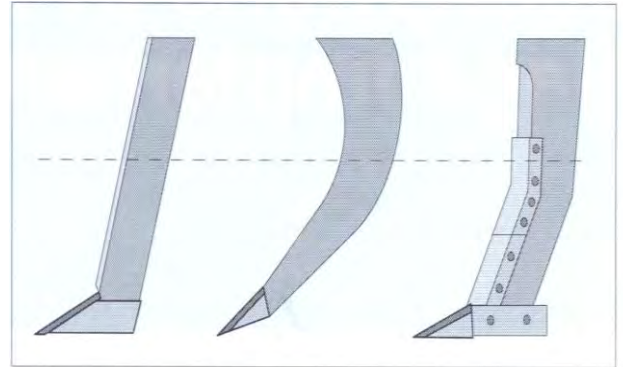


Abbildung 33: Zinken der Untergrundlockerer
1 -gerade (senkrecht od. schräg),
2 -gebogen (parabolisch)
3 -zur Seite gebogen
(Quelle: Conservation Tillage Systems
and Management, 2000, 252)



Abbildung 34: Untergrundlockerer mit V-Rahmen
(Quelle: Conservation Tillage Systems and Management, 2000, 252)

Der Untergrundlockerer (Abb.34) ist ein Grundbodenbearbeitungsgerät und arbeitet ähnlich wie der Meißelpflug (chisel plow), das heißt er lässt ähnlich viel Ernterückstände an der Bodenoberfläche. Dieser kann einen V-förmigen Rahmen besitzen und wird in Arbeitstiefen 30 – 55 cm gefahren um vor allem die Bodenverdichtung zu beseitigen.

Für eine krumentiefe Lockerung empfehlen sich nichtwendende Werkzeuge, die den Boden in natürlicher Schichtung belassen und tiefer arbeiten (> 20 cm) als herkömmliche Grubber mit mischenden Werkzeugen (vgl. KÖLLER und LINKE 2001, 47).



AGRISEM CULTIPLow 52 Combimulch



0°- Zinken

(Bild AGRISEM)

Charakteristisch für den Cultiplow „TCS 750— Zinken (Abb. 35) ist, dass er seitlich um 9° gekröpft ist und am 30 cm breiten Flügelschar die Spitze außermittig liegt (vgl.: EIKEL, 2009, 35).

In (Tab. 12) sind die technischen Daten von Tiefenlockerer angegeben.

Tabelle 12: Technische Daten von Tiefenlockerer (Quelle: AGRISEM Cultiplow 52)

Arbeitsbreite	4 m
Anzahl Zinken	6
Rahmenhöhe	820 mm
Arbeitstiefe	15 - 50 cm
Scharbreite	300 mm
Zinkenauslösekraft	1300 – 1800 daN
Eigenmasse	2572 kg
Durchmesser der Rohrstabwalze	526 mm
Leistungsbedarf	125- 154 kW / 170 – 250 PS

3.2.4 Scheibensysteme

3.2.4.1 Scheibeneggen

Scheibeneggen (Abb. 36 und Abb. 37) gehören zu den am weitest verbreiteten Stoppelbearbeitungsgeräten.

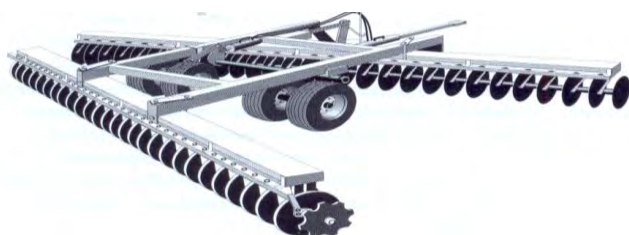


Abbildung 36: Ausleger –(Offset-) Scheibenegge
V-Form, 2-reihig, aufgesattelt

Abbildung 37: Doppelscheibenegge
X-Form, 4-reihig, aufgesattelt.

(Quelle: Conservation Tillage Systems and Management, 2000, 254)

Die Anstellwinkel der Scheibensätze sind hydraulisch oder mechanisch verstellbar, die luftbereiften Laufräder werden hydraulisch betätigt (vgl. SIEMENS et.al, 2000, 252).

In (Tab. 13) sind die technischen Daten von Scheibeneggen angegeben.

Tabelle 13: Technische Daten von Scheibeneggen (Quelle: GREIN, 2006, 128ff)

Arbeitsbreiten	3 - 12 m (24 m)
Eigenmasse	0,75 - 1,1 t/m Arbeitsbreite
Scheibendurchmesser	450 - 900 mm
Scheibendicke	6 mm
Scheibenform	konisch (conical) od. gewölbte (spherical), selbstschärfende Hohl­scheiben
Scheibenabstand	125 - 180 mm
Balkenanordnung	X – od. V- Form
Arbeitstiefe – abhängig v. Bodenfeuchte	30 – 100 mm, nicht tiefer als nötig!
Tiefenführung	Über mittiges Fahrwerk, ab 3 m AB meist aufgesattelt oder über Nachlaufwalze und Traktoranhängung
Anstellwinkel der Scheiben	0 – 25°
Arbeitsgeschwindigkeit	10 – 20 km/h
Leistungsbedarf	22 – 30 kW / 30-40 PS/m AB

Durch Schwenken der Scheibenreihen in den gewünschten Angriffswinkel (0-25°) kann die Arbeitsintensität verändert werden. Je schräger der Winkel zur Fahrtrichtung, umso intensiver ist die Mischwirkung und Krümelung.

Stehen die Scheibenwellen mehr gerade, haben sie eine schneidende Wirkung (ESTLER und KNITTEL, 1996).

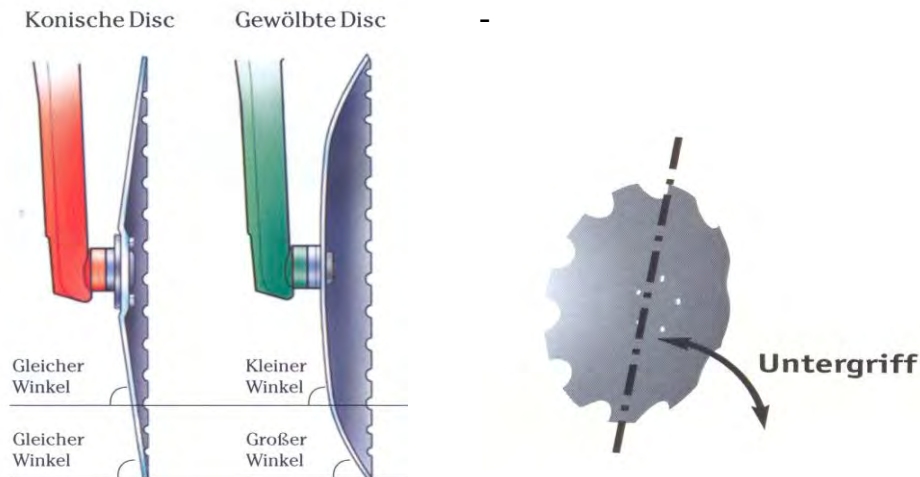


Abbildung 38: Bauarten der Scheiben von Scheibeneggen (Quelle: Werkbild Vaederstad)

Die konische Form hat mehr eine schneidende als eine mischende Wirkung. Dies ist zur Erntezeit ein wichtiger Faktor, wenn der Boden trocken und schwer zu durchdringen ist.

Konische Scheiben (Abb. 38) krümelnden Boden stärker und haben etwas mehr Tiefgang als gewölbte Scheiben (Abb. 38). Gewölbte Scheiben mischen stärker und lassen mehr Ernterückstände an der Bodenoberfläche (vgl.: SIEMENS et al., 2000, 254). Gezackte Stahlscheiben dringen aggressiver in den Boden ein als gerade Scheiben, sie haben bei trockenen Böden mehr Vorteile. Neu sind Kleeblattscheiben welche spatenförmige Ausbuchtungen besitzen und den Boden noch intensiver bearbeiten und vermischen können.

Scheibeneggen verziehen die Ernterückstände kaum, sondern arbeiten diese im Wesentlichen nur vertikal ein. Punktuelle Anhäufungen von Stroh und Pflanzenreste werden an Ort und Stelle belassen. Scheibeneggen sind unempfindlich hinsichtlich der Bodenzustände und arbeiten weitgehend verstopfungsfrei (vgl.: GREIN, 2006, 129f).

3.2.4.2 Kurzscheibeneggen

Zum Unterschied zur Scheibenegge, bei der alle Scheiben auf einer zentral gelagerten Welle angeordnet sind, werden bei der Kurzscheibenegge (Abb. 40) alle Scheiben separat von jeweils einem Scharstil (Abb. 39) geführt. Die zweite Scheibenreihe ist versetzt und gegenläufig zur ersten Reihe angeordnet (vgl.: GREIN, 2006, 130 ff).

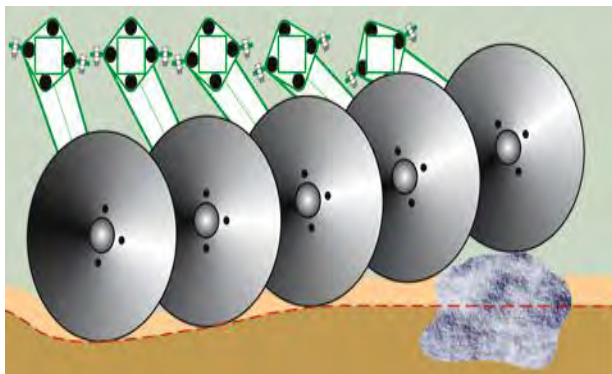


Abbildung 39: Einzelaufhängung gefedert
(Quelle: Intelligenter Pflanzenbau, Amazone)



Abbildung 40: Kurzscheibenegge gezogene Version
(Quelle: Firmenprospekt „Amazone-Catros“)

In (Tab. 14) sind die technischen Daten von Kurzscheibeneggen angeführt.

Tabelle 14: Technische Daten von Kurzscheibeneggen (Quelle: GREIN, 2006, 130 ff)

Arbeitsbreiten	bis 6 m Anbauvariante 6 - 10 m Aufsattelvariante (gezogen)
Scheibendurchmesser	460 - 600 mm
Anstellwinkel der Scheiben schräg zur Fahrtrichtung	0 – 20°, bei Stoppelsturz: 17°
Scheiben- Untergriff, schräg zum Boden	15 - 25°
Scheibendicke	6 mm
Scheibenform	glatt oder gezackt
Scheibenabstand	ca. 250 mm
Strichabstand	ca. 125 mm
mögliche Arbeitstiefe	10 – 100 mm (Schmidt 2003)
Steinsicherung	4 – fache Gummilagerung (Vaederstadt) od. Spiralfedersteinsicherung (Lemken 2003)
optimale Arbeitsgeschwindigkeit	12 – 15 km/h
Leistungsbedarf	22 – 30 kW / 30 – 40 PS/ m AB

Durch den kleineren Durchmesser drehen die Scheiben schneller und können so Stroh und Erde aggressiver und intensiver vermischen. Da die Scharstile einzeln gelagert und gefedert sind, können sie sich der Bodenkontur genau anpassen und so im Gegensatz zur festen Scheibenegge bei der Scheibenwelle auf der ganzen Arbeitsbreite flach arbeiten (WILDE, 2003).

Mit der gezogenen Version können auch Traktoren mit geringerem Hubkraftvermögen als Zugmaschine eingesetzt werden. Auch ist damit die Kombination mit schweren Walzen wie Stütz- Zahnpacker-, Tandem- oder Keilringwalzen möglich.

3.2.4.3 Spatenrollegge

Die Spatenrollegge (Abb. 41 und Abb. 42) kann zur Stoppelbearbeitung wie auch zur Saatbettbereitung eingesetzt werden. Ihr Vorteil ist die Leichtzügigkeit, ihr Nachteil: ist der Boden zu trocken, dringt sie nicht in den Boden ein, bei Nässe verkleben die Werkzeuge (vgl.: N.N, 2009, 37).



Abbildung 41: Spatenrollegge

(Quelle: MEINERS, 1997, 192)



Abbildung 42: Größte Spatenrollegge der Welt, 12 m AB,

(Quelle: LOP 5/2009,37, WERKBILD BAARCK)

In (Tab. 15) sind die technischen Daten von Spatenrolleggen angeführt.

Tabelle 15: Technische Daten von Spatenrolleggen (Quelle: MEINERS, 1997, 192)

Arbeitsbreite	bis 12 m
Arbeitswerkzeug	sternförmig gezackte Messerkreuze
Durchmesser der Messerkreuze	300-400 mm
Arbeitsgeschwindigkeit	10-15 km/h
Leistungsbedarf	16 kW/21 PS/m Arbeitsbreite

Im Gegensatz zum Grubber und der Scheibenegge entstehen beim Einsatz von Spatenrolleggen keine Schmierschichten, da der Boden punktuell aufgebrochen wird. Sie bewirkt eine sehr gute Unkrautbekämpfung, da sie Unkräuter an die Bodenoberfläche bringt, wo sie schnell vertrocknen. Wurzeln von Quecken, Disteln und Ampfer werden nicht zerrissen was einen Wiederaustrieb beschleunigen würde. Auch Stroh und Zwischenfruchtreste werden nicht eingearbeitet, sondern bleiben als Erosions- und Verdunstungsschutz weitgehend an der Bodenoberfläche (vgl.: N.N, 2011,8).

Auch zur Bekämpfung des Maiszünslers ist die Spatenrollegge ideal. Im Vergleich zu Mulchern, die nur oberirdisch arbeiten, bearbeitet die Spatenrollegge auch flach gedrückte Maisstoppeln in Fahrspuren und zieht die Wurzeln aus dem Boden (vgl.: N.N, 2011,88).

3.2.5 Gerätekombinationen

Hier handelt es sich um Kombinationen aus Grubbertechnik mit Scheiben- oder Spatenrolleggen, verbunden mit einer nachfolgenden Walze (Abb. 43). Hier wird zwischen vier Gerätetypen unterschieden:

Abfolge 1: Grubber 4-reihig + 2 Reihen Scheibenegge + Walze (Keilringwalze)

Abfolge 2: 1 Reihe Scheibenegge + Grubber 4-reihig + Walze

Abfolge 3: 1 Reihe Scheibenegge + Grubber 2-reihig + 1 Reihe Scheibenegge + Walze

Abfolge 4: Grubber 4-reihig + Spatenrollegge 2-reihig

(vgl.: GREIN,2006, 133)

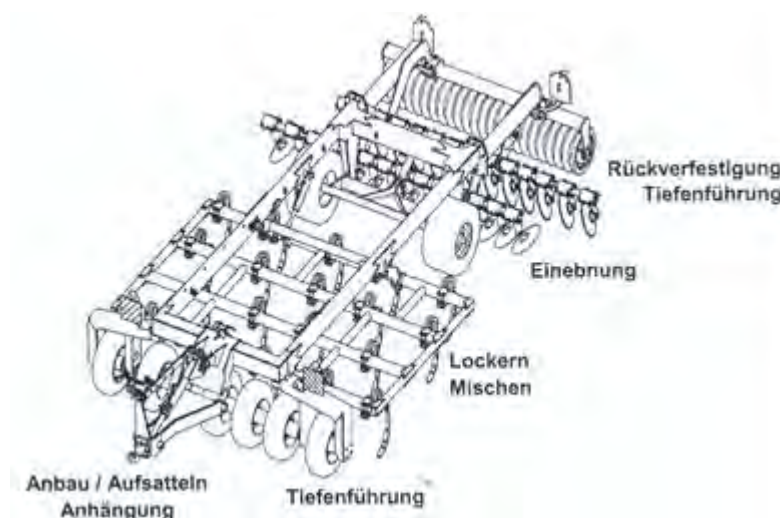


Abbildung 43: Abfolge 1: Grubber 4-reihig + 2 Reihen Scheibenegge + Walze (Keilringwalze)

Funktionsgruppen der Kombination „Centaur von Amazone“ (Quelle: Amazone, 2002)

In (Tab. 16) sind die technischen Daten von Gerätekombinationen angeführt.

Tabelle 16: Technische Daten von Gerätekombination (vgl.: GREIN, 2006,133)

Gerätebaulänge	12 m
Eigenmasse	2 t/m Arbeitsbreite
Mögliche Arbeitstiefe	50 – 250 mm
Leistungsbedarf	37- 45 kW/50-60 PS/m Arbeitsbreite

Der mehrbalkige (4-reihige) Grubber schneidet den Boden ganzflächig und lockert ihn, während die nachfolgende Scheibenegge (oder Spatenrollegge) das Stroh-Erdgemenge nochmals intensiv einmischt. So werden die Vorteile der Werkzeugformen genutzt. Kennzeichnend ist das sehr intensive Vermischen von Stroh und Boden durch die große Anzahl an Werkzeugen. Durch die umfassenden Einstellmöglichkeiten kann sehr flach wie auch bis in Krumentiefe intensiv gearbeitet werden. Die Scharformen sind der Arbeitsbreite anzupassen (AMAZONE, 2002).

Die große Baulänge und die hohe Eigenmasse kann bei feuchten Bedingungen und in Hanglagen schnell zum Nachteil werden.

Die Tiefenführung wird von einer Nachlaufwalze und Frontstützrädern übernommen. Werkzeugkombinationen verbinden die Vorteile des 4-balkigen Grubbers mit denen der Scheibenegge/Spatenrollegge. Sie werden vor allem dort eingesetzt, wo hohe Strohmenngen ($> 7 \text{ t/ha}$) und evtl. Verdichtungen vorliegen, da sie sehr gut den Boden lockern und mischen können (vgl.: GREIN, 2006, 133).

Eine intensive Arbeit ist auch dann erwünscht, wenn zwischen Ernte und Saat nur ein kleines Zeitfenster besteht, z.B.: in Betrieben mit engen Fruchtfolgen, wenn beispielsweise Raps nach Weizen steht. Der Bedeckungsgrad ist nach dem Arbeitsgang sehr gering, da sehr viel Stroh vertikal eingearbeitet wird (Strohverdünnung) (FÖRST, 2002).

Ist ein hoher Bedeckungsgrad erwünscht sind diese Kombinationen ungeeignet.

Die Anordnung der Scheibenfelder vor oder hinter den Grubberelementen - ist in Bezug auf die Arbeitsqualität – sekundär (RUX 2003).

Mit der erhöhten Intensität des Bodeneingriffs steigen auch die Kosten dieses Arbeitseinsatzes (Treibstoff, Arbeitszeit, Verschleiß, usw.) (vgl.: GREIN, 2006, 134).

Kurzscheibenegge in Kombination mit vorlaufenden Strohstriegel oder Crossboard

Bei höheren Strohkonzentrationen kann durch den abrollenden Vorgang der Scheiben das Stroh horizontal nicht mehr verzogen werden – es wird nur vertikal eingearbeitet. Mit einem vorlaufenden Striegelbalken oder einem Crossboard (Abb. 44 und Abb. 45) wird das Stroh aufgewirbelt, gleichmäßig verteilt und den Scheiben der Eingriff in den Boden ermöglicht.



Abbildung 44: Kurzscheibenegge mit Strohstriegel
(Quelle: Firmenprospekt Väderstad 2012)



Abbildung 45: Kurzscheibenegge mit Crossboard
(Quelle: Firmenprospekt Vaederstad 2012)

Durch das flache Arbeiten, verbunden mit einer guten Rückverfestigung, wird durch den Einsatz von Kurzscheibeneggen das Auflaufen von Ausfallgetreide und Unkräutern gefördert (vgl.: GREIN, 2006, 132).

In Versuchen der FAL – Braunschweig konnte im Durchschnitt ein hinterlassener Strohbedeckungsgrad von 54 % ermittelt werden. Dies resultiert aus der geringen Arbeitstiefe.

Eine Bodenlockerung unterhalb von 10 cm ist nicht möglich. Dies begrenzt die universelle Einsatzfähigkeit dieser Geräte.

Der erforderliche Leistungsbedarf beträgt 10 –20 kW/14 – 27 PS pro m Arbeitsbreite. Hohe Flächenleistungen [ha/h] bei geringem Kraftstoffverbrauch sind möglich (vgl.: GREIN, 2006, 132).

3.2.6 Geräte mit gefederten und starren Zinken

Das Nachbearbeiten der Pflugfurche oder des mit dem Grubber bearbeiteten Feldes hat das Ziel, ein auf die jeweilige Fruchtart abgestimmtes Saatbett herzurichten. Diese Oberflächen-Nachbearbeitung oder Saatbettbereitung wird auch als „Sekundärbearbeitung“ bezeichnet. Das Angebot an Geräten für die Oberflächennachbearbeitung ist außerordentlich vielfältig.

Die Geräte dieser Gruppe werden vor allem für die mehr oder minder flache Saat- und Pflanzbettbereitung verwendet. Ihre Wirkung besteht darin, dass durch den Aufprall der Zinken auf die Bodenaggregate eine intensive Krümelung, Mischung und Einebnung bewirkt wird (vgl.: ESTLER et.al., 1983, 114).

Wichtig ist die Arbeitsgeschwindigkeit, da sich mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit die Wucht des Aufpralles der Zinken auf die Bodenteilchen im Quadrat vergrößert (vgl.: ESTLER et.al., 1984, 120).

Die optimale Wirkung der Zinkengeräte ist abhängig vom Zinkengewicht, der Zinkenanzahl, der Geräteanordnung, dem Strichabstand, von der wirksamen Zinkenbreite und dem Zinken-Anstellwinkel (vgl. ESTLER et.al., 1984, 114 ff).

In (Abb. 46 und Abb. 47) wird die Arbeitsweise der Eggenzinken von Ackereggen dargestellt.

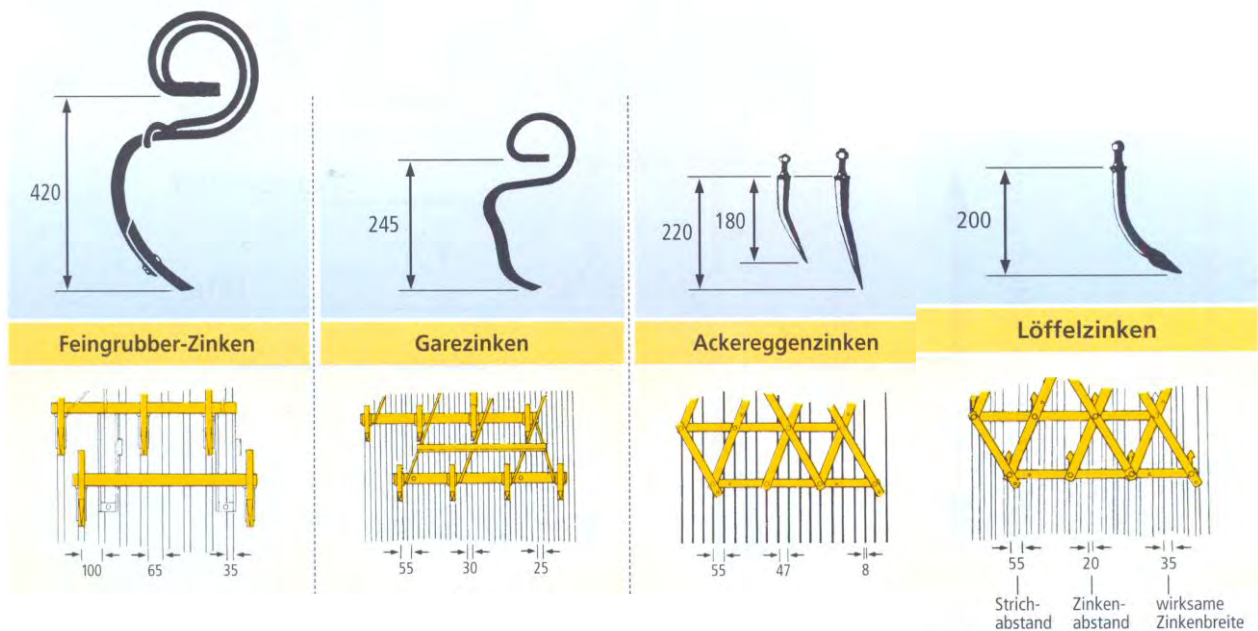


Abbildung 46: Kennzeichnung und Arbeitsweise der Eggenzinken von Ackereggen

(Quelle: Agrartechnische Lehrbriefe, 2003, 14)

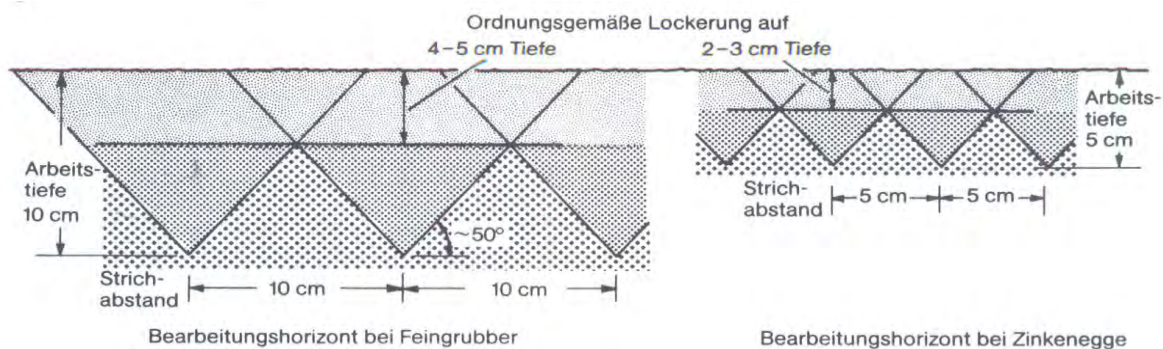


Abbildung 47: Veränderungen des Bearbeitungshorizontes bei Feingrubber und Zinkenegge
(Quelle: ESTLER et.al.,1983, 115)

3.2.6.1 Feingrubber (Kulturegge, Vibrationsegge, Federzinkengrubber)

Er besitzt einen stabilen Rahmen mit 3 bis 5 Querholmen. An diesen sind die großen G-förmigen Federstahlzinken mit hochvergüteter Scharspitze oder beidseitig verwendbarem Spitzschar angelenkt.

Die Zinken sind in einem Abstand von ca. 400 mm auf den Querholmen angebracht. Bei einem 4-balkigen Feingrubber ergibt sich daraus ein Strichabstand von 10 cm. Auf Grund des großen Zinkendurchganges und Strichabstandes ist eine gute Selbstreinigung und geringe Verstopfungsanfälligkeit gewährleistet. Die relativ tiefe Lockerung und die damit verbundene unebene Bodenoberfläche erfordern ein entsprechendes Einebnen und Rückverfestigen des Saathorizontes. Deshalb werden Feingrubber meist in Kombination mit Glättschienen, Krümelwalzen, etc. eingesetzt (vgl.: ESTLER, et.al.,1984, 114).

In (Tab. 17) sind die technischen Daten von Feingrubber angeführt.

Tabelle 17: Technische Daten von Feingrubber (Quelle: Einböck-Firmenprospekt)

Zinkengewicht (g/Zinken)	7000 – 8000
wirksame Zinkenlänge (mm)	400 – 420
Zinkenbreite (mm)	50 Vulcanuszinken od. 70 Herkuleszinken
Durchgangshöhe (mm)	525 – 580
Strichabstand (mm)	150 oder 125
Anzahl Zinkenreihen je Feld	4 – 5
Arbeitstiefe (mm)	150 (mit 200 mm br.Gänsefußschare 100 mm)

Die (Abb. 48) zeigt einen Universal Feingrubber.



Abbildung 48: Kombination Feingrubber mit Federzinken und Wälzegen, vorne Flachstab, hinten Zahnwälzgege und zweireihigen Nachlaufstriege, Einböck „Taifun.“—(Quelle: LOP 01/02-2014, 6)

3.2.6.2 Ackeregge (Zinkenegge, Starregge)

Die Ackeregge wird für die flache Saatbettbereitung bevorzugt und ist aus einzelnen „Feldern“— zusammengesetzt, deren Breite 0,9 – 1,5 m beträgt. Durch ein Nebeneinander-Anordnen dieser einzelnen Felder ergeben sich dann entsprechend unterschiedliche Gesamtarbeitsbreiten. Jedes Eggenfeld ist gesondert am Zugrahmen angelenkt, so dass sie sich unabhängig voneinander bewegen können. Dadurch lässt sich eine exakte Anpassung an die Bodenoberfläche und eine gleichmäßige Bearbeitung erreichen. Sie eignet sich vorwiegend für den Einsatz nach der Pflugfurche auf leichten bis mittleren Böden (vgl.: ESTLER et.al., 1984, 116).

In (Tab. 18) sind die technischen Daten der Ackeregge angeführt.

Tabelle 18: Technische Daten der Ackeregge (Normalzinken) (Quelle: Einböck, Firmenprospekt)

Zinkengewicht (g/Zinken)	1200 – 2000
Zinkenlänge (mm)	160 – 180
Zinkenbreite (mm)	8 – 10
Strichabstand (mm)	50 – 55
Anz. Zinkenreihen je Feld (Querbalken)	5 (bei Langeggen 7 Querbalken)

3.2.7 Geräte mit Bodenantrieb und Rotorprinzip (Dyna-Drive)

Der Frontrotor (Lockerungseffekt) ist mit acht tangential in Fahrtrichtung, der Heckrotor (Zerkleinerungs-u. Mischeffekt) mit vier tangential gegen die Fahrtrichtung angeordneten, spiralförmig gekröpften bzw. um 90° gedrehten Löffelzinken bestückt. Den Abschluss des Gerätes bildet eine Flachstegwalze mit sechs Tiefenstellungen und ein verstellbares Prallblech.

Der Frontrotor wird durch die Vorfahrt über den Boden, der Heckrotor durch den Frontrotor über eine Zahnradkette mit dreifacher Übersetzung angetrieben.

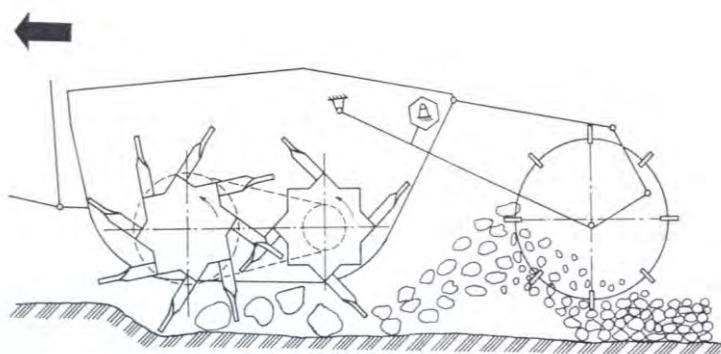


Abbildung 49: Aufbau und Funktion des Dyna-Drive
(Quelle: FAT-Tänikon 01/1992)



Abbildung 50: Rotor Dyna-Drive
(Quelle: FAT-Tänikon, 01/1992)

In (Tab. 19) sind die technischen Daten von Dyna-Drive angeführt.

Tabelle 19: Technische Daten von Dyna-Drive (Quelle: FAT-Tänikon 01/1992)

Arbeitsbreite (cm)	310
Eigenmasse (kg)	1480 kg
Rotordurchmesser (mm) / Zinkenzahl	650 / 184
Zinkenbreite (mm)	40
Standzeit des Zinkensatzes (ha)	400 – 1200
Arbeitstiefe (mm)	30 – 140
Antriebsübersetzung	1 : 3,2
Arbeitsgeschwindigkeit (km/h)	8 – 12 max. 18
Flächenleistung (ha/h)	2 – 3
Leistungsbedarf (kW/PS)	30 /40 pro m Arbeitbreite

Der Dyna Drive ermöglicht eine schlagkräftige Stoppelbearbeitung. Der Vergleich mit einer dreibalkigen Spatenrollegge auf Leimboden ergab im Versuch mehr als doppelt so viele (217 %) aufgelaufene Rapspflänzchen zugunsten des Doppelzinkenrotors.

Große Mengen an Pflanzenrückständen werden verstopfungsfrei in die obersten Bodenschichten eingemischt: Stoppeln, Getreide oder Maisstroh, Stallmist, Gründüngungen.

Mit einer aufgebauten pneumatischen Getreide- oder Grassämaschine kann Saatgut in den abfließenden Erdstrom geleitet und somit gleichzeitig die Folgekultur bestellt werden (vgl.: STURNY, 1992, 20f).

3.2.8 Wälzeggen (Krümelwalzen)

Wälzeggen sind besonders für die Saatbettvorbereitung gut geeignet und werden meist als Nachlaufgeräte in Sattbettkombinationen verwendet. Meist stützt sich die gesamte Gerätekombination auf den Wälzeggen ab, dadurch wird auch eine gleichmäßige Führung und Einstellung der Arbeitstiefe erreicht.

Dabei entsteht eine 2 bis 5 cm starke Krümeldecke über leichtverdichteten Boden, in den der Samen abgelegt wird. Dies ist Voraussetzung für eine verfeinerte Sätechnik und bildet das Schlussglied in fast allen Gerätekombinationen.

Wälzeggen werden in verschiedenen Bauformen (Abb. 51) angeboten und angewendet, je nachdem, ob eine mehr lockerkrümelnde oder mehr verdichtende, festigende Wirkung gewünscht wird (vgl.: WIRLEITNER et. al., 1996,56).

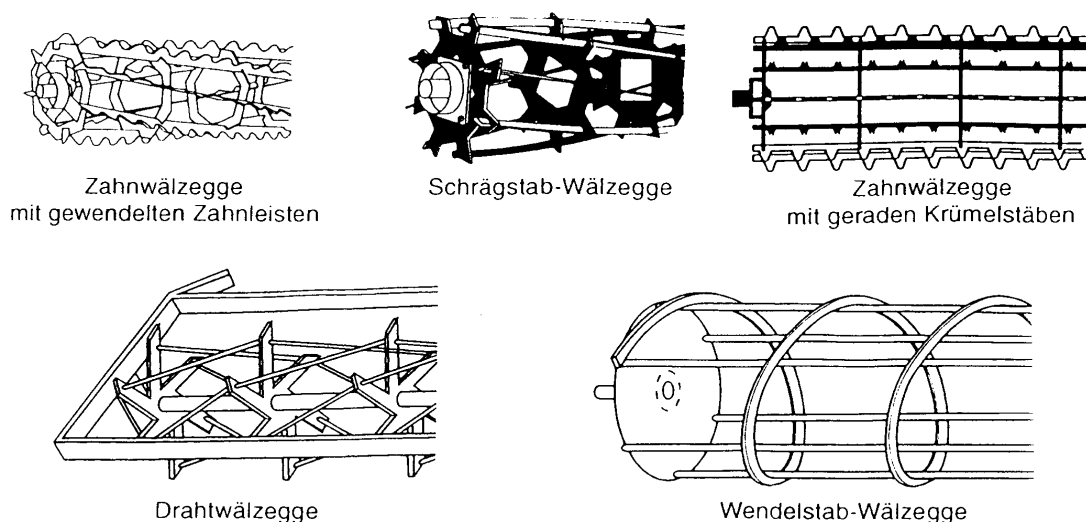


Abbildung 51: Wälzeggen (Quelle: EICHHORN et.al., 1999, 168)

In (Tab. 20) sind die Wirkungsweisen der Wälzeggen angeführt.

Tabelle 20: Wirkungsweise der Wälzeggen (Quelle: EICHHORN et.al., 1999,168)

Bauform	Verhältnis	krümelnd	verdichtend
Zahnwälzegge Stäbe 75° schräg		1*	3*
Schrägstab-Wälzegge		1	1
Zahnwälzegge mit geraden Krümelstäben		1	4
Drahtwälzegge		4	1
Wendelstab-Wälzegge		1	4
Flachsternwälzegge (5-zackige Sterne aus Flachseisen)		1	3

*Intensität der Verdichtung (1- gering, 3 – mittel, 4- intensiv)

In (Tab. 21) sind die technischen Daten von Wälzeggen angeführt.

Tabelle 21: Technische Daten von Wälzeggen (vgl. WENNER et.al., BLV 1973, 128)

Bauform	Durchmesser mm	Gewicht in kg pro m AB	Vorfahrt km/h
Drahtwälzegge	300 - 400	50 – 60	8 - 10
Sternwälzegge	250 - 300	80 - 200	5 - 7

Schrägstabwalzen haben als Arbeitswerkzeuge meist runde Stahlstäbe (d=28 mm) und eignen sich besonders für mittelschwere Böden.

Zahnwälzeggen werden mit verschiedenen Zahnformen- und Abständen angeboten. Zahnkrümmler mit großem Durchmesser neigen weniger zu Verstopfungen. Sternwälzeggen erzeugen bei einer sehr rauen Oberfläche eine gute Bodenverdichtung. Eine optimale Arbeit mit Wälzeggen wird erst bei einer ausreichenden Geschwindigkeit (8 bis 12 km/h) erreicht (vgl.: WIRLEITNER et.al., 1996, 56).

3.2.9 Walzen

Walzen haben je nach Form verdichtende, einebnende oder zum Teil auch krümelnde Wirkung. Sie haben Einfluss auf optimale Kapillarverhältnisse und zerdrücken die Schollen an der Oberfläche. In den Ackerbaugebieten haben die Walzen in den vergangenen Jahren an Bedeutung zugenommen.

Bei den Walzen kann zwischen Glattwalzen, Profilwalzen (Ringel-, Stern-, oder Prismenwalze, Cambridgewalze, Cambridge-Croskill-Walze) und Untergrundpackerwalzen unterschieden werden (vgl.: WIRLEITNER et al., 1996, 56).

Walzen mit gezahnten, beweglichen Ringen, wie Crosskill- und Prismenwalze (Sternwalze) oder abwechselnd mit glatten und gezahnten Ringen, wie bei der Cambridgewalze, bewirken eine gute Krümelung des Bodens und reinigen sich selbst. Ein großer Durchmesser bei hoher Masse (bis 500 kg/m AB) wirkt sich positiv auf den Arbeitseffekt aus (vgl.: EICHHORN et.al., 1999, 168).

Ihre verdichtende Wirkung nimmt mit steigender Masse je Einheit Auflagefläche und abnehmender Arbeitsgeschwindigkeit ($< 5 \text{ km/h}$) zu (vgl.: BAUEMER, 1992, 292).



Abbildung 52: Werkzeugelemente der Walzen
(Quelle: ATL, März 1996, 216, 6)

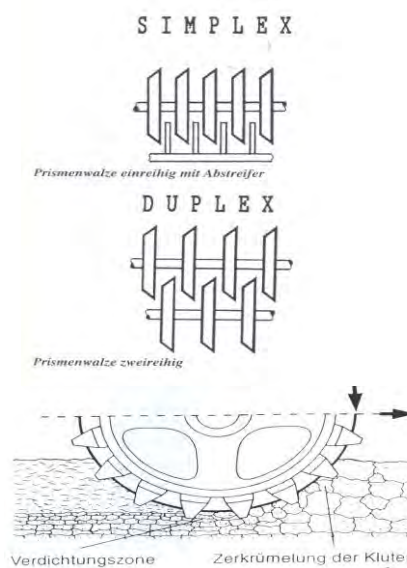


Abbildung 53: Wirkungsweise einer Ackerwalze
(Quelle: EICHHORN et.al., 1999, 168)

In (Tab. 22) sind die technischen Daten der Walzen angeführt.

Tabelle 22: Technische Daten der Walzen (Quelle: ESTLER, et.al., 1984, 131)

Walzen-Bauform	Durchmesser in mm	Gewicht in kg pro m AB
Ringelwalze	350 - 400	200 - 250
Prismenwalze oder Sternwalze	320 - 400	140 – 200
Cambridgewalze	350 - 650	250 - 500
Crosskillwalze	350 - 500	220 - 500
Cambridge – Crosskill - Walze	350 – 650	240 - 480
Glattwalze (Acker)	500 - 650	160 – 200
mit Wasserfüllung		250 - 550

Die Wirkung der Walzen hängt vor allem vom Eigengewicht, dem Durchmesser und der Form des Walzenmantels ab. Um durch den hohen spezifischen Flächendruck auch eine entsprechende Wirkung zu erzielen, benötigt die Walze eine gewisse Einwirkungszeit. Sie sollte daher langsam – mit etwa 4 km/h - gefahren werden (vgl.: ESTLER et.al., 1984, 131 ff).

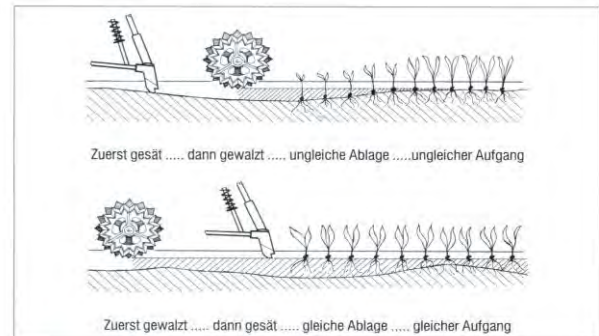
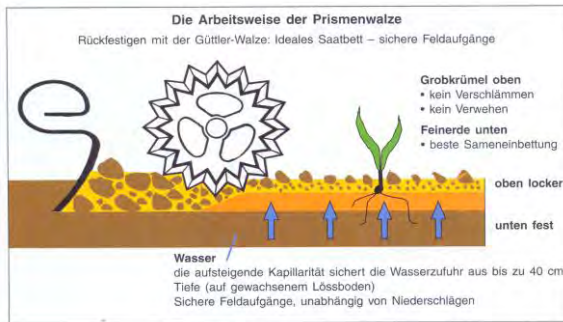


Abbildung 54: Arbeitsweise der Prismenwalze bei der Aussaat (Quelle: Firmenprospekt Güttler)



Abbildung 55: Arbeitsbild der Prismenwalze (Quelle: Firmenprospekt Güttler)

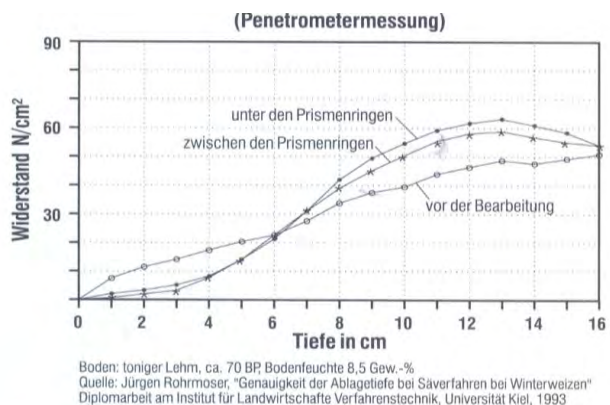


Abbildung 56: Rückverdichtungskurve Prismenwalze (Quelle: Firmenprospekt Güttler)

3.2.9.1 Nachlaufwalzen für Stoppelbearbeitungsgeräte

Dienen dazu, die Tiefenführung zu steuern, den gelockerten Boden rückzuverfestigen und größere Bodenaggregate zu zerkleinern (ESTLER und KNITTEL, 1996). Dadurch wird die Strohrotte beschleunigt, weil nun eine intensivere Kontaktbildung zwischen dem Stroh-Erde-Gemisch stattfindet. Hierdurch wird auch das Auflaufen des Getreides und der Unkrautsamen beschleunigt.

Diese Walzen haben auf die Auflaufraten des Ausfallgetreides und der Unkrautsamen einen wesentlichen Einfluss.

In Versuchen der Firma Monsanto 2003, konnte eine Verdreifachung der Auflaufraten durch eine verstärkte Rückverfestigung erzielt werden (vgl.: GREIN, 2006, 135).

In (Tab. 23) ist die Wirkungsweise der Stoppelbearbeitung auf das Keimen von Unkräutern angeführt.

Tabelle 23: Wirkung der Stoppelbearbeitung auf das Keimen von Unkräutern (Quelle: GREIN, 2006, 135)

Im Versuch eingesetzte Geräte:	Auflaufraten des Ausfallgetreides Pflanzen/m ²
Scheibenegge	63
Scheibenegge + Walze	87
Scheibenegge + Packer	133
Scheibenegge + Walze + Packer	191

Durch eine gute Rückverfestigung wird die Wasserverdunstung vermindert und der Rückzugsraum für Schnecken zerstört. Eine Nachlaufwalze sollte nach Bedarf leicht abzubauen sein (z.B. im Herbst für eine rauere Oberfläche zur Frostgare), unter schlechten Bedingungen (Feuchtigkeit, Sandboden, Tonboden, Steinbesatz, Gewichtsbelastung, usw.) eine gute Arbeit leisten und nicht der begrenzende Arbeitsfaktor sein (vgl.: GREIN, 2006, 135).

Technische Kriterien von Nachlaufwalzen (Quelle: GREIN, 2006, 136)

- | | |
|-----------------------------------|--|
| - Anordnung der Lagerung | - offene od. geschlossene Walzenoberfläche |
| - Durchmesser | - innen- od. außenliegende Drehachsen- |
| - Gewicht der Walze | anordnung |
| - eventuell vorhandene Abstreifer | - Bodenanpassung durch Anbauarme / Walze |
| - Bauform / abtragende Teile | - Form der abtragenden Oberfläche |

Man unterscheidet zwischen offenen und geschlossenen Walzensystemen. Für schwere Böden sind offene Walzen besser geeignet, da sie die Kluten besser zerteilen und nicht so schnell verkleben. Auf leichteren Sandböden eignen sich geschlossene Walzen, da hier die abtragende Oberfläche größer ist, der Rollwiderstand reduziert und das Einfließen von leichtem Sand vermieden wird. (DREESBEIMDIECKE, 2003). Walzen mit Zwischenabstreifern unterliegen einem höheren Verschleiß und Wartungsaufwand. Bei bestimmten Bodenzuständen kann es passieren, dass sie dann als Bremse fungieren und alles zum Stillstand bringen.

Vor allem Stroh in Verbindung mit Erde wirkt oft an Engstellen in der Walze als Bremskeil (BALLING und BÜTTNER, 2002).

3.2.9.2 Sonderformen der Walzentechnik

Die folgenden Abbildungen (57-69) sollen einen Überblick über die derzeit am Markt befindlichen Sonderformen der Walzen geben.



Abbildung 57: Rohrpackerwalze (Lemken)



Abbildung 58: Zahnpackerwalze PW (Amazone)



Abbildung 59: Doppel-ST-S-Walze *) + Nachlaufstriegel (Köckerling)



Abbildung 60: Keilringwalze am Centaur (Amazone)



Abbildung 61: Kerner-Crackerwalze

*)STS= soil to soil



Abbildung 62: Flexi-Coil-Walze



Abbildung 63: Güttler Prismenwalze



Abbildung 64: Cambridgewalze



Abbildung 65: Ringpackerwalze (Schneidring)



Abbildung 66: Front-Reifenpacker



Abbildung 67: HEKO Federstempelwalze



Abbildung 68: Terra Flow-Walze



Abbildung 69: Fliegl- Profilwalze (Eggenwalze)

Tabelle 24: Anforderungsprofil / Bewertungsindex an die Walzentechnik in Stoppelbearbeitungsgeräten
(verändert nach DREESBEIMDIECKE, 2003).

Walzentechnik:	Rohrpackerwalze	Zahnpackerwalze	STS. Walze	Keilringwalze	Kerner Crackerwalze	Flexicoilwalze	Güttler Prismenwalze	Cambridgewalze	Ringpackerwalze	Doppelwalze Stab/Rohr	Reifenpacker	Federstempelwalze
Arbeitskriterien:												
Rückverfestigung tief	0	0	+	++	++	0	0	+	++	+	0	+
Rückverfestigung flach	+	++	++	+++	+++	++	++	+++	0	+++	+++	0
Eignung bei Feuchtigkeit	-	+++	+++	0	+++	0	+	--	+++	0	--	+++
Eignung auf Sandboden	++	0	++	0	+	+	++	0	0	++	+++	+
Eignung auf Tonboden	--	+++	+++	0	+++	-	++	+	+++	0	-	+++
Verschleiß	++	--	++	0	+	++	++	++	++	++	++	+
Belastungsfähigkeit	++	+	++	++	++	0	0	+	0	+	+++	0
Eigengewicht	+	0	+	-	+	++	+	--	+	0	+	+
Verschlämmungsgefahr	++	++	++	+	++	++	++	-	++	+	-	++
Eignung bei Trockenheit	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Zerkleinerung Boden	0	++	+	++	+++	+	++	+++	++	++	+	++
Verstopfungsgefahr	0	+	+++	++	++	+	+++	+++	+++	++	++	+++
Steinbesatz	0	+	0	0	0	0	+	0	+	0	++	-
Preis/Kosten	++	0	+	-	0	+	0	+	+	0	++	0

Bewertungsschlüssel:

+ = geeignet ++ = gut geeignet +++ = sehr gut geeignet
0 = durchschnittlich - = weniger geeignet -- = nicht geeignet

3.2.10 Packer (Krumenpacker, Untergrundpacker, Keilringpacker)

Packer (Abb. 70 und 71) lassen sich überall dort wo die Zeit für ein natürliches Absetzen des Bodens fehlt, für das mechanische Verdichten des Bodens bis in eine Tiefe von ca. 150 – 200 mm einsetzen. Sie werden vorwiegend als Pflugnachläufer und vorzugsweise auf leichteren Böden eingesetzt. Dadurch ergibt sich ein guter Bodenschluss und der Boden erhält die notwendige Tragfähigkeit für den Einsatz von Traktoren und Geräten bei den folgenden Arbeitsgängen.

Typische Packer als Pflugnachläufer besitzen schmale, schwere Stahlringe, die in Abständen von ca. 150 mm auf einer Welle angeordnet sind. Infolge des hohen Eigengewichtes schneiden die keilförmigen Ringe tief in den Boden – auf Sandböden

bis max. 200 mm -, zerdrücken bis in diese Tiefe große Schollen und verfestigen den Boden auch in den unteren Krumenschichten (vgl.: ESTLER et.al., 1984, 132).

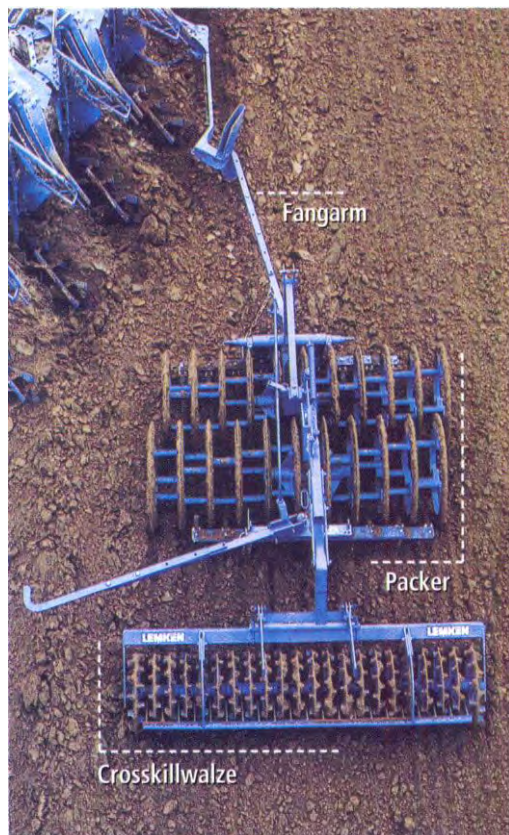


Abbildung 71: Packer bei der Pflugarbeit kombiniert mit einer Crosskillwalze
(Quelle: ATL 2003, 18 Bild 2.1.39)

... optimal .. sehr gut • gut	 Ø 700 mm		 Ø 900 mm		 Ø 700 mm		 Ø 900 mm	
	Einreihiger Packer		Einreihiger Packer		Doppelpacker		Doppelpacker	
Ringprofil	30°	45°	30°	45°	30°	45°	30°	45°
Leichter Boden		•		••		•••		•••
Übergangsbereich		•		••	••	•••		•••
Mittlerer Boden	•		••	•	•••		••	•••
Übergangsbereich			•		•••		•••	••
Schwerer Boden			•		•		•••	•

Abbildung 70: Einsatzbereiche und Eignung von Packern
(Quelle: ATL 2003, 18 Bild 2.1.40)



Abbildung 72: Front-Packer (Werkbild Kverneland)

Je größer der Durchmesser (Abb. 72), desto größer das Gewicht, umso leichtzügiger ist der Packer und desto besser seine Wirkung. Auf humosen Sandboden werden daher Packer mit 900 mm, auf bindigen Böden Packer mit schmalen Ringen und 700 mm Ringdurchmesser bevorzugt.

Der Packer als in den Pflug integrierte Arbeitseinheit:



Abbildung 73: Flex Pack

(Quelle: Werkbild Lemken)

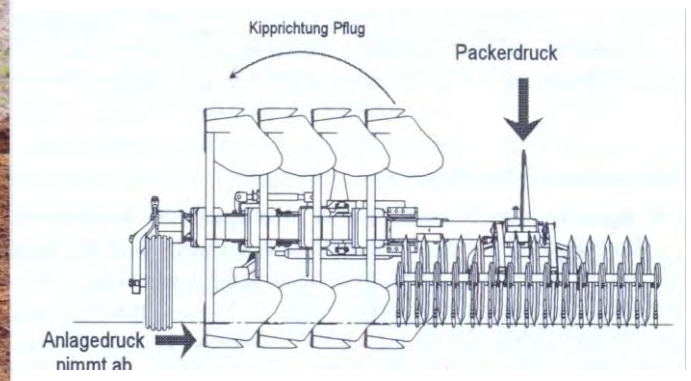


Abbildung 74: Packomat

(Quelle: Werkbild Kverneland)

Der „Flex Pack— (Abb. 73) ist eine in den Pflug integrierte Arbeitseinheit. Im Gegensatz zu den bisherigen Packern, deren Arbeitsbreite vorgegeben ist, passt sich der „Flex Pack—automatisch der Arbeitsbreite des Pfluges an – der Packerrahmen läuft parallel zum Pflugrahmen. So ist ausgeschlossen, dass Ackerstreifen doppelt gepackt werden, falls der Pflug seine maximale Arbeitsbreite nicht ausnutzt. Eine gleichmäßige Rückverfestigung des Bodens ist gewährleistet. Der Packer kommt schon beim Pflügen der ersten Furche, wie auch am Vorgewende und beim Grenzpfügen zum Einsatz (vgl.: Lemken Firmenprospekt 2012).

In (Abb. 75) ist die Wirkung von Absetzfrist und Packer auf den Abscherwiderstand dargestellt.

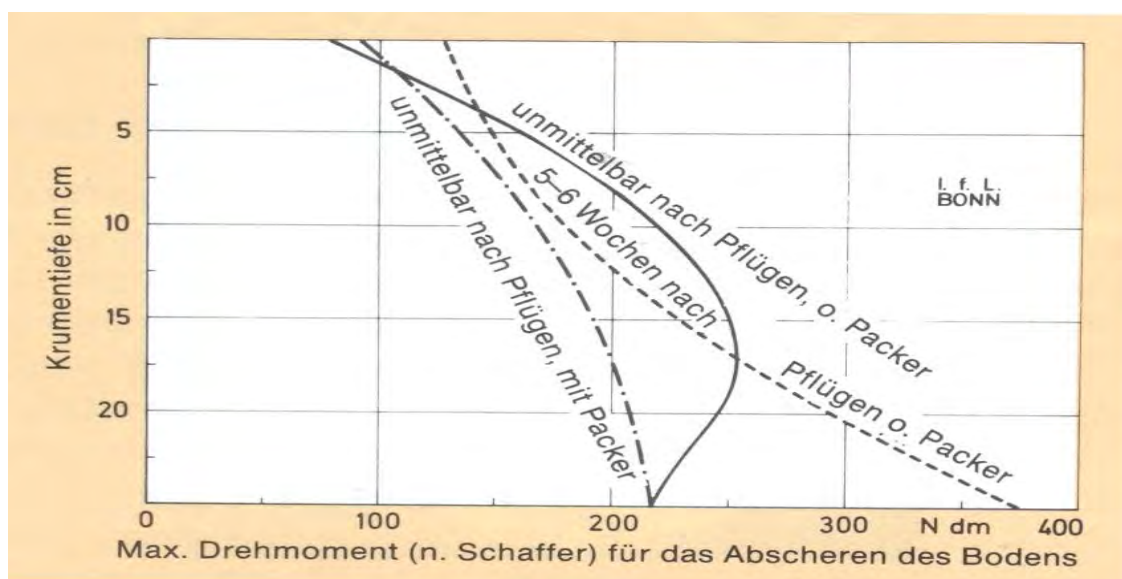


Abbildung 75: Wirkung von Absetzfrist und Packer auf den Abscherwiderstand

(nach Vetter, geändert) (vgl. EICHORN, 1985, 180).

3.2.11 Strohstriegel

Da sich das Stroh bei Verfahren mit reduzierter Bearbeitungsintensität zunehmend oberflächennah konzentriert, behindert eine ungleichmäßige Häckselstrohverteilung über die Fläche eine exakte Saatgutablage, so dass schlechte Feldaufgänge vorprogrammiert sind (BRUNOTTE, 2002). Durch spezielle Schwerstrohstriegel kann die Verteilung der Ernterückstände wesentlich verbessert werden. Dann besteht ein passiver Stroh-Mitnahmeeffekt, der sich maximal auf die eingestellte Tiefe des jeweiligen Gerätes beschränkt.

Neben dem Zerkleinerungs- und Verteilungseffekt haben Strohstriegel (Abb. 76) auch einen gewissen Bodenbearbeitungseffekt. Dadurch wird das Auflaufen von Ausfallgetreide und Unkrautsamen nachhaltig gefördert, besonders bei Ausnutzung der Schattengare, wenn direkt hinter dem Mähdrescher gefahren wird. Durch die ständige Vibration der Zinken (je nach Form unterschiedlich) (Abb. 77) werden Unkrautsamen und Ausfallgetreide aus dem Stroh ausgeschüttelt und mit der Feinerde in Kontakt gebracht (KÖLLER und LINKE 2001) (vgl.: GREIN, 2006, 117 ff).



Abbildung 76: Strohstriegel

(Quelle: Werkbild- Köckerling)

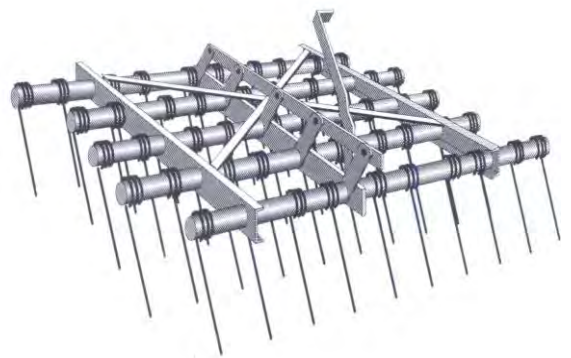


Abbildung 77: Striegelfeld mit geraden, runden Federstahlzinken

(Quelle: Conservation Tillage Systems and Management, 2000, 255)

In (Tab. 25) sind die technischen Daten des Heavy Duty Strohstriegels angeführt.

Tabelle 25: Technische Daten – Heavy Duty Strohstriegel (Quelle: Firma Hatzenbichler)

Arbeitsbreite in m	3 – 27
Anzahl Zinkenreihen	4 – 6 (5 *)
Zinkenabstand (cm)	50
Zinkenlänge (mm)	650
Zinkendurchmesser (mm)	12 – 18 (14 *)
Zinkenverstellung	mech. od. hydraulisch vom Traktor aus
Zinkenmaterial	ölschlussgehärteter Federstahl
Bodenanpassung	parallelogrammgeführte Striegelfelder
Tiefenführung	Stützräder
Arbeitstiefe (cm)	1 – 3
Arbeitsgeschwindigkeit (km/h)	> 14

*) vorwiegend verwendet

3.2.12 Rotorstriegel (Rotary Hoe) - Rollstriegel

Durch den grundsätzlichen Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel wird im ökologischen Landbau der Rotorstriegel (Abb. 78) bzw. der Rollstriegel (Abb. 79) zur Unkrautbekämpfung bei Mulchauflagen > 15 % Bodenbedeckung eingesetzt. Der herkömmliche Striegel – mit einem Strichabstand von 25-35 mm - bietet dann fast keinen Durchfluss mehr für diese Menge an Mulchmaterial.



Abbildung 78: Rotorstriegel - Rotary Hoe(Nordamerika) **Abbildung 79:** Rollstriegel (Europa)

(Quelle: LOP 12/2012, 24)

(Quelle: LOP 12/2012, 26)

Die Zinken des Rotorstriegels (Rotary Hoe) - nicht mit der über die Zapfwelle angetriebenen Fräse zu verwechseln – arbeiten wie kleine Schaufeln, sie stechen den Boden aus. Bindiger Boden oder leichte Krusten unterstützen dieses Arbeitsprinzip.

Beim Rollstriegel mit 6 m Arbeitsbreite sind die sternförmigen Arbeitswerkzeuge paarweise gekoppelt und im Winkel von 30° gegen die Fahrtrichtung angestellt. Die Dichte der Zinken reicht für eine vollflächige Arbeit in einem Arbeitsgang aus. Der effektive Strichabstand liegt bei 50 mm.

Im Unterschied zur Rotary Hoe gleicht die grundsätzliche Arbeitsweise eines Rollstriegels jener eines herkömmlichen Striegels. Letztlich werden die Zinken durch den Boden gezogen, vergleichbar mit einer Egge. Durch das passive Abrollen der sternförmig angeordneten Rollstriegelzinken wird aber das Mulchmaterial im Gegensatz zum Striegel schnell wieder freigegeben, bevor es sich zu größeren Schwaden ansammeln kann (vgl.: HÄNSEL, 2012, 25).

3.2.13 Kettenegge und Messerwalze

Die Kettenegge dient zum Abschaben und Zerfasern von Stoppeln. Um im nachfolgenden Weizen dem Ährenfusarium und dem Maiszünsler vorzubeugen müssen die Maisstoppeln intensiv zerkleinert werden. Die Kelly MPH-Kettenegge (Abb. 80) ist ein geeignetes Werkzeug, welches beispielsweise in Australien eingesetzt wird.

Die Kette kann sich der Bodenkontur anpassen - das Werkzeug besteht aus gegossenen Mulchscheiben.



Abbildung 80: Kelly Kettenegge
(Quelle: LOP 1/2/2012,7)



Abbildung 81: Rolling stalk cutter
(Quelle: LOP 1/2/2012,7)

Die Kettenegge ist für eine flache Stoppelbearbeitung nach Winterweizen, zum Zerkleinern der Maisstoppeln und auch zur Saatbettbereitung geeignet.

Die Messerwalze (rolling stalk cutter) (Abb. 81) aus den USA ist eine Alternative zum klassischen Mulcher.

In (Tab. 26) sind die technischen Daten der Kelly Kettenegge angeführt.

Tabelle 26: Technische Daten der Kelly Kettenegge (Quelle: LOP 1 / 2 / 2012,7)

Arbeitsbreiten in m	6	9	12
Scheibendurchmesser in cm	32		
Gewicht pro Scheibe in kg	12		
Kettengewicht pro m	70		
Winkel der Ketten zur Fahrtrichtung in °	43		
Arbeitstiefe in cm	2 – 6		
Verschleißkosten €/ha	0,7		
Arbeitsgeschwindigkeit in km/h	12 – 14		
Flächenleistung in ha/h bei AB von 9 m	10		
Leistungsbedarf in kW/PS	88/120	147/200	220/300
Dieserverbrauch l/ha	2,5 – 3,5		

3.3 Zapfwellengetriebene Bodenbearbeitungsgeräte

Haupteinsatzgebiet der zapfwellenbetriebenen Geräte ist die Saatbettbereitung auf schwerer zu bearbeitenden Böden. Eine zunehmende Bedeutung haben sie in Verbindung mit der pfluglosen Bodenbearbeitung erlangt (vgl. EICHORN et.al., 1999, 169).

In (Abb. 82) ist die Systematik von zapfwellenbetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten dargestellt.



Abbildung 82: Systematik zapfwellenbetriebener Bodenbearbeitungsgeräte (Quelle: ATL 2003, 16)

3.3.1 Bodenfräse, Zinkenrotoren (Rotoregge, Rotorkrümler, Rotary tiller)

Auf einer quer zur Fahrtrichtung liegenden Welle sind die Werkzeuge spiralförmig montiert (Abb. 83). Die Zerkleinerung der Schollen und Kluten geschieht mittels schneidend-schlagender (Messerfräsen), stechend-schlagender (Zinkenfräsen) drückender und reibender Werkzeuge (Abb. 84) (vgl.: ESTLER et.al., 1984, 138).

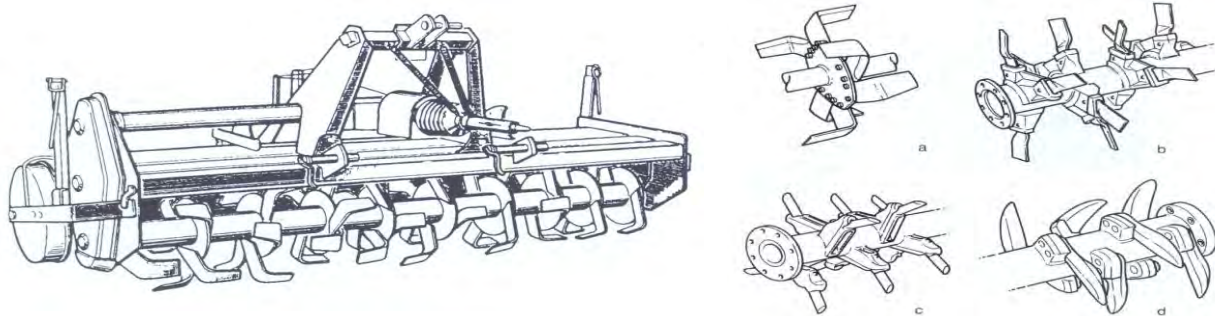


Abbildung 83: Bodenfräse (Quelle: EICHHORN et.al., 1983, 138)

Abbildung 84: Messer u. Zinkenformen von Bodenfräsen und Zinkenrotoren

a = Fräse rotor mit Flügel messer, b = Zinken rotor mit Flachstahl

c = Rundstahl, d = Profilstahl (Quelle: EICHHORN et.al., 1999, 171)

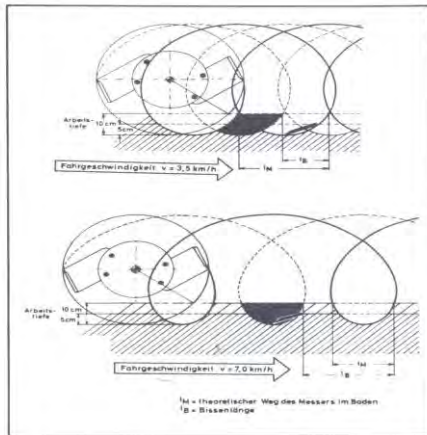
In (Tab. 27) sind die technischen Daten von Bodenfräsen angeführt.

Tabelle 27: Technische Daten von Bodenfräsen (vgl.: ESTLER et.al., 1983, 138)

Arbeitsbreiten (m)	1,2 bis 6
Arbeitstiefe (cm)	10 (max. 15)
Rotordrehzahl (1/min) (2-4 Gänge od. Wechselzahnräder)	100 – 400
Rotordurchmesser (mm)	ca. 500
Werkzeugzahl in einer Ebene	2 – 6
Arbeitsgeschwindigkeit (km/h), (m/s)	5 – 7 , ca. 1,7
Flächenleistung (ha/h) pro m AB	0,4
Leistungsbedarf (kW/PS pro m Arbeitsbreite)	25-30 / 34-40

Die Werkzeuge schneiden und reißen Bodenstücke ab, beschleunigen sie und lassen sie gegen ein Abdeckblech prallen. Dadurch wird der Boden maximal gelockert, weitgehend gemischt, aber je nach Bissengröße und Umdrehungsgeschwindigkeit der Fräswelle auch sehr stark zerkleinert. Wenn die Zerkleinerung sehr groß ist, sackt das Lockerungsgefüge schneller als nach Grubbern oder Pflügen. Die kleinen Aggregate an der Bodenoberfläche sind verschlammungsgefährdet. In Kombination mit vor- oder nachlaufenden Grubberwerkzeugen ist sie ein sehr wirksames Werkzeug für den Stoppelumbruch, wenn z.B. große Mengen an Ernteresten in schwer bearbeitbaren Böden eingemischt werden sollen. Auch für die ganzflächige oder auf Reihen

beschränkte Saatbettbereitung in Verfahren mit Mulchdecken kann sie gut eingesetzt werden (vgl.: BAUEMER, 1992, 291).



Um eine ganzflächige Bearbeitung des Bodens zu erreichen muss die Umfangsgeschwindigkeit der Messer mehr als dreimal so groß sein wie die Fahrgeschwindigkeit.

$$l_B = (v \cdot 60) / (n \cdot z)$$

l_B = Bissenlänge [m]

v = Fahrgeschwindigkeit [m/s], n = Rotordrehzahl [min⁻¹]

z = Werkzeuge in einer Ebene (2-6 Messer)

Abbildung 85: Bewegungsbahnen der Fräsmesser bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (Quelle: ESTLER, 1984,141).

Es gibt auch Gegenlaufräsen (Abb. 86), deren Fräswelle sich entgegen der Laufrichtung der Traktorräder bewegt (vgl.: ESTLER et.al., 1984, 138).

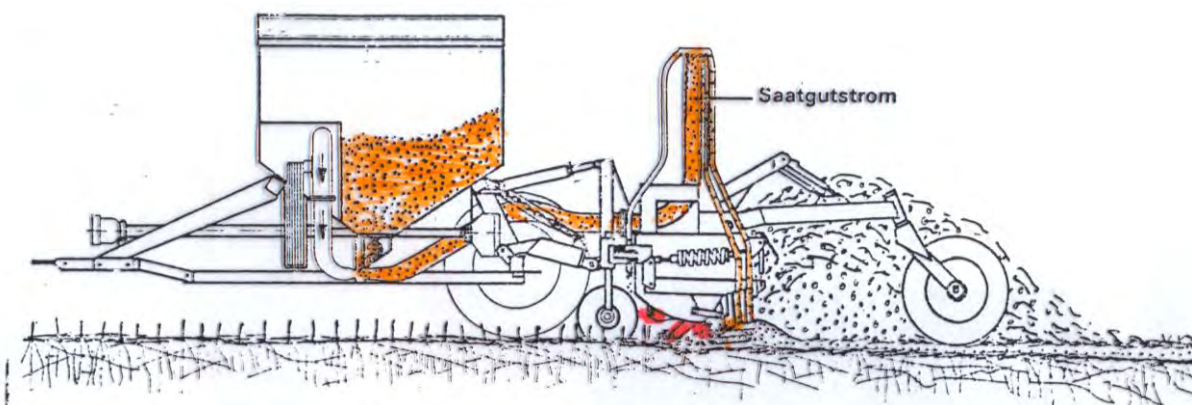


Abbildung 86: Bestellung unter dem Bodenwurf einer Fräse (Quelle: HEEGE, 1985,113)

Das Saatgut wird in den fließenden Erdstrom über eine Säschiene geworfen, die das Saatgut über die gesamte Arbeitsbreite breitflächig (Breitsaat) auf der Bearbeitungsgrenze des Fräsrators ablegt. Arbeitsbreite = 6 m, Leistungsbedarf 140 kW/190 PS Die Bodenfräse kann sowohl für die Grundbodenbearbeitung, als auch für die Stoppelbearbeitung ohne Vorbereitung und für die Oberflächen-Nachbearbeitung verwendet werden. Für den Einsatz der Rotoregge ist dagegen eine Vorbereitung des

Bodens mit beispielsweise Pflug, Grubber, etc. erforderlich (vgl.: SCHÖN et.al., 1998, 198).

Die Bodenfräse ist ein vielseitig einsetzbares Bodenbearbeitungsgerät für schwierige Bedingungen. Hoher Leistungsbedarf, geringe Flächenleistung und Verschlämmungsgefahr schränken den Einsatzbereich ein (vgl.: WIRLEITNER et.al., 1996, 59).

3.3.2 Kreiselegge, Kreiselgrubber

Bei Kreiseleggen sowie Kreiselgrubber (Abb. 87) rotieren die Werkzeuge vertikal (vgl. BAUEMER, 1992, 291).

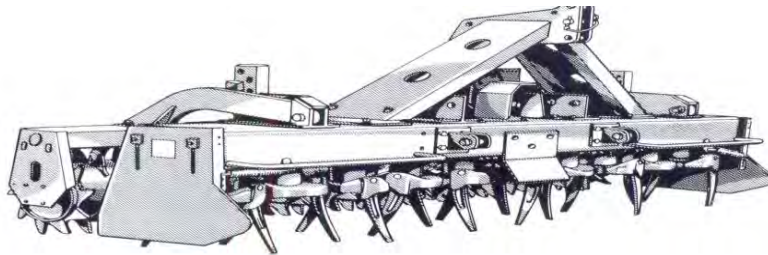


Abbildung 87: Kreiselegge mit Packerwalze (Quelle: MEINERS, 1997, 192)

Die Zinken bewegen sich bei der Arbeit entlang einer horizontalen Kreisbahn, wobei sich die Bahnen benachbarter Kreisel geringfügig überschneiden (Abb. 89) und die Drehrichtung derselben entgegengesetzt ist. Durch die Vorfahrt des Traktors beschreiben die Zinken im Boden eine zyклоide Bahn.

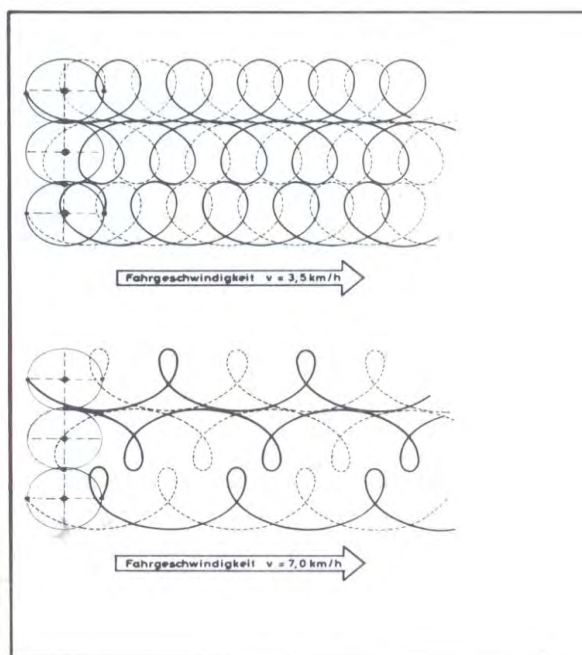


Abbildung 89: Bewegungsbahnen der Zinken einer Kreiselegge

bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (3,5 und 7,0 km/h) (Quelle: ESTLER, 1984, 171)



Abbildung 88: Kreiseleggenzinken schleppend (Quelle: ESTLER, 1984, 171)

Durch die verschiedene Zinkenform kann die schlagende Wirkung beeinflusst werden. Runde, schleppende Zinken eignen sich für leichte Böden, messerförmige Zinken für schwere Böden und zur Einarbeitung von Pflanzenresten.

Auf Griff gestellte Messerzinken werden beim Kreiselgrubber eingesetzt damit ist auch eine Stoppelbearbeitung möglich (vgl.: EICHHORN, 1999, 170).

