

Aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

**Ewald Schnug
Silvia Haneklaus**

**Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration
von Böden:
Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden
Hochwasserschutz**

Manuskript, zu finden in www.fal.de

Published in: Landbauforschung Völkenrode 52(2002)4,
pp. 197-203

**Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2002**

Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden - Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden Hochwasserschutz

Ewald Schnug und Silvia Haneklaus¹

Zusammenfassung

Prozesse wie Verdichtung, Verschlämmung und Verlust an biologischer Aktivität führen zu einem Verlust der Infiltrationskapazität landwirtschaftlich genutzter Böden und damit zu einer Erhöhung der Intensität von Hochwasserereignissen. Auslösende Faktoren für diese "schleichende Versiegelung" in der landwirtschaftlichen Produktionstechnik sind die zu hohe mechanische Belastung von Böden bei Befahrung und Bearbeitung, monotone Fruchtfolgen, unzureichendes Monitoring struktureller Merkmale und Prozesse und der Einsatz von Pestiziden.

Vor dem Hintergrund der verheerenden Hochwasserereignisse der jüngsten Vergangenheit kann die Erhaltung eines standorttypischen hohen Infiltrationspotenziales durchaus als eine der wichtigsten, nicht durch Produktpreise entlohnte Leistung der Landwirtschaft angesehen werden. Konservierende Bodenbearbeitung kann systemunabhängig in erheblichem Umfang zur Verbesserung der Infiltration beitragen. In konventionellen Betrieben stellt sie jedoch in einem ansonsten ungünstigen Umfeld lediglich einen isolierten Faktor dar. In ökologisch wirtschaftenden Betrieben wirken sich hingegen eine Vielzahl von Faktoren positiv auf die Infiltration aus. Insbesondere durch günstigere Bedingungen für die Bildung von "Bioporen" weisen ökologisch bewirtschaftete Ackerböden unter ansonsten gleichen Bedingungen etwa doppelt so hohe Infiltrationsraten auf wie konventionell bewirtschaftete Vergleiche. Die flächenmäßige Ausdehnung des ökologischen Landbaus ist daher unbedingt als vorrangige ökologische Ausgleichsmaßnahme für anthropogene Versiegelungen anzustreben und zu fördern.

Forschungsbedarf besteht bei der Modellierung der Zusammenhänge zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Bodenparametern und der Infiltration auf unterschiedlichen Skalen, bei der Entwicklung von Methoden zur Bestimmung und Grenzwerten der mechanischen Belastung von Böden, bei der Verbesserung von Methoden zur Ermittlung des Kalkbedarfs und bei der nachhaltigen Implementierung konservierender Bodenbearbeitung im ökologischen Landbau.

Schlüsselwörter: Biologische Aktivität, Hochwasserschutz, Infiltration, Kalkbedarf, konservierende Bodenbearbeitung, ökologischer Landbau, Verdichtung

Abstract

Agricultural production technique and infiltration - significance of organic farming for preventive flood protection

Compaction and loss of mechanical stability and biological activity in agricultural soils cause reductions of infiltration capacity and increase the risk of severe flooding events. Triggering factors among agricultural production techniques for such a "creeping sealing" are excessive mechanical loads through traffic and tillage operations, monotonous crop rotations, insufficient monitoring of structure forming parameters and processes and the use of pesticides.

Maintaining a high infiltration capacity of soils is one of the most significant achievements of agriculture which is not covered by the prices of agricultural products. Independent of the production system conservation soil tillage improves significantly the infiltration capacity. But on conventional agricultural farms this technique has to be considered as one single factor in an otherwise hostile environment.

On organic farms there are a number of factors with positive effects on infiltration rates. Organic farmed soils favour particularly the establishment of "biopores" resulting in on an average twice as high infiltration rates than conventional farmed soils. The spatial extension of organic farming is therefore a measure of prime significance in the combat against the negative effects of the anthropogenic sealing of soils.

Research needs are allocated for the modelling of infiltration, dependent on soil physical, chemical and biological parameters on different scales, the development of methods to determine mechanical stress on soils and related critical values, the improvement of methods for estimating the lime requirement of soils and the sustainable implementation of conservation soil tillage on organic farming systems.

Keywords: Biological activity, compaction, conservation soil tillage, flood protection, infiltration, liming, organic farming

¹ Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany; pb@fal.de

1 Einleitung

Überflutungen durch Flüsse zählen zu den immer wiederkehrenden Katastrophen, die Besitz und Leben von Menschen bedrohen. Dennoch sind die einzelnen Faktoren, die am Zustandekommen von Überflutungen beteiligt sind und deren komplexes Zusammenwirken in vielen Bereichen auch heute noch unbekannt. Der wesentliche Faktor ist die Menge an Wasser, welche die Flüsse durch Oberflächenabfluss erreicht.

