

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Fachbereich 4 Pflanzliche Erzeugung Referat 42 Bodenkultur

04159 Leipzig, Gustav-Kühn-Str. 8

Internet: <http://www.boden.sachsen.de>

Bearbeiter: Dr. Walter Schmidt

E-Mail: Walter.Schmidt@smul.sachsen.de

Tel.: 0341-9174 116 Fax: 0341-9174 111

Literaturübersicht zu Veränderungen von Bodeneigenschaften durch konservierende Bodenbearbeitung

1. Einführung

Durch Umstellung der konventionellen auf konservierende Bodenbearbeitung kann mit Veränderungen infiltrationsbeeinflussender Bodeneigenschaften gerechnet werden. Sie haben ihren Ursprung in der Verringerung der Intensität der Bodenbearbeitung bei gleichzeitigem Verzicht der Wendung des Oberbodens. Damit ist eine Anreicherung von Pflanzenresten auf der Bodenoberfläche bzw. in oberflächennahen Bodenbereichen verbundenen (Kay und VandenBygaart, 2002, Salinas-Garcia et al., 2002). So berichten Tebrügge und Düring, (1999) in einer Übersicht darüber, dass sich die Bodenbearbeitungstiefe von 25 cm beim Pflug in Abhängigkeit von technologischen Verfahren im Mittel auf etwa 10 cm bei der konservierenden Bodenbearbeitung verringert, jedoch auch nur bis zu 3 cm Tiefe erreichen kann. Damit ist eine Anreicherung von Pflanzenresten in der obersten 0-5 cm Bodenschicht verbunden, die von 0 % bei gepflügten Böden auf 60 bis 100 % bei konservierender Bodenbearbeitung ansteigen kann.

Neben den rein physikalischen Wirkungen durch die geringere Intensität und Tiefe der Bodenbearbeitung wirkt sich die geringere Bearbeitungsintensität in Verbindung mit der Anreicherung von Pflanzenresten auf der Oberfläche bzw. in oberflächennahen Bereichen auch auf eine Steigerung der biologischen Aktivität aus, da der biologisch aktive Oberboden nicht regelmäßig nach unten gewendet wird und das Mulchmaterial eine Nahrungsgrundlage für Bodenlebewesen darstellt sowie das Bodenklima verbessert (Chabanne et al., 2001, Edwards und Bohlen, 1996, Kladvko, 2001). So tritt ein verstärkte mikrobiologische Aktivität auf, wie an Ergebnissen zur Bodenatmung bzw. zur mikrobiellen Biomasse nachgewiesen werden konnte (Arshad et al., 2001, Carter et al., 2002, Cassiolo et al., 2001, Dalal et al., 1991, Franzluebbers und Arshad 1997, Frielinghaus et al., 1997, Karlen et al., 1994, Salinas-Garcia et al., 2002).

Im Folgenden werden die in der Literatur beschriebenen Veränderungen von Bodenmatrizeigenschaften des Oberbodens, der Oberflächeneigenschaften und des Makroporensystems, die durch die oben dargestellten Prozesse stattfinden, erläutert.

2. Bodenphysikalische Veränderungen des Oberbodens

In der Tabelle 1 sind aus der Literatur bekannte Ergebnisse zu Unterschieden der Trockenrohdichte der Unterkrume (in Einzelfällen auch des gesamten Oberbodens einschließlich der Unterkrume) zwischen konservierend und konventionell bearbeiteter Ackerböden dargestellt.

Lagen Ergebnisse verschiedener Varianten (z.B. Direktsaat, Lockerung mit Grubber, Lockerung mit Zinkenrotor) bzw. Ergebnisse verschiedener Behandlungen (z.B. verschiedene Düngungsstufen) innerhalb eines Bodenbearbeitungsverfahrens vor, so wurden in Abhängigkeit von der Bodenart diese Ergebnisse zu einem Mittelwert zusammengefasst.

Aus den Ergebnissen zur Dichte der konservierenden und konventionellen Bodenbearbeitung erfolgte die Bestimmung von Verhältniszahlen. Diese sind in der Tabelle 1 der Größe nach angegeben. Demnach bedeutet z.B. eine Verhältniszahl größer 1, dass die Dichte bei der konservierenden Variante größer ist, als bei der konventionellen Variante.

Aus der Tabelle 1 geht hervor, dass bei der Mehrzahl von Veröffentlichungen die Trockenrohdichte des Oberbodens zunimmt, nachdem die konventionelle auf konservierende Bodenbearbeitung umgestellt wurde. Im Falle einer flachen, lockernden und mischenden Bodenbearbeitung ist im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung die Dichtezunahme erst in der Unterkrume möglich, da die Oberkrume regelmäßig mechanisch gelockert wird.