Die Kreiselegge wird vorwiegend nach einer ordnungsgemäßen Grundbodenbearbeitung eingesetzt, in zunehmendem Umfang auch in Kombination mit z.B. Schäl-, Kurz- oder Flügelschargrubber, Wälzegen z.B. Rohr-Stabwalze, (trockene, nicht klebrige Böden), oder Formwalzen wie Zahnpackerwalze, (für alle Bodenarten geeignet), Krumenpackerwalze (schwere, tonhaltige Böden) oder Schneidpackerwalze (steinige, feuchte Böden).

Mit dem Kreiselgrubber ist darüber hinaus auch der Einsatz beim Stoppelumbruch ohne Vorbearbeitung durch Pflug oder Grubber möglich (vgl.: SCHÖN et.al., 1998, 199). Der Mulchsaat – Zinken (Abb. 90) ermöglicht durch Umstecken (Abb. 91) die Verwendung des gleichen Gerätes sowohl als Kreiselegge wie auch als Kreiselgrubber.

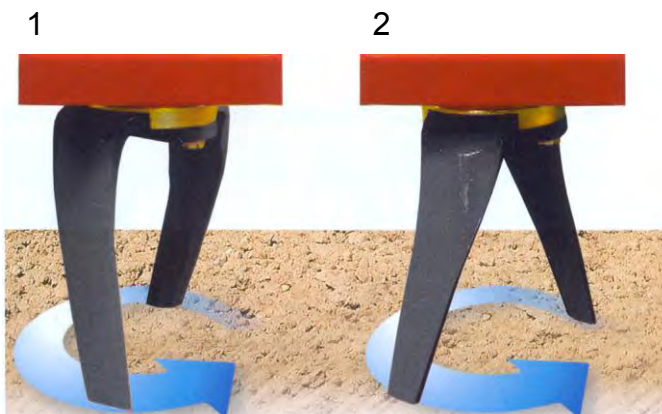


Abbildung 90: „Quick Fix— Zinkenschnellwechsel
(Quelle: Prospektunterlagen Firma Pöttinger)



Abbildung 91: Montage Werkzeug los
mit Bolzen und Klappstecker
(Quelle: Firma Pöttinger)

1 auf Griff gestellt = Kreiselgrubber, guter Bodeneinzug, gute Saatbettstruktur, Arbeitstiefe bis 28 cm.

2 schleppend, konventionelle Bodenbearbeitung

(Quelle: Werkbild Pöttinger „LION“)

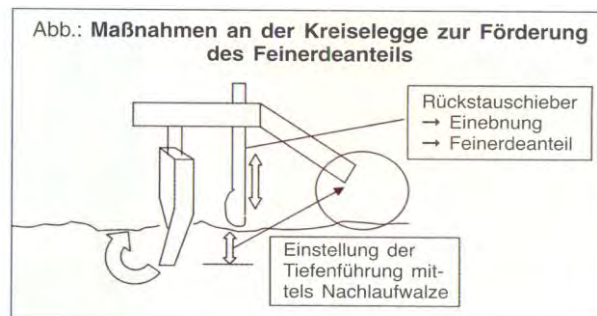


Abbildung 92: Praktischer Einsatz der „LION—als Kreiselgrubber mit Packerwalze beim Einarbeiten der Winter-Zwischenfrucht (Quelle: Werkbild Pöttinger)

In (Abb. 93) sind die möglichen Kreisdrehzahlen angegeben, welche bei der „LION—3001 durch umstecken der Zahnräder, bei der „LION—4001, mittels Schaltgetriebe eingestellt werden können.

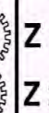
							
	26	39	29	36	31	34	Z 1
	39	26	36	29	34	31	Z 2
U/min (rpm)	540	343	185	285	209	251	
	750	212	256	395	290	349	
	1000	283	342	527	387	465	



Abbildung 93: Mögliche Kreisdrehzahlen „LION—3001/4001

Mittels Wechselzahnräder oder Schaltgetriebe kann die Bodenbearbeitungsintensität genau bestimmt werden (Quelle: Pöttinger Firmenprospekt 2012)

Der Mulchsaat – Zinken (Abb. 90) kann sowohl vorgreifend als auch schleppend eingesetzt werden. Sind die Zinken auf „Griff—gestellt wird der Boden von unten aufgebrochen und die Ernterückstände nur an der Bodenoberfläche verteilt. Feine Erdteile konzentrieren sich im Saatbereich, gröbere Bodenteile und Ernterückstände bleiben an der Oberfläche und schützen vor Erosion (Pöttinger Firmenprospekt 2012).

In (Tab. 28) sind die technischen Daten von zapfwellenbetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten angeführt.

Tabelle 28: Technische Daten von zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten
(vgl. SCHÖN et.al., 1998, 199)

Gerät	Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Arbeitstiefe [cm]	Leistungsbedarf [kW/m]	Flächenleistung [ha/h je m AB]
Bodenfräse	5 – 7	bis 15	18 – 30 *)	0,35 – 0,50
Rotoregge	6 – 7	bis 15	15 – 20	0,45 – 0,50
Kreiselgrubber	5 – 7	bis 20	15 – 30 *)	0,35 – 0,50
Kreiselegge	6 – 7	bis 10	15 – 18	0,45 – 0,50

*) Höhere Werte gelten für nicht vorbereiteten Boden.

In (Tab. 29) ist der relative Leistungsbedarf zur Erreichung eines bestimmten Zerkleinerungsgrades angeführt.

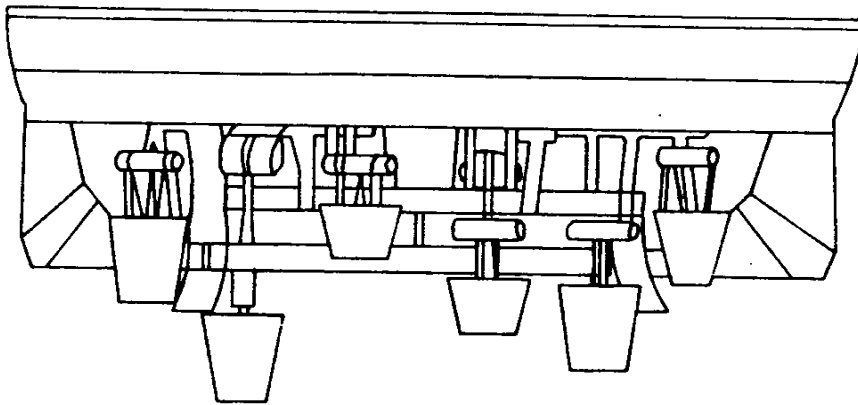
Tabelle 29: Relativer Leistungsbedarf zur Erreichung eines bestimmten Zerkleinerungsgrades
(100 % = Mittelwert) - nach ESTLER

Gezogene Sekundärbodenbearbeitungsgeräte:	Fahrgeschwindigkeit (km/h)	Leistungsbedarf (kW/m)
Feingrubber + Wälzegge	8 - 10	15 – 20
Zinkenegge + Doppelwälzegge	8 - 10	13 - 17
Scheibenegge	6 - 8	15 - 30
Spatenrollegge	10 – 12	15 – 18
Doppelzinkenrotor (Dyna Drive)	10 – 12	15 – 20
Gezogene und zapfwellengetriebene Sekundärbodenbearbeitungsgeräte im Vergleich:		Mittelwert = 100 %
Feingrubber + Wälzegge		65
Fräse		110
Kreiselegge		160
Rüttelegge		65

3.3.3 Spatenmaschine (stechend-werfend)

Die Spatenmaschine (Abb. 94) wird über die Zapfwelle angetrieben und ahmt die Bewegung des Handspatens nach. Das Spatenblatt sticht einen Erdziegel ab, nimmt ihn hoch und legt ihn nach einer Drehung um 180° ab. Eine Lockerung und Durchmischung des Bodenziegels in sich erfolgen nicht, es sei denn durch den Aufprall des Bodenziegels auf den Boden bzw. am Prallblech.

Die Vorteile dieses Gerätes bestehen darin, dass die Ziegel vom Untergrund abgerissen, nicht abgeschnitten werden und das Gerät Traktorspur überdeckend arbeitet (keine Pflugsohlenverdichtung). Es kann zur Grundbodenbearbeitung – als Alternative zum Pflug - eingesetzt werden. Tiefenlockerung ist möglich.



Arbeitsprinzip

Abbildung 94: Spatenmaschine mit stechend-werfenden Arbeitswerkzeugen
CELLI (Ital. Hersteller) Quelle: (vgl.: SCHULTE KARRING, 1995, 81)

In (Tab. 30) sind die technischen Daten der Spatenmaschine angeführt.

Tabelle 30: Technische Daten der Spatenmaschine (Quelle: Firmenprospekt CELLI Typ GR 190)

Arbeitsbreite cm	257 - 349
Eigenmasse kg	2520 – 3050
Arbeitstiefe cm	40 + 20 (mit Verlängerung)
Wechselgetriebe	2 Stufen
Arbeitsgeschwindigkeit (km/h), (m/s)	2 – 4, 0,55 – 1,11
Flächenleistung (AB 3,5 m + 0,83 m/s) (ha/h)	1
Leistungsbedarf (kW/PS)	73-110 / 100-150

Die Nachteile der Spatenmaschine – im Vergleich zum Pflug - sind der höhere Anschaffungspreis, der höhere Verschleiß, nur grobe Krümelung, aufgrund größerer Schollen als beim Pflügen, teilweise unbefriedigende Einarbeitung von Ernterückständen oder Stallmist und die geringe Flächenleistung.

3.4 Gerätekombinationen

Die heute üblichen Traktor-Motorleistungen machen eine zeit- und energiesparende Kopplung von Bodenbearbeitungswerkzeugen möglich. In (Abb. 95) ist die Systematik von Gerätekombinationen dargestellt.

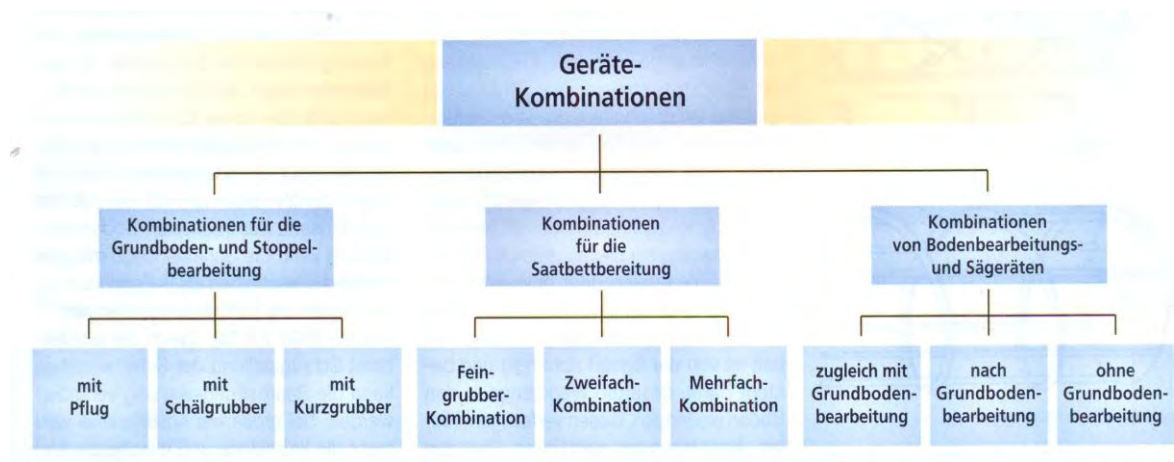


Abbildung 95: Systematik Gerätekombinationen (Quelle: Agrartechnische Lehrbriefe, 2003, 16)

Mit einer Kombination können in einer Überfahrt mehrere Arbeitsgänge gleichzeitig erledigt werden. Damit werden Überfahrten eingespart und das Risiko von unerwünschten Bodenverdichtungen vermindert (vgl.: BAUEMER, 1992, 293).

Bei den vielen unterschiedlichen Aufgabenstellungen und Einsatzbedingungen ist eine Universalkombination nicht in der Lage, allen speziellen Anforderungen an Schlagkraft und Arbeitsqualität gerecht zu werden. Deshalb gibt es eine große Typenvielfalt an Gerätekombinationen (Einteilung: ATL, 2003, 16).

In einer Gerätekombination müssen solche Geräte zusammengestellt werden, die die Arbeit möglichst in einem Arbeitsgang erledigen, ihre optimale Wirkung bei etwa gleicher Fahrgeschwindigkeit erzielen und deren Einzelgeräte unabhängig voneinander bei Bedarf belastet werden können. Diese Kombinationen sind der Traktor - Zugleistung anzupassen.

3.4.1 Kombinationen für die Grundboden- und Stoppelbearbeitung

Der Pflugnachläufer (Packer) wird beim Pflügen mitgeführt. Durch das Pflügen wird der Boden gelockert, gekrümelt und gleichzeitig vergrößert sich sein Porenvolumen. Dadurch gelangen Luft und Wärme in den Boden, die Bodenkapillare werden unterbrochen. Um das allmähliche Absetzen des Bodens zu beschleunigen und die Austrocknung zu minimieren wird der Pflugnachläufer eingesetzt. Dieser kann mit unterschiedlichen Nachlaufgeräten, wie Crosskillwalzen oder Krümmler, kombiniert werden. Durch die Rückverfestigung des Bodens werden grobe Kluten zerkleinert und in der Krummentiefe für das Saatbett notwendige Kapillarwirkung wieder hergestellt. Die Rückverfestigung des Bodens wird vom Packergewicht und dem Ringprofil bestimmt. Eine Crosskillwalze – auch als „Schollenbrecher“ bezeichnet – zertrümmert intensiv grobe Schollen an der Ackeroberfläche. Packer im Frontanbau sollen den Boden zwischen den Traktorspuren rückverfestigen (vgl.: SCHÖN et.al., 1998, 202).

Nachläufer zum Schäl- und Kurzgrubber haben die Aufgabe, den bearbeitenden Boden zusätzlich zu krümeln, zu mischen, einzuebnen und rückzuverfestigen. Je nach Aufgabenstellung müssen sich die Nachläufer auch miteinander kombinieren sowie in der Höhe verstellen lassen. Bei geeigneter Kombination der Nachläufer kann in einer Überfahrt die gewünschte Bodenbearbeitung plus Einmischung der Ernterückstände erreicht werden

(s. Kapitel 3.2.9. Nachlaufwalzen für Stoppelbearbeitungsgeräte) (vgl.: SCHÖN et.al., 1998, 202 ff).

3.4.2 Kombinationen für die Saatbettbereitung

Gerätekombinationen werden hauptsächlich für die Saatbettbereitung verwendet.

Die Aufgaben von solchen Kombinationen sind vielfältig, sie sollen den Boden einebnen, fein krümeln, lockern, oft aber auch festigen. Die Geräte müssen sich in ihrer Wirkung ergänzen.

2 – 3 hintereinander angeordnete Geräte bilden eine solche Kombination. Als Vorlaufgeräte werden meist Zinkengeräte verwendet (Feingrubber, Eggen, usw.), die den Boden einebnen, lockern, mischen und vorkrümeln.

Als Nachlaufgeräte werden meist Wälzeggen (Abb. 96) mit verschiedenen Arbeitswerkzeugen, die den Boden fein krümelnd und auch verfestigen (Packerwalzen, usw.) verwendet (vgl.: WIRLEITNER et.al., 1996, 61).

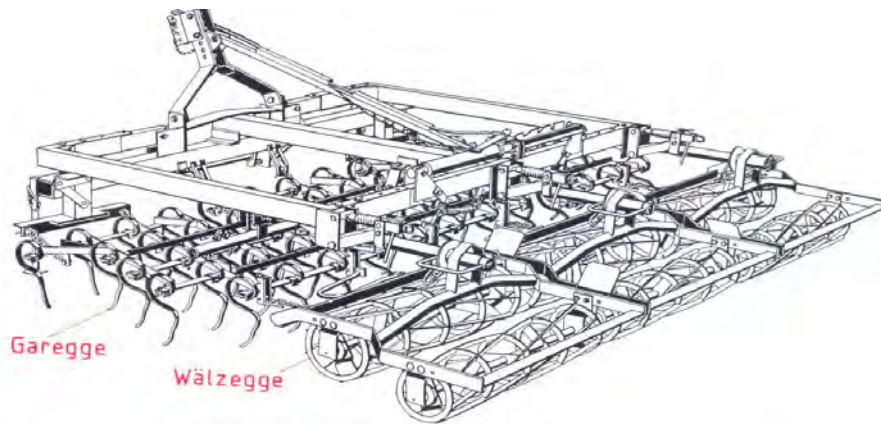


Abbildung 96: Garegge mit Wälzegge als Nachlaufgerät (Quelle: MEINERS, 1997, 191)

Nachteilig sind die begrenzte Arbeitstiefe mit 10 cm und die Einsetzbarkeit nur auf leichteren und mittleren Böden. Unter Umständen ist die Rückverfestigung des Bodens zu gering. Mit Mehrfachkombinationen kann ein feinkrümeliges, gleichmäßig tiefes Saatbett für Feinsämereien wie Zuckerrüben und Raps hergestellt werden.

Die optimale Arbeitsgeschwindigkeit beträgt 8–10 km/h (vgl.: SCHÖN et.al., 1998, 203 ff).

3.4.3 Kombinationen von Bodenbearbeitungs- und Sägeräten

(„Minimal-Bestelltechnik“)

Bodenbearbeitung und Saat werden in einem Arbeitsgang (Abb. 97) ausgeführt. Wird nach der Winterfurche bestellt, spricht man von einer reduzierten Bodenbearbeitung. Beim pfluglosen Ackerbau wird nach der Ernte zum Teil in die Ernterückstände oder gar in den bewachsenen Boden gesät.

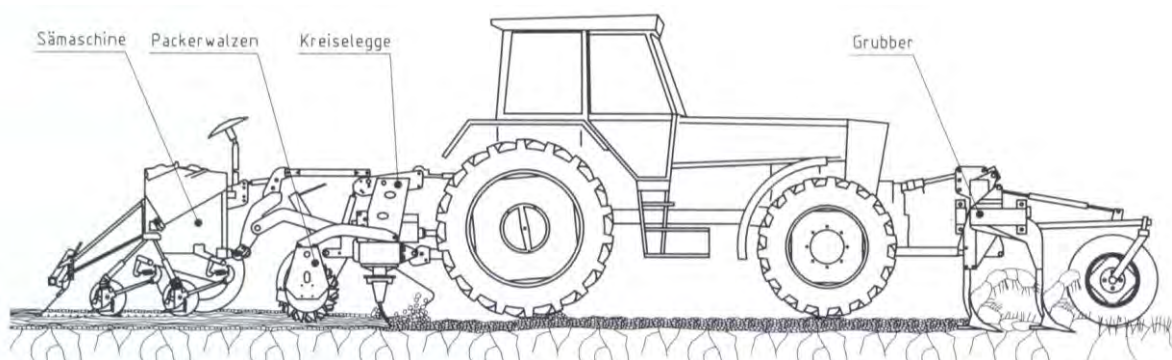


Abbildung 97: Gerätekombination zur Bodenbearbeitung und Aussaat (Quelle: MEINERS, 1997, 190)

Mit dieser Bearbeitungstechnik werden die Arbeitsgänge stark reduziert, die Fahrspuren vermindert, der Boden dadurch weniger verdichtet. Außerdem wird die Arbeitszeit und der Energieaufwand reduziert, das Wetterrisiko verringert und die Kosten gesenkt (vgl.: SCHÖN et.al., 1998, 205 ff).

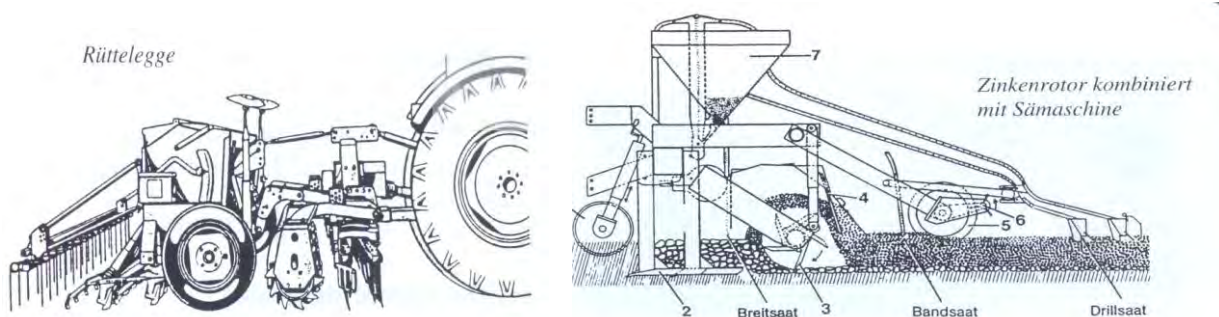


Abbildung 98: Bestellkombinationen (Rütlegge, Zinkenrotor) (Quelle: GEHRING, 2001, 111)

Ist der Boden nicht allzu schwer, so verrichten die quer zur Fahrtrichtung und gegen- einander laufenden Zinkenbalken der Rütlegge (Abb. 98) gute Krümelungsarbeit (vgl.: GEHRING, 2001,111).

Mit Bestellsaatmaschinen lässt sich eine befriedigende Arbeitsqualität im Allgemeinen nur nach einer sorgfältig durchgeführten Grundbodenbearbeitung (Pflugfurche, Grubberarbeit) erzielen. Bevorzugt werden Kreiseleggen (Tab. 31), Zinkenrotoren, Fräsen (mit Untersetzungsgetriebe) und Drillmaschinen verwendet. Sie ermöglichen auch auf tonigen, schwer bearbeitbaren Böden und bei ungünstigen Bodenverhältnissen eine ordnungsgemäße Feldbestellung (vgl.: SCHÖN et.al., 1998, 207).

Tabelle 31: Kreiselegen und Sämaschinen-Kombinationen im Vergleich (Quelle: Fortschrittlicher Landwirt, Heft 20-2007)



Marke	Amazone	Kverneland	Lemken	Lemken	Pöttinger	Regent	Vogel&Noot
Typenbezeichnung	KG 303	NGH 301	Zirkon 10/300	Zirkon 10/301	Lion 4001	Orbit m 3000	Arterra MS 300
Arbeitsbreite in m	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00
Transportbreite in m	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00
Anzahl der Werkzeugträger	10	12	12	12	14	12	12
Art der Werkzeuge	Zinken auf Griff	Zinken auf Griff	Messerzinken	Messerzinken	Universalzinken	Messerzinken	Messerzinken
Nachlaufwalze	Keilringwalze	Crackerwalze	Trapezpackerwalze	Zahnpackerwalze	Packerwalze	Zahnpackerwalze	Packerwalze
Gesamtgewicht in kg	1787	2800	2860	2360	2500	1400	1425
Aufgesatteltes Gerät/Sämaschine	Drillsämaschine AD 303 Special	Accord i-Drill PRO	Solitair 9/300	Drillmaschine Saphir 7/300	Drillmaschine Vitasem 401	Seedstar RSM 300	Masterdrill A 300
Art der Saatgutzuteilung	mechanisch	pneumatisch	pneumatisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	pneumatisch
Anzahl d. Säschar/Abstand	24/12,5	24/12,5	24/12,5	24/12,5	32/12,5	24/12,5	24/12,5
Art der Säschar	Einscheibenschar	CX-Mulchschar	Doppelscheibenschar	Doppelscheiben mit Druckrollen	Einscheibenschar	Einscheibenschar	Doppelscheibenschar
Scharbelastung in kg	35	80	40–50	40–50	20	—	—
Saattankinhalt in l	450	1200	1100	800	1000	500	850
Kraftbedarf in kW	100	105	110	90	100	90	100
Listenpreis in € (inkl. MwSt.)	37.572,—	50.100,—	46.980,—	31.980,—	40.100,—	29.000,—	39.115,—

Werden Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Aussaat in einem Arbeitsgang erledigt, spricht man von Bestellsaat. Bei einer Zusammenfassung von Arbeitsgängen von einer „minimalen—Bodenbearbeitung zu sprechen ist nur dann gerechtfertigt, wenn man damit die verminderte Überrollhäufigkeit des Ackers mit dem Traktor meint, die mit der Kopplung von Geräten erreicht wird (vgl.: BAUEMER, 1992, 294).

Für eine pfluglose Getreide- oder Zwischenfruchtbestellung werden vorwiegend zapfwellengetriebene Geräte mit an- oder aufgebauter Sämaschine eingesetzt (vgl.: KÖLLER und LINKE, 2001, 53).



Abbildung 99: Kreiselgrubber-Sämaschinen-Kombination (Schema)

Grundbodenbearbeitung und Aussaat in einem Arbeitsgang (Quelle: Amazone)

Zapfwellengetriebene Bestellkombinationen (Abb. 99) werden in unterschiedlichen Ausführungen mit Arbeitsbreiten bis 6 m angeboten. In entsprechend stabiler Ausführung leisten sie auch auf harten und steinigen Böden eine gute Zerkleinerung des Bodens ohne übermäßigen Verschleiß und Bruch. Begrenzend für den Einsatz derartiger Kombinationen ist die Sätechnik. Bedingt durch die mehr oder weniger großen Massen von Pflanzenresten auf der Bodenoberfläche ist die Sätechnik von entscheidender Bedeutung für den Erfolg konservierender Bestellverfahren.

Besonders bei großen Strohmenngen auf dem Feld bei gleichzeitig sehr trockenem oder sehr feuchtem Bodenzustand kommt es darauf an, das Saatgut so abzulegen, dass trotz Pflanzenresten eine optimale Saatgutplatzierung gewährleistet ist.



Abbildung 100: Bestellkombination
(Quelle: Werkbild Amazone)



Abbildung 101: Bestellsaat
(Quelle: LOP SH I, 2011, 6)

Die (Abb. 100) zeigt eine Bestellkombination beim Einsatz nach einer Pflugfurche mit Kreiselgrubber KG mit 3-Gang-Schaltgetriebe und Fronttank-Sämaschine „Amazone Avant—Arbeitsbreite = 6 m (auch 4 od. 5 m). Erforderlicher Leistungsbedarf 220 kW/300 PS (Quelle: Amazonen Werke).

Die (Abb. 101) zeigt eine Bestellsaat mit Frontgrubber, Kreiselegge und Aufbau-sämaschine. Wegen der ganzflächigen Bodenbearbeitung handelt es sich hier um keine Direktsaat (vgl. LOP SH I, 2011, 6).

In (Abb. 102) sind die möglichen Varianten der Bodenbearbeitung, der Saatbettbereitung und Aussaat dargestellt.

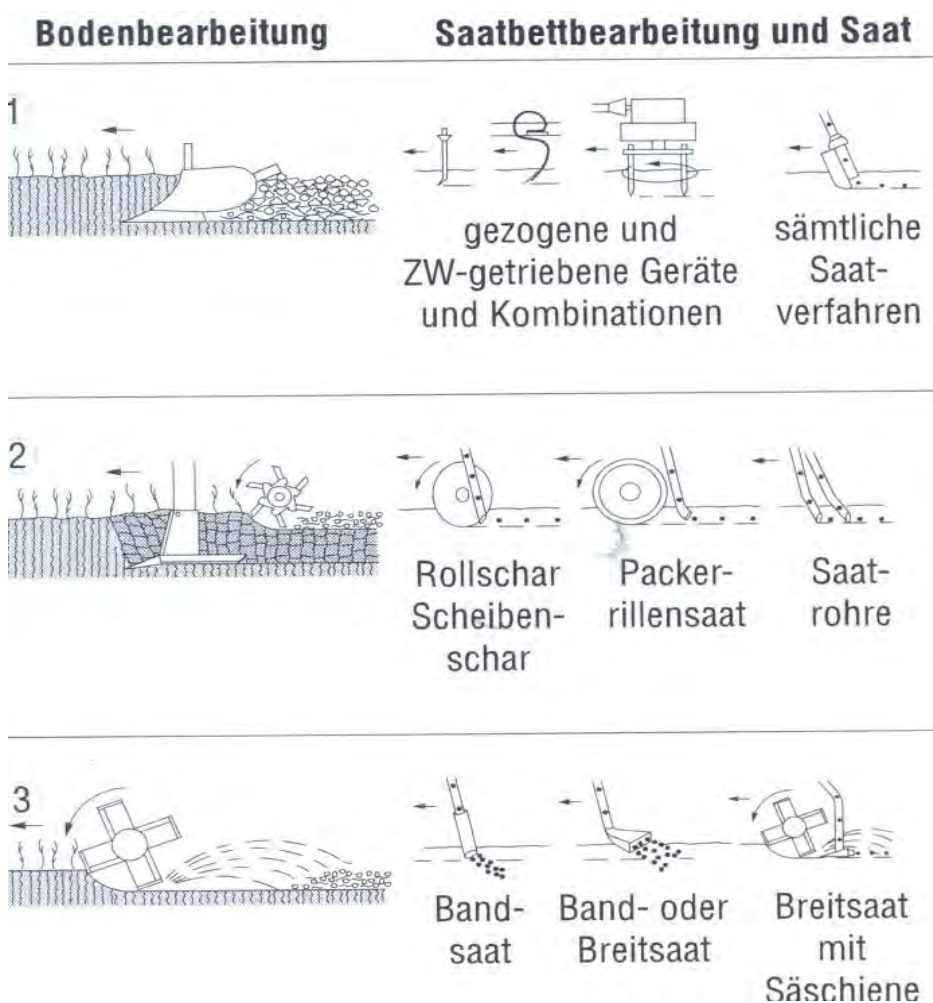


Abbildung 102: Geräte für Saatbettbereitung und Saat nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung (vgl.: SCHÖN, 1998, 211).

Im Rahmen der konservierenden Bodenbearbeitung werden unterschiedliche technische Lösungen für die Mulchsaat angeboten. Für die Direktsaat sind spezielle Maschinen erforderlich (vgl.: KÖLLER und LINKE, 2001, 55 f).

3.5 Technik für die Mulch- und Direktsaat

Um für das abgelegte Saatgut bei der Mulch- und Direktsaat optimale Bedingungen für die Keimung und das spätere Pflanzenwachstum zu schaffen, bedarf es besonderer Ablage- und Einbettungstechniken in den Boden. Im Wesentlichen kommt es auf die bei den Sämaschinen verwendete Scharform an, die für eine Aussaat in ungepflügte Böden verwendet wird (vgl.: HEINZLMAIER, 2003,17).

Für die Mulchsaat von Getreide (und anderen Körnerfrüchten), das heißt die Saat in eine bearbeitete Fläche mit Pflanzenresten im Saatbereich, werden herkömmliche Sämaschinen überwiegend mit speziellen schräg angestellten Einscheibenscharen oder mit Doppelscheibenscharen ausgerüstet (KÖLLER und LINKE, 2001, 57).

Wo Mulchsaat mit Lockerung erfolgt, kann im Prinzip jedes System erfolgreich eingesetzt werden. Scheibenscharsysteme mit einem Schardruck von 100 kg sind vorherrschend, da diese auch die gewohnten engen Reihenabstände von 12,5 cm zulassen, dies entspricht 8 Reihen/m Arbeitsbreite. Weit verbreitet sind inzwischen auch die Grubbersämaschinen oder Airseeder, die eine ganzflächige Bodenbearbeitung ermöglichen. Alle diese Maschinen sind universell einsetzbar. Universalsämaschinen ermöglichen es auch hinter dem Pflug arbeiten zu können.

Bei Direktsaat und Mulchsaat ohne Lockerung kommen ausschließlich schwere Scheibenschare bzw. Dreischiebenschare sowie Zinkenschare zum Einsatz (vgl.: N.N , 2011, 17 f).

Bei Direktsaatmaschinen werden deutlich größere Reihenabstände zwischen 15-20 cm, teilweise bis zu 25 cm verwendet, Das System „Weite Reihe—im Ökolandbau arbeitet mit Reihenabständen zwischen 30-50 cm. Andererseits gibt es auch Maschinen, die eine Breit- und Bandsaat ermöglichen. Reihenweiten bis zu 25 cm sind bei konservierender Bodenbearbeitung, ohne signifikante Ertragseinbußen vertretbar (vgl.: N.N, 2011, 19).

Im Folgenden werden die Säschar-Systeme für die Mulch und Direktsaat beschrieben und dargestellt.

3.5.1 Scheibenschare

3.5.1.1 Einscheibenschare

Einscheibenschare (Abb. 103 und Abb. 104) werden in einem Winkel von $5 - 10^\circ$ (KÖLLER und LINKE, 1993) zur Fahrtrichtung angeordnet und erzeugen dadurch eine U-förmige Furche, in die das Saatgut abgelegt wird. Die Saatkörner werden zu einem Stiefel, der sich dicht hinter den Scheiben angeordnet in Bodennähe befindet, befördert. Der Räumeeffekt der schräg laufenden Scheibe verhindert ein Verstopfen des Stiefels durch Pflanzenreste (SCHMIDT und TEBRÜGGE, 1989).

Der Scharschritt (Versatz) von 30 cm ergibt einen großen Durchgang für verstopfungsfreies Säen. Ohne Druckrollen wird die Ablagetiefe über den Schardruck (25 kg) geregelt.



Abbildung 103: Einscheibenschar angewinkelte flache Scheibe mit seitlichem Scharkörper kombiniert. (Quelle: Väderstad „Rapid“)



Abbildung 104: Einscheibenschar-angewinkelte Hohl-scheibe (Quelle: Pöttinger-Vitasem 302 A)

BAKER et. al., (1996) unterscheidet bei den Einscheibenscharen zwischen der angewinkelten flachen Scheibe und der angewinkelten Hohl­scheibe. Die **angewinkelte flache Scheibe** steht vertikal zum Boden – sie hat keine unterschneidende Wirkung. Wegen der Angriffskräfte werden die Scheiben oft paarweise angeordnet, wobei ihre Winkel jeweils in die entgegengesetzte Richtung zeigen, sodass sich die Seitenkräfte der ganzen Maschine aufheben.

Zum Erzeugen eines Saatschlitzes mit der **angewinkelten Hohl­scheibe** werden leicht konkave Scheiben verwendet, ebenfalls in gewinkelter Anordnung zur Fahrtrichtung. Mit dieser Anordnung der Scheibe wird eine leicht unterschneidende Wirkung - ähnlich dem Scheibenpflug - erreicht.

Der Vorteil dabei ist, dass der Boden nicht zur Seite geworfen wird, wo er dann zur Bedeckung des Saatgutes nicht mehr zur Verfügung steht. Der Nachteil ist, dass bei stark durchwurzeltem Boden ein Wulst gebildet wird, der auf das abgelegte Saatgut zurückfällt und dadurch den Aufgang beeinträchtigen kann.

Bei einer nach oben geneigten Achse der Scheibe (bezogen auf die konvexe Seite) bleibt die unterschneidende Wirkung aus. Da das Unterschneiden des Bodens auch nachteilige Wirkung hat, wird die nach oben geneigte Achse der Hohl­scheiben, neben der horizontalen Anordnung, im Allgemeinen bevorzugt.

Die Wirkung aller gewinkelt geführten Scheiben (Flach- und Hohl­scheiben) hängt stark von der Arbeitsgeschwindigkeit ab. Bei schneller Fahrt tendieren die Saatschlitzte weiter und flacher zu werden, wodurch die Bedeckung des Saatgutes schwieriger wird (vgl.: HEINZLMEIER, 2003, 17 ff).



Abbildung 105: Einscheiben-Sächar-Einheit (Quelle: Pöttinger, Terrasem 4000 T)

Einscheibenschare (Abb. 105) ermöglichen eine störungsfreie Saat mit vergleichsweise exakter Tiefenablage (Tiefenbegrenzer). Probleme treten auf bei großen und sperrigen Strohmassen, über die Scheibenschare hinweglaufen, auf tonigen Böden in feuchtem Bodenzustand (Verklebungen) sowie auf sehr leichten Sandböden (Tiefenführung) (vgl.: KÖLLER und LINKE, 2001, 57).



Abbildung 106: Einscheibensämaschine „TANDEMFLX— Firma „Auf der Landwehr—
(Quelle: LOP 3/2011, 8)

Einscheibensämaschinen (Abb. 106) sind für schwere und wechselnde Böden ohne vorherige Saatbettbereitung geeignet. Schwere Einscheibenschare mit anliegendem Scharkörper aus Hartmetall ermöglichen eine optimale Saatguteinbettung. Der Schardruck beträgt bis zu 250 kg. Die Zahnkränze an den Druckrollen sollen auf Tonböden die Saatreihe besser schließen und den Boden krümelnd. Die schweren Eisendruckrollen verfestigen gezielt die Saatrille, der Boden zwischen den Reihen bleibt offen. Die Maschine hinterlässt ein charakteristisches „Wellblechprofil—(vgl.: N.N, 2011,8 f).

3.5.1.2 Doppelscheibenschar

Beim Doppelscheibenschar werden nach BAKER et al., 1996 vier Bauformen unterschieden.

Doppelscheibenschar mit versetzten Scheiben (offset) (Abb. 107), schräg gestellte Doppelscheibenschar, Doppelscheiben ungleicher Größe und Doppelscheiben mit einer dritten vorlaufenden Scheibe (triple disc) (vgl.: HEINZLMEIER, 2003, 20 ff).

3.5.1.2.1 Doppelscheiben mit versetzten Scheiben

Die Anordnung der Doppelscheiben zueinander ist versetzt (Abb. 108), das heißt eine Scheibe befindet sich wenige Zentimeter vor der anderen. Eine solche Scheibenanordnung soll einerseits eine Verringerung der Scharverstopfung durch Pflanzenreste gewährleisten und andererseits für einen geringeren Schardruck, der erforderlich ist um in den Boden einzudringen, sorgen (LINKE und KÖLLER, 1993).



Abbildung 107: Doppelscheibenschar mit versetzten Scheiben
(Quelle: Väderstad „Spirit“)

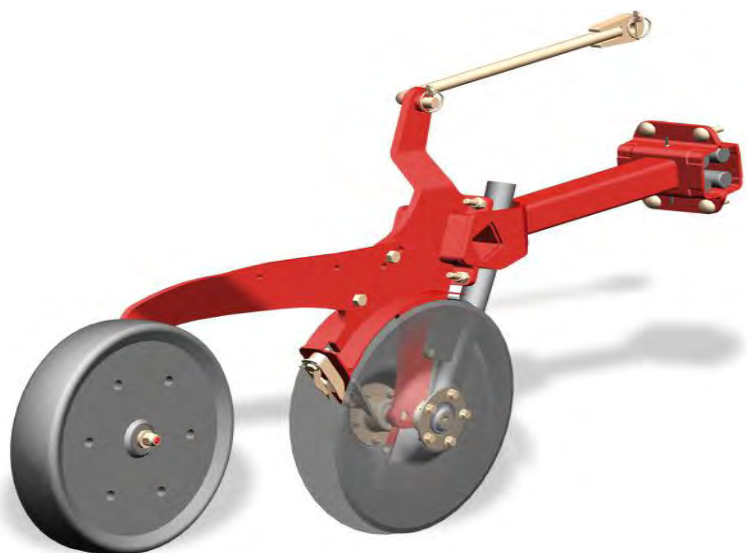


Abbildung 108: V-förmig, versetztes Doppelscheibenschar geführt durch eine breite Druckrolle für eine exakte Ablagetiefe
(Quelle: Pöttinger „Terrasem C8“)

Bei der versetzten Doppelscheibensäeinheit (Abb. 108) wird der Säschlitz nur von einer Scheibe geöffnet, was weniger Bodenwiderstand und bessere Verarbeitung von Ernterückständen bedeutet. Jeweils eine Scheibe fährt im „Windschatten—der anderen, was den Verschleiß verringert und eine hohe Arbeitsqualität aufrechterhält, selbst wenn die Scheiben leicht abgenutzt sind (Quelle: Väderstad).



Abbildung 109: Automatische Scharndruckregelung am Doppelscheibenschar
Lemken OptiDisc (Quelle: Werkbild Lemken)

Bei der Doppelscheibenscharsämaschine Lemken OptiDisc (Abb. 109) beträgt der Scharndruck 70 kg/Schar, die Maschine hat 24 Säeinheiten auf 3 m Arbeitsbreite bei einem von Scharabstand 12,5 cm.

Schar und Druckrolle arbeiten unabhängig voneinander. Trifft das Schar auf einen Stein weicht es zunächst ohne die Druckrolle aus. Dadurch wirken geringere Kräfte auf das Schar. Die (Abb. 110) zeigt den Arbeitsablauf einer Mulchsaatmaschine.

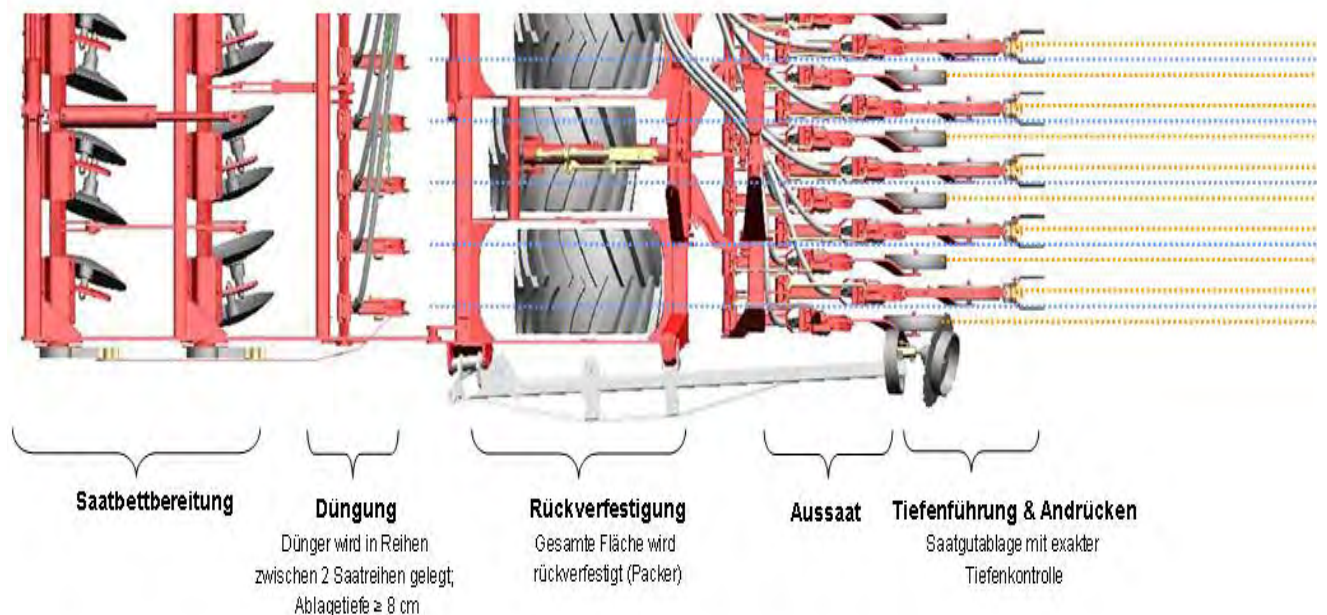


Abbildung 110: Mulchsaatmaschine - Saatbettbereitung mit Kurzscheibenegge (Quelle: Werkbild
Pöttinger-Terrasem)

In (Abb. 111) sind die technischen Daten von Mulchsaatmaschinen mit Einscheiben- bzw. Doppelscheibensätechnik angeführt.



Marke	Pöttinger	Rabe
Typenbezeichnung	TERRASEM C 6	MegaDrill 3000
Arbeitsbreite in m	6,00	3,00
Transportbreite in m	3,00	3,00
Nachlaufwalze	Farmflexrollen	Farmflexrollen
Gesamtgewicht in kg	8000	2000
Art der Saatgutzuteilung	pneumatisch	mechanisch
Anzahl d. Säschare/Abstand	48/12,5	24/12,5
Art der Säschare	Doppelscheibenschar	Einscheibenschar
Scharbelastung in kg	130	50
Saattankinhalt in l	3000	1000
Kraftbedarf in kW	150	75
Listenpreis in € (inkl. MwSt.)	104.400,—	36.600,—

Abbildung 111: Mulchsaatmaschinen mit Einscheiben- bzw. Doppelscheibensätechnik
(Quelle: Fortschrittlicher Landwirt 20/2007)

3.5.1.2.2 Schräg gestellte Doppelscheiben

Um die Bodenverdichtung, welche beim V-förmigen Saatschlitz bei Doppelscheibenscharen entsteht zu vermindern, wurden in einer Neuerung die Schare schräg zur Normalen der Fahrtrichtung angeordnet.

Die obere der beiden Scheiben neigt dazu den Boden etwas anzuheben, während die untere Scheibe gezwungen ist, den Boden eher abwärts zu bewegen, was wiederum zu einer Verdichtung beiträgt.

Sicher ist jedoch, dass bei schräg gestellten Doppelscheiben (Abb. 112) eine Rückverfestigung des Bodens durch nachlaufende Werkzeuge leichter möglich ist, da diese nur senkrecht auf den Saatschlitz zu drücken brauchen und nicht wie bei einer senkrechten Anordnung der Schare den Boden von seitwärts rückverfestigen müssen (BAKER et al., 1996).



Abbildung 112: Schräg gestellte Doppelscheibenschare
(Quelle: BAKER, 1996, 40)

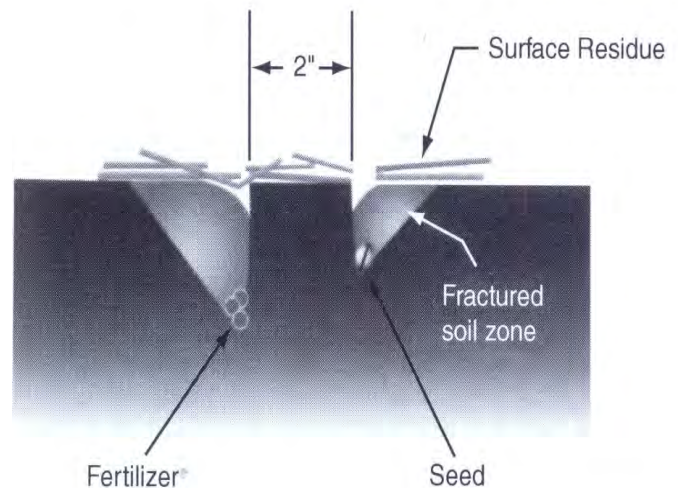


Abbildung 113: Schematische Darstellung der Streifendüngung
mit dem schräg gestellten Doppelscheibenschar
(Quelle: BAKER, 1996, 123)

Zwei Doppelscheibenschare können außerdem in der Weise kombiniert werden, dass das vordere Paar, welches auf die eine Seite geneigt ist, Dünger ausbringt und das nachfolgende, auf die andere Seite geneigte Paar, in einer seichteren Tiefe das Saatgut ablegt. Damit wird eine Trennung von Dünger und Saatgut erreicht und gleichzeitig wird die Bodenschicht, die normalerweise von dem höher eingestellten, hinten angeordneten Scheibenschar verdichtet wird, durch das vorlaufende, für die Düngerablage tiefer eingestellte Scheibenpaar vorgelockert, wodurch der Verdichtungseffekt stark verringert wird (BAKER et al., 1996).

3.5.1.2.3 Doppelscheiben ungleicher Größe

Dadurch, dass die kleinere der beiden Scheiben neben der zweiten angebracht wird, wird die Schneide der größeren Scheibe zur bestimmenden Schneide des ganzen Werkzeugs. Die Effekte einer solchen Konstruktion sind daher ähnlich jener der Doppelscheibenschare mit versetzten Scheiben. Gewöhnlich wird die kleinere Scheibe ebenfalls versetzt zur größeren angebracht (Abb. 114) (BAKER et al., 1996).

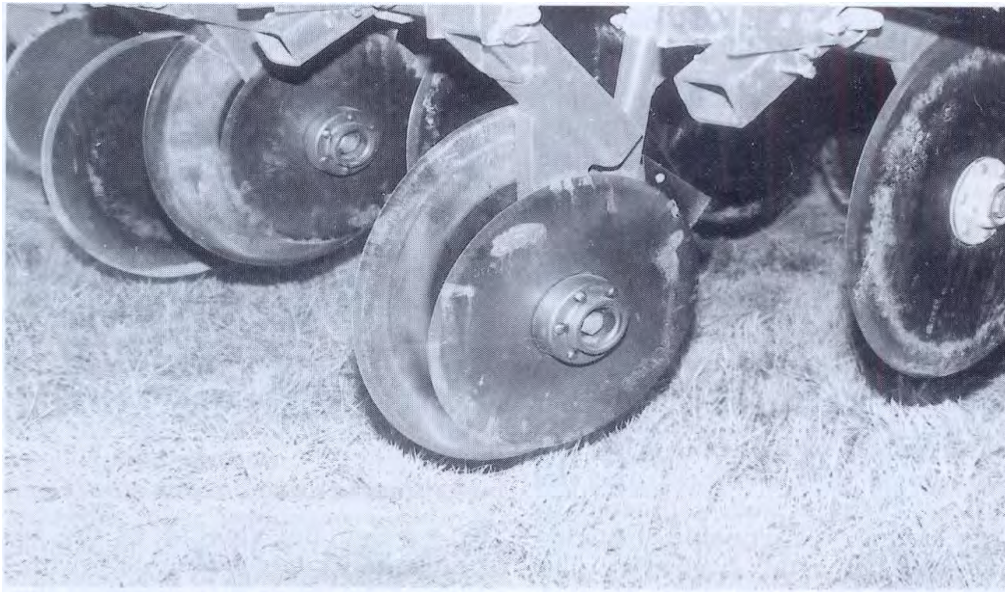


Abbildung 114: Doppelscheibenschar mit zwei verschiedenen großen Scheiben
(Quelle: BAKER, 1996, 36)

3.5.1.2.4 Doppelscheiben mit einer dritten vorlaufenden Scheibe

(triple disc):

Bei dieser Form der Säschar (Abb. 115) befindet sich eine vertikal laufende dritte Scheibe vor oder zwischen den im Winkel von ca. 10° V-förmig zueinander stehenden Doppelscheiben. Diese Vorläuferscheibe schneidet die Pflanzenreste an der Bodenoberfläche durch und ermöglicht so den nachfolgenden Doppelscheiben ein leichteres Wegräumen der organischen Substanz (SCHMIDT und TEBRÜGGE, 1989).

Jedoch trägt die dritte Scheibe dazu bei, dass der nötige Kraftaufwand, um in den Boden eindringen zu können, erhöht werden muss (BAKER et al., 1996).

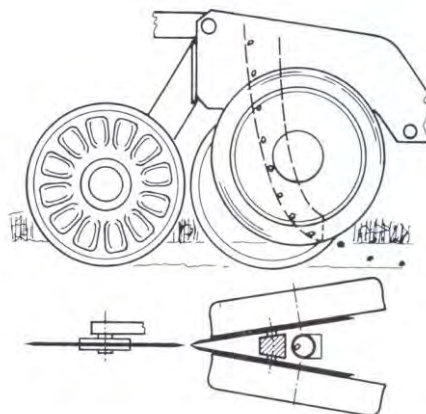


Abbildung 115: Triple Disc – Schar (Quelle: Köller und Linke, 2001,64)

Die (Abb. 116 und Abb. 117) zeigt eine Direktsämaschine mit dem Dreis Scheibensystem im praktischen Einsatz.

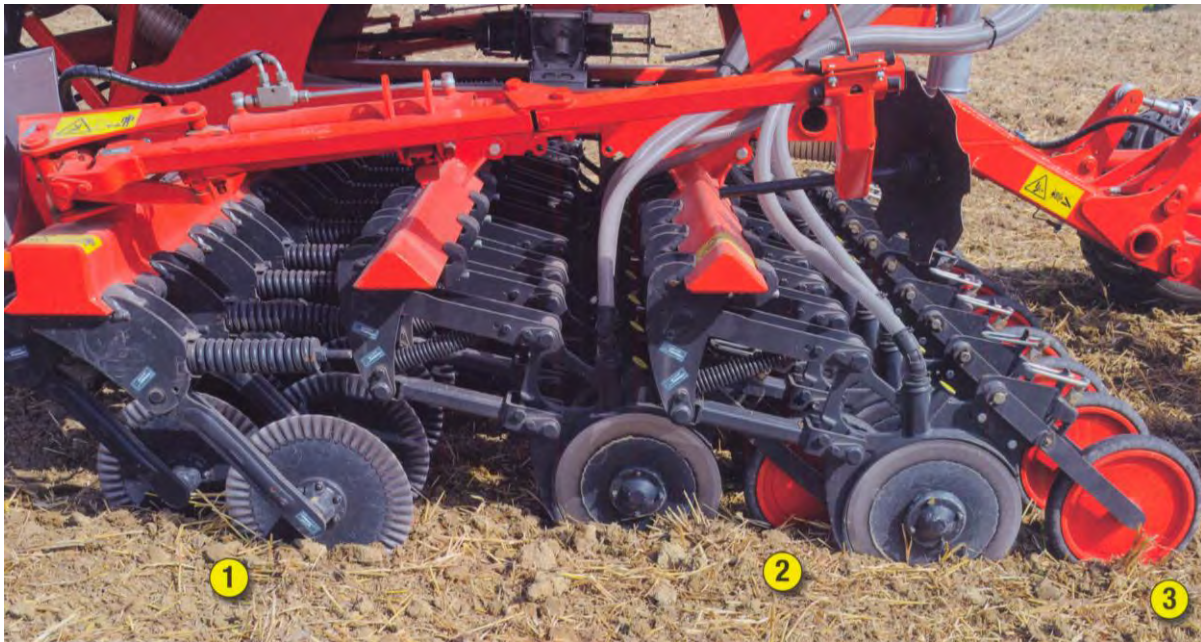
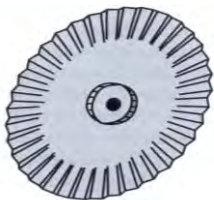


Abbildung 116: Direktsämaschine mit dem Dreis Scheibensystem (Firmenprospekt Kuhn)

1 – Scheibenseche mit einer Eindringungskraft von jeweils 250 kg schaffen auch bei schwieriger Bodenbeschaffenheit ein ideales Saatbett.



Geriffelte Scheibensechenausführung, $D = 430 \text{ mm}$, für schwierige Säbedingungen bzw. für die Aussaat in Grünbestände.
Gewellte Scheibensechenausführung, $D = 460 \text{ mm}$, für intensive Bodenauflockerung im Bereich der Saatgutablage.



2 – Zwei Säscheiben pro Säelement. Durch das Doppelscheibensystem, $D=400 \text{ mm}$, wird das Saatgut präzise in die durch das Scheibensech gebildete Furche eingebracht.

Die Parallelogrammführung der Säelemente bewirkt eine gleichmäßige Sätiefe bei einem konstanten Schardruck von 80 kg.

3 – Die einfach einstellbaren Druckrollen bewirken auch in unebenem Gelände eine gleichmäßige Sätiefe sowie einen gleichmäßigen Bodenschluss.

(Quelle: KUHN SD Liner 3000 – Firmenprospekt 2012)



Abbildung 117: Klassische Direktsaat mit der Dreischiebensätechnik (Quelle: vgl.:LOP SH 2011, 6)

In (Tab. 32) sind die technischen Daten der Dreischieben-Direktsämaschine angeführt.

Tabelle 32: Technische Daten der Dreischieben-Direktsämaschine (Quelle: KUHN-Firmenprospekt 2012)

Arbeitsbreite (m)	6
Reihenanzahl / Reihenabstand (cm)	20/15 / 18/16,6
Schardruck – Wellsech oder Planscheibe (kg) - Zweischiebenschar	> 200 60 – 80
Arbeitsgeschwindigkeit (km/h)	7 – 15
Leistungsbedarf (kW/PS)	66 -110 / 90 – 151

3.5.2 Schleppschar (Stiefelschar)

Das Schleppschar (Abb. 118) wird bei Traktoranbau-Drillmaschinen verwendet. Die Scharform ist einfach und mit diversem Zubehör wie Druckrollen, Zustreicher und dergleichen ausrüstbar. Im hinteren, oberen Scharbereich ist eine Überlauföffnung platziert, damit auch bei einer Verstopfung des Schares das Saatgut ausgebracht werden kann.

Beim Absenken der Drillmaschine wird eine Scharverstopfung durch sogenannte Stützstriegel verhindert, weil sich dabei das Schar auf den nach unten hängenden Striegelarm abstützt und somit über der Erdoberfläche gehalten wird. Ein im Scharkörper angebrachtes Leitblech sorgt für eine gleichmäßige Saatgutablage auf dem Saathorizont.

Der am Scharkörper angebrachte Stützstriegel bewirkt eine teilweise Bedeckung des Saatgutes. Die Scharabstände liegen bei 12 cm.

Der Schardruck wird zentral über eine Spindel od. hydraulisch verstellt und kann somit den verschiedenen Bodenbedingungen leicht angepasst werden. Um eine noch gleichmäßigere Ablagetiefe zu erreichen, haben sich Tiefenführungsrollen hinter den Scharen bewährt. Das Saatgut wird nach der Aussaat mit einem Saatstriegel bedeckt. Die optimale Arbeitsgeschwindigkeit mit diesem Schar beträgt 6 – 12 km/h (HARNIER, 1986).

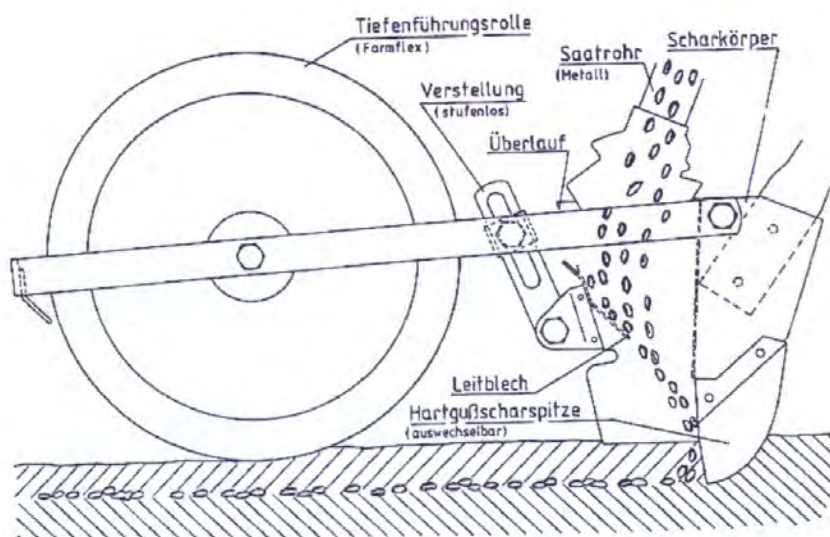


Abbildung 118: Schleppschar (Stiefelschar)

(Quelle: HARNIER, 1986)

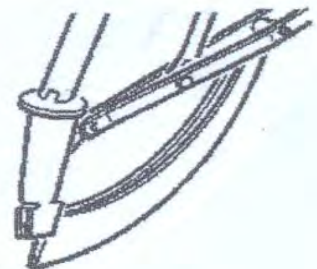


Abbildung 119: Säbelschar

(Quelle: WIRLEITNER et al., 1996,90)

Mit dem Schleppschar wird eine 1 – 2 cm breite Reihensaat durchgeführt. Das Schleppschar kann auch modifiziert werden und lässt sich je nach Form zur Tiefsaat

(mit Einzugsspitze), Bandsaat (mit Räumspitze) oder zur Breitbandsaat (mit Flügelbandspitze) einsetzen.

Diese modifizierten Schartypen lassen sich aber nur auf ernterückstandsfreien, fließfähigen Boden einsetzen. Sie können nicht für die Mulchsaat oder gar Direktsaat verwendet werden.

Um das Schleppschar besser für Mulchsaatzwecke einsetzen zu können, wird es auch in Form eines Säbelschars (Abb. 119) angeboten. Der Vorteil dieser Scharform ist, dass es über Ernterückstände gleitet und so mehr zur Verstopfungsfreiheit beiträgt.

Auch eignet es sich für steinige und schollige Böden.

3.5.3 Meißelschar

Das Meißelschar (Abb. 120 und Abb. 121) ist in der Lage, sich auch bei sehr festen Bodenoberflächen in den Boden einzuziehen. Die Saatfurche ist stufenförmig abgesetzt. Direkt hinter der Scharspitze wird das Saatgut auf der schmalen Rillensohle abgelegt (Abb. 122). Durch einen zweiten Auslauf, der hinter und oberhalb der Saatauslauföffnung platziert ist, kann gleichzeitig Dünger in den Boden eingebracht werden (SCHEUFLER, 1986).

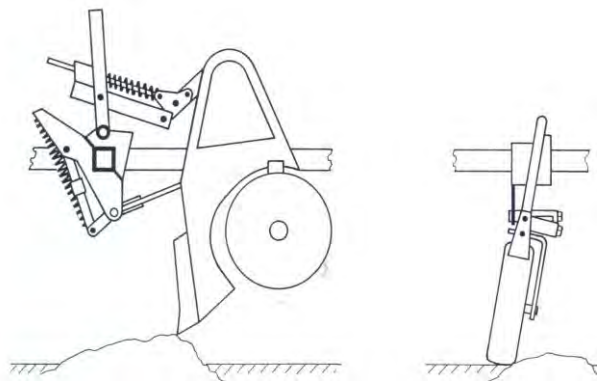


Abbildung 120: Parallelogrammaufhängung- Meißelschar
(Quelle: KÖLLER und LINKE, 2001,68)

Abbildung 121: Meißelschar

Scharbreite: 15 mm Meißelspitze = Wolframkarbid-Kobalt-Platte (Quelle: Amazone-Firmenprospekt)

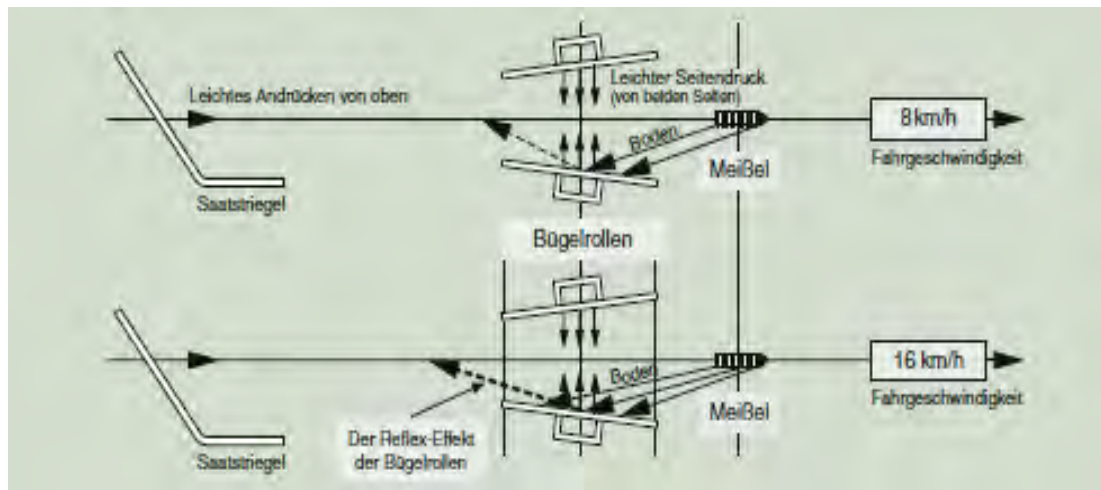


Abbildung 122: Saatgut-Einbettung mit dem Meißelschar der Amazone-„Primera DMC—
(Quelle: Amazone-Firmenprospekt)

Bei einer kombinierten Düngerausbringung liegt bei diesem System der Dünger in einem Strang gleichmäßig verteilt oberhalb des Saatgutes (top banding) und kommt erst nach und nach mit dem Wurzelwerk, das nach unten weg wächst, in Berührung. Die Düngerwirkung wird so gestreckt und Verätzungen bei hohen N-Gaben werden vermieden (SCHEUFLER, 1986).

Die Tiefenführung erfolgt über Stützrollen, welche hinter den Meißelscharen angebracht sind (Abb.123). Dies ergibt eine exakte Tiefenablage und nach dem Auflaufen einen homogenen Pflanzenbestand.

Auf der Bodenoberfläche liegendes Stroh wird von den Meißelscharen zur Seite geschoben, der Saatschlitz, in den das Saatgut abgelegt wird, ist also frei von Pflanzenresten. Stroh in der Saatsfurche würde den Bodenkontakt mit dem Samenkorn und somit auch die Keimung verhindern bzw. beim Verrotten des Strohs würden Auflauf hemmende Substanzen wie Essigsäure entstehen.

Die Schare sind versetzt in mehreren Reihen hintereinander angeordnet, um zu verhindern, dass am Boden liegendes Stroh mitgeschleppt wird. Der Abstand der Schare auf jedem Balken beträgt 75 cm, so dass Stroh und Pflanzenreste leicht hindurchrutschen können. Bei drei Balken beträgt der Saatreihenabstand 25 cm.



Abbildung 123: Doppelmeißel-Scharsystem (Quelle: Väderstad-Firmenprospekt 2012)

Jedes Säaggregat sitzt an einem hydraulisch gesteuerten Arm, welcher den Konturen der Bodenoberfläche folgt (Schardruck bis zu 150 kg). Das Gerät passt sich damit über die gesamte Arbeitsbreite dem Boden optimal an. Der Rahmen bleibt dabei starr und die Maschine fährt wie ein Anhänger mit Tandemachse. Ein Druckrad hinter dem Säschar stellt sicher, dass eine konstante Sätiefe beibehalten wird. Dieses Druckrad bewirkt auch, dass das Saatgut mit Erde bedeckt und die Saattrinne verfestigt wird.

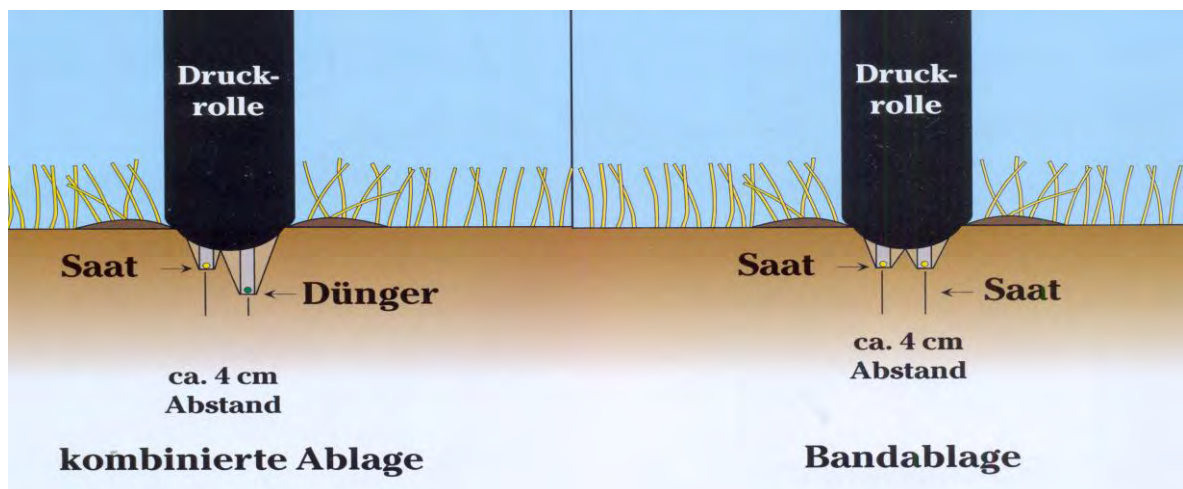


Abbildung 124: Kombi-Saat mit dem Doppelmeißel-Scharsystem (Quelle: Väderstad „Seed Hawk“)

Wenn direkt in das Stoppelfeld gesät wird, ist es besonders im Frühjahr von Vorteil Saatgut und N-Dünger gleichzeitig auszubringen (Abb. 124). Stickstoff wird den Pflanzen direkt zur Verfügung gestellt, außerdem wird ein Arbeitsgang eingespart. Werden beide Schare als Säschar genutzt, erfolgt eine Bandsaat bei einem Reihenabstand von 25 cm (Quelle: Firmenprospekt 2012, Väderstad „Seed Hawk“).

Die (Abb. 125) zeigt die Vaederstad Direktsämaschine mit der Meißelschartechnik „Seed Hawk SH 600— im praktischen Einsatz. Eine Bestellung mit den Doppelzinkenscharen verursacht etwa 50 % Bodenbewegung. Dies ist an der Grenze zur Direktsaat.



Abbildung 125: Direktsaat mit der Doppelzinkenscharsätechnik Vaederstad „Seed Hawk SH 600—
(Quelle: LOP SH 2011, 7)



Abbildung 126: Leichte Meißelschartechnik „Amazone Cayena—(Quelle: LOP SH 2011, 39)

Diese Maschine mit der leichten Meißelschartechnik (Abb. 126) ist speziell für trockene und steinige Standorte konzipiert, hat sich aber auch auf anderen Standorten zur Mulchsaat, auch direkt auf der Stoppel, bewährt. Das Schar steht auf Griff. Es dringt leicht in den Boden ein ohne diesen dabei viel zu bewegen – das reduziert die Wasserverluste. Bei Hindernissen kann das Säschar dreidimensional ausweichen.

Leichte Vibrationen befreien die Zinkenschare von organischem Material, beeinträchtigen aber nicht die Ablagequalität.

Da die Maschine vorne über den Unterlenker des Traktors und im Heck über den Keilring-Reifenpacker abgestützt ist, wird der Einzug der Zinken nach unten begrenzt. Der Keilring-Reifenpacker besteht aus 12 Reifenelementen mit 800 mm Durchmesser. Dieser verfestigt das Saatbett streifenweise exakt über dem abgelegten Saatgut. Zugleich werden lose Steine in den Boden gedrückt. Bei einer Arbeitsbreite von 6 m beträgt der Leistungsbedarf 110 kW/150 PS (vgl.: N.N, 2011, 39).

3.5.4 Zinken – oder Grubbersämaschinen

Zinken- oder Grubbersämaschinen (Abb. 127 und Abb. 128) haben Scharformen, die eine bandförmige Saatgutablage ermöglichen. Damit ist eine Bandsaat, teilweise sogar eine Breitsaat möglich. Das Saatgut wird dabei auf dem unbearbeiteten Boden abgelegt und damit eine optimale Feuchteversorgung durch kapillaren Wasseraufstieg sichergestellt. Stroh wird überdies unterfahren und kann so den Aufgang nicht behindern (vgl.: N.N 2011, 24).



Abbildung 127: Mulchsaat mit der Zinkenschartechnik „Köckerling Ultima 300—
(Quelle: LOP SH 2011, 14)

Das Schar der Ultima 300 durchtrennt den Boden nicht vertikal, sondern horizontal und sichert so dem Saatgut einen idealen Bodenkontakt. Das Schar legt das Saatgut unterhalb des Strohs ab. Diese Schare müssen so eingestellt werden, dass keine Schmierschichten im Saatgutablagebereich entstehen. Der große Vorteil dieser Art der Saatguteinbringung ist, dass die organische Masse an der Oberfläche bleibt und damit viele ackerbauliche und pflanzenbauliche Vorteile verbunden sind (vgl. SEDLMEIER, 2012,44).

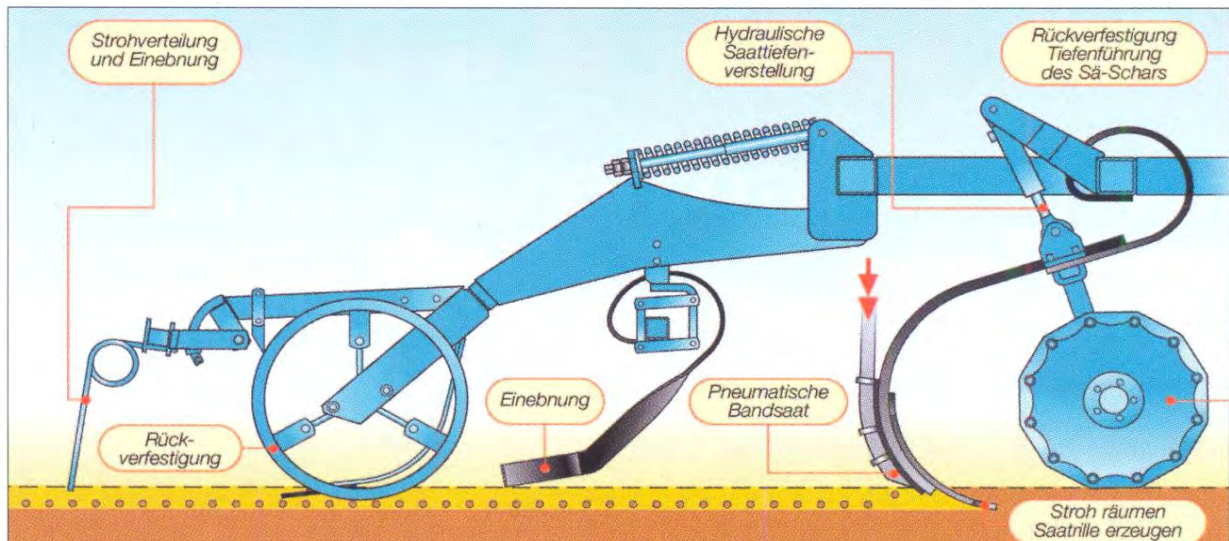


Abbildung 128: Tiefenführung der Säzinken, Einebnung und Rückverfestigung.

(Quelle: Köckerling Ultima 300 – Firmenprospekt 2012)

Als Säscharen können auch Scharformen wie das Delta- bzw. Gänsefußschar zum Einsatz kommen. Diese Scharformen haben eine große Schnittbreite und können damit auch Unkräuter gut bekämpfen (vgl.: N.N., 2011, 24).

Zu den Grubber- oder Zinkensämaschinen können auch die Air- Seeder, das heißt Bestellmaschinen, die aus einer Grubber ähnlichen Bestelleinheit und einem Säwagen bestehen, gezählt werden. Diese Maschinen sind in den semiariden Getreideanbaubereichen (Trockengebieten) Nordamerikas und Australiens Standard. Diese Maschinen sind mit speziell schmalen Säscharen ausgerüstet, um die Bodenlockerung und Bodendurchmischung und damit die Verunkrautung und Wasserverluste zu minimieren (vgl.: KÖLLER und LINKE, 2001, 69).

Schlitzsaat

Bei der Schlitzsaat erfolgt eine Streifenlockerung und eine Bandsaat mit dem Gänsefußschar.

Bei der Claydon- Sämaschine (Abb.129) läuft alle 33 cm ein Lockerungszinken, dem ein Gänsefußschar zur Bandsaat folgt. Mit den schmalen Zinken von nur 12 mm Breite wird möglichst wenig Boden bewegt. Die Lockerungszinken sind hartmetallbeschichtet und strömungsgünstig gestaltet. Durch den verringerten Bodenaufbruch bleibt der Zugkraftbedarf gering. Mit der angegebenen Traktorleistung wären sogar für Arbeitsgeschwindigkeiten von mehr als 10 km/h möglich, aber dann bewegen die Zinken zuviel Boden und hinterlassen breite Furchen.



