

Institut für Organischen Landbau

**Spross- und Wurzelentwicklung von Getreide bei reduzierter
Grundbodenbearbeitung im Organischen Landbau
in Deutschland und Griechenland**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 3.11.2003

von

Christina-Aphroditi Vakali

aus

Thessaloniki/Griechenland

SCHRIFTENREIHE INSTITUT FUER ORGANISCHEN LANDBAU
HERAUSGEBER: PROF. Dr. ULRICH KOEPKE

ISSN 1431-052X

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliographie, detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar

Institut für Organischen Landbau
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität
Katzenburgweg 3
53115 Bonn

1. Auflage Februar 2004

Verlag Dr. Hans-Joachim Köster, Eylauer Str. 3, 10965 Berlin
Email: verlag-koester@t-online.de www.verla-koester.de

ISBN 3-89574-504-9

Referent: Prof. Dr. U. Köpke
Korreferent I: Prof. Dr. H. Franken
Korreferent II: Prof. Dr. N. Sidiras
Tag der mündlichen Prüfung: 30.12.2003
Gedruckt bei: Verlag Dr. Köster

Kurzfassung

Titel: Spross- und Wurzelentwicklung von Getreide bei reduzierter Grundbodenbearbeitung im Organischen Landbau in Deutschland und Griechenland
Dissertation: Christina Vakali, Institut für Organischen Landbau, Universität Bonn

Die Auswirkungen mehrjähriger Anwendung reduzierter, d.h. nichtwendender Grundbodenbearbeitung auf die Ertragsbildung von Getreide unter den Bedingungen des Organischen Landbaus wurden untersucht. Die Effekte auf Bodeneigenschaften und Getreidewachstum wurden bei kontrastierenden Klimaverhältnissen auf Versuchsflächen in Deutschland und Griechenland quantifiziert. Der Versuch in Rommersheim, Nähe Mainz, Deutschland, wurde 1994 angelegt. Dabei wurden auf tonigem Lehm in einer fünffeldrigen Fruchtfolge (Brache, Winterweizen/Zwischenfrucht, Erbsen, Winterroggen/Zwischenfrucht, Sommergerste) jeweils nach der Getreideernte der Wendepflug (wendend bis 30 cm Bodentiefe), der Zweischichtenpflug (wendend bis 15 cm, lockernd bis 30 cm) und der Schichtengrubber (lockernd bis 30 cm) in einer Spaltanlage eingesetzt. Die Erhebung der Parameter erfolgte zu Sommergerste und Winterroggen in den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001. In Athen, Griechenland, wurde ein Versuch in Spaltanlage ebenfalls auf tonigem Lehm in einer dreifeldrigen Fruchtfolge (Getreide, Leguminosen, Baumwolle) eingerichtet. Wendepflug (wendend bis 25 cm), Fräse (wendend bis 15 cm) und Direktsaat zu Winterweizen wurden hier verglichen (Versuchsjahr 1999). Auf beiden Standorten wurden bodenphysikalische (z.B. Aggregatstabilität und Eindringwiderstand) und bodenchemische (Humus-, Phosphor-, Kaliumgehalt), sowie Wurzel- (Wurzel-Längen-Dichte) und Sprossparameter (z.B. Blattfläche und Ernteparameter) untersucht. Am Standort Rommersheim wurden auch Erhebungen zu den Sprossparametern der Begleitflora durchgeführt.

Die Resultate am Standort Rommersheim zeigten, dass zu Sommergerste mit abnehmender Intensität der Grundbodenbearbeitung die Aggregatstabilität (2-15 cm) signifikant und der Eindringwiderstand (15-30 cm) des Bodens tendenziell erhöht waren. Für Sommergerste waren die Wurzel-Längen-Dichte, der Nährstoffentzug und die Sprossentwicklung bei Varianten reduzierter Bodenbearbeitung tendenziell und zum Teil auch signifikant geringer als nach Anwendung des Wendepfluges. Die Kornerträge waren positiv mit der Intensität der Bodenbearbeitung korreliert, ein Sachverhalt, der zum Teil auf effizientere Unkrautkontrolle in den Pflugvarianten zurückzuführen ist. Der Einsatz des Zweischichtenpfluges stellte einen Kompromiss zwischen einem im Vergleich zum Wendepflug günstigeren Bodengefüge und einem im Vergleich zum Schichtengrubber höheren Kornertrag dar. Die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten waren bei Winterroggen geringer, ein Sachverhalt, der aus der über 12 Monate vor der Aussaat der Kulturpflanze zurückliegenden Bodenbearbeitung resultierte.

Am Standort Athen wurden die physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften durch die Verminderung der Bodenbearbeitungsintensität positiv beeinflusst. Nach Anwendung von Fräse und Direktsaat wurden im Vergleich zum Wendepflug die Wurzel- und Sprossparameter signifikant erhöht. Im Gegensatz zum Standort Rommersheim waren die Kornerträge negativ mit der Intensität der Bodenbearbeitung korreliert.

Zusammenfassend war festzustellen, dass im Organischen Landbau die Auswirkungen reduzierter Grundbodenbearbeitung auf Bodenparameter unabhängig von den klimatischen Bedingungen günstig waren. Dagegen sind die Auswirkungen auf Wurzel- und Sprossentwicklung von Getreide differenziert zu betrachten. Am

Standort in Deutschland konnten effiziente Unkrautkontrolle und Optimierung von Nährstoffmanagement und Kernertrag nur durch das Wenden des Bodens erreicht werden. Am Standort in Griechenland wiesen bei limitierter Wasserverfügbarkeit Systeme reduzierter Bodenbearbeitung und Direktsaat sowohl günstigere Bodeneigenschaften als auch höhere Kernerträge auf.

Abstract

Title: Shoot and root growth of cereals under reduced primary tillage in organically managed fields in Germany and Greece

Dissertation thesis: Christina Vakali, Institute for Organic Agriculture, University of Bonn

The aim of this project was to examine the consequences of long-term use of non-inverting tillage on the production of cereals under the conditions of Organic Agriculture. Effects on soil properties and cereal growth were investigated under contrasting climatic conditions in field trials in Germany and Greece. The trial in Rommersheim near Mainz, Germany, was established in 1994. Here, mouldboard plough (inverting to 30 cm depth), two-layer plough (inverting to 15 cm, loosening to 30 cm) and layer cultivator (loosening to 30 cm) were used on a clay loam soil within a 5-year crop rotation (green fallow, winter wheat/catch crop, peas, winter rye/catch crop, spring barley) in a split-plot design. Tillage systems were implemented after cereal harvests only. The investigated crops were spring barley and winter rye (years 1999, 2000 and 2001). In Athens, Greece, a trial was established on a clay loam with a 3-year crop rotation (cereal, green manure, cotton) and a split plot design. Here, mouldboard plough (inverting to 25 cm), rotary hoe (inverting to 15 cm) and zero tillage were compared. The investigated crop was winter wheat (year 1999). The parameters measured in both trials were soil physical (e.g. aggregate stability, soil penetration resistance) and chemical parameters (contents of humus, phosphorus and potassium), as well as root (root-length-density) and shoot parameters (e.g., leaf area index and yield parameters) of the cereals. In the trial Rommersheim also shoot growth of weeds was investigated.

