

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

Einfluss der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Stoffaustrag über Makroporen

Problemstellung

Folgende Bodenwirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung sind bekannt: Die Infiltrationsfähigkeit nimmt zu und entsprechend nehmen der Oberflächenabfluss und die Erosionsanfälligkeit ab. Dies ist damit zu begründen, dass die Oberflächenverschlammungsanfälligkeit (durch höhere Bodenbedeckung, Aggregatstabilität und Rauigkeit) abnimmt und ein erhöhter Anteil an senkrechten Makroporen (durch die höhere Zahl an tiefgrabenden Regenwürmern und der ausbleibenden Zerstörung der Poren durch den Pflug) auftritt.

Als Folge der erhöhten Infiltration wird angenommen, dass, insbesondere in den Makroporen, ein verstärkter, nach unten ausgerichteter Stofftransport im Boden stattfinden kann, womit potenziell eine verstärkte Stoffverlagerung ins Grundwasser verbunden sein kann.

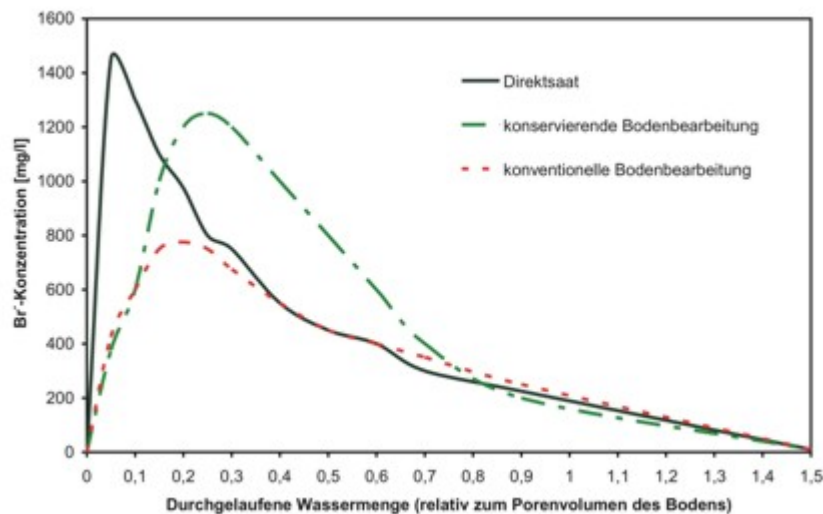


Abbildung 1: Mittlere Durchbruchkurven (d. h. Nachweis von Bromid-Tracer im Sickerwasser) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung bei einem Tracerversuch an Kleinlysimetern mit künstlicher Beregung und wasserungesättigten Startbedingungen (verändert nach Zimmermann 2003).

Den potenziell erhöhten Stoffaustrag über Makroporen zeigte z. B. Zimmermann (2003). Er führte Tracerversuche (Bromid-Tracer) mit Kleinlysimetern durch, welche aus der Ackerkrume (0-15 cm Bodentiefe) eines langjährigen Bodenbearbeitungsversuches mit den Bodenbearbeitungsvarianten „Pflug“, „Konservierend“ und „Direktsaat“ entnommen wurden. In allen Bearbeitungsvarianten wurde ein früher Tracerdurchbruch, weit vor der durchsickerten Wassermenge, die dem Gesamtporenvolumen der Bodensäule entspricht, nachgewiesen, d. h. Wasserflüsse und Stofftransporte fanden auf bevorzugten Bahnen (Makroporen) statt. Insbesondere bei der Direktsaat trat der Tracerpeak sehr früh auf und hatte eine hohe Konzentration (Abbildung 1).

Dem potenziell erhöhten Stoffaustrag über Makroporen als Folge konservierender Bodenbearbeitung stehen nachfolgend diskutierte Argumente gegenüber.