Abbildung 129: Claydon SR-Drill mit dem pneumatischem Säsystem von Sulky (Quelle: LOP 1/ 2 - 2013, 6)



Abbildung 130: Säwerkzeuge: vorne schmaler Lockerungszinken, hinten Gänsefußschar mit Saatgutablage (Quelle: LOP 1 / 2 – 2013, 7)

In der Praxis wird durchwegs mit einer Lockerungstiefe von 22 cm gearbeitet. Wegen der schmalen Zinkenform gibt es selbst bei gleich bleibender Arbeitstiefe keine Ausbildung von Bearbeitungssohlen oder Schmierschichten. Auch wenn die Zinken nur wenig Boden aufbrechen, so bewirken sie doch eine optimale Wasserführung im Boden. Verdichtungsschichten werden durch die Lockerungszinken unterfahren und angehoben. Dabei entstehen selbst in den nicht bearbeiteten Bodenzonen zahlreiche Aufbrüche, die eine intensive Durchwurzelung des Bodens fördern. Insbesondere auf schweren Böden bewirken die Lockerungsschlitze tiefe Schrumpfrisse, die in über 1 m Tiefe reichen können.

Die (Tab. 33) zeigt die technischen Daten der Claydon SR-Drill.

Tabelle 33: Technische Daten der Claydon SR-Drill (Quelle:Firma Sulky)

Arbeitsbreite (m)	3
Abstand der Lockerungszinken in cm	33 (9 Zinken am Gerät)
Breite der Lockerungszinken (mm)	12
Lockerungstiefe max. (cm)	28
Standzeit der Lockerungszinken in ha	120 – 180 (je nach Bodenart)
Breite des Gänsefußschar (cm)	22
Abstand der Saatbänder (cm)	12
Arbeitsgeschwindigkeit (km/h)	8 – max.10
Flächenleistung (ha/h)	3 (bei Raps bis 35 ha pro Tag)
Leistungsbedarf (kW/PS)	106 / 145
Dieserverbrauch (l/ha)	9 – 10

In aufeinander folgenden Jahren ist daher ein diagonaler Versatz der Särichtung sinnvoll. So kann verhindert werden, dass die Zinken in die bereits im Vorjahr gelockerten Bereiche ziehen. Im Verlauf der Zeit wird so das gesamte Bodenprofil durchgearbeitet. Die Saatgutablage erfolgt hinter dem 22 cm breiten Gänsefußschar in zwei Saatbändern rechts und links des Lockerungsschlitzes. So kommen die Samen auf den unbearbeiteten Bereich zu liegen und haben Anschluss an die Kapillarität des Bodens. Damit ist auch unter trockenen Bedingungen der Feldaufgang gesichert. Zwischen zwei Saatbändern besteht somit ein Abstand von nur etwa 12 cm.

Dies sichert einen schnellen Reihenschluss und eine gute Unkrautunterdrückung. Leichte Druckrollen, welche zwischen den Packerrädern laufen, sollen den Boden gleichmäßig verfestigen (vgl.: N.N, 2013, 6).

3.5.5 Grubbersämaschinen mit Düngerablage

Eine Besonderheit ist das Winglet-Schar der Firma Tonutti (Abb. 131), das durch seine Formgebung eine vermischungsarme und leichtzügige Arbeit ermöglicht (vgl.: N.N, 2011, 24).

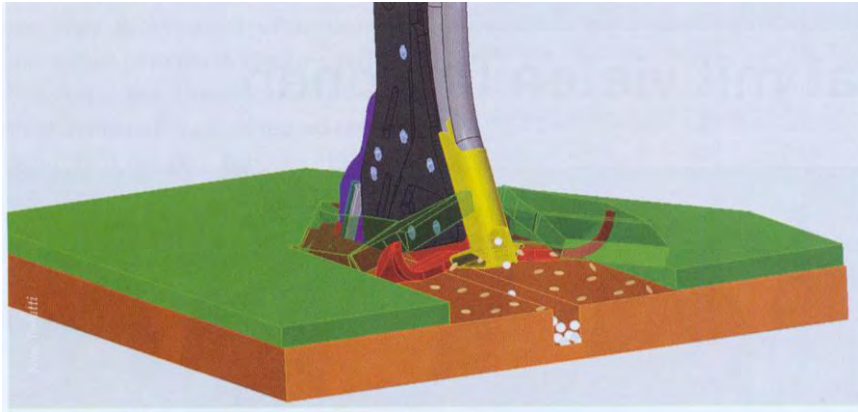


Abbildung 131: Saatgut und Düngerablage sowie Arbeitsweise der Winglet-Flügel
(Quelle: Werkbild Tonutti)

Solche Schare haben mehrere Ausgänge für eine getrennte Ablage von Saatgut und Dünger. Es besteht auch die Möglichkeit, mehrere Düngemittel wie verflüssigten Ammoniak neben dem granulierten Dünger getrennt in den Boden abzulegen.



Abbildung 132: HORSCH-Sprinter (Airseeder) mit dem Duett-Schar (Quelle: Werkbild HORSCH)

Der Horsch Sprinter (Airseeder) (Abb. 132) kann mit dem Präzisionsdüngelplatzierungssystem (Precision placement of fertilizer, PPF-System) ausgestattet werden. Mit dem Präzisionsdüngelplatzierungssystem (Abb. 133) kann Flüssigdünger (verflüssigter Ammoniak) sowohl in geringen als auch in hohen Mengen direkt und präzise unter dem Saatgut platziert werden, ohne dass dabei Verbrennungen verursacht werden.

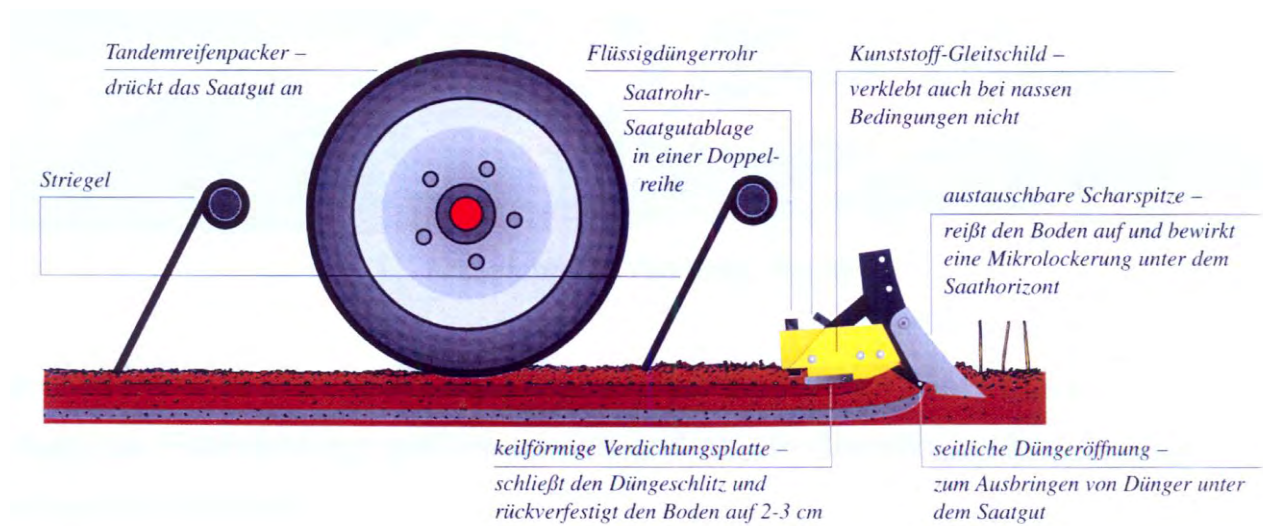


Abbildung 133: Prinzip des HORSCH PPF-Systems (precision placement of fertilizer)

(Quelle: HORSCH Firmenprospekt, 2001)

Prinzip HORSCH:

Die Scharspitze reißt den Boden auf und bewirkt somit auch eine Lockerung des Bodens unter dem Saathorizont. Eine bodenangetriebene Pumpe bringt den Flüssigdünger genau dosiert in die Scharspitzen. Dort wird der Dünger von zwei Öffnungen direkt unterhalb der beiden Saatbänder platziert. Der Düngerschlitze verläuft 5 cm unter dem Saathorizont und hat bei nassen Verhältnissen zusätzlich noch eine Drainagewirkung. Bevor das Saatgut in zwei Bändern ausgebracht wird, erfolgt eine Komprimierung des Bodens über dem Düngerdepot. Das Saatgut wird auf dieser verdichteten Schicht von ca. 2 – 3 cm abgelegt.

3.5.6 Kurzscheibenegge mit Scheibenscharsystem

Prinzip AGRISEM:

Die Tri-O-Sem von AGRISEM (Abb. 134) ist eine Neuentwicklung, die für die Direktsaat genutzt werden kann. Optional arbeiten Scheibenseche als Vorläufer. Ein maximal möglicher Schardruck von 96 kg setzt bei der Direktsaat allerdings Grenzen.

Eine separate Düngung ist möglich, wobei der Dünger durch das Spezialschar zwischen den Saatzeilen und unter den Samen abgelegt wird (Abb. 135).

Die Saatrillen werden durch die nachlaufende Flexi-Sem Walze mit einem speziell angepassten Profil angedrückt.



Abbildung 134: AGRISEM Tri-O-Sem -Sätechnik und Spezialschar
(Quelle: AGRISEM-Firmenprospekt 2012)

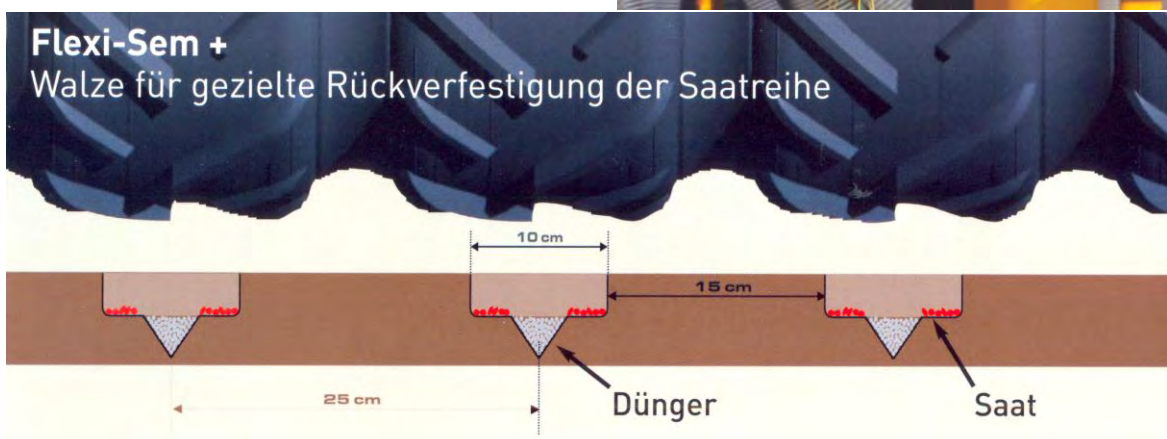
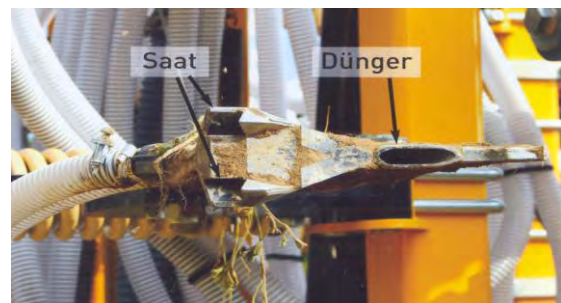


Abbildung 135: Tri-O-Sem - Prinzip der Saatgut- und Düngerablage (Quelle: AGRISEM – Firmenprospekt 2012)

Bei den meisten Sämaschinen dieser Kategorie wird auf eine Einzelschar-Tiefenführung verzichtet. Stattdessen erfolgt eine segmentweise Tiefenführung über Stützräder und Packerwalzen (Abb. 135).

Somit bestehen etwas höhere Anforderungen an die Ebenheit des Saatbeetes. Infolge der bandförmigen Saatgutablage kann der Abstand zwischen den Scharen größer als bei Zinkenschar – Sämaschinen sein und liegt zwischen 25 – 45 cm, so dass Verstopfungen selten auftreten (vgl.: N.N, 2011, 25).

Prinzip TERRASEM:

Mit der Universalsämaschine Terrasem fertilizer (Abb. 136) können zeitgleich mit der Aussaat Mikro- und Makronährstoffe ausgebracht werden.

Die Einbringung des Düngers kann in zwei Varianten erfolgen:

Über das Dual-Disc-Exaktschar (Doppelscheibenschar) oder die Prallblechapplikation. Bei dem Dual-Disc-Exaktschar wird nach der Saatbettbereitung durch die integrierte Kurzscheibenegge der Dünger über die Schare in Reihen zwischen jeweils zwei Saatreihen > 8 cm tief abgelegt.



Abbildung 136: Mulchsaat mit Unterfußdüngung mit der Terrasem fertilizer,
(Quelle: Pöttinger Firmenprospekt 2012)

Die Ablagetiefe ist variabel einstellbar. Danach erfolgt die ganzflächige Rückverfestigung mittels Packer und anschließend die Aussaat des Korns mit einem Doppelscheibenschar. Das Dual-Disc-Exaktschar legt somit ein Düngerdepot zum Korn, beziehungsweise zur Wurzelbasis an. Das führt zu einem schnellen Aufbau der Wurzelmasse.

Im Verfahren der Prallblechapplikation wird der Dünger nach der Saatbettbereitung ganzflächig über die Prallbleche verteilt und räumlich eingemischt. Der Dünger wird dabei annähernd verlustfrei und ohne Streufehler eingebracht. (vgl.: Pöttinger Firmenprospekt, 2012).

In (Tab. 34) sind die technischen Daten der Mulchsaatmaschine „Terrasem 6000 T—
angeführt.

Tabelle 34: Technische Daten der Mulchsaatmaschine „Terrasem 6000 T—

(Quelle:Pöttinger Firmenprospekt 2012)

Arbeitsbreite (m)	6 (3,0 / 4,0 / 8,0 / 9,0)
Säschare	48
Reihenabstand (mm)	125
Scheibenschar-Durchmesser (mm)	380
Schardruck pro Schar (kg)	40 – 120
Scheibeneggen-Scheiben	46
Scheibeneggen-Durchmesser (mm)	510
Saattankinhalt (l)	3000 bzw. 3950
Eigengewicht (kg)	8600
Arbeitsgeschwindigkeit bis (km/h)	12
Leistungsbedarf mind. (kW/PS)	140 / 190

3.5.7 Vergleich Scheiben- und Zinkensäschar

Beide Bauformen (Abb. 137) können - je nach gegebenen Voraussetzungen - Vor- und Nachteile haben. Ein ideales Werkzeug für sämtliche Bedingungen gibt es nicht.



Abbildung 137: Die unterschiedlichen Arbeitseffekte von Scheiben und Zinkensäscharen

(Quelle: KÖLLER und LINKE, 2001, 69)

In (Tab. 35) sind die Vor- und Nachteile der Säscharformen angeführt.

Tabelle 35: Vor- und Nachteile der Säscharformen (Quelle: LOP SH I, 2011,19)

	SCHEIBENSCHAR	ZINKENSCHAR
VORTEILE	- kein Verstopfen - hohe Arbeitsgeschwindigkeit bis 20 km/h - geringe Bodenbewegung - enge Reihenabstände (< 12,5 cm) - drückt Steine in den Boden	- sauberes Ausräumen der Saatrille - relativ geringer Schardruck erforderlich - guter Rillenschluss - meist einfach aufgebaut - Breitsaat/Bandsaat („Airseeder“)
NACHTEILE	- „Hairpinning“-Effekt möglich - bei Direktsaat hohe Auflagedrücke > 200 kg (= 2000 N) erforderlich - starke Verdichtung der Seitenwände und des Rillengrundes - oft schlechter Rillenschluss - viele drehende Teile	- Verstopfungsgefahr vorhanden - intensivere Bodenbewegung - teilweise höherer Zugkraftbedarf - meist weitere Reihenabstände - Arbeitsgeschwindigkeit begrenzt auf max. 10 – 12 km/h - kann Steine aus dem Boden ziehen.

3.5.8 Spezialsäschare für die Direktsaat:

3.5.8.1 Inverted - T – Schar

„Inverted – T – Schare—sind schmale Meißelzinken, die mit kleinen horizontalen Flügeln versehen sind. Sie sollen die Bodenoberfläche möglichst wenig stören und im eigentlichen Saatbereich durch die Flügel eine stärkere Lockerung erzeugen. (LINKE und KÖLLER, 1993).

Das Inverted – T – Schar (Abb. 138) ist das einzige an Direktsämaschinen verwendete Schar, das speziell für Direktsaat zwecke entwickelt worden ist. Alle anderen angeführten Schare wurden eigentlich für Sämaschinen entwickelt, die für ihr Einsatzgebiet eine Bearbeitung des Bodens voraussetzen (BAKER et al., 1996).

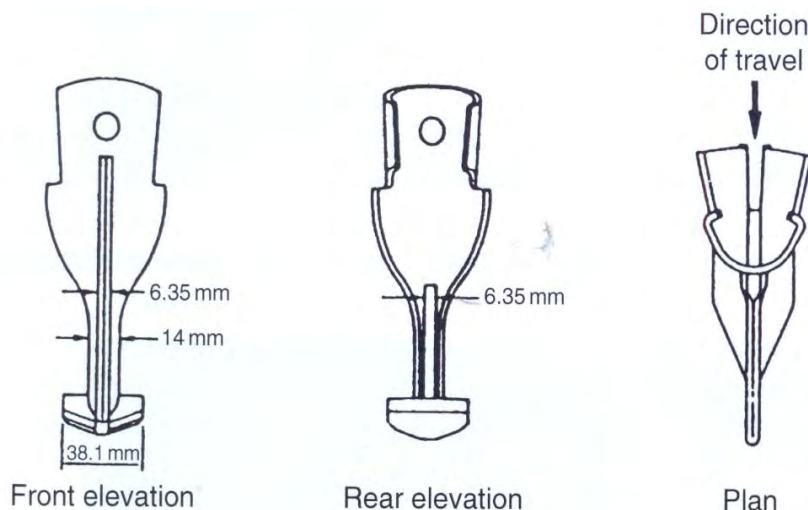


Abbildung 138: Das original Inverted T-Schar für die Direktsaat (von Baker, 1976b).

Vorderansicht, Rückansicht und Ansicht von oben in Fahrtrichtung

(Quelle: BAKER, 1996, 52)

Der Saatschlitz ähnelt einem auf den Kopf gestellten T. Zwei Gründe gibt es für die Konzeption dieses Schares:

1. Als Alternative zu den Saatschlitzten von den Doppelscheibenscharen erzielten V-Formen bzw. von den Zinkenscharen erzielten U-Form soll es den Nachteil der Austrocknung vermeiden.
2. Das Inverted – T – Schar bietet eine bessere Möglichkeit zur Saatgutabdeckung und somit zur Erhaltung der Bodenfeuchte. Bei dieser Scharform wird der Boden nur angehoben und nicht direkt zur Seite befördert, sodass er durch nachlaufende Werkzeuge problemlos wieder auf die Saalfurche gedrückt wird.

3.5.8.2 Einfaches Flügelsächar

Bei diesen Schar befindet sich am hinteren Ende ein Blech, welches das Schar zu einem Keil bildet, der durch den Boden gezogen wird. Hinter dem Blech befindet sich das Rohr für die Saatgutzufuhr.

Die (Abb.139) zeigt einige Versionen die nach seinem Erfinder genannten „Baker Boot—Shares“.



Abbildung 139: Formen des Inverted – T- Schares (⊥) (Baker Boot-Schar)
(Quelle: BAKER, 1996)

Obwohl dieses Schar Mängel aufweist, wird es in der Praxis sehr geschätzt. Es zeigt eine große Toleranz bezüglich trockenen und feuchten Bodenbedingungen und wird auch für Zwecke der Grünlanderneuerung eingesetzt.

Die Nachteile dieser Scharform sind, dass es in Bezug auf die Qualität des Handlings von Pflanzenresten eher negativ abschneidet und dass eine Trennung von Saatgut und Dünger mit diesem Schar nicht möglich ist (BAKER et al., 1996).

3.5.8.3 Flügelschar mit einer zentralen Scheibe

Das Flügelschar mit einer zentralen Scheibe (Abb. 140) weist die Mängel vom einfachen Flügelschar nicht mehr auf und ist sowohl für die Bedingungen im Ackerbau wie auch für das Grünland geeignet. Neben der T- Form des Saatschlitzes sollte dieses Schar noch folgende Aspekte erfüllen:

- Die Fähigkeit, lose Pflanzenreste zur Bedeckung der Saatfurche nutzen zu können, sowie vorher unbearbeiteten, durch das Schar angehobenen Boden wieder anzudrücken.
- Das Vermögen, auch bei hohen Geschwindigkeiten und flacher Saat einen Inverted – T- geformten Saatschlitz zu erhalten.

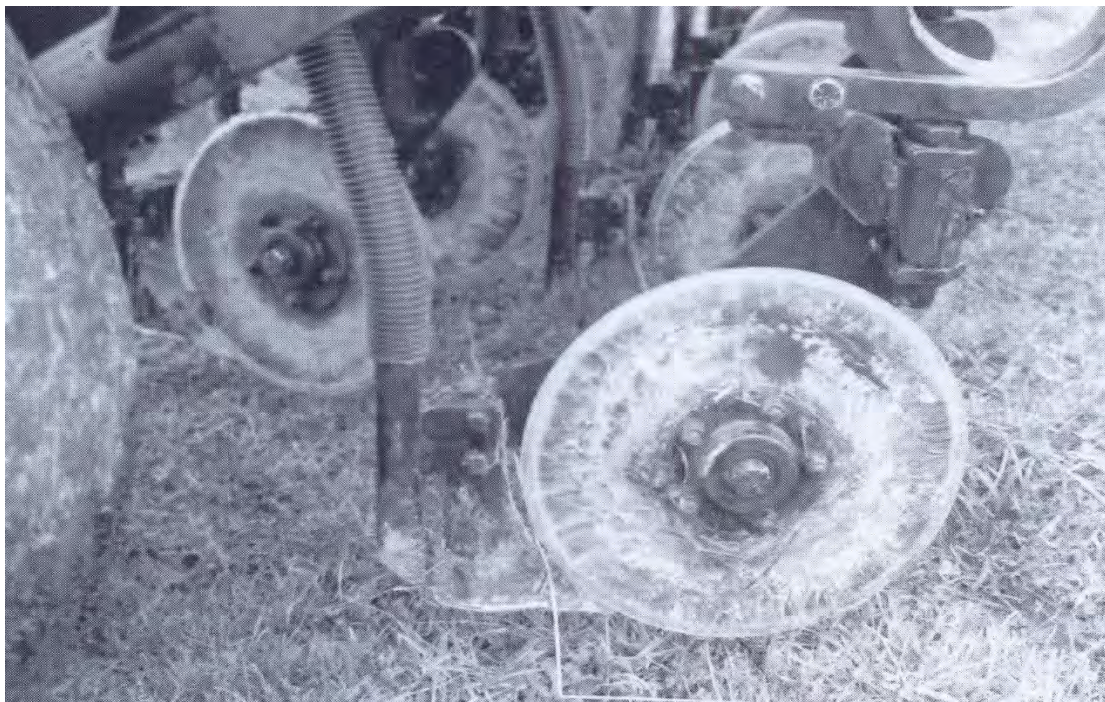


Abbildung 140: Flügelschar mit einer zentralen Scheibe nach dem Prinzip „Baker boot— für die Direktsaat. ($\perp$) (Quelle. Baker, 1996, 54)

- Effektive Trennung von Saatgut und Dünger in der Saatfurche mit nur einem einzigen Schar, und Beibehaltung dieser Funktion bei unterschiedlichen Bodentypen, Feuchtigkeitsgehalten und Arbeitsgeschwindigkeiten.
- Verstopfungsfreie Handhabung der Pflanzenrückstände auch bei engen Reihenabständen ($< 15 \text{ cm}$), sowohl bei nassen als auch trockenen Getreidestoppeln sowie bei lockeren und festen Bodenbedingungen.
- Selbständiges Schließen des Saatschlitzes.

- Fähigkeit, eine konstante Saattiefe beizubehalten durch genaues und beständiges Folgen der Bodenoberfläche.
- Billige und leicht auszutauschende Ersatzteile; das Auswechseln soll auch am Feld möglich sein.

Das Schar, das alle diese Bedingungen erfüllt ist das so genannte „Cross Slot—Schar—(BAKER et al., 1996).

3.5.8.4 Cross Slot – Schar (Kreuzschlitzschar)

Die Ausführung des Cross-Slot-Schares (Abb. 141) besteht aus einer vertikal angebrachten glatten oder gewellten Scheibe, die die Pflanzenreste und den Boden durchschneidet. Zwei horizontale, messerartige Schneiden sind auf jeder Seite der Scheibe so angebracht, dass der Vorderteil ihrer Innenseiten jeweils an der zentralen Scheibe reiben. Dieses patentierte Prinzip beseitigt effektiv und verstopfungsfrei Pflanzenreste von den starren Werkzeugen (BAKER et al., 1996).



Abbildung 141: Cross–Slot– Schar, horizontal getrennte Ablage von Saatgut und Dünger
(Quelle: BAKER, 1996, 55 f)

Die flügelartigen seitlichen Klingen schneiden horizontale Schlitzte auf der Ebene der Saattiefe, heben den Boden etwas an und ermöglichen somit das Ausbringen von Saatgut und Dünger auf die Schnittfläche auf jeweils einer der beiden Seiten der Scheibe. Um dies zu ermöglichen müssen die hinteren Enden der Seitenklingen von der Scheibe ausreichend sauber gehalten werden, um einen Durchgang für Saatgut und Dünger zu schaffen. Es ist auch möglich, die Schneide für die Düngerseite so zu versetzen, dass dieser nicht horizontal, sondern vertikal (also diagonal) vom Saatgut getrennt ist.

Diese spezielle Scharform ist für eine Aussaat in schwierig zu handhabende Pflanzenrückstände gedacht und auch für Bedingungen, wo Aussaat und gleichzeitige Düngung Priorität haben. Dadurch, dass die Flügel des Schars nur 5° zur Horizontalen geneigt sind (im Gegensatz zu 10° beim einfachen Flügelschar), können Saattiefen von nur 10 mm gewählt werden.

Das Schar kann für alle auszusäenden Samen verwendet werden, auch für Gemüsesamen. Es ist keine Modifikation nötig, um in mit großen Pflanzenmengen bedeckte Äcker, in Grünland oder Rasen von Sportplätzen säen zu können.

70 – 90 % der Pflanzenreste bleiben unverändert auf der Bodenoberfläche (BAKER et al., 1996).

Zwei angewinkelte Druckrollen laufen hinter den seitlichen Klingen her und sorgen für ein Schließen des Saatschlitzes und ein Andrücken des Bodens. Gleichzeitig wird mit ihnen die Saattiefe eingestellt.

Bei der Saattechnik zur Direktsaat (Abb. 142) gehören zur ersten Kategorie sämtliche Zinkenschare und auch das Einscheibenschar, das ähnlich einer Scheibenegge die Saatsfurche durch ein schräg stehendes Schar frei räumt.

Zur zweiten Kategorie gehören die Doppelscheibenschare sowie insbesondere das Cross Slot – Schar (Kreuzschlitzschar) oder auch Stempel-Sästern oder andere „Injektions— Säschare.

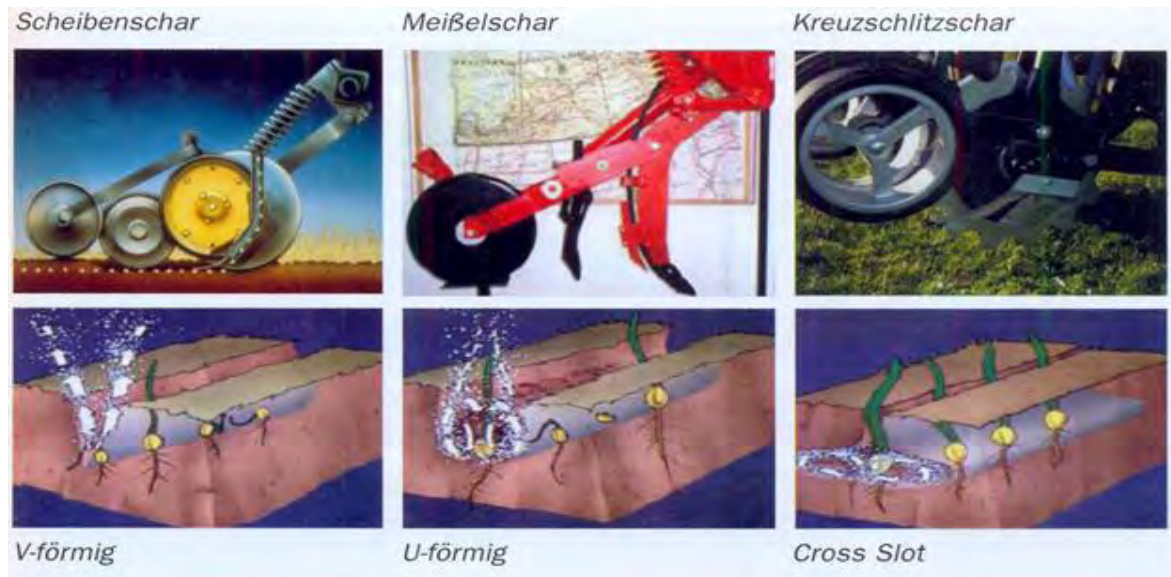


Abbildung 142: Beispiele für Direktsaatvarianten (Quelle: Agrarforschung Schweiz, 2008)

Grundsätzliche Charakteristiken der Zinkenschar sind eine einfache und kostengünstige Bauart, das selbsttätige Einziehen in den Boden, was geringe Gerätegewichte auch auf harten Böden erlaubt. Jedoch sind Zinkenschar generell nicht für die Einsaat in dicke Mulchschichten geeignet, es sei denn, sie nutzen vorlaufende Schneidscheiben.

Doppelscheibenschar sind die gebräuchlichsten Direktsaatschar, benötigen aber je nach Bauart zum Teil erhebliche Gerätegewichte, um in den Boden einzudringen. Die Schneidwirkung dieser Doppelscheiben kann bei extremen Mulchdecken durch vorlaufende Schneidscheiben verbessert werden (Dreischeiben-Schar), welches aber wiederum weitere Gewichtserhöhung erforderlich macht und somit nur bei relativ schweren und großen Geräten zum Einsatz kommt. Eine verbesserte Schneidwirkung bei Doppelscheiben kann erreicht werden, wenn die Scheiben unterschiedliche Durchmesser haben und auf versetzten Achsen montiert sind. Solche asymmetrische Doppelscheiben können auch große Mulchmengen ohne zusätzliche Schneidscheibe durchdringen und erlauben auch relativ kleine, leichte Direktsaatmaschinen im Dreipunktbau für Traktoren ab 30 kW oder sogar Tieranspannung.

Eine besondere Stellung nimmt das Cross Slot – Schar (Kreuzschlitzschar) ein, das die Saat getrennt vom Dünger in den garen Boden ablegt, ohne die Gefahr, bei feuchten Bedingungen die Furchenwände zu verschmieren. Auch ist bei diesem Schar der Effekt des „Hairpinning“ – sicher zu vermeiden; beim Hairpinning stören Ernterückstände wie Stroh den Bodenkontakt, weil diese nicht sicher geschnitten, sondern in die Saatfurche gedrückt werden (vgl.: VOßHENRICH und BRUNOTTE, 2008, 70 ff).

Tabelle 36: Direktsaat-Schare im Vergleich (Quelle: DLG 2008, 72)

	Zinkenschar Amazona NT, Primera; SeedHawk; Dale Zero TIII Horsch Airseeder, Kockerling Ultima	Cross Slot Schar Cross Slot	Einscheibenschar JohnDeere; Gaspardo; Moore Unidril; Väderstad Rapid Kverneland MSC; Kerner Eros	Doppelscheibenschar Fankhauser; Semeato; Kuhn Metasa; Sfi; Horsch Pronto VenceTudo; Jumil; PlantCenter	Dreischeibenschar Kuhn SD; GreatPlains; Gherardi;
Herkunft	Nordamerika/Europa	Neuseeland	Nordamerika/Europa	Südamerika	Nord- und Südamerika/Europa
Optimale Einsatzbedingungen	mittelschwere bis schwere Böden verträgt dichte Strohauflage reißt Oberfläche mittel bis stark auf	alle Böden verträgt dichte Strohauflage und stehende Gründüngungen geringste Oberflächenbewegung	leichte, mittelschwere bis schwere (Minutenböden) Böden verträgt stehende Zwischenfrüchte und leichte Strohauflagen reißt mittel bis wenig auf	leichte bis mittelschwere Böden verträgt Steine, stehende Zwischenfrüchte und Strohauflagen reißt wenig bis nicht auf	alle Böden verträgt Steine, stehende Zwischenfrüchte und Strohauflagen reißt wenig bis nicht auf
Zugkraftbedarf	mittel bis hoch (ab 30 PS/m Arbeitsbreite)	hoch (10 PS/je Schar / ab 50 PS/m Arbeitsbreite)	klein (ab 25 PS/m Arbeitsbreite)	Klein (ab 20 PS/m Arbeitsbreite)	Klein (ab 30 PS/m Arbeitsbreite)
Schardruck/Schareigenschaften	meist selbststeinziehend einzeln oder serienweise aufgehängt einzeln tiefengeführt, mehrbalkig	max. 500 kg, über Hydro-Zylinder, automatische Anpassung an Bodenveränderungen, nicht selbststeinziehend, einzeln tiefengeführt	bis 250 kg meist einzeln oder paarweise aufgehängt und gefedert	100–150 kg einzeln tiefengeführt und gefedert	bis 250 kg bei den Vorlaufscheiben meist einzeln aufgehängt und gefedert
Saatgutdosierung	pneumatisch und mechanisch	pneumatisch und mechanisch	pneumatisch und mechanisch	pneumatisch und mechanisch	pneumatisch und mechanisch
Düngeroptionen	Ja, im selben Schar, oder als zusätzliches Unterfütterungsschar	Ja, andere Seite vom Scheibensech, räumlich getrennt, variable Höhe	Ja, im selben Schar in die Saatrille zum Saatgut oder als zusätzliches Unterfütterungsschar	Ja, im selben Schar in die Saatrille zum Saatgut oder als zusätzliches Unterfütterungsschar	Ja, im Säschar zum Saatgut oder bei der Vorlaufscheibe

3.5.9 Saatgutablage in den Erdstrom der Kurzscheibenegge

(Mulchsaat mit Erdaddeckung ohne Säscharre) (Quelle: LOP SH, 2011,35)

Das Saatgut wird in den Erdstrom der Kurzscheibenegge eingebracht (Abb. 143). Dabei erfolgt die Saatgutablage durch Auslässe direkt in den Erdstrom hinter jeder Scheibe der zweiten Scheibenreihe. Durch den Untergriff wird ab einer Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h Erde aufgeworfen. Das Saatgut wird dabei in einem Band genau zwischen den Scheiben (25 cm Abstand) abgelegt und von der jeweils nebenstehenden Scheibe mit Erde bedeckt.



Abbildung 143: AGRISEM Disc-O-Mulch (Quelle: AGRISEM Firmenprospekt 2012)

Bei der Aussaat mit Erdaddeckung wird der Samen unter den Erdfluß gelegt. Damit ist eine Saattiefenkontrolle möglich. Bei der Breitsaat wird die Saat in den Erdfluß geworfen, die Saattiefe ist dabei unregelmäßig.

3.5.10 Breitsaat

Das Prinzip der Breitsaat (Abb. 144 und Abb. 145) beruht darauf, dass das Saatgut breitflächig verteilt wird. Eine Ausbringung ist sowohl in die noch stehende Vorkultur, in Mähdruschsaat oder während der Stoppelbearbeitung möglich. Bei diesem Prinzip besteht oftmals keine optimale Saatguteinbettung in den Boden.

Am weitesten verbreitet ist dieses Prinzip bei der Bestellung von Zwischenfrüchten. Die Saatgutablage erfolgt dabei in der Regel zwischen Grubberwerkzeugen und der Walze, wodurch das Saatgut gleichzeitig Bodenschluss erhält.

Optimal hinsichtlich Sattgutverteilung sind pneumatische Streuer, die vor allem bei Seitenwind eine gleichmäßige Saatgutverteilung ermöglichen (vgl. N.N, 2011, 27).



Abbildung 144: Pneumatische Aussaat von Feinsämereien (Quelle: Firmenprospekt Väderstad „Bio-drill–360 (BDA))



Abbildung 145: Umbruchlose Grünlanderneuerung mittels Frässaat (Quelle: LOP SH 2011, 27)

3.5.11 Striegelsaat

Die Striegelsaat (Abb. 146) ist eine Variante der Breitsaat. Diese kann für die Aussaat von Zwischenfrüchten, Raps, Gräsern und Kleearten angewendet werden. Bei der Striegelsaat erfolgt eine breitflächige Verteilung des Saatguts auf der unbearbeiteten Stoppel zum Beispiel mit einem Pneumatikstreuer (Abb. 147), ehe dieses Saatgut in einem zweiten Arbeitsgang mit einem Schwerstriegel in Kontakt mit dem Boden gebracht wird.



Abbildung 146: Schwerstriegel (Quelle: LOP 4/2012, 7)



Abbildung 147: Pneumatischer Düngerstreuer (Quelle: LOP 4/2012, 6f)

Die Striegelsaat ist eine gute Alternative zur Mähdruschsaat, die den Fahrer des Mähdreschers schnell überfordern kann (vgl.: N.N, 2012, 6 f).

3.5.12 Güllesaat mit Saatgutdosierung

Die norwegische Firma AGROMILO hat ein Gülleschleppschlauchsystem entwickelt mit dem es möglich ist Saatgut wie Grassamen oder Raps präzise mit der Gülle auszubringen (Abb. 148 und Abb. 149). Innerhalb des Verteilerkopfes wird dabei ein Vakuum erzeugt und so das Saatgut präzise zudosiert. Die Saatgutmenge wird dabei entsprechend der Ausbringmenge der Gülle berechnet. Eine weitere Möglichkeit der Saatgutdosierung ist der Einsatz einer pneumatische Sämaschine von Technik Plus.



Abbildung 148: Beimischung der Untersaat in die Gülle und Schleppschlauchausbringung
(Quelle: LOP/SH 9/2010-71f)



Abbildung 149: Zudosierung mit der pneumatischen Sämaschine von Technik Plus
(vgl. LOP SH 9/2011 – 29 f)

3.5.13 Säende Federstempelnachläufer (System Heko)

Es gibt Maschinen, die sich nicht in das übliche Schema einordnen lassen.

Der „Säende Federstempelnachläufer—von der Firma HEKO Konrad Hendlmeier ist eine davon (Abb. 150). Die komplette Maschine besteht aus Grubber und aufgebauter pneumatischer Sämaschine sowie einem Federstempelnachläufer.



Abbildung 150: Kombination aus Federstempelwalze mit Schleppzinken von Hendlmeier
(Quelle: LOP SH, 2011, 20)

3.5.14 Mulch und Direktsaat mit der Einzelkornsämaschine

Die Mulchsaat von Zuckerrüben, Sonnenblumen und Mais stellt höhere Anforderungen an die Sätechnik als die konventionelle Saat, da das Saatbett fester und oft auch weniger homogen ist. Außerdem müssen Rückstände von Zwischenfrucht oder Stroh bewältigt werden. Zuckerrüben stellen dabei besonders hohe Ansprüche an die Saatguteinbettung.



Abbildung 151: Räumsterne an der Einzelkornsämaschine KUHN Maxima 2
(Quelle: LOP SH, 2011, 30)

Zunehmend gewinnt die Einzelkornsaat (Abb. 151) auch für weitere Kulturen, wie Körnerleguminosen, Feldgemüse und Winterraps an Bedeutung. Andererseits gibt es beim Mais, der traditionell in Einzelkornsaat bestellt wird, eine Tendenz zur Saat mit der Drillmaschine (vgl.: N.N, 2011, 31).



Abbildung 152: Das Guillotine-Schar als Düngerschar an einer Einzelkornsämaschine
(Quelle: LOP SH, 2011, 34)

Die Kombination von Schneidsech und Bodenmeißel (Abb.152) ermöglicht eine Direktsaat, auch unter schwierigen Bedingungen (z.B. Mais in Grünlandnarbe) (vgl. N.N, 2011, 34).

3.5.15 Mähdruschsaat (Vorernte- und Erntesaat)

Die Ernte und die darauf folgende Wiederbestellung zusammenzufassen wurde bisher beim Mähdrusch und bei der Rübenenernte erprobt.

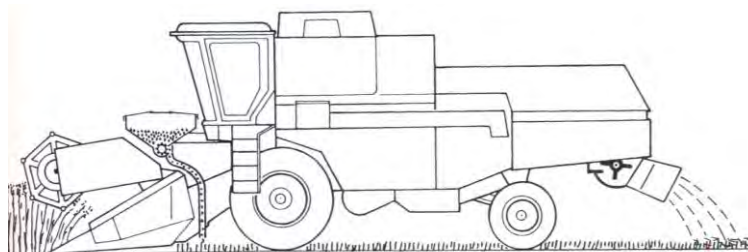


Abbildung 153: Mähdruschsaat (vgl. KÖLLER und LINKE 2001,61)

Die Aussaat vor der Ernte (Vorerntesaat) erfolgt überwiegend in den stehenden Bestand mittels Düngerstreuer, in den USA auch per Flugzeug, zum Beispiel Einsaat von Weizen in stehende Sojabohnenbestände (vgl.: KÖLLER und LINKE 2001, 61).

Die Aussaat während der Ernte (Erntesaat) (Abb. 153, Abb. 154 und Abb. 155) hat den Vorteil, dass die Saatgutablage unmittelbar hinter dem Schneidwerk erfolgt und anschließend mit Häckselstroh bedeckt wird. Gleiches gilt für den Rübenroder, wo die Sämaschine hinter dem Roder angebracht ist; beim Roden der benachbarten Rübenreihen wird das Saatgut dann mit Rübenkraut abgedeckt. Somit kann auf spezielle Einbettungswerkzeuge verzichtet werden.

Von der Firma Güttler wurde 1993 ein spezielles Gerät für die Mähdruschsaat entwickelt, das unmittelbar an das Schneidwerk des Mähdreschers angebaut wird.

Es ist eine Direktsaatvorrichtung - die Ablage des Saatgutes erfolgt bei diesem System mit einer speziell entwickelten Einscheibenschar (Abb. 154) unmittelbar hinter dem Schneidwerk.



Abbildung 154: Mähdruschsaat, System Güttler, entwickelt 1993 (Quelle: Werkbild Güttler, 2007)

Ein Versuch - mit dem Mähdrescher zu säen - wurde neuerlich von der HfWU Nürtingen-Geislingen, dem Landratsamt Tübingen und der Universität Hohenheim durchgeführt. Dazu wurde der Mähdrescher am Heck mit einem pneumatischen Sägerät mit 400 l Behältervolumen, einer elektrischen Füllstandsüberwachung und Dosierantrieb, einem Radarsensor sowie einem hydraulisch angetriebenen Gebläse für die Saatgutförderung angebracht. Zusätzlich wurde ein Ein-/Aus-Schalter an den Einzugskanal montiert.

Beim Aushub des Schneidwerkes wird die Saatgutdosierung so abgeschaltet. Zusätzlich wurde noch ein Schalter für den Dauerbetrieb installiert. Die Gerätebedienung erfolgt über ein zentrales Terminal. Über eine Arbeitsbreite von 6 m wurden 9 Prallteller montiert, zu denen das Saatgut über Schläuche verteilt wird. Messungen ergaben eine gleichmäßige Saatgutverteilung über die gesamte Arbeitsbreite (vgl.: LOP 7/2011, 43 f).



Abbildung 155: CLAAS – Mähdrescher Lexion 580, umgebaut 2009 (Quelle: LOP 7/2011, 41)

Ein besonderer Vorteil des Verfahrens der Mähdruschernte ist, dass die Vegetationszeit optimal genutzt wird. Insbesondere ist eine termingerechte Bestellung von Winterraps und Zwischenfrüchten (z.B. Senf) in Spätdruschgebieten möglich (vgl. LOP SH, 2011, 28 f).

3.5.16 Streifenbearbeitung (Strip-Tillage)

Statt den Acker ganzflächig zu lockern, erfolgt die Lockerung nur noch in der Saatreihe. Damit eignet sich das Verfahren vor allem für Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben, aber auch für Sonnenblumen und Raps (vgl.: LOP 5/2010,3).

Die Folge Lockerung, Rückverfestigung und gleichzeitig Aussaat in einem Arbeitsgang geht nur auf sehr leichten Böden. Sobald der Tongehalt über 8 - 10 % ansteigt, wird es schwierig. Auf feuchtem, tonreicherem Acker bleiben die Schlitze offen, ebenso gibt es Probleme, wenn der Boden nicht krümelt (vgl.: HERMANN , 2011, 1440 f).

Bei einer Streifenlockerung auf schweren, nicht schuttfähigen Böden ist es dagegen erforderlich, beide Arbeitsgänge mit einem Abstand von mehreren Wochen separat durchzuführen. Die Lockerung sollte auf eine Tiefe von 25 cm im Herbst erfolgen, damit genügend Zeit für eine Rückverfestigung bleibt.

Bei der Herbstlockerung und Frühjahrssaat ist für eine ordentliche Saat eine RTK (Real Time Kinematic) GPS gesteuerte Lenkautomatik mit 2 – 3 cm Genauigkeit Voraussetzung.

Auf keinen Fall sollte der Boden unmittelbar vorher anderweitig bearbeitet werden.

Dieses Verfahren bringt viele Vorteile (vgl.: SEDLMEIER, Fortschrittlicher Landwirt, Nr.15-2012, 44).

3.5.16.1 Streifenfrässaat

Bei der Streifenfrässaat erfolgt eine Bodenbearbeitung in der Reihe, in der das Saatgut abgelegt wird (KANT, 1995, BAKER et.al., 1996).

Die Werkzeuge für die Streifenfrässaat (Abb. 156) bestehen aus kleinen, rotierenden Messern (Sichelmesser), die auf einer gemeinsamen Welle sitzen und von der Zapfwelle der Zugmaschine angetrieben werden. Der Boden wird genauso bearbeitet wie mit einer herkömmlichen Bodenfräse, nur mit dem Unterschied, dass die Bearbeitung jeweils auf die auszusäende Reihe beschränkt ist.

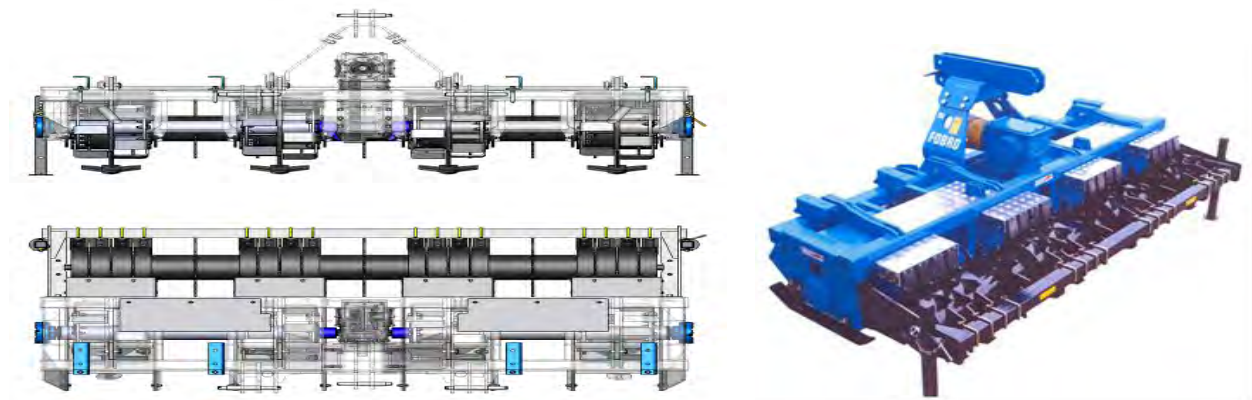


Abbildung 156: 4-reihige Streifenfräse optimiert mit einem kleinen Schar für eine Zusatzunterlockerung (Quelle: Bärtschi-FOBRO OekoSem IV, Vertretung: Fa. Hörtenhuemer GmbH, Thalheim bei Wels)

Der vorgelagerte Grubberzinken hebt den Boden an, die Fräse bearbeitet den angehobenen Bereich und die nachgelagerte Packerwalze sorgt für die Rückverfestigung. Die Fräse kann große Grünmengen einarbeiten.

Ein Einsatz der Reihenfräse nach einer Pflug- oder Grubberarbeit funktioniert nicht gut, da das eingemischte Mulchmaterial durch das Grubberschar der Fräse wieder an die Oberfläche geholt wird (vgl.: N.N, 2012,10).

In (Tab. 37) sind die technischen Daten einer Streifenfräse angeführt.

Tabelle 37: Technische Daten der FOBRO Streifenfräse - OekoSem IV

(Quelle: Firmenprospekt 2012, Österr. Vertretung Fa. Hörtenhuemer, Thalheim bei Wels)

Gerätebreite (m)	3 – 6
Gewicht (kg)	1650
Reihenabstand (cm)	75
Arbeitstiefe des Grubbers (cm)	20 – 25
Scharneigung in den Boden (°)	10
Arbeitstiefe der Fräse 8 (cm)	10 – 15
Breite des gefrästen Streifens (cm)	30
Antriebsdrehzahl (U/min)	1000
Drehzahl des Fräsrotors (U/min)	1000 (kein Getriebe!)
Werkzeug am Rotor	Sichelmesser
Arbeitsgeschwindigkeit (km/h)	max. 7
Leistungsbedarf (kW/PS)	ab 90 /122, max. 184 /250

Während eine Bodenbearbeitung vor der Saat eine gute Saatgutbedeckung gewährleistet ist es jedoch so, dass eine Bearbeitung des Bodens mit rotierenden Werkzeugen eine Form der Bodenbearbeitung ist, die weniger erwünscht ist.

Nachteile der Bodenbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen (HUGHES, 1975; HUGHES und BAKER, 1977; in BAKER et al., 1996).

- Stimulation der Keimung von Unkrautsamen
- Zerstörende Wirkung auf die Bodenstruktur
- Hoher Leistungsbedarf

Die Saatgutablage variiert mit der Ausführung der Sämaschine. Bei manchen Geräten werden die Körner direkt in den Lauf der rotierenden Messer gestreut, woraus eine zufällige Tiefenverteilung resultiert. Bei anderen Maschinen sind separate Schare, die normalerweise für bearbeitete Böden verwendet werden, hinter den rotierenden Fräsworkzeugen angeordnet.

Vorteile der Mulchsaat mit rotierenden Bodenbearbeitungswerkzeugen:

- Die für Direktsämaschinen nötigen Schardrücke und der Zugkraftbedarf werden weitgehend durch den Zapfwellenantrieb der Zugmaschine abgedeckt.
- Die geformten Saatschlitze sind U-förmig: es werden keine Pflanzenreste in den Saathorizont gedrückt.
- Die Sattgutabdeckung ist relativ gut.
- In kalten Klimaten erfolgt oft meist ein langsamer Abbau von Pflanzenrückständen. Diese werden mit den rotierenden Fräswerkzeugen gut in den Boden eingemischt.

Generell kann jedoch behauptet werden, dass die Nachteile im Gegensatz zu anderen Mulch- und Direktsämaschinen überwiegen.

- Die Tatsache, dass Pflanzenreste in den Boden eingemischt werden, hat zur Folge, dass das Saatgut mit diesen Rückständen in Berührung kommen kann, was sich negativ auf die Pflanzenentwicklung auswirkt.
- Eine Trennung von Saatgut und gleichzeitig ausgebrachtem Dünger ist kaum möglich.
- Die besagten Maschinen sind im Gegensatz zu den übrigen Direktsämaschinen relativ komplex.
- Es gibt Probleme mit der Abnützung der Werkzeuge, dem Einhalten der Ablagetiefe und der Zerstörung durch im Boden befindliche Steine oder andere Hindernisse.

Die größte Verwendung können rotierende Fräswerkzeuge dann finden, wenn die übrigen Schare für die Direktsaat nicht mehr einsatzfähig sind. Solche Bedingungen können an Standorten auftreten, die Jahre oder Jahrzehnte lang brach gelegen sind und wieder erneuert werden sollen. Auf solchen Standorten erfolgt eine immense Anhäufung von Biomasse, die zuerst durchschnitten und in den Boden eingemischt werden muss, um halbwegs brauchbare Keimbedingungen für das abgelegte Saatgut zu schaffen.

Durch die Bodenbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen wird nur kurzzeitig eine mechanische Durchlüftung im Saathorizont geschaffen, im Gegensatz zu Werkzeugen, die eine natürliche Durchlüftung aufgrund der Anhäufung von Regenwurmpopulationen schaffen. Die Fräswerkzeuge tendieren dazu, den Boden an

der Basis zu verdichten, es konnten jedoch noch keine Beeinträchtigungen für das Wurzelwachstum festgestellt werden (vgl. HEINZLMAIER, 2003, 33f).

3.5.16.2 Streifenbearbeitung mit der Grubbersämaschine

Der Dammgrubber für Reihenkulturen (Focus TD) (Abb. 157) wurde von der Firma HORSCH speziell für die tiefe Bodenlockerung konzipiert (20 - 35 cm) und wird vor Reihenkulturen oder vor Sommergetreide ohne nachfolgende Rückverfestigung eingesetzt.

Bearbeitungsschritte:

1. Zinken mit Steinsicherung lockern streifenweise u. legen gleichzeitig Dünger ab.
2. Dammformer räumen den Saatbereich
3. Reifenpacker verfestigen den Boden
4. Scheibenschare legen das Saatgut ab. Anschließend folgen Andruckrollen und Striegel (Quelle: Terra HORSCH 01/2010, 11).



Abbildung 157: Streifenbearbeitung mit Düngung und Aussaat (Quelle: Terra HORSCH 01/2010,6)

Diese Geräte kombinieren Bodenbearbeitung und Aussaat mit Unterfußdüngung. Das Gerät ist ein Grubber, dessen Zinkenabstände auf die Säaggregate abgestimmt sind. Das Gerät kann gut zu Raps, aber auch bei Weizen, dann allerdings mit der doppelten Zahl an Säaggregaten, eingesetzt werden.

Es wird in einem Zug tief gelockert und sofort gedrillt. Es kann auch gleichzeitig gedüngt werden. Zum Verstellen der Düngerablage muss der Schlauchanschluss am Verteiler entsprechend positioniert werden (Abb. 158).

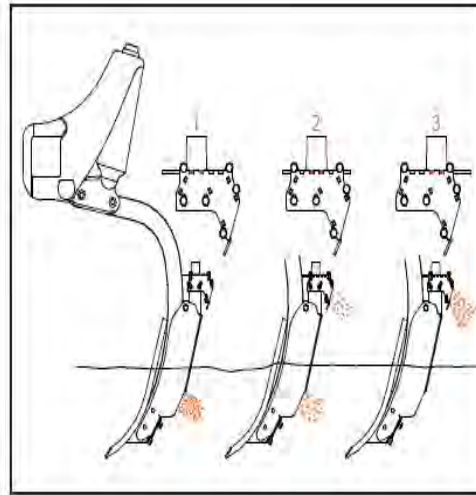


Abbildung 158: Düngerablage Zinken Focus TD (Quelle: HORSCH)

1 Ablage im Boden, 2 Ablage verteilt in den Boden und der Oberfläche,
3 Ablage auf der Oberfläche

In (Tab. 38) sind die technischen Daten der Strip Till Sämaschine angeführt.

Tabelle 38: Technische Daten – Strip Till-Sämaschine Horsch Focus TD 6 (Quelle: terra Horsch 01/2010, 7 u. Betriebsanleitung Focus TD)

Arbeitsbreite (m)	6	(Focus TD 7 7,2)
Eigenmasse (kg)	8610	
Anzahl der Zinken	17	
Zinkenabstand in der Reihe (cm)	70,6	
Strichabstand (cm)	35,3	
Reihenabstand (cm)	35,3 / 17,6	
Lockerungsabstände (cm): ZR / Mais	45 – 75	
Getreide, Winterraps	35 - 38	
Arbeits- bzw. Lockerungstiefe (cm)	20 – 35	
Anzahl der Säschar	17 / 34	
Schardruck Säschar (kg)	5 – 120	
Depotdüngung / Unterfußdüngung	tief / an die Reihe	
Arbeitsgeschwindigkeit . (km/h)	6 - 10	
Zugleistungsbedarf bei 6 m kW/PS	175 – 270 / 240 – 370	
bei 7,2 m kW/PS	205 – 315 / 280 – 430	

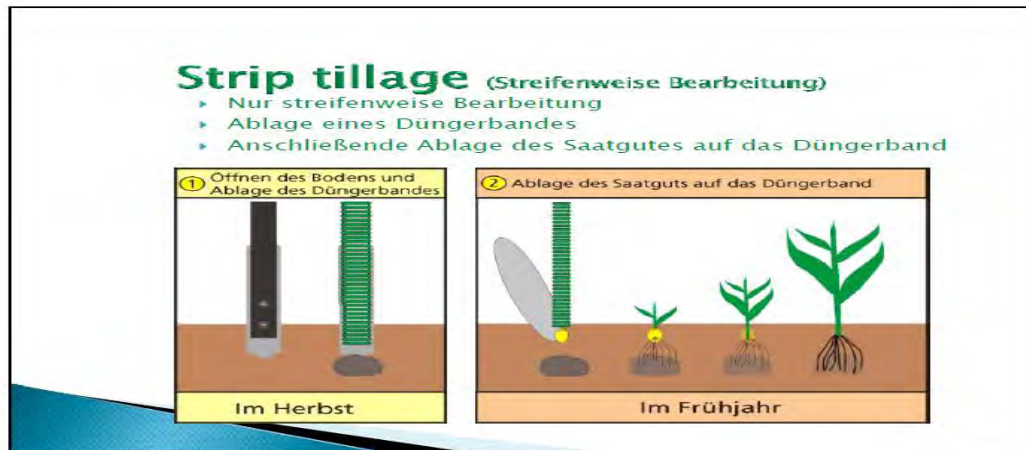


Abbildung 159: Strip – Tillage – Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat

(Quelle: SEDLMEIER, Agrarbildungszentrum-Triesdorf)

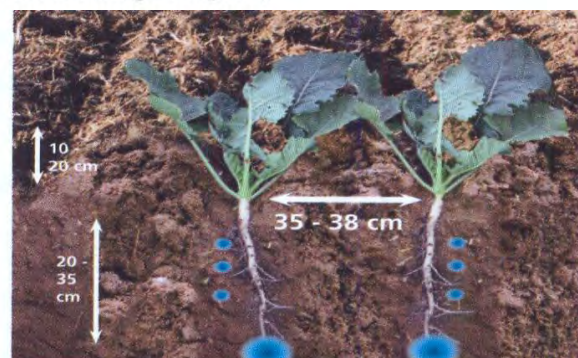
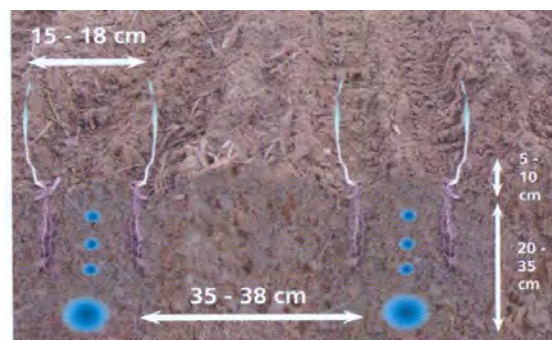
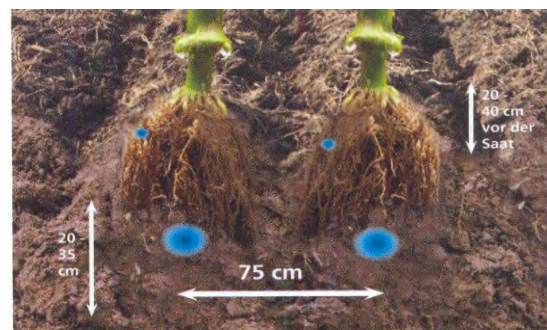
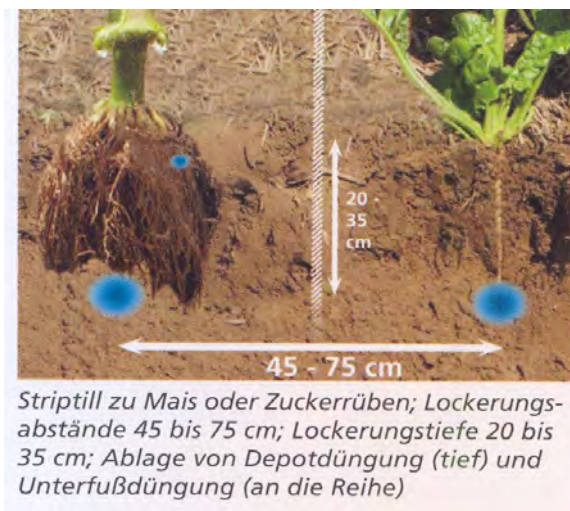


Abbildung 160: Arbeitsbilder des Focus TD bei der Aussaat und Düngung

(Quelle: terra Horsch 01/2010, 6-9)

Prinzip Väderstad „Spirit—



Abbildung 161: Strip Till- Sämaschine Väderstad „Spirit—(Quelle: Firmenprospekt Vaederstad)

Detail: Lockerungszinken

Zinkenbreite: 25 mm

Die Zinken sind schmal (Abb. 161) – sie heben den Boden nur wenig an – dadurch ergibt sich ein geringer Zugkraftbedarf. Der Zinkenabstand beträgt 670 mm. Dies ergibt einen ausreichenden Durchgang für das Stroh und die Ernterückstände. Die Zinken hinterlassen ein gut gelockertes Saatbeet welches vom Reifenpacker ausreichend verdichtet wird.

Die Zinken sind als Düngerschare ausgestattet, die zwei Ausgänge haben. Die Höhe der Schare ist einstellbar, so können Düngemittel in zwei Ebenen übereinander ausgebracht werden. Über eine einfache Einstellung können die Zinken seitlich um ca. 85 mm verschoben werden. Dies bringt die Lockerungszinken in Übereinstimmung mit den Säscharen (Doppelscheibenschare) beim Säen von Raps oder zwischen den Reihen beim Säen von Getreide.

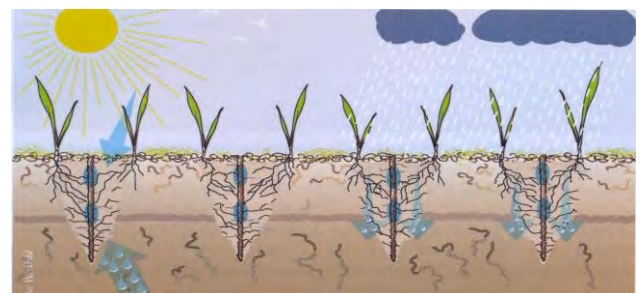
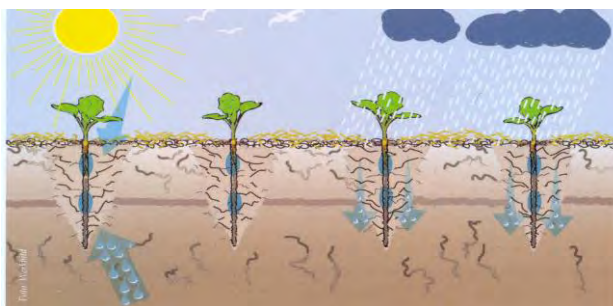


Abbildung 162: Winterraps (links) wird direkt auf den gelockerten Schlitz gesät, bei Getreide (rechts) wird zwischen den Saatzeilen gedüngt (Quelle: Firmenprospekt Vaederstad)

Raps wird direkt in die vom Zinken gelockerte Furche gesät und das Düngemittel darunter in der gewünschten Tiefe platziert. Die Furche wird teilweise geschlossen, so dass der Raps nicht zu tief in den Boden fallen kann. Diese Düngerablage schafft ideale Voraussetzungen für ein gutes und tiefes Wurzelwachstum und damit die Möglichkeit für hohe Erträge.

Der Abstand der Säscharre bei der Rapsaussaat beträgt 335 mm.

Getreide wird mit allen Scharen gesät, der Abstand der Säscharre beträgt 167 mm.

Diese Art der Bodenlockerung hilft bei hohen Niederschlägen, dass das Wasser sehr gut und schnell vom Boden aufgenommen wird.

In (Tab. 39) sind die technischen Daten der Strip Till-Sämaschine angeführt.

Tabelle 39: Technische Daten - Strip Till-Sämaschine (Väderstad „Spirit“)-(Quelle: Väderstad Spirit Strip Till - Firmenprospekt 2012)

Arbeitsbreiten (m)	4 und 6
Zinkenabstand (mm)	670
Strichabstand (mm)	335
Säscharabstand – Raps (mm)	335
- Getreide (mm)	167
Schardruck (kg)	30 – 70
Arbeitstiefe max. (mm)	300
Arbeitsgeschwindigkeit max. km/h	15
Zugleistungsbedarf bei 4 m (kW/PS)	147- 184 / 200-250
bei 6 m (kW/PS)	220 – 258 / 300-350



Abbildung 163: Streifenbearbeitung mit Düngerablage und Einzelkornsäat mit konventionellen Säaggregaten (Quelle: Firmenprospekt Köckerling Master)

3.5.16.3 Streifenbearbeitung mit dem KUHN- Striger

Der Striger (Abb. 164 - Abb. 170) ist ein Bodenbearbeitungsgerät (Zinkengerät), mit dem der Boden nur auf den Streifen gelockert wird, in die später Reihenkulturen wie Mais, Zuckerrüben, Sonnenblumen oder Raps eingesät werden.



Abbildung 164: KUHN-Striger, 6-reihig (Quelle: LOP 4/2011, 44)

In (Tab. 40) sind die technischen Daten des Strigers angeführt.

Tabelle 40: Technische Daten von Streifenbearbeitungsmaschinen (Striger)

Rahmentyp	klappbar
Arbeitsbreite (m)	zwischen 4,4 und 6
Reihenanzahl	zwischen 6 und 12
Reihenabstand (cm)	45 – 80
Breite des Erdstreifens (cm)	10 – 20
Arbeitstiefe – Schnellverstellung (cm)	0 – 30
Aufbau des Bodenbearbeitungsgerätes	Schneidscheibe, Sternklutenräumer, Zinken, zwei gewellte Scheiben, Andruck- u. Krümelrolle
Düngung	über Fronttank
Arbeitsgeschwindigkeit (km/h)	10 – max. 12
Leistungsbedarf pro Element bei mittlerer Arbeitstiefe von 20 cm (kW/PS)	18 – 22 / 25 – 30

Strip-Till wird ohne vorherige Bodenbearbeitung direkt in Stoppeln oder nach der Zwischenfrucht angewendet.

Das Werkzeugmodul besteht aus einer Schneidscheibe, einem Sternklutenräumer, zwei gewellten Scheiben und einer speziellen Andruck- und Krümelrolle.

Alle Bodenbearbeitungswerkzeuge sind federbelastet, um einen Einsatz in steinigem Böden zu ermöglichen. Die Maschine ist so konzipiert, dass sie auf den verschiedensten Böden auch bei großen Mengen an organischer Masse eingesetzt werden kann. Um die Saatreihe freizuräumen, sind die frei beweglichen Sternklutenräumer in der Höhe verstellbar. Die gewellten Scheiben, die den Erdstrom führen, sind verstellbar und erzeugen einen 10 – 20 cm breiten Erdstreifen. Die Arbeitstiefe, der mit Karbid beschichteten Zinken, ist in einem Bereich von 0 – 30 cm schnell verstellbar (vgl.: LOP, 4/2011, 44).

Die Flächenleistung ist sehr hoch und bei einer Feldbestellung zum Beispiel für Mais wird der Anteil der bearbeiteten Bodenfläche um 80 % reduziert, was zu einer deutlichen Verringerung des Kraftstoffverbrauches führt.

Durch die Trennung der beiden Bearbeitungsschritte – Bodenbearbeitung und Aussaat – entstehen größere Zeitfenster und damit mehr Flexibilität bei der Feldbestellung. Die Aussaat erfolgt mit einer konventionellen Einzelkornsämaschine. Innerhalb der Säreihe wird das gleiche Ergebnis erzielt wie bei der konventionellen Feldbestellung (Quelle: Kuhn – Firmenprospekt 2012).



Abbildung 165: Striger (Quelle:Werkbild KUHN)



Abbildung 166: Einsatz des Strigers auf einer Fläche mit Zwischenfruchtmulch.
(Quelle: LOP 1/2 -2011, 30).



Abbildung 167: Striger im Detail (Quelle: LOP 9/10 2011, 8)

Düngerdosierung über den Kuhn Modulin, Wellsech, Sternradräumer und Lockerungszinken mit Düngereinjektion, dahinter Stabwalze (vgl.:LOP 9/10 2011, 8).



Abbildung 168: Streifenbearbeitung und Zuckerrübensaat in stehender Zwischenfrucht mit dem 12-reihigen Striger (Quelle: LOP, 4/2012, 10)



Abbildung 169: Streifenbearbeitung, partielle Lockerung des Bodens X-Till S (Slurry) mit Gülleunterfußdüngung (Quelle: Werkbild Vogelsang)

Systemaufbau und Arbeitsweise von Streifenlockerungsmaschinen:

- Ein Scheibensech schneidet die Oberfläche auf, zerkleinert Pflanzenrückstände und öffnet den Weg für den nachlaufenden Zinken
- Zwei Räumsterne (Sternklutenräumer) befreien die Streifen von Pflanzenresten und machen den Weg frei für den Säschlitz. Sie sorgen dafür, dass das Saatkorn und die Pflanzenrückstände nicht miteinander in Kontakt kommen. Auf diese Weise wird die Krankheitsanfälligkeit verringert. Die Räumsterne sind

genau einstellbar. Damit kann die Bearbeitungsintensität an die vorhandene Menge an Pflanzenrückständen angepasst werden.

- Ein schmaler Lockerungs- / Düngeschar – Zinken lockert den Boden bis in eine Tiefe von 30 cm auf. Die Zinken und die gewellten Scheiben laufen getrennt voneinander, damit keine Erde auf die unbearbeitete Bodenoberfläche geworfen wird.
- Beim XTill S (Abb. 169) von Vogelsang wird in unmittelbarer Nähe der Pflanze in der Tiefe von 10 – 20 cm über einen Injektor hinter dem Schar Gülleunterfuß im Depot abgelegt.
- Zwei Anhäufelscheiben (gewellte Scheiben) formen einen gekrümelten Damm.
- Zwei Andruckrollen verfestigen den Damm V-förmig, zugleich wird Feinerde geschaffen.

(Quelle: KUHN – Firmenprospekt 2012)

Die Streifenbodenbearbeitung - Strip Tillage – für Reihenkulturen verbindet die positiven Eigenschaften von Direktsaat und minimalen Eingriff in die Bodenstruktur mit intensiver Bearbeitung im Bereich der Kulturpflanzen. Sie ist eine Alternative für eine schlagkräftige, bodenschonende, erosionsmindernde, wasser- und energiesparende Bestellung von Reihenfrüchten (Mais, Rüben, Raps).



Bildquelle: Dawn Equipment Company



Bildquelle: Dawn Equipment Company

Abbildung 170: Streifenbodenbearbeitung – Strip Tillage in den USA (Bildquelle: Dawn Equipment Company)

Aus dem Versuchswesen zu Strip Tillage in Europa



Abbildung 171: Streifenlockerungsversuch
(Quelle: Werkbild Köckerling)



Abbildung 172: EXD-Einzelkornsätechnik
(Quelle: Werkbild Amazonen Werke)

Die Firma Köckerling versucht Streifenlockerung und Aussaat von Zuckerrüben auf schütffähigen Böden. Nach Versuchen in den Jahren 2008 und 2009 waren im Jahr 2010 sieben Gerätekombinationen in Niedersachsen im Einsatz.

Die Amazonen Werke Dreyer führen im 2. Jahr Untersuchungen zu Strip Tillage bei Raps und Getreide mit Nutzung der neuen EDX – Einzelkornsätechnik durch.



Abbildung 174: Streifenbearbeitung HORSCH

Die Firma Horsch führt auf eigenen Betrieben und zusammen mit der Sächsischen Landesanstalt seit 2001 bzw. 2005 Versuche zur Streifenbodenbearbeitung zu Mais und Raps durch (vgl.: DEMMEL, 2011, 15ff).

Tabelle 41: Vergleich Mulch- und Streifensaat von Zuckerrüben

Jahr	Verfahren	Bestandes- dichte [Pfl./m²]	Reine Rüben [dt/ha]	SMV 1) [%]	Zucker- Gehalt [%]	BZE 2) [dt/ha]
Praxisvergleich						
2007-	Mulchsaat	8,9	665	1,42	18,4	123
2009	Strip Tillage	7,8	743	1,43	17,8	132
Praxisvergleich						
2008-	Mulchsaat	8,6 a	869 a	1,7 a	17,9 a	121 a
2009	Strip Tillage	7,6 b 3)	836 a	1,6 a	18,1 a	121 a
1) Standardmelasseverlust, 2) Bereinigter Zuckerertrag, 3) Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich statistisch.						

3.5.17 Dammverfahren für Mais (Ridge-tillage)

Die Herausforderung im Maisbau auf den schweren, lehmigen Standorten besteht darin, im Frühjahr Abtrocknung und Bodenerwärmung ohne Saatbettbereitung realisieren zu können.



Abbildung 175: Tiger 6 DT im Herbststeinsatz – spurgetreue Führung mittels RTK

(Quelle: Horsch-Firmenprospekt 2012)

Tabelle 42: Technische Daten – HORSCH Tiger 6 DT

Arbeitsbreite (m)	6,4
Eigenmasse (kg)	5500
Rahmenhöhe (mm)	850
Anzahl der Balken	4
Anzahl der Zinken	17
Zinkenabstand in der Reihe (cm)	150
Strichabstand (cm)	37,5
Reihenabstand bei ZR / Mais (cm)	45 bzw. 50 / 75
optimaler Lockerungsabstand (cm)	35 – 38
Arbeitstiefe (cm)	20 – 35
Dammhöhe je nach Schüttfähigkeit (cm)	20 – 40
Auslösekraft der Überlastsicherung (kg)	bis 800
Arbeitsgeschwindigkeit (km/h)	5 – 8
Leistungsbedarf (kW/PS)	220-400 / 300-550

Die Abtrocknung und Bodenerwärmung lässt sich am einfachsten durch eine große, bearbeitete Bodenoberfläche erzeugen. Der Anbau von Mais auf Dämmen bietet diese Voraussetzungen. Die Dämme müssen auf den schweren Standorten im Herbst angelegt werden und sorgen durch ihre große Oberfläche für eine intensive Frostgare. Da auf schweren Böden ein Dammaufbau vergleichbar – wie bei den Kartoffeln – nicht oder nur mit sehr hohem Energieaufwand zu erreichen ist wurde mit dem Tiger TD eine Maschine entwickelt, die Bodenbearbeitung und Dammbildung kombiniert.

Die Zinkengeometrie ist so gewählt, dass durch die Bearbeitung des Bodens Dämme mit einem Mittelabstand von 75 cm entstehen. Die ersten beiden Zinkenreihen lockern jeweils den Bereich unter der zukünftigen Maisreihe, die hinteren beiden Zinkenreihen den Bereich zwischen den Reihen.