The trial in Rommersheim showed that decreasing tillage intensity in spring barley resulted in a significantly higher aggregate stability (2-15 cm) and a tendency towards increased penetration resistance (15-30 cm). For spring barley root-length-density, nutrient uptake and crop development under reduced tillage generally tended to be lower than using the mouldboard plough with occasional significant differences. Grain yields were positively correlated with tillage intensity. These results are partly due to the more efficient weed control in the ploughed fields compared to those treated with the cultivator. The two-layer plough was a compromise through creating a better soil structure than the mouldboard plough while simultaneously leading to higher yields than the cultivator. For winter rye the differences between the tillage systems of the parameters measured were less apparent. This fact was due to the lack of tillage before the seeding of this crop.

In Athens minimum and zero tillage positively influenced physical and chemical soil properties compared to those of ploughed soil. Root and shoot parameters were significantly higher when those tillage systems were applied. In contrast to the results in Rommersheim yields were found to be negatively correlated to the tillage intensity.

The results showed that in Organic Agriculture independently of the climatic circumstances the effects of reduced tillage systems have been shown to have generally positive effects on soil parameters. In contrast the effects on root and shoot parameters of cereals have to be evaluated differently. At temperate climate in Germany sufficient control of weeds and optimised nutrient management could only be ensured by turning and mixing the soil. On the other hand at Mediterranean climate in Greece with limited soil water availability reduced and zero tillage resulted in more favourable soil properties as well as higher grain yields.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| I Verzeichnis der Tabellen..... | V |
| II Verzeichnis der Abbildungen..... | VII |
| III Verzeichnis der | |
| Abkürzungen..... | X |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Arbeitshypothesen..... | 2 |
| 3 Material und Methoden | 6 |
| 3.1 Standort | |
| Rommersheim..... | 6 |
| 3.2 Standort | |
| Athen..... | 11 |
| 3.3 Statistische Auswertung | |
| | 15 |
| 4 Ergebnisse und Diskussion - Standort | |
| <i>Rommersheim</i>..... | 16 |
| 4.1 Bodenphysikalische Parameter und CO ₂ -Atmung des Bodens..... | 16 |
| 4.1.1 Aggregatstabilität..... | 16 |
| 4.1.2 Eindringwiderstand | 19 |
| 4.1.3 CO ₂ -Atmung des Bodens..... | 21 |
| 4.2 Bodenchemische Parameter | 23 |
| 4.2.1 Nitrat | 23 |
| 4.2.2 Humus-, Phosphor-, Kaliumgehalt | 26 |
| 4.3 Wurzelwachstum..... | 29 |
| 4.3.1 Wurzel-Längen-Dichte (WLD)..... | 29 |
| 4.3.2 Kronenwurzeln..... | 34 |
| 4.4 Sprosswachstum | 36 |
| 4.4.1 Feldaufgang | 36 |
| 4.4.2 Bestockung..... | 36 |
| 4.4.3 Nährstoffaufnahme von Getreide und Begleitflora | 36 |
| 4.4.3.1 Nährstoffaufnahme von Getreide | 36 |
| 4.4.3.2 Nährstoffgehalt der Begleitflora..... | 45 |
| 4.4.4 Blattflächenindex | 48 |
| 4.4.5 Bodenbedeckungsgrad | 49 |
| 4.4.6 Sprosstrockenmasse | 52 |
| 4.4.6.1 Getreide | 52 |
| 4.4.6.2 Begleitflora..... | 56 |
| 4.4.7 Ernteparameter..... | 58 |
| 4.4.7.1 Kornertrag | 58 |
| 4.4.7.2 Tausendkornmasse | 59 |
| 4.4.7.3 Nährstoffentzug..... | 59 |
| 5 Ergebnisse und Diskussion - Standort | |
| <i>Athen</i>..... | 63 |
| 5.1 Bodenphysikalische Parameter | |
| | 63 |
| 5.1.1 Eindringwiderstand | 63 |
| 5.1.2 Makroporen..... | 64 |
| 5.2 Bodenchemische Parameter | 65 |
| 5.2.1 Humusgehalt | 65 |
| 5.2.2 Gesamtstickstoffgehalt, N _{total} | 66 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.3 Kalium- und Phosphorgehalt | 67 |
| 5.3 Wurzelwachstum..... | 68 |
| 5.3.1 Wurzel-Längen-Dichte, WLD | 68 |
| 5.4 Sprossparameter | 71 |
| 5.4.1 Bestockung..... | 71 |
| 5.4.2 Blattflächenindex, BFI..... | 71 |
| 5.4.3 Pflanzenhöhe..... | 72 |
| 5.4.4 Sprosstrockenmasse | 73 |
| 5.4.5 Kornertrag..... | 73 |
| 6 Generaldiskussion: Einsatz reduzierter Bodenbearbeitung im Organischen | |
| Landbau, Grenzen und Möglichkeiten | 76 |
| 7 Zusammenfassung..... | 85 |
| 8 Literaturverzeichnis..... | 89 |
| 9 Anhang | 105 |

I Verzeichnis der Tabellen

| | | |
|---------|---|----|
| Tab. 1: | Standortbeschreibung Rommersheim..... | 6 |
| Tab. 2: | Sorten, Saatmengen und Aussattermine der Sommergerste, des Sommer- und Winterroggens..... | 8 |
| Tab. 3: | Standortbeschreibung Athen..... | 11 |

Versuch Rommersheim

| | | |
|---------|--|----|
| Tab. 4: | Humus-, Phosphor- und Kaliumgehalt in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Bodentiefe, Sommergerste..... | 27 |
| Tab. 5: | Humus-, Phosphor- und Kaliumgehalt in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Bodentiefe, Sommer- und Winterroggen..... | 28 |
| Tab. 6: | Kronenwurzeln je Pflanze in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Sommergerste und Winterroggen..... | 35 |
| Tab. 7: | Kaliumaufnahme in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, Sommergerste ohne und mit Konkurrenz der Begleitflora..... | 40 |
| Tab. | Phosphoraufnahme in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, | 41 |

| | | |
|----------|---|----|
| 8: | Sommergerste ohne und mit Begleitflora..... | |
| Tab. 9: | Kaliumaufnahme in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, Sommerroggen mit Konkurrenz der Begleitflora, Winterroggen ohne und mit Konkurrenz der Begleitflora..... | 43 |
| Tab. 10: | Phosphoraufnahme in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, Sommerroggen mit Konkurrenz der Begleitflora, Winterroggen ohne und mit Begleitflora..... | 44 |
| Tab. 11: | Stickstoff-, Kalium- und Phosphoraufnahme der Begleitflora in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Sommergerste..... | 46 |
| Tab. 12: | Stickstoff-, Kalium- und Phosphoraufnahme der Begleitflora in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Sommerroggen, Versuchsjahr 1999..... | 47 |
| Tab. 13: | Stickstoff-, Kalium- und Phosphoraufnahme der Begleitflora in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Winterroggen, Versuchsjahre 2000 und 2001..... | 47 |
| Tab. 14: | Bodenbedeckungsgrad in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, Sommergerste und Begleitflora..... | 50 |
| Tab. 15: | Bodenbedeckungsgrad in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, Winterroggen und Begleitflora..... | 51 |