Täglich werden in Deutschland ca. 120 ha Land versiegelt, was jährlich einer Fläche, die größer als die Stadt München ist, entspricht (UBA, 2001). Mehr als die Hälfte der Fläche Deutschlands wird jedoch immer noch landwirtschaftlich genutzt und damit ist die Frage nach dem Einfluss der landwirtschaftlichen Produktionstechnik auf die Infiltration von Böden von herausragender Bedeutung. Da Landwirtschaft der flächenmäßig größte Landnutzer ist, ist anzunehmen, dass schon geringfügige Veränderungen der Infiltrationsrate von Böden signifikante Auswirkungen auf Häufigkeit und Ausmaß von Überflutungen haben. Van der Ploeg und Sieker (2000) sowie Knauer (1993) weisen bereits darauf hin, dass, bedingt durch verschiedene Faktoren (zu hohe Dränintensität, Vergrößerung von Schlägen, Vernichtung abflusshemmender Strukturen, auch auf unversiegelten Flächen) ein Verlust an Infiltration im Sinne einer „schleichenden Versiegelung“ zu besorgen ist (s. a. Riedl, 2002).

Dieser Beitrag wird nach einer Einführung in die grundlegende Problematik der Infiltration und dem Zusammenhang zwischen Infiltration und Hochwasserereignissen, produktionstechnische Einflussfaktoren auf die Infiltration darstellen und Möglichkeiten des Beitrages der Landwirtschaft zum vorbeugenden Hochwasserschutz diskutieren und Forschungsbedarf identifizieren.

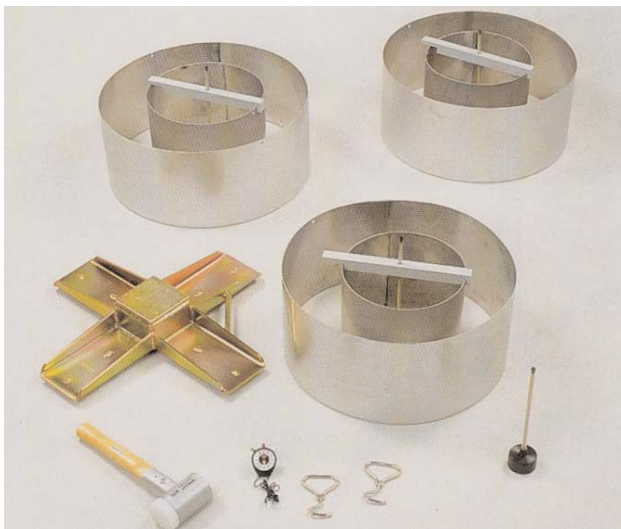


Abb. 1
„Doppelringinfiltrationsmeter“ zur Bestimmung der Infiltrationsrate von Böden (Eijkelkamp, 2002)

2 Grundlegendes zur Infiltration von Böden und der Zusammenhang zwischen Infiltration und Hochwasserereignissen

Infiltration wird in mm je Zeiteinheit gemessen, wobei 1 mm einer Wassermenge von 10.000 L ha⁻¹ oder 1000 m³ km⁻² entspricht. Typische Werte für die Infiltration sind für Sandböden 20-30, Lehm Böden 10-20 und für Tonböden 1-5 mm h⁻¹.

Prozesse im Boden mit Einfluss auf die Infiltration sind im Wesentlichen (Scheffer/Schachtschabel, 1998):

- Verdichtung,
- Verschlammung und
- Verlust an biologischer Aktivität.

Bedingt durch die Schwierigkeiten der Messung der Infiltration wird diese überwiegend durch Indikatoren der Infiltration

- spezifisches Bodengewicht
- Aggregatstabilität
- Basensättigung
- Wasserhaltekapazität
- Porenvolumen- und Porenverteilung sowie den
- Lebendverbau

dargestellt (Bulluck et al., 1995; Glover et al., 2000; Liebig and Doran, 1999; Munckholm et al., 2001).

Methodisch wird die Infiltration mit sogenannten „Doppelringinfiltrationsmetern“ bestimmt (Abb. 1), einem Verfahren, das sowohl zeit-, als auch arbeitsaufwändig ist. Konsequenz hiervon ist, dass flächenbezogene und flächendeckende Daten zur Infiltration faktisch nicht vorhanden sind.