Minimierung des Eintrags über den Oberflächenabfluss

Es muss beachtet werden, dass durch die erhöhte Infiltration die Direkteinträge in Gewässer über den Oberflächenabfluss weitgehend vermieden werden. Dies ist der Haupteintragspfad für partikulär gebundene Stoffe wie Phosphor und diverse Pflanzenschutzmittel. Erlach et al. (2004) untersuchten die Stoffausträge von applizierten Pflanzenschutzmitteln über den Oberflächenabflusspfad aus Ackerflächen bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Mais). Bei den untersuchten Wirkstoffen (Metolachlor, Pendimethalin und Terbutylazin) wurden auf der gepflügten Fläche bis zu 0,3 % der Aufwandmenge als Folge des Oberflächenabflusses wieder ausgetragen, bei der konservierenden Bodenbearbeitung waren es nur 0,03 % und auf der Direktsaatfläche konnte kein Stoffaustrag durch Oberflächenabfluss nachgewiesen werden.

Stoff muss in verlagerbarer Form vorliegen

Stoffe, die mit dem Bodenwasser transportiert werden, müssen auch in einer verlagerbaren Form vorliegen. Ein Beispiel sind moderne Pflanzenschutzmittel (PSM). Diese gehen in der Regel eine feste Bindung mit Bodenpartikeln ein und sind deshalb nur wenig mit dem Bodenwasser in die Tiefe verlagerbar. Außerdem bauen sich moderne PSM relativ schnell ab. Diese Prozesse laufen in Oberböden konservierend bearbeiteter Böden schneller ab, da deren mikrobielle Aktivität höher ist (Tebrügge und Düring 1999).

Ein anderes typisches Beispiel ist Stickstoff. Dieser Nährstoff wird überwiegend in mineralisierter Form mit der Bodenlösung verlagert. Deshalb besteht die Gefahr des Eintrags in das Grundwasser. Es muss aber berücksichtigt werden, dass durch den Verzicht auf den Pflug der Mineralisierungsschub unmittelbar vor dem Einsetzen der herbstlichen Sickerperiode verringert wird. Ergebnisse der LfL zeigen, dass durch konservierende Bodenbearbeitung im Herbst eine Verringerung des Nmin-Gehalts in Löß-Böden um durchschnittlich ca. 30 kg N/ha möglich ist (Abbildung 2). Wenn weniger mobiler Nitrat-N im Boden unmittelbar vor der Sickerperiode vorhanden ist, wird entsprechend weniger Nitrat-N mit dem Sickerwasser verlagert. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass durch Zwischenfrüchte Nitrat gebunden wird.

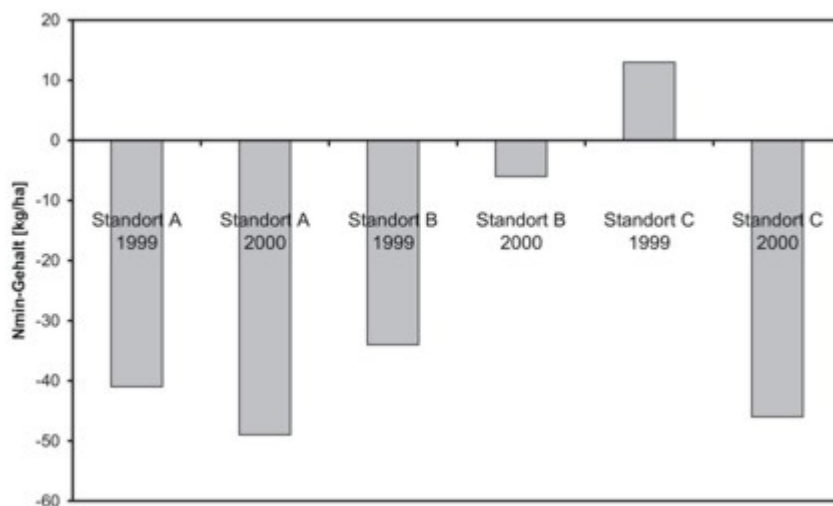


Abbildung 2: Unterschiede im Nmin-Gehalt [kg/ha] von Lößböden (0-90 cm) in Sachsen nach der Grundbodenbearbeitung im Herbst bei konservierender Bodenbearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (konventionelle Bearbeitung = Bezugsniveau, Quelle: LfL, unveröffentlicht).