Tabelle 1: Verhältniszahlen zur Trockenrohdichte der Unterkrume aus konservierend und konventionell bearbeiteten Ackerböden.¹

Autoren	Standort	Textur	Dauer ²	Wert ³
			a	
Moran et al. (1988)	Australien	sandy loam	8	0,78
Carter et al. (1994)	Australien, Victoria	sandy clay loam	10	0,87
Perfekt und Caron (2002)	USA, Kentucky	silt loam	26	0,91
Heisler et al. (1998)	Deutschland, Niedersachsen	toniger Schluff	-	0,96
Lal et al. (1994)	USA, Ohio	silt loam	28	0,96
Ghuman und Sur (2001)	Indien, Punjab	sandy loam	5	0,97
Sidiras et al. (2001)	Griechenland	-	-	0,97
Blevins et al. (1983)	USA, Kentucky	silt loam	10	0,98
Lopez-Fando, Pardo (2001)	Spanien	-	12	1
Beare et al. (1994a)	USA, Georgia	sandy clay loam	13	1,01
Mahboubi et al. (1993)	USA, Ohio	silt loam	28	1,01
Carter et al. (1999)	Kanada	sandy loam	8	1,02
Heard et al. (1988)	USA, Indiana	silt loam	5	1,02
Chang, Lindwall (1989)	Kanada, Alberta	clay loam	20	1,02
Salinas-Garcia et al (2002)	Mexico	clay	6	1,03
Halvorson et al. (2002)	USA, North Dakota	silt loam	12	1,03
Schjoning und Rasmussen (2000)	Dänemark	coarse sandy	4	1,03
Schjoning und Rasmussen (2000)	Dänemark	sandy loam	4	1,03
Wu et al. (1992)	USA, Minnesota	silt loam	>6	1,03
Lal et al. (1989)	USA, Ohio	silty loam	12	1,03
Franzluebbers und Arshad (1996)	Kanada, Alberta	clay	6	1,04
Katsvario et al. (2002)	USA, New York	silt loam	3	1,04
Schjoning und Rasmussen (2000)	Dänemark	silty loam	4	1,04
Carter (1988)	Kanada, Quebec	sandy loam	<5	1,06
Gregorich et al. (1993)	Kanada	clay loam	3	1,06
Chang, Lindwall (1992)	Kanada, Alberta	loam	8	1,06
Frielinghaus et al. (1997)	Deutschland, Brandenburg	loamy sand	-	1,07
Ismail et al. (1994)	USA, Kentucky	silt loam	20	1,07
Comia et al. (1994)	Schweden	clay	18	1,08
Josa, Hereter (2001)	Spanien	silt loam	-	1,08
Horne et al. (1992)	Neuseeland	silt loam	10	1,08
Hao et al. (2000)	Kanada, Alberta	clay loam	4/5	1,09
Lauringson et al. (2001)	Estland	loam	-	1,09
Zimmerling und Schmidt (2002)	Deutschland, Sachsen	silt loam	2-11	1,12
Francies und Knight (1993)	New Zealand	silt loam	9	1,12
Carter et al. (2002)	Kanada	sandy loam	6	1,13
Douglas und Goss (1987)	Southern England	silty clay	3	1,13
Heard et al. (1988)	USA, Indiana	silty clay loam	10	1,14
Wu et al. (1992)	USA, Wisconsin	silt loam	>6	1,14
Culley et al. (1987)	USA, Minnesota	clay loam	4	1,15
Zachmann et al. (1987)	USA, Minnesota	silt loam	5	1,18
Lindstrom, Onstad (1984)	USA, Minnesota	loam	-	1,21
Lindstrom et al. (1984)	USA, Minnesota	loam	3	1,21
Douglas und Goss (1987)	Southern England	clay loam	4	1,24
Wu et al. (1992)	USA, Minnesota	sandy clay loam	>6	1,27
Karlen et al. (1994)	USA, Minnesota	silt loam	12	2,04

¹ Bei Vorliegen von Ergebnissen verschiedener konservierender Bodenbearbeitungsverfahren (z.B. Direktsaat und Lockerung mit Grubber) bzw. Behandlungen (z.B. verschiedene Düngungsstufen) wurden die einzelnen Verhältniszahlen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren und von der Bodenart zu jeweils einem Mittelwert zusammengefasst

² Dauer der konservierenden Bodenbearbeitung zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in Jahren

³ Verhältniszahlen sind entsprechend ihrer Größe geordnet. Verhältniszahlen >1 bzw. <1 bedeuten eine Zü- bzw. Abnahme der Trockenrohdichte in der Unterkrume bei konservierender Bearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung

Es ist davon auszugehen, dass die festgestellte Zunahme der Lagerungsdichte im Oberboden bei konservierender Bodenbearbeitung mit einer Abnahme der Wasserleitfähigkeit in der Bodenmatrix einhergeht. Dies geht auch aus Tabelle 2 hervor, da eine Reihe von Autoren eine Abnahme der Wasserleitfähigkeit bei Sättigung des Bodens in der Unterkrume nachwies. In Tabelle 2 sind die Verhältniszahlen zur gesättigten Wasserleitfähigkeit zwischen konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung dargestellt. Auch wenn hier eine größere Anzahl von Verhältniszahlen größer 1 aufgeführt ist, muss berücksichtigt werden, dass es sich bei diesen Angaben um Messungen der Wasserleitfähigkeit des Gesamtbodens handelte, die folglich auch vorhandene Makroporen mit einschließen.