Versuch Athen

| | | |
|----------|---|----|
| Tab. 16: | Makroporen in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung..... | 64 |
| Tab. 17: | Humusgehalt in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung..... | 65 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| | | |
| Tab. 18: | Gesamtstickstoffgehalt in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung..... | 66 |
| | | |
| Tab. 19: | Kalium- und Phosphorgehalt in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung..... | 67 |
| | | |
| Tab. 20: | Bestockung in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung..... | 71 |
| Tab. 21: | Blattflächenindex in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung..... | 72 |
| | | |
| Tab. 22: | Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung..... | 72 |
| | | |
| Tab. 23: | Trockenmasse in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung..... | 73 |
| | | |
| Tab. 2 4 : | Korrelationen zwischen Wurzel-Längen-Dichte und Sprossparametern..... | 81 |

II Verzeichnis der Abbildungen

| | | |
|------------|--|---|
| Abb. 1: | Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Zusammenhänge zwischen Boden und Pflanze und deren Einwirkung auf den Ertrag..... | 2 |
| | | |
| Abb. 2: | Niederschlagsverteilung und Temperaturverlauf, Standort Rommersheim..... | 6 |

| | | |
|------|--|----|
| Abb. | Versuchsanlage Standort | 7 |
| 3: | Romersheim..... | |
| Abb. | Niederschlagsverteilung und Temperaturverlauf, | 12 |
| 4: | Standort Athen..... | |
| Abb. | Versuchsanlage Standort | 13 |
| 5: | Athen..... | |

Standort Rommersheim

| | | | |
|------|--|-----|---|
| Abb. | Aggregatstabilität in Abhängigkeit von | | |
| 6: | Bodenbearbeitung, Bodentiefe | und | 1 |
| | Zeit, Sommergerste, Versuchsjahr | | 6 |
| | 1999..... | | |
| Abb. | Aggregatstabilität in Abhängigkeit von | | |
| 7: | Bodenbearbeitung, Bodentiefe | und | 1 |
| | Zeit, Sommergerste, Versuchsjahre 2000- | | 7 |
| | 2001..... | | |
| Abb. | Aggregatstabilität in Abhängigkeit von | | |
| 8: | Bodenbearbeitung, Bodentiefe | und | 1 |
| | Zeit, Sommerroggen, Versuchsjahr | | 8 |
| | 1999..... | | |
| Abb. | Aggregatstabilität in Abhängigkeit von | | |
| 9: | Bodenbearbeitung, Bodentiefe | und | 1 |
| | Zeit, Winterroggen, Versuchsjahre 2000- | | 9 |
| | 2001..... | | |
| Abb. | Eindringwiderstand in Abhängigkeit von | | |
| 10: | Bodenbearbeitung und Bodentiefe, Sommergerste, | | 2 |
| | Versuchsjahre 2000- | | 0 |
| | 2001..... | | |
| Abb. | Eindringwiderstand in Abhängigkeit von | | |
| 11: | Bodenbearbeitung und Bodentiefe, Winterroggen, | | 2 |
| | Versuchsjahre 2000- | | 1 |
| | 2001..... | | |
| Abb. | CO ₂ -Atmung des Bodens in Abhängigkeit von | | |
| 12: | Bodenbearbeitung und Zeit, Sommergerste, | | 2 |
| | Versuchsjahre 2000- | | 2 |
| | 2001..... | | |
| Abb. | CO ₂ -Atmung des Bodens in Abhängigkeit von | | |
| 13: | Bodenbearbeitung und Zeit, Winterroggen, | | 2 |
| | Versuchsjahre 2000 und | | 2 |
| | 2001..... | | |

| | | |
|------|--|---|
| Abb. | Nitratstickstoff in Abhängigkeit von | |
| 14: | Bodenbearbeitung und Bodentiefe, Sommergerste, | 2 |
| | Versuchsjahr | 4 |
| | 1999..... | |
| | | |
| Abb. | Nitratstickstoff in Abhängigkeit von | |
| 15: | Bodenbearbeitung und Bodentiefe, Winterroggen, | 2 |
| | Versuchsjahre 2000- | 4 |
| | 2001..... | |
| | | |
| Abb. | Nitratstickstoff in Abhängigkeit von | |
| 16: | Bodenbearbeitung und Bodentiefe, Sommerroggen, | 2 |
| | Versuchsjahr | 5 |
| | 1999..... | |
| | | |
| Abb. | Nitratstickstoff in Abhängigkeit von | |
| 17: | Bodenbearbeitung und Bodentiefe, Winterroggen, | 2 |
| | Versuchsjahre 2000 und | 6 |
| | 2001..... | |
| | | |
| Abb. | Wurzel-Längen-Dichte in Abhängigkeit von | |
| 18: | Bodenbearbeitung, Bodentiefe und | 3 |
| | Zeit, Sommergerste und | 0 |
| | Begleitflora..... | |
| | .. | |
| Abb. | Wurzel-Längen-Dichte in Abhängigkeit von | |
| 19: | Bodenbearbeitung, Bodentiefe und Zeit, | 3 |
| | Sommergerste..... | 1 |
| | | |
| Abb. | Wurzel-Längen-Dichte in Abhängigkeit von | |
| 20: | Bodenbearbeitung, Bodentiefe und Zeit, | 3 |
| | Sommer-, Winterroggen und | 3 |
| | Begleitflora..... | |
| Abb. | Wurzel-Längen-Dichte in Abhängigkeit von | |
| 21: | Bodenbearbeitung, Bodentiefe und Zeit, | 3 |
| | Winterroggen..... | 4 |
| | | |
| Abb. | Stickstoffaufnahme in Abhängigkeit von | |
| 22: | Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, | 3 |
| | Sommergerste mit Konkurrenz der | 6 |
| | Begleitflora..... | |
| Abb. | Stickstoffaufnahme in Abhängigkeit von | |
| 23: | Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, | |
| | Sommergerste ohne und mit Konkurrenz | |
| | der Begleitflora, Versuchsjahre 2000 und | |
| | 2001..... | 3 |
| | ... | 7 |
| Abb. | Stickstoffaufnahme in Abhängigkeit von | |
| | Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, | 3 |