Hansen und Djurhus (1997) untersuchten den Stickstoffaustrag von unterschiedlich bearbeiteten Ackerflächen aus lehmigem Sand in Dänemark bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Während bei der konventionellen Bodenbearbeitung im Herbst ein Stickstoffaustrag von 76 kg N/ha gemessen wurde, reduzierte sich der Stickstoffaustrag bei konservierender Bodenbearbeitung auf 35 kg N/ha.

In Makroporen fließt nur bei bestimmten Niederschlagsereignissen Wasser

Bei geringer Niederschlagsintensität infiltriert das Wasser in den Bodenkörper (Bodenmatrix) und wird dort verlagert (Abbildung 3 A). Unter diesen Bedingungen kann folglich kein beschleunigter Stofftransport in Makroporen stattfinden. Makroporeninfiltration setzt erst dann ein, wenn die Niederschlagsintensität höher ist als die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens (z. B. bei Gewittern). Das Wasser fließt auf der Bodenoberfläche ab und infiltriert in die Makroporen (Abbildung 3 B). Dabei muss berücksichtigt werden, dass konservierend bearbeitete Böden eine höhere Wasseraufnahmefähigkeit besitzen, da sie weniger anfällig gegenüber Oberflächenverschlammungen sind. Daher setzt bei konservierender Bodenbearbeitung erst bei einer höheren Niederschlagsintensität Oberflächenabfluss und in Folge davon Makroporeninfiltration ein.