Tabelle 2: Verhältniszahlen zur Wasserleitfähigkeit bei Bodensättigung in der Unterkrume aus konservierend und konventionell bearbeiteten Ackerböden.¹

Autoren	Standort	Textur	Dauer ²	Wert ³
			a	
Heard et al. (1988)	USA, Indiana	silt loam	5	0,19
Lindstrom und Orstad (1984)	USA, Minnesota	loam		0,28
Lindstrom et al. (1984)	USA, Minnesota	loam	3	0,28
Wu et al. (1992)	USA, Wisconsin	silt loam	>6	0,34
Douglas und Goss (1987)	Southern England	clay loam	4	0,37
Gregorich et al. (1993)	Kanada	clay loam	3	0,43
Zimmerling und Schmidt (2002)	Deutschland, Sachsen	silt loam	2-11	0,53
Tebrügge und Düring (1999)	Deutschland	sand	8	0,6
Tebrügge und Düring (1999)	Deutschland	sand	8	0,75
Carter et al. (1999)	Kanada	sandy loam	8	0,76
Heard et al. (1988)	USA, Indiana	silty clay loam	10	0,77
Culley et al. (1987)	USA, Minnesota	clay loam	4	0,78
Wu et al. (1992)	USA, Minnesota	sandy clay loam	>6	1
Tebrügge und Düring (1999)	Deutschland	loam	13	1,04
Lozano et al. (2001)	Spanien	silt loam		1,07
Chang und Lindwall (1992)	Kanada, Alberta	loam	8	1,13
Horne et al. (1992)	Neuseeland	silt loam	10	1,19
Blevins et al. (1983)	USA, Kentucky	silt loam	10	1,27
Chang und Lindwall (1989)	Kanada, Alberta	clay loam	20	1,43
Karlen et al. (1994)	USA, Minnesota	silt loam	12	1,73
Pagliai et al. (1995)	Italien	silt loam	8	3,48
Pagliai et al. (1995)	Italien	clay	8	3,82
Pitkänen und Nuutinen (1998)	Finnland	silty clay loam	15	3,92
Comia et al. (1994)	Schweden	clay	18	4,78
Mahboubi et al. (1993)	USA, Ohio	silt loam	28	20,9

1 Bei Vorliegen von Ergebnissen verschiedener konservierender Bodenbearbeitungsverfahren (z.B.

Direktsaat und Lockerung mit Grubber) bzw. Behandlungen (z.B. verschiedene Düngungsstufen) wurden die einzelnen Verhältniszahlen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren und von der Bodenart zu jeweils einem Mittelwert zusammengefasst

2 Dauer der konservierenden Bodenbearbeitung zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in Jahren

3 Verhältniszahlen sind entsprechend ihrer Größe geordnet. Verhältniszahlen >1 bzw. <1 bedeuten eine Zu- bzw. Abnahme der Wasserleitfähigkeit in der Unterkrume bei konservierender Bearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung

3. Oberflächenverschlämmung

Trifft Niederschlag ungebremst auf die an der Bodenoberfläche liegenden Aggregate auf, können durch die hohe kinetische Energie des Niederschlages Bodenteilchen von den Aggregatoberflächen abscheren oder ganze Aggregate durch Luftsprennung zerstört werden (Gäth, 1994, Henk 1989, Le Bissonais 1990, Mualem et al. 1990). Die einzelnen Bodenteilchen werden durch den Tropfenaufschlag und durch Verspülungen kleinräumig umgelagert und verstopfen größere Poren. Dazu wird die oberste Schicht durch die Regentropfen komprimiert. Eine Oberflächenverschlämmung (Krustenbildung) ist entstanden.

Die höhere Mulchbedeckung führt einerseits direkt zu einem Schutz vor einer Oberflächenverschlämmung, da das auf der Bodenoberfläche liegende Pflanzenmaterial die Bodenaggregate direkt vor Regentropfenaufschlag schützt. Somit ist von einer unmittelbaren infiltrationsschützenden Wirkung einer Mulchbedeckung bei konservierender Bodenbearbeitung auszugehen (Baumhardt und Lascano, 1996, Bruce et al., 1992, Cerdan et al., 2002, Ehlers, 1978, Frielinghaus et al., 1997, Ghuman und Suhr, 2001, Henk, 1989, Jones et al., 1969, Mannering und Meyer, 1963, Onstad und Otterby, 1979, Rawls und Richardson, 1983, Ruan et al., 2001, West et al., 1991). Andererseits führt die Anreicherung von Pflanzenresten auf der Oberfläche bzw. in der obersten Bodenschicht aber nicht nur zu einem direkten Schutz der Bodenaggregate vor Zerstörung durch Tropfenaufschlag. Sie hat auch Auswirkung auf die Stabilität der Aggregate selbst. So berichten Bruce et al. (1992), Chaney und Swift (1984), Carter (2002), Mackay und Kladvko (1985) sowie Robinson und Phillips (2001) über Zusammenhänge von Pflanzenmaterialeintrag, organischen Substanzaufbau, Aggregatstabilität und Verschlammungsneigung. Diese Zusammenhänge werden im Folgenden erläutert.