| | | |
|------|--|--------|
| 24: | Sommerroggen mit Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahr 1999..... | 8 |
| Abb. | Stickstoffaufnahme in Abhängigkeit von 25: Bodenbearbeitung und Entwicklungsstadium, Winterroggen ohne und mit Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahre 2000 und 2001..... | 3 9 |
| Abb. | Blattflächenindex in Abhängigkeit von der 26: Bodenbearbeitung, Sommergerste ohne und mit Konkurrenz der Begleitflora..... | 4 8 |
| Abb. | Blattflächenindex in Abhängigkeit von der 27: Bodenbearbeitung, Winterroggen mit und ohne Konkurrenz der Begleitflora..... | 4 9 |
| Abb. | Sprosstrockenmasse in Abhängigkeit von der 28: Bodenbearbeitung, Sommergerste mit Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahr 1999..... | 5 2 |
| Abb. | Sprosstrockenmasse in Abhängigkeit von der 29: Bodenbearbeitung, Sommergerste ohne und mit Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahre 2000 und 2001..... | 5 3 |
| Abb. | Sprosstrockenmasse in Abhängigkeit von der 30: Bodenbearbeitung, Sommerroggen mit Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahr 1999..... | 5 4 |
| Abb. | Sprosstrockenmasse in Abhängigkeit von der 31: Bodenbearbeitung, Winterroggen ohne und mit Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahre 2000 und 2001..... | 5 5 |
| Abb. | Sprosstrockenmasse der Begleitflora in Sommergerste 32: und Sommerroggen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Versuchsjahr 1999..... | 5 6 |
| Abb. | Sprosstrockenmasse der Begleitflora in Sommergerste 33: und Winterroggen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Versuchsjahre 2000 und 2001..... | 5 7 |
| Abb. | Kornerertrag in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung 34: und Unkrautkonkurrenz, Sommergerste ohne und mit Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahre 1999, | 5 8 |

| | | |
|--------------------------|--|--------|
| | 2000 und 2001..... | |
| | | |
| | .. | |
| Abb. 35: | Kornertrag in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Unkrautkonkurrenz, Sommerroggen ohne und mit Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahr 1999..... | 5 9 |
| Abb. | Stickstoff-, Kalium- und Phosphoraufnahme durch den 3 Kornertrag in Abhängigkeit von der 6 Bodenbearbeitung, Sommergerste mit Konkurrenz der : Begleitflora, Versuchsjahr 1999..... | 6 0 |
| Abb. | Stickstoff-, Kalium- und Phosphoraufnahme durch den 3 Kornertrag in Abhängigkeit von der 7 Bodenbearbeitung, Sommergerste ohne und mit : Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahre 2000 und 2001..... | 6 0 |
| Abb. | Stickstoff-, Kalium- und Phosphoraufnahme durch den 3 Kornertrag in Abhängigkeit von der 8 Bodenbearbeitung, Sommerroggen mit Begleitflora, : Versuchsjahr 1999..... | 6 1 |
| Abb. | Stickstoff-, Kalium- und Phosphoraufnahme durch den 3 Kornertrag in Abhängigkeit von der 9 Bodenbearbeitung, Winterroggen ohne und mit : Konkurrenz der Begleitflora, Versuchsjahre 2000 und 2001..... | 6 2 |
| <u>Versuch Athen</u> | | |
| Abb. 40: | Eindringwiderstand in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung..... | 63 |
| Abb. 41: | Wurzel-Längen-Dichte in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung, EC-Stadium 25..... | 69 |
| Abb. 42: | Wurzel-Längen-Dichte in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Düngung, EC-Stadium 69..... | 70 |
| Abb. 43: | Kornertrag in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung..... | 74 |
| | .. | |
| Abb. | Kornertrag in Abhängigkeit von der Düngung..... | |

| | | |
|-----|-------|----|
| 44: | | 74 |
|-----|-------|----|

Korrelationen

| | | |
|------|---|----|
| Abb. | Beziehung von Sprosstrockenmasse, Blattfläche und | |
| 45: | | 79 |

8 Literaturverzeichnis

Adel El Titi, 2003: Soil Tillage in Agroecosystems, CRC Press, Boca Raton, 367p.

Alakukku, L., 1996: Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. Short - term effects on the properties of clay and organic soils, Soil and Tillage Research, 37, 211-222.

Alvarez, R., 1995: Soil organic carbon microbial biomass and CO₂ production from three tillage systems, Soil and Tillage Research, 33, 17-28.

Alvarez, R., Santanatoglia, O.J., Garcia, R., 1996: Plant and microbial contribution to soil respiration under zero and disk tillage, European J. of Soil Biology, 32, 173-177.

Analogidis, D.A., (Αναλογίδης, Δ.Α.), 2000: Έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή, Εκδόσεις ΑγροΤύπος ΑΕ, Αθήνα, 376σελ.

Anderson, H. M., Barlow P.W., Clarkson D.T., Jackson M.B., Shewry, 1996: Plant Roots-from Cells to Systems, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 105p.

Arshad M. A., Gill K. S., Coy, G.R., 1994: Wheat yield and weed population as influenced by three tillage systems on clay soil in temperate continental climate, Soil Tillage and Research, 28, 227-238.

Atwell B. J., 1990: The effect of soil compaction on wheat during early tillering. Growth, development and root structure, New Phytologist, 115, 29-35.

Bachmann, G., Thoenes, H.: 2000 Wege zum vorsorgenden Bodenschutz, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 213S.

Bätz G., Dörfel H., Fuchs A., Thomas E., 1987: Einführung in die Methodik des Feldversuchs, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 327S.

Baeumer, K., Bakermans, W.A., 1973: Zero tillage, Advances in agronomy, 25, 77-123p.

Baeumer, K., Köpke, U., 1989: Effects of nitrogen fertilization. In: (ed: Commission of the European Communities) Energy saving by reduced soil tillage, EC-workshop 10.-12.6.1987, Goettingen, West-Germany, 145-162.

-
- Baeumer, K., 1990: Verfahren und Wirkungen der der Bodenbearbeitung. In: (Hrsg. Diercks, R., Heitefuss, R.) Integrierter Landbau, BVL Verlagsgesellschaft, München, 420S.
- Baeumer, K., 1992: Allgemeiner Pflanzenbau, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 544S.
- Barley, K.P., Greacen, E.L., 1967: Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots, *Advances in Agronomy*, 19, 1-43.
- Barnes, B.T., Ellis, F.B., 1979: Effects of different methods of cultivation and direct drilling and disposal of straw residues on population of earthworms, *J. Soil Sci.*, 30, 669-679.
- Basch, G., Mendes, J.P., Carvalho, M.J., Marques, F., Santos, M.J., 1997: Interaction of tillage system and water regime in sunflower production, www.aposolo.pt/pubcient/bascli.htm
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Amado, T.J., Martin-Neto, L., Fernander, S.V., 2000: Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping system in southern Brazil, *Soil and Tillage Research*, 54, 101-109.
- Becher, H., M. Kainz, 1983: Auswirkung einer langjährigen Stallmistdüngung auf das Bodengefüge im Lößgebiet bei Straubing, *Z. Acker- u. Pflanzenbau*, 152, 152-158.
- Beste A., Hampl U., Kussel N., 2001: Bodenschutz in der Landwirtschaft, Ökologische Konzepte Heft Nr. 101, Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim, 111S.
- Biamah E.K., Nagaya L.M., Gichang E.M., Chrogony R.K., 1994: Microscale effects of tillage and manure on infiltration and erosion of crusting soil, *ISTRO, Proc. of Soil Tillage for Crop Production*, Denmark, 1, 275-298.
- Bilalis, D., 1999: A study of tillage - drilling systems with and without fertilization on plant and soil parameters in a 3-year rotation, *Doctorate Thesis*, Agricultural University of Athens.
- Bilalis D., Vakali, C., Sidiras N., Köpke, U., 2001a: Vergleich von drei Bodenbearbeitungssystemen auf bodenphysikalische Eigenschaften und Wurzelwachstum von Wintergerste auf einem Ackerstandort in Athen, Griechenland, *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, Band 13, Verlag Freisinger Künstlerpresse, Freisingen, 267S.
- Bilalis D., Efthimiadis P., Sidiras N., 2001b: Effect of three tillage systems on weed Flora in a 3-Year Rotation with four crops, *J. Agronomy & Crop Science*, 186, 135-141.
- Bilalis D., Sidiras, N., Economou G., Vakali C., 2003: Influence of four level of surface covers, with wheat straw from preceding crop, on weeds flora in *Vicia faba* crop, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189, 233-241.