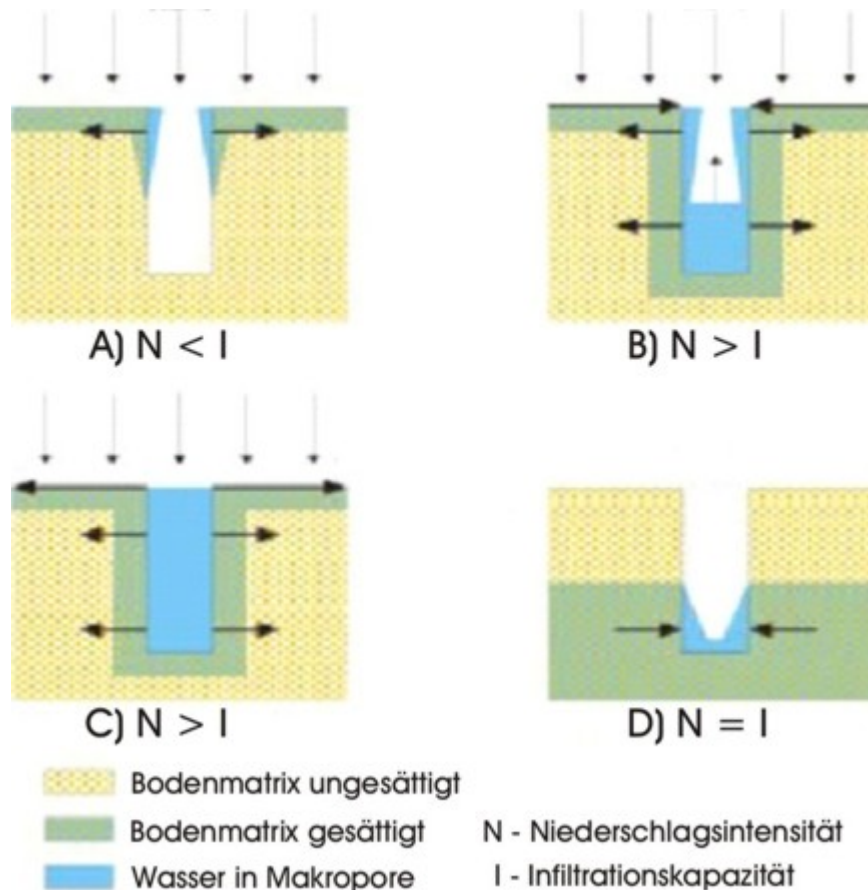


Abbildung 3: Schema der Wasserflüsse in einem ungestörten Boden mit Makropore. (A) Infiltration in den trockenen Boden; (B) Die Infiltrationskapazität der Bodenmatrix ist erschöpft, es kommt zum Makroporenfluss.; (C) Die Infiltrationskapazität der Bodenmatrix und des Makroporensystems sind erschöpft, es kommt zum Oberflächenabfluss.; (D) Ist die Bodenmatrix um eine Makropore gesättigt, kommt es zum Übertritt von Wasser aus der Bodenmatrix in die Makropore (verändert nach Beven / Germann 1981).

Allgemein kann für Lössböden diese kritische Niederschlagsintensität bei etwa 5 mm/h bzw 0,08 mm/min angesehen werden, da ab dieser Intensität die Oberflächen verschlammten (Roth 1995). Wird konservierend bearbeitet, erhöht sich die Wasseraufnahmefähigkeit des Lössbodens um durchschnittlich 0,3 mm/min (Zimmerling 2004).

Edwards et al. (1989) untersuchten den Makroporenflussanteil und den damit verbundenen Stickstoffaustrag eines Bodens mit einer Makroporosität (Makroporenanteil am Gesamtbodenvolumen) von 0,3 % im Sommerhalbjahr. Eine Skizze der Messeinrichtung zeigt Abbildung 4. Makroporenfluss setzte ab einer Niederschlagsintensität von 0,07 mm/min (3,6 mm in 18 min) ein. Bei dem kleinsten Ereignis waren jedoch nur 14 % der Makroporen an den Flüssen beteiligt. Der Makroporenflussanteil betrug durchschnittlich 3,9 %, d. h. 96,1 % der Wasserbewegung vollzog sich ausschließlich in der Bodenmatrix. Die Nitratkonzentration im Makroporenwasser streute zwischen 0 und 12 mg NO₃/l. Insgesamt wurde ein Stickstoff-Austrag von nur 711 g N/ha bilanziert.

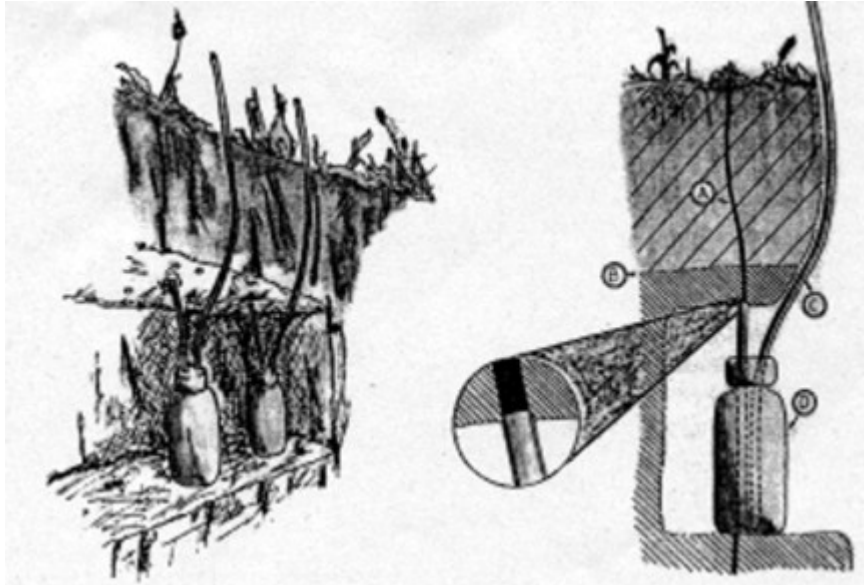


Abbildung 4: Skizze der Messeinrichtung zur Erfassung von Makroporenflüssen (Quelle: Edwards et al. 1989)

Tritt Makroporenfluss auf, hängt die Stoffverlagerung auch von der Lage des Stoffes im Boden während des extremen Niederschlagsereignisses ab. Liegt der Stoff (z. B. ein Düngerkorn) auf der Bodenoberfläche und setzt ein extremes Niederschlagsereignis mit Oberflächenabflussbildung ein, geht der Stoff in Lösung und wird zu den Makroporen transportiert und darin in die Tiefe verlagert.