Franzluebers (2002) wies für Oberböden in den USA nach, dass im Gegensatz zur konventionellen Bodenbearbeitung bei konservierenden Verfahren erhebliche Unterschiede im Gehalt an organischer Substanz zwischen Ober- und Unterkrume bestehen. Wie die Übersicht in Tabelle 3 zeigt, werden in der obersten Bodenschicht bei konservierender Bodenbearbeitung deshalb auch i.d.R. höhere organische Kohlenstoffgehalte im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung nachgewiesen.

In erster Linie sind die erhöhten organischen Substanzgehalte offensichtlich auf die Anreicherung von Pflanzenresten in der obersten Bodenschicht zurückzuführen. So konnte durch Untersuchungen, bei denen die auf der Bodenoberfläche zurückbleibenden Pflanzenreste oder Gründünger, entfernt bzw. hinzugefügt wurden, die höchsten Gehalte an organischer Substanz in der obersten Schicht auf den Parzellen mit einem Eintrag von Pflanzensubstanz nachgewiesen werden (Bayer et al., 2001, Gerzabek et al., 2001, Kuo und Jellum, 2002, Mrabet und Lalou, 2001, Zachmann et al., 1987).

Tabelle 3: Verhältniszahlen zum Kohlenstoffgehalt in der obersten Bodenschicht aus konservierend und konventionell bearbeiteten Ackerböden.¹

Autoren	Standort	Textur	Dauer ²	Wert ³
			a	
Franzluebbers und Arshad (1996)	Kanada, Alberta/Brit. Col.	silt loam	16	0,94
Shirani et al. (2002)	Iran	silty clay loam	2	0,97
Franzluebbers, Arshad (1996)	Kanada, Alberta/Brit. Col.	loam	7	0,98
Zachmann et al. (1987)	USA, Minnesota	silt loam	5	1,01
Franzluebbers und Arshad (1996)	Kanada, Alberta/Brit. Col.	clay	5	1,03
Dalal et al. (1991)	Queensland	clay	20	1,04
Havlin et al. (1990)	USA, Kansas	silty clay loam	12	1,05
Culley et al. (1987)	USA, Minnesota	clay loam	4	1,06
Doran (1980)	USA, Minnesota	clay loam	9	1,07
Carter et al. (1994)	Australien, Victoria	sandy clay loam	10	1,09
Comia et al. (1994)	Schweden	clay	18	1,09
Halvorson et al. (2002)	USA, North Dakota	silt loam	12	1,09
Arshad et al. (1999)	Kanada, British Columbia	sandy loam	6	1,1
Doran (1980)	USA, Nebraska	silty clay loam	3	1,1
Doran (1980)	USA, Oregon	silt loam	9	1,1
Franzluebbers und Arshad (1996)	Kanada, Alberta/Brit. Col.	clay loam	4	1,11
Carter et al. (1999)	Kanada	sandy loam	8	1,13
Carter et al. (2002)	Kanada	sandy loam	6	1,13
Roth und Eggert (1991)	Deutschland, Niedersachsen	silt loam		1,13
Carter (1992)	Kanada	sandy loam	3-5	1,16
Frede et al. (1994)	Deutschland, Meinebene	(Löss)	10	1,16
Parmalee et al. (1990)	USA, Georgia	sandy clay loam	17	1,17
Campardella und Elliot (1992)	USA, Nebraska	loam	20	1,18
Nitzsche et al. (2001)	Deutschland, Sachsen	silt loam	8	1,18
Doran (1980)	USA, West Virginia	silt loam	5	1,2
Zimmerling und Schmidt (2002)	Deutschland, Sachsen	silt loam	2-11	1,23
Horne et al. (1992)	Neuseeland	silt loam	10	1,23
Doran (1980)	USA, Nebraska	silt loam	10	1,25
Lal et al. (1994)	USA, Ohio	silt loam	28	1,29
Arshad et al. (1999)	Kanada, British Columbia	silt loam	15	1,34
Hernanz et al. (2002)	Spanien	loam	12	1,34
Beare und Bruce (1993)	USA, Georgia	loamy sand	-	1,35
Frielinghaus et al. (1996)	Deutschland	sand	4	1,38
Havlin et al. (1990)	USA, Kansas	silt loam	12	1,39
Salinas-Garcia et al. 2002	Mexiko	clay	6	1,47
Franzluebbers et al. (1995)	USA, Texas	silty clay loam	10	1,5
Karlen et al. (1994)	USA, Minnesota	silt loam	12	1,5
Doran (1980)	USA, Nebraska	loam	9	1,5
Diaz-Zorita und Grove (2002)	USA, Kentucky	silt loam	8	1,51
Zibilske et al. (2002)	USA, Texas	sandy clay loam	9	1,51
Doran (1980)	USA, Kentucky	silt loam	9	1,55
Ghuman und Sur (2001)	Indien, Punjab	sandy loam	5	1,57
Tebrügge und Düring (1999)	Deutschland	sand	8	1,57
Mrabet und Lahlou (2001)	Marokko	clay	10	1,61
Perfect und Caron (2002)	USA, Kentucky	silt loam	6	1,64
de M. Sa et al. (2001)	Brasilien, Parana State	clay	22	1,7
Ismail et al. (1994)	USA, Kentucky	silt loam	20	1,72
Cassiolato et al. (2001)	Brasilien, MS	-	8	1,76
Francies und Knight (1993)	New Zealand	silt loam	9	1,81
Beare et al. (1994a)	USA, Georgia	sandy clay loam	13	1,82
Blevins et al. (1983)	USA, Kentucky	silt loam	10	1,97
Lopez-Fando und Pardo (2001)	Spanien	-	12	2
Mahboubi et al. (1993)	USA, Ohio	silt loam	28	2,03
Rhoton (2000)	USA, Mississippi	silt loam	8	2,06
West et al. (1991)	USA, Georgia	-	5	2,24