Quantitative Einschätzungen von Faktoren der Infiltration sind daher überwiegend indikativ. Darüber hinaus weisen die Infiltration bestimmende Parameter eine erhebliche räumliche Variabilität auf, die konsequenterweise auch zu einer hohen Variabilität der Infiltrationsraten im Raum führt, wie Abb. 2 am Beispiel eines Feldes in einer Endmoränenlandschaft Schleswig-Holsteins demonstriert.



Abb. 2
Räumliche Variabilität der Infiltration von Niederschlagswasser in einer Endmoränenlandschaft Schleswig-Holsteins

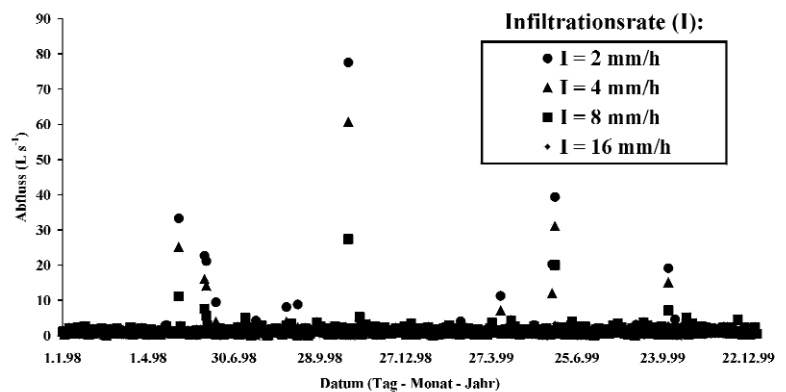


Abb. 3
Ergebnis der Modellierung von Infiltration und Abfluss der Schunter in Niedersachsen (Sparovek et al., 2002)

Bemerkenswert an dieser Stelle ist ferner, dass die überwiegende Mehrzahl der Arbeiten zur Infiltration andere Probleme zum Ziel hatten als den vorbeugenden Hochwasserschutz, nämlich die Frage nach der Speicherung von Wasser oder dem Schutz der Böden vor Erosion. Im Hinblick auf die evidenten Fragen des Beitrages der Infiltration von Böden für den vorbeugenden Hochwasserschutz, lassen sich die Arbeiten dieses Genres jedoch durchaus für eine analytische Betrachtung heranziehen.

Zwischen Infiltration und Hochwasserereignissen besteht ein enger Zusammenhang: Verringerte Infiltration hat zwar keinen Einfluss auf die Häufigkeit von Hochwasserereignissen, wohl aber auf deren Intensität. In Modellberechnungen von Sparovek et al. (2002) für das Einzugsgebiet der Schunter in Niedersachsen zeigte sich, dass unterhalb von Infiltrationsraten von ~ 15 mm h⁻¹ die Häufigkeit extremer Überflutungen stark zunahm (Abb. 3).

3 Produktionstechnische Einflussfaktoren der Landwirtschaft auf die Infiltration

Landwirtschaftliche Produktionstechnik beeinflusst in vielfältiger Weise die Infiltration (als Übersicht siehe Scheffer/Schachtschabel, 1998). Im Hinblick auf die negativen Auswirkungen, die zur Destabilisierung der Bodenstruktur und zu Bodenverdichtungen führen, sind es insbesondere vier kardinale „Sünden“, die der Landwirtschaft anzulasten sind:

- zu schweres und zu intensiv bearbeitendes Gerät,
- zu unkontrolliert durch fehlende oder zu einfache Verfahren zum Monitoring struktureller physikochemischer Parameter,
- zu monoton durch zu enge Fruchtfolgen,
- zu „chemisch“ durch Herbizide, Fungizide, Insektizide.

3.1 Befahrung und Bearbeitung von Böden

Bodenverdichtungen als Folge der Befahrung und Bearbeitung von Böden sind ein altbekanntes und intensiv untersuchtes Problemfeld (Sommer, 1998) mit negativen Konsequenzen für die Infiltration auf Böden, unabhängig von der Form der landwirtschaftlichen Produktion, d.h. einschließlich ökologischer Bewirtschaftung (Hansen, 1996; Schjonning et al., 2002). Faktische jede Befahrung und jede Bearbeitung eines Bodens führt zur Zerstörung gewachsener Strukturen (Horn und Hartge, 2001), insbesondere von Porensystemen und damit zu einem Verlust an Infiltration (Husain, 2002). Solche Schäden sind z. T. reversibel, jedoch verursacht zu schweres und zu intensiv bearbeitendes Gerät für einen gegebenen Boden ausnahmslos langdauernde bis bleibende Reduktionen des Infiltrationspotenziales.