In der Regel tritt nach einer Düngerapplikation nicht sofort ein extremes Ereignis auf. Es fallen Niederschläge mit geringerer Intensität, ohne dass Oberflächenabfluss auftritt. Der Stoff wird folglich gelöst und in die Bodenmatrix verlagert (Abbildung 3 A). Setzt danach ein Extremereignis ein, kann sich das Oberflächenwasser nicht mehr mit dem Stoff befrachten. Das Wasser fließt auf der Oberfläche zu den Makroporen und infiltriert in diese, ohne in Kontakt mit dem Dünger zu kommen (Abbildung 3 B). In den Makroporen fließt das Wasser dann (im Bypass) in tiefere Bodenschichten, wiederum ohne Kontakt mit dem Stoff in der Bodenmatrix zu haben.

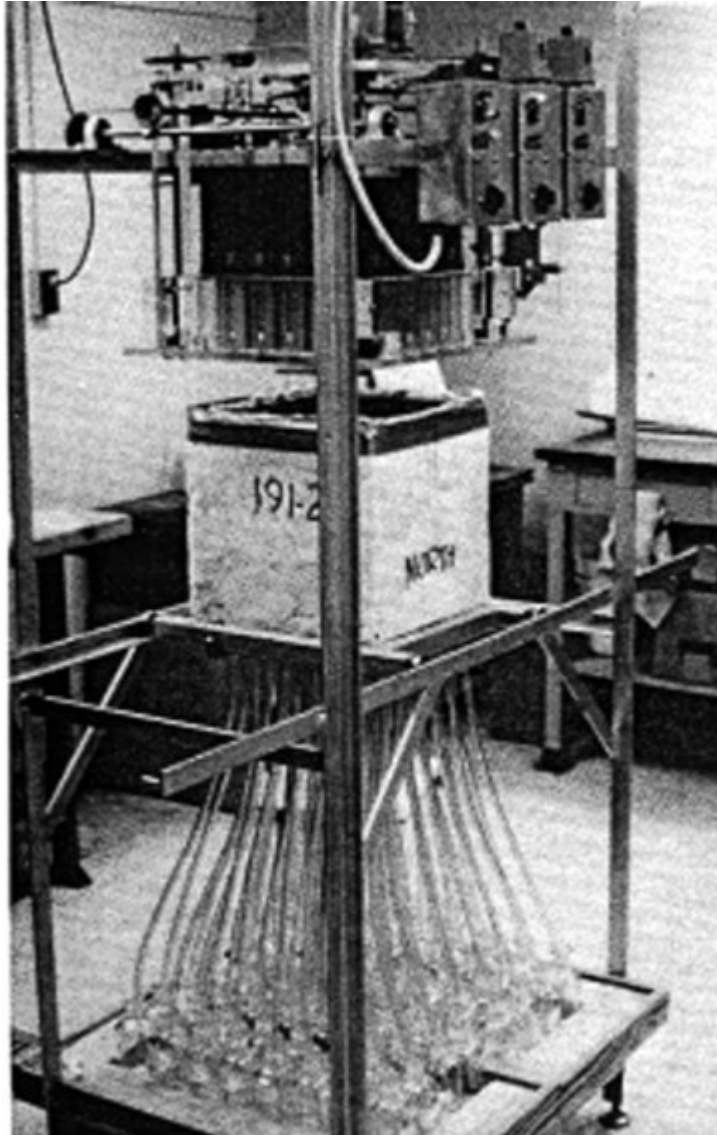


Abbildung 5: Messeinrichtung zur Stoffaustragserfassung bei unterschiedlichen Initialbedingungen (Quelle: Shipitalo et al. 1990)