1 Bei Vorliegen von Ergebnissen verschiedener konservierender Bodenbearbeitungsverfahren (z.B. Direktsaat und Lockerung mit Grubber) bzw. Behandlungen (z.B. verschiedene Düngungsstufen) wurden die einzelnen Verhältniszahlen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren und von der Bodenart zu jeweils einem Mittelwert zusammengefasst

2 Dauer der konservierenden Bodenbearbeitung zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in Jahren

3 Verhältniszahlen sind entsprechend ihrer Größe geordnet. Verhältniszahlen >1 bzw. <1 bedeuten eine Zu- bzw. Abnahme des Kohlenstoffgehalts in der obersten Bodenschicht bei konservierender Bearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung

Die Pflanzenreste werden durch Bodenorganismen zerkleinert, zersetzt und mit mineralischen Bodenteilchen vermischt (Lee und Foster, 1991, Mackay und Kladvko, (1985), Oades, 1984). Neben der Bodenfauna sind auch Pilzhyphen und Bakterien (Gupta und Germida, 1988, Moloppe et al., 1987, Swaby, 1950) sowie Pflanzenwurzeln (Cheng et al., 1990) an der Aggregation beteiligt. Gegenüber dem klassischen Modell der Bodenaggregation von Tisdall und Oades (1982) (primär entstandene Mikroaggregate werden durch Wurzeln/Pilz-hyphen temporär verbunden, dauerhafte Bindung durch Polysaccharide, aromatische Verbindungen mit mehrwertigen Kationen und stark sorbierende Polimere zu Makroaggregaten) entstehen dabei nach Oades (1984) zunächst Makroaggregate (>0,25 mm). In diesen Aggregaten erfolgt in den äußeren Bereichen ein schneller mikrobieller Abbau von organischer Substanz. Nach diesem Initialstadium nimmt der Abbau plötzlich ab. Grund hierfür ist, dass die organische Substanz im Inneren der Aggregate durch Pilzhyphen und zurückbleibende Tonteilchen eingeschlossen wird und dadurch zunächst vor weiterem Abbau geschützt ist. Nach dem Initialstadium verbleiben an der Oberfläche bzw. in oberflächennahen Schichten folglich kleinere Aggregate zurück, die durch eine Anreicherung mit stabilisierter und fest mit mineralischen Bodenteilchen verbundener organischer Substanz gekennzeichnet sind.

Vorrangig sind dies die größten Mikroaggregate (0,1-0,25 mm). Dieser Prozess wird prinzipiell bestätigt von Beare et al. (1994a, 1994b), Bossuyt et al. (2002), Gale et al. 2000, Gerzabek et al. (2001), Oades und Waters (1991) sowie Roscoe et al. (2000).

Die stabilisierte organische Substanz in diesen Aggregaten entstammt somit überwiegend den Pflanzenresten (Six et al., 2001). Derartige Aggregate können nur noch schwer z.B. durch Regentropfenaufschlag zerstört werden. Die Stabilitätseigenschaften von Aggregaten hängen jedoch auch von der Textur (Levy und Mamedov, 2002) und von der Mineralzusammensetzung (Wakindiki und Ben-Hur, 2002) ab. Eine erhöhte Aggregatstabilität hat eine geringere Verschlammungsanfälligkeit zur Folge (Bruce et al., 1992, Levy und Mamedov, 2002; Robinson und Phillips, 2001). Werden dagegen Aggregate z.B. durch mechanische Beanspruchung zerstört, setzt sofort der weitere mikrobielle Abbau der organischen Substanz ein (Bossuyt et al., 2002, Elliot, 1986, Gupta und Germida, 1988).