Die Lockerung erfolgt je nach Standort und Bodenfeuchte auf einer Tiefe von 20 – 30 cm. Die Erde aus der Lockerung zwischen den Reihen wird für den Dammaufbau genutzt. Die Dämme bestehen aus lockerer Erde und groben Kluten. Durch die große Oberfläche der Dämme findet eine intensive Frosteinwirkung und Absetzen der Dämme sind unmittelbar nach der Bearbeitung – je nach Bodentyp – zwischen 20 – 40 cm hoch und setzen sich bis zum Frühjahr auf 10 – 20 cm ab. Je gröber der Damm im Herbst hinterlassen wird, desto intensiver ist die Frostgare.

Für die Lockerung stehen zwei verschiedene Schartypen zur Verfügung. Das MulchMix-Schar (Abb. 176) hat eine Breite von 80 mm und ist für leichte bis mittelschwere Böden geeignet. Für schwere bis sehr schwere Böden wird ein 40 mm breites Meißelschar verwendet. Durch die schmalere Bauform ist diese Scharvariante entsprechend leichtzügiger bei geringerer Mischwirkung (vgl.: BRANDT et al., 2011,8).



Abbildung 176: MulchMix-Schar, 80 mm breit
(Quelle: Horsch- Firmenprospekt 2012)

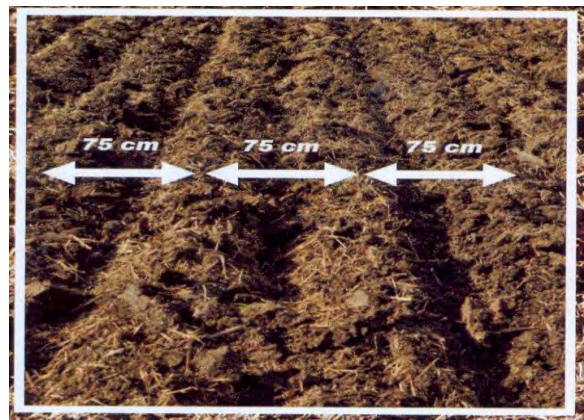


Abbildung 177: Dammaufbau im Herbst
(Quelle: Terra HORSCH, 02/2011,6)

Als Überlastsicherung für die Zinken dient der Terra Grip Zinkenträger mit hydraulischer Betätigung. Sollte es zu einer Berührung mit einem Fremdkörper kommen, kann jedes Schar bis zu 30 cm nach oben ausfedern.

Die Tiefenführung des Tiger DT erfolgt über das zentrale Fahrwerk, welches in den 4-balkigen Rahmen integriert ist. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass kein bereits bearbeiteter Teil des Bodens mit den Rädern des Fahrwerks überrollt wird und dadurch keine Spuren entstehen. Mit der 6 m Maschine kann eine Vorarbeit von 8 Maisreihen mit einem Abstand von 75 cm gemacht werden.

Für die Anlage und Aussaat einer Dammkultur ist es wichtig, exakte, gerade Dämme mit gleichem Abstand auch im Anschlussbereich von zwei Arbeitsbreiten zu haben. Die Dämme der Anschlussfahrt müssen in einem Toleranzbereich von plus/minus 5 cm liegen, damit die Aussaat problemlos erfolgen kann, vor allem wenn mit Geräten unterschiedlichster Arbeitsbreiten gearbeitet wird.

Die exakte Anschlussfahrt im unteren cm Bereich ist bei der Bodenbearbeitung nicht immer ganz unproblematisch, insbesondere bei gezogenen Bodenbearbeitungsgeräten und kupierten Lagen (Seitenhängen). Die stärksten Abweichungen von der „Ideallinie— werden durch Spuren oder Verdichtungen im Boden hervorgerufen.

Um dennoch saubere, gerade Dämme mit exaktem Anschluss zu bekommen, ist der HORSCH Tiger 6 TD mit jeweils zwei Lenksechen pro Seite ausgerüstet (Abb. 178). Diese aktive Maschinenlenkung (auch Implement Steer genannt) wird über die Bordhydraulik des Zugfahrzeuges gespeist und kann mit Hilfe von Hydraulikzylindern den Grubber auf der Spur des Zugfahrzeuges halten. Die Steuerung erfolgt über ein GPS- Parallel-fahrssystem mit RTK- Korrektur (Real Time Kinematik).

Diese RTK- Einrichtung ermöglicht eine Spurgenauigkeit von bis zu plus/minus 2 cm. Das eingesetzte Lenksystem ermöglicht nicht nur, das Zugfahrzeug zu steuern, sondern gleichzeitig auch noch das Arbeitsgerät auf der vorgegebenen Linie zu führen.



Abbildung 178: GPS gesteuerte Scheibenseche halten den Grubber in der Spur
(Quelle: Terra HORSCH 02/2011, 6ff)



Abbildung 179: Mobile Referenzstation am Feldrand für das RTK-Korrektursignal
(Quelle: Terra HORSCH 02/2011, 6ff)

In der Praxis heißt das, dass sowohl auf dem Zugfahrzeug als auch auf dem Arbeitsgerät jeweils ein GPS-Empfänger montiert ist. Für das RTK -Korrektursignal kann sowohl eine fest installierte Anlage auf dem jeweiligen Betrieb als auch eine mobile Referenzstation (Abb. 179) am Feldrand genutzt werden.

Die im Herbst gezogenen Dämme und Spuren werden mit diesem System aufgezeichnet und können im Frühjahr zur Aussaat wieder abgerufen werden (vgl.: Terra HORSCH 02/2011, 7 ff).

Voraussetzung für die Nutzung von CTF und Strip-Till ist eine präzise Spurführung über GPS. Das System Starfire Mobile RTK (**R**eal **T**ime **K**inematik) von John Deere hat eine Genauigkeit von 2 cm. Dieses System verwendet ein Korrektursignal, das über das D-Mobilfunknetz der Telekom ausgestrahlt wird. Mit dieser Präzision ist es möglich sogar von Wildschweinen angerichtete Schäden im Mais auszubessern und genau in der Reihe nachzusäen (vgl.: LOP 9/10-2011, 9).

3.5.18 Dammverfahren mit angetriebener Direktsämaschine

Dieses Gerät wird im Nordosten Chinas eingesetzt.

Die angetriebene Streifen-Rotordirektsämaschine (Abb. 180) wurde entwickelt um das Problem der Blockierung durch Stroh bei der Aussaat zu lösen und den Energieverbrauch gegenüber Boden angetriebenen Werkzeugen zu senken.

Diese Maschine kann auf instabilen Dämmen den Mais in Direktsaat aussäen. Es ist eine Kombination von horizontal rotierender Scheibe und einem Stützrad mit Schneidscheibe um in die Stoppeln eine offene Saatfurche in exakter Tiefe zu schneiden und gleichzeitig das Gerät zu stabilisieren.

Das Feldexperiment zeigte, dass die Stoppelschicht gut durchtrennt und Blockierungen verhindert werden. Die Zerkleinerung der Ernterückstände betrug ca. 87 mm, die Trennung von Saatgut und Mulch (Dünger aus Zwischenfrucht und Ernterückstände) betrug ca. 48 mm. Somit werden die agronomischen Anforderungen erfüllt. Durch die Verwendung von angetriebener Scheibe und Säschar wird eine geöffnete Säfurche bei geringer Bodenstörung von nur 22 % und geringem Stromverbrauch erreicht.

Diese Streifen-Direktsämaschine reduziert den Kraftstoffverbrauch um 8,5 %, den Bodeneingriff um 50 % gegenüber der Streifendirektsaat ohne rotierende Scheibe (vgl.:scopus – ridge tillage Nr. 193 von 535)

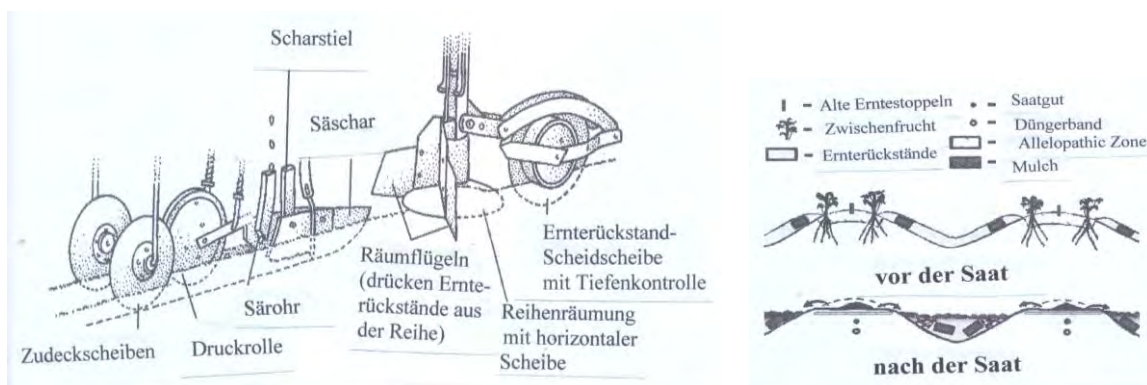


Abbildung 180: Streifen-Rotordirektsämaschine

(Quelle: vgl.: https://www.google.at/search?q=ridge+tillage+Bilder&hl=de&rlz=1T4PRFB_deAT488AT488&tbn=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=yLdwUuObDsuThQfj04GQDA&ved=0CC8QsAQ&biw=1366&bih=530, Zugriff, 30.10.2013)

3.5.19 Dammverfahren im Zuckerrübenbau

Der Anbau von Zuckerrüben auf Dämmen (Abb. 181) ist bekannt aus kalifornischen Anbaugebieten. Dort wird die Aussaat auf Dämmen praktiziert, um Staunässe, die durch Bewässerung entstehen kann, zu verhindern. In Deutschland wurde Ende der Neunziger Jahre mit dem Dammanbau auf schweren Marschböden an der Nordseeküste begonnen. In Anbaugebieten, die zugleich über die technische Ausstattung zum Anbau von Möhren auf Dämmen verfügen.

Verfahren I

Die in diesem Verfahren eingesetzten Maschinen (Abb. 182) bestehen aus einer Dammfräse mit einer nachlaufenden Dammformwalze und einer aufgesattelten Einzelkornsämaschine. Das Verfahren ist einphasig und je nach Bodenverhältnissen wird vorher eine leichte Sekundärbodenbearbeitung durchgeführt, die eine Abtrocknung des Bodens begünstigen soll. Es entstehen Dämme mit einer Dammkronenweite von 20 cm und einer Dammhöhe von 15 cm bei einer Reihenweite von 50 cm.

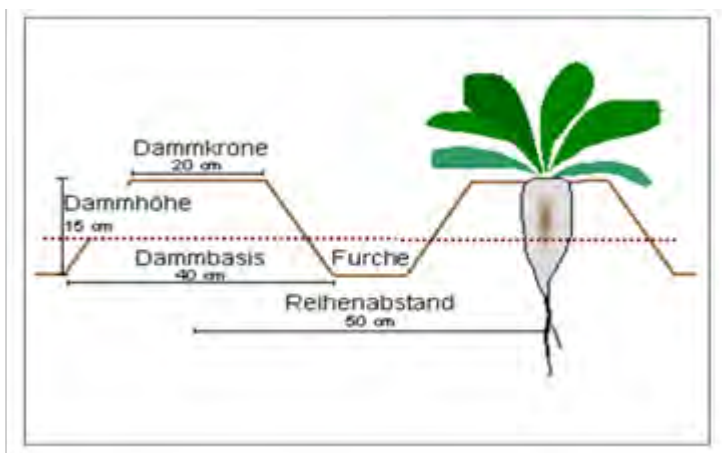


Abbildung 181: Dammgeometrie im Zuckerrübenbau (Quelle: www.suedzucker.de, Zugriff: 04.02.2013)

Dieses Verfahren gewährleistet eine zuverlässige Dammvorformung durch das angetriebene Bodenbearbeitungsgerät und ebenfalls eine feinkrümelige Struktur des Saathorizontes im Damm. Die Dammformwalzen sorgen für eine ausreichende Rückverfestigung und eine exakte Dammgeometrie. Die Walzen werden angetrieben, um ein störungsfreies Abrollen auf den vorgeformten Dämmen zu erreichen. Der notwendige Druck zur Rückverfestigung durch die Dammformwalzen wird durch Abstützung der gesamten Kombination auf den Dammformwalzen erreicht. Die

Antriebsräder der Einzelkornsämaschine laufen im Dammgrund und müssen deshalb um das Maß der Dammkrone abgesenkt werden. Eine weitere Anpassungsmaßnahme am Sägerät ist die Federentlastung der einzelnen Säeinheiten zur Schardruckentlastung. Die Arbeitsleistung ist festgelegt durch die Reihenzahl von 6 Einheiten und die Arbeitsgeschwindigkeit, die durch die Antriebsleistung der Reihenfräse begrenzt wird. Der Leistungsbedarf bei 6 km/h beträgt 120 kW/163 PS.

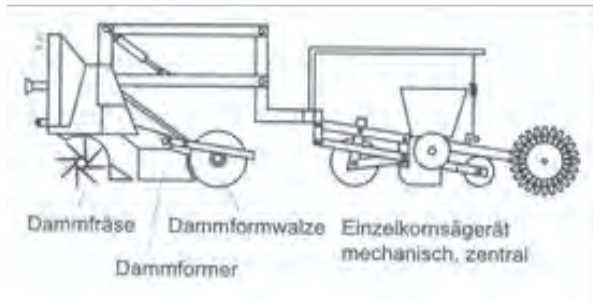


Abbildung 182: Verfahren I –Dammfräse (Quelle: SCHULZE LAMMERS et.al., 2004, 196)

Verfahren II

Zur Reduzierung der hohen Antriebsleistung und des damit verbundenen Kraftstoffbedarfs wurde am Institut für Landtechnik der Universität Bonn ein weiteres Verfahren entwickelt (Abb. 183), das ebenfalls einphasig arbeitet. Die Kombination besteht aus Häufelscharen, die an einem zweibalkigen Rahmen versetzt angeordnet sind, Dammformblechen, einer angetriebenen Dammformwalze sowie einem Einzelkornsägerät. Das Vorformen der Dämme geschieht bei dieser Kombination durch Häufelkörper und mittels Dammformbleche. Die weiteren Prozessphasen sind identisch mit dem Verfahren 1.

Der erforderliche Leistungsbedarf- 6-reihig-bei 6 km/h beträgt 50 kW/68 PS.

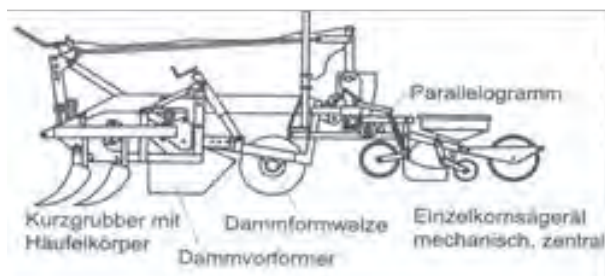


Abbildung 183: Verfahren II- Häufelkörper (Quelle: SCHULZE LAMMERS et.al., 2004, 196)

Verfahren III

Bei diesem Verfahren (Abb. 184) besteht die Kombination aus einer Kreiselegge mit Dammformblechen und nachlaufender Dammformwalze sowie dem Sägerät. Die Dammformung wird von den Dammformblechen vorgenommen, die den zuvor von der Kreiselegge gelockerten Boden zu Dämmen vorformen. Die weiteren Prozessphasen sind wie bei Verfahren I und II.

Auch bei dem Verfahren III ist eine hohe Antriebsleistung wegen des zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgerätes, das den Boden bis in eine Tiefe entsprechend der Dammhöhe bearbeiten muss, erforderlich.

Die Form der Dämme ergibt sich aus den vorhandenen Geräten zur Dammformung und darüber hinaus aus der Forderung, dass die üblichen Rodeverfahren eingesetzt werden können (vgl.: SCHULZE LAMMERS et. al., 2004, 193f).

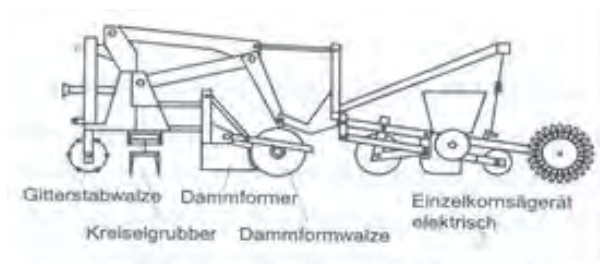


Abbildung 184: Verfahren III- Kreiselgrubber (Quelle: SCHULZE LAMMERS et.al., 2004, 196)

Die Dämme bleiben in der Regel bis zur Ernte stabil. Die Rodeaggregate sollen etwas tiefer geführt werden (vgl.: www.bisz.suedzucker.de, Zugriff am 04.02.2013).

4 Technische Kriterien bei Bodenbearbeitungsverfahren

4.1 Zugkraftbedarf

Für die Zugkraftberechnung (F_Z) in der Ebene gilt folgende Faustformel:

$F_Z [\text{kN}] = C * 3,6 * \frac{P_e [\text{kW}]}{V [\text{km/h}]}$	F_Z = Zugkraftbedarf in [kN] P_e = Motornennleistung in [kW] V = Nennfahrgeschwindigkeit in [km/h] C erfasst abschätzend die Verluste für Nebenverbraucher, Getriebe, Rollwiderstand Auf fester Fahrbahn (Beton) gilt: $C = 0,8$ für kleine Fahrgeschwindigkeiten $C = 0,7$ für mittlere Fahrgeschwindigkeiten $C = 0,6$ für große Fahrgeschwindigkeiten Auf dem Acker gilt (KTBL): $C = 0,5$ $3,6$ = Umrechnungsfaktor km/h in m/s
---	--

(vgl.: RENIUS, 1985, 42).

Dies ist eine mögliche Formel für die Zugkraftberechnung in der Ebene. Am Hang kommt zum Rollwiderstand der Steigungswiderstand hinzu.

In (Tab. 43) sind die technischen Kennwerte von Standardtraktoren mit Allradantrieb angeführt, welche bei gegebener Motornennleistung [kW] die maximale Zugkraft [kN] bei erreichter Geschwindigkeit [km/h] angeben.

Tabelle 43: Technische Kennwerte von Standardtraktoren mit Allradantrieb

(Quelle: KTBL-Faustzahlen, 2005, 168)

Kennwert	Motornennleistung [kW]				
kW	45	67	102	140	225
Motor					
Anzahl Zylinder	3 oder 4	4	6	6	6
Turbolader	ja	ja	ja	ja	ja
Ladeluftkühlung	nein	nein	selten	teilweise	ja
Bereifung					
Vorderachse	11.2 R24	14.9R24	16.9R28	480/70R30	600/65R34
Hinterachse	16.9 R30	16.9R38	20.8R38	620/70R42	710/70R42
Zugkraft [kN]	20,5	29,5	39	47	55
Geschwindigkeit [km/h]	4,0	4,1	4,7	5,3	7,4

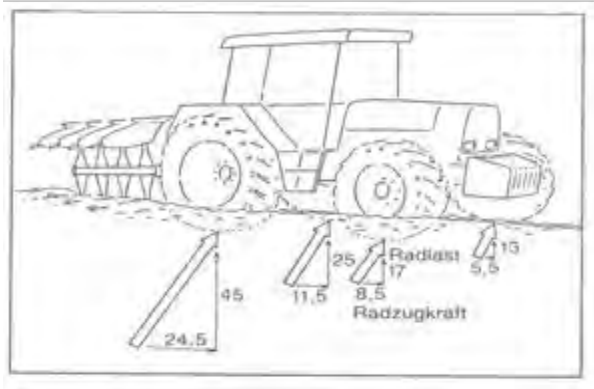


Abbildung 185: Radlast und Zugkraftverteilung
(Quelle: RENIUS,1985,47)

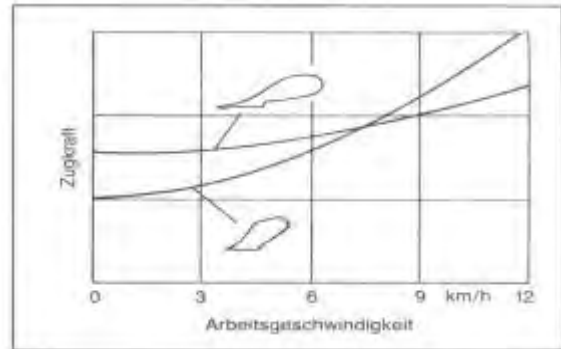


Abbildung 186: Zugkraftbedarf beim Pflügen
(Quelle: RENIUS,1985,53)

Die (Abb. 185) zeigt die berechnete Verteilung der Radlasten und Radzugkräfte eines pflügenden Allrad-Standardtraktors. Die Pfeillängen sind maßstäbliche Zahlenwerte in % der Radlastsumme.

Annahmen: Schwerer Anbaudrehpflug. Fahren mit 20 % Schlupf bei mittelguten Bodenbedingungen. Reifen gut in Furchenquerschnitt passend, kräftiger Frontballast zur Sicherstellung von 30 % Front-Betriebslast. Selbstsperrdifferential vorn, Vollsperrung hinten, pendelnd aufgehängte Frontachse (vgl.: RENIUS,1985, 47).

Die (Abb. 186) zeigt den Zugkraftbedarf beim Pflügen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Körperform. Steile kurze Körperform ist günstig für geringe Geschwindigkeiten, lange, mehr liegende Bauarten erfordern hier mehr Zugkraft, diese steigt jedoch bei erhöhter Geschwindigkeit weit weniger stark an (vgl.: RENIUS, 1985, 53).

Spezifischer Zugkraftbedarf

Der spezifische Zugkraftbedarf wird mit der Einheit [N/m] angegeben. Für eine ökonomische Betrachtung liefern tatsächlich gemessene Leistungsdaten eine genauere Bewertungsgrundlage als allgemeine Kalkulationsdaten. So zeigt (Abb.187) den spezifischen Zugkraftbedarf [N/m] für unterschiedliche Bearbeitungsverfahren auf einem Löss-Standort. Im konventionellen Verfahren benötigen Stoppelbearbeitung, Pflügen und Bestellen immerhin einen Zugkraftbedarf von 22.000 N/m. Konservierend und ohne Lockerung hingegen werden nur 13.000 N/m benötigt; das heißt, die Einsparung beträgt rund 41 %.

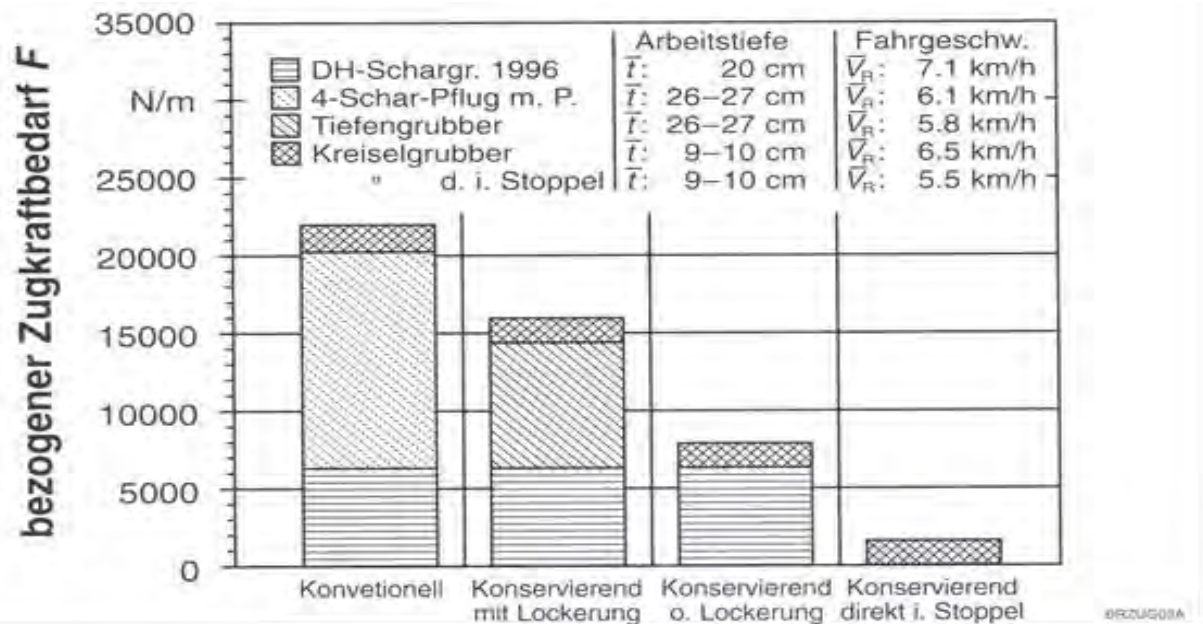


Abbildung 187: Spezifischer Zugkraftbedarf für unterschiedliche Bearbeitungsverfahren Löss Standort (vgl. Amazone, Intelligenter Pflanzenbau, 2009, 138)

4.2 Leistungsbedarf

Der Leistungsbedarf [kW/m] in der Bodenbearbeitung und Bestellung entsteht durch den Zugkraftaufwand. Dieser ist vor allem abhängig von der Arbeitsbreite, vom Werkzeug (Pflugkörperform, Scharform, Zinkenform), der Fahrgeschwindigkeit, Bodenart und dem spezifischem Bodenwiderstand. Die benötigte Traktor-Motorleistung kann für die jeweils vorliegenden Bedingungen speziell berechnet oder anhand von vorherberechneten Daten ermittelt werden (vgl.: SCHÖN et. al., 1998, 184). Vereinfachte. Berechnung der erforderlichen Traktor-Motorleistung beim Pflügen mit dem Allradtraktor (Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeit (abgeändert Palmeshofer) (vgl.: ESTLER et.al., 1984, 82).

Die Annahmen für die Ermittlung der erforderlichen Traktormotorleistung beim Pflügen:

Boden: sandiger Lehm, spezifischer Pflugwiderstand 65 daN/dm^2

Traktor: Fahrgeschwindigkeit $7,0 \text{ km/h}$

Getriebewirkungsgrad $0,85$, Triebkraftbeiwert $0,6$

Motorauslastungsgrad $0,83$ (mit Regelhydraulik)

Pflug: Arbeitsbreite $1,6 \text{ m}$ (4 Schare mit $a' 40 \text{ cm}$ Schnittbreite)

Arbeitstiefe 25 cm

Leistungsbedarf der Vorwerkzeuge $15 \% = \text{Faktor } 1,15$

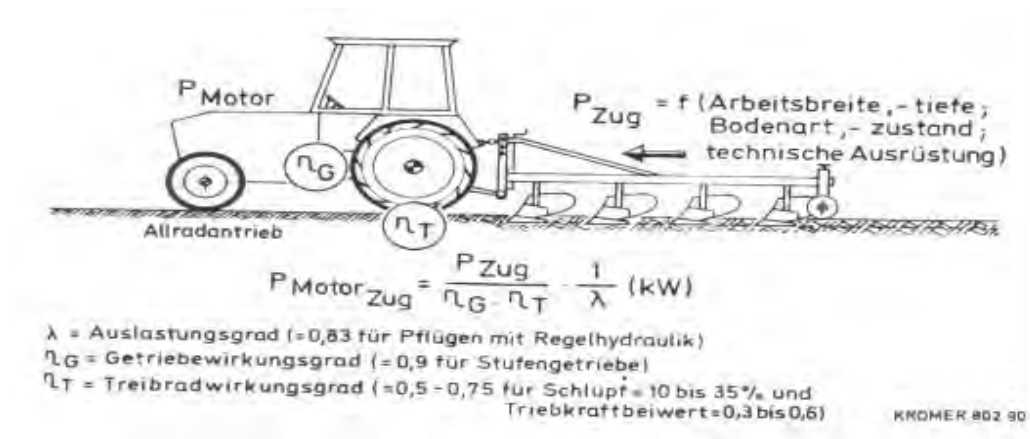


Abbildung 188: Zusammenhänge für die Ermittlung der erforderlichen Traktor- Motorleistung beim Pflügen (vgl.: ESTLER et.al.,1984, 82).

In (Tab. 44) sind die Richtwerte für spezifische Pflugwiderstände angeführt.

Tabelle 44: Richtwerte für spezifische Pflugwiderstände [daN/dm²]

(Quelle: Faustzahlen für die Landwirtschaft und Gartenbau, 9.Aufl., 1980, 198) abgeändert

Palmetshofer

Bodenart	Spezifischer Pflugwiderstand [daN/dm ²] v = 5 km/h; Arbeitstiefe 30 cm
leicht	22 - 35
leicht bis mittelschwer	25 - 40
mittelschwer	30 - 55
mittelschwer - schwer	35 - 60
schwer - sehr schwer	60 - 120

Berechnung des Zugkraftbedarfes:

$$\begin{aligned}
 & \text{Arbeitsbreite [cm]} * \text{Arbeitstiefe [cm]} * \text{spezifischer Pflugwiderstand [daN/dm}^2\text{]} \\
 & = 160 * 25 = 4000 \text{ cm}^2 = 40,0 \text{ dm}^2 * 65 \text{ daN/dm}^2, = \mathbf{2.600 \text{ daN}}
 \end{aligned}$$

Berechnung der erforderlichen Traktor-Motorleistung:

$$\frac{\text{Zugkraft Pflug [daN]} * \text{Fahr-v [km/h]} * \text{Leistungsbedarf Vorwerkzeuge}}{\text{Faktor} * \text{Getriebewirkungsgrad} * \text{Triebkraftbeiwert}} * \frac{1}{\text{Motor- auslastung}}$$

$$\frac{2.600 * 7,0 * 1,15}{360 * 0,85 * 0,6} * \frac{1}{0,83} = \frac{20.930}{183,6} * 1,2 = \mathbf{137 \text{ kW} / 186 \text{ PS}}$$

=====

$$137 / 1,6 \text{ m} = \mathbf{85 \text{ kW/m}}$$

In (Tab. 45) ist der Leistungsbedarf bei der Bodenbearbeitung und Bestellung angeführt.

Tabelle 45: Leistungsbedarf bei der Bodenbearbeitung und Bestellung

(Quelle: KTBL-Faustzahlen, 2005, 147, abgeändert Palmetshofer)

Arbeitsgerät	km/h	Arbeitstiefe cm	Bearbeitungswiderstand		
			leicht	mittel	schwer
			Leistungsbedarf [kW/m]		
Pflug	5-9	20-30	18-30	27-55	50-110
Grubber	5-7	15-25	10-23	18-42	32-73
Schälplflug	7-9	10-15	12-25	20-38	40-75
Scheibenegge	7-9	7-10	4-9	8-18	17-37
Spatenrollegge	7-11	7-9	7-12	10-20	19-36
Striegel	6-10	2,5-3,5	2-4	4-6	5-10
Bodenfräse	5-7	7-11	14-21	19-33	32-50
Kreiselegge/Zinkenrotor	5-7	7-11	10-17	15-27	26-44
Mech. Sämaschine	4-8	2-7	7-8	8-10	10-11
Pneum. Sämaschine	5-10	2-7	10-11	11-13	13-16
Mulchsaatmaschine	12	0,6 - 78			13
Universalsämaschine	12	1,3 – 9			24
Direktsaatmaschine	9-15	3-7	5-13	9-26	13-39
Streifenbearbeitung	6- 10 15 10-12	20 – 35 30 bis 30	Horsch Focus TD 30 - 45 Väderstad „Spirit— 37 - 46 Kuhn Striger pro Element 22		
Streifenfräse 4 R Fobro Oekosem IV	4	Grubber 20-25 Fräse 10-15	30		
Dammverfahren	5 – 8	20 – 35	HORSCH Tiger TD 34 - 63		
Mechan Einzelkornsämaschine	5-10	2-5	kW/Reihe 0,75-1,2 1,2-1,7 1,7-2,2		
Pneum. Einzelkornsämaschine	5-10	2-5	1,50-1,9	1,9-2,7	2,7-3,2

4.3 Zugkraft- und Zugleistungsübertragung

Aufgrund der Definition der Leistung als Arbeit je Zeiteinheit besitzen die Kraftübertragung und die Leistungsübertragung vom Traktor zum Boden trotz gleicher Einflussfaktoren (Boden, Schlupf) unterschiedliche Optima.

$$\text{Zugleistung [kW]} = \text{Zugkraft [kN]} * \text{tatsächliche Vorfahrtgeschwindigkeit [m/s]}$$

Neben der Arbeitstiefe wird die erforderliche Zugleistung eines Bodenbearbeitungsgerätes vor allem durch die Vorfahrtgeschwindigkeit beeinflusst. Neben diesen 3 Kenngrößen ist aber vor allem die Höhe des flächenbezogenen Kraftstoffverbrauchs ein wichtiger Aspekt für den Betriebsleiter (vgl.: PÜTZ, 2004, 39).

Testergebnisse – Grubber unter www.DLG-test.de

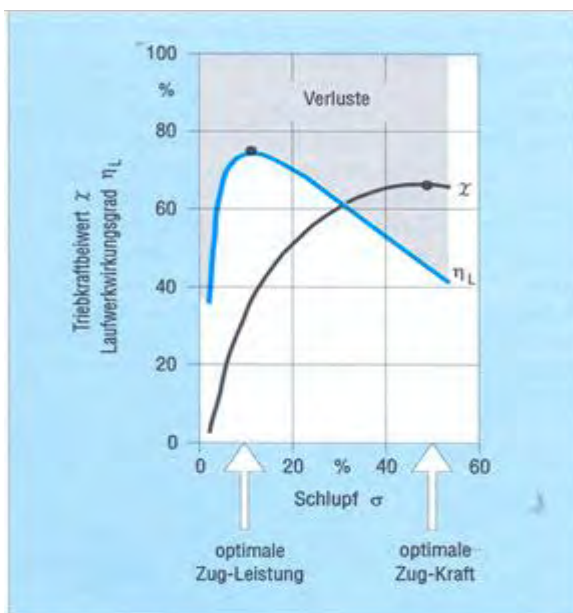


Abbildung 189: Zugkraft und Zugleistungsübertragung
(Quelle: SCHÖN et.al., 1998,66)

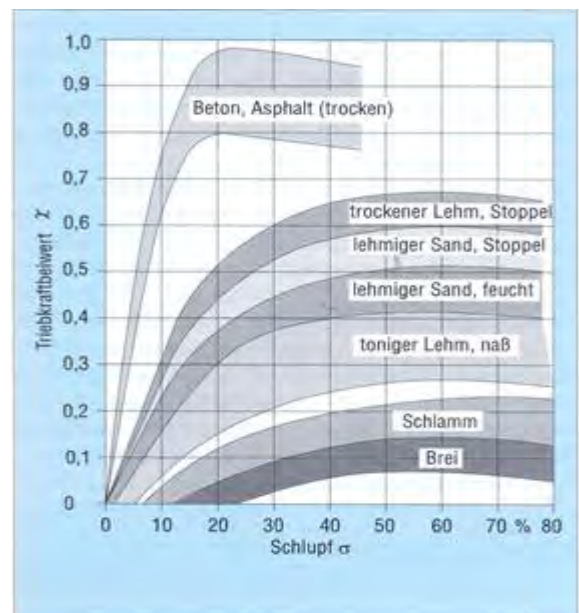


Abbildung 190: Triebkraftbeiwerte
(Quelle: SCHÖN et.al., 1998,65)

Die (Abb. 189) zeigt die Zugkraft- und Zugleistungsübertragung beim Traktor. Bei Schlupfwerten über 20 % Schlupf geht die Effektivität der Zugleistungsübertragung, welche vom Laufwerkwirkungsgrad η_L ausgedrückt wird, stark zurück, während die Zugkraftübertragung erst bei etwa 50 % Schlupf ihr Optimum erreicht.

Die (Abb. 190) zeigt die Triebkraftbeiwerte in Abhängigkeit von Schlupf und Fahrbahn (SCHÖN et.al., 1998, 65f).

Tabelle 46: Auszug aus einem Traktor Prüfbericht zur Zugleistung

CASE IH Maxxum 110 Pro Motorleistung bei Nenndrehzahl: 80 kW/110 PS
Datum der Prüfung: 9.10.2008, Turin, Italien - Art der Prüfbahn: Betonmessbahn
Zughöhe über Boden: 570 mm, ohne Ballast
Reifendimensionen: vorne 480/65R28 (14,9.R28) hinten: 600/65R38 (18,4.R38)
Reifendruck: vorne 80 kPa, hinten 80 kPa (80 kPa = 0,8 bar)

Gang Nr.	Fahrgeschwindigkeit	Leistung	Zugkraft	Motordrehzahl	Schlupf	Spez. Kraftstoffverbrauch	Spez. Arbeit	Temperaturen			Atmosph. Bedingungen		
								Kraftstoff	Kühlmittel	Motoröl	Temperatur	rel. Feuchtigkeit	Luftdruck
	km/h	kW	kN	U/min	%	g/ kWh	kWh/l	°C	°C	°C	°C	°C	kPa
1	2,07	28,8	50,05	2293	14,75	443	1,90	25,8	87,6	104,6	18,9	48,8	98,3
2	2,52	35,5	50,72	2283	15,53	401	2,09	27,8	87,9	107,2	24,3	40,7	98,3
3	3,07	43,3	50,79	2265	15,15	392	2,14	27,7	87,8	109,3	22,0	30,4	98,3
4	3,71	51,4	49,9	2224	15,19	376	2,24	30,7	87,7	108,6	23,4	27,2	98,3
5	4,89	59,4	43,76	2160	9,25	331	2,53	34,2	88,1	108,4	23,0	27,6	98,3
6	5,96	64,7	39,07	2067	5,67	303	2,77	35,4	86,5	108,1	23,1	26,9	98,3
7	6,82	67,3	35,54	1896	3,73	289	2,90	41,3	86,3	106,7	20,1	23,6	98,3
8	7,67	68,9	32,32	1900	3,25	284	2,96	41,4	86,0	107,9	20,2	37,4	98,3
9	8,53	66,9	28,24	1900	2,62	289	2,91	42,4	86,8	107,4	22,3	31,2	98,3
10	9,50	68,8	26,06	1897	2,31	286	2,93	42,4	86,1	108,0	23,9	34,0	98,3
11	11,64	65,9	20,38	1901	1,64	297	2,83	43,7	85,7	108,1	23,7	33,2	98,3
12	14,42	64,6	16,14	1899	1,16	304	2,77	44,4	85,8	107,7	20,7	32,4	98,3

Quelle: www.imamotor.enr.it

Die (Tab. 46) zeigt die Zugleistung des Traktors auf einer Betonmessbahn in den Gängen 1 – 12. Bodenbearbeitung und Aussaat finden in diesem Geschwindigkeitsbereich statt. Eine feine Gangabstufung in diesem Bereich ist daher sinnvoll.

4.3.1 Zugkraft in Abhängigkeit von Reifendruck und Gesamtmasse

Im Feld kann der Traktor dann eine gute Zugleistung bringen, wenn er mit möglichst geringem Reifendruck und relativ hohem Gewicht (Ballastierung) gefahren wird. Auf der Straße hingegen ist ein Traktor mit relativ hohem Reifendruck und relativ geringem Gewicht von Vorteil (vgl.: LOP 6/2011, 22).

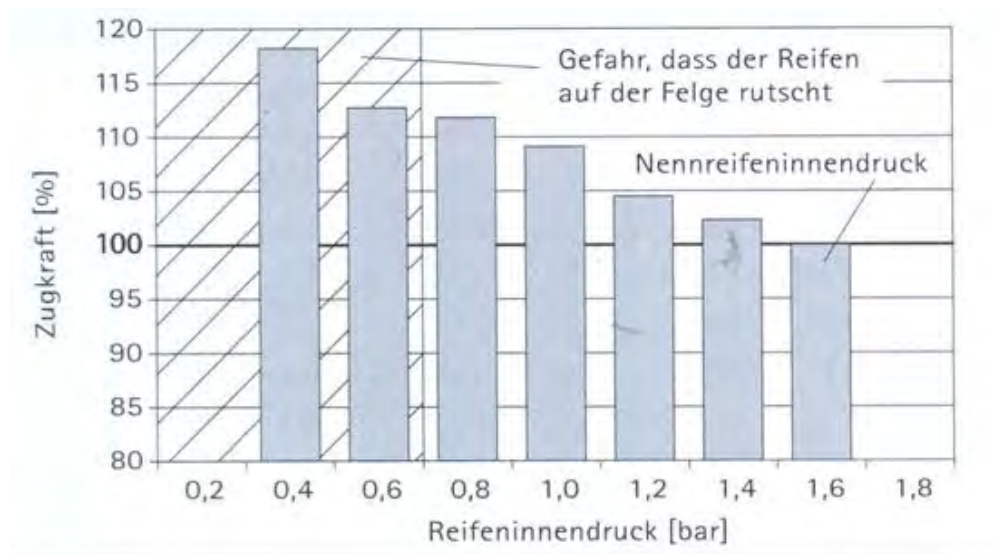


Abbildung 191: Zugkraft in % eines Treibradreifens in Abhängigkeit vom Reifeninnendruck:
(Quelle: KTBL-Faustzahlen, 2005, 172)

Mittels „Reifenreglern— (Reifeninnendruckverstellanlagen) kann der Luftdruck im Reifen für Acker und Straße, zugeordnet zur Last, zur Geschwindigkeit und zur Traktorarbeit, eingestellt und damit der Wirkungsgrad verbessert und Diesel gespart werden. Die Anforderungen bei

- Straßenfahrt (hoher Reifendruck für geringen Rollwiderstand, weniger Dieselverbrauch sichere Lenk-, Kipp- und Bremsfähigkeit) sowie
- Fahrt auf Acker und Wiese (niedriger Reifeninnendruck für halbierte Spurtiefe, weniger Schlupf, mehr Fahrkomfort und höhere Zugkräfte bei effektiverem Dieserverbrauch werden besser erfüllt (vgl.:KTBL-Faustzahlen, 2005,172).

Tabelle 47: Einfluss von Reifendruck auf den Dieserverbrauch (VOLK 2006)

Arbeit	Reifendruck	Schlupf	Dieserverbrauch
Grubbern	1,6 bar	18 %	- 9 %
	1,0 bar	10 %	
Pflügen	1,6 bar	25 %	- 12 %
	1,0 bar	15 %	

Anmerkung: Michelin XeoBib-Reifen können sowohl am Acker wie auf der Straße mit 0,8 bar gefahren werden. Niedriger Reifendruck bringt 20 % mehr Aufstandsfläche.

Reifendruckregelanlage: Anschaffungskosten für Traktor: € 3.200,- (vgl.: KTBL Faustzahlen, 2005, 172).

Die (Tab.48) zeigt die Veränderung der Kosten bei der Bodenbearbeitung durch eine Reifendruckregelanlage am Traktor im landwirtschaftlichen Betrieb (Dieselpreis im 50-ha-Betrieb: 0,85 €/l; Dieselpreis im 200-ha-Betrieb: 1,10 €/l, Lohnansatz: 15 €/Akh).

Tabelle 48: Einsparung in €/ha und Jahr in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsgerät

(Quelle: LWK-Nordrhein-Westfalen, Reifenwahl- was bringen moderne Reifenkonzepte?

Dr.Norbert Uppenkamp 21.03.2007)

Bodenbearbeitungsgerät	Einsparung in €/Jahr		Effekt durch die Reifendruckregelanlage
	50 ha Betrieb	200 ha Betrieb	
Grubber	- 106	- 419	Schlupf von 18 % auf 10 %
Pflüg	- 221	- 920	Schlupf von 25 % auf 15 %
			Geringerer Dieserverbrauch auf der Straße

Pro cm Arbeitstiefe steigt beim Pflügen der Treibstoffverbrauch auf leichten Boden um 0,46 l/ha bis 1,5 l/ha; auf schwerem Boden (Tonboden) an, wobei mit zunehmender Arbeitstiefe dieser Wert nicht linear, sondern exponential steigt (vgl.:KALK und HÜLSBERGEN, 1999).

4.3.2 Zugkraft und Schlupfversuch

Der Versuch wurde mit Reifen für die 220 kW/300 PS – Traktor – Leistungsklasse durchgeführt. Aufgrund dessen, dass die Traktoren immer leistungsstärker werden, ist es entscheidend, dass die Motorleistung als Zugleistung auf den Boden gebracht wird. Da die Breite des Traktors auf 3,0 m begrenzt ist, kann die Bereifung nur noch größer werden. Großtraktoren können mit unterschiedlich großen Reifen zwischen 1,95 m und 2,15 m ausgerüstet werden. Wie sich der größere Reifendurchmesser und eine unterschiedliche Reifentechnologie – MachXBib -Reifen mit Standardtechnologie und AxioBib-Reifen mit Ultraflextechnologie - auf die Zugkraft auswirkt zeigt in (Tab. 49) folgender Zugkraft- und Schlupfversuch.

Ergebnis des Vergleichstest: Je größer der Reifendurchmesser desto geringer ist der Kraftstoffverbrauch, desto besser ist die Zugkraft (vgl.: DLZ-Vergleichstest, 2010).

Tabelle 49: Zugkraft und Schlupfversuch

(Quelle: Vergleichstest DLZ/Michelin-Agrartechnik 10/2010, DLZ 12/2010, abgeändert Palmetschofer)

Marke	Michelin	Michelin	Michelin	Michelin
Type	MachXBib	MachXBib	AxioBib	AxioBib
Technologie	Standard	Standard	Ultraflex	Ultraflex
Dimension	710/70 R38	710/70 R42	IF 710/70 R42	IF 710//75 R42
Durchmesser [mm]	1.963	2.050	2.062	2.161
Breite [mm]	738	732	742	713
Zugkraftmessung:				
Zugkraft in [daN]	1)	1)	1)	
bei 5 % Schlupf	3.009 - 22 %	2.974 - 23 %	3.197 - 18 %	3.882
bei 10 % Schlupf	3.988 - 25 %	4.156 - 22 %	4.607 - 14 %	5.339
bei 15 % Schlupf	4.610 - 21 %	4.846 - 18 %	5.133 - 13 %	5.885
bei 20 % Schlupf	5.312 - 20 %	5.722 - 13 %	5.960 - 10 %	6.602
bei 25 % Schlupf	5.866 - 17 %	6.380 - 10 %	6.505 - 8 %	7.098
Beurteilung Zugkraft 2)	3	3	4	5

1) - % gegenüber Fendt Serien-Bereifung IF 710/75 R42 (936 und 939 Vario SCR)

2) 5 Punkte = sehr gut

Die Zugkraft steigt bis zu einem sinnvollen Schlupf von 25 Prozent an. Der Zugewinn wird aber immer geringer. Ab 35% Schlupf nimmt die Zugkraft in der Regel wieder ab. Zuviel Schlupf schadet dem Boden. Darüber hinaus wurde auch der Dieserverbrauch der Reifen mit zugeschaltetem Allradantrieb gemessen. Der MachXBib braucht bei gleicher Zugkraft um bis zu 6% mehr Treibstoff als ein AxioBib (vgl.: N.N, 2011,19).

4.4 Energiebedarf

4.4.1 Bestellverfahren im Vergleich

In der Versuchsreihe (Abb. 192) wird der Energiebedarf [kWh/ha] vom Pflug bis zur Direktsaat ermittelt. Das Spektrum in der Bodenbearbeitung und Bestellung reicht von Verfahren mit hoher Intensität (Pflug) bis zu Verfahren, die auf jegliche Bearbeitung verzichten (Direktsaat).

Ziel einer dreijährigen Versuchsreihe der (FAT, 1999) war es, verschiedene Verfahren für die Bestellung von Winterweizen miteinander zu vergleichen. Vorkultur war in allen drei Jahren Silomais, der eine strohfreie, aber stark befahrene Feldoberfläche zurücklässt (vgl. ANKEN et al., 1999, 1f).

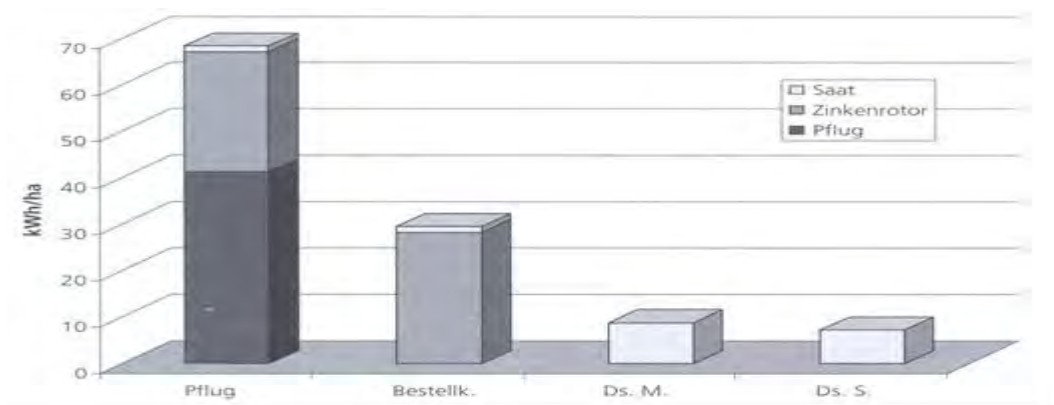


Abbildung 192: Energiebedarf verschiedener Bestellverfahren [kWh/ha]

(Quelle: Bodenbearbeitung und Bestellung, FAT- Bericht Nr. 534 / 1999, 1-8)

Bestellverfahren:

Folgende sechs Verfahren standen an der FAT im Vergleich:

1. **Pflug:** Pflug, 20 cm Arbeitstiefe, gefolgt von der Saatbettbereitung mit einer Bestellkombination, bestehend aus Zinkenrotor (Rau) und Accord CX-Scheibenscharsämaschine
2. **Bestellkombination:** Zinkenrotor-Bestellkombination (wie bei Pflug) ohne vorhergehenden Bearbeitungsgang.
3. **Sp. Kon.:** 1-2 Durchgänge mit einer Spatenrollegge (Rabe), Saat mit konventioneller Scheibenscharsämaschine (Amazone D8 Spezial)
4. **Sp. Ds.S.:** 1-2 Durchgänge mit Spatenrollegge (Rabe), Saat mit Direktsämaschine John Deere NT 750 A mit Scheibenscharen.
5. **Ds.S.: Direktsaat** ohne jegliche Bodenbearbeitung mit Scheibenscharsämaschine John Deere NT 750 A

6. **Ds.M.: Direktsaat** ohne jegliche Bodenbearbeitung mit Direktsämaschine, ausgerüstet mit Amazone NT 250 (vgl. ANKEN et al., 1999, 1f).

4.4.2 Ermittlung des Energiebedarfs

Berechnungsgrundlage zur Ermittlung des Energiebedarfes [kWh]

Die Nettokräfte wurden mit Zugkraftmessdosen direkt am Gerät gemessen und dann auf den Nettoenergieverbrauch hochgerechnet.

Umrechnung kWh nach Liter Diesel:

1 kWh = 0,3 (kg Diesel / kWh) / 0,83 (Dichte Diesel) / 0,6 (Übertragungsverluste Getriebe, Schlupf 40 %) = 0,6 Liter Diesel/kW + 10 % Wendeverluste = **0,66 Liter Diesel**

Energiebedarf - Zahlen in kWh				
	Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat	Gesamt
Pflug	41	25	1,2	67,2
Grubber	25	27	1,2	53,2
Bestellkombination		30	1,2	31,2
Direktsaat			8	8,0
Verbrauch – Liter Diesel/ha:				
	Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat	Gesamt
Pflug	27,06 *)	16,5	0,79	44,4
Grubber	16,5	17,8	0,79	35,1
Bestellkombination		19,8	0,79	20,6
Direktsaat			5,28	5,3

*) z.B.: Berechnung: 41 * 0,66 = 27,06

4.4.3 Beurteilung der Bestellverfahren

Der Pflug wird noch immer am meisten eingesetzt – es ist das aufwendigste Verfahren. Die Bestellung mit einer Scheibenscharsämaschine nach einem bis zwei Durchgängen mit der Spatenrollegge (Verfahren Nr.4) stellt ein sehr günstiges Verfahren dar, das gute Resultate lieferte.

Die Direktsaat mit Scheibenscharen besitzt den großen Vorteil, dass die Schare nicht verstopfen. Der große Druck auf der Scheibe kann aber zu Verdichtungen im Bereich des Saatschlitzes führen, was das Auflaufen negativ beeinflussen kann.

Die Direktsaat mit Meißelscharen reißt eine Saatsfurche auf und läuft nicht Gefahr, Stroh in den Saatschlitz zu pressen. Sie ist aber verstopfungsanfälliger als der Einsatz von Scheibenscharen.

In (Abb. 50) sind die Mittelwerte der Weizenerträge der drei Anbaujahre der verschiedenen Bestellverfahren angeführt.

Tabelle 50: Mittelwerte der Weizenerträge der drei Anbaujahre der verschiedenen Bestellverfahren
(Quelle: FAT-Bericht Nr. 534, 1999,1-8)

Verfahren	Ertrag in %
1. Pflug	100,0
2. Zinkenrotor- Bestellkombination	97,3
3. Spatenrollegge u. konventionelle Sämaschine	96,9
4. Spatenrollegge u. Direktsaat mit Doppelscheibenscharsäm.	96,9
5. Direktsaat ohne Bodenbearbeitung mit Doppelscheibenscharsämaschine	96,5
6. Direktsaat ohne Bodenbearbeitung mit Meißelscharsämaschine	92,2

Geringe Ertragsunterschiede

Die Bestellverfahren beeinflussen den Ertrag des Winterweizens nur unwesentlich. Der Pflug erzielte einen minimalen, nur in Einzelfällen gesicherten Mehrertrag. Über alle drei Jahre und alle Verfahren gesehen schnitt dieser zirka 3 % besser ab als die anderen Verfahren. Trotz gewisser Ertragsschwankungen bestätigt das Verfahren mit der Zinkenrotorbestellkombination diesem guten Durchschnittserträge, die Anken et al. (1997) schon in langjährigen Versuchen erhoben hatten. Im Vergleich der beiden Direktsaatverfahren schnitt das Verfahren mit Scheibenscharen (Ds.S.) fast 5 % schlechter ab als das Verfahren mit Meißelscharen (Ds.M.). Nach vorgängiger Bearbeitung mit der Spatenrollegge (Sp.Ds.S.) zog dieses aber mit den anderen Direktsaatverfahren gleich. Als überraschend gewertet wurden die guten Erträge des Verfahrens mit Spatenrollegge und konventioneller Scheibenscharsämaschine (Sp.Kon.). Ein bis zwei Durchgänge mit der Spatenrollegge bereiteten ein sehr grobes, nicht rückverfestigtes Saatbett. Viele Körner lagen unbedeckt auf der Bodenoberfläche, grobe Schollen verunmöglichten eine kontrollierte Scharführung. Trotz allem lieferte dieses Verfahren erstaunliche Erträge.

4.5 Kraftstoffverbrauch

Bei der Berechnung des Kraftstoffverbrauches [l/ha] wird unterschieden:

- Arbeitsgänge mit Flächenbindung: z.B. Pflügen (Einheit: l/ha)
- Arbeitsgänge ohne Flächenbindung: z.B. Siloblock schneiden (Einheit: l/h)
- Transportaktivitäten (Einheit: l/t transportierter Masse und km)

(vgl. ÖKL-Richtwerte, 2012, 9)

Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch: 0,09 Liter/Tonne transportierter Nutzmasse und Kilometer. z.B.: 60 t Silomais 5 km vom Feld zum Siloraum

Kraftstoffverbrauch: $0,09 \cdot 60 \cdot 5 = 27$ Liter (vgl.: ÖKL-Richtwerte, 2012, 13).

Traktoren mit gleicher Nennleistung [kW] brauchen unterschiedlich viel Treibstoff zur Erzeugung der gleichen Leistung. Dieser so genannte spezifische Kraftstoffverbrauch, gemessen in Gramm pro Kilowattstunde [g/kWh], ist sehr unterschiedlich und bewegt sich zwischen 280 und 400 Gramm je Kilowattstunde. Es gibt wesentliche fabrikationsbedingte Unterschiede zwischen den Herstellern. Die Berechnung des Kraftstoffverbrauches [l/h] ergibt sich aus dem spezifischen Kraftstoffverbrauch [g/kWh], der Motorleistung [kW] und dem spezifischen Gewicht des Dieseltreibstoffes in [g/l].

$$\text{Kraftstoffverbrauch [l/h]} = \frac{\text{spezifischer Kraftstoffverbrauch [g/kWh]} \times \text{Motorleistung [kW]}}{\text{spezifisches Gewicht des Dieseltreibstoffes [g/l] *}}$$

*) Das spezifische Gewicht des Dieseltreibstoffes beträgt 860 Gramm pro Liter.
(vgl. DEIMEL, 2009, 1).

Bei den meisten, leistungstärkeren Traktoren zählen Kraftstoffverbrauchsmesssysteme zur Standardausrüstung. Sie zeigen am Traktorterminal, neben dem aktuellen Verbrauch [l], häufig auch den durchschnittlichen Verbrauch [l/h] und den Gesamtverbrauch nach der Arbeit [l] an. Sie lassen sofort erkennen, wie sich eine Änderung der Fahrweise auf den Kraftstoffverbrauch auswirkt. Es gibt auch Kraftstoffmessgeräte zum Nachrüsten (vgl.: HANDLER et al., 2012, 19).

Ist am Traktor kein Kraftstoffmessgerät vorhanden, so kann der Verbrauch durch „Auslitern“ der Tanks festgestellt werden.

4.5.1 Kraftstoffverbrauch für Arbeitsgänge im Ackerbau

Die (Tab. 51) gibt Auskunft über den Kraftstoffverbrauch in [l/ha] bei den einzelnen Arbeitsgängen in einjährigen Kulturen und Dauerkulturen. Es handelt sich dabei um Durchschnittswerte. Demnach können sich für stärker abweichende Bedingungen höhere oder niedrigere Werte ergeben.

Tabelle 51: Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch [l/ha] für Arbeitsgänge im Ackerbau

Arbeitsgang / Maschine	[l/ha]	Anmerkungen
Bodenbearbeitung		
Pflügen	23	leichter Boden: 15 l/ha schwerer Boden: bis 40 l/ha
Untergrundlockerer	21	
Stoppelgrubber	9	
Tiefgrubber	15	
Federzinkenegge (Feingrubber)	7	
Egge mit Saatbeetkombination	6	
Scheibenegge	7	
Kreiselegge	10	
Fräse	12	
Aussaat, Pflanzung		
Einzelkornsaat – Rüben, Mais	5	
Mulch – Einzelkornsaat – Mais	11	
Drillsaat	9	
Kombination Kreiselegge + Sämaschine		
Kombination Fräse + Sämaschine	15	
Kombination Zinkenrotor + Sämaschine		
Direktsaat	9	
Kartoffel legen, halbautomatisch	20	
Kartoffel legen, vollautomatisch	15	
Handelsdüngerausbringung		
Anbauschleuderstreuer	1,5	
Anbaupneumatikstreuer	2,5	
Kalkausbringung	2,5	
Chemischer Pflanzenschutz		

Feldspritze	2	
Mechanischer Pflanzenschutz		
Striegeln	3,5	
Maishacken mit Hacksterngerät	4	
Maishacken mit Hackmaschine	5	
Hacken und Striegeln	5,5	
Hacken von Rüben	5	
Häufeln von Kartoffel	5	
Abflammen	4	
Pflege		
Abschleppen	4	
Walzen	3,5	

(Quelle: ÖKL-Richtwerte 2012, 9 f)

Kraftstoffverbrauch beim Pflügen



	Boden	Arbeitstiefe L [cm]	Gültigkeitsbereich Arbeitsbreite [m]	Konstante a	Regressions- Koeffizient b
Saatfurche	S bis IS	18 – 27	1,75 – 2,8	6,1	0,46
Saatfurche	sL bis L	18 – 27	1,4 – 2,8	10,2	0,60
Saatfurche	L bis IT	18 – 27	1,1 – 2,5	10,8	0,92
Saatfurche	T	18 – 27	1,1 – 2,5	13,0	0,92
Herbstfurche	S bis IS	23 – 35	1,4 – 2,8	-5,4	0,92
Herbstfurche	sL bis L	23 – 35	1,1 – 2,5	-10,3	1,42
Herbstfurche	T	25 - 35	1,2	41 (29)	1,5 (1,2)

Abbildung 193: Kraftstoffverbrauch beim Pflügen in Abhängigkeit der Arbeitstiefe

(Quelle: MOITZI, ÖKL – Kolloquium , 2005)

Pro cm Arbeitstiefe nimmt der Dieserverbrauch um 0,46 bis 1,5 l zu.

Berechnung des Dieserverbrauchs = $a + b \cdot L$

Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten

Die Qualität der Feld- oder Ackerarbeit hat stets Vorrang. Die Überlegung, welche Qualität für den vorgesehenen Zweck notwendig ist und wie diese am kostengünstigsten erreicht wird, soll jedoch immer gemacht werden. Damit gewinnt auch das Kriterium, eines möglichst geringen Treibstoffverbrauchs, an Bedeutung. Speziell in der Bodenbearbeitung zahlen sich diese Überlegungen aus.

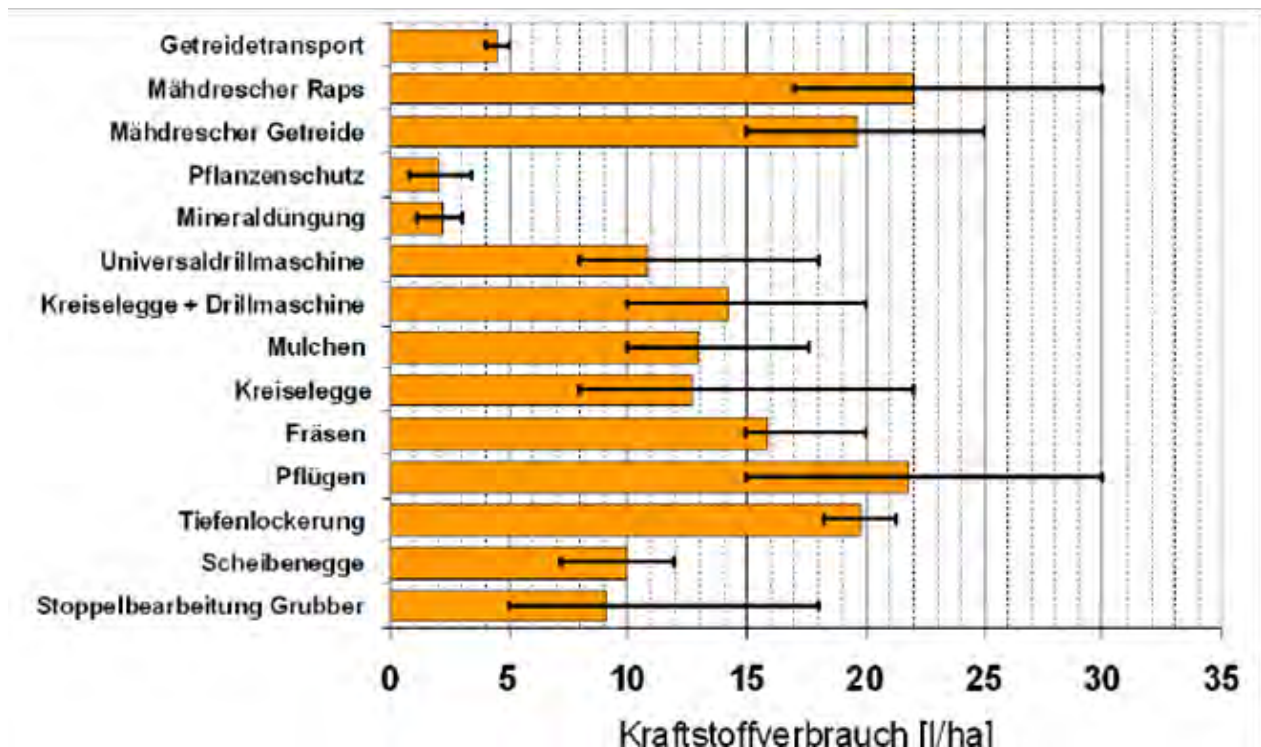


Abbildung 194: Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten (Quelle: www.lbbz.tg.ch, Zugriff am 17.01.2013)

Die breiten Balken in der Grafik (Abb. 194) stellen den durchschnittlichen Treibstoffverbrauch der aufgeführten Arbeiten dar. Die Linien zeigen die Streuung der einzelnen Betriebe auf. Daraus wird ersichtlich, dass bei gleichen Arbeiten der Treibstoffverbrauch erheblich schwankt und demzufolge auch ein großes Sparpotenzial vorliegt

(vgl.: EGGENBERGER, BBZ Arenenberg, Thurgau, CH, www.lbbz.tg.ch, Zugriff am 17.01.2013).

4.5.2 Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit der Bodenart und der Verfahren

Der Kraftstoffverbrauch hat nach wie vor eine hohe Bedeutung. (Abb. 195) zeigt die Kraftstoffverbrauchswerte bei der Stoppel-, Grund- und Sekundärbodenbearbeitung auf drei verschiedenen Standorten (Sand, Lehm, Ton). Die Messungen wurden mit einem Durchflussmessgerät (PLU) durchgeführt (2 Messwerte/sec.). Es zeigt sich, dass der Verbrauch auf dem Tonstandort am höchsten ist. Ursache ist, dass beim Lockern (mit Pflug oder pfluglos mit Schichtengrubber) ein enormer Bodenwiderstand zu überwinden und ein hoher Zerkleinerungsgrad erforderlich ist, um einen saattfertigen Acker zu schaffen. Bei der Mulchsaat ohne Lockerung (MSoL) ist im Vergleich zur konventionellen Pflug-Bearbeitung fast nur noch die Hälfte an Kraftstoff erforderlich. Daraus folgt, dass Lockerung nur dort erfolgen sollte, wo sie tatsächlich ertragswirksam ist (vgl.: Amazone, Intelligenter Pflanzenbau, 2009, 139).

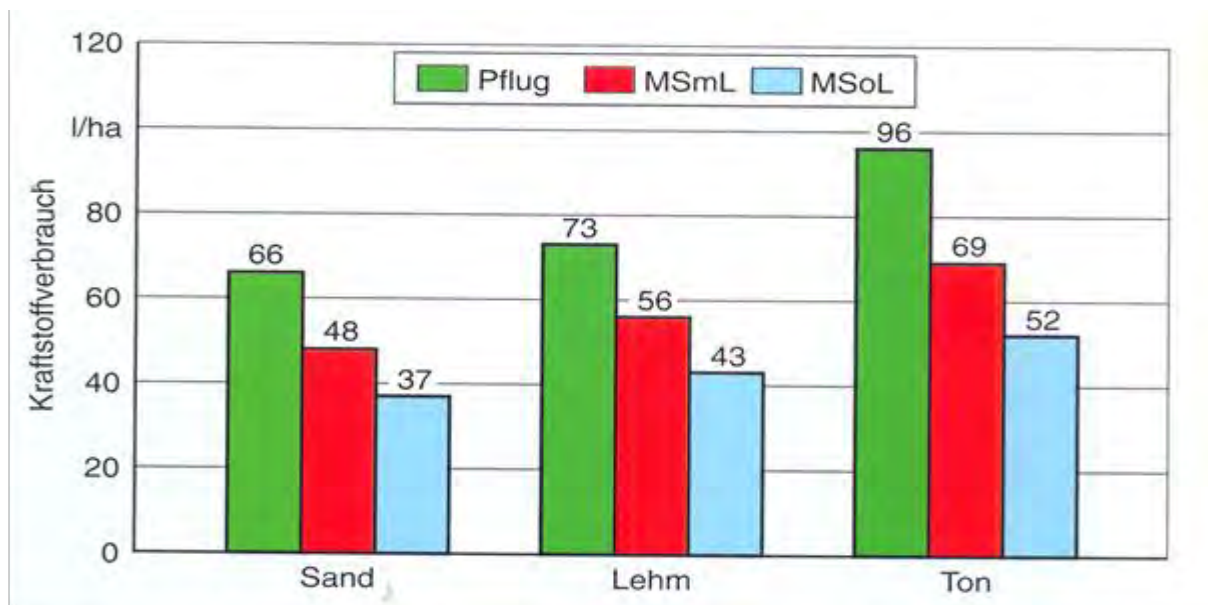


Abbildung 195: Kraftstoffverbrauch in l/ha für Stoppel-, Grund- und Sekundärbearbeitung auf unterschiedlichen Standorten (nach Kreye, Garbe) (Quelle: Amazone)

4.5.3 Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren und Saatbettbereitung

Die (Abb. 196) zeigt den Dieserverbrauch bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung (BRUNOTTE und KORTE 2003).

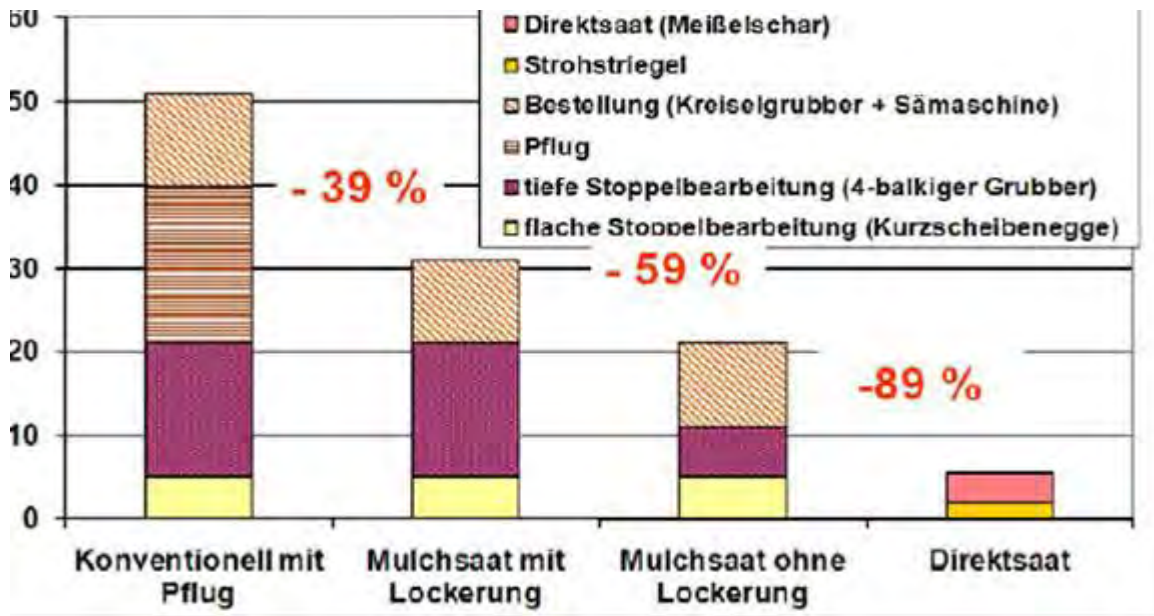


Abbildung 196: Kraftstoffverbrauch (l/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung (Amazone-Intelligenter Pflanzenbau, 2009)

Mulch- und Direktsaat reduzieren den Dieserverbrauch massiv. Wo immer möglich sollte der pfluglosen Bearbeitung der Vorrang gegeben werden. Die Arbeitstiefen der Bodenbearbeitungsgeräte sind immer dem Zweck anzupassen. Pro cm Arbeitstiefe müssen pro ha 150 t Boden bewegt werden.

Beispielsweise steigt der Dieserverbrauch mit einem 4-balkigen, 3 m breiten Grubber, mit der Veränderung der Arbeitstiefe von 12 cm auf 20 cm, von 11 l/ha auf 16 l/ha an.

4.5.4 Kraftstoffverbrauch und Zeitbedarf von verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren und unterschiedlicher Bearbeitungstiefe

In (Abb. 197) sind der Kraftstoffverbrauch und Zeitbedarf von verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren dargestellt.

Die Firma Amazone machte dazu ausführliche Versuche mit dem Centaur = Grubber-Scheibeneggen-Keilringwalzenkombination und der Catros = Kurzscheibenegge-Keilringwalzenkombination.

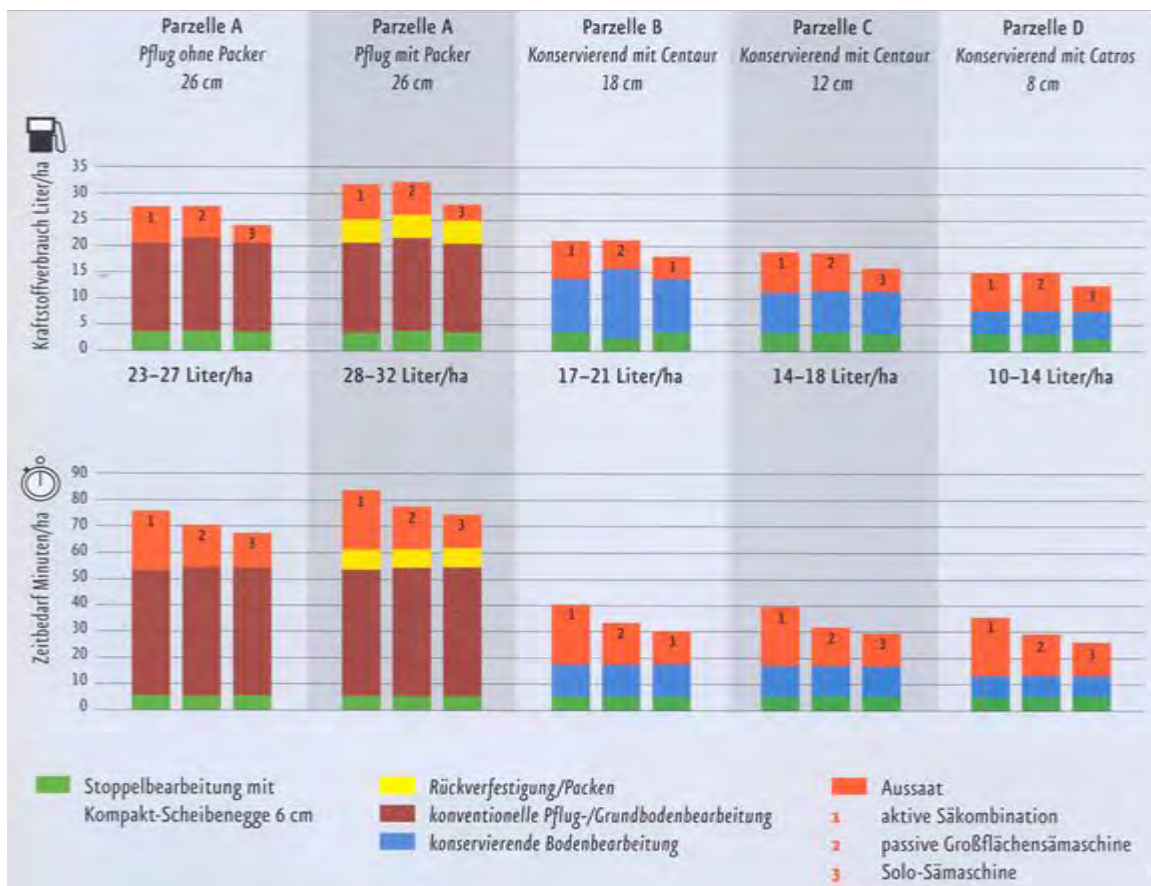


Abbildung 197: Kraftstoffverbrauch und Zeitbedarf von verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren
(Quelle: Amazone-Intelligenter Pflanzenbau, 2009)

Anhand der Ergebnisse des DLG- Testzentrums Großumstadt und vTI Braunschweig mit Amazone Geräten lässt sich mit den konservierenden Verfahren ohne Pflug der Arbeitszeitaufwand halbieren. Bei Bodenbearbeitung und Bestellung werden bis zu 50 % Kraftstoff gespart (vgl. Amazone, Intelligenter Pflanzenbau, 2009, 47).