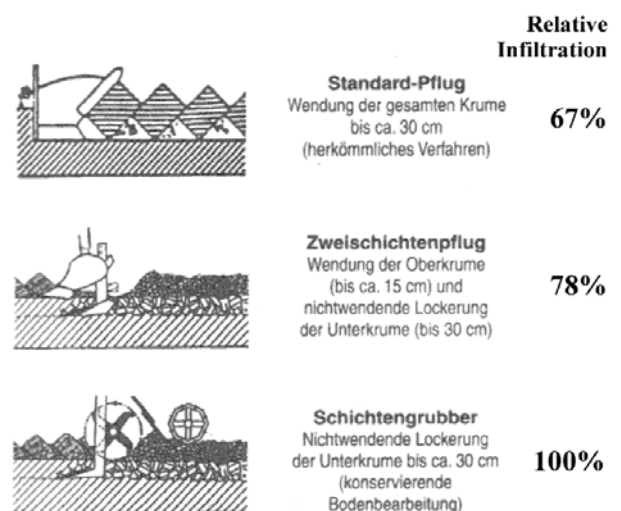


Abb. 4
Einfluss unterschiedlich intensiver Formen der Bodenbearbeitung auf die Infiltration (relativ, nach Emmerling und Hampl, 2002)

Tab. 1
Vergleich von Standard und Direktsaat (relativ, nach Tebrügge und Abelsova, 1999)

| Parameter | Standard | Direktsaat |
|--------------|----------|------------|
| Regenwürmer | 1 | 7.0 |
| Bioporen | 1 | 3.9 |
| Infiltration | 1 | 2.3 |

Ein Weg aus der Diskrepanz zwischen der Notwendigkeit, Böden zu bearbeiten und dem Ziel höchstmöglicher Infiltration, ist die Verringerung der Intensität der Bodenbearbeitung durch sogenannte „konservierende Bodenbearbeitung“ (FAO, 2002) (Abb. 4).

Die wendende Arbeit des Pfluges gilt mittlerweile als der bei weitem störendste Eingriff in Raum und Ablauf des Bodenlebens (Kladivko, 2001). Ursache für die bessere Infiltration bei konservierender (pflugloser) Bodenbearbeitung ist daher u.a. eine deutlich höhere Population an Regenwürmern und dadurch bedingt eine größere Anzahl an „Bioporen“ (Schmidt et al., 2001) (Tab. 1). Wilcke (2002) konnte in Modellrechnungen zeigen, dass bei flächendeckender und optimierter Anwendung konservierender Bodenbearbeitung im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße der Abfluss natürlicher Flächen um bis zu 60 % reduziert würde. Für ein Hochwasser in dieser Region, wie z. B. das vom Juli 1981 würde das bedeuten, „..... dass etwas mehr als 25 % der Ackerflächen im deutschen Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße auf konservierende Bodenbearbeitung umgestellt werden müssten, um das fehlende Retentionsvolumen von 10⁶ m³ in der Neißeau zu kompensieren. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass rund 2500 ha Ackerflächen durch konservierende Bodenbearbeitung zum vorbeugenden Hochwasserschutz beitragen müssten“ (Wilcke, 2002).

Bei allen Vorteilen der konservierenden Bodenbearbeitung für die Infiltration treten im ökologischen Landbau jedoch Probleme mit dieser Technik durch erhöhten Beikrautdruck auf (Barberi, 2002; Gruber et al., 2000).

3.2 Monitoring struktureller Parameter

Weiter oben wurde bereits darauf hingewiesen, dass methodisch bedingt kaum Messwerte zur Infiltration verfügbar sind. Infiltrationsmessungen sind zeitaufwändig und die Ergebnisse aufgrund hoher räumlicher Variabilität wenig aussagekräftig.

Neben der Bodenbearbeitung ist die Kalkung eine der Schlüsselmaßnahmen landwirtschaftlicher Produktionstechnik zur Sicherung der Bodenstruktur, denn die Basensättigung - Belegung der Bodenaustauscher mit Ca²⁺ und Mg²⁺ - ist ein wichtiger Einflussfaktor auf die Stabilität von Bodenaggregaten im Sinne einer Förderung der Flockung. Bedenklich stimmt hier, dass die Kalkbilanz deutscher Böden seit einigen Jahren rückläufig ist (Abb. 5).