Aufgrund des höheren Eintrags von organischer Substanz in der obersten Bodenschicht und der damit verbundenen gestiegenen Aktivität von Bodenorganismen, mit ihrer zerkleinernden, zersetzenden und vermischenden Tätigkeit, ist demnach mit einer höheren Aggregatstabilität und somit mit einer geringeren Verschlammungsanfälligkeit bei konservierender Bodenbearbeitung zu rechnen. Dies wird in der Literatur bestätigt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Verhältniszahlen zur Aggregatstabilität in der obersten Bodenschicht aus konservierend und konventionell bearbeiteten Ackerböden.¹

Autoren	Standort	Textur	Dauer ²	Wert ³
			a	
Franzuebbers und Arshad (1996)	Kanada, Alberta/Brit. Col.	clay	5	1
Franzuebbers und Arshad (1996)	Kanada, Alberta/Brit. Col.	silt loam	16	1,01
Mrabet und Lahlou (2001)	Marokko	clay	10	1,02
Hao et al. (2000)	Kanada, Alberta	clay loam	4/5	1,04
Franzuebbers und Arshad (1996)	Kanada, Alberta/Brit. Col.	loam	7	1,04
Ghuman, Sur (2001)	Indien, Punjab	sandy loam	5	1,05
Franzuebbers, Arshad (1996)	Kanada, Alberta/Brit. Col.	clay loam	4	1,06
Sidiras et al. (2001)	Griechenland	-	-	1,08
Beare und Bruce (1993)	USA, Georgia	loamy sand	-	1,1
Karlen et al. (1994)	USA, Minnesota	silt loam	12	1,11
Schjonning u. Rasmussen (1989)	Dänemark	loam	5-18	1,13
Shirani et al. 2002	Iran	silty clay loam	2	1,13
Nitzsche et al.(2001)	Deutschland, Sachsen	silt loam	8	1,19
Mrabet und Lahlou (2001)	Marokko	clay	4	1,2
Roth und Eggert (1991)	Deutschland, Niedersachsen	silt loam	-	1,29
Home et al. (1992)	Neuseeland	silt loam	10	1,33
Zimmerling und Schmidt (2002)	Deutschland, Sachsen	silt loam	2-11	1,39
Lal et al. (1989)	USA, Ohio	silty loam	12	1,39
Epperlein (2001)	Deutschland, Uckermark	loam sand	7	1,4
Pagliai et al. (1995)	Italien	silt loam	8	1,41
Franken und Loh (1987)	Deutschland	silt loam	1	1,48
Carter (1992)	Kanada	sandy loam	3-5	1,49
Pagliai et al. (1995)	Italien	clay	8	1,5
Tebrügge und Düring (1999)	Deutschland	loam	13	1,63
Arshad et al. (1999)	Kanada, Brit ish Columbia	silt loam	10-12	1,68
West et al. (1991)	USA, Georgia	-	5	1,74
Lal et al. (1994)	USA, Ohio	silt loam	28	1,8
Gregorich et al. (1993)	Kanada	clay loam	3	1,98
Rhoton (2000)	USA, Mississippi	silt loam	8	2,04
Hernanz et al. (2002)	Spanien	loam	12	2,4
Mahboubi et al. (1993)	USA, Ohio	silt loam	28	2,87

¹ Bei Vorliegen von Ergebnissen verschiedener konservierender Bodenbearbeitungsverfahren (z.B. Direktsaat und Lockerung mit Grubberj bzw. Behandlungen (z.B. verschiedene Düngungsstufen) wurden die einzelnen Verhältniszahlen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren und von der Bodenart zu jeweils einem Mittelwert zusammengefasst

² Dauer der konservierenden Bodenbearbeitung zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in Jahren

³ Verhältniszahlen sind entsprechend ihrer Größe geordnet. Verhältniszahlen >1 bzw. <1 bedeuten eine Zu- bzw. Abnahme der Aggregatstabilität in der obersten Bodenschicht bei konservierender Bearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung

4. Makroporensystem

Wie bereits erwähnt, führt die konservierende Bodenbearbeitung zu einer Förderung von Bodenorganismen. Dabei spielt neben der Mulchaufgabe, durch ein verbessertes Nahrungsangebot und Bodenklima (Edwards und Bohlen, 1996, Kladvko, 2001), auch die geringere Intensität der Bearbeitung eine wichtige Rolle. Von einer geringeren Intensität der Bodenbearbeitung profitiert insbesondere die Bodenmakrofauna einschließlich der Regenwürmer (Lavelle, 2000, Lavelle et al., 1997, Wardle, 1997, Wyss et al., 1992). Eine Zusammenstellung der Verhältniszahlen in Tabelle 5 macht deutlich, dass in der Regel von einer Zunahme der Regenwurmabundanz bei konservierender Bodenbearbeitung auszugehen ist.