-
- Bioland 2001: Bioland-Richtlinien, www.bioland.de
- Bischoff, J., 2001: Standortangepasste Bodenbearbeitung und Bestelltechnik in der Fruchtfolge, www.mrlu.sachsen-anhalt.de
- Blanchar, R.W., Edmonds, C.R., Brandford, J.M., 1978: Root growth in cores formed from fragipan and B2 horizons of Hodson soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 802-806.
- Blanke, M., 1997: Atmung eines Bodens im Gemüsebau zu Beginn der Vegetationsperiode, *Z. Pflanzenernährung. Bodenk.*, 160, 485-489.
- Blevins, R.L., Frye, W.W., 1993: Conservation Tillage: an economical approach to soil management, *Advances in Agronomy*, 51, 33-78.
- Blevins, R.L., Phillips, S.E., Phillips, R.E., 1971: Influence of no-tillage on soil moisture, *Agronomy J.*, 63, 593-596.
- BMVEL, 2002: Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadenverdichtungen und Bodenerosion, Druckpunkt offset GmbH, Köln, 104S.
- Böhm, W., 1976: In situ estimation of root length at natural soil profiles, *Journ. Agric. Sci.*, 87, 365-368.
- Böhm, W., 1979: *Methods of studying root systems*, Springer Verlag, Berlin, 188S.
- Boguslawski von, E., 1981: *Ackerbau*. DLG- Verlag, Frankfurt, 427S.
- Borchert, H., Graf, R., 1988: Zum Vergleich von Penetrometermessungen durchgeführt bei unterschiedlichem Wassergehalt, *Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde*, 151, 69-71.
- Bower, C.A., Reitemeier, R.F., Fireman M., 1952: Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils, *Soil Sci.*, 51, 251-261p.
- Brady, N., Weil, R., 1996: *The nature and properties of soils*, Prentice-Hall, New Jersey, 740p.
- Brasse, D., Garbe, V., 1994: Effekte der Bodenbearbeitung. In: *Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen auf den Naturhaushalt*, Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt, Berlin-Dahlem, Heft 303.
- Bremner, J.M., 1960: Determination of nitrogen in soil by Kjeldahl method, *J Agr. Sci.*, 55, 11-33.
- Braim, M.A., Chaney, K., Hodgson, D.R., 1992: Effects of simplified cultivation on the growth and yield of spring barley on a sandy loam soil, *Soil and Tillage Research*, 22, 173-187.

-
- Brunotte, J., Winnige, B., Frielinghaus, M., Sommer, C., 1999: Der Bodenbedeckungsgrad -Schlüssel für gute fachliche Praxis im Hinblick auf das Problem Bodenabtrag in der pflanzlichen Produktion, *Bodenschutz*, 2, 57-61.
- Buchner, W., Köller K., 1990: Integrierte Bodenbearbeitung, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 126S.
- Buchner, W., Köller, K., 1996: Bodenbearbeitung und Bodenstruktur, aid e.V., Bonn.
- Cardina, J., E. Regnier and Harrison K., 1991: Long term tillage effects on seed banks in three Ohio soils, *Weed Sci.*, 39, 186-194.
- Carman, K., 1997: Effect of different tillage systems on soil properties and wheat yield in Middle Anatolia, *Soil and Tillage Research*, 40, 201-207.
- Carter, M.R., 1994: Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems, Lewis Publishers, Boca Rotan, 390p.
- Carter, M.R., 1997: Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool humid soils of eastern Canada, *Soil and Tillage Research*, 41, 191-201.
- Claupein, W., 1994: Möglichkeiten und Grenzen der Extensivierung im Ackerbau- Wirkungen der Bewirtschaftungsintensität auf die langfristige Produktivität und Stabilität von Agrarökosystemen und deren Umweltwirkungen, Habilitationsschrift, Universität Göttingen.
- Coleman, D.C., 1973: Soil carbon balance in a succesional grassland, *Oikos*, 24, 195-199.
- Constable G. A., Rochester I. J., Daniells, I., 1992: Cotton yield and nitrogen requirement is modified by crop rotation and tillage method, *Soil Tillage and Research*, 23, 41-59.
- Crosson, P., 1981: Conservation Tillage and Conventional Tillage: A Comparative Assessment, Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa, 35p.
- Crozier, C.R., 1999: Nutrient and pH stratification with conventional and no-till management, *Commn. Soil Sci. Plant Anal.*, 30, 65-72.
- Debruck, 1993: Bodenbearbeitung und Bodenpflege, In: (Hrsg.: Siebeneicher, E.G.) *Handbuch für den biologischen Landbau*, Naturbuch Verlag, Augsburg, 49-64.
- Debruck, 2001: Die Grundbodenbearbeitung im biologischen Landbau aus kritischer Sicht, Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, 480S.
- Demeter, 2002: Erzeugungsrichtlinien für die Anerkennung der Demeter Qualität. www.demeter.de

-
- Derpsch, R., Roth, C.H., Sidiras, N., Köpke, U., 1988: Erosionsbekämpfung in Parana, Brasilien: Mulchsysteme, Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitung, Eschborn, 117S.
- Dierauer, H. U., 1990: Agronomisch und ökologisch vertretbare Unkrautregulierung in Getreide und Mais, Abschlussbericht des Forschungsprojektes 1985-1989, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Oberwil, Schweiz.
- Dierauer, H. U., Stöppler-Zimmer, H., 1994: Unkrautregulierung ohne Chemie, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 134S.
- Doran, J.W., Wilhelm W.W., Power, J.F., 1984: Crop residue removal and soil productivity with no-till corn, sorghum, and soybeans, *Soil Sci. Am. J.*, 48, 640-645.
- Doran, J. W., Elliott, E.T., Paustian, K., 1998: Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management, *Soil and Tillage Research*, 49, 3-18.
- Drew, M.W., Saker, L.R., 1980: Direct drilling and ploughing: their effect on the distribution of extractable phosphorus and potassium and of roots, in the upper horizons of two clay soils under winter wheat and spring barley, *J. Agric. Sci. Camb.*, 94, 411-423.
- Ehlers, W., 1978: Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wasseraufnahme der Pflanze, *Kali-Briefe*, 2, 123-136.
- Ehlers, W., Khosla, B. K., Köpke, U., Stüpnagel, R., Böhm, W., Baeumer, K., 1980/1981: Tillage effects on roots development, water uptake and growth of oats, *Soil and Tillage Research.*, 1, 19-34.
- Ehlers, W., Köpke, U., Hesse, F., Böhm, W., 1983: Penetration resistant and root growth of oats in tilled and untilled soil, *Soil and Tillage Research*, 3, 261-275.
- Eisele, J.A, 1992: Sortenwahl bei Winterweizen im Organischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung der morphologisch bedingten Konkurrenzskraft gegenüber Unkräutern, Diss. agrar, Universität Bonn.
- Emmerling, C., Hampl, Ul., 2002: Wie sich reduzierte Bodenbearbeitung auswirkt, *Ökologie und Landbau*, 124, 4/2002, 19- 23.
- Epperlein, J., Reinhart M., 1998: Bodenstabilität und bodenbiologische Parameter bei unterschiedlicher Bearbeitungsintensität, *Biologische Hefte*, 9, 135-144.
- Epperlein, J., 2002: Vergleichende Untersuchungen zum Einfluss konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung auf ausgewählte biologische und physikalische Bodenparameter im Biospärenreservat Schorfheide-Chorin, Diss. agrar., Humbolt-Univ., Berlin.
- Estler, M., Knittel, H., 1996: Praktische Bodenbearbeitung, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main, 264S.