4.5.5 Kraftstoffverbrauch im Getreidebau

Die (Abb. 198) zeigt den mittleren Kraftstoffverbrauch im Getreidebau bei unterschiedlichen Bestellverfahren.

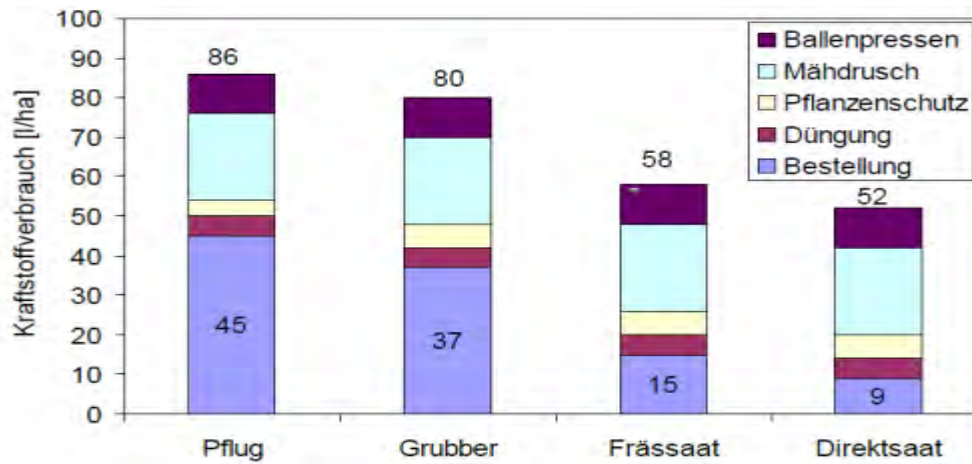


Abbildung 198: Mittlerer Kraftstoffverbrauch im Getreidebau bei unterschiedlichen Bestellverfahren
(Quelle: MOITZI, ÖKL – Kolloquium , 2005)

4.5.6 Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlicher Grundbodenbearbeitung

Die (Abb. 199) zeigt den Kraftstoffverbrauch bei der Bestellung unter Variation der Grundbodenbearbeitung.

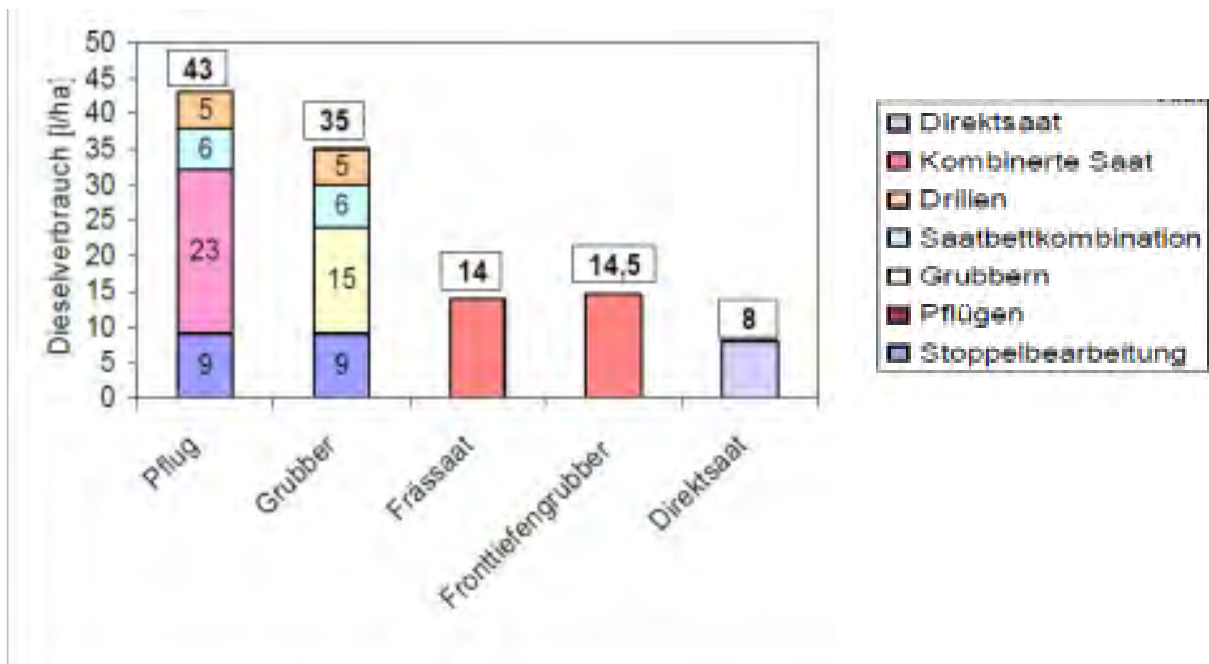


Abbildung 199: Kraftstoffverbrauch bei der Bestellung unter Variation der Grundbodenbearbeitung
(Quelle: MOITZI, ÖKL – Kolloquium , 2005, Datenquelle: KTBL, 2002, Untersuchungen an der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf, 2005)

Arbeitsbreite: 3 m

Mittlerer Dieselaufwand: 14,5 l/ha

Mittlere Flächenleistung: 1,7 ha/h

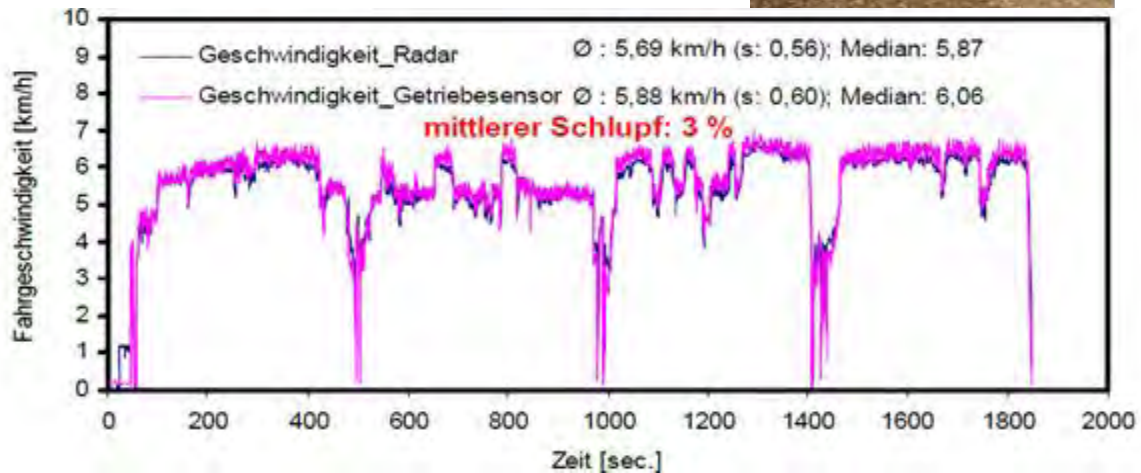


Abbildung 200: Bestellsystem mit Fronttiepengrubber (Quelle: MOITZI, ÖKL- Kolloquium 2005)

4.5.7 Möglichkeiten der Kraftstoffeinsparung

In (Tab. 52) werden einige Maßnahmen und die jeweiligen Treibstoffeinsparungsmöglichkeiten aufgezeigt. Dabei wird deutlich, dass sich mit der richtigen Gangwahl bis zu 26%, der richtigen Traktor-Geräte Kombination bis zu 20% und der richtigen Traktormasse bis zu 10% an Kraftstoff einsparen lassen.

Tabelle 52: Möglichkeiten der Kraftstoffeinsparung (Quelle: dlz 8/2008, 68 – BÖTTINGER)

Maßnahme:	Einsparung von bis zu in %
Richtige Traktormasse	10
Richtige Radlastverteilung	2
Richtige Bereifung und Luftdruck	8
Gangwahl	26
Traktor-Geräte-Kombination	20
Anpassung Fahrgeschwindigkeit	8
Zuschalten von Allradantrieb	8
Zuschalten Differentialsperre	5
Fahren quer zum Hang	5

Tabelle 53: Dieserverbrauch eines 100 ha-Betriebes und Einsparungsmöglichkeiten

(Quelle: dlz 8/2008,69)

	Häuf l/Jahr	Verbrauch		reduzierte Motordrehzahl (20 %)	Wartung (2,5 %)	Ballast bei Zugarbeiten (5 %)	variable Pflugtiefe (10 %)	optimierte Geräte- Einstellung (15 %)	abgesenkter Reifeninnen- druck - Acker (10 %)	sparsamer Traktor (10 %)
		l/ha	l/Jahr							
Grubbern flach	1	9,1	910	728	710	674	674	674	607	546
Grubbern mittel	0,67	11,3	757	606	591	561	561	477	429	386
Pflügen mit Packer	1	28	2800	2240	2184	2075	1867	1587	1428	1286
Getreide säen (KE+Säen)	0,67	12,1	811	649	632	632	632	537	484	435
Mais (EK-Säen)	0,33	7,2	238	190	185	185	185	185	167	150
Dünger streuen	2	2	400	320	312	312	312	312	281	253
Gülle fahren	1	8,9	890	712	694	694	694	694	694	625
Spritzen	5	2	1000	800	780	780	780	780	702	632
Erntetransport	1	4,5	302	241	235	235	235	235	235	212
Sonstige Arbeiten	1	10	1000	1000	975	975	975	975	975	878
Summe			9107	7486	7298	7124	6917	6458	6002	5402
Einsparung				1621	187	174	207	459	455	600
Einsparungsmöglichkeit gesamt in Liter pro Jahr - maximal		3703		Fruchtfolge Wintergerste, ÖCM, Winterweizen						

4.5.8 Geräteeinstellung und Gerätewartung

Bei gezogenen Geräten ist besonders auf den Zugpunkt zu achten. Ein falscher Zugpunkt erhöht den Schlupf und verschlechtert die Arbeitsqualität. Ein falscher Zugpunkt beim Pflügen erhöht den Dieserverbrauch um bis zu 20 % (HÖHNER, 2004). Geräteteile, die in der Erde laufen sind Verschleißteile. Sie müssen möglichst leicht und ohne Widerstände durch die Erde fließen. Sind diese Verschleißteile abgenutzt, sind sie auszuwechseln und nicht durch anschweißen oder aufschweißen zu reparieren.

Aufgeschweißte Flacheisen, aufgeschweißte Scharspitzen oder durch aufschweißen verstärkte Anlageplatten beim Pflug erhöhen den Treibstoffbedarf für das Pflügen um bis zu 30 %. Es ist darauf zu achten, dass selbst drehende Teile an Arbeitsgeräten mühelos drehen können.

Die Qualität der Feld- oder Ackerarbeit hat stets Vorrang. Die Überlegung, welche Qualität für den vorgesehenen Zweck notwendig ist und wie diese am kostengünstigsten erreicht wird, soll jedoch immer gemacht werden. Damit gewinnt auch das Kriterium, eines möglichst geringen Treibstoffverbrauchs, an Bedeutung. Speziell in der Bodenbearbeitung zahlen sich diese Überlegungen aus (vgl.: EGGENBERGER, BBZ Arenenberg, Thurgau, CH, www.lbbz.tg.ch, Zugriff am 17.01.2013).

4.6 Schardruck

Der Schardruck wird in kg angegeben und gibt die Kraft an, mit der das Säschar in den Boden gedrückt wird. Je höher der Schardruck, umso höher muss die Eigenmasse der Sämaschine sein.

Tabelle 54: Übersicht über die Bauarten von Säscharen und der jeweilige Schardruck

Säschar – Bauarten:	Schardruck [kg] u. Anmerkungen
Schleppschar: Geeignet nach konventioneller Bodenbearbeitung mit Pflug und Kreiselegge oder Rotoregge. Vorteil: Einfache Konstruktion, günstig in der Anschaffung Hersteller: Reform, Vogel & Noot, Kverneland-Accord	10 – 13
Säbelschar (Kreisbogenform) Unempfindlich bei Ernterückständen. Vorteil: Einfache Wartung, günstig in der Anschaffung. Nachteil: Tiefenführung nicht exakt einstellbar. Fabrikat: z.B. Fiona (Dän.), Aufbausämaschine „Apollo—	8 - 10
Zinkenschar Zinkensämaschinen– hinter jedem Zinken ist ein Saatrohr montiert.: Fabrikate: z.B. Kuhn „Megant— Väderstad „Seed Hawk—	selbsteinziehend bis 150
Scheibenschar: Einscheibenschar: Bei konventionellen Sämaschinen für den Einsatz nach erfolgter Pflugfurche oder Grubberarbeit. Für Mulch u. Direktsaat: Einscheibenscharsämaschine, Rapid, Väderstad Einscheibenscharsämaschine., CX-Ultra, Kverneland, hydraulisch. einstellbar	> 25 bis 250 95 - 130 bis 50
Doppelscheibenschar: Für Direktsaat unter günstigen Bedingungen, z.B. in einem Zwischenfruchtbestand. Für Mulchsaat ohne Saattbettbereitung bei verhärteten Böden und Direktsaat. Doppelscheibenscharsämaschine. Compact-Solitair, Lemken Doppelscheibenscharsämaschine, Terrasem, Pöttinger Doppelscheibenscharsämaschine.,Kverneland-Accord DG, stufenlos.einstellbar.	bis 100 100 - 150 bis 70 40 – 120 10 – 75
Dreischeibenschar: Ein vorlaufendes Wellsech oder Planscheibe schneidet das Stroh, mischt u. lockert den Boden, zieht die Saatreihe u. läuft einige cm tiefer als das folgende Säschar. Das Doppelscheibenschar benötigt für eine sichere Saatgutablage	bis 250 60 – 80
Hochgeschwindigkeits –Einzelkornsämaschine „Tempo—von Väderstad für Mais und Sonnenblume	325 pro Säeinheit
Cross Slot – Schar	max. 500

Quelle: Prospektunterlagen diverser Firmen 2012

Der Trend in der Sätechnik geht in Richtung mulchsaatfähiger Scheibenschare. Grund dafür ist die Förderung der Mulchsaat zur Einsparung von Kosten (weniger Arbeitsgänge) und zur Verminderung der Erosion. Effiziente Nachauflaufherbizide (Sulfonylharnstoffe) erleichtern ferner den Einsatz von Scheibenscharen.

Bei Schardrücken von 80 – 200 kg ist die Bereitung eines feinen Saatbeets nicht mehr notwendig, sodass auf zapfwellenbetriebene Eggen verzichtet werden kann. Im Vergleich zu Bestellkombinationen mit Kreiselegge oder Zinkenrotor haben schwere, gezogene Scheibenschar-Sämaschinen den Vorteil, dass sie wesentlich höhere Fahrgeschwindigkeiten - bis 15 km/h - erlauben.

Scheibenschare lassen sich überall gut einsetzen. Im Getreide kommt sowohl das Einscheibenschar als auch das Doppelscheibenschar zur Anwendung. Im Bereich der Einzelkornsaat wird das Doppelscheibenschar eingesetzt, weil es zum Erreichen größerer Arbeitstiefen (z.B. 5 cm für Mais) nicht genügt, den Säschrift nur einseitig zu öffnen.

Um den sogenannten „Hairpinning-Effekt“ zu verhindern ist es wichtig, dass das Saatbett sauber ist oder das Stroh im Saatbett wenigstens gut durchmischt wird. Strohreste, die vom Säschar in den Säschrift gedrückt werden, sind nicht erwünscht. Speziell Einscheibenschare drücken Stroh in den Säschrift mit der Folge, dass das Saatgut nur unzureichenden Bodenkontakt bekommt. Die Lösung wären so genannte Furchenräumer wie sie bei der Einzelkornsaat eingesetzt werden. Solche Furchenräumer benötigen aber beim Einbau viel Platz – und dieser ist bei den engen Verhältnissen einer Getreidesämaschine nicht vorhanden

(vgl.: SCHMIDELIN und RÖTHLISBERGER, 2013, 112 ff).

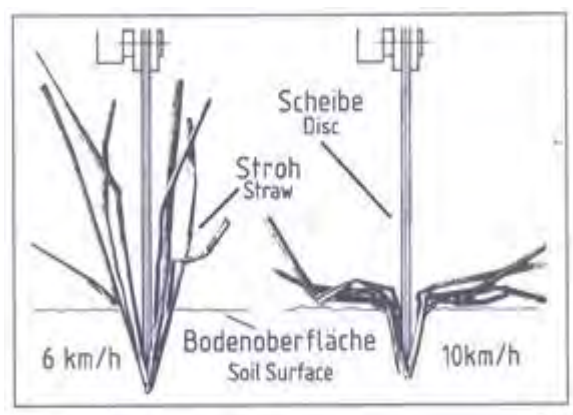


Abbildung 201: Hairpinning-Effekt

(Quelle: RUMP und KÖLLER, 2004, 12f)

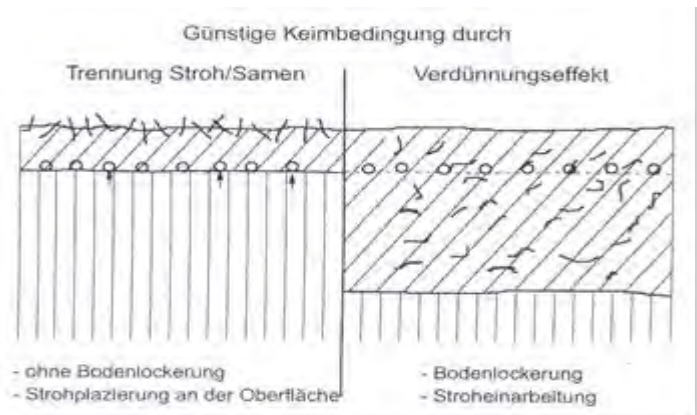


Abbildung 202: Umgang mit Stroh

(Quelle: VOßHENRICH, 1999, 29)

Die (Abb. 201) zeigt den Hairpinning-Effekt. Darunter versteht man das Verhalten des Strohs unter der Scheibe bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten. Bei Strohmenngen von $> 6 \text{ t/ha}$ ist eine hohe Fahrgeschwindigkeit und ein Schardruck von bis zu 200 kg notwendig um eine Hairpinning- Effekt zu verhindern (vgl.: KÖLLER, 2004, 12).

In (Abb.202) sieht man den Umgang mit Stroh bei konservierender Bodenbearbeitung und Bestellung (vgl.: BRUNOTTE et.al., 1999, 29).

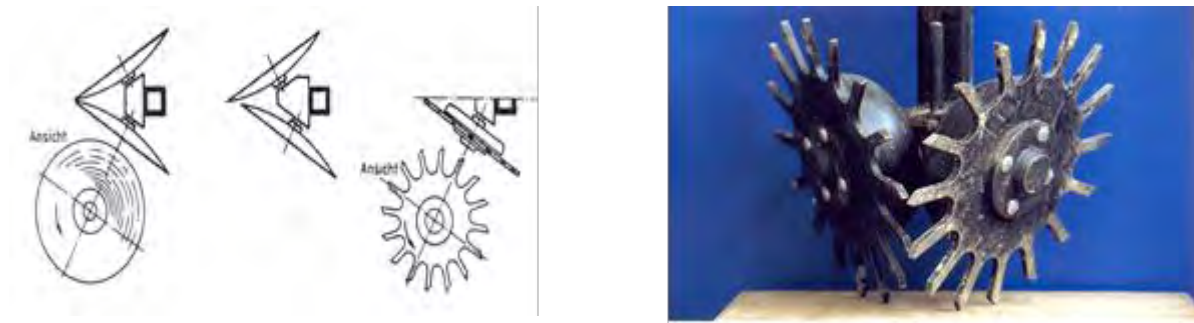


Abbildung 203: Strohräumer (Quelle: KÖLLER und LINKE, 2001,72)

Strohräumer (Abb. 203) haben die Aufgabe Pflanzenreste vor dem Säeschar zu entfernen um das Einarbeiten der Rückstände durch das Säeschar zu vermeiden, können aber nur bei Einzelkornsämaschinen eingebaut werden (vgl.: KÖLLER und LINKE, 2001, 72).

Die Sensortechnik wird mittlerweile auch in der Sätechnik angewendet. So baut Lemken eine automatische Schardruckregelung ein. Dieses System ermittelt mit einem an der Tiefenführungsrolle angebrachten Sensor Veränderungen des Schardrucks, die dann vom automatischen Schardrucksystem ausgeglichen werden. Damit wird eine konstante Ablagetiefe erreicht, auch unter wechselnden Einsatzbedingungen.

Die Ablagetiefe wird bestimmt durch die Festigkeit des Bodens, der Fahrgeschwindigkeit und den Schardruck. Beim Wechsel von schwerem zu leichtem Boden nimmt der Eindringwiderstand des Säeschars in den Boden bei konstantem Schardruck ab. Das tiefere Eindringen des Schar wird durch die Tiefenführungsrolle verhindert, aber der Druck auf die Tiefenführungsrolle nimmt zu. Beim Wechsel vom leichten zu schwerem Boden kann das Säeschar bei konstantem Schardruck weniger tief in den Boden eindringen, der Druck auf die Tiefenführungsrolle nimmt ab. Bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit erhöht das Regelsystem den Schardruck. Ein Schardruck bis 70 kg ist möglich.

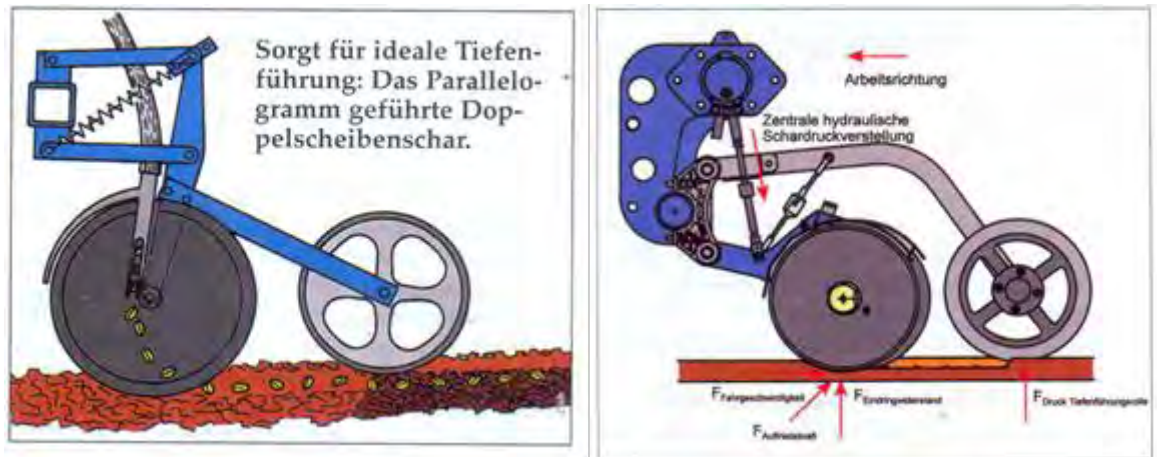


Abbildung 204: Parallelogrammgeführtes Doppelscheibenschar

Abbildung 205: Schardruckregelung

(Quelle: SCHMIDLIN und RÖTLISBERGER, 2013, 113f)

Parallelogrammgeführtes Doppelscheibenschar (Abb. 204) mit gummiberechtigter Tiefenführungsrolle. Dieses Säsystem ist dafür ausgelegt, dass das Saatgut auch bei wechselnden Böden exakt gleich tief abgelegt wird und das Doppelscheibenschar auch bei hohen Fahrgeschwindigkeiten optimal, das heißt ruhig arbeitet. (Lemken Saphir). Schardruck und Ablagetiefe lassen sich bei Lemken unabhängig voneinander einstellen. Die (Abb. 205) zeigt die Schardruckregelung von Lemken. Das Schema zeigt die Einflussgrößen und Kräfte am Doppelscheibenschar (vgl.: SCHMIDLIN und RÖTLISBERGER, 2013, 113).

4.7 Tiefenführung und Rückverfestigung

Das Einhalten einer regelmäßigen Ablagetiefe erfordert in groben, mit Stroh durchsetzten Saatbetten hohe Schardrücke. Dazu werden zusätzliche Tiefenführungsrollen, die die Saat in grobe, mit Stroh durchsetzte Saatbette ermöglichen, verwendet.

Säschare ohne solche Tasträder lassen sich bei unterschiedlichen Böden nur ungenügend präzise über die Tiefe führen.

Neben der eigentlichen Tiefenführung erlauben die Tasträder zudem das gezielte Andrücken der Saatreihe, was sich besonders bei trockenen Bedingungen positiv auf die Keimung auswirkt, während zwischen den Reihen der Boden unverdichtet bleibt. Dies ist von Vorteil, da die Rückverfestigung der Saatreihe einen guten Feldaufgang sichert, während der lockere Boden zwischen den Reihen die Wasserinfiltration fördert und das Erosionsrisiko vermindert. Während die gezielte Rückverfestigung bei

Direktsaatmaschinen zum Standard gehört wird diese nunmehr auch bei herkömmlichen Sämaschinen realisiert (vgl.: SCHMIDELIN und RÖTHLISBERGER, 2013,113).

5 Ökologische Kriterien bei Bodenbearbeitungsverfahren



Abbildung 206: Pflugsaat – Mulchsaat – Direktsaat (Quelle: Väderstad Firmenprospekt 2012)

5.1 Bodenschutz

5.1.1 Bodenerosion

Bodenerosion ist weltweit eine der größten Herausforderungen für den Bodenschutz. Durch Erosion entstehen zum Teil irreversible Bodendegradierungen mit erheblichen sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Folgen. Der natürliche Prozess der Bodenerosion ist die Ablösung und der Transport von Bodenteilchen entlang der Bodenoberfläche. Je nach Transportmedium wird in Wasser- und Winderosion unterteilt (vgl.: HÜLSBERGEN et. al., 2008, 19).



Abbildung 207: Wassererosion (li.) - intensive Bodenerosion nach Starkniederschlägen (30 l/m² pro Stunde) bei Mais mit konventioneller Bodenbearbeitung. Winderosion (rechts).

Auf Sandböden wo noch gepflügt wird verweht der Boden durch den Wind. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Quelle: vgl.: LOP 04/2010, 29)



Abbildung 208: Ursachen und Folgen der Bodenerosion durch Wasser

(Quelle: LWK-Nordrhein - Westfalen (Bodenerosion durch Wasser))

Ursachen des Bodenverlustes durch Erosion sind Anbautechniken, die der gegebenen Geländegestalt nicht genügend Rechnung tragen, ein zu geringer Schutz der Bodenoberfläche durch Bodenbedeckung und eine ungeeignete Gestaltung der Felder (HEGE UND BRENNER, 2004, 19).

Um der Wind- und Wassererosion vorzubeugen bedarf es neuer Anbausysteme mit ganzjähriger Bodenbedeckung.

Betroffen von der Winderosion und Bodenverwehungen sind vor allem Sand- und Niedermoorböden, die in Einzelkornstruktur vorliegen. Probleme gibt es vor allem bei Mais und Zuckerrüben, weil der Boden lange unbedeckt bleibt. Aber auch im Raps ist Winderosion vor allem im Spätsommer nicht selten.

Die Anlage von Windschutzstreifen oder eine allgemeine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit können dem Problem zwar langfristig vorbeugen, aber derartige Maßnahmen werden erst nach vielen Jahren eine Wirkung zeigen.

Die konservierende Bodenbearbeitung und die Direktsaat gelten weltweit als effektivste Maßnahme gegen Wind- und Wassererosion.

Der Verzicht auf den Pflug kann alleine noch keine Winderosion verhindern. Eine mehrmalige flache Bearbeitung des Bodens zerstört ebenfalls die biologische Verbauung des Bodens und erhöht damit dessen Anfälligkeit für Erosion.

Notwendig sind neue Anbausysteme mit ganzjähriger Bodenbedeckung wie die Direktsaat, die Mulchsaat ohne Saatbettbereitung oder die Streifenbearbeitung. Eine intensive Durchwurzelung muss dabei die Bodenstruktur stabilisieren und damit vor einem Abtrag schützen.

Erosionsvermeidung gewinnt auch durch gesetzliche Vorgaben immer mehr an Bedeutung. Die sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft macht hierzu bereits seit 2005 ausführliche Tests mit Abschwemmversuchen zu verschiedensten Bodenbearbeitungsverfahren.

Die Umsetzung in der Praxis gestaltet sich oftmals als schwierig. So erfolgt zu Mais meist eine organische Düngung mit Gülle, die – entsprechend den gesetzlichen Vorschriften - umgehend in den Boden einzuarbeiten ist. Eine ganzflächige Bearbeitung macht diesen aber anfällig für die Erosion. Um dies zu vermeiden, gibt es bereits Verfahren, die allerdings einen höheren technischen Aufwand erfordern. Die Gülle kann z.B. mittels Streifenbearbeitung in den Boden eingebracht werden, wofür inzwischen geeignete Technik zur Verfügung steht (siehe Streifenbearbeitung X-Till S von Vogelsang) (siehe S.134). Alternativ dazu ist auch eine Verteilung mit Schleppschläuchen (siehe S.118) in den wachsenden Bestand möglich (vgl.: LOP 5/2011, 10).

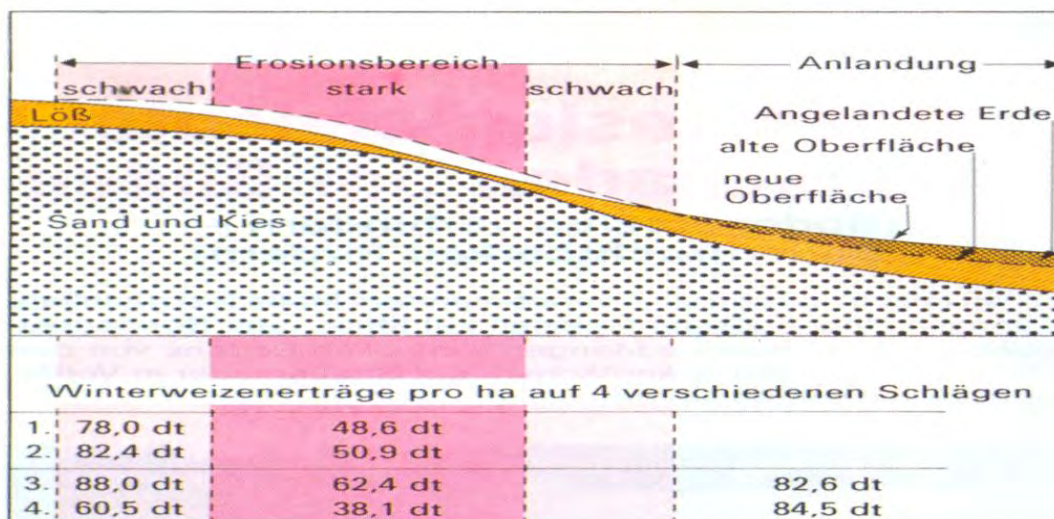


Abbildung 209: Beispiel für die Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit durch Erosion

(Stichprobenerhebung) (Quelle:DIEZ, Bayrische Landesanstalt, Weißenstephan)

Durch die „Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) wird die Erosion erfasst. Sie dient als Maß für die potentielle Erosionsgefährdung. Die Ermittlung erfordert für jedes Feld Angaben zu dessen Größe, der vorherrschenden Bodenart sowie zu dem jeweiligen Topographiefaktor (Hangneigung und erosive Hanglänge).

Angestrebt (Boniturnote 1) wird ein Zustand, der der Erosionsdisposition unter Saatgrasland (C-Faktor = 0,03) entspricht. Als maximal tolerabel (Bonitur 6) gilt vorerst die Beziehung: höchster akzeptabler Bodenabtrag = Ackerzahl 8, aber nicht mehr als 10 t/ha*a.

Ausgewiesen wird die einzelfeldbezogene Erosionsdisposition. Bewertet wird das betriebsbezogene Mittel unter Berücksichtigung der Toleranzüberschreitungen der einzelnen Schläge (HEGE und BRENNER, 2004, 19).

Berechnung des C-Faktors

Höhenlage (m über NN): bis 100

Bodenbearbeitung: Standard

Fruchtfolge	Bestellverfahren
Silomais	Direktsaat
Winterweizen	Herbstfurche
Sommergerste	Mulchsaat
Wintergerste	Mulchsaat

C-Faktor: 0,047

[LWK NRW 28.04.2005 - Jacobs, Schneider]

Abbildung 210: Beispiel für die Berechnung des C-Faktors

(Quelle: (vgl.: <http://www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/ackerbau/boden/c-faktoren.htm>, Zugriff am 11.11.2012).

Beispiel für die Berechnung des C-Faktors einer hinsichtlich Region und Anbausystem modular aufgebauten Fruchtfolge mit dem Berechnungsprogramm der LWK.

Cross Compliance

Seit Herbst 2010 gelten neue Cross-Compliance-Vorgaben (anderweitige Verpflichtungen) zum Schutz vor Erosion. Dies bedeutet, dass beispielsweise auf Flächen, die in eine hohe Erosionsgefährdungsklasse eingestuft werden (CC_{Wasser 2}), der Einsatz des Pfluges nur noch sehr eingeschränkt möglich, bzw. zu Reihenkulturen wie Mais, Kartoffeln oder Zuckerrüben gar nicht mehr zulässig ist (vgl.: LOP 04/2010, 30).

*) Cross Compliance bedeutet die Einhaltung der gesetzlichen Standards betreffend Umwelt, Lebensmittelsicherheit und Tierschutz. Die Einhaltung dieser Bestimmungen ist die Voraussetzung für die vollständige Gewährung der Direktzahlungen.

5.1.1.1 Einflussfaktoren auf die Bodenerosion von Strip-Till bei Mais

In (Abb. 211) sind die Auswirkungen der Streifenbearbeitung zu Mais auf die Bodenerosion durch Wasser bzw. den Bodenabtrag durch Wasser dargestellt.

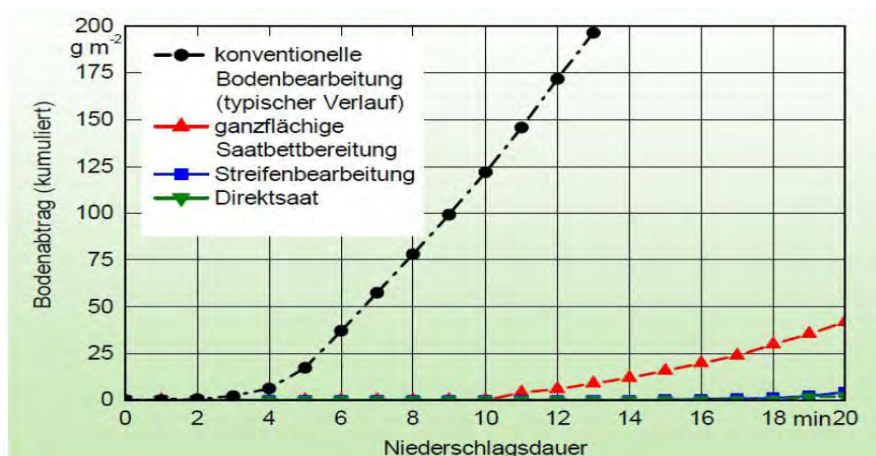


Abbildung 211: Auswirkungen von Strip Till zu Mais auf die Bodenerosion durch Wasser
Auswirkungen von Strip Till zu Mais auf die Bodenerosion durch Wasser Bodenabtrag
(1. Untersuchungsjahr 2005) (Quelle: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft)

5.1.1.2 Rauheit des Saatbettes

Ein feines Saatbett bewirkt einen hohen Feldaufgang und erleichtert die mechanische Unkrautbekämpfung. Es ist aber mit Nachteilen wie erhöhter Gefahr von Verschlämmung sowie Erosion verbunden und benötigt viel Energie. Ein feines Saatbett führt bei Winterweizen zu keinem Mehrertrag (ANKEN und HILFIKER, 1996).

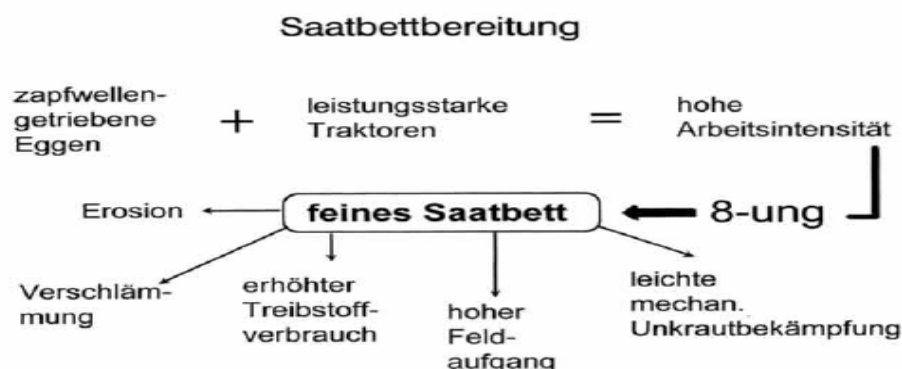


Abbildung 212: Saatbettbereitung
Zusammenhang von Bodenbearbeitungsintensität, Bodenverschlammung und Erosion
(Quelle: FAT-Bericht 1996 Nr.484, 8)

Die Bodenverhältnisse haben einen wesentlich stärkeren Einfluss auf die Feinheit des Saatbettes als das Bodenbearbeitungsgerät. Die Saatbettbereitung sollte deshalb möglichst bei brüchigem Boden erfolgen. Bei nassen Verhältnissen ist der Boden so flach und extensiv wie möglich zu bearbeiten. Je gröber ein Saatbett, desto höher ist dessen Rauigkeit. Dies vermindert die Gefahr von Verschlämmungen und Erosion.

Die Federzinkenegge benötigt wenig Energie und schont das Bodengefüge, bearbeitet aber gröber als die zapfwellengetriebenen Kreisel- oder Rotoreggen. Zapfwellengetriebene Geräte sind mit möglichst niedrigen Drehzahlen und hoher Fahrgeschwindigkeit zu fahren. Hohe Werkzeugdrehzahlen verbessern den Arbeitseffekt nur bedingt, erhöhen aber den Verschleiß und belasten das Bodengefüge.

Richtwert: Kreiselegge ca. 100-200 1/min, Zinkenrotor 200-250 1/min.

Ein Schaltgetriebe sollte zur Grundausstattung gehören.

Richtige Saatbettfeinheit: Auf einer Fläche von 40 * 60 cm sollten 15-25 Schollen mit einem Durchmesser > 40 mm zu finden sein, was sich mit Doppelmeter und Fünfliber überprüfen lässt. Das Saatbett ist zu fein, wenn kaum mehr Schollen > 4 cm vorhanden sind, und zu grob, wenn viele Schollen > 10 cm Durchmesser die Saat stark behindern würden. Kulturansprüche und Bodenverhältnisse sind ebenfalls zu berücksichtigen.

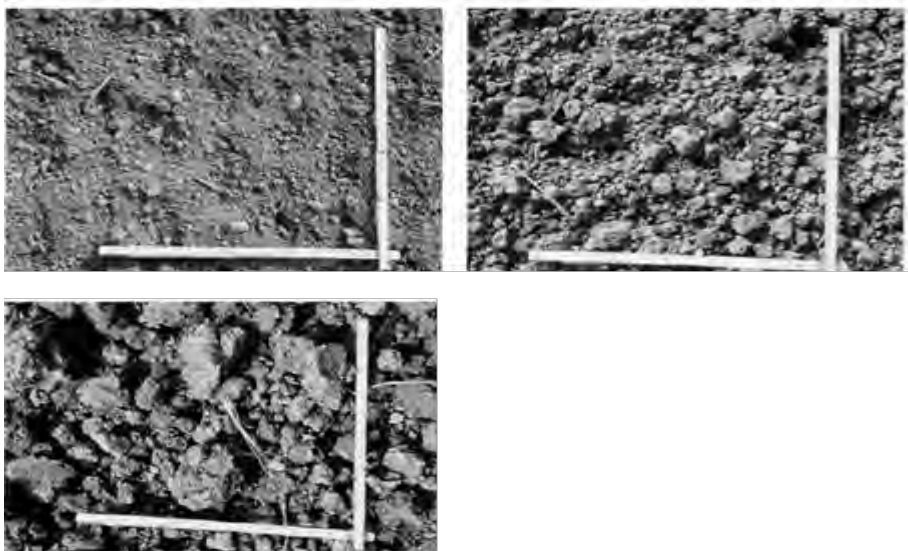


Abbildung 213: Saatbettbereitung - Vergleich der Bodenbearbeitungsintensität
(Quelle: FAT-Bericht- 484,1996,8)

Oben links: zu fein! Es sind kaum mehr Schollen mit einem Durchmesser > 40 mm vorhanden, die den Boden vor Verschlämmung und Erosion schützen.

Oben rechts: So sollte ein Saatbett etwa aussehen. Genügend Feinmaterial sichert den Feldaufgang, gröbere Schollen schützen vor Verschlämmung.

Unten links: Grosse Schollen > 10 cm, erschweren die Saat und vergraben einzelne Samen. Hier ist feiner arbeiten angezeigt (vgl.: FAT- Bericht 484/1996, 8).

Eindeutig ist, die konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug neigt zu starker Erosion. Die konservierende Bodenbearbeitung reduziert diese bereits deutlich.

Die Streifenbearbeitung hingegen liegt auf dem Niveau der Direktsaat bei höherer Ertragssicherheit (Quelle: terra Horsch 01/2010, 6).

5.1.1.3 Nutzen-Kostenvergleich zum Erosionsschutz

Tabelle 55: Einzelbetrieblicher Nutzen-Kosten-Vergleich zum Erosionsschutz

(Quelle: Amazone, Architektur des modernen Pflanzenbaus 2006, 80)

Nutzen					Kosten	Vergleich
Boden-Bearbeitungs-verfahren	Zw.-Frucht Grün-düngung	Einsparung Maschinen, Saatgut	Umbruch/NE Dünge-, PS-Mittel	Bodenwert Erhaltung	+ Erhöhung - Minderung	+ Nutzen - Kosten
Konventionelle Saat mit SB	0	0	0	0	0	0
Mulchsaat mit SB (Stroh)	0	20	4	8	- 25	+ 57
Mulchsaat mit SB (Zw.-Frucht)	90 40 - 145	20	4	8	+ 50	+ 72 +22- + 127
Mulchsaat ohne SB (Zw.-Frucht)	90 40 – 145	20	4	13	+ 30	+ 97 +47- + 152
NE = Neueinsaat, PS = Pflanzenschutz, SB = Saatbettbereitung, Zw-Frucht = Zwischenfrucht						

(Angaben in €/ha und Jahr gegenüber konventioneller Bewirtschaftung für die Fruchtfolge ZR-WW-WG) für einen Modellbetrieb (nach BRUNOTTE et al., 1995).

Modellbetrieb: Mulchsaatverfahren mit ZR-Getreide-Fruchtfolge, auf erodierten Lössböden von > 200 m Schlaglänge und 10-15 % Hangneigung bei 700 mm Jahresniederschlägen.

Der Nutzen aus Erosionsschutzmaßnahmen setzt sich aus folgenden Positionen zusammen:

Gründungseffekt: Der Anbau von Zwischenfrüchten zum Zwecke der Mulchsaat von Zuckerrüben wirkt sich mittelfristig positiv auf die Erträge der nachfolgenden Früchte Zuckerrüben und Weizen aus (Tab. 55).

Sicherung der Pflanzenbestände: Mulchsaatverfahren sichern kurzfristig junge Pflanzenbestände bei Starkregenereignissen, so dass Kosten für Umbruch und Neueinsaat eingespart werden. Mulchsaat ist damit eine gewisse Versicherung für die jungen Pflanzen.

Bodenwerterhaltung: der Nutzen der Mulchsaaten liegt langfristig in geringen Wertminderungsraten der Bodenfruchtbarkeit gegenüber konventionellen Verfahren.

Kosten: Ein Zwischenfruchtanbau einmal in drei Jahren kosten 90,- €/ha (= 30 €/ha u. Jahr). Beim Strohmulchverfahren werden 75,- €/ha (= 25 €/ha u. Jahr) eingespart.

Nutzen-Kosten-Vergleich: Die Gesamtbetrachtung von Erosionsschutzmaßnahmen führt zu folgendem Ergebnis (Tab. 55).

Bei der **Mulchsaat mit Saatbettbereitung** auf Basis Stohrückstände besteht der Nutzen gegenüber konventionellen Verfahren in einem geringeren Umbruchrisiko, in einer verbesserten Erhaltung des Bodenwertes und in niedrigeren Kosten bei der Arbeitserledigung mit insgesamt 57,- €/ha u. Jahr.

Die **Mulchsaat mit Saatbettbereitung** auf Basis Zwischenfrucht deckt durch den Gründüngungseffekt den Mehraufwand des Zwischenfruchtbaus ab. Umbruchrisiko und Bodenwerterhaltung sind vergleichbar mit der Strohmulchvariante, so dass ein Gesamtnutzen von 72,- €/ha und Jahr entsteht.

Bei der **Mulchsaat ohne Saatbettbereitung** auf Basis Zwischenfrucht addieren sich Gründüngungseffekt, Umbruchrisiko und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit zu dem höchsten Nutzen von 97,- €/ha und Jahr.

Dieser Vergleich zeigt, dass in einer Zeit verstärkter Kosteneinsparung eine Bodennutzung möglich ist, die Ansätze liefert, gleichzeitig wettbewerbsfähig und umweltverträglich zu sein. Das Beispiel der Erosionsschutzmaßnahmen auf der Basis von Zwischenfrüchten zeigt, dass durch den Gründüngungseffekt der Aufwand mittelfristig gedeckt wird und der Nutzen nicht erst in der nächsten Generation auftritt (vgl.: AMAZONE- Architektur des modernen Pflanzenbaus, 2006, 80f).

5.1.1.4 Versuchsergebnisse zur Erosion aus Niederösterreich

In (Tab. 56) sind die Ergebnisse von drei Versuchsstandorten zusammengefasst.

Bei der konventionellen Saat wird auf eine Herbstbegrünung verzichtet, bei der Mulchsaat wurden 7,5 kg Platterbsen, 11 kg Sommerwicke, 3,7 kg Buchweizen, 1,1 kg Alexandrinerklee, 1,1 kg Perserklee und 0,4 kg Gelbsenf als Herbstbegrünung Mitte August angebaut. Bei der Direktsaat werden 3 kg Gelbsenf und 7 kg Phacelia zum vorgenannten Termin ausgesät.

Tabelle 56: Gemessene jährliche Abträge und Erträge 1994 – 2010

Versuchsstandorte: Mistelbach, Tulln, Pyhra (KLIK, BOKU 2011)

EROSIONSVERSUCHE:			
Bearbeitungsmethode	Konventionell	Mulchsaat	Direktsaat
Bodenabtrag t/ha/Jahr	6,7	2,2	1,1
Reduktion [%]		67	84
C _{org} -Verlust kg/ha/Jahr	85	32	18
Reduktion [%]		62	79
N-Abtrag kg/ha/Jahr	12	6,5	3,8
Reduktion [%]		46	68
P-Abtrag kg/ha/Jahr	5	1,5	0,8
Reduktion [%]		70	84
Wasser – Abfluss [mm]	24,3	21,7	17,7
Wasser – Abfluss [mm]			
Pixendorf 2007		47	5
Reduktion [%]	109	57	95
Herbizidabtrag [%] der ausgebrachten Wirkstoffmenge			
Reduktion [%]		50	90
Ertrag [%] Konventionell	100	104	100
C _{org} = organischer Kohlenstoff im Boden			

Quelle: Fortschrittlicher Landwirt Nr.15, 08/2011, 38

Wie aus (Tab. 56) entnommen werden kann, sind deutliche Reduktionen bei Boden-, Nährstoff- und Herbizidabtrag und beim Abfluss festzustellen. Besonders umweltrelevant ist der stark minimierte C_{org}-Verlust, der nicht nur eine CO₂-Speicherung im Boden zur Folge hat, sondern auch höhere Pflanzenerträge.

Wissenschaftliche Modellierungen haben ergeben, dass der ständig sinkende Kohlenstoffgehalt in den Ackerböden für die eigentlich stagnierenden und

grundsätzlich sinkenden Erträge der letzten Jahrzehnte verantwortlich ist, berücksichtigt man die stark verbesserte Genetik unserer Kulturpflanzen durch den enormen Züchtungsfortschritt, die Entwicklung im Pflanzenschutz und der besseren und gezielten Düngung. Gelingt es aber durch effektiveres Gründeckenmanagement und Mulchsaat, Kohlendioxyd bzw. Kohlenstoff zu binden und im Boden zu speichern, ist eine ernstzunehmende ökologische Leistung der Landwirtschaft gegeben. (vgl.: N.N, 2011, 37).

5.1.1.5 Vorbeugender Schutz gegen Bodenabtrag

Die Bodenbearbeitung beeinflusst Bodenabtrag in direkter oder indirekter Weise. Einerseits erfolgt Abtrag durch Wasser oder Wind umso eher, je geringer die Rauigkeit der Bodenoberfläche ist, je intensiver also die Bodenbearbeitung zuvor war. Andererseits hat die Bodenbearbeitung neben Fruchtfolge und Fruchtart besonderen Einfluss auf die Bodenbedeckung, die maßgeblich zur Minderung von Bodenabtrag beiträgt. Bei entsprechenden Handlungsempfehlungen ist zwischen drei Strategien (Abb. 214) zu unterscheiden:

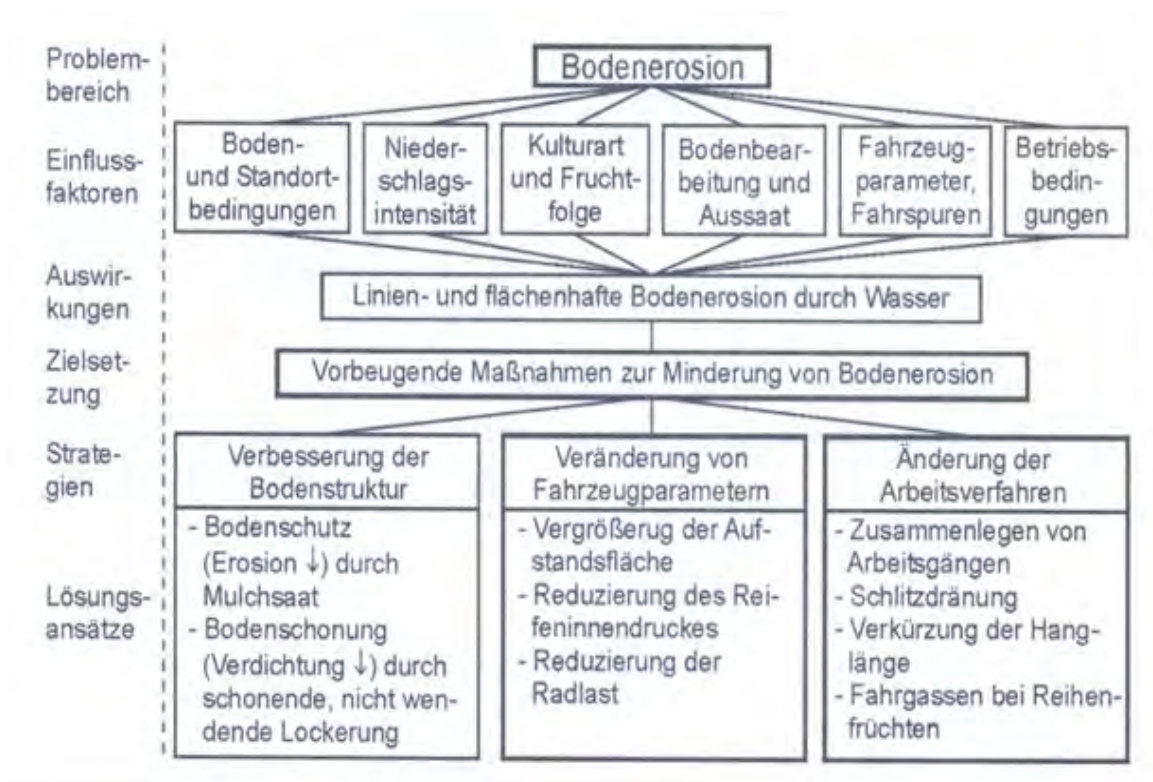


Abbildung 214: Drei Strategien mit vorbeugenden Maßnahmen gegen Bodenabtrag

(Quelle: BRUNOTTE, Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis, Sonderheft 256-2003,79-86).

Die (Abb.215) zeigt wie mit einer gezielten Geräteauswahl standortangepasste Bodenbearbeitung möglich ist und unterschiedliche Bedeckungsgrade zur Vorbeugung von Verschlämmung und Erosion beispielsweise bei Mais zu erstellen sind.

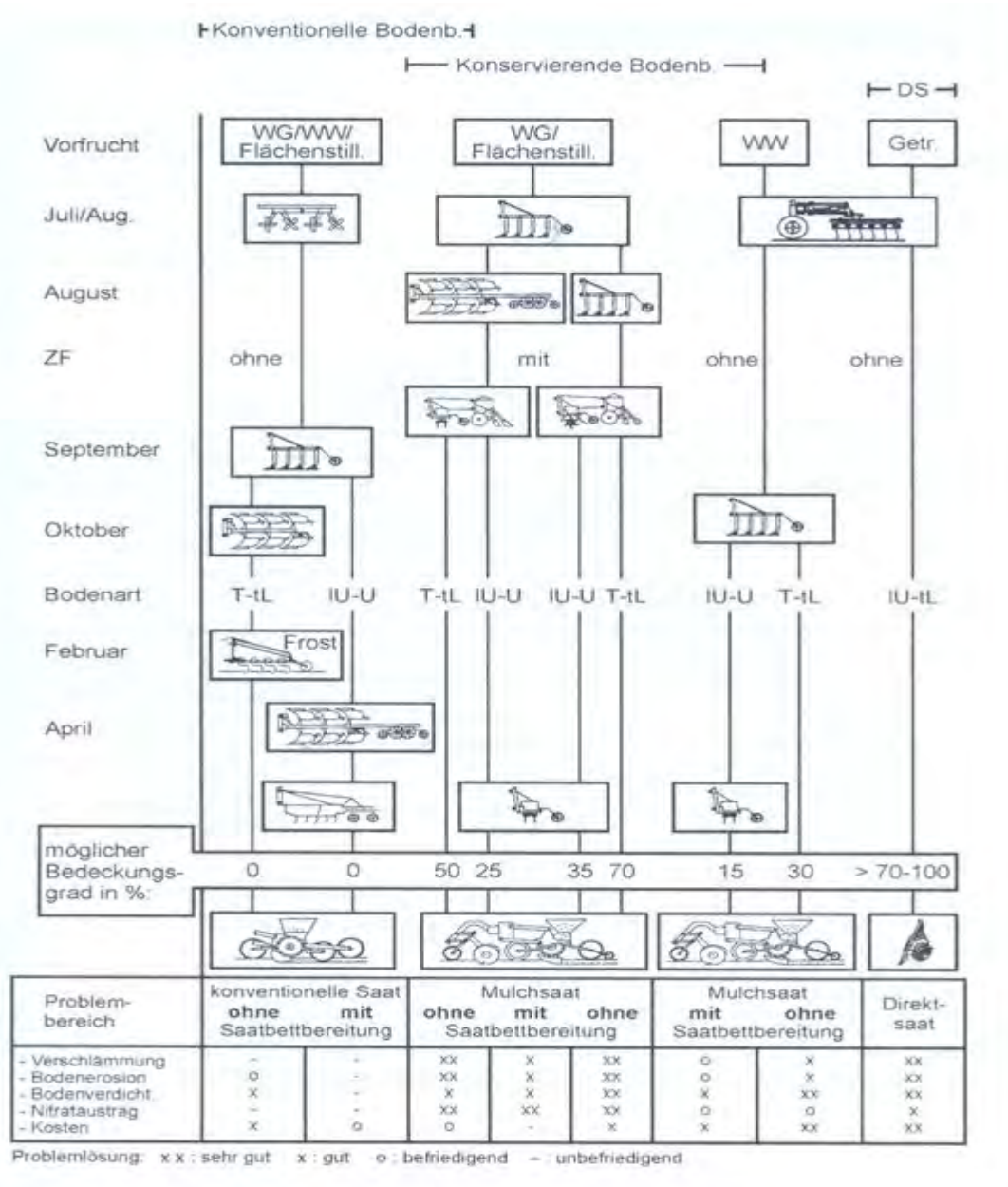


Abbildung 215: Geräteeinsatz bei konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung
(Quelle: KTBL-Faustzahlen, 2005, 198).

Geräteeinsatz bei konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung zu Mais und mögliche Bedeckungsgrade mit Problemlösungen.

Hohe Bedeckungsgrade zum Zeitpunkt intensiver Niederschläge im Frühjahr/Frühsummer lassen Oberflächenabfluss und Bodenabtrag am Beispiel der

erosionsgefährdeten Parabraunerde vorbeugen (Quelle: KTBL-Faustzahlen, 2005, 198).

Nach Vorfrucht Wintergerste besteht die Möglichkeit einer Zwischenfruchtaussaat. Wird Phacelia nach Pflugfurche bestellt – wie es in der Praxis häufig geschieht – und auf einem Tonstandort im Frühjahr auf die Saatbettbereitung verzichtet, ist ein Bedeckungsgrad von 50 % durch Zwischenfruchtreste zu erreichen. Senf kann auch pfluglos bestellt werden. Dabei sollte nach vorhergehender Stoppelbearbeitung statt der Kreiselegge der Kreiselgrubber eingesetzt werden, da er durch die „auf Griff stehenden Zinken“ ständig frischen Boden an die Oberfläche transportiert und damit zu einer guten Stroheinmischung führt (siehe S.71).

Liegen Schadverdichtungen vor, beispielsweise nach einer Ernte unter feuchten Bedingungen, ist es sinnvoll, den Tiefenlockerer [TL] vorweg einzusetzen. Dadurch kann nach der mechanischen Lockerung [m.Lo.] des Gefüges der Senf mit seinen Wurzeln die Krume biologisch stabilisieren, ohne dass zusätzlich eine Befahrung des Ackers stattfinden muss. Durch die Stroh- und Zwischenfruchtreste werden immerhin Bedeckungsgrade von 70 % erreicht.

Wird Winterweizen bzw. Winterroggen vor Mais angebaut, so muss oft auf den Anbau einer Zwischenfrucht verzichtet werden, da sie sich im Herbst nicht mehr ausreichend entwickeln kann. Stattdessen sind die Stohrrückstände als Oberflächenschutz zu nutzen. Dabei ist das Strohmanagement völlig umzustellen, indem im Oktober nur eine Bearbeitung mit dem Grubber auf ca. 15 cm Tiefe erfolgt. Die Grundbodenbearbeitung beispielsweise mit dem Schichtengrubber [TL], muss auf Tonboden im Herbst und kann auf Lehm- und Sandboden auch im Frühjahr erfolgen.

Mit dem Einsatz des Schichtengrubbers [TL] ändert sich der Bedeckungsgrad nur um 3,5 % (mit Lockerung gegenüber ohne Lockerung), das Doppelherzschar (betriebsüblich) senkt hingegen den Bedeckungsgrad um 13,8 % (24,4 – 10,6 %) (nach WOLLENWEBER 1996).

Auf der Basis von Strohmulch sind immerhin Bedeckungsgrade von durchschnittlich 35 % möglich, wenn lediglich ein Stoppelbearbeitungsgerät und der einmalige Einsatz des Kreiselgrubbers (Werkzeuggeschwindigkeit 4,5 m/s) erfolgen.

Liegen trockene Bodenverhältnisse vor, kann nach konventioneller wie konservierender Grundbodenbearbeitung die Kombination aus Kreiselgrubber + Reifenpacker + Einzelkornsämaschine eingesetzt werden.

Zur Einarbeitung von Stroh stehen gezogene Geräte wie Spatenrollegge, Scheibenegge, Grubber und zapfwellengetriebene Geräte wie Zinkenrotor und Kreiselgrubber zur Verfügung. Ist der Zeitraum von der Ernte bis zur Neubestellung kurz, kann der Einsatz eines Zapfwellengerätes sinnvoll sein.

Wird der Tiefenlockerer (TL) dem Kreiselgrubber vorgeschaltet, wird die Einarbeitungsqualität verbessert. Dennoch ist der Verdünnungseffekt des Strohs (80 dt/ha) in der Krume nicht ausreichend. Ein zusätzlicher Arbeitsgang mit dem Schwergrubber auf 20 cm Tiefe lässt den Feldaufgang um 20 % ansteigen (Versuchsergebnis mit Raps auf Fehmarn) (vgl.: Amazone, Architektur des modernen Pflanzenbaus 10/2005, 32 f).

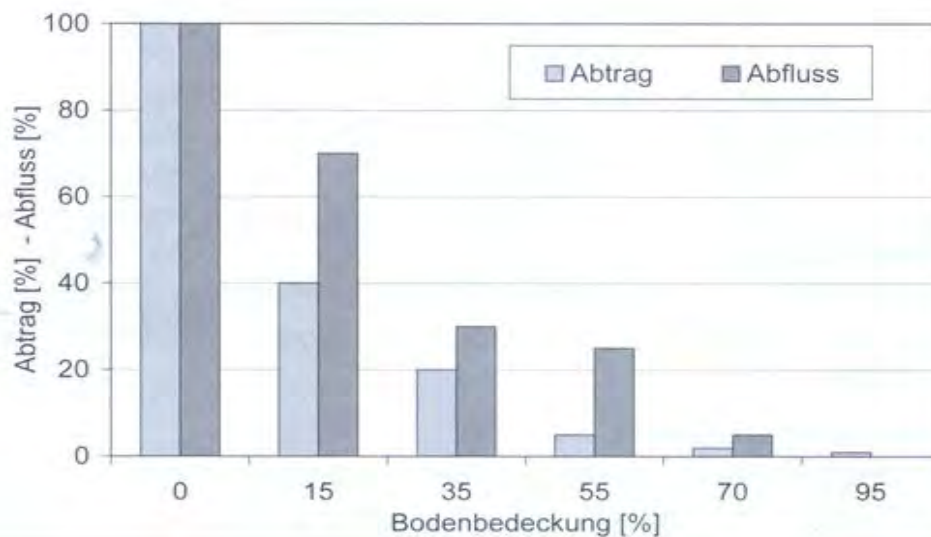


Abbildung 216: Abfluss und Abtrag in Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad

(Quelle: Roth, H.; J. Brunotte und C. Sommer: Die Bedeutung von Verschlammung und Verdichtungen auf Lößböden, Zuckerrübe, 39 (1990) 1, S. 50-57)

5.1.1.6 Erosionsgefahr bei verschiedenen Kulturen

Die Erodierbarkeit, das heißt, die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegenüber der Zerstörung der Krümel und seiner Verlagerung hängt im Wesentlichen von den Bodeneigenschaften, von der Hanglage und Hangneigung sowie den Nutzungsverhältnissen (Pflanzenart, Pflanzenzahl, Fruchtfolge, Bodenbedeckung) ab.

Tabelle 57: Erosionsgefahr bei verschiedenen Kulturen (Quelle: ANGERMAYR, 1988,8)

Pflanzenart	Zahl der Pflanzen/ha	Erosionsgefahr
Wein	ca. 2.500	hoch bei Mulchbetrieben
Kürbis	12.000 – 15.000	keine Gefahr
Mais	70.000 – 100.000	hoch
Pferdebohne	400.000 – 500.000	hoch
Körnerraps	400.000 – 800.000	gering
Getreide	3 – 5 Millionen	gering
Grünland		gering bzw. keine *)
*) Pflanzenbestand ist so dicht, dass keine Erosion entsteht.		

Erosion - weltweite Betrachtung

Weltweit ist der Verlust an Boden durch Erosion ein riesiges Problem. Durch Erosion schrumpft die landwirtschaftliche Nutzfläche weltweit jährlich um 10 Mio. ha. Ein Starkregen spült 1 mm Boden davon. Bezogen auf 1 ha sind dies 13 t Oberboden oder 20 Jahre, die es dauert, bis sich durch natürliche Prozesse so viel Boden wieder neu bildet.

Durch Bodenerosion sind in den letzten 40 Jahren 30 % der Ackerfläche weltweit unfruchtbar geworden. Schätzungsweise gehen durch Starkregen und Überschwemmungen jährlich 130 Mio. t Ackerboden weltweit verloren. Laut FAO beschleunigt sich das Tempo des Bodenverlustes. China verliert durch Wassererosion seine Kornkammer am Gelben Fluss. Wertvoller Lößlehm wird abgeschwemmt weil der Boden nicht ganzjährig begrünt ist. Die dem tropischen Starkregen ausgesetzten Flächen Amazoniens in Brasilien sind der Erosion extrem ausgesetzt. Binnen weniger Jahre wurde die nur einige cm starke Bodenaufgabe ausgelaugt und fortgespült.

Die Winderosion ist am extremsten im Mittleren Westen der USA. Besonders geplagt von Winderosion sind auch die Kontinente Asien und Afrika. Dort geht zum Teil so viel

Boden auf Wanderschaft, dass er ganze Landstriche und Dörfer mit Wanderdünen bedeckt. Weltweit findet Winderosion auf einer Fläche von 550 Mio. ha statt.

In der EU sind durch Erosion über 16 % des gesamten Festlandes, davon 12 % durch Wasser – und 4,4 % durch Winderosion betroffen. Rechnet man auch die nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen mit ein, so sind das 157 Mio. Hektar.

Der finanzielle Schaden, der durch die Bodenverschlechterung jährlich aufgrund von Erosion entsteht, wird von der EU-Kommission mit 14 Mrd. Euro beziffert (vgl.: N.N, 2009, 42).

In Österreich zeigen laut AGES (Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährung) eine Reihe von ÖPUL – Maßnahmen *) positive Effekte für den Erosionsschutz. Dieser ist vor allem in Hanglagen und in den Trockengebieten im Osten Österreichs ein Problem. Demnach konnte die Bodenerosion durch die ÖPUL-Maßnahmen im Schnitt um rund 10 % gesenkt werden (vgl.: N.N, 2013, 6).

*) Österreichisches Programm für umweltgerechte Landwirtschaft

5.1.2 Mulchpflanzverfahren im Kartoffelbau

Während sich konservierende Verfahren zu Mais und Zuckerrüben in der Praxis bereits seit Jahren etabliert haben werden pfluglose Verfahren im Kartoffelbau nach wie vor nur selten angewendet. Ein gewisser Krankheits- und Schädlingsdruck wird im Zusammenhang mit Mulchpflanzverfahren als Gegenargument angeführt.

(Kartoffelschorf, *Rhizoctonia solani**), Mäuse, Drahtwürmer, langsamere Jugendentwicklung).

*) Wurzeltöterkrankheit ausgelöst durch Pilze und Bakterien

Dabei steht neben der potenziellen Nitratauswaschung die Gefahr der Bodenerosion im Vordergrund. Bei Reienkulturen wie Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln ist der Boden von der Aussaat bzw. der Pflanzung bis zum Reihenschluss für 6 – 8 Wochen unzureichend bedeckt. Insbesondere Starkniederschläge können dann zu erheblichen Verschlämmungen und zur Erosion führen.

Die Erosionsgefahr bei Kartoffeln wird zusätzlich durch die hohe Bodenbearbeitungsintensität zur Pflanzbettbereitung und Dammherstellung (Anhäufeln, Dammfräsen) noch erhöht. Stabile Bodenaggregate werden zerstört bzw. können auf biologischem Wege nicht aufgebaut werden. Vor diesem Hintergrund sind

besondere Kulturmaßnahmen gefragt, wenn es darum geht, Kartoffeln auf erosionsgefährdeten Standorten anzubauen.



Abbildung 217: Anlegen von Herbstdämmen im Kartoffelbau (Quelle: KIVELITZ et.al., 2010, 30)

Anlegen von Herbstdämmen mit gleichzeitiger Aussaat der Zwischenfrucht Gelbsenf mit dem Schneckenkornstreuer.

Mulchpflanzverfahren und das Direkt-Mulchpflanzverfahren in begrünte Herbstdämme (Herbstdammverfahren) sind Möglichkeiten der Erosion im Kartoffelbau vorzubeugen.



Abbildung 218: Begrünte Herbstdämme (Quelle: KIVELITZ et.al., 2010, 31)



Abbildung 219: Herbstdämme mit abgefrorener Zwischenfrucht (Quelle: : KIVELITZ et.al., 2010, 32)

Kombination - wird die Zwischenfrucht (Gelbsenf) nicht wie im konventionellen Verfahren untergepflügt, sondern in grüner oder abgestorbener Form weiter genutzt, um Ziele des Boden- und Gewässerschutzes auch nach der Bestellung der Hauptfrucht zu realisieren.

Ein Bodenbedeckungsgrad von 15 % bei Mulchverfahren bzw. von rund 23 % bei der Herbstdammvariante ist erreichbar, wodurch ein gutes Erosionsschutzpotential hergestellt werden kann.

Werden die verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren (Pflug, Mulch und Herbstdamm) miteinander verglichen kann festgestellt werden, dass beim Mulchverfahren keine höheren Anbaurisiken zu erwarten sind als im Pflugverfahren. Geringere Kosten bei der Bodenbearbeitung können im Mulchverfahren die ökonomische Effizienz gegenüber dem Pflugverfahren verbessern. Lediglich im Herbstdammverfahren ist mit höheren ertrags- und qualitätsmindernden Anbaurisiken zu rechnen.

Der Dammaufbau mit einer Dammfräse stellt auf zur Klutenbildung neigenden Böden vielerorts ein Erfordernis dar. Die Effizienz des Erosionsschutzes kann durch die Einarbeitung der Reststoffe weniger Bodenbedeckung auch in Mulchverfahren deutlich vermindert werden.

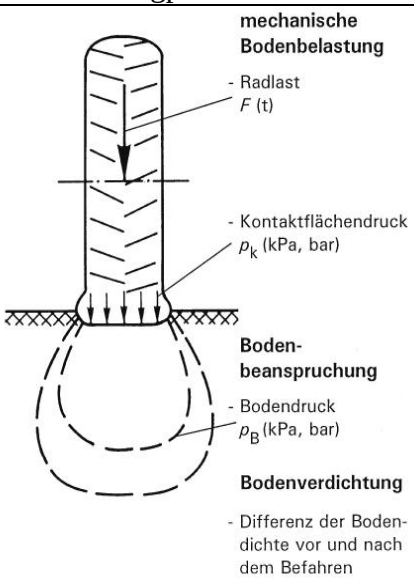
Am günstigsten sind die Wachstumsbedingungen für die Zwischenfrucht in der Dammfurche (siehe Abb. 218) , da meist ein ausreichendes Wasserangebot gegeben ist - das Saatgut, das auf die Dammkrone oder Dammflanken fällt, kann häufig nicht keimen (vgl.: KIVELITZ et.al., 2010, 30f).

5.2 Bodenverdichtung – Verdichtungsgefährdung

Bodenverdichtung wird als Zunahme der Bodendichte definiert. Die Belastung des Bodens wird entweder mit der Radlast oder mit dem Kontaktflächendruck angegeben. Die Kräfte werden vom Rad im Bereich der Kontaktfläche in den Boden geleitet. Die Folgen dieser Belastung sind während des Befahrens mechanische Spannungen im Boden, deren Verlauf in Linien gleichen Bodendrucks („Druckzwiebeln“) angegeben werden (vgl.: Amazone, Architektur des modernen Pflanzenbaus, 2008, 37).

Tabelle 58: Indikatoren zum Problembereich Bodenschadverdichtung

(Quelle: KTBL 58, Landtechnik 2/2003,95)

Fahrzeugparameter	Fahrzeugparameter	Bodenparameter
- Radlast (TV-DVWK, 2002) - Projektionsdruck (RENIUS, 1989) - Kontaktflächendruck (JAKLINSKI, 1999) - Reifeninnendruck (CHAMEN et al., 2002)	 mechanische Bodenbelastung - Radlast $F(t)$ - Kontaktflächendruck p_k (kPa, bar) - Bodenbeanspruchung - Bodendruck p_B (kPa, bar) - Bodenverdichtung - Differenz der Bodendichte vor und nach dem Befahren	- Bodendichte (PETELKAU, 2000) - Penetrometerwiderstand (SONDERHOFF, 1988) - Luftkapazität (ECKERT, et al., 1999) - ges. Wasserleitfähigkeit (WERNER, et al., 1999) - Vorbelastung (LEBERT, 1989) - Druckbelastbarkeit (PAUL, 1999) - Feldgefügeansprache (DIETZ, 1991) - Spurtiefe (BRUNOTTE et al., 2000)

Die Radlast (vertikale Gewichtskraft mit der Einheit Newton; $10 \text{ N} = 1,019 \text{ kp}$) bestimmt neben der Kontaktfläche des Reifens [cm^2] den sogenannten Kontaktflächendruck (Einheit: $1 \text{ bar} = 1,019 \text{ kp/cm}^2$).

$$\text{Kontaktflächendruck [bar]} = \frac{\text{Radlast [N]}}{\text{Kontaktfläche [cm}^2\text{]}} \times 10$$

Der Kontaktflächendruck dient zur Quantifizierung der Bodenbelastung in der Spur. Die Kontaktfläche in der Boden/Reifenpaarung wird einerseits durch die Reifendimension (Bauart, Breite, Durchmesser), dem Reifeninnendruck und auch durch die Radlast bestimmt. Ein lockerer und nasser Boden führt zu einer größeren Kontaktfläche als ein fester, trockener Boden.

Für die Bodenbelastung werden häufig nur die Haupträder, welche die höchste Achslast tragen, herangezogen. Bei Allradtraktoren ist dies die Hinterachse, die bei gegebener statischer Achslastverteilung zwischen Hinter- und Vorderachse durch die zusätzliche Frontballastierung, durch Anbaugeräte und durch die dynamische Gewichtsverlagerung bei der Zugarbeit verändert wird (vgl.: MOITZI, 2006, 6).

5.2.1 Ursachen und Auswirkungen von Bodenverdichtungen

Kostensenkungen und Produktivitätssteigerungen, sowie stetig wachsende Betriebe kennzeichnen den Strukturwandel in der Landwirtschaft. Diese Entwicklungen führen zum Einsatz immer leistungstärkerer und gleichzeitig schwerer Maschinen und Geräte. Damit verbunden sind erhöhte Radlasten, die eine stärkere Belastung des Bodens verursachen, der Druck auf den Boden nimmt zu. Mit schlagkräftigen Erntemaschinen (z.B. Mähdrescher, Zuckerrüben- und Kartoffelvollernter) werden die Gesamtlasten von 50 t bzw. die Radlasten von 10 t, bei ausgeschöpften Bunkerkapazitäten, häufig überschritten (vgl.: WEYER, 2008, 30).