Dabei legen die tiefgrabenden Regenwürmer vertikale Röhren im Boden an. Ehlers (1975) fand in deutschen Ackerböden aus Löß derartige Regenwurmgänge bis zu einer Tiefe von 180 cm. Die Gänge hatten durchschnittliche Durchmesser von 5 bis 8 mm und erreichten maximal 11 mm. Diese vertikalen Regenwurmröhren werden zu den Makroporen gezählt.

Germann und Beven (1981) definieren Makroporen als Poren mit einem Durchmesser >3 mm. Beven und Germann (1982) geben in einer Literaturübersicht weitere Definitionen von Makroporendurchmessern, die bis zu einem Porendurchmesser von nur 0,03 mm reichen können. Die Autoren selbst definieren Makroporen, unabhängig von ihrer Größe als solche, in denen das Wasser nahezu nur unter dem Einfluss des Gravitationspotenzials steht, und unterscheiden aus morphologischer Sicht zwischen vier Gruppen von Makroporen. Demnach sind Makroporen durch die Bodenfauna, durch die Pflanzenwurzeln, durch Risse und Spalten infolge von Schrumpfung bzw. chemischer Verwitterung oder durch erosiven Zwischenabfluss entstanden.

Durch den Pflugverzicht werden sowohl diese Regenwurmgänge, als auch z.B. durch alte Pflanzenwurzeln entstandene, kontinuierliche Makroporen im Oberboden nicht mehr regelmäßig unterbrochen (Dick et al., 1989, Meek et al., 1992, Unger und Fulton 1990, VandenBygaert et al., 2000) oder an der Bearbeitungsgrenze verschmiert (Thomas und Phillips, 1979). Die Folge ist eine Anreicherung von kontinuierlichen Makroporen bei konservierender Bodenbearbeitung, die von der Oberfläche bzw. oberflächennahen Bereichen bis in den Unterboden reichen können (Chervet et al., 2000, Edwards et al., 1988, Ehlers, 1975, Haerd et al., 1988, Heisler et al., 1998, Pagliai et al., 1995, Shipitalo et al., 2000).

Tabelle 5: Verhältniszahlen zur Regenwurmabundanz im Boden aus konservierend und konventionell bearbeiteten Ackerböden.¹

Autoren	Standort	Textur	Dauer ²	Wert ³
			a	
Wyss et al. (1992)	Schweiz	silty-sandy loam	3	0,37
Nuutinen (1992)	Südfinnland	sandy loam	8-9	0,58
Pitkänen und Nuutinen (1998)	Finnland	silty clay loam	15	0,84
Katsvario et al. (2002)	USA, New York	silt loam	3	1,01
Nuutinen (1992)	Südfinnland	clay loam	8-9	1,1
Edwards und Lofly (1982)	Kanada, Quebec	clay loam	3-7	1,18
Karlen et al. (1994)	USA, Minnesota	silt loam	12	1,22
Edwards und Lofly (1982)	Kanada, Quebec	sandy loam	3-7	1,27
Gerard und Hay (1979)	Großbritannien	sandy clay loam	6	1,28
Edwards und Lofly (1982)	Kanada, Quebec	silty clay loam	3-7	1,33
Carter (1988)	Kanada, Quebec	sandy loam	<5	1,45
Gerard und Hay (1979)	Großbritannien	loam	6	1,48
Frielinghaus et al. (1997)	Deutschland Brandenburg	loamy sand	-	1,6
Nuutinen (1992)	Südfinnland	silty clay	8-9	1,6
Heisler et al. (1998)	Deutschland, Niedersachsen	silt loam	-	1,85
Epperlein (2001)	Deutschland, Uckermark	loam sand	7	2
Kladvko et al. (1997)	USA, Indiana/Illinois	L, SL, SiL, SiCL	2-17	2,16
Mackay und Kladvko (1985)	USA, Indiana	silt loam	8	2,26
Nitzsche et al. (2001)	Deutschland, Sachsen	silt loam	8	2,4
el Titti und Ipach (1989)	Deutschland	-	10	3,26
Parmalee et al. (1990)	USA, Georgia	sandy clay loam	17	3,47
House und Parmalee (1985)	USA, Georgia	loam	17	4,12
Bohlen et al. (1995)	USA, Ohio	silt loam	50	4,33
Springlett (1992)	Neuseeland, Nordinsel	-	-	9
Deibert et al. (1991)	USA, North Dakota	loam	12	10,9
VandenBygaert et al. (1998)	-	-	4	46,6

1 Bei Vorliegen von Ergebnissen verschiedener konservierender Bodenbearbeitungsverfahren (z.B. Direktsaat und Lockerung mit Grubber) bzw. Behandlungen (z.B. verschiedene Düngungsstufen) wurden die einzelnen Verhältniszahlen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren und von der Bodenart zu jeweils einem Mittelwert zusammengefasst