Shipitalo et al. (1990) untersuchten an einem Bodenblock im Labor die Auswirkungen unterschiedlicher Ausgangsbedingungen auf den Stoffaustrag von Bromid (Stoffverlagerungsverhalten mit Nitrat vergleichbar) und Atrazin (Pflanzenschutzmittel) als Tracer. Eine Skizze der Messeinrichtung zeigt Abbildung 5. Der Boden hatte eine Makroporosität von ca. 0,6 %. Auf die gesamte Bodenoberfläche wurden beide Tracer appliziert. Die Hälfte des Bodenblocks wurde einer Anfangsberegnung mit geringer Niederschlagsintensität ausgesetzt, so dass der Tracer in die Bodenmatrix eindringen konnte. Zwei Tage später wurde der gesamte Bodenblock einem extremen Niederschlagsereignis ausgesetzt. 12 % dieses Niederschlages flossen während bzw. unmittelbar nach dem Niederschlagsereignis durch den Bodenblock. Durch die Initialberegnung reduzierte sich der Stoffaustrag beim Bromid um das 7-fache und beim Atrazin um die Hälfte. Insgesamt wurden vom mobileren Bromid 5 % und vom weniger mobilen Atrazin 3 % der applizierten Menge aus dem Bodenblock ausgetragen.

Ein Stoff der bis in die Makropore gelangt ist, wird nicht automatisch bis zum Grundwasser transportiert

Wasser und darin gelöste Stoffe fließen in Makroporen entlang der Porenwandungen. Von dort aus saugt die (Wasser ungesättigte) Bodenmatrix das Wasser und die darin gelösten Stoffe aus der Makropore in die Bodenmatrix (Abbildung 3 A, B, C). Dies ist ein typischer Prozess, da die umgebende Bodenmatrix bei nicht vollständiger Wassersättigung das in Makroporen fließende Wasser lateral absorbiert (Bouma 1981, Trojan und Linden 1998). Außerdem sind diese Porenrandbereiche Orte höchster mikrobieller Aktivität, so dass hier auch ein verstärkter Abbau von Pflanzenschutzmittel stattfindet (Bundt et al. 2001, Mallawatantri et al. 1996, Pivetz und Steenhuis 1995). Außerdem muss berücksichtigt werden, dass durch Regenwürmer erzeugte Makroporen maximal 2 m Tiefe erreichen (Ehlers 1975) und deshalb auf grundwasserfernen Standorten nicht direkt Stoffe bis in das Grundwasser transportieren können.

Grunewald et al. (2000) untersuchten das Verhalten von Glyphosat in Böden und Gewässern eines Einzugsgebiets in Sachsen. Das Herbizid wird vorrangig mikrobiell metabolisiert. Zunächst entsteht AMPA (Aminomethylphosphorsäure). AMPA ist aber auch ein Metabolit anderer organischer Säuren. Sowohl das Glyphosat als auch AMPA besitzen eine nur geringe Toxizität. Beide Verbindungen werden fest an Bodenteilchen gebunden. Die Auswaschungsgefahr ist daher sehr gering. Es wurde in dem Feldversuch eine Halbwertszeit von 11 bis 17 Tagen gemessen. Fünf Monate nach der Applikation waren weder Glyphosat noch das Metabolit AMPA im Boden nachweisbar. Auch in Gewässern konnten beide Verbindungen nicht nachgewiesen werden.

Trotz dieses Ergebnisses besteht insbesondere zur Stoffverlagerungsproblematik von Glyphosat in konservierend bearbeiteten Böden weiterer Forschungsbedarf.