Werden 10 t pro Rad nur über eine Aufstandsfläche von 0,5 m² pro Rad auf den Boden übertragen, so ergibt sich eine Kraft von 20 N/cm², was einem Bodendruck von 2 bar entspricht. Unter feuchten Bodenbedingungen, wie sie in nassen Sommern und bei der Mais- oder Zuckerrübenernte im Herbst vorkommen, ist dieser Bodendruck zu hoch, Spuren und tief greifende Bodenverdichtungen wären die Folge. Der Praktiker ist naturgemäß bestrebt, dies zu vermeiden und erhöht daher die Aufstandsfläche des Fahrwerkes (vgl.: RADEMACHER und WEIßBACH, 2004, 715).

Bei Traktoren (leerer Zustand) steigt die Radlast im Allgemeinen mit der Motorleistung auf bis 2,8 t (bei 250 kW). 50 kW- Traktoren stützen am Hinterrad ca. 1 t ab. Die technisch höchst zulässigen Radlasten steigen mit der Leistung stärker an und erreichen bei einem 250 kW- Traktor rd. 5 t (vgl.: MOITZI, 2006, 6).

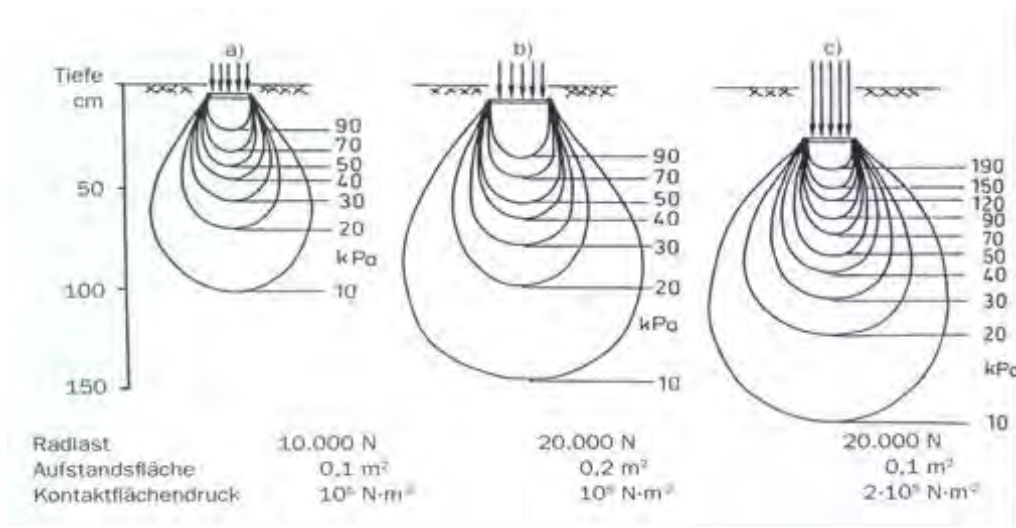


Abbildung 220: Tiefenwirkung des Bodendruckes (Quelle: BOLLING und SÖHNE, 1982)

Die (Abb. 220) zeigt Linien gleichen Bodendruckes in drei Fahrspuren unterschiedlichen Kontaktflächendrucks bei unterschiedlichen Radlasten und Aufstandsflächen.

Bei hoher Belastung setzt sich der Druck bis in den Unterboden fort, bei entsprechend hoher Radlast finden sich in 1 m Tiefe Drücke von 20-30 kPa.

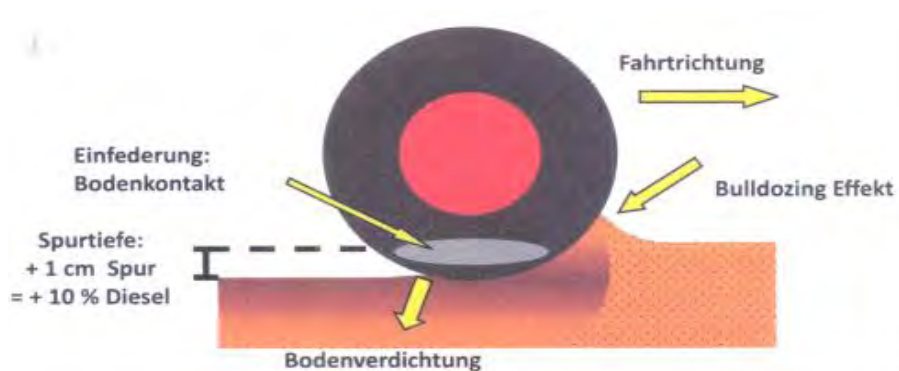


Abbildung 221: Bulldozing-Effekt (Quelle: LOP 9/2009, 29)

Beim Fahren im Acker oder auf der Wiese hat der Reifen bei der Spurbildung gegen einen Erdwall anzurollen. Die Spurbildung kostet Kraft, Diesel und verdichtet den Boden. Wenn durch diese Bodenverdichtung das Pflanzenwachstum oder die Wasserinfiltration beeinträchtigt wird, spricht man von einer Schadverdichtung.

Es entstehen Bodenschäden im Sinne des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG), die Bodenfunktionen sind gestört. Die Spurbildung braucht je cm Tiefe 10 % mehr Diesel. Bei 10 cm tiefen Spuren verdoppelt sich der Dieserverbrauch (vgl.: LOP 09/2009, 29).

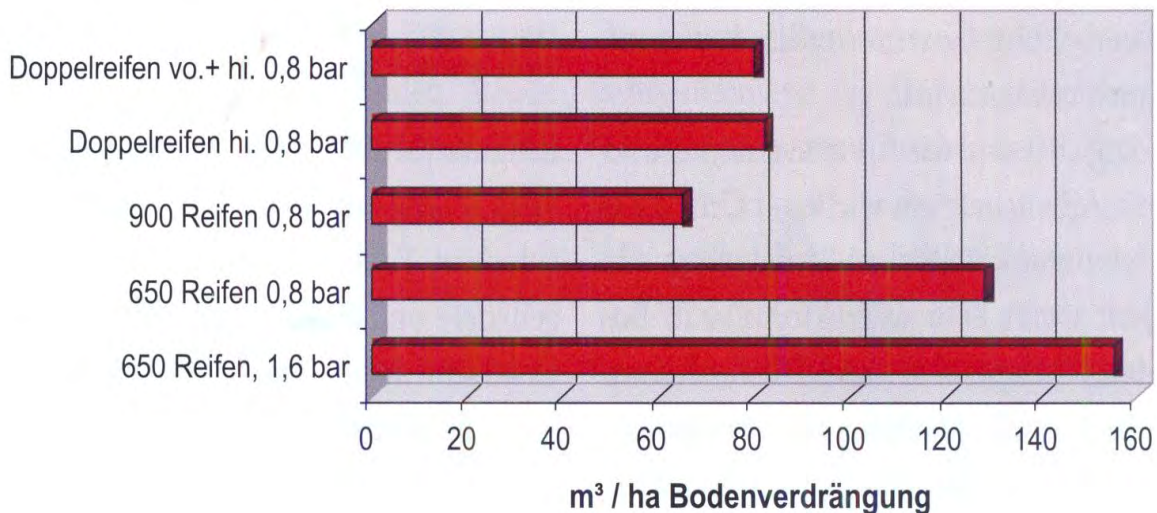


Abbildung 222: Bodenverdrängung durch unterschiedliche Bereifung (Quelle: LOP 9/2009,30)

Die (Abb. 222) zeigt die Bodenverdrängung in m³/ha durch unterschiedliche Einzelreifen und Doppelreifen auf einem Großtraktor beim Grubbereinsatz in der Bodenbearbeitung und aufgelockertem, trockenem Boden. Neben der Bodenverdrängung als Spurtiefe mal Spurbreite mal der Strecke je Hektar ist der Schlupf bestimmend für einen sparsamen Dieserverbrauch (vgl.: LOP 9/2009, 30).

5.2.1.1 Auswirkung einer Bodenschadverdichtung

Bewirtschaftungsbedingte Bodenschadverdichtungen entstehen bei der Bearbeitung oder Befahrung von Böden, welche zum Zeitpunkt des Maschineneinsatzes durch zu hohe Wassergehalte gekennzeichnet sind. Neben der Radlast spielen die Faktoren Kontaktflächendruck und Überrollhäufigkeit eine große Rolle bei der Bodenschadverdichtung. .

Unter Bodenschadverdichtung versteht man die bewirtschaftungsbedingte Beschädigung des Bodengefüges, welche zeitweilig oder dauerhaft

- die Regulationsfunktion (Puffer, Speicher und Leiter für Wasser, Sauerstoff, Nähr- und Schadstoffe),
- die Lebensraumfunktion (Mikroorganismen und Bodentiere) und dadurch schließlich auch
- die Produktionsfunktion (landwirtschaftliche Nutzung, Ertrag, Kosten) des Bodens negativ beeinträchtigt (vgl.: WEYER, 2008, 31).

Wesentliche Ursache von nachteiligen Bodenverdichtungen ist das Missverhältnis zwischen der Druckbelastbarkeit des jeweiligen Bodens und der tatsächlichen Druckbelastung. Als Gefährdungsmaß dient folglich der sogenannte „Belastungsquotient—(BQ), der sich als Relation zwischen der Druckbelastung durch die eingesetzte Technik und der Druckbelastbarkeit der vorhandenen Böden ergibt ($BQ < 1$ werden $= 1$ gesetzt). Unterstellt wird dabei eine Bodenfeuchtespanne, die sich aus dem Niederschlagsmittel der betreffenden Standorte ableitet. Ausgewiesen wird der Belastungsquotient für jeden Arbeitsgang und für jede vorhandene Bodenform; bewertet wird das gewogene Mittel für den gesamten Betrieb.

Als anzustrebendes Optimum (Boniturnote 1) gilt ein BQ von 1.

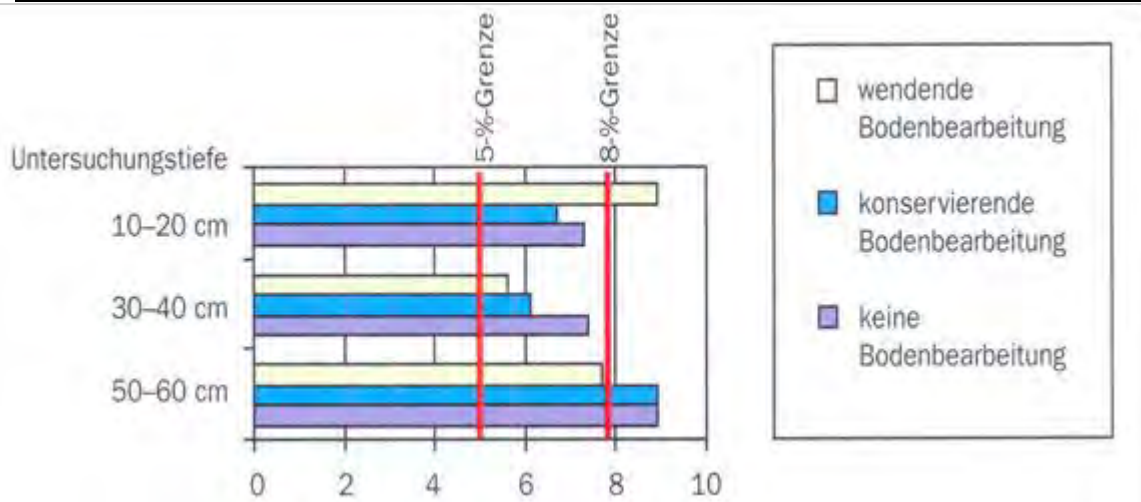
In diesem Falle ist die normalerweise zu erwartende Druckbelastung gleich oder kleiner als die Druckbelastbarkeit des jeweiligen Bodens. Als maximal tolerabel wird bei Unterstellung der standortabhängigen Bodenfeuchtespanne ein BQ von 1,25 betrachtet.

Eine Überschreitung erhöht die Gefahr einer Schadverdichtung, die dann zu verminderter bodenbiologischer Aktivität, verschlechterter physikochemischen Bodeneigenschaften und verringerter Ertragsfähigkeit führen kann (vgl.: HEGE und BRENNER, 2004, 19).

Tabelle 59: Porenanteil am Gesamtbodenvolumen in %

(Quelle: Arbeitsunterlage des BMLUFW, 04/1986,32)

Praktische Faustwerte des Porenanteiles am Gesamtvolumen:	in %	Anmerkung
Frisch gepflügt oder gefräst	60 – 65	Die unteren Grenzwerte gelten für sehr leichten, die oberen für schweren Boden.
Gepflügt mit Nachläufer	50 – 55	
Herbstfurche abgesetzt	48 – 52	
Optimal für Pflanzenwachstum	40 - 50	
Kritische Werte für Pflanzenwachstum	< 40	

**Abbildung 223:** Luftkapazität [%] von 16 Ackerschlägen (Quelle: WEYER, 2008,39)

Luftkapazität [%] von 16 Ackerschlägen in Abhängigkeit von der Bodenbewirtschaftung für drei Untersuchungstiefen (n= 742 Bodenproben).

Pfluglose Bestelltechniken verbessern den Lufthaushalt und die Leitfähigkeitswerte des Bodens (vgl.: WEYER, 2008, 39).

Tabelle 60: Verdichtungsgrad bestimmende Faktoren (Quelle: Arbeitsunterlage des BMLUFW, 04/1986)

Faktoren die den Verdichtungsgrad bestimmen:	
- Bodenfeuchtigkeit (dominierend) - Bodenart - Ausgangsporenanteil (Bodendichte) - Bearbeitungszustand	- Grad der Fließverformung - Verdichtungsgeschwindigkeit - Bodendruck (Bodenschlupf)
Bodenverdichtung bedeutet: - Erhöhung der Masse pro Volumen [g/cm³] - Verminderung des Porenvolumen	

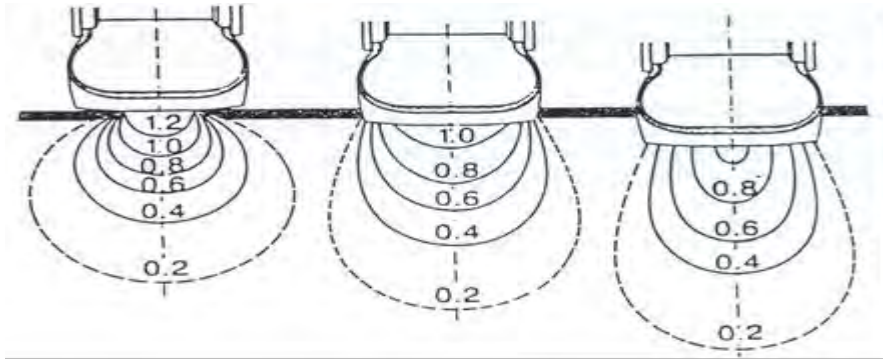


Abbildung 224: Tiefenwirkung des Bodendrucks in bar bei unterschiedlicher Bodenfeuchte
(Quelle: Bodengesundheit- Arbeitsunterlage des BMLFUW.,1988,32)

Boden links: extrem hart, Mitte durchschnittlich, rechts nass und weich (Abb. 224).

Die negative Wirkung des Bodendrucks ist umso größer, je feuchter und zugleich lockerer und strukturlabiler ein Boden ist. Unter feuchten Bedingungen sind Bodenverdichtungen nach dem Befahren mit hohen Radlasten bis in Tiefen von 65 cm statistisch abgesichert. Verdichtungen unterhalb der Bearbeitungstiefe haben in den vergangenen Jahren standortspezifisch zugenommen (SOMMER und ZACH, 1988).

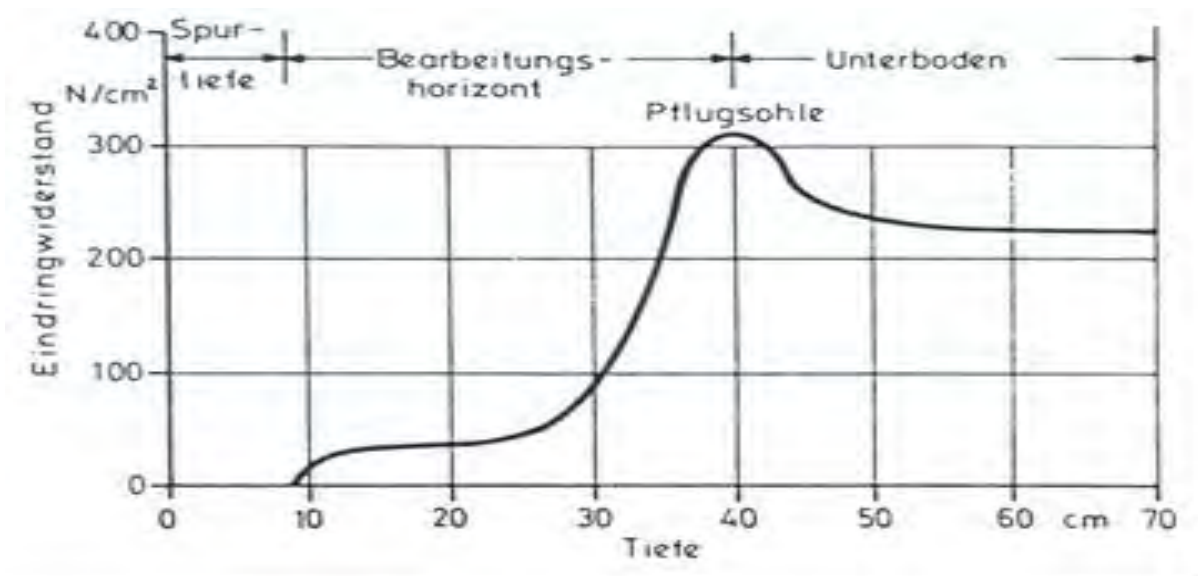


Abbildung 225: Verlauf in der bearbeitenden Krume, der Pflugsohle und im Unterboden
(Quelle: Bodengesundheit- Arbeitsunterlage des BMLFUW.,1988,33)



Abbildung 226: Druckverteilung beim On-land-Pflügen und beim konventionellen Pflügen
(Quelle: BOKU, Technik Pflanzenbau-Bodenbearbeitung, Folie 29/126)

Trockene Böden mit 10 – 20 % Feuchtigkeit sind noch unempfindlicher gegenüber Druckbelastungen. Danach ist mit einem erheblichen Druckanstieg zu rechnen. Werden beim Befahren keine Spuren hinterlassen, kann davon ausgegangen werden, dass keine bleibenden Verdichtungen im Boden aufgetreten sind (vgl. KRAUSE und STEINKAMPF, 1988).

5.2.1.2 Verbesserung der Befahrbarkeit

Eine solche ist erreichbar durch eine Reduzierung der energieaufwendigen, jährlich krumentiefen Bodenlockerung und Einbau der Gerüstsubstanz „Stroh— Das Bodengefüge weniger zu überlockern, würde die Rückverfestigung entbehrlich machen, was zu einer enormen Kosteneinsparung, insbesondere beim Dieserverbrauch führen kann. Zusätzlich verbleibt bei schonender Lockerung im Vergleich zur Pflugfurchen das Traktorrad auf der Bodenoberfläche, so dass die zum Teil hohe Radlast weniger tief in den Boden wirkt.

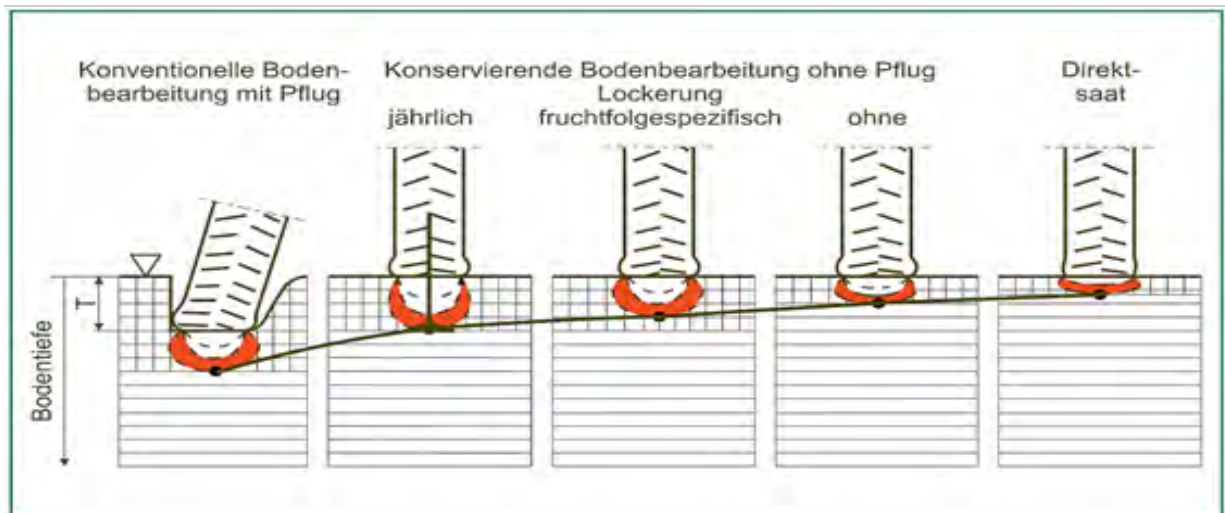


Abbildung 227: Tiefenwirkung des Bodendrucks in Abhängigkeit von Bodenbearbeitungsverfahren
(Quelle: Amazone, Architektur des modernen Pflanzenbaus, 2008)

Der Einsatz einer Bestellkombination hilft dieses Konzept zu verwirklichen, wobei der Zeitpunkt der nicht wendenden Lockerung in der Fruchtfolge sorgfältig abzuwägen ist. Lockerungsschare eines Schichtengrubbers sind nur bei vorhandenen Schadverdichtungen und günstigen Bodenfeuchteverhältnissen einzusetzen. Anschließend hat eine biologische Stabilisierung mittels Zwischenfrucht zu erfolgen (vgl.: Amazone, Architektur des modernen Pflanzenbaus, 6/2008, 39).

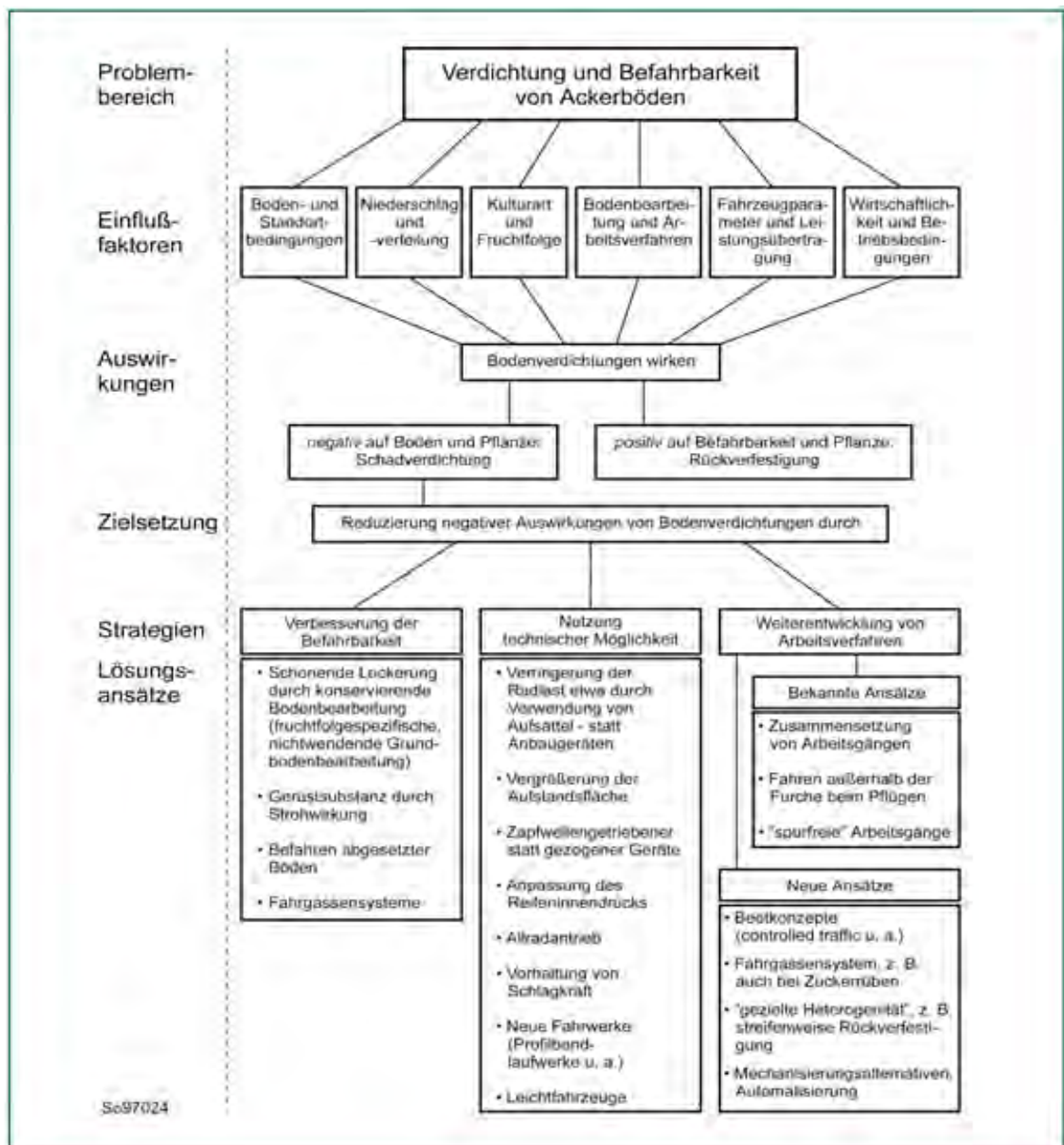


Abbildung 228: Der Problembereich Bodenverdichtung und Lösungsansätze (nach SOMMER, 1997)

Versuche mit Zuckerrübe - in einer ZR-WW-WW- Fruchtfolge - haben ergeben, dass ohne Ertragseinbußen die Lockerung reduziert werden konnte.

Der Effekt für die konservierende Bodenbearbeitung ohne Lockerung lag gegenüber konventionell in einer Kosteneinsparung von 77,- €/ha und in einer Erhöhung der Tragfähigkeit (dargestellt mit der Spurtiefe) an der Vorderachse eines 6-reihigen Köpfrdebunkers (Abb.229). Gepflügter Boden wirft seitlich am Reifen mehr auf als pfluglos gelockertem Boden.

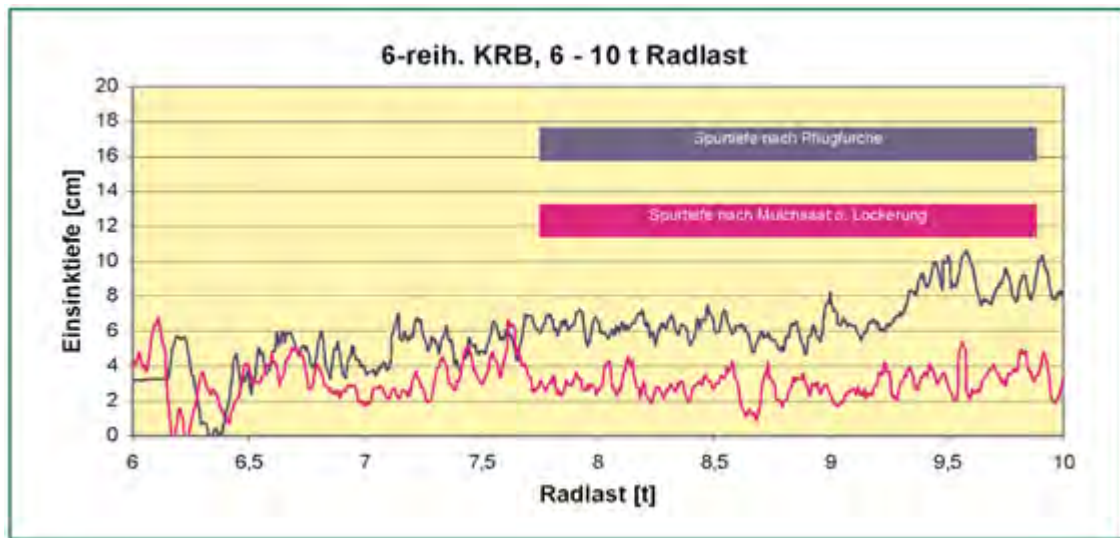


Abbildung 229: Spurtiefe eines 6-reihigen Rübenroders

(Quelle: Amazone, Architektur des modernen Pflanzenbaus, 2008)

Die (Abb. 229) zeigt die Spurtiefe eines 6-reihigen Rübenroders mit zunehmender Bunkerfüllung und nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Reifen: 800/65R32 XM28, Reifeninnendruck: 2,4 bar, Aufstandsfläche 6.600 cm², Kontaktflächendruck: 1,24 bar (vgl.: Amazone, Architektur des modernen Pflanzenbaus, 6/2008, 39).

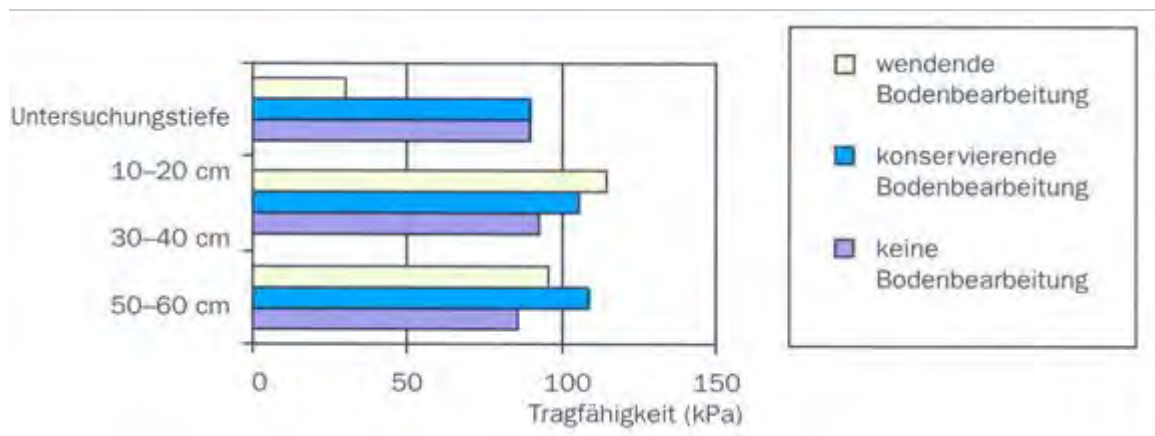


Abbildung 230: Tragfähigkeit [kPa] von 8 Ackerschlägen in Abhängigkeit der Bodenbewirtschaftung

(Quelle: vgl.: WEYER, 2008, 41).

In (Abb. 230) ist die Tragfähigkeit [kPa] von 8 Ackerschlägen in Abhängigkeit der Bodenbewirtschaftung für drei Untersuchungstiefen (n=84 Bodenproben) dargestellt.

5.2.1.3 Technische Möglichkeiten

Die wichtigste technische Möglichkeit ist die Verringerung des Kontaktflächen-druckes. Reifenverbreiterungen in Form von Zwillingsrädern, Breitreifen, „Terra-Reifen—und Gummibandlaufwerke erhöhen die Aufstandsfläche und führen bei gleicher Radlast zur Reduzierung der Druckfortpflanzung in der Bodentiefe.

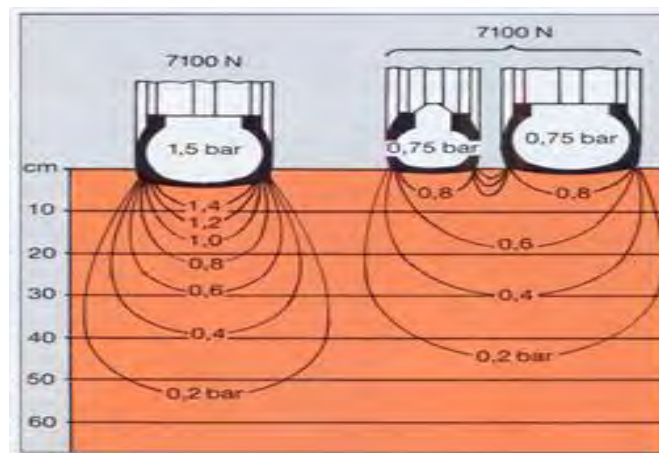


Abbildung 231: Breitreifen/Zwillingsreifen (Quelle: ALSING et.al, 2002, 108)

Breitreifen mindern die Druckfortpflanzung in die Bodentiefe nur dann, wenn die Radlast gleich bleibt (nach SÖHNE, 1961).

Niedriger Reifeninnendruck und Zwillings- bzw. Breitreifen vermindern die Boden verdichtende Wirkung schwerer Geräte (vgl.: ALSING et.al, 2002, 108).

Dies führt zu geringerem Bodendruck in der Ackerkrume. Wird gleichzeitig noch die Radlast, beispielsweise des Pflgetraktors gesenkt, indem von einer Anbau-Pflanzenschutzspritze auf eine Anhängfeldspritze übergegangen wird, reduziert sich auch der Bodendruck in der Tiefe (vgl.: BRUNOTTE, 2008, 40).

Das langsamere Fahren über dem Acker lässt eine Reduktion des Luftdruckes im Reifen zu. Andererseits schafft der Luftdruck die Tragfähigkeit des Reifens. Die Reifeninformationen sind daher genau zu beachten. Ein Verbreitern der Bereifung – auf Basis vorhandener Standardreifen - bringt mit dem Zwillings- oder Doppelreifen Vorzüge (Abb.231), aber nur mit entsprechend abgesenkten Luftdruck auf 0,75 bar. Die Vorderachse ist unbedingt einzubeziehen, da das einzelne Vorderrad sonst bereits eine tiefe Spur ausbildet und die Verdichtung fördert. Die Zwillingsbereifung erreicht eine ähnliche Breite wie der „Terra-Reifen—Dieser verträgt auf Grund des

großen Volumens einen geringeren Innendruck und läuft weich ab. Die Verdichtung liegt in beiden Fällen im gleichen Bereich (vgl.: ANGERMAYER et.al., 1988, 36).

Nach IMAG-Untersuchungen in Wageningen, Niederlande, gilt als Faustregel, dass der Druck pro cm^2 in einer Bodentiefe, die der Breite des Reifens entspricht, ungefähr halb so groß ist, wie an der Bodenoberfläche (vgl.: ANGERMAYER et.al., 1988, 35).

Kritischer zu bewerten als Oberbodenverdichtungen sind Unterbodenverdichtungen im Bereich von 50-90 cm. Sie können durch das Pflügen nicht mehr beseitigt werden und vor allem erneutes Pflügen – insbesondere unter feuchten Verhältnissen – abermals stark verdichtend wirkt. Durch häufiges relativ feuchtes Pflügen im Herbst oder Frühjahr können die „Druckzwiebeln“ im Laufe der Jahre zunehmen, sodass sie sich überlagern bzw. ineinander greifen und den Unterboden in ein Kohärentgefüge verwandeln (Silomais-Monokultur) (vgl.: ANGERMAYER et.al., 1988, 35).



Abbildung 232: Frontballastierung (Quelle: SEDLMAIR, ABZ-Triesdorf)

5.2.1.4 Weiterentwicklung von Arbeitsverfahren

Eine weitere flankierende Maßnahme zur Bodenschonung ist beispielsweise die Anwendung des Fahrgassensystems im Zuckerrüben- und Kartoffelbau. Hier bietet bei Pflegemaßnahmen die fehlende Reihe einem breiteren Reifen ausreichend Platz.

Dies ermöglicht die Absenkung des Reifeninnendrucks auf 1 bar und ein bodenschonendes Befahren wird so gewährleistet. Darüber hinaus wird durch die flacheren Spurwannen die Gefahr linienhafter Bodenerosion eingedämmt.

Dasselbe gilt für breitere Fahrgassen im Getreidebau, die bei drei geschlossenen Säreihen einen 16,9 – bzw. 18,4-Zoll-Reifen zulassen.

Inwieweit es zu einer Fahrgassenlockerung als Reparaturmaßnahme kommen muss, kann einmal an der Spurtiefe und zum anderen an der Regenwurmaktivität in der Fahrgasse überprüft werden. Ist Regenwurmaktivität in der Spur zu erkennen (organische Reststoffe sind in die Gänge gezogen), so kann auf das tiefe (30 cm) mechanische Lockern verzichtet werden. Der große Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) ist in der Lage, mit 1,5 bar den Boden zu verdrängen. Das bedeutet, wer bei Pflegemaßnahmen mit < 1,5 bar Reifeninnendruck fährt (entsprechen dem Bodendruck in 10 cm Tiefe), schont das Bodenleben (vgl. GATTERMANN et al., 2005, 41). 100 Regenwürmer je m² im Boden sparen bis zu 20 Liter Diesel je Hektar (vgl.: LOP 9/2009, 28).

5.2.1.4.1 Bodenschonende Bewirtschaftung mit CTF

Beim CTF- Controlled Traffic farming (wörtlich übersetzt: kontrollierter Fahrverkehr) wird das Befahren des Ackers konsequent auf die permanenten Fahrgassen beschränkt. Im unbefahrenen Bereich zeigt sich eine Tendenz zu einer langsamen aber stetigen Verbesserung der Bodeneigenschaften und einem leichten Ertragsanstieg.

Untersuchungen haben gezeigt, dass nicht befahrener Ackerboden die wenigen Niederschläge besser aufnehmen kann und auch das Bodenwasser leichter verfügbar ist (vgl.: HOLPP et al., 2010, 40f).

Konservierende Bestellverfahren wie die Mulch- und Direktsaat werden seit langem zur Senkung der Maschinenkosten, des Arbeitszeit- und Energieeinsatzes sowie zur Verminderung der Bodenerosion eingesetzt. Anbauvergleiche zwischen Pflug und konservierenden Verfahren zeigen, dass bei letzteren sowohl der pflanzenbauliche Ertrag als auch der betriebswirtschaftliche Gewinn in der Regel in einem günstigen Bereich liegen (CHERVET et al., 2005, LÜTKE ENTRUP et al., 2007).

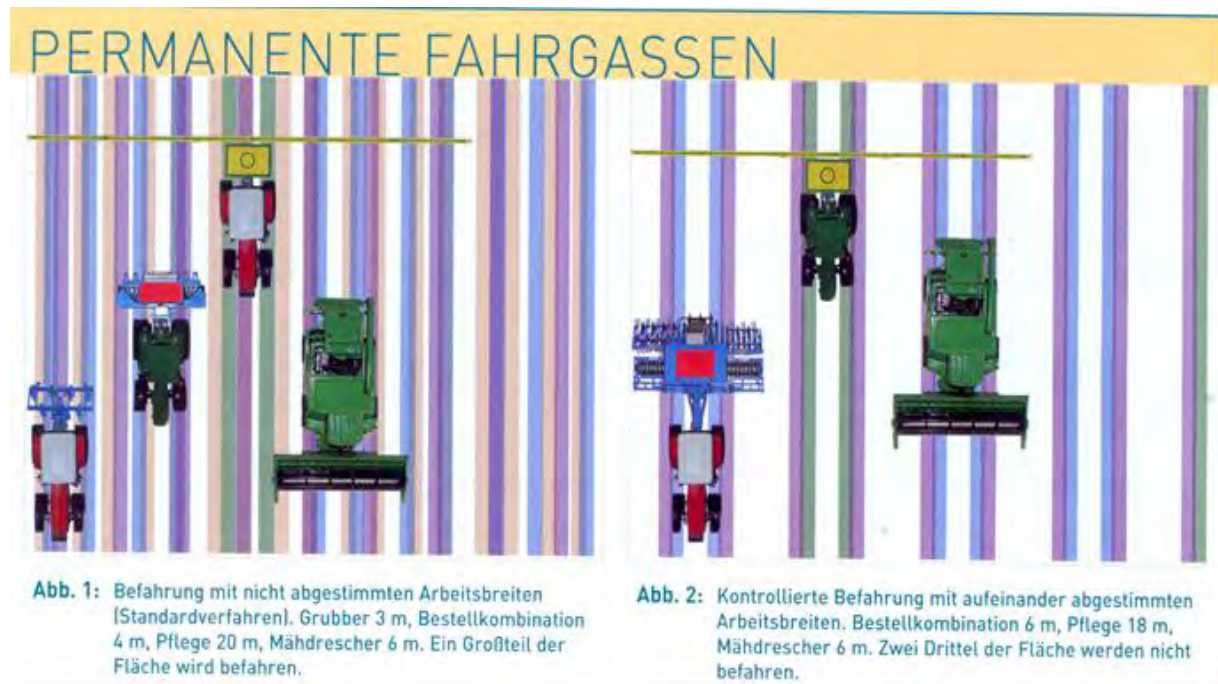


Abbildung 233: Permanente Fahrgassen (Quelle: LOP SH, 2011,40)

Leider ist dies aber nicht immer der Fall. Abhängig von Boden, Witterungsverlauf, Vor- und Hauptfrucht schwanken die Erträge bei einigen konservierenden Verfahren wesentlich stärker als beim Einsatz des Pfluges. Ein Grund dafür sind Oberbodenverdichtungen. Pflügen oder Grubbern durchbricht diese Verdichtungen, flache Mulch- und Direktsaaten kämpfen dagegen häufig mit schlechtem Feldaufgang und Jugendentwicklung. Messungen zeigten, dass der Sauerstoffgehalt in der Bodenluft bei feuchten, schlecht strukturierten Bedingungen kritisch niedrige Werte erreichen kann.

Das Bestreben die Fahrzeuglast mit breiten Reifen auf einer möglichst großen Fläche zu verteilen, unter den Systemen Minimalbodenbearbeitung und Direktsaat, zeigt in Bezug auf die Oberbodenverdichtungen nicht den erwünschten Erfolg. Mit dem CTF – lassen sich Anbauverfahren so umgestalten, dass sich eine lockere Oberbodenstruktur entwickeln kann.

Mit GPS-Lenksystemen ausgestattet, fahren sämtliche Fahrzeuge mit abgestimmter Arbeitsbreite und Spurweiten auf permanenten Fahrgassen. Außerhalb der Spuren wird der Boden nicht mehr befahren. Hier kann sich die Bodenstruktur je nach Arbeitsbreite auf mindestens 2/3 der Fläche ungestört entwickeln. Die Befahrstrategie nutzt die Tatsache, dass 80 % der Verdichtungsschäden bei der ersten Befahrung auftreten. Es ist also sinnvoll, möglichst viel Fläche nicht mehr zu befahren.

In der Forschung bisher beobachtet wurde eine erhöhte Wasserinfiltration, lockerere Bodenstrukturen, unbehinderter Gasaustausch, verminderte Erosionsanfälligkeit, verbesserte Feldaufgänge, intensivere Durchwurzelung und stabilere Erträge. Nach australischen Untersuchungen (TULLBERG, 2001) sind im Wurzelraum Nährstoffe und Wasser besser verfügbar. Eine bessere Bodenstruktur bedeutet mehr Sauerstoff in der Bodenluft. Dies lässt zudem erwarten, dass weniger klimaschädigendes Lachgas (N_2O) gebildet wird (VERMEULEN und MOSQUERA, 2009). In Folge der offenen Bodenporen kann das System der Bodenerosion und Nährstoffabschwemmungen vorbeugen.

Ertragssteigerungen von 5 – 10 % sind möglich. Der Zuwachs resultiert vor allem aus dem höheren Ertrag der unbefahrenen Fläche, der auch den Minderertrag der befahrenen Spuren ausgleicht (CHAMEN, 2006).

Als Nebeneffekt bei diesem Verfahren – bei dem Fahrspuren festgelegt und jedes Jahr sicher wieder lokalisiert werden können, werden Überlappungen der Arbeitsbreiten vermieden. Dadurch werden Treibstoff, Saatgut sowie Dünge- und Pflanzenschutzmittel eingespart.

Generell senken lockere Bodenstrukturen den Zugkraftbedarf für die Bearbeitung und kompaktere Fahrspuren vermindern den Rollwiderstand. Der Energiebedarf unter CT sinkt um durchschnittlich 50 % (TULLBERG, 2001). Die Folge ist, dass in Betrieben mit CTF die durchschnittlichen Traktormotorleistungen eher rückläufig sind. In Australien werden heute mehr als 3 Millionen Hektar unter CTF bewirtschaftet.

Auch unter europäischen Bedingungen bringt das System Vorteile.

Bei Mulchsaat sollte eine tiefe Lockerung überflüssig werden, bei Direktsaat im Saathorizont eine gute Bodenstruktur entstehen.

Die in Großbritannien, Dänemark und den Niederlanden im Umfang von mehreren tausend Hektar in der Getreide-, Kartoffel- und Gemüseproduktion eingeführten CTF-Systeme werden aus agronomischer Sicht durchgängig vorteilhaft beurteilt (vgl.: HOLPP et al., 2010,41).

Um möglichst wenig Fläche zu überfahren, orientieren sich bei CTF-Systemen die Spurweiten aller Fahrzeuge an der breitesten Maschine. In der Regel ist dies der Mähdrescher. Die Achsen der Traktoren und Anhänger werden auf 3,00 – 3,20 m verbreitert und die Reifenbreite auf 40 – 50 cm reduziert. Der Anteil der unbefahrenen Fläche steigt dann auf 80 – 90 % (vgl.: HOLPP et al., 2010, 40 f).



Abbildung 234: CTF im Gemüsebau. Die Traktorspur ist so breit wie die Beete
(Quelle: LOP SH /2011, 42)

Voraussetzung für die Nutzung von CTF und Strip-Till ist eine präzise Spurführung über GPS. Das System Starfire Mobile RTK (**R**eal **T**ime **K**inematik) von John Deere hat eine Genauigkeit von 2 cm. Dieses System verwendet ein Korrektursignal, das über das D-Mobilfunknetz der Telekom ausgestrahlt wird. Mit dieser Präzision ist es möglich sogar von Wildschweinen angerichtete Schäden im Mais auszubessern und genau in der Reihe nachzusäen (vgl.: LOP 9/10-2011, 9).

5.2.2 Schlupf

Wenn sich die Antriebsräder des Traktors nicht so im Boden abstützen können, dass die Motorleistung in Zugkraft umgesetzt werden kann, entsteht Schlupf. Die Räder drehen sich öfter als es für die Überwindung einer bestimmten Strecke erforderlich wäre. Ohne Schlupf wäre die zurückgelegte Strecke gleich Radumfang mal Radumdrehungen.

Weil durch den Schlupf die Kosten für Kraftstoff, Arbeitszeit und Reifen steigen und außerdem die Bodenstruktur leidet, muss der Schlupf soweit als möglich vermindert werden. Eine Ackerarbeit ohne Schlupf gibt es allerdings nicht, denn ohne Schlupf gibt es keine Radzugkraft (vgl.: HANSEN, 1989, 5).

5.2.2.1 Berechnung des Schlupfes

Bis etwa 10 % Schlupf herrschen Reifen- und Bodenverformungen vor, darüber erfasst zunehmend ein Abscheren die Kontaktfläche, der Reifen fängt an durchzurutschen. Praktische Schlupfwerte betragen für schwere, langsame Arbeiten 15-20 (25)%.

In (Tab. 61) ist die Formel für die Berechnung des Schlupfes angeführt.

Tabelle 61: Formel für die Berechnung des Schlupfes (Quelle: RENIUS, 1985,30)

$i = \frac{v_o - v}{v_o} = \frac{s_o - s}{s_o}$	i oder σ = Schlupf in % v_o = ideale schlupflose Geschwindigkeit v = reale Geschwindigkeit s_o = idealer schlupfloser Weg s = realer Weg
---	---

5.2.2.2 Bodenschäden durch Schlupf

Zur Bodenverdichtung durch den Druck kommen bei den Triebrädern noch weitere ungünstige Bodenveränderungen durch den Schlupf hinzu: Kneten des Bodens, Horizontalverschiebung der Bodenteilchen, Abscheren der Aggregate, Zerstörung der Lebendverbauung und anderes.

Werden vom antreibenden Rad die Bodenteilchen gegeneinander verschoben, führt dies zu erhöhter Lagerungsdichte und zur Vergrößerung der Reibfläche und –kräfte, wodurch vom Triebrad erhöhte Umfangskräfte ausgeübt werden können. Der günstigste Wirkungsgrad der Kraftübertragung vom Reifen auf den Boden wird nahezu bei allen Böden im Bereich zwischen 8 % und 20 % Schlupf erreicht.

Eine Begrenzung auf diesen Wert ist erstrebenswert. Die heute in modernen Traktoren installierten Anzeigergeräte erlauben jederzeit eine Überprüfung des Schlupfes; so wurden bei einer praxisüblichen Durchführung der Herbstfurche mit einem Dreischar- Anbauvollandrehpflug am Schlupfanzeigergerät Spitzenwerte von 62 % Schlupf gemessen.

Schlupfbedingte Bodenverdichtung verursacht eine wesentlich stärkere Teilchenmassierung, die durch reibungsvermindernde Wasserfilme weiter gefördert wird. Dass der Schlupf von Antriebsrädern die Bodenverdichtung beträchtlich steigern kann, ist eine Tatsache, die im Problembewusstsein mancher Praktiker noch nicht vorhanden ist (vgl.: ANGERMAYER et.al., 1988, 33).

5.2.2.3 Möglichkeiten der Schlupfminderung

In (Tab. 62) sind die Möglichkeiten für eine Schlupfminderung angeführt.

Tabelle 62: Regeln für effiziente Traktion von Luftreifen (Quelle: RENIUS, 1985, 32)

1. Luftdruck, so niedrig wie möglich einstellen	6. „Multipass-Effekt“ – anstreben (Spur-in-Spur-fahren)
2. Großzügige Bereifung wählen	7. Große Reifendurchmesser vor Reifenbreite bevorzugen
3. Radialreifen bevorzugen	8. Schräglauf vermeiden.
4. Schlupf beobachten, Ziel 10-15 %	
5. Hochstollenreifen nur für weichen Boden einsetzen	

Wichtig zum Erreichen einer guten Reifentraktion ist eine Luftdruckverstellung im Reifen mittels einer Reifendruckregelanlage und die Schlupfkontrolle (vgl.: RENIUS, 1985, 32f).

Einsatz einer Reifendruckregelanlage:

Durch das Absenken des Reifendrucks im Feld federt der Reifen stärker ein und die Aufstandsfläche nimmt um bis zu 100 % zu. Dadurch wird der Bodendruck deutlich verringert und die Spurtiefe um bis zu 50 % reduziert. Flachere Fahrspuren fördern eine bessere Durchwurzelung des Bodens, Pflanzenwachstum und –ertrag können damit um bis zu 6 % erhöht werden. Durch die größere Aufstandsfläche sind mehr Profilstollen im Eingriff; der Schlupf sinkt, die Zugkraft steigt um bis zu 20 %, die Flächenleistung nimmt um 10 % zu, gleichzeitig sinkt der Kraftstoffverbrauch um bis zu 15 %.

Mit angepasstem Reifendruck ist zudem ein wesentlich weiches, menschen- und Maschinen schonenderes Fahren im Feld möglich (50 % weniger Schwingungen). Nach getaner Feldarbeit können die Reifen schnell wieder auf Straßenluftdruck aufgepumpt werden; die notwendige Fahrsicherheit wird so gewährleistet. Ein hoher Straßenluftdruck verringert außerdem den Kraftstoffverbrauch (- 5%) und Reifenverschleiß (- 20%). Durch angepassten Reifendruck ist eine Ersparnis von 1,45 €/ha je Arbeitsgang möglich (vgl.: WEISSBACH, Uni Kiel).

Der Soil Monitor:

Der Soil Monitor (Abb. 235) soll verhindern, dass die Reifen durch einen zu niedrigen Reifendruck beschädigt werden. Er gibt durch die permanente Messung der Radlast Empfehlungen für den minimal möglichen Reifendruck ab. Die Messung erfolgt dabei mit Hilfe eines Ultraschallsensors, der unter Berücksichtigung des Reifendrucks die Reifeneinfederung misst. Je stärker der Reifen belastet wird, desto geringer ist der Abstand zwischen Felge und Reifeninnenseite. Somit lässt sich mit Hilfe des gemessenen Abstands und reifenspezifischer Kennlinien die aktuelle Radlast bestimmen. Verhält sich die Radlast wie zum Beispiel bei schweren Zugarbeiten dynamisch, so schwanken auch die durch den Soil Load Monitor empfohlenen Reifendrucke (vgl.: WETTEMANN, 2011, 23).

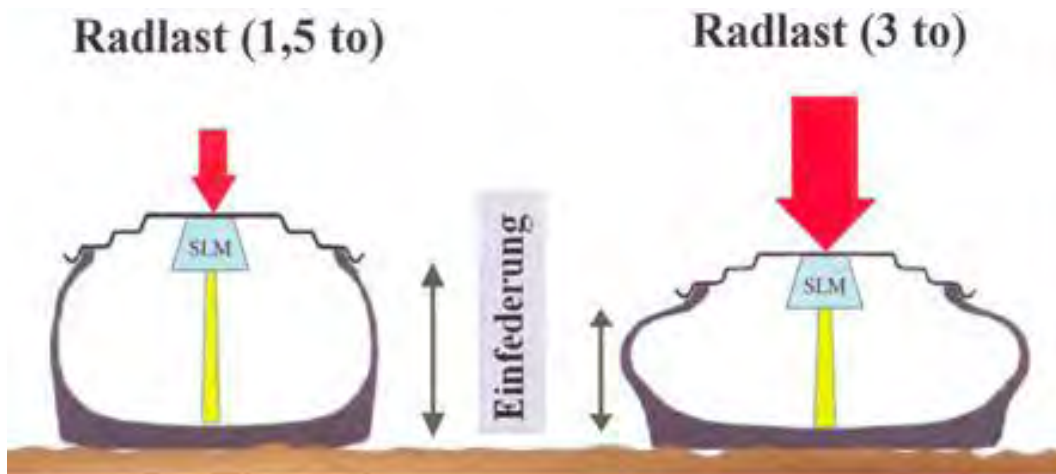


Abbildung 235: Funktionsweise des Soil Load Monitors (Quelle: WEIßBACH, 2008)

Ferner bietet er optional eine vollautomatische Steuerung des Reifendrucks ohne Eingriff des Fahrers. Durch die Kenntnis der dynamischen Radlast kann im Feld der minimal mögliche Reifendruck vom System eingestellt werden und bei Bedarf (z.B. Schwankungen im Zugkraftbedarf, Aushub des Arbeitsgerätes am Vorgewende) automatisch nachgeregelt werden (vgl.: WETTEMANN, 2011, 23).

Traktionsverstärkung

Bei Lemken werden alle aufgesattelten Grubber der Type „Karat“ ab 4 m Arbeitsbreite mit einer hydraulischen Traktionsverstärkung ausgestattet. Damit werden- bei einer Vorspannung mit 160 bar am Gasdruckspeicher – 1,5 bis 2 Tonnen vom Grubber auf die Hinterachse des Traktors übertragen. Das vermindert den Schlupf, verstärkt die Zugkraft des Traktors und reduziert den Kraftstoffverbrauch bei gleicher Arbeitsqualität.

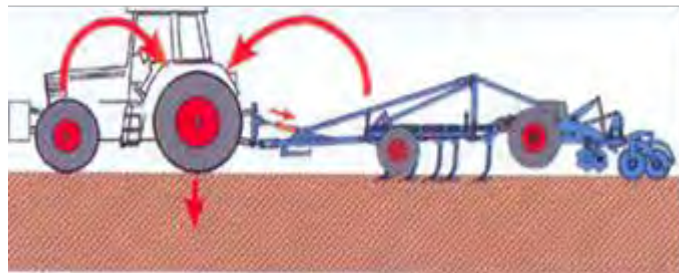


Abbildung 236: Traktionsverstärkung am Grubber (Quelle: LOP, 09/2009,36)

Die hydraulische Traktionsverstärkung (Abb. 236) wirkt damit als intelligente Ballastierung. Damit können auch weniger leistungsstarke Traktoren bzw. solche mit weniger Radballast für die schwere Grundbodenbearbeitung eingesetzt werden (vgl.: LOP 09/2009,36).

siehe auch Scharpflug (Abb.11-13).

HAAS (2011) führte - in Zusammenarbeit mit der Firma Pöttinger (Grieskirchen) - verfahrenstechnische Untersuchungen beim Pflügen in Bezug auf Kraftstoff- und Flächeneffizienz unter besonderer Berücksichtigung der Traktionsverstärkung durch. Der Versuch wurde mit Scharpflügen (montiert: 2 x 3, 2 x 5 und aufgesattelt: 2 x 7) bei einer Arbeitstiefe von 25 cm und gezogenem Grubber mit einer Arbeitstiefe zwischen 15 und 25 cm durchgeführt. Die Ausführung des Versuches erfolgte auf den Versuchsflächen an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf (Niederösterreich). Zur Messung der Fahrzeug- und Radgeschwindigkeit (Parameter für die Schlupfberechnung), wurden die Traktoren (Allradantrieb, 59 kW für 2 x 3 Drehpflug und Allradantrieb, 160 kW für 2 x 5 und 2 x 7 Drehpflug und Grubber) mit einem Radar- und einem Radnabensensor ausgerüstet.

Der Kraftstoffverbrauch wurde für jeden Versuch volumetrisch gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass die technische Flächenleistung mit der Arbeitsbreite des Pfluges steigt: 0,5 ha/h für 2 x 3, 1,9 ha/h für 2 x 5 und 2,3 ha/h für 2 x 7. Der Kraftstoffverbrauch für 2 x 3 und 2 x 5 Streichblechpflug ist auf der gleichen Ebene (20,3 und 20,5 l/ha) und nimmt auf 14,9 l/ha bei 2 x 7 ab. Der hohe Verbrauch von 20,5 l/ha mit 2 x 5, erklärt sich durch die luxuriöse Motorleistung in der 2 x 5 Scharpflug- Traktor Kombination. Bei Erhöhung der Arbeitstiefe des Grubbers von 15 cm auf 25 cm steigt der Kraftstoffverbrauch um 70 % und der Schlupf um 265 %, während der spezifische Kraftstoffverbrauch auf der gleichen Ebene bleibt. Die Traktionskontrolle in Pflügen reduziert den Kraftstoffverbrauch zwischen 10 bis 11,5 %. Mit zunehmender Arbeitsbreite des Pfluges erhöht sich das Potential für die Verdichtung des Untergrundes, wegen der gestiegenen Belastung des hinteren Furchenrades. Onland Pflügen ist eine technische Lösung um der Verdichtung des Untergrundes vorzubeugen (MOITZI et al., 2013, 56 ff).

5.3 Humus

Ohne Humus können auf Böden keine Nutzpflanzen gedeihen. Seine Bedeutung liegt in der umfassenden Verbesserung beinahe aller Bodeneigenschaften. Die Förderung der biologischen Aktivität hat eine phytosanitäre Wirkung. Die Verbesserung des Bodengefüges führt zu einer erhöhten Aggregatstabilität, einer guten Bodendurchlüftung, verbesserter Wasserspeicherung und besserer Durchwurzelung. Die Bodenerosion wird durch geringere Verschlammungs- und Verdichtungsneigung, erhöhte Infiltrationsrate und somit geringeren Oberflächenabfluss bei Starkregenereignissen verringert. Humose Böden erwärmen sich im Frühjahr besser. Die Humusgehalte der Böden unterscheiden sich stark. Der „optimale–Humusgehalt ist vom Standort und der Bewirtschaftung abhängig. Wichtig ist es die standort- und bewirtschaftungstypischen Humusgehalte zu erhalten.

Zu hohe Humusgehalte können die Bodenfunktion allerdings auch negativ beeinflussen. Für mitteleuropäische Mineralböden werden Humusgehalte zwischen 2 und 2,5 % als optimal angesehen. Diese Werte hängen stark von der jeweiligen Bodenart ab. Je höher der Feinerdeanteil, desto höher ist der notwendige Gehalt an organischer Substanz zur Stabilisierung der Struktur. Werte unter 1,7 % gelten als kritisch (vgl.: ROßBERG, 2008, 45).

5.3.1 Bewertungssysteme für Humusbildung

Für die Humusbilanzierung gibt es ausgereifte Methoden. Zur Anwendung kommen die HE-Methode (Humus-Einheiten-Methode) von LEITHOLD und die ROS-Methode (Reproduktionswirksame Organische Substanz) von KÖRSCHENS.

Das ROS- Verfahren eignet sich für die leichten und mittleren Böden, während die HE-Methode für die ertragreichen Lehmstandorte angewandt werden sollte (vgl.: ROßBERG, 2008, 47).

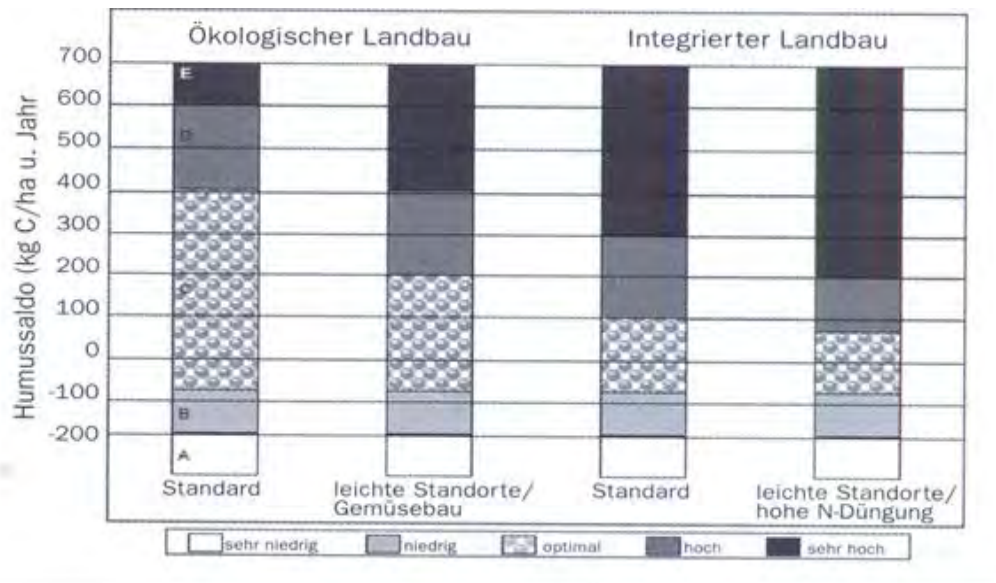


Abbildung 237: Bewertungssystem für die Humusversorgung verschiedener Anbausysteme
(Quelle: ROßBERG, 2008,48)

Wenn als Grenze für die Humusversorgung ein Stickstoffsaldo von 50 kg/ha und Jahr zugrunde gelegt wird, sind für den ökologischen Landbau höhere positive Humussalden zulässig als in konventionellen Anbauverfahren.

Bei Abweichungen vom optimalen Bereich nach unten wie oben sind Maßnahmen zur Änderung der Bewirtschaftung zu ergreifen. Welche dafür geeignet sind hängt neben der Intensitätsstufe von der konkreten wirtschaftlichen und bodenklimatischen Situation ab. In viehschwachen Ackerbauregionen ist das Angebot an Stallmist und anderen organischen Düngern tierischer Herkunft begrenzt oder fehlt gänzlich.

Wenn als Grenze für die Humusversorgung ein Stickstoffsaldo von 50 kg/ha und Jahr zugrunde gelegt wird, sind für den ökologischen Landbau höhere positive Humussalden zulässig als in konventionellen Anbauverfahren.

Bei Abweichungen vom optimalen Bereich nach unten wie oben sind Maßnahmen zur Änderung der Bewirtschaftung zu ergreifen. Welche dafür geeignet sind hängt neben der Intensitätsstufe von der konkreten wirtschaftlichen und bodenklimatischen Situation ab. In viehschwachen Ackerbauregionen ist das Angebot an Stallmist und anderen organischen Düngern tierischer Herkunft begrenzt oder fehlt gänzlich.

5.3.1.1 Humusverluste durch tiefe Bodenbearbeitung

Von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, allgemeiner Pflanzenbau/Ökologischer Landbau, wurde der Einfluss der organischen Düngung und langjähriger unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf C_{org} -Gehalte einer pseudovergleyten Parabraunerde untersucht.

Die Bodenbearbeitung begünstigt die Durchlüftung des Bodens und trägt damit zum Abbau der organischen Bodensubstanz bei. Die Intensität der Mineralisierung wird wesentlich von der Fruchtfolge und der Zufuhr an organischer Substanz beeinflusst. Sie ist in der Ackerkrume besonders hoch, nimmt aber mit steigender Bodentiefe stark ab.

In verschiedenen Arbeiten wird über eine vermehrte Kohlenstofffestlegung und den Anstieg der Humusvorräte bei nicht wendender Bodenbearbeitung berichtet. Aber auch gegenteilige Ergebnisse werden in der mittlerweile sehr zahlreichen Literatur mitgeteilt (PEKRUN und CLAUPEIN, 1998).

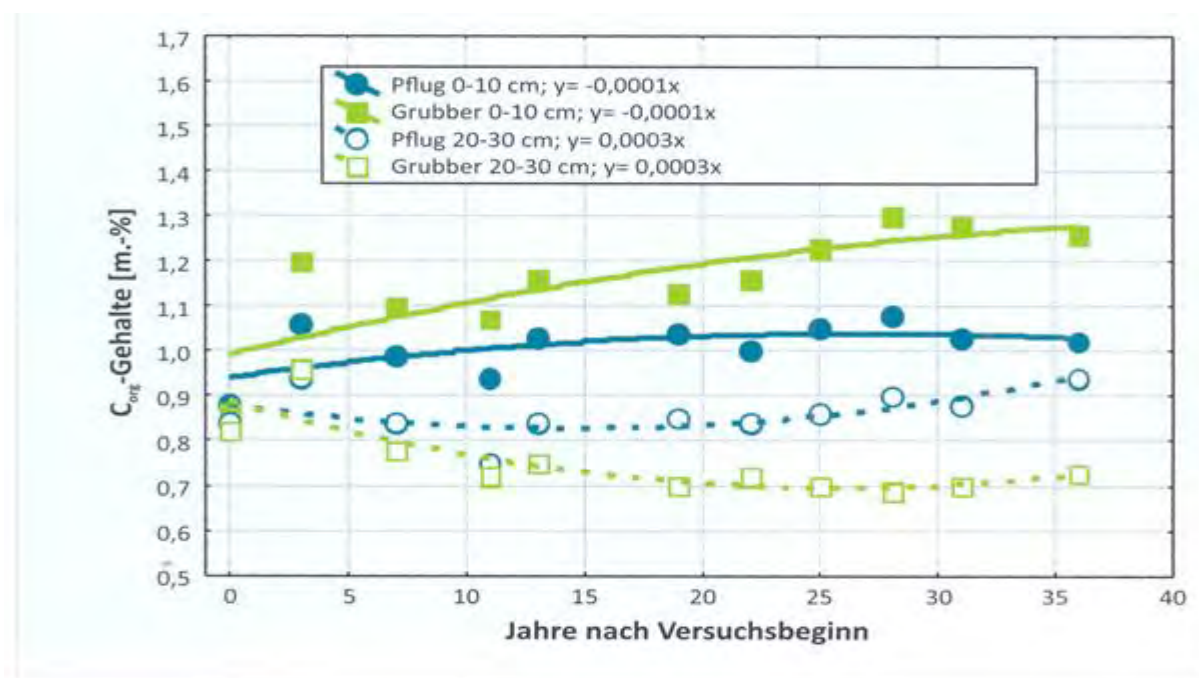


Abbildung 238: Veränderung der tiefenabhängigen C_{org} -Gehalte bei verschiedener Bodenbearbeitung
(Quelle: HOFMANN, 2012,21)

Veränderung der tiefenabhängigen C_{org} -Gehalte bei verschiedener Bodenbearbeitung (Abb. 238) (Parabraunerde-Pseudogley, Bodenart schluffig lehmiger Sand, mittlerer Jahresniederschlag / Jahresmitteltemperatur 558 mm / 9,1°C, (Seehausen, Versuch 1 – 1967-2002) (vgl.: HOFMANN et al., 2012, 21).

Langfristig wirkte sich eine flache Bodenbearbeitung im Vergleich zur mitteltiefen Pflugfurche günstig auf den Humusgehalt der Böden aus; die Unterschiede im Humusgehalt bleiben allerdings auch nach vielen Jahren relativ gering (vgl.: HOFMANN et.al., 2012, 20).

Aussagen über die Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Humusgehalt sind zur Reduzierung der CO₂ –Konzentration in der Atmosphäre durch Kohlenstoffakkumulation im Boden und vor dem Hintergrund der Bestrebungen die Humusbilanzierungskoeffizienten zu präzisieren, von besonderem Interesse.

Versuchsergebnis:

Die nichtwendende Bodenbearbeitung führt im Vergleich zum mitteltiefen und krumtiefen Pflügen zur C-Anreicherung im oberflächennahen Einarbeitungsbereich (0-15 cm) der Pflanzenreststoffe und zur Verminderung der C-Gehalte in der langjährig unbearbeiteten Unterkrume. Auf den pseudovergleyten Parabraunerden im Leipziger Raum nehmen bei konservierender Bodenbearbeitung die gespeicherten C-Mengen in der Ackerkrume insgesamt um 4,1 t C_{org.} /ha zu.

Diese Menge entspricht einer Konservierung von etwa 15,2 t CO₂ /ha.

Bei Rückkehr zur konventionellen Bodenbearbeitung kann es aber kurzzeitig zu einer erhöhten C – und N-Mobilisierung mit potentieller N-Austragsgefährdung kommen. Mit den Untersuchungen wird zugleich deutlich, dass die derzeit vorliegenden neueren Ergebnisse für eine standortbezogene Präzisierung der VDLUFA-Humusbilanzierungskoeffizienten nach unterschiedlichen Bearbeitungsintensitäten nicht ausreichend sind (vgl.: HOFMANN et al., 2012,24).

Tabelle 63: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Humusgehalt und Humusmenge im Boden, Juni 1990 (Bodenbearbeitungsversuch Ansfelden nach 10 jähriger Versuchsdauer) (Quelle: BOKU, Bodenbearbeitung und Bodenschutz Teil4, LIEBHARD, 2008)

Bearbeitungsvariante und Bearbeitungstiefe		Humusgehalt %		Humusmenge *)	
		0 - 20 cm Bodentiefe	0 – 40 cm Bodentiefe	t/ha	(rel.)
Pflug	24 cm	1,95	2,00	119,1	(100)
Grubber	24 cm	2,43	1,95	131,8	(111)
Fräse	10 cm	2,60	1,95	138,1	(116)
Fräse bzw. Pflug	10 cm 24 cm .	2,10	2,00	122,1	(103)
*) .. bezogen auf die Menge Mineralboden von 0 – 40 cm Tiefe der Pflugvariante 24 cm Bearbeitungstiefe					

Tabelle 64: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf den Humusgehalt in Groß Enzersdorf (Quelle: BOKU-Bodenbearbeitung und Bodenschutz Teil 4- LIEBHARD, 2008)

Bearbeitungs- variante	Humusgehalt in %			
	Bodentiefe in cm			
	0 - 10	10 - 20	20 – 30	30 – 40
Pflug	3,82	3,90	3,90	3,62
Mulchsaat	4,34	4,05	3,84	3,58
Direktsaat	4,50	4,10	3,82	3,60

5.4 N_2O – Emissionen

Zu den direkten Treibhausgasen zählen neben CO_2 , HFC, PFC, und SF_6 auch die Gase Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) an denen die Landwirtschaft beteiligt ist. Bezogen auf die gesamten treibhauswirksamen Gase, hat die Landwirtschaft einen Anteil von rund 9 %. An den Methanemissionen ist die Landwirtschaft zu rund 50% beteiligt und beim Lachgas bis zu 80%.

Als Hauptquelle für Lachgas (N_2O) Emissionen aus der Landwirtschaft, wird die Stickstoffdüngung angesehen. Lachgas wird in Böden durch unterschiedliche biologische und nicht biologische Prozesse gebildet. Der größte Teil des Lachgases aus Böden entsteht durch mikrobielle Umsetzungsprozesse. Anorganischer Stickstoff (NO_3^- und NH_4^+) wird mikrobiell zu N_2O (und NO_2 sowie N_2) umgewandelt. Hauptprozess ist die unter anaeroben Bedingungen stattfindende Denitrifikation, bei der Nitrat (NO_3^-) zu N_2O und N_2 umgewandelt wird.

Aber auch die Nitrifikation, die Umwandlung von Ammonium (NH_4^+) zu (NO_3^-) wird als Quelle für N_2O Emissionen angesehen.

Hohe N_2O Emissionen können dann auftreten, wenn Nitrifikation und Denitrifikation auf engstem Raum gleichzeitig ablaufen. Diese Bedingungen entstehen besonders, bei nasswarmer Witterung und bei Vorhandensein dieser N-Verbindungen (NO_3^- und NH_4^+). Vor allem durch ein Überangebot von NO_3^- als Folge der Nitrifikation, wird bei der Denitrifikation mehr N_2O im Verhältnis zu N_2 gebildet. Bei der Belüftung von Gülle können bis zu 20% des Güllestickstoffs als N_2O emittiert werden.

Die Konzentration von N_2O steigt gegenwärtig um 0,3% jährlich.

Eine zusätzliche Schädigung von N_2O ist die Beteiligung an der Zerstörung der Ozonbildung in der Stratosphäre (vgl. PÖLLINGER, 2004).

ARVALIS (2009) führte zahlreiche Untersuchungen zu gasförmigen Stickstoffverlusten (N_2O) durch und in allen Versuchen wurde nachgewiesen, dass die Denitrifikation in allen Ebenen höher ist, wenn der Boden nicht gepflügt wird. In diesen Fällen ist der Sauerstoffmangel größer und verlängert sich am Ende des Winters. Die gemessenen Unterschiede zwischen Direktsaat und Pflügen bleiben jedoch minimal und betragen maximal 10 kg N/ha/Jahr (vgl. ARVALIS, 2009, 9).

In (Abb. 239) sind die Stickstoffverluste durch Denitrifikation zwischen Pflugeinsatz und Direktsaat, welche von ARVALIS auf sieben Parzellen durchgeführt wurden, dargestellt.