-
- EU, 1999: Landwirtschaft, Umwelt, Ländliche Entwicklung: Zahlen, Fakten, Herausforderung für die Landwirtschaft, www.europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/de/index.htm
- Euthimiadis, P. (Ευθυμιάδης, Π.), 1990: Σπορά με μειωμένη εδαφοκατεργασία του εδάφους. Γεωργία και Κτηνοτροφία, 3, 24-29σελ.
- Fahrenhorst, B., 1988: Der Versuch einer integrierten Umweltpolitik. Das Entwicklung-modell Burkina Faso unter Sankara, Hamburg, Institut für Afrika-Kunde.
- Falbe, J., M. Regitz, 1990: Roempp Chemie Lexikon, Thieme Verlag, 9. Auflage, Stuttgart, Band 2.
- Forstreuter, T., 1999: Bodenfruchtbarkeitskennwerte und Kulturpflanzenenerträge in zwei Bodennutzungssystemen, Diss. agr., Goettingen.
- Frangenberg, A., 1993: Auswirkungen der Grünbrache auf bodenphysikalische Parameter. Diss. agr., Bonn.
- Franken, H., Loh, M., 1987: Der Einfluss ackerbaulicher Maßnahmen auf die Dynamik der Aggregatstabilität, Z. Kulturtechnik u. Flurber., 28, 35-41.
- Franzluebbers A.J., Arshad M. A., 1996: Soil organic matter pools with conventional and zero tillage in a cold, semiarid climate, Soil Tillage and Research, 39, 1-11.
- Frede, H. F., Beisecker, R., Gäth, S., 1994: Long-term impacts of tillage on the soil ecosystem, Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 157, 197-203.
- Gajri, P., Arora V. K., Prihar S. S., 1992: Tillage management for efficient water and nitrogen use in wheat fallowing rice, Soil Tillage and Research, 24, 167-182.
- Gawronski, S.W., Bernat, W., Gawronska, H., 2002: Allelopathic potential of sunflower mulch in weed control, Third World Congree on Allelopathy, 26-30 August, Tsukuba, Japan, Sato Prnting Co. LTD, Japan, 160.
- Geier, U., Köpke, U., 1998: Comparison of Conventional and Organic Farming by Process-Life Cycle Assessment. In: (Ed.: Ceuterick, D.), International Conference on Life Cycle Assessment in Agriculture, Agro-Industry and Forestry, Proceedings International Conference, 3-4 December, Brussel, Belgium..
- Geisler G., Ritz, J. 1981: Untersuchungen zur Sproß-Wurzel-Beziehung bei Weizen. 1. Eingriff in das Wurzelwachstum und deren Bedeutung für das vegetative Wachstum der Weizenpflanze, Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, 150, 161-172.
- Geisler, G., 1988: Pflanzenbau, Verlag Parl Parey, Berlin, 530S.

-
- Gemtos T. A., Galanopoulou S., Cavalaris, C., 1998: Wheat establishment after cotton with minimal tillage, *European Journal of Agronomy*, 8, 137-147.
- Gerakis, P., (Γεράκης, Π.), 1999: Σημειώσεις του μαθήματος Αειφορική Γεωργία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Gill, K.S., Arshad M.A., 1995: Weed flora in the early growth period of spring crops under conventional, reduced and zero tillage systems on a clay soil in northern Alberta, Canada, *Soil and Tillage Research*, 33, 65-79.
- Ginting D., Moncrief, J.F., Satish C.G., 2003: Performance of a variable tillage system based on interactions with landscape and soil, *Precision Agriculture*, 4, 19-34.
- Glinski, J., Lipiec J., 1990: Soil physical conditions and plant roots, CRS Press, Boca Raton, Florida, 250p.
- Goss, M.J., Howse, K.R., Haris, W., 1978: Effects of cultivation on soil water retention and water use by cereals in clay loam soils, *Soil Sci.*, 29, 475-480.
- Goss, M.J., Ehlers, W., Boone, F.R., White, I., Howse K.R., 1984: Effects of soil management practice on soil physical conditions affecting root growth, *J. Agric. Eng. Res.*, 30, 131-141.
- Graf A., Bundschuh, W., Kruse., H.G., 1993: Effektives arbeiten mit SAS, BI-Wiss.-Verl., Mannheim, 333S.
- Gregory, P. J., (1994): Root growth and activity. In: (Ed.: Boote, K. J., Bennet, J. M., Sinclair, T. R., Paulsen, G. M.), *Physiology and Determination of Crop Yield*, American Society of Agronomy, Madison Wisconsin (USA), 65-93.
- Grocholl, J., 1991: Der Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf die mikrobiologischen Status von Böden verschiedener Standorten unter besonderer Berücksichtigung der C-Umsetzung, Diss. agr., Universität Gießen.
- Griffith, D. R., Mannering, J.V., Moldenhauer, W.C., 1977: Conservation tillage in the Eastern Corn Belt, *J. Soil & Water Cons*, 32, 20-28.
- Haderlein, L., Izaurralde, R.C., Feng, Y., Puurveen, H., 1993: Effects of Site and Tillage on Soil Physical Properties, In: (Ed.: Izaurralde, R.C., Janzen, H.H., Vanderpluym H.P.) *Long Term Cropping System Studies*, Research Report: 1992 - 1993.
- Hammel, J.E., 1995: Longterm tillage and crop rotation effects on winter wheat production in Northern Idaho, *Agronomy J.*, 87, 16-22.
- Hampl, U., 1995a: Beratung zur Umstellung auf ökologische Bodenbewirtschaftung, Verlag Dr. Kovac, Hamburg, 147S.

