

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	X
Symbolverzeichnis, Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Zielsetzung und Vorgehen	4
2 Stand des Wissens.....	6
2.1 Fahrwerke in der Landwirtschaft	6
2.1.1 Anforderungen an landwirtschaftliche Fahrwerke	6
2.1.2 Fahrwerkskonzeptionen für den Einsatz in der Landwirtschaft.....	7
2.1.3 Konstruktiver Aufbau von Radfahrwerken.....	9
2.1.3.1 Aufbau des Rades.....	9
2.1.3.2 Bereifungsaufbau, Konstruktionsarten und Reifenkategorien	10
2.1.3.3 Reifenkennzeichnung	13
2.1.3.4 Tragfähigkeits- und Geschwindigkeitsindex (LI und SI)	14
2.1.4 Grundlegendes zur Reifenmechanik.....	14
2.1.4.1 Theoretische Fahrzustände.....	14
2.1.4.2 Kraftübertragung und Reifenverformung.....	16
2.1.4.3 Verfahren zur Bestimmung der Kontaktfläche.....	22
2.1.4.4 Verfahren zur Bestimmung des Kontaktflächendrucks.....	25
2.2 Bodenphysikalische Grundlagen	27
2.2.1 Der Boden	27
2.2.2 Der Boden als poröses Medium.....	29
2.2.2.1 Die Bodenart (Körnung).....	30
2.2.2.2 Das Bodengefüge – Bildung und Formen	31
2.2.2.3 Porenvolumen, Porengrößen und Porengrößenverteilung.....	33
2.2.2.4 Das Bodenwasser – Bindungsintensität und Verfügbarkeit.....	36
2.2.2.5 Zusammenfassung der bodenphysikalischen Kenngrößen.....	39
2.2.3 Bodenfunktionen, Bodendegradierung und Bodenschutz	40
2.2.4 Die Bedeutung des Bodengefüges als Zielgröße des physikalischen Bodenschutzes aus landwirtschaftlicher Sicht	43
2.2.5 Die Bodenverdichtung als nachteilige Gefügeveränderung.....	45
2.2.5.1 Abgrenzung Bodenverdichtung – Bodenschadverdichtung.....	47
2.2.5.2 Auswirkungen und Folgen von Bodenschadverdichtungen.....	50
2.2.5.3 Regeneration von Bodenverdichtungen.....	54

2.3	Bodenmechanische Grundlagen	55
2.3.1	Spannungen im Boden	56
2.3.1.1	Kennzeichnung des Spannungszustandes	56
2.3.1.2	Hauptspannungen – Transformation des Spannungstensors	58
2.3.1.3	Geostatischer Spannungszustand	60
2.3.1.4	Die Spannungsgleichung – Effektive und neutrale Spannungen..	61
2.3.2	Spannungsausbreitung im Boden	63
2.3.2.1	Grundlegendes zur Spannungsausbreitung	63
2.3.2.2	Berechnung des Spannungszustandes	65
2.3.2.3	Möglichkeiten und Methoden zur Spannungsmessung	69
2.3.3	Verformungseigenschaften von Böden	71
2.3.3.1	Kennzeichnung des Deformationszustandes	72
2.3.3.2	Das Verformungsverhalten	74
2.3.3.3	Das Spannungs-Dehnungs-Verhalten	75
2.3.3.4	Das Zeit-Setzungs-Verhalten	79
2.3.4	Festigkeitseigenschaften von Böden	82
2.3.4.1	Grundlegendes zum Stabilitätszustand	82
2.3.4.2	Kenngößen des Stabilitätszustandes	82
2.4	Interaktion zwischen Fahrwerken und Boden als Fahrbahn	90
2.4.1	Bodenbelastung und -beanspruchung durch exogene Belastungsfaktoren	91
2.4.1.1	Kontaktflächendruck, Kontaktfläche und Gewichtskraft	91
2.4.1.2	Belastungsdauer	96
2.4.1.3	Überrollhäufigkeit	97
2.4.1.4	Schlupf	98
2.4.1.5	Fahrzeugvibrationen	99
2.4.2	Gefügestabilität – Bodenendogene Belastungsfaktoren	100
2.4.2.1	Lagerungsdichte	101
2.4.2.2	Bodenart	102
2.4.2.3	Tonmineralogie und Ionengehalt	102
2.4.2.4	Bodenwassergehalt	103
2.4.2.5	Stabilisierende Substanzen	104
2.4.2.6	Aggregierungsgrad und Gefügeform	104
2.4.3	Belastbarkeit/Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden	105
2.4.4	Vorsorgekonzepte zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen	114
2.4.5	Der Boden als Fahrbahn	117