2 Dauer der konservierenden Bodenbearbeitung zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in Jahren

3 Verhältniszahlen sind entsprechend ihrer Größe geordnet. Verhältniszahlen >1 bzw. <1 bedeuten eine Zu- bzw. Abnahme der Regenwurmabundanz im Boden bei konservierender Bearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung

In Tabelle 6 sind die aus veröffentlichten Ergebnissen ermittelten Verhältniszahlen für Makroporenanteile zwischen der konservierenden und konventionellen Bodenbearbeitung dargestellt. Da offensichtlich ein größerer Anteil der Ergebnisse auch über eine geringere Makroporosität (Verhältniszahlen kleiner als 1) verfügte, wurden den Ergebnissen zugrundeliegende Makroporenäquivalentdurchmesser hinzugefügt. Bei den Verhältniszahlen, die kleiner als 1 sind, wird deutlich, dass hier auch weite bzw. enge Grobporen in die Makroporenbetrachtungen mit einbezogen wurden. Diese Porensysteme sind jedoch vorrangig bodenbearbeitungsinduziert und spiegeln daher die Zunahme der Lagerungsdichte in der Unterkrume und nicht die durch Regenwürmer und Pflanzenwurzeln gebildeten Makroporen wider. Bei Verhältniszahlen größer 1 kann davon ausgegangen werden, dass tatsächlich die erhöhte Makroporosität, auf die Bodenmakrofauna und -flora zurückzuführen ist.

Tabelle 6: Verhältniszahlen zur Makroporosität im Boden aus konservierend und konventionell bearbeiteten Ackerböden. ¹

Autoren	Standort	Textur	Dauer ²	Wert ³	Ø ⁴
			a		mm
Lindstrom et al. (1984)	USA, Minnesota	loam	3	0,53	0,06
Carter et al. (2002)	Kanada	sandy loam	6	0,54	0,3
Lindstrom und Onstad (1984)	USA, Minnesota	loam	-	0,57	0,06
Schjoning und Rasmussen (2000)	Dänemark	silty loam	4	0,7	0,03
Rasmussen 1999)	Finnland	clay	-	0,7	0,3
Carter (1988)	Kanada, Quebec	sandy loam	<5	0,74	0,05
Schjoning und Rasmussen (2000)	Dänemark	coarse sandy	4	0,92	0,03
Heard et al. (1988)	USA, Indiana	silt loam	5	0,93	1
Chang und Lindwall (1989)	Kanada, Alberta	clay loam	20	1,02	0,02
Pitkänen und Nuutinen (1998)	Finnland	silty clay loam	15	1,04	-
Schjoning und Rasmussen (2000)	Dänemark	sandy loam	4	1,11	0,03
Carter et al. (1994)	Australien, Victoria	sandy clay loam	10	1,3	0,3
House et al. (2001)	USA, Kentucky	silt loam	17-18	1,67	0,12-5
Wu et al. (1992)	USA, Wisconsin	silt loam	>6	1,78	-
Tebrügge und Düring (1999)	Deutschland	sand	8	1,94	1
Wu et al. (1995)	USA, Wisconsin	silt loam	6	2	-
Heard et al. (1988)	USA, Indiana	silty clay loam	10	2,12	1
Ehlers (1975)	Deutschland	silt loam	4	2,2	2-11
Wu et al. (1992)	USA, Minnesota	sandy clay loam	>6	2,33	-
VandenBygaart et al. (2000)		-	-	2,5	-
Nitzsche et al. (2001)	Deutschland, Sachsen	silt loam	8	2,9	1
Lal et al. (1989)	USA, Ohio	silty loam	12	3,3	2
Drees et al. (1994)	USA, Kentucky	silt loam	17	4,32	1
Frede et al. (1994)	Deutschland, Mainebene	Löss	10	5,45	1

¹ Bei Vorliegen von Ergebnissen verschiedener konservierender Bodenbearbeitungsverfahren (z.B. Direktsaat und Lockerung mit Grubber) bzw. Behandlungen (z.B. verschiedene Düngungsstufen) wurden die einzelnen Verhältniszahlen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren und von der Bodenart zu jeweils einem Mittelwert zusammengefasst

² Dauer der konservierenden Bodenbearbeitung zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in Jahren

³ Verhältniszahlen sind entsprechend ihrer Größe geordnet. Verhältniszahlen >1 bzw. <1 bedeuten eine Zu- bzw. Abnahme der Makroporosität im Boden bei konservierender Bearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung

⁴ Den Angaben zur Makroporosität wurden die zugrundeliegenden Makroporenäquivalentdurchmesser hinzugefügt.

5. Fazit

Nach Umstellung der konventionellen ackerbaulichen Bodenbearbeitung mit dem Pflug auf konservierende Verfahren ist von einer Veränderung von Bodeneigenschaften auszugehen.

Aus dieser Literaturübersicht heraus ändern sich insbesondere bodenphysikalische Eigenschaften des Oberbodens, die Oberflächenverschlammungsanfälligkeit und das Makroporensystem.