Beruhend auf der veralteten Annahme, dass H⁺ Ionen die wichtigsten Konkurrenten für Ca²⁺ und Mg²⁺ an den Bodenaustauschern sind und die Versauerung von Böden bedingen, wird der Kalkbedarf (notwendiger Nachschub an Ca²⁺ und Mg²⁺ für Verluste durch Auswaschung) immer noch indirekt über den pH-Wert bestimmt. Tatsache ist jedoch, dass die Anwendung von Gülle dem Boden vermehrt einwertige und daher strukturschädliche Kationen (NH₄⁺; K⁺) zuführt, die zur Sicherung der Aggregatstabilität ebenfalls durch Kalkzufuhr kompensiert werden müssten, vom pH-Wert jedoch nicht angezeigt werden.

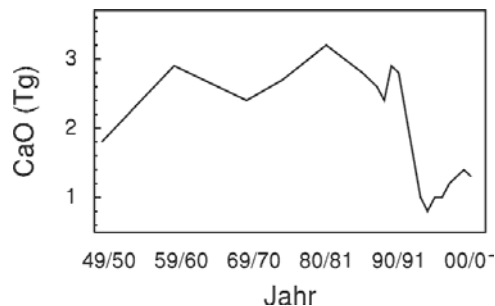


Abb. 5
Trends in der CaO-Bilanz der deutschen Landwirtschaft - Bilanzierung basisch und sauer wirkender Inhaltsstoffe aus Kalkung, N-, P-, und K-Düngern (Pollehn, 2002)

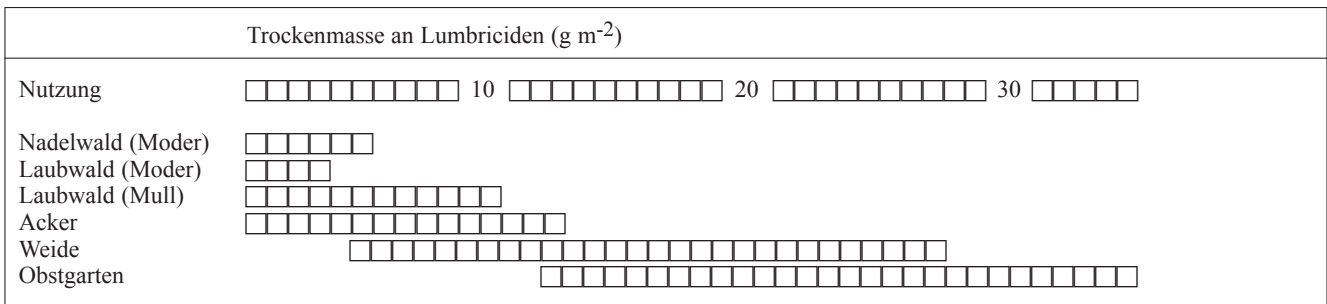


Abb. 6
Regenwurmmasse in Böden unter verschiedenen Landnutzungsformen (nach Römbke, 1997)

Die vorhandene Methodik der Kalkbedarfsbestimmung über den pH-Wert ist daher zum indirekten Monitoring der Basensättigung ungeeignet. An dieser Stelle ist dringender Forschungsbedarf gegeben.

3.3 Landwirtschaftliche Produktionssysteme und Infiltration

Bodenbearbeitung und Kalkung sind Merkmale, die allen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen gemeinsam sind. Weitaus differenzierter wird das Bild jedoch bei Betrachtung von Fruchtfolgen und dem Einsatz von Pestiziden, beides prägende Merkmale landwirtschaftlicher Produktionssysteme.

Betrachtet man die Anzahl an Lumbriciden als Indikator für die Infiltration, so zeigen sich große Unterschiede zwischen den Nutzungsformen von Böden (Abb. 6). Unter landwirtschaftlicher Nutzung weist Dauergrünland deutlich größere Regenwurmpopulationen auf, als Ackerland. Die Struktur landwirtschaftlicher Betriebe ist jedoch hinsichtlich des Verhältnisses Acker : Grünland standortabhängig und daher nicht oder nur sehr wenig beeinflussbar. Eine Verschiebung dieses Verhältnisses im Sinne einer Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes ist somit wenig realistisch.