-
- Hampl, U., Hoffmann M., Kaiser-Heydenreich B., Kress, W., Markl J., 1995b: Ökologische Bodenbearbeitung und Beikrautregulierung, SÖL- Sonderausgabe, Nr.56, 128S.
- Hampl U., 2002: Projektüberblick, Wetter- und Ertragsdaten, In: (Hrsg. SÖL) Bodenbearbeitung und Bodengesundheit, Zwischenergebnisse im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung in Rommersheim, LPP Schriftenreihe, Bad Dürkheim, Heft Nr. 13, 116S.
- Hanus, H., 1990: Bodenbearbeitung und Verdichtung von Böden, In: (Hrsg. Blume, H.) Handbuch des Bodenschutzes, Verlag Ecomed, Landsberg/Lech, 686S.
- Herrmann, G., Plakolm G., 1991: Ökologischer Landbau, Verlagsunion Agrar., München, 428S.
- Heindl, G., 1991: Die Beeinflussung der Erosionsanfälligkeit von Ackerböden durch Maßnahmen einer biologischen im Vergleich zu konventioneller Landbewirtschaftung am Beispiel von Winterweizen, Diplomarbeit, Lehrstuhl für Bodenkunde, Weihenstephan.
- Hövelman, L., 1996: Fruchtfolgegestaltung und bodenschonende Bewirtschaftung rekultivierter Böden aus Löß im Rheinischen Braunkohlenrevier – Auswirkungen auf Pflanzenentwicklung und Bodeneigenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Aggregatstabilität, Diss. agr., Bonn.
- Hövelman, L., Franken, H., 1993: Zum Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf Aggregatstabilität, Eindringwiderstand und Wurzelentwicklung in rekultivierten Böden aus Löß. In: (Hrsg.: Brenndörfer, M.) Ergebnisse von Versuchen zur Bodenbearbeitung und Bestellung, KTBL Arbeitspapier 190, Erwin Lokay, Reinheim, 139S.
- Horsch, D., 1990: Reduzierte Bodenbearbeitung, angepaßte Saattechnik und Unkrautbekämpfung nach dem System Horsch. In: (Hrsg. Diercks, R., Heiterfuss, R.) Integrierter Landbau, BVL Verlagsgesellschaft, München, 420S.
- Kahnt, G., 1976: Ackerbau ohne Pflug. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 128S.
- Kahnt, G., 1986: Biologischer Pflanzenbau, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 228S.
- Kahnt, G., 1995. Minimal-Bodenbearbeitung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 112S.
- Kainz M., Kimmelman S., Reents H.J., 2002: Pflug - ja , nein oder weniger, Ökologie und Landbau, 124, 4/2002: 16-18.
- Karamanos, A., (Καραμάνος, Α.), 1994: Τα σιτηρά των εύκρατων κλιμάτων, Cereals in the mediteranean climate, Εκδόσεις Ελληνική Λιθογραφία, Αθήνα, 342σελ.
- Karlen D. L., Wollenhaupt N. C., Erbach D. C., Berry E. C., Swan J. B., Eash N. S., Jordahl J.L., 1994: Long term tillage effects on soil quality, Soil and Tillage Research, 32, 313-327.

-
- Kirsch, A., Franken, H., Blanke M., 2000: Feldmethoden zur Bestimmung der substrat-induzierten Bodenatmung, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 163, 165-171.
- Köller, K., 1993: Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. DLG-Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 120S.
- Köpke, U., 1979: Ein Vergleich von Feldmethoden zur Bestimmung des Wurzelwachstums Landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Diss. agrar., Göttingen.
- Köpke, U., 1981: A comparison of methods for measuring root growth of field crops, *J. Agronomy and Crop Science*, 150, 39-49.
- Köpke, U., 1993: Nährstoffmanagement durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen, In: (Hrsg. BMELF), 5. Colloquium zur Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, „Nährstoffhaushalt“, *Berichte über Landwirtschaft*, 71, 207. Sonderheft, 181-203.
- Köpke, U., 1997: Ökologischer Landbau, In: (Ed.: E.R., Keller, H., Hanus, K.U., Heyland), *Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion*, Verlag Ulmer, Stuttgart, 625-702S.
- Köpke, U., 2003: Conservation agriculture with and without agrochemical use, *Extended Summary of the 2nd World Congress on Conservation Agriculture*, 11-15 August, Iguassu Falls, Parana, Brazil.
- Koko, E.G., Volkmar, K.M., Gowen, B., Entz T., 1993: Determination of total root surface area in soil core samples by image analysis, *Soil and Tillage Res.*, 26, 33-43.
- Koskinen, W.C., McWhorter, C.G., 1986: Weed control in conservation tillage, *J. Soil Water Conserv.*, 41, 365-370.
- Kramer, P., Boyer J., 1995: *Water relations of plants and soils*, Academic Press, California, USA, 495p.
- Kress, W., 1997: Und Kemink hatte recht, *bioland*, 1, 22-23.
- Kreuz, E., Elsner, H., 1986: Der Einfluß komplexer Intensivierungsmaßnahmen in der Getreidefruchtfolge auf die Spätverunkrautung von Winterweizen, *Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz i.d. DDR*, 10, 197-200.
- Kreuz, E., 1992: Wirkungen pflugloser Grundbodenbearbeitung zu Winterweizen auf mechanischen Bodenwiderstand, Trockenrohdichte und Gehalt der Loess-Schwarzerde an bodenbürtigen pflanzenverfügbaren Stickstoff, *Archiv Acker-Pflanzenbau Bodenkunde*, Berlin, 36, 191-200.
- Kübler, E., 1994: *Weizenanbau*, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 191S.

-
- Kuntze H., G. Roeschmann, Schwerdtfeger, G., 1988: Bodenkunde, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 568S.
- Lal, R., 1989: Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics vs. temperate environments, *Adv. Agron.*, 42, 85-197.
- Lal, R., Logan T.J., Eckert, D.I., Dick, W.A., Shipitalo, M.J., 1994: (Ed.: Carter, M.R.) Conservation Tillage in corn belt of the United States. In: Conservation Tillage in temperate agroecosystems, Lewis Publisher, Boca Raton, 390p.
- Lal, R., 1997: Soil structure and sustainability. *J. Sustainable Agric.*, 1, 67-92.
- Lampurlanes, J., Cantero-Martinez, C., 2003: Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth, *Agronomy Journal*, 95, 526-536.
- Langmaak, M., 1998: Wechselwirkungen zwischen Bodenverdichtung und der Bodenfauna landwirtschaftlich genutzter Böden., Diss. agrar., Gemeinsame Naturwissenschaftlich Fakultät, Technische Universität, Braunschweig.
- Leber, M. 1989: Beurteilung und Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden, *Bayreuther Bodenkundliche Berichte*, Band 12.
- Liebhart, P., 1995: Effekte langjähriger unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung auf ausgewählte Bodenkennzahlen und das Ertragsverhalten von Winterweizen, Körnermais und Zuckerrübe im semihumiden Ackerbaugebiet Ostösterreichs, Habilitationsschrift, Wien.
- Liebhart, P., 1996: Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Ertrag und Ertragsverhalten von Körnermais (*Zea mays* L.) im oberösterreichischen Zentralraum, *Die Bodenkultur*, Band 47, Heft 3.
- Lipiec, J., Hakansson, I., Tarkiewicz, S., Kossowski, J., 1991: Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils, *Soil and Tillage Research*, 19, 307-317.
- Lipiec, J., Hakansson, I., 2000: Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors, *Soil and Tillage Research*, 53, 87-94.
- Lopez-Bellido, L., 1992: Mediterranean cropping systems, In: (Ed.: Pearson, C.J.) *Ecosystems of the world*, Elsevier, New York, 311-356.
- Lopez-Fando, C., Alemandos, G., 1995: Interactive effects of tillage and crop rotations on yield and chemical properties of soils in semiarid Central Spain, *Soil and Tillage Research*, 36, 45-47.
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst L., Fried P., Niggli, U., 2002: Soil fertility and biodiversity in organic farming, *Science*, 296, 1694-1697.