3	Methodik der Vorgehensweise zur Bestimmung der mechanischen Bodenbelastung	120
3.1	Datenmaterial und Annahmen zur Feldbewirtschaftung.....	121
3.1.1	Bodennutzung – Auswahl der Fruchtarten.....	121
3.1.2	Beschreibung der Produktionsprozesse	123
3.1.3	Auswahlverfahren der Mechanisierungsvarianten und technische Daten	127
3.2	Ermittlung der Bodenbelastung in der Spur	133
3.2.1	Rechnerische Ermittlung der Achs- und Radlasten.....	133
3.2.2	Berechnung der Kontaktfläche	139
3.2.3	Mittlerer Kontaktflächendruck	140
3.2.4	Überrollhäufigkeit und Spurflächensumme	141
3.3	Ermittlung der flächenbezogenen Bodenbelastung – Simulation der Fahrzeugbewegung.....	141
3.3.1	Vorgabe der Fahrzeugbewegung mittels Führungskurven.....	143
3.3.2	Berechnung der Schleppkurve	145
3.3.3	Berechnung von Zug- und Reifenaufstandspunkten	147
3.3.4	Annahmen zur Flächenform	148
3.4	Das Berechnungsmodell	149
4	Die mechanische Bodenbelastung beim Fruchtartenanbau	151
4.1	Faktor Überrollhäufigkeit	151
4.1.1	Mechanisierungsvariante A	153
4.1.2	Mechanisierungsvariante B	158
4.1.3	Mechanisierungsvariante C	162
4.1.4	Ergebnisdiskussion Faktor Überrollhäufigkeit	167
4.2	Spurflächensumme.....	174
4.2.1	Spurflächensumme während der Produktionsperiode.....	174
4.2.2	Ergebnisdiskussion Spurflächensumme	177
4.3	Faktor Radlasten.....	178
4.3.1	Mechanisierungsvariante A	178
4.3.2	Mechanisierungsvariante B	183
4.3.3	Mechanisierungsvariante C	187
4.3.4	Ergebnisdiskussion Faktor Radlast.....	192
4.4	Faktor Kontaktflächendruck	199
4.4.1	Mechanisierungsvariante A	199
4.4.2	Mechanisierungsvariante B	204
4.4.3	Mechanisierungsvariante C	209
4.4.4	Ergebnisdiskussion Faktor Kontaktflächendruck.....	214

5	Diskussion	222
5.1	Diskussion der bodenphysikalischen und -mechanischen Grundlagen	222
5.1.1	Mechanische Belastung – Kräfte am Luftreifen.....	224
5.1.2	Die Beanspruchung des Bodengefüges.....	225
5.1.3	Bodenstabilität und Gefügeverformung.....	227
5.1.4	Bodenverdichtung – Bodenschadverdichtung.....	232
5.1.5	Abschließende Bewertung.....	235
5.2	Theoretische Überlegung zur Spannungsfortpflanzung im Boden.....	237
5.3	Mechanischen Bodenbelastung im landwirtschaftlichen Betrieb	248
6	Zusammenfassung.....	255
7	Summary.....	257
8	Literaturverzeichnis	259
9	Anhang.....	283