Unterschiede in der Wirtschaftsweise landwirtschaftlicher Betriebe hinsichtlich der Infiltration kommen vor allem in Ackerbaubetrieben zur Geltung. Bei Grünlandbe-

trieben ist die Differenzierung zwischen konventionellen und ökologischen Betrieben weitaus geringer (Brown et al., 2000). Das liegt u.a. daran, dass unter Grünland grundsätzlich eine höhere biologische Aktivität zu finden ist und damit die Bedingungen für eine gute Bodenstruktur günstiger sind (Abb. 6).

Konventionelle Landwirtschaft ist durch enge Fruchtfolgen und den Einsatz von Pestiziden gekennzeichnet, beides Faktoren, die sich negativ auf die biologische Aktivität von Böden und somit letztendlich auch auf die Infiltration auswirken.

Ökologischer Landbau dagegen zeichnet sich durch vielfältige Fruchtfolgen und den Verzicht auf Pestizide aus. Diese Wirtschaftsform wird durch die EU Richtlinie (EU 2092/91) definiert und ihre Produkte werden mittlerweile durch ein bundeseinheitliches Gütesiegel gekennzeichnet.

Ökologisch bewirtschaftete Böden weisen neben einer höheren Anzahl an Regenwürmern (Anon, 1999; Fließbach et al., 2000, Hampl, 1999; Kleyer und Babel, 1984) durchweg auch eine höhere biologische Diversität (Tab. 2) und Biomasse (Mäder et al., 2002; Meyer-Aurich (1993) auf, die sich insgesamt dann auch in größerer Porosität (Tab. 3) (Kouwenhoven et al., 2002), höherer Aggregatstabilität (Fließbach et al., 2000) und schließlich in höheren Infiltrationsraten niederschlägt (Tab. 4).

Tabelle 2 deutet aber auch darauf hin, dass das wesentliche Differenzierungskriterium zwischen beiden Bewirtschaftungsformen die Intensität ist. Sogenannte "extensive" oder "low input" Bewirtschaftungssysteme weisen daher ähnlich günstige Bedingungen für die Infiltration auf wie ökologische Wirtschaftssysteme.

Tab. 2

Vergleich der Biodiversität von Bakterien und freilebenden Nematoden in verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionssystemen (relativ, nach Emmerling und Lee, 2000)

| Produktionssystem | Bakterien | freilebende Nematoden |
|-------------------|-----------|-----------------------|
| Konventionell | 100 | 100 |
| Integriert | 102 | 115 |
| Ökologisch | 125 | 119 |

Tab. 3

Vergleich der Porosität konventionell und ökologisch bewirtschafteter Böden (relativ, nach Kleyer und Babel, 1984)

| | Konventionell | Ökologisch |
|------------------|---------------|------------|
| Grobporenvolumen | 100 | 189 |
| Porenoberfläche | 100 | 192 |
| Spez. Oberfläche | 100 | 218 |

Tab. 4

Infiltration in verschiedenen Produktionssystemen des Tomatenanbaus in Kalifornien (relativ, nach Colla et al., 2000)

| | Konventionell | Extensiv | Ökologisch |
|--------------|---------------|----------|------------|
| Infiltration | 1 | 2.2 | 2.3 |

4 Fazit und Forschungsbedarf

Neben der fortschreitenden Versiegelung der Landschaft stellt der schleichende Verlust an Infiltrationskapazität der verbleibenden landwirtschaftlich genutzten Flächen ein zunehmendes Problem für den Hochwasserschutz dar.

Die Erhaltung eines standorttypischen hohen Infiltrationspotenziales kann aber auch als eine der wichtigsten, nicht durch Produktpreise entlohnte Leistung der Landwirtschaft angesehen werden.

Konservierende Bodenbearbeitung kann systemunabhängig in erheblichem Umfang zur Verbesserung der Infiltration beitragen. In konventionellen Betrieben stellt sie jedoch in einem ansonsten ungünstigen Umfeld lediglich einen isolierten Faktor dar.

Die Struktur landwirtschaftlicher Betriebe in einer Region ist hinsichtlich ihrer Hauptproduktionsrichtungen standortabhängig und von daher nicht oder nur sehr wenig beeinflussbar. Mit den Mitteln der Agrarpolitik beeinflussbar ist jedoch die Produktionsweise landwirtschaftlicher Betriebe.