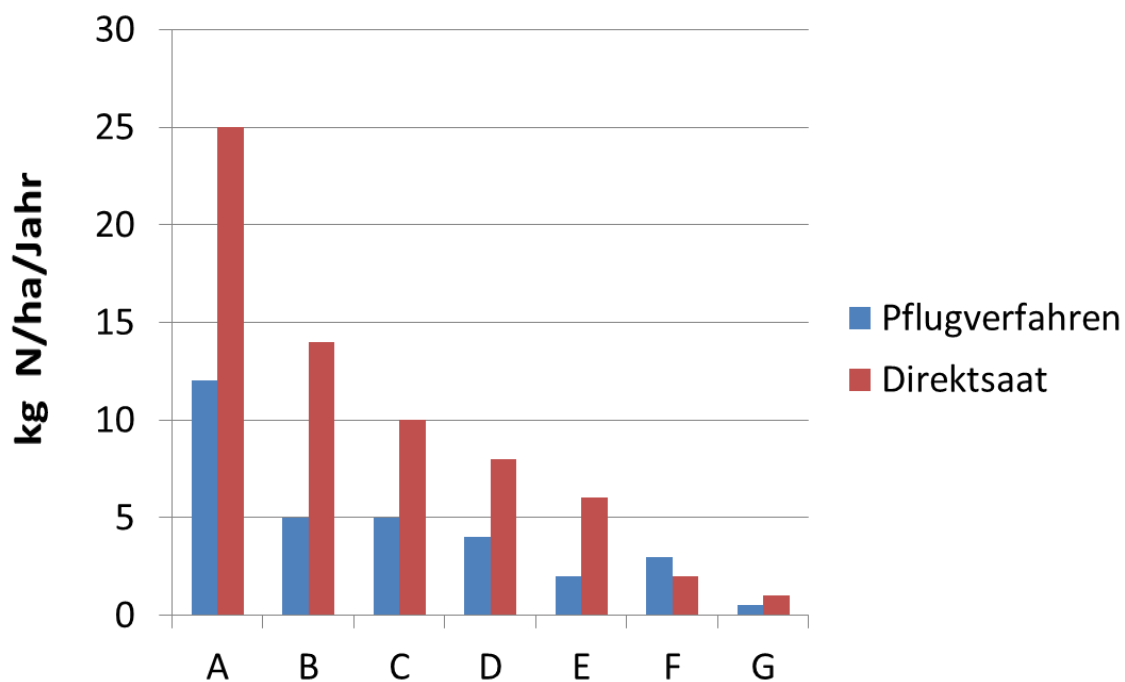


Abbildung 239: Vergleich der Verluste durch Denitrifikation zwischen Pflugverfahren und Direktsaat
(Quelle: ARVALIS, Institut du vegetal, 2009, 9)

5.5 CO₂ – Emissionen

In den Jahren 2008 bis 2010 wurden vom Versuchsreferat Niederösterreich in Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur (MOITZI und SCHÜLLER, 2011) Treibstoffverbrauchsmessungen in Tulln auf schweren Tschernosem-Böden (>50 % Ton), in Obersiebenbrunn auf Tschernosem aus Flugsand und in Hollabrunn auf mittelschweren Lössbraunerde-Böden mit verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren durchgeführt.

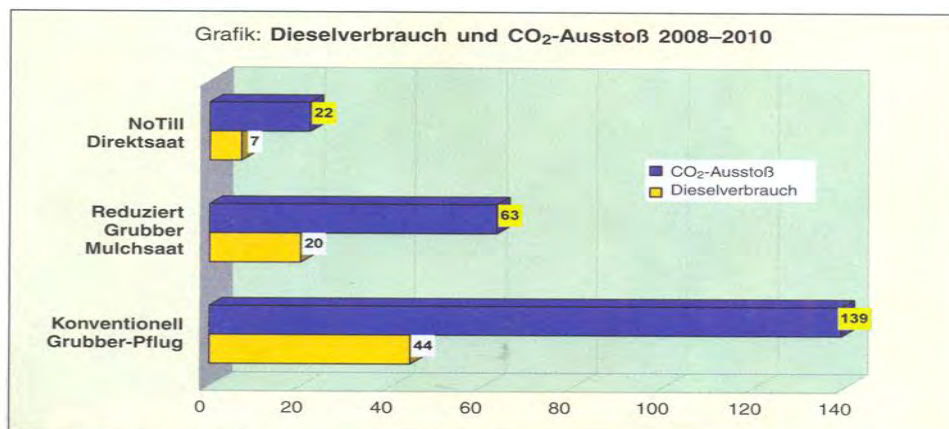


Abbildung 240: Dieserverbrauch in l/ha und CO₂- Ausstoß in kg (Quelle:ROSNER, 2011, 39)

Wie (Abb.240) zeigt, reduziert sich bei Minimierung der Bearbeitungsschritte der Treibstoffverbrauch um über 50 % und analog dazu die Freisetzung des klimaschädlichen Kohlendioxids (vgl.: ROSNER, 2011, 39).

In (Tab. 65) ist der Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf die Kohlenstoffdynamik, CO₂-Emissionen und das Verhalten von Glyphosat im Boden angeführt.

Tabelle 65: CO₂-Emissionen bei der Herstellung von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln

(Quelle: Abschlussbericht , KLIK, Wien, August 2010)

Betriebsmittel	CO ₂ kg kg ⁻¹	Literatur
Herbizid	8,332	KTBL 2008
Fungizid	5,537	KTBL 2009
Insektizid	23,7	KTBL 2010
Kalkammonsalpeter (NAC)	6,806	Kongshaug 1998
Diamonphosphat	0,46	Kongshaug 1998
60er Kali	0,473	Patyk 1997
Harnstoff (46 % N)	1,326	Kongshaug 1998
NPK (15:15:15)	1,124	Davis and Hagland 1999

Kraftstoffverbrauch und Reduktionspotentiale

Energieaufwand und CO₂ – Emissionen

Vergleicht man den Gesamtenergieaufwand beim Gerstenanbau in der konventionellen Landwirtschaft mit dem der ökologischen Landwirtschaft, so liegt die konventionelle Landwirtschaft um 67 MJ/dt (42 %) über dem des Ökolandbaus. Während im speziellen Fall im konventionellen Anbau 60 % des Energieaufwandes indirekte Energie und 40 % direkte Energie ist, ist es beim Ökolandbau genau umgekehrt. Dies zeigt, dass im Ökolandbau dem direkten Energieeinsatz – Pflügen, Stallmist- bzw. Kompostausbringung, Maßnahmen der mechanischen Beikrautregulierung - besondere Bedeutung zukommt.

Um die Größenordnung der Kraftstoff bedingten CO₂-Emissionen abschätzen zu können, wird von einem mittleren Kraftstoffverbrauch von 100 l/ha ausgegangen. Dies entspricht einer kraftstoffbedingten CO₂-Emission von 0,262 t/ha/Jahr. Daraus ergibt sich für einen 50 ha Betrieb ein Jahresverbrauch von 5000 l.

Dies entspricht einem CO₂- Ausstoß von über 13,1 t/Jahr.

Tabelle 66: Basisdaten für Dieseldieselkraftstoff mit CO₂- Emissionsfaktor (Quelle: MOITZI und BOXBERGER, 2009, 394 ff)

Heizwert [MJ/kg]	Dichte bei 20° [kg/l]	Fossile CO ₂ - Emission [kg CO ₂ /kg Diesel] <i>Praktischer Wert</i>	Fossile CO ₂ -Emission [kg CO ₂ /kg Diesel] <i>Theoretischer Wert</i>
42,4	0,83	3,153	2,617

Wesentliche Ursache für die hohen Emissionen ist der ungünstige Wirkungsgrad der Traktoren und selbst fahrenden Erntemaschinen. Bezogen auf die im Dieseldieselkraftstoff chemisch gebundene Energie beträgt der Wirkungsgrad bei schwerer Bodenbearbeitung 20 % und weniger. Der Gesamtwirkungsgrad setzt sich dabei zusammen aus dem Motorwirkungsgrad, dem Getriebewirkungsgrad und dem Laufwerkwirkungsgrad. Bezogen auf einen realen Verbrauch von 20 l/ha für einen Bodenbearbeitungsangang bedeutet dies, dass allein fast 13 l/ha des Kraftstoffes als Wärme an die Umwelt abgegeben werden. Wenn die Getriebe- und Laufwerksverluste abgezogen sind, verbleibt für die Zugenergie die Energie aus 4 l Kraftstoff/ha. Bei der Suche nach Reduktionspotentialen bedeutet dies, dass Verbesserungsmaßnahmen nicht nur beim Motor, sondern auch beim Getriebe und bei den Laufwerken gemacht

werden müssen. Die Außenwirtschaft weist enorme Einsparpotentiale auf. Wartungsmaßnahmen am Motor können den Verbrauch um 15 % senken. Das Fahren im optimalen Drehzahlbereich bei einem Betriebspunkt von 70 % der Nenndrehzahl und Nennleistung ist ein weiterer Minimierungsansatz. Der Traktor sollte eine angepasste Motorleistung aufweisen. Man kann von einem mittleren spezifischen Kraftstoffverbrauch von 0,33 l/kWh ausgehen (ÖKL, 2008).

Der spezifische Kraftstoffverbrauch kann mit 270 – 295 g/kWh als sehr gut, 296-319 g/kWh als gut bezeichnet werden. Weiteres gilt es den Schlupf (Allradantrieb, Differentialsperre, Bereifung, Reifeninnendruck) zu verringern und die Flächenleistung zu erhöhen.

Die Bodenbearbeitung stellt eine energieintensive Maßnahme dar. Pro 1 cm Bearbeitungstiefe müssen ca. 100 m³ bzw. 150 t Boden/ha bewegt werden. Je nach Bodenart nimmt beim Pflügen der Kraftstoffverbrauch pro cm Arbeitstiefe zwischen 0,5 – 1,5 l/ha zu. Durch Änderung des Bodenbearbeitungssystems – insbesondere mit dem Verzicht auf den Pflug – können Kraftstoffeinsparungen bis 50 % erreicht werden. Kann beispielsweise die Bewirtschaftung mit einem 59 kW-Traktor statt mit einem 92 kW-Traktor bewerkstelligt werden, können 20 – 56 % an Kraftstoff eingespart werden (vgl.: MOITZI und BOXBERGER, 2009, 394ff).

5.6 Herbizideinsatz

Glyphosat ist ein Herbizid, das zur Regulierung von ausdauernden Wurzelunkräutern (z.B. Quecke), sowie vor reduzierter Bodenbearbeitung von Bedeutung ist.

Nur mit einem verantwortungsvollen Umgang beim Herbizideinsatz können mögliche Resistenzbildungen (Ackerfuchsschwanz, Windhalm) und negative Umweltwirkungen weitgehend ausgeschlossen werden.

Auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker—am INFORAMA Rütli in Zollikofen bei Bern (Schweiz) werden Strategien geprüft, mit denen ein Direktsaatsystem ohne regelmäßigen Glyphosateinsatz umgesetzt werden kann.

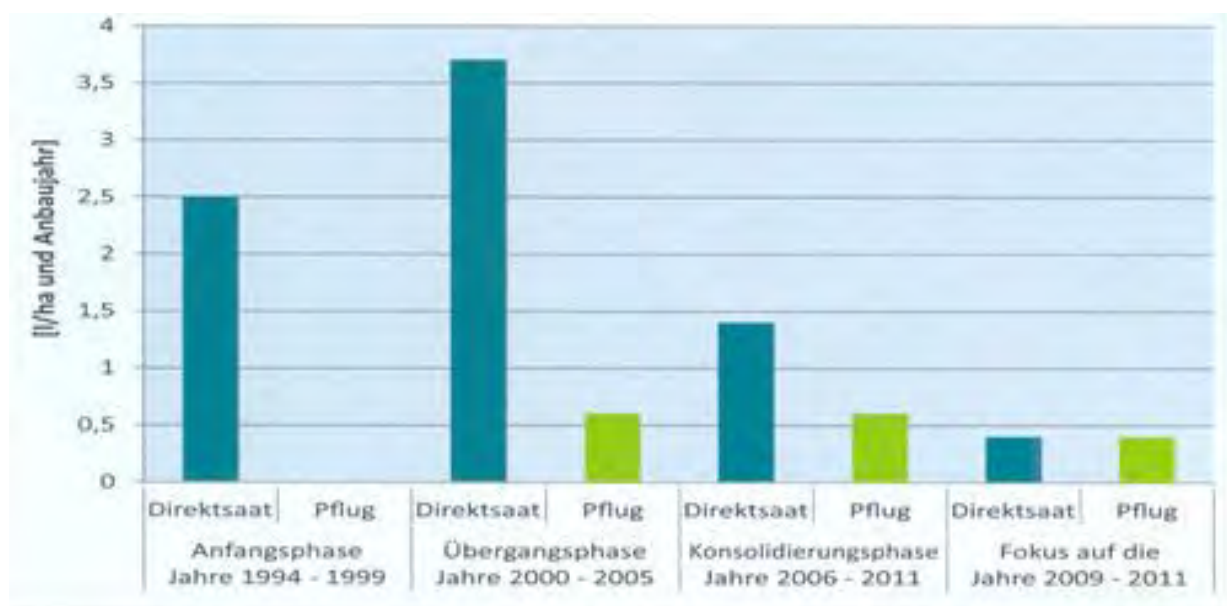


Abbildung 241: Aufwandmenge Glyphosat bei Direktsaat und Pflug

Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker—1994-2011.(Quelle: LOP 1 / 2 – 2013, 25)

Das Diagramm (Abb. 241) zeigt wie sich über die Versuchsjahre 1994 – 2011 die Aufwandmenge von Glyphosat verändert hat. Appliziert wird der Wirkstoff Glyphosat (Roundup Ultra Max, u.a) hauptsächlich nach Körnerleguminosen bzw. vor Wintergetreide.

Die Aufwandmenge an Glyphosat veränderte sich bei der Direktsaat von 3,7 auf 0,4 l/ha und beim Pflugsystem von 0,6 auf 0,4 l/ha und Anbaujahr. Heute werden im Direktsaatsystem praktisch gleich viele selektive Herbizide wie im Pflugsystem

eingesetzt. Ausnahmen sind Mais („Atrazinersatz— fehlt) und Wintergerste (Klettenlabkraut).

Wichtigster Faktor dabei ist eine Fruchtfolge mit einem konsequenten Wechsel von Blatt- und Halmfrucht. Auf den Einsatz von Glyphosat kann verzichtet werden, wenn:

1. Wintergetreide unmittelbar nach der Ernte von unkrautfrei geführten Mais-, Kartoffel- oder Zuckerrübenbeständen folgt.
2. unmittelbar nach der Ernte von unkrautfrei geführten Getreidebeständen (insbesondere ohne Winden, Quecken, Disteln) ein Gründungsgemenge gesät wird.

Anzustreben sind außerdem unkrautfrei geführte Bestände, bei denen unmittelbar nach der Ernte eine Wiederbestellung erfolgt. Der Anbau konkurrenzstarker abfrierender Gründungen, eine permanente Bodenbedeckung mit Pflanzen, Ernterückständen oder Stroh sowie der gezielte Einsatz selektiver Herbizide optimal kombiniert sind weitere Faktoren für eine Direktsaat ohne Glyphosateinsatz (CHERVET et al., LOP 1/ 2, 2013, 23ff).

5.7 Beurteilung verschiedener Bodenbearbeitungssysteme

Beurteilung verschiedener Bodenbearbeitungssysteme		Pflug	Pfluglos flache Lok- kerung	Direkt- saat
Anbau- technik	Anforderungen an Sätechnik			
	Mehraufwand Unkrautbekämpfung			
	Schneckenrisiko			
	Mäuserisiko			
	Fusskrankheitsrisiko			
	Verursachen neuer Verdichtungen			
	Probleme bei vorhandenen Verd.			
	Gefahr von Ertragseinbussen			
	Arbeitszeitbedarf			
	Anforderungen an Betriebsleiter			
	Kosten			
Ökolo- gische Aspekte	Risiko Bodenabtrag			
	Abschwemmung Nährst./Pestizide			
	Auswaschung Nitrat	?? ¹	?? ¹	?? ¹
	Auswaschung Pestizide	?? ²	?? ²	?? ²
	Verminderung Regenwürmer			
	Störung Mykorrhiza			
	Störung des Bodengefüges			
	Energiebedarf			
	Ammoniakemission durch Hofdüng.	3	3	
gering				
mittel				
hoch				

¹ Nitrat wird bei Direktsaat vermutlich weniger ausgewaschen, weil Hauptwasser über durchgehende Grobporen abfließt.

² Nach diversen Resultaten bei Direktsaat eher geringer. Es besteht aber die Gefahr von Auswaschung bei starken Niederschlägen und kurz vorher ausgebrachten Hilfsstoffen.

³ Gering, wenn Versickerung der Gülle durch Bodenbearbeitung gefördert wird.

FAT Thomas Anken

16.03.97 An
syn_18ha.xls

Abbildung 242: Beurteilung verschiedener Bodenbearbeitungssysteme (Quelle: FAT Nr.501-1997,13)

In (Abb. 242) ist die Beurteilung verschiedener Bodenbearbeitungssysteme hinsichtlich ihrer agronomischen und umweltmäßigen Eigenschaften dargestellt. Auffallend ist, dass der Pflug in Bezug auf die anbautechnischen Eigenschaften mehrheitlich am besten abschneidet, die Direktsaat hingegen am meisten Vorzüge hinsichtlich der Umweltaspekte aufweist. Die pfluglosen Bodenbearbeitungsverfahren nehmen jeweils eine Mittelstellung ein. Versuche an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART haben gezeigt, dass sich pfluglose Verfahren auch langjährig mit Erfolg einsetzen lassen. Ihre Grenzen erreichten diese Verfahren auf staunassen, schweren Boden, wo der Pflug bezüglich Ertrag am besten abschnitt. Auf dem Standort mit einem durchlässigen, sandigen Lehm erzielte die Frässaat den besten Durchschnittsertrag.

Die Verfahren mit stark reduzierter Bearbeitung haben heute einen hohen technischen Stand erreicht. Details lassen sich sicherlich noch verbessern.

Die größere Herausforderung stellt aber das korrekte Management dieser Verfahren dar. Schnecken, Mäuse und Unkräuter stellen höhere Anforderungen an die Bekämpfung. Das Weglassen der aufwändigen Grundbodenbearbeitung führt bei günstigen Bodenverhältnissen zu keinerlei Ertragseinbußen. Dies ermöglicht klare Kosteneinsparungen, schont die Umwelt und verbessert die Bodenstruktur (vgl.: ANKEN et al., 1997, 13).

6 Ökonomische Kriterien bei Bodenbearbeitungsverfahren

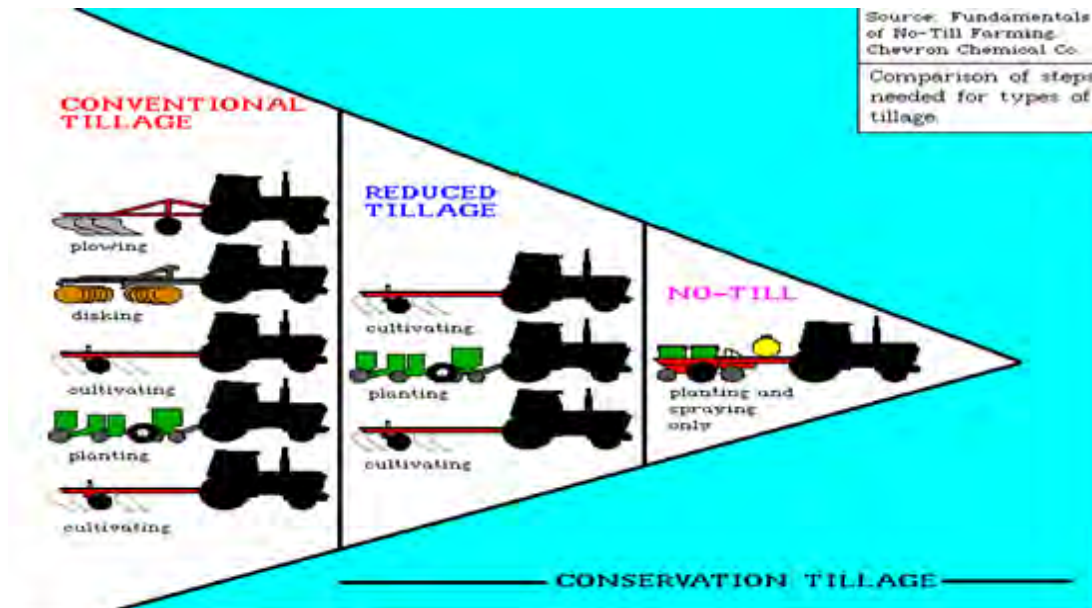


Abbildung 243: Technischer Aufwand und Anzahl der Überfahrten

Technischer Aufwand und Anzahl der Überfahrten bei konventioneller Bodenbearbeitung– reduzierter Bodenbearbeitung (Mulchsaat) und Direktsaat im Vergleich.

(Quelle: corn.agronomy.wisc.edu, Zugriff am 17.01.2013)

6.1 Die Bodenbearbeitungsverfahren im Vergleich

Folgende Faktoren entscheiden, welches das optimale Verfahren für den jeweiligen Standort ist (BERTILSSON, 2008):

- Bodenart und Niederschlag
- Arbeitszeit, Komplexität des Betriebes
- Fachwissen, Erfahrung und Mut des Betriebsleiters



Abbildung 244: Pflugverfahren

(Quelle: Vaederstadt-Firmenprospekt, 2008)



Abbildung 245: Mulchverfahren

(Quelle: Vaederstadt-Firmenprospekt, 2008)

6.1.1 Pflugverfahren

Grundlegend ist zu entscheiden wie tief der Boden bearbeitet werden soll. Der Pflug ist ein Bodenbearbeitungsgerät das für Arbeitstiefen von 15 – 30 cm genutzt wird. Er wendet den Boden und schafft gute Bedingungen für alle weiteren Arbeitsschritte. Nachteilig ist, dass er nur beschränkte Einsatzmöglichkeiten hat, und meistens weitere Arbeitsgänge erforderlich sind, damit der Boden gut gekrümelt und rückverfestigt wird.

6.1.2 Tiefe Mulchverfahren

Moderne Grubber erlauben die gleiche Arbeitstiefe wie der Pflug. Der Boden wird mit dem Grubber intensiver gemischt und besser rückverfestigt. Der Grubber kann auch flacher effektiv eingesetzt werden. Moderne Grubber sind aus Mulchsaatverfahren mit großen Mengen an Ernterückständen nicht mehr wegzudenken, da sie flexibel in der Handhabung sind und in 1 - 2 Überfahrten einen saarfertigen Boden schaffen.

6.1.3 Flache Mulchverfahren

Soll bei einem Mulchsaatverfahren nicht tiefer als 15 cm gearbeitet werden, ist die Kurzscheibenegge das ideale Bodenbearbeitungsgerät. Sie gibt die Möglichkeit schlagkräftig zu arbeiten und mit wenig Kraftstoff [l/ha] auszukommen. Auch wird mit dem Einsatz der Kurzscheibenegge die Rotte der Ernterückstände sehr gut gefördert, der Boden gut gekrümelt und es ist möglich ein optimales Saatsbett damit zu schaffen. Pflug oder pfluglos ist eine Frage der Geräteauswahl. Das alles Entscheidende ist die Bearbeitungstiefe. Moderne Grubber arbeiten in der gleichen Arbeitstiefe wie Pflüge. Es ist also ausschließlich die Entscheidung des Landwirtes ob ein Grubber oder ein Pflug auf seinem Standort die Anforderungen besser erfüllt.

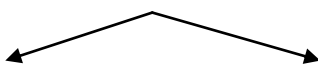
Ablauf des Mulchsaatverfahrens innerhalb eines Jahres	
Juli/August	1. Stoppelbearbeitung
	2. Grunddüngung (P, K, Mg)
August	Grundbodenbearbeitung
	3. Saatsbettbereitung
Oktober – März	Saat der Zwischenfrucht
April	4. Bodenbedeckung durch abfrierende Zwischenfrucht
	5. Zuckerrübensaat
	
Mulchsaat mit Saatsbettbereitung (ganzflächig)	Mulchsaat ohne Saatsbettbereitung (oder nur streifenweise)
April	6. N-Düngung / Herbizideinsatz (bei / nach der Saat)

Abbildung 246: Konzept des Mulchsaatverfahrens (Quelle: FAT-Bericht 363 04/1989, 2)

Tabelle 67: Daten des Produktionsverfahrens Winterweizen

bei unterschiedlichen Anbausystemen wendend – nicht wendend – Direktsaat (nach KTBL, FRÖBA, 2011)

Anbau- system	Arbeitszeitbedarf Akh/ha			Maschinenkosten fest + veränderlich €/ha			veränderliche Spezialkosten €/ha		
	2 ha	5 ha	20 ha	2 ha	5 ha	20 ha	2 ha	5 ha	20 ha
Wendend	9,4	6,8	4,5	336	313	263	651	639	634
Nicht wendend	8,5	6,2	4,1	310	286	235	640	628	622
Direktsaat	4,8	4,0	2,5	245	225	180	637	603	597

Der Vorteil - Arbeitszeitbedarf und Maschinenkosten sind bei nicht wendender Bodenbearbeitung etwa um 10 % geringer im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung. Bei der Direktsaat liegen die Werte um etwa 50 % unter den Werten der wendenden Bodenbearbeitung (FRÖBA, 2011).

**Abbildung 247:** Zwischenfruchteinsaat mit aufwendiger Technik**Abbildung 248:** Zwischenfruchteinsaat mit geringem Aufwand

(Quelle: SEDLMEIER, Agrarbildungszentrum-Triesdorf, 2012)

6.1.4 Streifenbearbeitung (Strip-Tillage)

Es werden 20 – 25 cm breite Streifen angelegt, in die das Saatgut abgelegt wird. Die Zwischenstreifen bleiben unbearbeitet und sollen Verschlämmungen und Erosion verhindern (vgl.: SCHÖN et al., 1998, 283).

Tabelle 68: Strip Tillage – Ökonomie und Arbeitswirtschaft

Arbeitszeitbedarf, Maschinenkosten und Dieserverbrauch bei ganzflächiger Bodenbearbeitung und Streifenbodenbearbeitung zu Mais (nach KTBL, FRÖBA 2011)

(Quelle: DEMMEL, 2011)

Verfahren	Schlaggröße [ha]	Arbeitszeitbedarf [Akh/ha]	Flächenleistung [ha/h]	Maschinenkosten [€/ha]	Diesel [l/ha]
Grubber (ganzflächig) 3 m AB, 18 cm tief, Traktor 160 kW, 12 km/h	2	0,53	2,38	32,83	15,3
	5	0,42	2,78	29,24	14,1
	10	0,38	2,94	27,80	13,7
Strip Tillage 8 (Reihen) 6 m AB, 18 cm tief, Traktor 160 kW, 12 km/h	2	0,31	4,76	21,02	6,1
	5	0,23	5,56	18,61	5,4
	10	0,20	5,88	17,56	5,1



Abbildung 249: Winterweizen in Granskevitz, Rügen, Herbst 2011,

(Quelle: Strip-Till-Väderstad Spirit, Firmenprospekt 2012 (Fa. Hammerschmied))

WW angesät mit der Strip-Till Sämaschine Väderstad „Spirit“ mit 15 km/h nach einer Stoppelbearbeitung mit einer Kurzscheibenegge.

Versuchsergebnis der LK - Schleswig Holstein, BRD

Untersucht wurde die Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug. Die pfluglose Bestellung mit dem wendenden Grubber - nach Raps und anderen guten Vorfrüchten hat sich in der Praxis gut durchgesetzt. Ziel aber wäre, dass die Kosten des Pfluges im Verfahren überhaupt nicht mehr auftauchen.

Detailliert wurden Kosten und Ertrag der beiden Varianten über 10 Jahre (3 Fruchtfolgen) festgehalten. Insgesamt 11 Jahre verglich die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein mit Förderung der Stiftung „Schleswig-Holsteinsche Landschaft—Ackerbau mit und ohne pflügen (vgl. HOLZ und TRAULSEN, 2010,158).

Tabelle 69: Kosten und Ertragsvergleich bei Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug
im Durchschnitt von 11 Jahren (Quelle: HOLZ und TRAULSEN, 2010, 161)

	gepflügt	pfluglos
	€/ha	€/ha
variable Kosten		
Saatgut	54,68	61,58
Düngemittel	72,79	76,79
Pflanzenschutz	131,89	142,04
Arbeitserledigung	349,92	335,09
Summe Kosten	609,28	615,50
Erträge		
Ertrag	1.306,47	1.227,42
Prämie	429,00	429,00
Modulation		60,00
Summe Leistungen	1.735,47	1.716,42
Überschuss	1.126,19	1.100,92
Differenz		- 25,27

Bei Gegenüberstellung aller Erträge und Aufwendungen hat die gepflügte Variante im Mittel der 11 Jahre einen Vorteil von 85,00 €/ha. Werden die 60,00 €/ha aus der Modulation (Mulchsaat) mit eingerechnet, verringert sich die Differenz auf 25,00 €/ha. In der Gesamtbetrachtung sind beide Verfahren etwa gleich.

Die Untersuchung der LK S-H zeigt, dass die Kostenunterschiede gering sind. Der Hauptvorteil des pfluglosen Ackerbaus liegt in der eingesparten Arbeitszeit, insbesondere in großen Ackerbaubetrieben (vgl.: HOLZ und TRAULSEN, 2010, 158).

Versuchsergebnis aus Nordrhein-Westfalen

Feldversuche an verschiedenen Standorten

Tabelle 70: Direktsaat von Ackerbohnen im Vergleich zur Pflugbearbeitung

Arbeitszeit, Dieserverbrauch, CO₂- Emission und Maschinenkosten (vgl. LOP 1/2-2012, 36)

Boden- bearbeitungs- system	Aufwendungen					
	Zeit	Diesel	CO ₂		Maschinenkosten	
	Akh	l/ha	kg/ha	kg/t	Fix €/ha	Variabel €/ha
Wendepflug 1)	4,9	64,3	170,4	44,6	67,7	133,8
Direktsaat 2)	0,6	6,4	17	5,7	16,8	22
1) Winterzwischenfrucht Ölrettich: Schwergrubber 3 m, Traktor 83 kW Grundbodenbearbeitung: 5-Schar Wendepflug: Saat, jeweils Kreiseleggenkombination 3 m, 83 kW; Ackerbohnenhacke 3 m, 67 kW 2) Direktsaat von Ackerbohnen in Strohmulch (0,4-6 t Stroh/ha) der Vorfrucht Hafer, 3 m, 67 kW (nach Schulte 2007, ergänzt).						



Abbildung 250: Temporäre Direktsaat in der Umstellungsphase bei Pferdebohnen

(Quelle: KÖPKE, 2012,36)

Der Unkraut- und Ungrasdruck ist gering. Die Sprossmasse ist in der gepflügten Variante höher, der Kornertrag allerdings in der Direktsaatvariante im Vorteil (Versuchsstandort: Frankenforst 2007) (vgl.: KÖPKE, 2012, 34f).

Versuchsergebnis aus dem Bundesland Niederösterreich:

Neben den ökologischen Aspekten treten bei der Entscheidung zur konservierenden Bodenbearbeitung (Minimalbodenbearbeitung) immer mehr ökonomische Überlegungen in den Vordergrund (vgl.: ROSNER, 2011,37).

In der Bewirtschaftung von Ackerland kann der Dieserverbrauch zwischen 40 – 180 l/ha und Jahr variieren. Die Dieselkosten betragen dann bis zu einem Viertel der Verfahrenskosten.

Bodenschonende Bearbeitungsmethoden setzen sich zunehmend durch werden aber von vielen Landwirten noch immer skeptisch betrachtet. Verschiedene Bodenbearbeitungssysteme werden an den Ackerbau-Standorten an den Lehr -und Versuchsbetrieben der landwirtschaftlichen Fachschulen in Niederösterreich im trockenen, pannonischen Klimaraum und im gemäßigten Übergangsklima geprüft. An allen Versuchsstandorten werden seit einigen Anbaujahren vier Bodenbearbeitungsvarianten angelegt.

Tabelle 71: Ergebnisse mehrjähriger Bodenbearbeitungsversuche in NÖ (Quelle: ROSNER, 2011)

Bearbeitungsvariante	Ertrag in %	Nettoerlös in %
Konventionelle Bearbeitung – Grubber – Pflug – Saatbettbereitung	konventionell 100	konventionell 100
Minimierte Bearbeitung Grubber /Scheibenegge + Grubber / Scheibenegge - Saatbettbereitung	99	111
Minimalbearbeitung Scheibenegge – keine Saatbettbereitung - Direktsaat	93	108
No – Tillage (Zero Tillage) – keine Bodenbearbeitung	88	104
Nettoerlös = Ertrag minus Aufwendungen		

In den mehrjährigen Versuchen erweisen sich die Erträge bei Minimierung der Bodenbearbeitung leicht sinkend. Auf Grund der sich stark verringerten Aufwendungen und Traktorstunden steigen die Nettoerlöse signifikant bei Getreide - Maisfruchtfolgen. Lediglich Sandböden neigen zur Dichtlagerung und sind daher sehr eingeschränkt minimiert zu bearbeiten. Sie benötigen in der Regel eine Tiefenlockerung mit einem Grubber oder Pflug bis 20 cm Tiefe. Das gilt auf allen Böden auch vor dem Anbau von Zuckerrüben oder Kartoffeln (vgl.: ROSNER, 2011, 38).

6.1.5 Ridge Tillage (Dammverfahren)

Versuche zum Dammverfahren für Mais wurden von der Firma HORSCH, Schwandorf, in Tschechien durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Ernten der letzten vier Jahre waren durchwegs positiv. Die Erntemengen gemessen an trockener Ware, lagen im Schnitt der drei Jahre 10% über der konventionellen Bodenbearbeitungsvariante. Dieser Ertragsanstieg setzt sich aus unterschiedlichen Faktoren zusammen. Der größte Faktor für den Mehrertrag ist die entfallene Saatbettbereitung im Frühjahr. Der Vorteil der früheren Aussaat beziehungsweise die Vorverlagerung des Aussaatfensters für Mais von 8 – 10 Tagen, trägt einen weiteren Teil zum erreichten Mehrertrag bei.

Um weitere Erfahrungen für das Dammverfahren zu Mais zu sammeln, wurden im Herbst 2010 in Ungarn insgesamt rund 200 Hektar Dämme auf zwölf Standorten angelegt. Die Standorte zeichnen sich zum großen Teil durch sehr schwere Böden aus. Die Bodenbearbeitung, d.h. der Aufbau der Dämme erfolgte Mitte Oktober unter teilweise recht nassen Verhältnissen (vgl.: N.N., 2011, 10).

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe müssen noch weiter abgesichert werden und sollen noch nicht veröffentlicht werden. (Mündliche Mitteilung von Michael Braun, Horsch).

Bei Versuchen in Deutschland in den Regionen Uelzen/Holstein erbrachte der Dammanbau von Zuckerrüben in den Jahren 2004 – 2006 um 5 – 10 % höhere Rübenenerträge (Zuckergehalt unverändert), während im Rheinland wie auch in älteren Versuchen in Süddeutschland der Dammanbau im Mittel keinen wirtschaftlichen Vorteil erbrachte.

Bei der ökonomischen Bewertung des Dammanbaus ist relevant, dass je nach verwendeter Maschine ein oder zwei Bodenbearbeitungsgänge eingespart werden.

Je nach verwendeter Maschine und Anbausystem erhöhen sich im Vergleich zum Flachanbau die Kosten um 20 – 60 EUR/ha. Bei Preisen von ca. 30 EUR/t Rüben ist der Dammanbau dort wirtschaftlich, wo bei einem Ertragsniveau von etwa 65 t/ha nachhaltig 5 – 7 % Mehrertrag realisiert werden können

(vgl.: BISZ – Beratung und Information für den süddeutschen Zuckerrübenanbau

<http://bisz.suedzucker.de>, Zugriff am: 04.02.2013).

6.2 Wahl des Bestell - Verfahrens

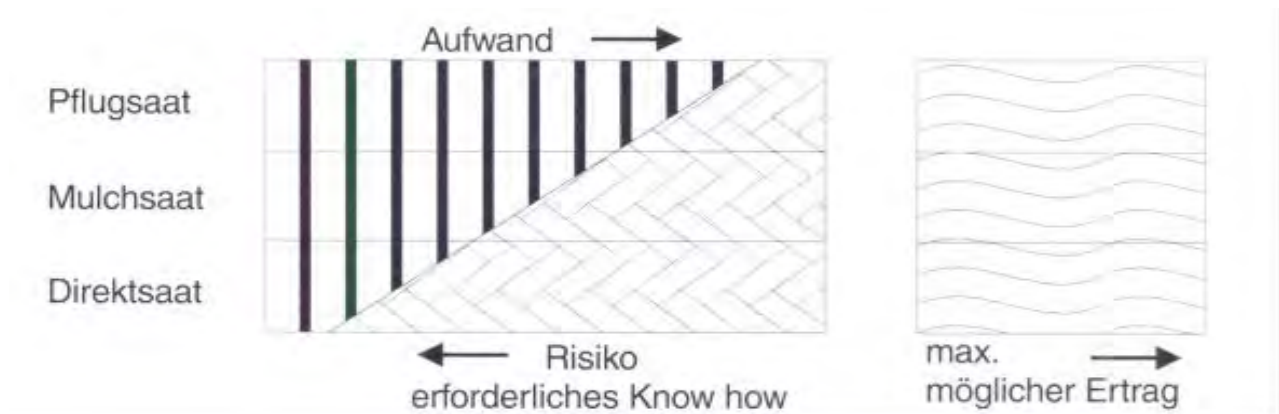


Abbildung 251: Verhältnis von Aufwand und Risiko bei verschiedenen Bestellverfahren

(Quelle: KTBL-Schrift 383, 1999,35).

Um kostensparende Arbeitsgänge zu ermöglichen, ist ein Übergang von der generellen Pflugsaat zumindest zur zeitweisen Mulchsaat weitgehend Bestandteil der Praxis. Nach Raps, Rüben und Kartoffeln wird inzwischen kaum noch gepflügt. Bei Getreide nach Getreide ist dagegen der Anteil der Mulchsaatflächen gering. Unabhängig davon sollte die Ausführung der Bestell-Kombination es dem Betriebsleiter freistellen, Pflugsaat oder Mulchsaat zu praktizieren, um so mit wachsendem Know-how den Übergang von der reinen Pflugsaat zu einem hohen Mulchsaatanteil durchführen zu können. Bei eventuellen Problemen durch Unkräuter oder Pflanzenkrankheiten kann jederzeit der Pflug zu Reparaturmaßnahmen wieder eingesetzt werden.

Insgesamt bleibt auch bei solchen Mischverfahren eine erhebliche Kostenreduzierung, ohne das vorhandene, hohe Ertragsniveau zu gefährden.

Großbetriebe mit mehr als 1000 ha ergänzen in vielen Fällen die Maschinenausstattung durch eine Direktsaatmaschine, die je nach den Bedingungen und der Betriebsstruktur 20 – 50 % der Fläche mit dem minimalen Aufwand bestellt (vgl.: BRUNOTTE et.al., 1999, 34).

In (Abb. 252) werden Entwicklungstendenzen für den Arbeitskraftstundenaufwand pro Hektar bei der Bodenbearbeitung und Aussaat dargestellt.

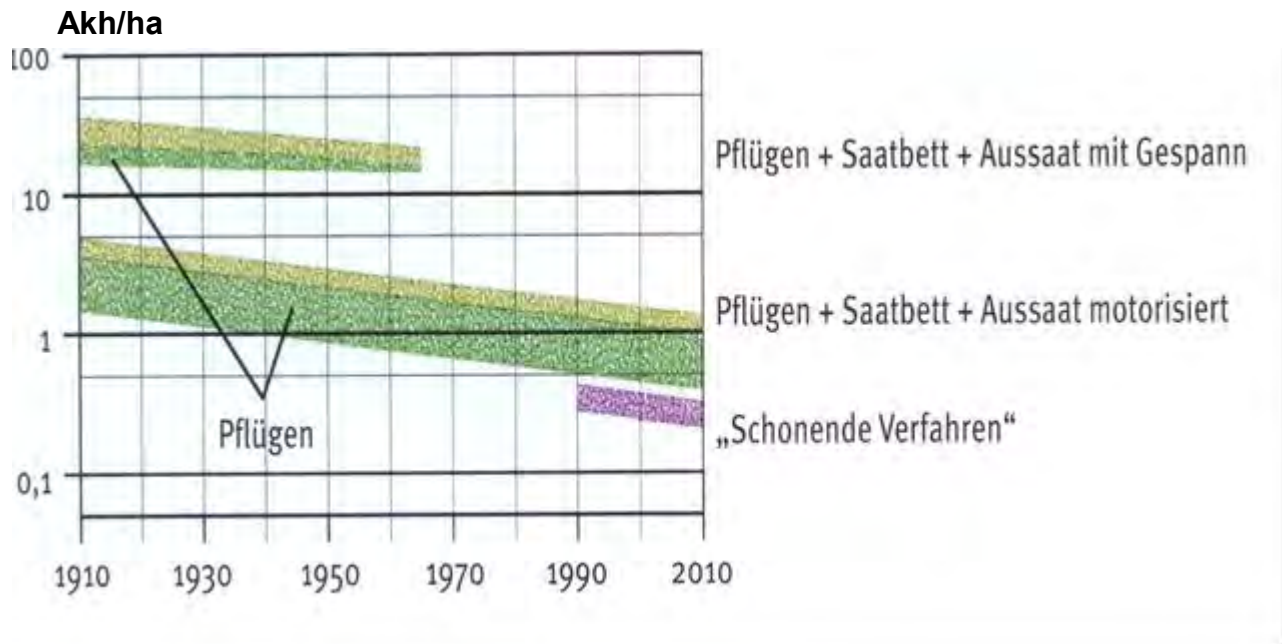


Abbildung 252: Entwicklungstendenzen für den Arbeitskraftstundenaufwand pro Hektar
(Quelle: KROMBHOLZ, 2009, 101).

6.3 Mögliche Bearbeitungsstrategien

Im Folgenden wird die Produktpalette (Abb.253) von Bodenbearbeitungsmaschinen und Geräten der Firma Väderstad, Schweden, für eine Traktormotorleistung bis 110 kW/150 PS für mögliche Bodenbearbeitungsstrategien aufgezeigt.

Angegeben werden dabei der Akh- Bedarf [h/ha] und der Dieserverbrauch [l/ha] für die Bodenbearbeitung und Aussaat für das jeweilige Verfahren.

Alle Fakten stammen von der schwedischen Gesellschaft für Landwirtschaft und Wirtschaftlichkeit.

Als Faustregel gilt, dass im Ackerbau durchschnittlich 60 l Diesel pro ha und Jahr verbraucht werden, davon entfallen 15 l Diesel auf den Mähdrescher.

Mögliche Bearbeitungsstrategien

				Fakten 2,0 h/ha 36 l/ha
4-Schar Pflug	Rexius 650	NZA 700	Rapid 300C	
				Fakten 2,0 h/ha 36 l/ha
4-Schar Pflug	Rexius Twin 330	Spirit 400S		
				Fakten 2,0 h/ha 35 l/ha
4-Schar Pflug	Carrier 400	Rapid 300C		
				Fakten 1,9 h/ha 35 l/ha
4-Schar Pflug	Carrier 400	Spirit 400S		
				Fakten 1,1 h/ha 28 l/ha
Carrier 400	Cultus 300	Spirit 400S		
				Fakten 0,83 h/ha 22 l/ha
TopDown 300	Rapid A 400S			
				Fakten 0,9 h/ha 20 l/ha
Carrier 400	Rapid 300C			
				Fakten 0,92 h/ha 15 l/ha
Carrier Drill 300S	Carrier Drill 300S			
				Fakten 0,26 h/ha 7 l/ha
Seed Hawk 600				

Alle Fakten stammen von der schwedischen Gesellschaft für Landwirtschaft und Wirtschaftlichkeit. Als Faustregel gilt, dass durchschnittlich 60 l Diesel pro Hektar und Jahr verbraucht werden; davon entfallen 15 l auf den Mährescher.

Abbildung 253: Mögliche Bodenbearbeitungsstrategien
(Quelle: Väderstad, Firmenprospekt 2012)

Berechnungen zu 13 verschiedenen Maschinenkonzepten von Vaederstad, Schweden, befinden sich im Tabellenanhang. Die Tabellen (78 und 79) geben den Akh- Bedarf [h/ha] und den Dieserverbrauch [l/ha] für das jeweilige Verfahren an. In den Tabellen (80 bis 84) werden die Investitionskosten, der Leistungsbedarf [kW], die mögliche Flächenleistung [ha/h] und der Akh-Bedarf in [h/ha] des jeweiligen Maschinen-konzeptes berechnet.

6.4 Maschinen- und Arbeitserledigungskosten

Durch die Umstellung auf Direktsaat, können die Maschinenkosten und die Arbeitserledigungskosten für Bodenbearbeitung und Saat erheblich reduziert werden (vgl.: KÖLLER und LINKE, 2001, 139).

Die folgenden Tabellen (72 bis 74) zeigen die Daten einer Modellrechnung zu Maschinen und Arbeitserledigungskosten [€/ha].

Tabelle 72/1	Konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug und Kreiselegge mit aufgebauter Sämaschine
Tabelle 72/2	Konservierende Bodenbearbeitung mit einer Bestellkombination
Tabelle 73/1	Direktsaat (No-Till) mit der Dreischeibenschar- Direktsämaschine (KUHN 3000)
Tabelle 73/2	Direktsaat (No-Till) mit der Streifenfrässämaschine (FOBRO OekoSem IV)
Tabelle 74/1	Streifenbodenbearbeitung (Strip Tillage) mit derGrubbersämaschine (HORSCH Tiger)
Tabelle 74/2	Streifenbodenbearbeitung (Strip Tillage) mit dem KUHN Striger
Tabelle 74/3	Dammverfahren zu Mais (Ridge Tillage) mit dem HORSCH Tiger TD

Die Daten sind angelehnt an die ÖKL Richtwerte 2012 und die Berechnungen der Arbeitserledigungskosten [€/ha] erfolgt nach dem dort beschriebenen Weg.

Tabelle 72: Verfahren 72/1 und Verfahren 72/2

KONVENTIONELLES BODENBEARBEITUNGSVERFAHREN:								
	Neuwert	Nutzung	Fixkosten	Var.Kosten	Leistung		Ges.kosten	Verf.kosten
Maschinenkonzept	€	h/a	€/h	€/h	h/ha	ha/h	€/h o.MwSt.	€/ha
Pflug, ZW-Bestellkomb.								
Allradtraktor 90 kW	82.000	450	20,05	22,85			42,89	64,98
4-Schar-Anbaupflug 1,8 m	11.600	100	16,24	6,96	1,5-2	0,66	23,2	35,15
Allradtraktor 90 kW								42,89
Kreiseleggen-Säkomb.	30.000	150	30	12,00	1,0-1,4	1	42,00	42,00
		Mannkosten:		15,00		1,66		24,90
Summe o. MwSt.	123.600							209,93
KONSERVIERENDES BODENBEARBEITUNGSVERFAHREN:								
	Neuwert	Nutzung	Fixkosten	Var.Kosten	Leistung		Ges.kosten	Verf.kosten
Maschinenkonzept	€	h/a	€	€	h/ha	ha/h	€/h o.MwSt.	€/ha
Bestellkombination m. tiefer Lockerung								
Allradtraktor 90 kW	82.000	450	20,05	22,85			42,89	71,48
Bestellkomb. 3 m								
Sätechnik f. Min.-BB								
Anbau gez.	44.000	150	44	17,6	0,6-0,9	0,60	61,60	102,67
		Mannkosten:		15,00		0,60		9,00
Summe o. MwSt.	126.000							183,15
Quelle: ÖKL-Richtwerte 2012								

Tabelle 73: Verfahren 73/1 und Verfahren 73/2

KONSERVIERENDE BODENBEARBEITUNGSVERFAHREN:								
	Neuwert	Nutzung	Fixkosten	Var.Kosten	Leistung		Ges.kosten	Verf.kosten
Maschinenkonzept	€	h/a	€/h	€/h	h/ha	ha/h	€/h o.MwSt.	€/ha
Direktsaat:								
Allradtraktor 75 kW	62.000	450	15,16	18,53			33,69	16,85
Dreischeibenschar-Direktsämaschine								
KUHN SD-LINER 3000 3 m	45.000	150	45,00	12,00	0,5	2	57,00	28,5
Allradtraktor 45 kW	29.400	450	7,19	10,53			17,69	7,08
Feldspritze 1000 l, 15 m *)	12.300	125	18,70	6,15	0,4	2,5	24,85	9,94
		Mannkosten:	15,00		0,9			13,50
Summe o. MwSt.	86.700							75,86
Direktsaat:								
Allradtraktor 90 kW	82.000	450	20,05	22,85			42,89	51,47
Streifenfräsmaschine 3 m	34.000	150	34,00	10,20	1,2	0,7-1,0	44,20	53,04
FOBRO Streifenfräse-OekoSem IV		Mannkosten:	15,00		1,2			18,00
Summe o. MwSt.	116.000							122,51
Quelle: ÖKL-Richtwerte 2012								
*) Die Unkrautfreiheit zur Saat wird in der Regel durch eine Glyphosatspritzung vor oder unmittelbar nach der Saat erreicht. Die Bestellung "no till" erfordert neben dem Traktor nur eine Direktsämaschine, einen Düngestreuer, eine Pflanzenschutzspritze und eine Walze, wenn die Ernte und die Getreideabfuhr im Lohn erfolgen.								

KONSERVIERENDE BODENBEARBEITUNGSVERFAHREN:								
	Neuwert	Nutzung	Fixkosten	Var.Kosten	Leistung		Ges.kosten	Verf.kosten
Maschinenkonzept	€	h/a	€/h	€/h	h/ha	ha/h	€/h o.MwSt.	€/ha
Strip-Tillage:								
Allradtraktor 190 kW	155.000	450	37,89	46,78			84,67	35,56
Grubbersäm. Horsch Tiger								
+ Pronto TD 3 m	57.000	100	79,80	45,60	0,42	2,4	125,40	52,67
		Mannkosten	15,00		0,42			6,3
Summe:	212.000							94,53
Strip-Tillage:								
Allradtraktor 130 kW	109.000	450	26,65	32,25			58,9	20,62
Lenkautomat RTK	32.450	300	19,47	6,49			25,96	0,00
KUHN Striger 4,4 m	24.000	100	33,6	14,4	0,35	2,8	48	17
Allradtraktor 40 kW	34.000	450	8,32	9,96			18,27	12,79
EK - Sämaschine 6 R, Mais	22.500	100	29,25	6,75	0,7	1,42	36	25,20
		Mannkosten:	15,00		1,05			15,75
Summe:	112.950							91,15
Ridge-Tillage:								
Allradtraktor 220 kW	168.000	450	41,07	53,25			94,32	18,86
Lenkautomat RTK	32.450	300	19,47	6,49			25,96	20,77
HORSCH Tiger 6 DT 6,4 m	50.000	100	70,00	40,00	0,2	5,0	110	22,00
Allradtraktor 40 kW	34.000	450	8,32	9,96			18,27	10,96
EK-Sämaschine 8 R, Mais	30.000	100	39,00	9,00	0,6	1,66	48,00	28,80
		Mannkosten:	15,00		0,8			12,00
Summe:	314.450							113,39
Quelle: ÖKL-Richtwerte 2012								

Quelle: ÖKL-Richtwerte 2012

7 Ergebnisse und Diskussion

7.1 Technische Kriterien

7.1.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse der technischen Kriterien sind in (Tab. 75) zusammengefasst.

Erklärung:

- 1) KTBL-Faustzahlen Tab. 45 und *) eigene Berechnung nach RENIUS
- 2) Amazone Abb. 187 und *) eigene Berechnung nach RENIUS
- 3) KTBL-Faustzahlen Tab.45
- 4) FAT-Bericht Abb. 192
- 5) ÖKL-Richtwerte 2012 und *) ÖKO-Ackerbau ohne tiefes Pflügen (SCHMIDT, 2010,22)
- 6) BRUNOTTE und KORTE 2003, Abb. 196 und *) Strip-Till mit Streifen zum Erfolg (HERMANN et.al., 2012,106), **) Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen (SCHMIDT, 2010,22)
- 7) Schardruck, Prospektunterlagen diverser Firmen

Bewertung:

+ gering, ++ mittel, +++ hoch

Tabelle 75: Technische Kriterien für die Bewertung von Bodenbearbeitungssystemen

Kriterien		Konventionelle Bodenbearbeitung		Konservierende Bodenbearbeitung				
		wendend	nicht wendend	Mulchsaat mit Lockerung	Mulchsaat ohne Lockerung	Streifensaat	Dammverfahren	Direktsaat
1	Zugkraftbedarf- Einzelgerät (Pflug/Grubber) bei schwerem Bodenbearbeitungswiderstand [kN/m]	21 *)	12 *)	12 *)				
2	Zugkraftbedarf bei verschiedenen Verfahren bei schwerem Bodenwiderstand [kN/m]	22		16	8	10 *)	12 *)	2
2	Bewertung	+++		++	+	++	++	+
3	Leistungsbedarf verschiedener Verfahren bei mittlerem Bodenwiderstand [kW/m]	41	30	30		40	48	18
3	Bewertung	+++	++	++		++	+++	+
4	Energiebedarf [kWh/ha]	65		25				5
4	Bewertung	+++		++				+
5	Kraftstoffverbrauch- Einzelgerät (Pflug/Grubber/ Häufelpflug /Direktsämaschine) bei mittlerem Bearbeitungswiderstand [l/ha]	23 (15-40)	9	9			22 *)	9
6	Kraftstoffverbrauch bei verschiedenen Verfahren [l/ha]	50		43 *)	21	33 *)	34 **)	6
6	Bewertung	+++		+++	++	++	++	+
7	Notwendiger Schardruck [kg] bei der Aussaat	8-13		> 25	40-250	> 25	> 25	bis 500
7	Bewertung	+		++	++	+	+	+++

7.1.2 Diskussion

Wie schon erwähnt, wurden die technischen Parameter Zugkraftbedarf [kN/m], der Leistungsbedarf [kW/m] der Kraftstoffverbrauch [l/ha] sowie der Schardruck [kg] in der (Tab. 75) einer qualitativen Beurteilung unterzogen.

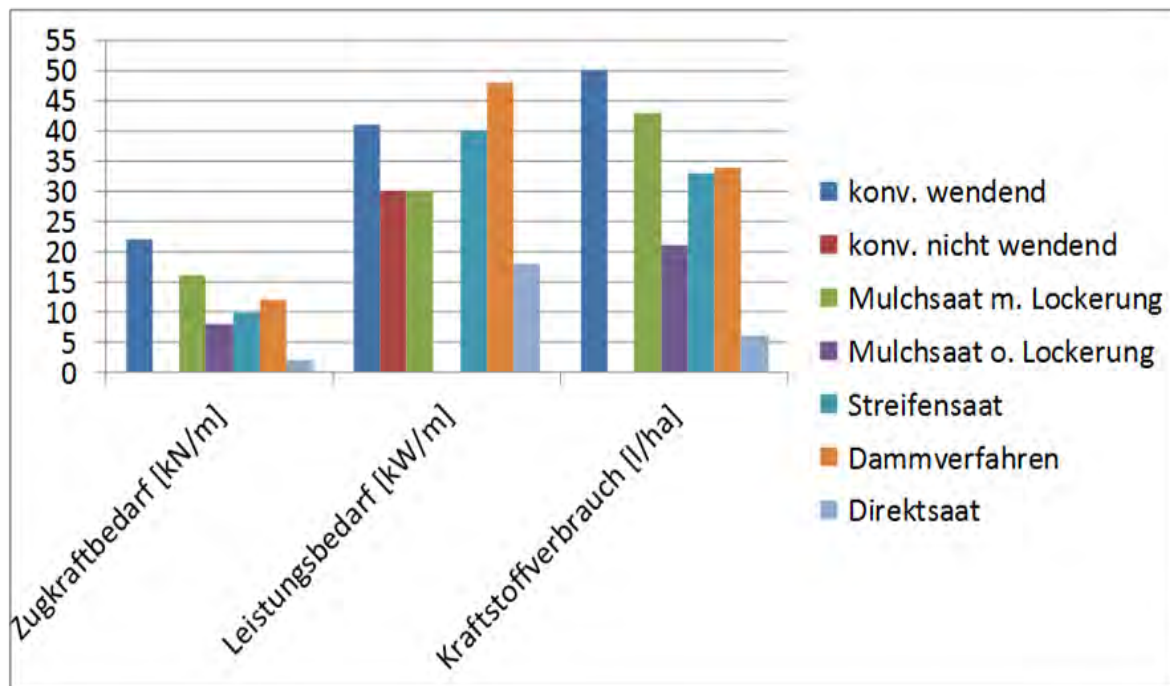


Abbildung 254: Ergebnisse der Parameter (Zugkraftbedarf, Leistungsbedarf, Kraftstoffverbrauch)

Aus der grafischen Auswertung in (Abb. 254) geht hervor, dass sich die Werte beim Zugkraftbedarf [kN/m] speziell bei der konventionell wendenden Bodenbearbeitung mit 22 kN/m im höheren Bereich befinden. Mittlere Werte ergeben sich bei der Mulchsaat mit Lockerung sowie beim Dammverfahren. Hingegen wird bei der Streifensaart, bei der Direktsaat und bei der Mulchsaat ohne Lockerung nur ein geringer Zugkraftbedarf [kN/m] benötigt (vgl.: BRUNOTTE et al., 2005,138). Beim Leistungsbedarf [kW/m] ergeben sich beim Dammverfahren, der Streifensaart und der konventionell wendenden Bodenbearbeitung relativ hohe Werte. Die Verfahren Mulchsaat mit Lockerung, Mulchsaat ohne Lockerung liegen beim Leistungsbedarf im mittleren Bereich und für die Direktsaat ist nur ein geringer Leistungsbedarf notwendig (vgl.: KTBL, 2005,147).

Die Auswertung der Ergebnisse für den Schardruck wird aufgrund der Skalierung in einem eigenen Diagramm dargestellt.

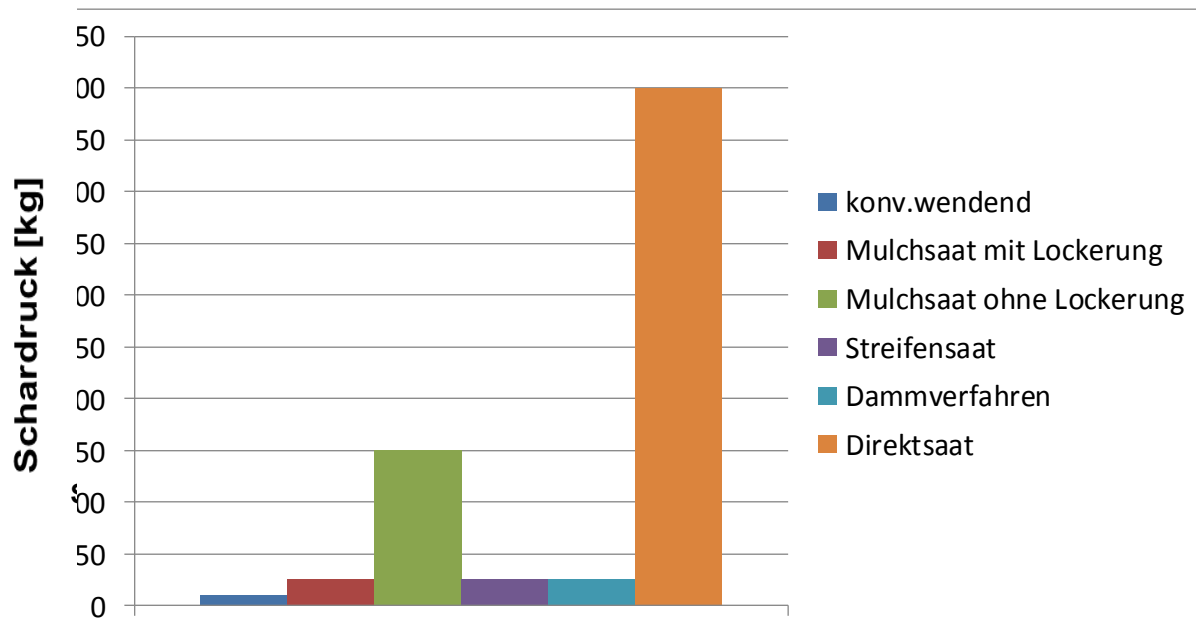


Abbildung 255: Ergebnisse zur Höhe des Schardrucks [kg] bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

In (Abb. 255) sind die Ergebnisse des Schardrucks bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung dargestellt. Bei der Direktsaat kann die Höhe des Schardrucks stark variieren, die Werte bewegen sich meist bei 250 kg, jedoch sind maximal bis zu 500 kg (z.B. Direktsaat von Mais in Grünlandnarbe) möglich. Bei der Mulchsaat ohne Lockerung liegt der Schardruck bei 150 kg im mittleren Bereich. Vergleichsweise geringe Werte ergeben sich für den Schardruck bei den Verfahren Mulchsaat mit Lockerung, der Streifensaart, dem Dammverfahren und bei der konventionell wendenden Bodenbearbeitung (vgl.: Prospektunterlagen diverser Firmen).

7.2 Ökologische Kriterien

7.2.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse der ökologischen Kriterien sind in (Tab. 76) zusammengefasst.

Erklärung:

- 1) Einteilung im deutschen Sprachraum unter Einbindung der amerikanischen Systematik Abb.2 (KÖLLER und LINKE, 2006)
- 2) Gemessene Jährliche Abträge 1994-2010 Tab.56 (Quelle: KLIK, BOKU, 2011) und *) terra Horsch 01/2010, 6
- 3) Gemessene Jährliche Abträge 1994-2010 Tab.56 (Quelle: KLIK, BOKU, 2011)
- 4) Gemessene Jährliche Abträge 1994-2010 Tab.56 (Quelle: KLIK, BOKU, 2011)
- 5) Gemessene Jährliche Abträge 1994-2010 Tab.56 (Quelle: KLIK, BOKU, 2011)
- 6) Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Humusgehalt und Humusmenge Tab.63, Bodenbearbeitung und Bodenschutz Teil 4, (Quelle:BOKU,LIEBHARD,2008)
- 7) Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf den Humusgehalt Tab. 64, Bodenbearbeitung und Bodenschutz Teil 4, (Quelle: BOKU, LIEBHARD, 2008)
- 8) Dieserverbrauch und CO₂-Ausstoß in kg (2008-2010) Abb. 240
- 9) Luftkapazität [%] von 16 Ackerschlägen Abb. 223 (WEYER,2008,39)
- 10) Tragfähigkeit Abb. 230 (WEYER, 2008,41)
- 11) Glyphosateinsatz-Pflugsystem-Direktsaat Abb. 241 (CHERVET et.al., LOP 1/ 2, 2013, 23ff).

Bewertung:

+ gering, ++ mittel, +++ hoch

Tabelle 76: Ökologische Kriterien für die Bewertung von Bodenbearbeitungssystemen

Kriterien		Konventionelle Bodenbearbeitung		Konservierende Bodenbearbeitung				
		wendend	nicht wendend	Mulchsaat mit Lockerung	Mulchsaat ohne Lockerung	Streifensaart	Dammverfahren	Direktsaat
1	Bodenbedeckung nach Saat	bis 15 % oder 560 kg/ha	15 - 30% oder 560-1120 kg/ha	15-30% oder 560-1120 kg/ha	> 30% oder >1120 kg/ha	> 30% oder > 1120 kg/ha	> 30% oder >1120 kg/ha	> 30% oder > 1120 kg/ha
1	Bewertung	+	++	++	+++	+++	+++	+++
2	Bodenabtrag [t/ha/a]	6,7		2,2		1,1 *)		1,1
2	Bewertung	+++		++		+		+
3	C _{org} -Verlust [kg/ha/a]	85		32				18
3	Bewertung	+++		++				+
4	N-Abtrag [kg/ha/a]	12		6,5				3,8
4	Bewertung	+++		++				+
5	P-Abtrag [kg/ha/a]	5		1,5				0,8
5	Bewertung	+++		++				+
6	Humusmenge [t/ha]	119,1		131,8				
6	Bewertung	++		+++				
7	Humusgehalt [%] (0-40 cm Bodentiefe)	3,81		3,95				4,0
7	Bewertung	++		++				++
8	CO ₂ -Ausstoß [kg] durch Dieselverbrauch [l/ha]	138 (44)		63 (20)				22 (7)
8	Bewertung	+++		++				+
9	Luftkapazität [%] (10-60 cm Bodentiefe im Ø)	22,5		22				24,3
9	Bewertung	++		++				++

Kriterien		Konventionelle Bodenbearbeitung		Konservierende Bodenbearbeitung				
		wendend	nicht wendend	Mulchsaat mit Lockerung	Mulchsaat ohne Lockerung	Streifensaart	Dammverfahren	Direktsaat
10	Tragfähigkeit des Bodens [kPa] (10-60 cm Bodentiefe im Ø)	79		100				84
10	Bewertung	++		+++				++
11	Herbizideinsatz [l/ha]	0 - 0,6						0,4 -3,7
11	Bewertung	+						++(+)

7.2.2 Diskussion

Für die Beurteilung der Bodenbearbeitungsverfahren aus ökologischer Sicht wurden die Parameter Bodenbedeckung nach der Saat in [kg] bzw. in [%], der Bodenabtrag in [t/ha/a], der Humusgehalt in [%] (bis 40 cm Bodentiefe), die C-org Verluste [kg/ha/a], der N-Abtrag [kg/ha/a], der P-Abtrag [kg/ha/a], der Herbizideinsatz [l/ha], die Humusmenge [t/ha], der CO₂-Ausstoß [kg] durch Dieselverbrauch, sowie die Tragfähigkeit des Bodens [kPa] (10-60 cm Bodentiefe) herangezogen.

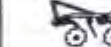
Bodenbearbeitungs- u. Bestellverfahren		Arbeitsabschnitte			Bodenbedeckung nach Saat	
		Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat		
Konventionelle Bodenbearbeitung	wendend		 oder 		bis 15% oder 560 kg/ha	
	nicht wendend		 oder 		15 - 30% oder 560 - 1120 kg/ha	
Konservierende Bodenbearbeitung	Mulchsaat nicht wendend	 oder 	 oder 		> 30 % oder > 1120 kg/ha	
			 oder 			
	Streifensaat streifenweise Lockerung bis 1/3 Reihenweite		 oder 			
	Direktsaat keine Bodenbearbeitung					

Abbildung 256: Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren in Abhängigkeit der Bodenbedeckung nach der Saat (Quelle: LOIBL und KÖLLER, 2006)

Wie aus (Abb. 256) hervorgeht, ist der Bodenbedeckungsgrad nach der Ernte, bei den Verfahren Mulchsaat ohne Lockerung, der Streifensaart, dem Dammverfahren und der Direktsaat mit mehr als 30 % beziehungsweise 1120 kg/ha an Bodenbedeckungsgrad am höchsten. Diese Verfahren werden nach LOIBL und KÖLLER (2006) zur konservierenden Bodenbearbeitung gerechnet. Bei der konventionellen Bodenbearbeitung wird hingegen zwischen einer Bodenbearbeitung mit Lockerung und jener ohne Lockerung unterschieden. Für ersteres liegen die Werte für den Bodenbedeckungsgrad zwischen 0-15% oder 560 kg/ha und bei letzterem zwischen 15-30% bzw. 560 kg/ha bis 1120 kg/ha.

In (Abb. 257) werden die Ergebnisse des Bodenabtrages [t/ha/a] und des Humusgehaltes [%] bei (0-40 cm) Bodentiefe bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung dargestellt.

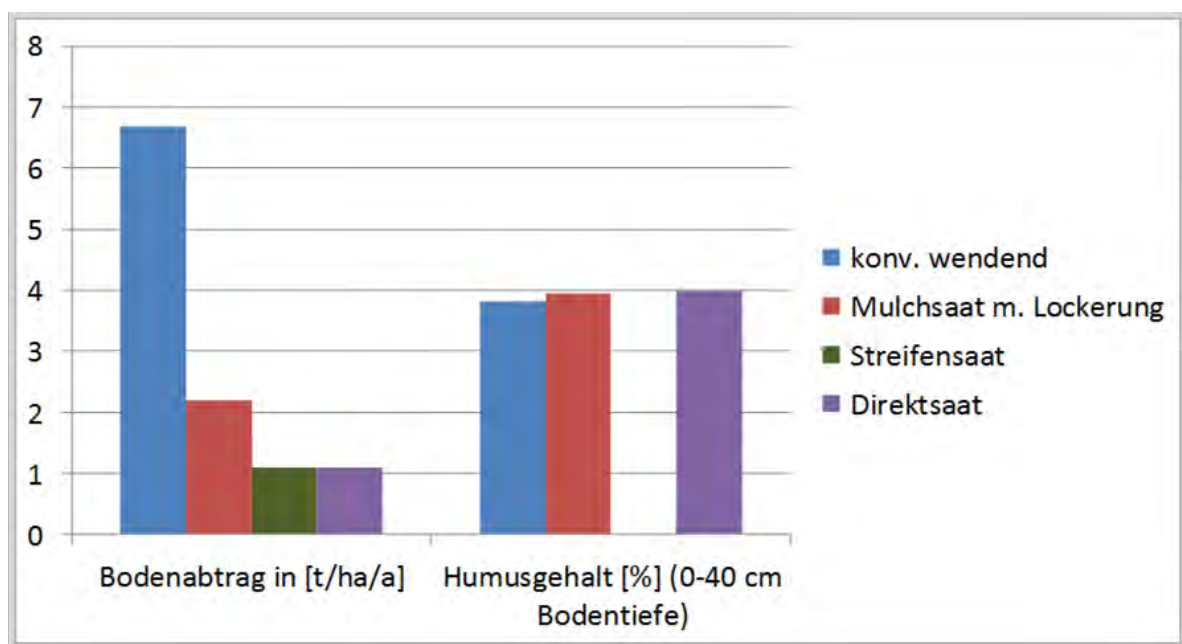


Abbildung 257: Bodenabtrag[t/ha/a] und Humusgehalt [%] bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung
 (Quelle: KLIK,BOKU,2011) (Quelle:LIEBHARD,BOKU,2008)

Bei der konventionellen wendenden Bodenbearbeitung ist der Bodenabtrag mit 6,8 [t/ha/a] relativ hoch. Bei der Mulchsaat mit Lockerung liegt der Bodenabtrag mit 2,2 [t/ha/a] im mittleren Bereich und vergleichsweise gering ist der Bodenabtrag mit jeweils 1,1 [t/ha/a] bei der Streifensaart sowie der Direktsaat (vgl.: KLIK, 2011).

Beim Humusgehalt [%] bei (0-40 cm Bodentiefe) liegen die Werte für die Direktsaat bei 4 %, bei der Mulchsaat mit Lockerung bei 3,9 % sowie bei der konventionell wendenden Bodenbearbeitung bei 3,8% (vgl.: LIEBHARD, 2008).

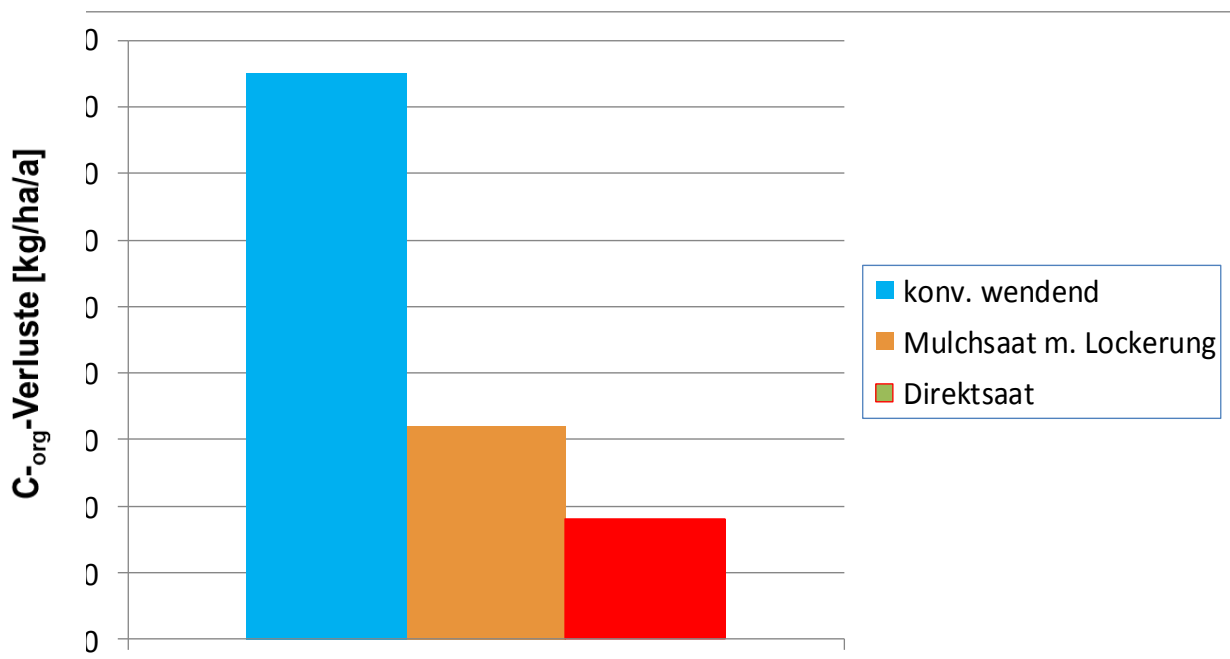


Abbildung 258: C-org Verluste [kg/ha/a] bei verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren
(Quelle: KLIK, BOKU, 2011)

In (Abb. 258) sind die Ergebnisse der C-org-Verluste von unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren dargestellt. Für die konventionell wendende Bodenbearbeitung ergeben sich C-org -Verluste von 85 kg/ha, für die Mulchsaat mit Lockerung 32 kg/ha und für die Direktsaat 18 kg/ha (vgl.: KLIK, 2011).

Die Auswertung der Ergebnisse für den N-Abtrag [kg/ha/a] und den P-Abtrag [kg/ha/a] sind in (Abb. 259) dargestellt.

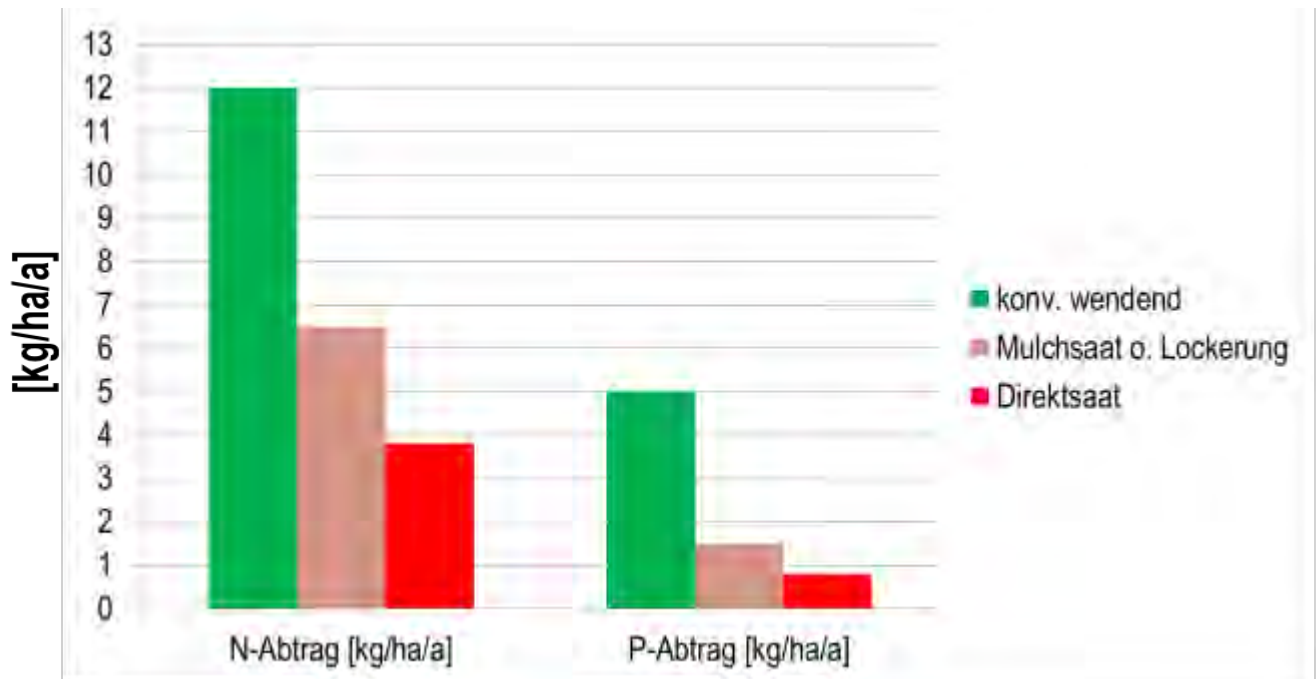


Abbildung 259: N-Abtrag [kg/ha/a] und P-Abtrag [kg/ha/a] bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung
(Quelle: KLIK, BOKU, 2011)

In (Abb. 259) ist klar zu sehen, dass bei konventionell wendender Bodenbearbeitung die Werte sowohl beim N-Abtrag als auch bei P-Abtrag relativ hoch sind. Bei der Mulchsaat ohne Lockerung liegen die Abträge von Stickstoff und Phosphor im mittleren Bereich und bei der Direktsaat sind die Werte der Abträge relativ gering (vgl.: KLIK, 2011)

Ein deutlicher Unterschied ist beim Einsatz von Pflanzenschutzmittel im speziellen von Herbiziden erkennbar. Der Herbizidaufwand in [l/ha] bei konventionell wendender Bodenbearbeitung und Direktsaat ist in (Abb. 260) dargestellt.