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Belastung, Beanspruchung und Verdichtung des Bodens (verändert nach SOMMER, 1985)	1
Abb. 2-1: Typische Reifen- und Bandfahrwerke an landwirtschaftlichen Maschinen (verändert nach FRERICH, 2004)	8
Abb. 2-2: Wichtige Reifenabmessungen für die Reifenkennzeichnung (SEUFERT, 2004)	9
Abb. 2-3: Darstellung eines Luftreifens im Querschnitt (a) und konstruktiver Aufbau von Reifen (b): Diagonalreifen (links), Radialreifen (rechts) (BARUM, 2003)	12
Abb. 2-4: Beispiel der Kennzeichnung von Landwirtschaftsreifen (MICHELIN, 2003)	13
Abb. 2-5: Kräftegleichgewicht bei wichtigen Fahrzuständen eines starren Rades auf nachgiebiger Fahrbahn (verändert nach STEINKAMPF & SOMMER, 1988)	15
Abb. 2-6: Schematische Darstellung der Kräfte am Luftreifen (verändert nach SIEBEL, 1973)	17
Abb. 2-7: Schematische Darstellung der Druckverteilung in der Reifenkontaktfläche	20
Abb. 2-8: Schematische Darstellung der Druckspannungen σ_v und Schubspannungen τ_h in der Kontaktfläche zwischen Reifen und nachgiebigem Boden während der Überrollung (BOLLING, 1987)	21
Abb. 2-9: Reifenverformung, Kontaktflächendruck und tangentielle Reifenspannung (BURT & WOOD, 1987)	22
Abb. 2-10: Böden als Überlagerungsbereich von Atmo-, Hydro-, Litho- und Biosphäre in der zeitlichen Bodenentwicklung (TLUG, 2006)	29
Abb. 2-11: Darstellung der Korngrößenklassen (S/U/T) im Bodenartendreieck sowie häufig vorkommende Bodenarten (verändert nach HORN, 1981)	30
Abb. 2-12: Wasserspannungskurven eines Sand- (S), Lehm- (L) und Tonbodens (T) (SCHROEDER, 1992)	38
Abb. 2-13: Mikroskopische Betrachtung der Kräfte am Bodenteilchen (verändert nach HARTGE & HORN, 1999)	56
Abb. 2-14: Makroskopische Betrachtung von Kräften im Boden	57
Abb. 2-15: Spannungskomponenten am infinitesimalen Raumelement in einem kartesischen Koordinatensystem (verändert nach KOLYMBAS, 1998)	58
Abb. 2-16: Übertragung von Spannungen im Boden: a) Schnittfläche im Körnerhaufen; b) Flächenanteile der drei Phasen (verändert nach KÉZDI, 1970)	61
Abb. 2-17: Drei Arten der Darstellung für die Druckverteilung im Boden unter Reifen: (a) Druck in der Lastachse (vertikaler Schnitt); (b) Druckzwiebel in der Halbebene senkrecht zur Fahrtrichtung; (c) Druckzwiebel in der Radebene mit Druck- und Schubspannungen in der Kontaktfläche (BOLLING, 1987)	65
Abb. 2-18: Spannungsisobaren für die Vertikalspannungen berechnet nach FRÖHLICH für die Konzentrationsfaktoren $v_k = 3$ und $v_k = 8$ (LANG et al. 2007)	67
Abb. 2-19: Drucksensoren und Boden bei verschiedenen Kombinationen der Steifigkeit (HESSE, 1983)	71
Abb. 2-20: Volumenänderung der Bodenprobe und die dazu gehörige Druck-Setzungs-Kurve und deren Parameter (verändert nach KÉZDI, 1973)	76
Abb. 2-21: Idealierte Darstellung der Spannungs-Verformungs-Kurve (Druck-Setzungs-Kurve) in semilogarithmischer Auftragung (KUNTSCHE, 2000)	77