In ökologisch wirtschaftenden Betrieben wirken sich eine Vielzahl von Faktoren positiv auf die Infiltration aus. Ökologischer Landbau ist durch Richtlinien der Europäischen Union (EU 2092/91) definiert. Die systemimmanenten Vorteile für die Infiltration sind damit bis zu einem gewissen Grade garantiert und über die Einhaltung der Produktionsvorschriften indirekt kontrollierbar. Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der Infiltration in konventionell wirtschaftenden Betrieben sind dagegen nur schwer kontrollierbar und werden allenfalls auf Basis „freiwilliger Selbstverpflichtungen“ zu etablieren sein. Aus Sicht des vorbeugenden Hochwasserschutzes ist daher die flächenmäßige Ausdehnung des ökologischen Landbaus als vorrangige ökologische Ausgleichsmaßnahme für anthropogene Versiegelungen unbedingt anzustreben und mit Mitteln und Instrumenten der Agrarpolitik zu fördern.

Neben positiven Auswirkungen auf die Infiltration und damit den vorbeugenden Hochwasserschutz bietet die siedlungsnahе Förderung von Ökobetrieben zudem Steigerungen der Lebensqualität durch die Verfügbarkeit regionaler und hochwertiger Nahrungsmittel und gesteigerten Erholungswert der stadtnahen Landschaft. Diese Ziele sind darüber hinaus ganz im Sinne des Boden-Bündnisses europäischer Städte und Gemeinden (Boden-Bündnis, 2001).

Forschungsbedarf im Bereich landwirtschaftlicher Produktion und Infiltration besteht im Wesentlichen bei der Modellierung der Zusammenhänge zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Bodenparametern und der Infiltration auf unterschiedlichen Skalen, bei der Entwicklung von Methoden und Grenzwerten der mechanischen Belastung von Böden, bei der Verbesserung von Methoden zur Bestimmung des Kalkbedarfs von Böden und bei der nachhaltigen Implementierung konservierender Bodenbearbeitung im ökologischen Landbau.

Literatur

- Barberi P (2002) Weed management in organic agriculture : are we addressing the right issues? *Weed Res* 42:177-193
- Boden-Bündnis (2001) Wegweiser für das Boden-Bündnis europäischer Städte und Gemeinden. Amba-Alagi Str. 5, I-39100 Bozen, Italien, <http://www.bodenbuendnis.org>
- Brown SM, Cook HF, Lee HC (2000) Topsoil characteristics from a paired farm survey of organic versus conventional farming in Southern England. *Biol Agric Hortic* 18:37-54
- Bulluck LR, Brosius M, Evanylo GK, Ristaino JB (1995) Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Appl Soil Ecology* 34:189-200
- Colla G, Mitchell JP, Joyce BA, Huyck LM, Wallender WW, Temple SR, Hsiao T C, Poudel DD (2000) Soil physical properties and tomato yield and quality in alternative cropping systems. *Agron J* 92:924-932
- Eijkelkamp (2002) Catalogue. Eijkelkamp Agriresearch Equipment, POBox 4, NL-6987 Giesebeek, The Netherlands
- Emmerling E, Hampl U (2002) Wie sich reduzierte Bodenbearbeitung auswirkt. *Ökologie und Landbau* 124(4):19-23
- Emmerling C, Lee SB (2000) Soil biological and biochemical properties as a tool to verify sustainability of agricultural soil management In: Alföldi T, Lockeretz W, Niggli U (eds) IFOAM 2000 : the world grows organic ; proceedings 13th International IFOAM Scientific Conference, 28 to 31 August 2000, Convention Center Basel. Zürich : VDF Hochschulverl., pp 402, 1-58603-087-6
- FAO (2002) Conservation Agriculture. [online] Workgroup on CA: <http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/Main.htm> [zitiert am 3.11.2002]
- Fließbach A, Mäder P, Pfiffner L, Dubois D, Gunst L (2000) Bio fördert Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt. Frick : FiBL, 15 p, FiBL dossier : Erkenntnisse aus 21 Jahren DOK-Versuch 1/2000, ISBN 3-906081-06-0
- Glover JD, Reganold JP, Andrews PK (2000) Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agric Ecosyst Environ* 80: 29-45
- Gruber H, Handel K, Broschewitz B (2000) Influence of farming system on weeds in thresh crops of a six-year crop rotation. *J Plant Diseases Protect Spec Iss* 7: 33-40
- Hampl U (1999) Projekt ökologische Bodenbewirtschaftung. *Ökologie und Landbau* 27:22-23
- Hansen S (1996) Effects of manure treatment and soil compaction on plant production of a dairy farm system converting to organic farming practice. *Agric Ecosyst Environ* 56:173-186
- Horn R, Hartge K-H (2001) Gedanken zum Problem der Verdichtung von Ackerböden. *Bodenschutz* 3:76-78
- Husain J (2002) Wasserinfiltration in tonigen und strukturierten Böden auf unterschiedlichen Skalen und bei Nutzungsänderung. Cottbus : BTU, XIV, 120 p, Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung 18
- Kladivko EJ (2001) Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Res* 61:61-76
- Kleyer M, Babel U (1984) Gefügebildung durch Bodentiere in "konventionell" und "biologisch" bewirtschafteten Ackerböden. *Z Pflanzen-ernähr Bodenkd* 147:98-109
- Knauer N (1993) *Ökologie und Landwirtschaft : Situation - Konflikte – Lösungen*. Stuttgart : Ulmer, 280 p, ISBN 3-8001-4094-2
- Kouwenhoven JK, Perdok UD, Boer J, Omen GJM (2002) Soil management by shallow mouldboard ploughing in The Netherlands. *Soil & Tillage Res* 65:125-139
- Liebig MA, Doran JW (1999) Impact of organic production practices on soil quality indicators. *J Environm Quality* 28:1601-1609
- Mäder P, Fließbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694-1697