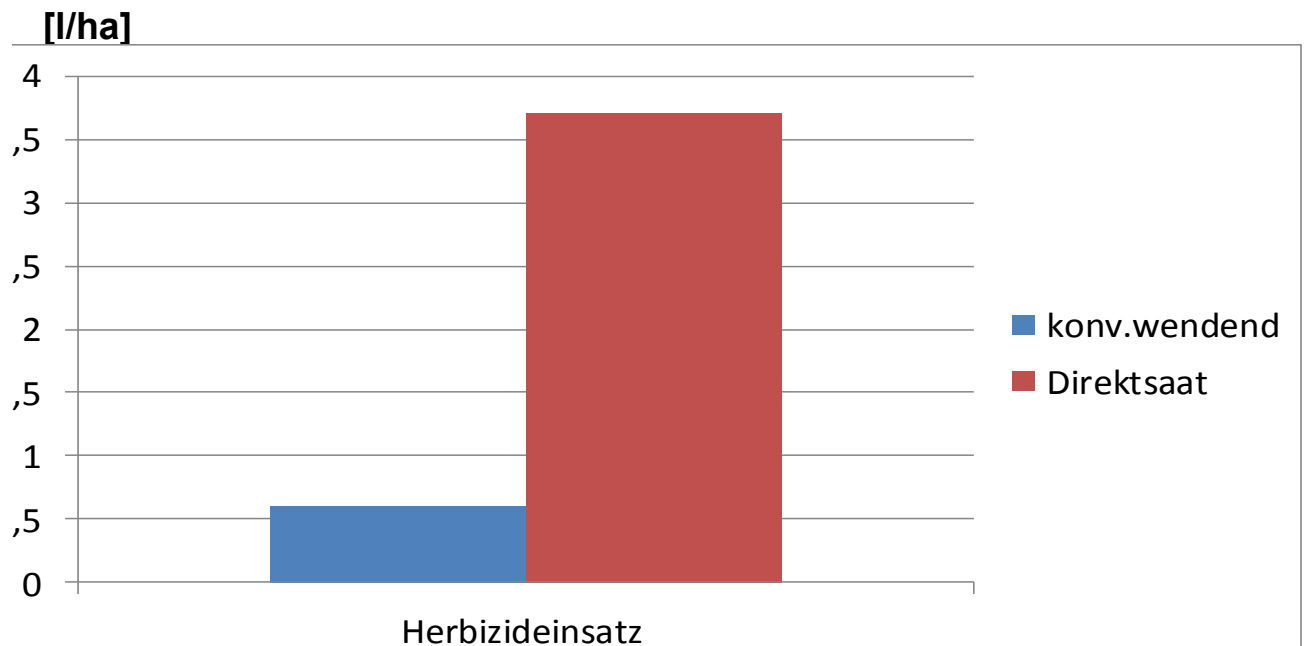


Abbildung 260: Herbizideinsatz [l/ha] bei konventionell wendender Bodenbearbeitung und Direktsaat
(Quelle: CHERVET et.al., 2013, 23ff).

Ein signifikanter Unterschied ist beim Herbizidaufwand [l/ha] zwischen konventionell wendender Bodenbearbeitung und Direktsaat zu erkennen. Während der Herbizidaufwand bei konventionell wendender Bodenbearbeitung mit 0,6 l/ha relativ gering ist, ist dieser bei der Direktsaat mit bis zu 3,7 l/ha vergleichsweise relativ hoch. Die Unterschiede lassen sich dadurch erklären, dass bei der konventionell wendenden Bodenbearbeitung durch den Einsatz des Pfluges die Unkrautproblematik relativ gut gelöst werden kann, hingegen bei der Direktsaat durch Ausbleiben von Bodenbearbeitung der Unkrautdruck sehr hoch ist (vgl.: CHERVET et al., 2013, 23ff).

In (Abb. 261) werden die Ergebnisse der Humusmenge in [t/ha], der CO₂-Ausstoß [kg] durch Dieselverbrauch [l/ha], sowie die Tragfähigkeit des Bodens [kPa] in (10-60cm) Bodentiefe dargestellt.

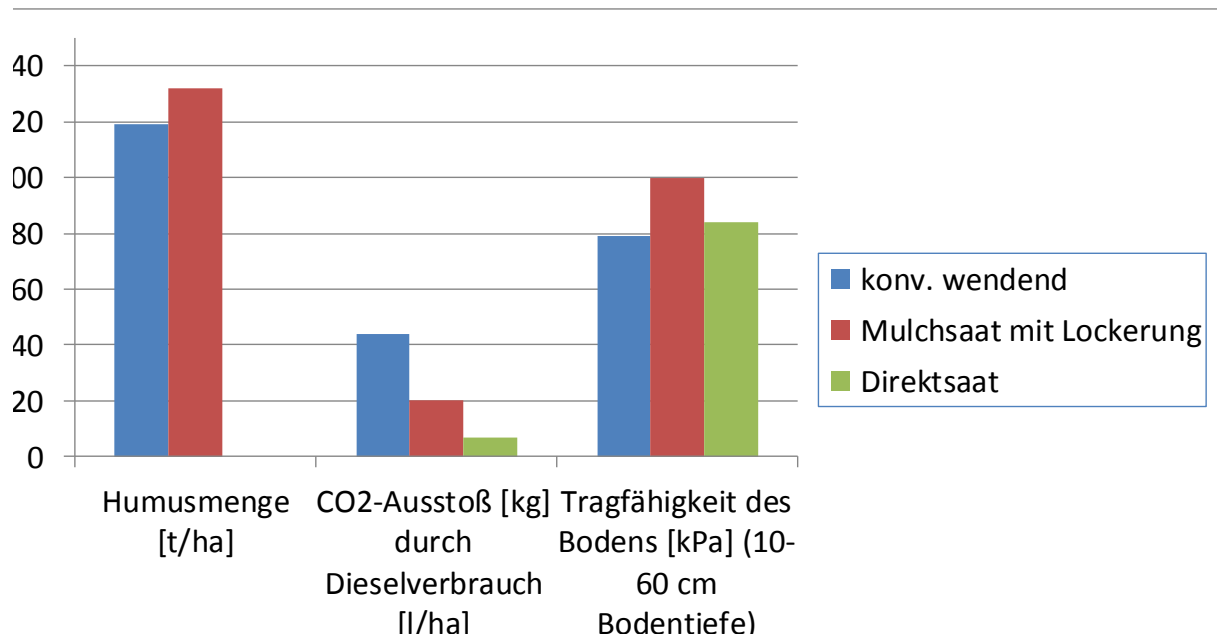


Abbildung 261: Humusmenge [t/ha], CO₂-Ausstoß [kg] durch Dieselverbrauch [l/ha] und die Tragfähigkeit [kPa] (10-60cm) Bodentiefe

Für die Humusmenge [t/ha] ergeben sich bei Mulchsaat mit Lockerung 131,8 t/ha und bei der konventionell wendenden Bodenbearbeitung 119,1 t/ha (vgl.: LIEBHARD, 2008). Das Verfahren konventionell wendend weist in Bezug auf den CO₂-Ausstoß [kg] durch Dieselverbrauch [l/ha] mit 138 kg CO₂ und 44 l/ha Treibstoff die höchsten Werte auf. Hingegen bewegen sich bei der Mulchsaat mit Lockerung die Werte im mittleren und bei der Direktsaat im Minimalbereich (vgl.: ROSNER, 2011,39).

In Bezug auf die Tragfähigkeit des Bodens [kPa] bei (10-60 cm) Bodentiefe, ist diese beim Verfahren Mulchsaat mit Lockerung mit 100 [kPa] am höchsten, gefolgt von der Direktsaat mit 84 [kPa] und der konventionell wendenden Bodenbearbeitung mit 79 [kPa] (vgl.: WEYER, 2008,41).

7.3 Ökonomische Kriterien

7.3.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse der ökonomischen Kriterien sind in (Tab. 77) zusammengefasst.

Erklärung: 1-5) Maschinen- und Arbeitserledigungskosten Tab. 72,73,74

Bewertung: +gering, ++ mittel, +++ hoch

Tabelle 77: Ökonomische Kriterien für die Bewertung von Bodenbearbeitungssystemen

Kriterien		Konventionelle Bodenbearbeitung		Konservierende Bodenbearbeitung				
		wendend	nicht wendend	Mulchsaat mit Lockerung	Mulchsaat ohne Lockerung	Streifensaart	Dammverfahren	Direktsaat
1	Arbeitskraftbedarf für das Verfahren [Akh/ha] Dreischeibenschar-Direktsäm. Streifenfrässämaschine Grubbersämaschine Striger KUHN	3,0	0,75			1,2 0,42 1,05	0,8	0,9
1	Bewertung	+++	+			++ + ++	+	+
2	Technische Leistung Bodenbearbeitung [ha/h] Dreischeibenschar-Direktsäm. Streifenfrässämaschine Grubbersämaschine Striger KUHN	1,66	0,6			0,9 2,4 2,8	5,0	2,0
2	Bewertung	++	+			+ +++ +++	+++	+++
3	Maschinenkosten [€/ha] Dreischeibenschar-Direktsäm. Streifenfrässämaschine Grubbersämaschine Striger KUHN	185,03	174,15			104,51 88,23 75,4	101,39	62,36
3	Bewertung	+++	+++			+++ ++ +	+++	+
4	Arbeitskosten [€/ha] Dreischeibenschar-Direktsäm. Streifenfrässämaschine Grubbersämaschine Striger KUHN	24,90	9,0			18,0 6,3 15,75	12,0	13,5
4	Bewertung	+++	+			++ + ++	++	++
5	Verfahrenskosten [€/ha] Dreischeibenschar-Direktsäm. Streifenfrässämaschine Grubbersämaschine Striger KUHN	209,93	183,15			122,51 94,53 91,15	113,39	75,87
5	Bewertung	+++	+++			++ + +	++	+

7.3.2 Diskussion

Für die ökonomische Bewertung der Bodenbearbeitungsverfahren, dienen als Berechnungsgrundlage die ÖKL-Richtwerte von 2012. Die Gesamtkosten [€/ha] setzen sich aus den Fixkosten, den variablen Kosten und den Mannkosten zusammen. Der Neuwert ergibt sich aus dem Listenpreis, das ist der Preis ohne Mehrwertsteuer [€].

Die Kalkulation der Fixkosten beinhaltet die Abschreibung (Afa), den Zinsanspruch und die Versicherung und Unterbringung (in Abhängigkeit von den Einsatzstunden pro Jahr).

Die Kalkulation der variablen Kosten setzt sich aus den Reparatur, den Treibstoff und Schmiermittelkosten zusammen. Die Akh ist mit 15 € in das jeweilige Verfahren einkalkuliert.

In (Abb. 262) sind die Ergebnisse des Arbeitskraftbedarfs [Akh/ha] und der technischen Leistung [ha/h] dargestellt. Es wird deutlich, dass für das konventionell wendende Verfahren mit 3 Akh/ha der Arbeitskraftbedarf am höchsten ist. Bei den anderen angegebenen Verfahren liegt dieser im mittleren Bereich. Die technische Leistung ist mit 5 ha/h im Vergleich zu den anderen Verfahren ebenfalls auffallend hoch.

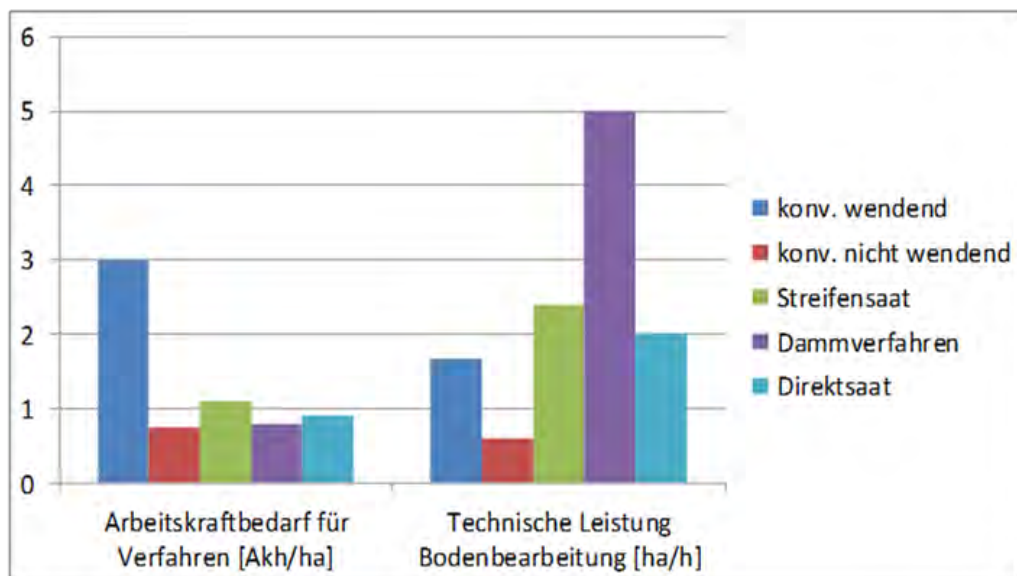


Abbildung 262: Arbeitskraftbedarf [Akh/ha] und Technische Leistung [ha/h] von Verfahren
(Quelle: ÖKL-Richtwerte 2012)

Der ökonomische Teil der Arbeit wird durch eine Modellrechnung, welche sieben verschiedene Bodenbearbeitungssysteme umfasst, abgerundet.

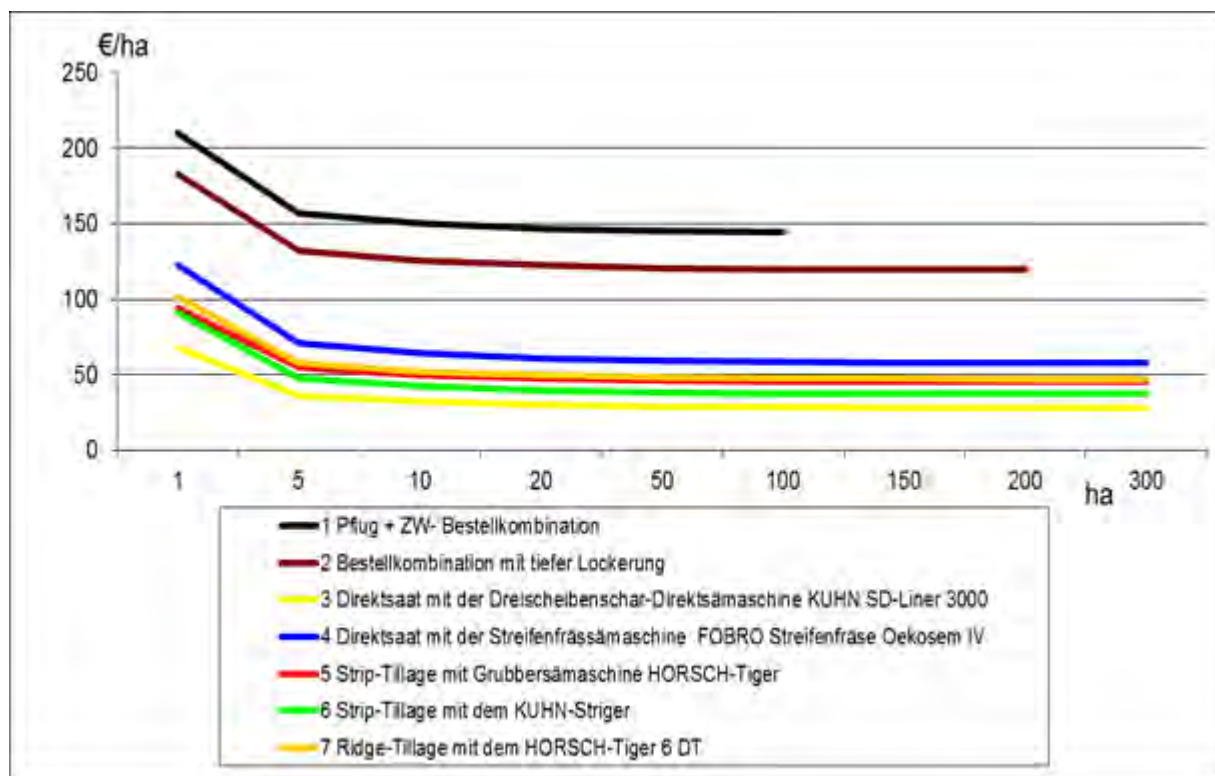


Abbildung 263: Grafik der Maschinenkosten von unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen in Abhängigkeit von der jährlichen Bestellfläche in €/ha

In (Abb. 263) sind die Daten der durchgeführten Modellrechnung von verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen grafisch dargestellt. So werden in der Modellrechnung bei der konventionellen Bodenbearbeitung mit dem Pflug + ZW-Bestellkombination 209 €/ha ermittelt. Hingegen ergeben sich beim konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren mit der Bestellkombination mit tiefer Lockerung 184 €/ha, für die Direktsaat mit der Dreischiebenschar-Direktsämaschine 76 €/ha, für die Direktsaat mit der Streifenfrässämaschine 123 €/ha. Für die konservierenden Verfahren Strip-Tillage mit der Grubbersämaschine HORSCH-Tiger wurden 95 €/ha, für das Verfahren Strip-Tillage mit dem KUHN-Striger ohne RTK-Lenkautomat 91 €/ha, mit einem RTK Lenkautomat 100 €/ha *) errechnet. Für das Bodenbearbeitungsverfahren ridge tillage (Dammverfahren) mit dem HORSCH Tiger 6 DT mit RTK-Lenkautomat ergibt sich ein Wert von 113 €/ha.

*) im Diagramm Abb. 263 nicht enthalten

Die Mannkosten wurden eingerechnet, die Nebenzeiten sind der Einfachheit halber nicht berücksichtigt.

Die Kostenunterschiede für eine bestimmte Fläche ergeben sich vor allem aus dem unterschiedlichen Bedarf an Traktorstunden pro Hektar. So werden in der Modellrechnung bei der Bodenbearbeitung mit dem Pflug- im günstigen Fall- 2,5 Stunden pro Hektar benötigt, wodurch Traktorkosten in der Höhe von 108 €/ha entstehen, während bei der Direktsaat mit der Dreischebenschar-Direktsämaschine aufgrund des geringen Zeitbedarfs (0,9 h/ha) und der kleineren Traktoren nur 24 €/ha anfallen.

Werden Maschinen mit höherer Flächenleistung eingesetzt, oder die Traktoren stärker ausgelastet, so verringern sich die Unterschiede, d.h. auf Großbetrieben sind die möglichen Maschinenkosteneinsparungen durch Direktsaat geringer.

Durch die hohe Flächenleistung der Direktsaatmaschinen kann bei einer gegebenen Zeitspanne in Direktsaat eine wesentlich größere Fläche eingesät werden. Dadurch werden der Maschinenneuwert pro Hektar und damit die Festkosten pro Hektar drastisch gesenkt. Wird beispielsweise eine verfügbare Zeitspanne von 250 Stunden pro Jahr für Bodenbearbeitung und Saat angenommen, so ergibt sich mit den Daten der oben genannten Modellrechnung für die Bodenbearbeitung mit Pflug eine mögliche Einsatzfläche von 100 ha. Der Maschinenneuwert für Bodenbearbeitung und Saat beträgt dann 1236 €/ha. In Direktsaat mit der Dreischebenschar-Direktsämaschine können in dieser Zeit 500 ha gesät werden, so dass der Maschinenneuwert pro Hektar hier nur noch 173 € beträgt. Auch wenn angenommen wird, dass auch zu Bedingungen gepflügt werden kann, bei denen keine Direktsaat möglich ist, bleibt ein großer Kostenvorteil bestehen. Die Maschinenkosten für Bodenbearbeitung und Saat werden allerdings entscheidend von der betrieblichen Situation bestimmt. Die in der Modellrechnung aufgezeigten Maschinenkostenvorteile für Direktsaat gelten für Neuinvestitionen, das heißt die vorhandene Technik muss ersetzt bzw. kann zum Zeitwert verkauft werden. Auf vielen Betrieben sind aber Maschinen für Bodenbearbeitung mit Pflug vorhanden, die bereits abgeschrieben, jedoch noch voll funktionsfähig sind. Durch eine Verringerung der Bodenbearbeitungsintensität wird vor allem Arbeit eingespart und die Arbeitsproduktivität erhöht. Es sollte aber berücksichtigt werden, dass die Anforderungen an die Qualifikation der Arbeitskraft (Betriebsleiter) mit zunehmender Flexibilisierung der Bodenbearbeitung und abnehmender Bodenbearbeitungsintensität

deutlich ansteigen. Dies drückt sich in der Regel auch in den Lohnkosten aus. In Betrieben ohne Fremdarbeitskräfte werden die Kosteneinsparungen durch den verringerten Arbeitsbedarf durch die Nutzungskosten für Arbeit bestimmt. Nutzungskosten für Arbeit fallen immer dann an, wenn die frei werdende Arbeitskraft gewinnbringend genutzt werden kann. Dies kann beispielsweise durch eine Vergrößerung der Ackerfläche oder einer Intensivierung der Tierhaltung geschehen. Die Spezialkosten für Saatgut, Dünger und Pflanzenschutz, aber auch für Transport und Versicherung, werden durch die Bodenbearbeitung meist nur in geringem Umfang beeinflusst. Bei konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat können allerdings, vor allem in der Anfangsphase, höhere Kosten im Pflanzenschutzbereich auftreten, da zum Teil teure Spezialherbizide benötigt werden. Auch die Erntekosten sind in der Regel unverändert. Bei Direktsaat wurde auf einigen Standorten festgestellt, dass der Feuchtegehalt des Erntegutes im Mittel etwas höher ist. Mehrkosten diesbezüglich entstehen vor allem bei Körnermais. Allgemeine Aussagen zum Strohmanagement in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem sind nicht möglich. Die Kosten können nur betriebsspezifisch durch eine genaue Analyse der Bedingungen und Vorgehensweisen ermittelt werden. Erhebliche, zusätzliche Kosten können durch Maschienschleiß und Bruch auf steinigem und flachgründigen Böden, aber auch auf einigen speziellen Sandböden, verursacht werden. Auf solchen Standorten sind durch eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität erhebliche Kosteneinsparungen möglich.

8 Zusammenfassung

In der vorliegenden Masterarbeit „Beschreibung von Bodenbearbeitungsverfahren anhand von technischen, ökologischen und ökonomischen Kriterien—werden die unterschiedlichen Systematiken der Einteilung von Bodenbearbeitungsverfahren ausführlich beschrieben. Anhand der durchgeführten Literaturrecherche wurde deutlich, dass für die Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren neben der Intensität der Bearbeitung des Bodens vor allem auch die Menge der Mulchauflage nach der Saat in % bzw. in kg/ha von großer Bedeutung sind. Demnach liegen die Grenzen für den Bodenbedeckungsgrad nach der Saat bei konventioneller Bodenbearbeitung (wendend) bei 15% oder 560 kg/ha, bei konventioneller (nicht wendend) zwischen 15-30% oder 560-1120 kg/ha. Damit ein Verfahren als konservierend gilt, sind ein Bodenbedeckungsgrad von mindestens 30% beziehungsweise 1120 kg/ha erforderlich.

Einen wesentlichen Bestandteil der Arbeit nahm die Entwicklung eines Kriterienkataloges ein, welcher wichtige Parameter aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht beinhaltet. Die Daten für die Erstellung des Kriterienkataloges stammen aus praktischen Erfahrungen und wissenschaftlichen Untersuchungen. Die erhobenen Daten wurden anschließend einer qualitativen Bewertung, welche sich von gering, mittel bis hoch beläuft unterzogen. Bei den ausgewählten Parametern für die technischen Kriterien weist die konventionelle Bodenbearbeitung (wendend), beim Zugkraftbedarf [kN/m], dem Leistungsbedarf [kW/m], dem Energiebedarf [kWh/ha] und dem Kraftstoffverbrauch im Vergleich zu den konservierenden Verfahren sehr hohe Werte auf. Hingegen ist der notwendige Schardruck [kg] bei der Aussaat, bei Direktsaat mit bis zu 500 kg sehr hoch, während er beim konventionellen (wendend) Verfahren mit 8-13 kg/ha vergleichsweise gering ausfällt.

Bei der Bildung des Kriterienkataloges aus ökologischer Sicht wurde vor allem auf die Auswirkungen des jeweiligen Bodenbearbeitungsverfahrens in Bezug auf den Bodenbedeckungsgrad in % oder kg/ha, den Bodenabtrag in [t/ha/a], C_{org} -Verlust [kg/ha], den N-Abtrag [kg/ha/a], den P-Abtrag [kg/ha/a], die Humusmenge [t/ha], den Humusgehalt [%], den CO_2 – Ausstoß [kg] durch Dieselverbrauch [l/ha] und die Luftkapazität in [%] Wert gelegt. Bei der qualitativen Beurteilung wurde deutlich, dass die konventionelle Bodenbearbeitung besonders bei dem Parameter Bodenbedeckung

nach der Saat sehr niedrige Werte aufweist, während sich bei der Humusmenge, dem Humusgehalt und bei der Luftkapazität die Werte im mittleren Bereich befinden.

Für die Betrachtung der Bodenbearbeitungsverfahren aus ökonomischer Sicht wurde eine Modellrechnung zu Maschinen und Arbeitserledigungskosten [€/ha] durchgeführt und die Kostenunterschiede von sechs verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen in einem Diagramm grafisch dargestellt. Ausschlaggebend für den Kostenunterschied zwischen den Verfahren ist vor allem der unterschiedliche Bedarf an Traktorstunden pro Hektar. So werden in der Modellrechnung bei der konventionellen Bodenbearbeitung mit dem Pflug + Zapfwellenkombination inklusive Mannkosten 209 €/ha ermittelt. Hingegen ergeben sich beim konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren mit einer Bestellkombination mit tiefer Lockerung 183 €/ha, bei der Direktsaat mit der Dreischeibenschar-Direktsämaschine 76 €/ha, mit der Streifenfrässämaschine 123 €/ha. Für die konservierenden Verfahren mit der Grubbersämaschine HORSCH wurden 95 €/ha, für den KUHN Striger 91 €/ha errechnet. Für das Bodenbearbeitungsverfahren ridge tillage (Dammverfahren) mit dem HORSCH Tiger 6 DT ergibt sich ein Wert von 114 €/ha.

Entscheidend bei der Auswahl des optimalen Bodenbearbeitungsverfahrens sind neben den Erkenntnissen aus der Praxis und der Wissenschaft vor allem auch die Faktoren, Bodenart, die Niederschlagsmenge, die Arbeitszeit, die Komplexität des Betriebes sowie das Fachwissen, die Erfahrung und der Mut des Betriebsleiters.

Abstract

In the present thesis —Description of tillage practices on the basis of technical, environmental and economic criteria”, the different classifications of tillage methods are described in detail. Based on the conducted literature review it became clear that for the classification of tillage practices in addition to the intensity of the cultivation of the soil, especially the amount of mulch after planting in percent or in kilograms per hectare are of great importance. Thus, the limits for the degree of soil cover after planting in conventional tillage (turning) at 15 percent or 560 kilograms per hectare, in conventional tillage (not turning) of between 15 and 30 percent or 560 to 1120 kilograms per hectare. Thus, a method is considered as a conservation tillage system, a soil cover of at least 30 percent, or 1120 kilograms per hectare are required. A major part of the work took the development of a catalog of criteria, which involves important parameters of technical, ecological and economic point of view. The data for the compilation of the list of criteria derived from practical experience and scientific research. The data were then subjected to a qualitative assessment, which underwent from low, medium to high amounts. Among the selected parameters for the technical criteria, the conventional tillage system (turning), the draft requirement [kN/m], the power requirement [kW/m], the energy demand [kWh/ha] and the fuel consumption compared to the conservative method have very high values. In contrast, the necessary coulter pressure [kg] is at sowing in direct seeding with up to 500 kilograms very high, while method with 8-13 kilograms per hectare comparably low in conventional (turning). In forming the list of criteria from an environmental perspective was primarily due to the impact of each tillage method with respect to the degree of soil cover percentage or kilograms per hectare, the soil loss in tons per hectare per year, the carbon loss in kilograms per hectare, the nitrogen removal in kilograms per hectare per year, the amount of humus in tonnes per hectare, the humus content in percent, the Carbondioxygen emissions in kilograms by diesel fuel consumption in liters per hectare and the air capacity in percentage. In the qualitative assessment it became clear that the conventional tillage has particularly at the parameters land cover after sowing very low values, while they are in the amount of humus, humus content and the air capacity values in the middle. For the consideration of tillage practices from an economic perspective, a model calculation for machinery and labor costs [€/ha] was performed and shown the differences in costs of six different tillage systems graphically in a diagramm.

The main reason for the cost difference between the methods is mainly the different needs for tractor hours per hectare. To be determined in the model calculation in the conventional tillage with the plough and the PTO combination including man costs of 209 €/ha. In contrast arise when conservation tillage method with a drill combination with deep loosening 183 €/ha, in the no- tillage with the three disc share 75 € direct seed per hectare, with the strip till machine 122 €/ha. For the conservation tillage system with the cultivator seeder machine were calculated 94 €/ha and for the KUHN-Striger 91 €/ha. For the ridge tillage practice system with the HORSCH-Tiger 6 DT the result is 113 €/ha.

Deciding factors in choosing the optimal tillage method in addition to the cognitions of the practice and science in particular, the factors of soil type, rainfall, working time, the complexity of the operation, as well as the expertise, experience and the courage of the manager.

9 Weiterer Forschungsbedarf

In dieser Masterarbeit wurden die einzelnen Bodenbearbeitungsverfahren aus technischer, ökologischer und ökonomischer Hinsicht umfassend beschrieben. Bei der Bearbeitung der einzelnen Parameter der drei verschiedenen Kriterien ergab die Literaturrecherche, dass bei einzelnen Parametern noch Ergebnisse aus dem Versuchswesen ausständig sind. In Bezug auf die ökologischen Kriterien wären bei den aufgestellten Parametern für den Vergleich der Verfahren auch noch Ergebnisse beim Dammverfahren bzw. bei der Streifensaat von Bedeutung. Bei der Bearbeitung des Pflanzenschutzmittelaufwandes konnten in der Literatur nur Ergebnisse zum Herbizidaufwand bei konventioneller Bodenbearbeitung und Direktsaat gefunden werden, jedoch wären auch Ergebnisse zum Fungizideinsatz wertvoll, da die Pilzproblematik speziell bei der Direktsaat ein Thema ist.

Die Beurteilung der Bodenbearbeitungsverfahren aus ökonomischer Sicht konnte aufgrund der durchgeführten Modellrechnung in Anlehnung an die ÖKL—Richtwerte 2012 gut abgedeckt werden

In Bezug auf die unterschiedlichen Systematiken von Bodenbearbeitungsverfahren könnte noch weiter gearbeitet werden. Beispielsweise könnte die Abbildung nach LOIBL und KÖLLER (2006) um das Dammverfahren, welches auch zu den konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren zählt, erweitert werden.

10 Tabellenanhang

Tabelle 78: Berechnungen zu verschiedenen Maschinenkonzepten

Berechnungen zu verschiedenen Maschinenkonzepten für Bodenbearbeitung u. Aussaat: VÄDERSTAD - 2012							
VF	AB m	V km/h	Effizienz faktor *	Kapazität ha/h	h/ha	Leistung kW/PS	Diesel l/ha
1 Pflugsystem für schwere Böden:							
7-Schar-Pflug	3,2	8	0,55	1,4	0,71	173/235	19,3
Crosskillwalze mit Schleppbalken							
Rexius 1020	10,2	10	0,75	7,7	0,13	184/250	5,1
Kulturegge NZA 1000	10	12	0,75	9	0,11	205/280	4,9
Sämaschine RDA 600S	6	12	0,6	4,3	0,23	198/270	7,9
					1,18		37,2
2 Pflugsystem für mehr Leistung:							
7-Schar-Pflug	3,2	8	0,55	1,4	0,71	173/235	19,3
Discs u. Crossboard mit							
Gummi-od. Stahlringwalze							
Carrier 650 CB	6,5	12	0,75	5,9	0,17	210/285	7,7
Sämaschine RDA 600S	6	12	0,6	4,3	0,23	198/270	7,9
					1,11		27,2
3 Pflugsystem für leichten Böden:							
7-Schar-Pflug	3,2	8	0,55	1,4	0,71	173/235	19,3
Discs u. Crossboard mit							
Gummi-od. Stahlringwalze							
Carrier 650 CB	6,5	12	0,75	5,9	0,17	210/285	7,7
Sämaschine Spirit 600	6	12	0,6	4,3	0,23	198/270	7,9
					1,11		34,9
4 Pflugsystem - extensive Verfahren:							
4-Schar-Pflug	1,85	8	0,55	0,8	1,23	100/135	19,2
Kurzscheibenegge mit Sämaschine							
Carrier Drill 300							
1x Überfahrt mit Disc u. Crossboard	3,0	12	0,6	2,2	0,46	96/130	7,6
1x Überfahrt mit BB und Aussaat	3	12	0,6	2,2	0,46	96/130	7,6
					2,15		34,4
5 Für große Strohmenen:							
Kurzscheibenegge gez. Carrier 650 -	6,5	12	0,75	5,9	0,17	210/285	7,7
Grubber- Cultus 420	4,2	10	0,7	2,9	0,34	185/250	12,5
Sämaschine- Rapid RDA 600S	6	12	0,6	4,3	0,23	200/270	7,9
					0,74		28,1
6 bei wenig Zeit auf schweren Böden:							
Disc + Zinken (tief), Top Down 400	4	10	0,7	2,8	0,36	185/250	13,1
Spritze	24	11	0,7	18,5	0,05	110/150	1,2
Sämaschine Rapid RDA 600 - S	6	12	0,6	4,3	0,23	200/270	7,9
					0,64		22,2
7 bei schweren Böden:							
Grubber (flach) Top Down 400	4	10	0,7	2,8	0,36	184/250	13,1
Grubber (tief) Top Down 400	4	10	0,7	2,8	0,36	184/250	13,1
Sämaschinen Rapid RDA 600S	6	12	0,6	4,3	0,23	200/270	7,9
					0,95		34,1
8 für leichte Böden:							
Grubber (flach)- Cultus 420	4,2	10	0,7	2,9	0,34	185/250	12,5
Grubber (tief)- Cultus 420	4,2	10	0,7	2,9	0,34	185/250	12,5
Sämaschine- Spirit 600	6	12	0,6	4,3	0,23	200/270	7,9
					0,91		32,9

Tabelle 79: Berechnungen zu verschiedenen Maschinenkonzepten

Berechnungen zu verschiedenen Maschinenkonzepten für Bodenbearbeitung u. Aussaat:							
VÄDERSTAD - 2012		AB	V	Effizienz	Kapazität	Leistung	Diesel
VF		m	km/h	faktor *	ha/h	h/ha	l/ha
	Flache Bodenbearbeitung:						
9	für schwere Böden u. viel Stroh						
	Scheibenegge, gez.(2-5 tief)-Carrier 650	6,5	12	0,75	5,9	0,17	210/285
	Spritze	24	11	0,7	18,5	0,05	110/150
	Sämaschine- Rapid RDA 600S	6	12	0,6	4,3	0,23	200/270
						0,45	16,8
10	für leichte Böden						
	Scheibenegge, gez. Carrier 650	6,5	12	0,75	5,9	0,17	210/285
	Grubber Cultus CS 420	4,2	10	0,7	2,9	0,34	184/250
	Sämaschine - Spirit 600	6	12	0,6	4,3	0,23	200/270
						0,74	28,1
11	für ein reduziertes Maschinenkonzept						
	1 x Scheibenegge Samaschinen-						
	kombination-Carrier Drill CRD 300	3	12	0,6	2,2	0,46	100/130
	2 x Carrier Drill CRD 300	3	12	0,6	2,2	0,46	100/130
	ev. 3 x Carrier Drill CRD 300	3	12	0,6	2,2	0,46	100/130
						1,38	22,8
	für Direktsaat						
12	konsequente Direktsaat						
	Feldspritze	24	11	0,7	18,5	0,05	110/150
	Direktsämaschine Seed Hawk	6	9	0,7	3,8	0,26	110/150
						0,31	7,8
13	flexibles Verfahren						
	Feldspritze	24	11	0,7	18,5	0,05	110/150
	Sämaschine mit Scheibeneggen-						
	elementen Rapid RDA 600S -	6	12	0,6	4,3	0,23	200/270
						0,28	9,1

*) Der Effizienzfaktor berücksichtigt den Straßentransport, Überlappungen bei der Feldarbeit und das Wenden am Feldende.

**) Die Kapazität [h/ha] wird berechnet:

$$\text{Arbeitsbreite [m]} * \text{Arbeitsgeschwindigkeit [km/h]} * \text{Effizienzfaktor} / 10$$

In den folgenden Tabellen 80 -84 werden die möglichen Bodenbearbeitungsstrategien in Abhängigkeit der Bodenart und des gewünschten Verfahrens anhand von 13 Maschinenkonzeptionen von Väderstad, Schweden, aufgezeigt. Berechnet wurden die Investitionskosten, der Leistungsbedarf [kW], die mögliche Flächenleistung [ha/h] und der Akh-Bedarf [h/ha] des jeweiligen Maschinenkonzeptes.

[illegible]

[illegible]

Tabelle 85: Berechnung der Mindesteinsatzfläche einer Maschine oder eines Gerätes

Tabelle 86: Maschinenkostenrechnung- Eigenmechanisierung- MR/Lohnunternehmer

Tabelle 87: Wirtschaftlichkeitsrechnung – Kurzscheibenegge / Grubber

Tabelle 88: Vollkostenrechnung im Getreidebau

Tabelle 89: Berechnung der variablen Maschinenkosten zur Vollkostenrechnung

Tabelle 85: Mindesteinsatzfläche einer Maschine oder eines Gerätes

BERECHNUNG DER MINDESTEINSATZFLÄCHE EINER MASCHINE ODER EINES GERÄTES:		
Quelle: ÖKL - Richtwerte 2012		
Symbole:	ÖKL - Tabelle	
ME = Mindesteinsatz in [h/a]	Seite 20	
FK = feste Kosten/Jahr bei eigener Maschine / Gerät in €	Spalte 5	
vK = variable Kosten bei eigener Maschine / Gerät in €	Σ Spalte 8 + 9	
üV = MR - Satz oder Lohnunternehmersatz in €	Spalte 10	
Formel:		
$ME = \frac{FK}{\ddot{u}V - vK}$		
Berechnung für einen 6-Schar-Aufsattelvollstdrehpflug:		
Neuwert: € 33.500,-		
ME = $\frac{4.690,-}{43,55 - 20,10}$ (14 % vom Neuwert)		
= 4.690,- / 23,45 = 200 h/a		
Mit diesem 6-Schar Aufsattelvollstdrehpflug kann im Jahr folgende Fläche gepflügt werden:		
Scharbreite: 40 cm, 15,7 Zoll		
Arbeitsbreite: 2,4 m		
Fahrgeschwindigkeit: 8 km/h = 2,22 m/s (1m/s = 3,6 km/h)		
Effizienzfaktor: 0,55		
Berechnung der praktischen Flächenleistung (PA):		
$PA = 0,36 * b [m] * v [m/s] * \tau [ha/h]$		
= 0,36 * 2,4 * 2,22 * 0,55 = 1,05 ha/h		
Mindesteinsatzfläche in ha/Jahr:		
1,05 * 200 = 210 ha/Jahr		
Wird diese Fläche nicht erreicht ist der Einsatz über den Maschinenring oder den Lohnunternehmer kostengünstiger.		

Tabelle 86: Eigenmechanisierung / Maschinenring oder Lohnunternehmer

MASCHINENKOSTENRECHNUNG :	
KOSTENVERGLEICH - Eigenmechanisierung / MR od. Lohnunternehmer	
<i>Quelle: ÖKL - Richtwerte 2012</i>	
Einzelkornsämaschine pneum. 6-reihig, Mais Mulchsaat (Direktsaat) NW: € 35.000,-	
Nutzungsdauer: N = 12 Jahre n = 600 h	
Jährl. Nutzungsdauer: 50 ha/a (bei Effizienzfaktor: 1,0 (0,7-1,3) = 50 h/a	
Abschreibungsschwelle $j = n/N = 600 / 12 = 50$ (= Afa zu den Fixkosten)	
	Euro
Afa (wenn j kleiner als n/N) = $NW/N = 35.000,- / 12 =$	2.916,66
Verzinsung 3 % v. NW	
$0,03 * 35.000,-$	1050,00
Vers. + Unterbringung: $0,02 * NW = 0,02 * 35.000,-$	700,00
Zwischensumme - Fixkosten pro Jahr	4.666,66
Reparaturkosten: 3 % vom NW * j / 100	
$= 0,03 * 35.000,- * 50 / 100 =$	
Zwischensumme - variable Kosten pro Jahr	525,00
Gesamtkosten der EK-Sämaschine bei Kauf in € pro Jahr	5.191,66
Gesamtkosten der EK-Sämaschine bei Kauf pro Stunde $5296,66 / 50 =$	103,83
Maschinenkosten der Maissaat bei Eigenmechanisierung:	
Einzelkornsämaschine pneum. 6-reihig, Mais Mulchsaat (Direktsaat)	5.191,66
Allrad-Traktor 80 kW/82 PS nur var.Kosten lt.ÖKL Spalte 8+9 = 20,-€/h	1.200,00
Mannkosten $15,-€/h * 50 =$	750,00
Gesamtkosten pro Jahr für 50 ha, $1,0 h/ha = 50 h/a$	7.141,66
Gesamtkosten pro Stunde $7.141,66 / 50 =$	142,83
Maschinenkosten Maissaat durch den Maschinenring (MR):	
Einzelkornsämaschine pneum. 6-reihig, Mais Mulchsaat (Direktsaat)	
ÖKL-Tabelle Seite 28 - Spalte 10 Tarif pro Stunde	56,00
Allrad-Traktor 80 kW ÖKL-Tabelle Seite 16 - Spalte 10 Tarif pro Stunde	36,87
Mannkosten	15,00
Gesamtkosten pro Stunde - Arbeitsgang Mais-Einzelkornmulchsaat	107,87
Gesamtkosten pro Jahr $107,62 * 50 =$	5.393,50
Kostenvergleich: Eigenmechanisierung - MR	
MR	5.393,50
Eigenmechanisierung	7.141,66
Differenz zugunsten dem MR od. Lohnunternehmer pro Jahr	1.748,16
Differenz zugunsten dem MR od. Lohnunternehmer pro Stunde	34,96
Kostengleichheit ergibt sich bei einem Einsatzumfang von ca. 66 h/Jahr..	

Tabelle 87: Wirtschaftlichkeitsrechnung Kurzscheibenegge / Grubber im Vergleich

MASCHINENKALKULATION - WIRTSCHAFTLICHKEITSRECHNUNG				
Kurzscheibenegge "Amazone-Catros-3001" / Schwergrubber 3-reihig mit Nachläufer				
Quelle: ÖKL-Richtwerte 2012				
	Einheit	Catros 3001	Grubber XY	
Arbeitsbreite	m	3	3	
Anschaffungspreis (Listenpreis)	€	13.780,00	11.500,00	
Nutzungsdauer nach Zeit	Jahre	10	10	
Restwert	%	10	10	
Restwert	€	1378,00	1150,00	
Jährlicher Einsatzumfang	ha	150	150	
Jährlicher Einsatzumfang	h	50	70	
Zinssatz	p/a	4%	4%	
1. Feste Kosten				
Abschreibung	€/a	1378,00	1150,00	
Zinsen	€/a	551,20	460,00	
Unterbringung	0,5%	66,90	57,50	
Versicherung	1,50%	206,70	172,50	
Feste Kosten	€/a	2202,80	1840,00	
Feste Kosten	€/ha	14,68	12,26	
2. Veränderliche Kosten				
Kosten für Reparatur % Anschaffungspreis/Jahr	3%	413,4	345,00	
Verschleißkosten	€/ha	0,45	2,50	
Gesamtkosten Reparatur + Verschleiß	€/ha	3,21	4,80	
90 kW/ 122 PS - Traktor € 42,89/h * 50 h/a	€/a	2144,50		
90 kW/122 PS - Traktor € 42,89/h * 70 h/a	€/a		3002,30	
Mannkosten 15,00 €/h	€/a	750,00	1050,00	
Traktor mit Fahrer	€/h	57,89	57,89	
Traktor mit Fahrer	€/a	2894,50	4052,30	
Traktor mit Fahrer	€/ha	19,29	27,01	
Veränderliche Kosten gesamt	€/ha	22,50	31,81	
3. Gesamtkosten				
Gesamtkosten	€/ha	37,18	39,27	
Gesamtkosten	€/a	5577,00	5890,50	
4. Differenz zugunsten der Kurzscheibenegge				
Differenz zugunsten der Kurzscheibenegge	€/a	2,09		
Differenz zugunsten der Kurzscheibenegge	€/a	313,50		
Formel:				
Berechnung der theoretischen Flächenleistung:				
PA = 0,36 * b [m/s] * v [m/s]		PA = Flächenleistung [ha/h]		
Berechnung der praktischen Flächenleistung:		0,36 = konstanter Faktor		
Kurzscheibenegge:		b = Arbeitsbreite [m]		
P A = 0,36 * 3 * 3,96 * 0,7 = 3 ha/h		v = Fahrgeschwindigkeit [m/s]		
3,96 m/s = 14,25 km/h		0,7 = Effizienzfaktor		
Grubber:		(1 m/s = 3,6 km/h)		
PA = 0,36 * 3 * 2,83 * 0,7 = 2,14 ha/h				
2,83 m/s = 10,18 km/h				

Tabelle 88: Vollkostenrechnung im Ackerbau (WW,WG)

VOLLKOSTENRECHNUNG ACKERBAU			
Übernahmepreis - Lagerhaus 2012			
Qualitätsweizen € 225,- /dt bei 78 kg/hl		Winterweizen	Wintergerste
Qualitätsgerste € 210,-/dt bei 64 kg/hl		konventionell	konventionell
Ertrag	dt/ha	70	70
Variable Kosten in €/ha			
Saatgut		70,00	60,00
Handelsdünger 1)		244,00	224,00
Pflanzenschutz 2)		140,00	140,00
Hagelversicherung		17,00	17,00
variable Maschinenkosten *)		237,00	237,00
Kosten für Lohnmaschinen		130,00	130,00
Trocknung		20,00	20,00
Summe VK	€/ha	858,00	828,00
Variable Kosten:	Cent/kg	12,26	11,83
Faktorkosten in €/ha			
Fläche		280,00	280,00
Arbeit		150,00	150,00
Kapital		15,00	15,00
Fixe Kosten in €/ha			
Lagerraum €/ha			
Maschinen Fixkosten		500,00	500,00
Fremdkapitalzinsen		40,00	40,00
Pachtzinsen			
Summe Nutzungs- u. Fixkosten:	€/ha	985,00	985,00
Faktorkosten u. FK	Cent/kg	14,07	14,07
Summe Gesamtkosten	€/ha	1843,00	1813,00
Summe Gesamtkosten	Cent/kg	26,33	25,90
Nebenleistungen			
Betriebsprämie		300,00	300,00
ÖPUL			
Wirtschaftsdünger			
Nebenerträge		300,00	300,00
Vollkosten ohne Nebenerträge	€/ha	1543,00	1513,00
Vollkosten	Cent/kg	22,04	21,61

Quelle: Deckungsbeiträge u. Daten für die Betriebsplanung 2008, 84

Tabelle 89: Variable Maschinenkosten- Produktionsverfahren Getreidebau und Winterraps

VARIABLE MASCHINENKOSTEN:										
Produktionsverfahren - Getreidebau und Winterraps										
Lohndrusch, Kombination Saatbeetbereitung und Aussaat										
55 kW - Traktor	€/h	12,92								
80 kW - Traktor	€/h	19,90								
		55 kW-Traktor	80 kW-Traktor		Maschine bzw. Gerät					
Arbeitsgang	Akh	h	€	h	€		h	€/h	€	Summe
Düngerholen	0,1	0,0	0,00	0,1	1,99	6t Kipper 1-achsig	0,1	1,55	0,16	2,145
Düngerstreuen	0,2	0,2	2,58	0,0	0,00	Schleuderdüngerstreuer 800 l	0,2	1,23	0,25	2,83
Herbstackerung	1,9	0,0	0,00	1,9	37,81	Anbaudrehpflug 4-sch. 140	1,9	6,96	13,22	51,03
Drillsaat	1,1	0,0	0,00	1,1	21,89	Kreiselegge + Sämaschine 3 m	1,1	12,00	13,2	35,09
Kopfdüngung	0,2	0,2	2,58	0,0	0,00	Schleuderdüngerstreuer 800 l	0,3	1,23	0,37	2,95
Pflanzenschutz	1,1	1,1	14,21	0,0	0,00	Feldspritze 800 l, 12 m	1,1	4,25	4,68	18,89
N-Spätdüngung	0,1	0,1	1,29	0,0	0,00	Schleuderdüngerstreuer 800 l	0,1	1,23	0,12	1,41
Kornabfuhr	0,4	0,0	0,00	0,4	7,96	6t Kipper 2-achsig	0,4	1,88	0,752	8,71
Stoppelsturz	0,8	0,0	0,00	0,8	15,92	Schwergrubber 3 m	0,8	15,2	12,16	28,08
Grubbern	0,8	0,0	0,00	0,8	15,92	Schwergrubber 3 m	0,8	15,2	12,16	28,08
Maschinenrüstzeit	1,0	0,2	2,58	0,8	15,92		0,0	0,00	0,00	18,5
Summe:	7,7	1,8	23,26	5,9	117,41				57,06	197,72
inkl. 20 % MwSt.			27,91		140,89				68,47	237,26

Quelle: Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2008, 393 u. ÖKL-Richtwerte 2012

11 Literaturverzeichnis

American Society of Agricultural and Biological Engineers- (ASABE) Terminology and Definitions for Soil Tillage and Soil-Tool Relationships (2010). S.132-133

ANGERMAIR, W., KLAGHOFER, E., DANNEBERG, O. (1988): Bodengesundheit. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Hugo Hitschmann Verlag.

ANKEN, T., HEUSSER, J., WEISSKOPF, P., ZIHLMANN, U., FORRER, H., HÖGGER, C., SCHERRER C., MOZAFAR, A., STURNY, W. (1997): Bodenbearbeitungssysteme- Direktsaat stellt höchste Anforderungen. In: Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT). Tänikon: Eigenverlag, Heft Nr.501. S.13

ANKEN, T., HILFIKER, T. (1996): Saatbettbereitung. In: Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT). Tänikon: Eigenverlag, Heft Nr.484. S.1-9

ANKEN, T., IRLA, E., AMMANN, H., HEUSSER, J. (1999): Bodenbearbeitung und Bestellung. In: Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT). Tänikon: Eigenverlag, Heft Nr.534. S.1-8

ALSING, I., FLEISCHMANN, A., GUTHY, K., HECHLER, G., ROßBAUER, G., SCHMAUNZ, F., RUHDEL, H., SCHLAGHECKEN, J., SCHNEIDER-BÖTTCHER, I. (2002): Lexikon Landwirtschaft. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag. 4. überarb. und erw. Aufl.

ANONYM (2005): KTBL- Faustzahlen für die Landwirtschaft. KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster- Hilstrup. 13.Aufl.

ARVALIS (2009): The absence of tillage increases nitrogen loss through denitrification. In: Arvalis, Institut du vegetal. Mai. S.9

BAUEMER, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. Stuttgart: 3., überarb. und erw. Aufl.

BAKER, C.J. (2006): No-tillage seeding in conservation agriculture. Rom: Food and Agriculture organisation of the United Nations, 2nd edition.

BAKER, C.J., SAXTON, K.E., RITCHIE, W.r. (1996): No-tillage Seeding. CAB International.
BERTILSSON, S.(2008): Standortangepasste Maschinenkonzepte. In: Väderstadt-Beratungsschrift. Schweden.

BERNER, A, MÄDER, P, SPIEGEL, K. (2010): Für die Bodenfruchtbarkeit ist weniger mehr. In: Landwirtschaft ohne Pflug (LOP), Sonderheft, Boden verbessern und Ertrag steigern, ökologisch und pfluglos

BOONE, F.R., OUVKERK, C., BAKERMANS, W., LUMKES, L. (1980): Tillage systems. In: Experiences with three tillage systems on a marine loam soil. Agricultural Research Reports 899,

BÖHM, E.(1986): Pflugfolgegeräte-Saatbettbereitung In: Agrartechnische Lehrbriefe (ATL). Würzburg: Vogel Verlag, Nr. 216-6, S.17

BRANDT, D., BRAUN, M., HORSCH, C., KELLER, H., WOLF, H., GÖGGERLE, TH., HAEDICKE, J. (2011): Dammverfahren für Mais In: terra Horsch, Ausgabe Februar 2011, S. 6. Vogel Druck, Würzburg

BRUNOTTE, J., BRENNDÖRFER, M., GATTERMANN, B., GRUBER, W., GREIDMAYER, J., MANTEL, G., MÜLLER, J., SCHRÖDL, J., STEINERT K., VOßHENRICH, H. (1999): Sätechnik und Säverfahren, KTBL-Schrift 383, S.29

BUCHNER, W., KÖLLER, K. (1990): Integrierte Bodenbearbeitung. Stuttgart: Ulmer Verlag,

BRUNOTTE, J., GATTERMANN, B., SOMMER, C. (2005): Definition und Systematik von Bodenbearbeitungsverfahren. In: Amazone- Architektur des modernen Pflanzenbaus. S.8

CHAMEN, T. (2006): Controlled traffic farming: literature review and appraisal of potential use in the U.K., HGCA Research Review, London, 59 p. In: LOP (2010): Boden verbessern, Ertrag steigern. Sattelitten bringen Luft in Direktsaatböden. Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag. Sonderheft

CHERVET, A., RAMSEIER, L., STURNY, W.G., TSCHANNEN, S. (2005): Direktsaat und Pflug in 10 jährigen Systemvergleich. Agrarforschung 12,5, 184-189. In: LOP (2010): Boden verbessern, Ertrag steigern. Sattelitten bringen Luft in Direktsaatböden. Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag. Sonderheft

CHERVET, A., STURNY, W., OTT, S. (2013): In: LOP (2013): Neue Strategien erprobt- wie viel Glyphosat benötigt ein Direktsaatsystem. Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag.

Conservation Tillage Systems and Management, MWPS-45 Second Edition, 2000, Crop Residue Management with No-till, Ridge-till, Mulch-till and Strip- till

DAHM, U. (2001): Möglichkeiten der Adaptierung nordamerikanischer Geräte für die konservierende Bodenbearbeitung in Mitteleuropa, Dissertation, Uni Hohenheim

DEIMEL, M. (2009): Beim Traktoreinsatz Treibstoff sparen

DEMMELE, M. (2011): Streifenbodenbearbeitung / Strip Tillage, eine Alternative für die Bestellung und Saat. Online: [www.lfl.bayern.de /tt/pflanzenbau/38920/linkurl-0-13.pdf](http://www.lfl.bayern.de/tt/pflanzenbau/38920/linkurl-0-13.pdf), Zugriff am 07.01.2013

DIERAUER, H, BÖHLER, D. (2007): Stoppelhobel Erfahrungsbericht In: Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, Schweiz.

DÖLL, H. (2012): Die Last vom Acker nehmen. In: LOP (12/2012): Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag.

DREESBEIMDIEKE, H.(2003): Persönliches Informationsgespräch zum Stand der konservierenden Bodenbearbeitungstechnik. In: Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 4.1.1.0

EICHHORN, H. (1999): Landtechnik. Stuttgart: Ulmer Verlag, 7. Völlig neu bearbeitete Aufl.

EIKEL, G. Bodenlockerung auf Französisch. In: Magazin für professionelle Agrartechnik (Profi 06/2009) S.35, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster

ESTLER, M., KNITTEL, H. (1996): Praktische Bodenbearbeitung. Grundlagen, Verfahren, Gerätetechnik und Bewertung, Verlags Union Agrar. In: Arbeitsgeräte zur konservierenden Bodenbearbeitung. Grein-Diplomarbeit , 2006, FH Soest, S. 129

ESTLER, M., KNITTEL, E., ZELTNER, E. (1984): Bodenbearbeitung aktuell. Frankfurt am Main: DLG Verlag

Food and Agricultural Organisation (FAO): (vgl.: <http://www.fao/ag/ce/> Zugriff: 28.10.2013)

GEHRING, F.(2001): Landtechnik für Schule und Praxis, Österreichischer Agrarverlag Leopoldsdorf.

GREIN, A. (2006): Arbeitsgeräte zur Konservierenden Bodenbearbeitung. Diplomarbeit, FH Soest. In: Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 4.1.1.0

HAAS, M. (2011): Verfahrenstechnische Untersuchungen beim Pflügen in Bezug auf Kraftstoff- und Flächeneffizienz unter besonderer Berücksichtigung der Traktionsverstärkung.Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

HÄNSEL, M. (2012): Striegeln trotz Strohbesatz. In: Landwirtschaft ohne Pflug (LOP), Emminger und Partner GmbH Verlag, Berlin, S.24-25

HANSEN, J. (1986): Schlupfminderung beim Pflügen. In: Agrartechnische Lehrbriefe (ATL). Würzburg: Vogel Verlag, Nr. 214-1 S.6

HARNIER, B.V. (1986): Rollchar und Stiefelschar im Vergleich. In: Bodenbearbeitung und Saat/VDI/MEG Kolloquium Landtechnik, S. 77-88

HAUER, G., KOGLER, F., BLUMAUER, E., DEIMEL, M., EBERDORFER, D., NEMESTOTHY, N., LINDNER, H., MOITZI, G. (2012): ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten. Wien: Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung.

HEGE, H. (1985): Bestellung von Körnerfrüchten unter dem Bodenwurf einer Fräse. In: Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, Kiel, RKL-Schrift-Nr. 4.1.1.2.0, S. 109

HEGE, U., BRENNER, M. (2004): Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung. (KUL). Freising-Weihenstephan. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 1. Aufl.

HEIER, L., PÜTZ, M., VOLCKENS, F. (2006): Zukunftsweisender Ackerbau- Bestellverfahren aus der Praxis. Frankfurt am Main. DLG Verlag und Lemken GmbH und CoKG

HEINZLMAIER, F. (2003): Saatgutablagetechniken bei Mulch- und Direktsaat unter Einbeziehung der Unterfußdüngung bei Getreide. Diplomarbeit, BOKU Wien

HERMANN, W., BAUER, B., BISCHOFF, J. (2012): Strip-Till, Mit Streifen zum Erfolg. Frankfurt am Main. DLG-Verlag. S. 5-6

HOFMANN, B., RÜCKNAGEL, J., CHRISTEN, O. (2012): Humusverluste durch tiefe Bodenbearbeitung. In: LOP (11/2012), S. 20

HOLPP, M., ANKEN, T., HENSEL, O. (2010): Satelliten bringen Luft in Direktsaatböden. In: Boden verbessern Ertrag steigern. Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag. Sonderheft

HOLZ, W., TRAULSEN, H. (2010): Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug. In: Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 4.1.1.0, S. 156-162

HÜLSBERGEN, K., SIEBRECHT, N., ENGELMANN, K., KAINZ, M. (2008): Bodenerosion. In: Schonende Bodenbearbeitung, Systemlösungen für Profis, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.

KIVELITZ, H., VIER, S., DRUNKENMÜHLE, M., SCHÄFER, B. (2010): Pflugverzicht - eine interessante Alternative? Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft Soest In: LOP (4/ 2010): Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag. S. 30

KLIK, A. (2010): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Kohlenstoffdynamik, CO₂-Emissionen und das Verhalten von Glyphosat und AMPA im Boden. Abschlussbericht

KÖPKE, U. (2012): Strohmulch unterdrückt Unkraut. In: LOP (1/2/ 2012): Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag. S.34

KRAUSE, A., STEINKAMPF, H. (1986): Betriebseigenschaften von Ackerschlepperreifen bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig.

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT- (KTBL) (1993): Definition und Einordnung von Verfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung. Arbeitsblatt 236 ,KTBL Darmstadt, S. 1-4

KÖLLER, K., LINKE, C. (2001): Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. Frankfurt am Main: DLG Verlag, 2. neu überarb. und erw. Aufl.

KROMBHOLZ,K., BERTRAM, H., WANDEL.,H. (2009): 100 Jahre Landtechnik. Frankfurt am Main: DLG Verlag, 1. Aufl.

Lexikon der Erde: (vgl.: www.geodsz.com Zugriff: 06.04.2013)

LIEBHARD,P.(2008): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf den Humusgehalt in Groß Enzersdorf, Vorlesungsunterlagen-Bodenbearbeitung und Bodenschutz, Teil 4.

LOIBL, B. (2006): Einteilung der Bodenbearbeitungssysteme unter Berücksichtigung der Bodenlockerung. Landtechnik Sonderheft, S.302-303

LINKE, C.(1998): Direktsaat- eine Bestandsaufnahme unter besonderer Berücksichtigung technischer, agronomischer und ökonomischer Aspekte. Dissertation, Uni Hohenheim

LINKE, C., KÖLLER, K (1993): Direktsaat . Stand der Technik und künftige Tendenzen. In: Landtechnik-48, 1/2, S.26-29

LÜTKE ENTRUP, N., GRÖBLINGHOFF, F., SCHNEIDER, M. (2007): Konservierende Bodenbearbeitung/ Direktsaat als strategisches Element des Erosionsschutzes und der Verbesserung der ökonomischen Effizienz von Pflanzenbausystemen. In: Strategien zum Bodenschutz- Sachstand und Handlungsbedarf, Bonn, Institut für Landwirtschaft und Umwelt (ILU), S. 179-190

MEINERS, H., BUCKS, W., HEGEMANN, R., REMPFER, R. (1997): Fachkenntnisse Landmaschinenmechaniker. Hamburg: Handwerk und Technik Verlag, 15. Aufl.

MOITZI, G. (2005): Kraftstoffkosten sparen in der Landwirtschaft. In: ÖKL Kolloquium-Universität für Bodenkultur „Kraftstoffeinsatz in der Pflanzenproduktion—

MOITZI, G. (2006): Aktuelle Radlasten bei Landmaschinen. In: ÖKL Kolloquium-Universität für Bodenkultur „Durch richtige Bereifung die Bodenbelastung senken—. S.6

MOITZI, G., HAAS, M., WAGENTRISTL, H., BOXBERGER, J., GRONAUER, A. (2013): Energy consumption in cultivating and ploughing with traction improvement system and consideration of the rear furrow wheel- load in ploughing. In: Soil and Tillage Research, Volume 134. S. 56-60

N.N (2009): Die Spatenrollegge In: LOP-Landwirtschaft ohne Pflug, Nr 07/2009, S.37 Emminger und Partner GmbH Verlag, Berlin

N.N (2011): Die Spatenrollegge In: LOP-Landwirtschaft ohne Pflug, Nr 07/2011, S.8 Emminger und Partner GmbH Verlag, Berlin

N.N (2011): Die Spatenrollegge, In: Top-Agrar Österreich, Fachzeitschrift, Maria Enzersdorf

N.N (2011): Sätechnik für Mulch und Direktsaat In: Sonderheft (SH), Emminger und Partner GmbH Verlag, Berlin S.17

N.N (2011): Sätechnik für Mulch und Direktsaat In: Sonderheft (SH), Emminger und Partner GmbH Verlag, Berlin S.19

N.N (2011): Sätechnik für Mulch und Direktsaat In: Sonderheft (SH), Emminger und Partner GmbH Verlag, Berlin S.39

N.N (2011): Sätechnik für Mulch und Direktsaat In: Sonderheft (SH), Emminger und Partner GmbH Verlag, Berlin S.24

N.N (2012): Der Bauer, Kammerzeitung der Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Nr 31, S.10

PALLER,F., PRANKL, P.(2008): Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2008, Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien

PÖLLINGER, A. (2004): Klimarelevante Emissionen aus der Landwirtschaft- Quellen, Bedeutung und Minderungsmöglichkeiten. BAL Gumpenstein - Institut für Technik, Ökonomie und Bauwesen.

PÜTZ, M. (2004): Grubber- Zugkraftbedarf. In: Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL): Rendsburg, Schrift 4.1.1.1.3, S.31

RADEMACHER, T., WEIßBACH, M. (2004): Mähdrescher und Bodendruck. In: Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL): Rendsburg, Schrift 4.1.4.1.4, S.713

RENIUS, K. (1985): Traktoren- Technik und ihre Anwendung, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München.

ROSNER, J. (2010): Minimalbodenbearbeitung. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung. Tulln. In: Der fortschrittliche Landwirt. 01.08.2011, Heft Nr.15

ROßBERG, R. (2008): Humuswirtschaft. In: Schonende Bodenbearbeitung, Systemlösungen für Profis, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.

RUMP, B. und KÖLLER, K. (2004): Weiterentwicklung von Direktsaatscharen. In: KTBL-Landtechnik 1. Jg.59

SCHÖN, H., AUERNHAMMER, H., BAUER, R., BOXBERGER, J., DEMMEL, M., ESTLER, M., GRONAUER, A., HAIDN, B., MEYER, J., PIRKELMANN, H., STREHLER, A., WIDMANN, B. (1998): Landtechnik Bauwesen. München: BLV Verlagsgesellschaft, 9. völlig neu überarb. und erw. Aufl.

SCHEUFLER, B. (1986): Direktsaat mit Meißelscharen. In: Bodenbearbeitung und Saat. VDI/MEG Kolloquium Landtechnik. S. 107-112

SCHMIDLIN, S., RÖTHLISBERGER, H. (2013): Säschare für eine exakte und verstopfungsfreie Saat. In: Landkalender 2013, Landwirt Agrarmedien GmbH, Graz

SCHMIDT, D., TEBRÜGGE, F. (1989): Stand der Technik, Entwicklungstendenzen und Forschungsbedarf bei der Sätechnik „Mulchsaat von Getreide. In: Bodenbearbeitungs- und Bestellsysteme in der Diskussion.- Darmstadt: KTBL, S.32-47

SIEMENS, J., DICKEY, E., JASA, P., SHELTON, D., HOFMANN, V. (2000): In: Conservation Tillage Systems and Management, MWPS-45, Second Edition, S.252

SCHULZE LAMMERS, P., SCHMITZ, S., ROSE, M. (2004): Verfahrenstechnik und Anbauversuche zur Dammkultur von Zuckerrüben. In: VDI-MEG Tagung Landtechnik, Institut für Landtechnik, Universität Bonn

Soil Conservation Service. Conservation Tillage Definition and Types of Systems. In: Journal of soil and water, 38 (1983), H.3

SORGER, A. (1998): Einfluss einer unterschiedlichen Bearbeitungsintensität auf die biologische Aktivität in Ackerböden im Marchfeld. Diplomarbeit, BOKU Wien

STEINERT, K., EMMINGER, R. (2011): Sätechnik für Mulch- und Direktsaat. Landwirtschaft ohne Pflug- LOP. Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag. Sonderheft

STREBL, H. (2013): Komposteinsatz sorgt für ausgeglichene Humusbilanz. Der Bauer, Nr.10, März. Landwirtschaftskammer Oberösterreich

STURNY, W. (1992): Bodenbearbeitung mit „drive—. In Agrartechnik, Würzburg, Vogel Verlag, S.20f

STURNY, W., MEERSTETTER, A. (1989): Konservierende Bodenbearbeitung und Mulchsaat im Zuckerrübenbau- ein Bestandteil integrierter Produktion. In: Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT). Tänikon: Eigenverlag, Heft Nr.363. S.2

TULLBERG, J. (2001): Controlled traffic for sustainable cropping. Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference, 28.01-01.02.2001, Hobart Tasmania. In: LOP (2010): Boden verbessern, Ertrag steigern. Sattelitten bringen Luft in Direktsaatböden. Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag. Sonderheft

VERMEULEN, G., MOSQUERA, J. (2009): Soil, crop and emission responses to seasonal-controlled traffic in organic vegetable farming on loam soil. Soil and tillage Research 102, p.126-134. In: LOP (2010): Boden verbessern, Ertrag steigern. Sattelitten bringen Luft in Direktsaatböden. Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag. Sonderheft

VOßHENRICH, H. (1999): Stroh im Saatbeet, KTBL-Schrift 383, 29, Darmstadt

VOßHENRICH, H., BRUNOTTE, J. (2008): Merkmale der Intensitätsstufen. In: Schonenende Bodenbearbeitung- Systemlösungen für Profis, DLG Verlag. Frankfurt am Main

WALTHER, S. (2009): Variable Bodenbearbeitungsintensität. Dissertation, Uni Hohenheim

WEIßBACH, M., ISENSEE, E. (2005): Leistungsbedarf und Effekte von Stoppelbearbeitungsgeräten. In: Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL): Schrift 4.1.1.1.0, S.477

WENNER, H-L., BOXBERGER, J., ESTLER, M., KROMER, K-H., SCHÖN, H., STREHLER, A. (1973): Verfahren der pflanzlichen Produktion-Bodenbearbeitung. In: Landtechnik Bauwesen. BLV Verlag. München. S.103

WETTEMANN, P. (2011): Sensor misst aktuelle Radlast. In: LOP (6/2011). Berlin: Emminger und Partner GmbH Verlag. S.22

WEYER, T. (2008): Verdichtung. In: Schonenende Bodenbearbeitung- Systemlösungen für Profis, DLG Verlag. Frankfurt am Main

WILDE, T. (2003): Bestellsysteme auf dem Prüfstand, Bodenbearbeitungs- und Sätechnik diskutiert anhand von Erfahrungen der zurückliegenden Saison. Fachtagung FAL Braunschweig.

WIRLEITNER, G., REITER, H., SCHAGERL, H., WAGNER, A. (1996): Landtechnik II. Graz. Stocker Verlag

Von folgenden Firmen wurden Werkbilder verwendet:

AGRISEM International S.A.S. „Beauce—44850 Ligne’ – France

www.agrisem.com e-mail: agrisem@agrisem.com

AMAZONE, D-49202 Hasbergen-Gaste, Am Amazonenwerk 9-13, Postf. 51

www.amazone.de e-mail: amazone@amazone.de

AUF DER LANDWEHR GmbH, D- 33397 Rietberg-Mastholte, Fechtelweg 40

e-mail: auf.der.landwehr@t-online.de

BÄRTSCHI - FOBRO AG, CH- 6152 Hüsliwil, Bernstraße 26

www.fobro.com e-mail: export@fobro.com

Vertrieb Österreich: Hörtenhuemer GmbH, 4600 Thalheim / Wels, Edtholz 14

www.hoertenhuemer.at e-mail: office@hoertenhuemer.at

CELLI S.p.A., I- 47842 S.Giovanni in Marignano, Via Casino Albini 605 - Rimini-Italy

e-mail: celli@celli.com

EINBÖCK GmbH & CoKG, A-4751 Dorf / Pram, Schatzdorf 7

www.einboeck.at e-mail: leo@einboeck.at

FLIEGL Agrartechnik GmbH, D- 84513 Töging/Inn, Söderbergstraße 5

www.fliegl.com e-mail: toeqing@fliegl.com

GÜTTLER GmbH, D- 73230 Kirchheim/Teck, Karl-Arnold-Straße 10

e-mail: info@guettler.de

Vertrieb Österreich: ERTL – AUER GmbH & Co.KG., A- 4933 Wildenau 89,

Badeseestr. 5 e-mail: info@ertl-auer.at

HEKO Konrad Hendlmeier, D- 93107 Thalmassing, Ehweg 1

www.heko-landmaschinen.de e-mail: khendlmeier@t-online.de

HORSCH Maschinen GmbH, D-92421 Schwandorf, Sitzenhof 1

www.horsch.com e-mail: terra@horsch.com

KERNER Maschinenbau GmbH, D- 89344 Aislingen, Gewerbestraße 3

www.kerner.de e-mail: info@kerner-maschinenbau.de

KÖCKERLING GmbH & Co..KG, D- 33415 Verl, Lindenstraße 11

www.koeckerling.de e-mail: info@koeckerling.de

KUHN Maschinen-Vertrieb GmbH, D-39291 Schoppsdorf, Industriestraße 14

Vertrieb Österreich: KUHN CENTER AUSTRIA, A- 4702 Wallern, Hafnerstraße 1

www.kuhncenter.at e-mail: office@kuhncenter.at

KVERNELAND Group Deutschland GmbH, D-59494 Soest, Soesterweg 25

www.kvernelandgroup.de E-mail: info.de@kvernelandgroup.com

LEMKEN GmbH & Co KG, D- 46519 Alpen, Weseler Straße 5

www.Lemken.com

PÖTTINGER Maschinenfabrik GmbH, A-4710 Grieskirchen, Industriegelände 1

www.poettinger.at e-mail: landtechnik@poettinger.at

SULKY-BUREL CS 200005 – Noyal Sur Vilane Cedex Frankreich

www.sulky-burel.com e-mail: info@sulky-burel.com

Vertrieb Österreich: Schaupp GmbH, A- 2571 Altenmarkt, Nöstach 36

www.agrartechnik.cc e-mail: schaupp@agrartechnik.cc

TONUTTI S.p.A. Farm Machinery Industry, I-33047 Remanzacco (Udine),

Via Gino Tonutti. www.tonutti.it, e-mail: info@tonutti.it

VÄDERSTAD-VERKEN AB, 59021 Väderstad, Hogstadvägen 2, Schweden

Vertrieb Österreich: HAMMERSCHMIED GmbH Landmaschinen

A- 2100 Leobendorf / Korneuburg, Hammerschmied-Straße 12

www.hammerschmied.at e-mail: h.hofstetter@hammerschmied.at

ZOBEL Rüdiger DI, D- 74585 Rot am See, Rudolf-Diesel-Straße 7

e-mail: zobel.stahlbau@t-online.de