Fazit

Konservierend und in Direktsaat bestellte Böden besitzen eine erhöhte Wasseraufnahmefähigkeit. Da dies auch auf einen höheren Anteil an senkrechten bzw. vertikal-kontinuierlichen Makroporen zurückzuführen ist, besteht potenziell die Möglichkeit eines erhöhten Stoffaustrages in das Grundwasser. Die Verlagerung eines Stoffes in Makroporen hängt jedoch von seiner Applikationsform, der ausgebrachten Menge und dem Ausbringungszeitpunkt ab. Da sich bei konservierender Bearbeitung eine Reihe weiterer Bodeneigenschaften verändern und Besonderheiten beim Stofftransport in Makroporen zu berücksichtigen sind, sprechen viele dargestellte Argumente dafür, dass konservierende Bodenbearbeitung nicht mit einem verstärkten Stoffeintrag in das Grundwasser verbunden ist. Im Einzelnen sind jedoch zur exakten Beschreibung der sickerwassergebundenen Stoffverlagerung auf dauerhaft konservierend bearbeiteten Flächen weitere Untersuchungen sowohl in Lysimetern als auch im Freiland erforderlich.

Literatur

- Beven, K., Germann, P. 1981. Water flow in soil macropores. II. A combined flow model. *J. Soil Sci.* 32:15-29.
- Bouma, J. 1981. Soil morphology and preferential flow along macropores. *Agric. Ecosyst. Environ.* 3:235-250.
- Bundt, M., Widmer, F., Pesaro, M., Zeyer, J., Blaser, P. 2001. Preferential flow paths: biological "hot spots" in soils. *Soil Biol. Biochem.* 33:729-738.
- Edwards, W.M., Shipitalo, M.J., Owens, L.B., Norton, L.D. 1989. Water and nitrate movement in earthworm burrows within long-term no-till cornfields. *J. Soil Water Conserv.* 44:240-243.
- Ehlers, W. 1975. Observation on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Sci.* 119:242-249.
- Erlach, F., Gröblichhoff, F., Lütke Entrup, N. 2002. Nährstoff- und Pflanzenschutzausträge durch Pflugverzicht minimieren. Gewässerbelastung lässt sich reduzieren Landwirtschaft ohne Pflug. 1:10-14.
- Grunewald, K., Schmidt, W., Unger, Ch., Hanschmann, G. 2001. Behavior of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in soils and water of reservoir Radeburg II catchment (Saxony/Germany). *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164:65-70.
- Hansen, E.M., Djurhuus, J. 1997. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil Tillage Res.* 41:203-219
- Mallawatantri, A.P., McConkey, B.G., Mulla, D.J. 1996. Characterization of pesticide sorption and degradation in macropore linings and soil horizons of Thatuna silt loam. *J. Environ. Qual.* 25:227-235.
- Pivetz, B.E., Steenhuis, T.S. 1995. Biodegradation and Bioremediation. Soil matrix and macropore biodegradation of 2,4-D. *J. Environ. Qual.* 24:564-570.
- Roth, C.H., Helming, K., Fohrer, N. 1995. Oberflächenverschlammung und Abflussbildung auf Böden aus Löss und pleistozänen Sedimenten. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 158:43-53.
- Shipitalo, M.J., Edwards, W.M., Dick, W.A., Owens, L.B. 1990. Initial storm effects on macropore transport of surface-applied chemicals in no-till soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1530-1536.
- Tebrügge, F., Düring, R.-A. 1999. Reducing tillage intensity - A review of results from a longterm study in Germany. *Soil Tillage Res.* 53:15-28.
- Trojan, M.D., Linden, D.R. 1998. Macroporosity and hydraulic properties of earthwormaffected soils as influenced by tillage and residue management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1687-1692.
- Zimmerling, B. 2004. Beregnungsversuche zum Infiltrationsverhalten von Ackerböden nach Umstellung der konventionellen auf konservierende Bodenbearbeitung. Dissertation. Universität Hannover, Horizonte – Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde 15. Der Andere Verlag, Oldenburg.
- Zimmermann, F. 2003. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung von Ackerflächen auf den sickewassergebundenen Stofftransport – untersucht mit Hilfe von Experimenten an Bodensäulen. Diplomarbeit. Universität Leipzig.