- Meyer-Aurich A (1993) Einfluß biologischer und konventioneller Wirtschaftsweisen auf mikrobielle Biomasse und Krümelstabilität unter besonderer Berücksichtigung der Anbaukultur. TU Berlin, Diplomarbeit
- Munkholm LJ, Schjonning P, Petersen CT (2001) Soil mechanical behaviour of sandy loams in a temperate climate : case studies on long-term effects of fertilization and crop rotation. *Soil Use Manage* 17:269-277
- Pollehn J (2002) Versorgung der Landwirtschaft mit basisch wirksamem CaO aus Kalkdüngern und N-, P-, K – Düngemitteln. Wiesbaden : Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch der DDR, DHG (DHG-17122001), Düngerkalk-Hauptgemeinschaft Köln (unveröffentlicht)
- Riedl U (2002) Was können Landschaftsplanung, Naturschutz und Landschaftspflege zum vorbeugenden Hochwasserschutz beitragen? Workshop Vorbeugender Hochwasserschutz auf kommunaler Ebene, 13/14.12.2000 in Dresden, pp 55-69
- Römbke J (1997) Lumbricidae In: Lebensraum für Bodenorganismen. <http://www.uvm.badenwuert...g.de/bofaweb/berichte/tbb04/tbb0485.htm> [zitiert am 3.11.2002]
- Scheffer P, Schachtschabe, P, Auerswald K (1998) Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart : Enke, XII, 494 p, ISBN 3-432-84774-2
- Schjonning P, Elmholt S, Munkholm JJ, Deboz K (2002) Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management. *Agric Ecosyst Environ* 88:195-214
- Schmidt W, Zimmerling B, Nitzsche O, Krück, S (2002) Conservation tillage : a new strategy in flood control. In: Marsalek, J, Watt, E, Zeman, E, Sieker, H (eds): *Advances in urban stormwater and agricultural runoff source controls*. Dordrecht : Kluwer, pp 287-293, Nato Science Series 6, ISBN 1-402-00153-3
- Sommer C (1998) Konservierende Bodenbearbeitung : ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. Braunschweig : FAL, VIII, 128 p, *LandbauforschVölkenrode*, SH 191, ISBN 3-933140-12-9
- Sparovek G, Jong van Lier Q de, Marcinkonis S, Rogasik J, Schnug E (2002) A simple model to predict river floods : a contribution to quantify the significance of soil infiltration rates. *Landbauforsch Völkenrode* 52(3):187-194
- Tebrügge F, Abelsova J (1999) Bioporen fördern Versickerung : Auswirkung der Bodenbearbeitung auf biogene Durchporung und ungesättigte Infiltrationsleistung des Bodens. *Landtechnik* 54(1):13-15
- UBA (2001) Landwirtschaft. In: Sechster Umweltkontrollbericht. Wien : Federal Environment Agency, pp 391-435
- Van der Ploeg RR, Sieker F (2000) Bodenwasserrückhalt zum Hochwasserschutz durch Extensivierung der Dränung landwirtschaftlich genutzter Flächen, *Wasserwirtschaft* 90(1):28-33
- Wilcke D (2002) Niederschlag-Abfluss-Simulation zur Bestimmung der Wirkung konservierender Bodenbearbeitung auf den Hochwasserabfluss. Materialien zum 20 Osnabrücker Umweltgespräch der DBU „Vorbeugender Hochwasserschutz“ 24-25 Oktober 2002, pp 177-188