-
- Mähner, T., 1999: Wachstum und Ertrag von Getreide nach mechanischer Bodenbelastung in unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen, Diss. agr., Göttingen.
- Manitoba, The Zero Tillage Farmers Association, 1991: The Produktion Manual, www.mandakzerotill.org/zt01.html.
- Marelli H., B. DeMir, Lattanzi, A., 1981 : La temperatura del suelo y su relacion con los sistemas de labranza, Informe Especial 14, EERA, Marcos Juarez, Argentina.
- Materechera S. A., Alston A. M., Kirby J. M., Dexter A. R., 1992: Influence of root diameter on penetration of seminal roots into a compacted subsoil, *Plant and Soil*, 144, 297-303.
- Materechera, S.A., Mloza-Banda, H. R., 1997: Soil penetration resistance, root growth and yield of maize as influenced by tillage system on ridges in Malawi, *Soil and Tillage Research*, 41, 13-24.
- Mauersberger, V., Graul, W., Butzert, R., 1989: Reduzierte Bodenbearbeitung zu Sommergerste in intensiven Getreidefruchtfolgen, *Feldwirtschaft*, 30, 357-359.
- Mauersberger, V., Graul, W. 1990: Ergebnisse reduzierter, strukturschonender Bodenbearbeitung zu Sommergerste, *Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd.*, 34: 9, 625-634.
- McCloskey, M., Firbank L.G., Watkinson A.R., Webb, D.J., 1996: The dynamics of experimental arable weed communities under different management practices, *J. Veg. Sci.*, 7, 799-808.
- Moreno, F., Pelegrin, F., Fernandez, J.E., Murillo, J.M., 1997: Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain, *Soil and Tillage Research*, 41, 25-42.
- Morgan, R.P.C., 1995: *Soil Erosion and Conservation*, Longman Group Limited, Essex, 198p.
- Motta, A.C.V., Reaeves, D.W., Touchton, J.T., 2002: Tillage intensity effects on chemical indicators of soil quality in two coastal plain soils, *Commun. in Soil Science and Plant Analysis*, 33, 913-932.
- Mrabet, R., Ibno-Namr, K., Bessam, F., Saber, N., 2001: Soil chemical changes and implication for fertilizer management after 11 years of no-tillage wheat production systems in semiarid Morocco, *Land Degradation and Develop.*, 12, 505-517.
- Müller-Westermeier, G., 1990: *Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951-1980*, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.

- Munzert, M., 1992: Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen, Paul Parey Verlag, 163S.
- Nalewaja, J.D., 2001: Weeds and Conservation Agriculture. In: (ed. Carcia-Torres, L., Benites, J., Martinez-Vilela, A.) Proc. Conserv. Agric. A World-Wide Challenge, 191.
- Naturland e.V.: 2000, Richtlinien, www.naturland.de
- Neubauer, W., 1995: Reduzierte Bodenbearbeitung ja, aber auf die Situation ausgerichtet, Kartoffelbau, 46, 16-17.
- Nitzsche O., Schmidt W., Richter W., 2000: Minderung des P-Abtrages von Ackerflächen durch konservierende Bodenbearbeitung, Mittlg. Bodenkdl. Gesellschaft., 92, 178-181.
- Oesau, A., 2002: Vegetationskundliche Untersuchungen im Projekt. In: (Hrsg. SÖL) Bodenbearbeitung und Bodengesundheit, Zwischenergebnisse im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung in Rommersheim, LPP Schriftenreihe, Bad Dürkheim, Heft Nr. 13, 116S.
- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., Dean L.A., 1954: Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate, U.S. De. Agr. Circ., 139.
- Oussible M., Crookston R. K., Larson, W.E., 1992: Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat, Agronomy Journal, 84, 34-38.
- Pan, W.L., Tillman B.A., Ullrich, S.E., 1991: Ammonium and nitrate uptake by barleygenotypes in diurnally fluctuating root temperatures simulatin till and no-till conditions, Plant and Soil, 135, 1-8.
- Parkinson, K.J., 1981: An improved method for measuring soil respiration in the field, J. Applied Ecology, 18, 221-228.
- Pekrun, C., Claupein W., 1998: Forschung zur reduzierten Bodenbearbeitung in Mitteleuropa: eine Literaturübersicht, Pflanzenbauwissenschaften, 4, 160-175.
- Pekrun, C., Schneider, N., Wüst, C., Jauss, F., Claupein, W., 2003a: Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung auf Ertragsbildung, Unkrautdynamik und Regenwurmpopulation im Ökologischen Landbau, In: (Hrg. Freyer, B.) Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Wien, 21-24.
- Pekrun, C., Kaul, H.P., Claupein, W., 2003b: Soil Tillage for Sustainable Nutrient Management, In: (ed. Adel El Titi) Soil Tillage in Agroecosystems, CRC Press, Boca Raton, 367p.
- Philips, R.E., Philips, S.H., 1984: No-tillage agriculture, Principles and Practices, Van Nostrand Reinhold, New York, 170p.

-
- Pietola, L., 1991: Effect of clay soil strength and structure on root penetration and crop yield, *Annales Agriculturae Fenniae*, 30, 345-358.
- Porter L. K., Follett R. F., Halvorson, A.D., 1996: Fertilizer nitrogen recover in a No-Till wheat- sorghum-fallow-wheat sequence., *Agron. J.*, 88, 750-757.
- Ramharter R., Besenhofer G., Boxberger J., 2001: Vergleich konventioneller Pflug mit Zweischichtenpflug im Hinblick auf Energie und Zugkraft, Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, 480S.
- Reichart, K., 1998: Auswirkungen Ackerbaulicher Maßnahmen auf Kenngrößen der Bodenfruchtbarkeit in der Felderfolge Zuckerrüben- Winterweizen- Wintergerste, Diss. agr., Bonn.
- Roseberg R. J., 1992: Tillage and traffic induced changes in macroporosity and macropore continuity: air permeability assessment, *Soil Science Soc. of America Journal*, 56, 1261-1267.
- Ruhm E., 1983: Gute Voraussetzungen für eine schlechte Ernte, *Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung*, 136, 3-4.
- Russel, R.S., 1977: Plant and Root System: Their Funktion and interaction with the soil, Mc.Graw-Hill Book Company (UK) Limited, London, 297p.
- Sainju U.M., Singh, B.P., Whitehead, W.F., 2002: Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA, *Soil and Tillage Research*, 63, 167-179.
- Sauerbeck, D., Johnen, B., 1974: Der Umsatz von Pflanzenwurzeln im Laufe der Vegetationsperiode und dessen Beiträge zur Bodenatmung, *Z. für Pflanzener. Und Bodenkunde*, 3, 315-328.
- Saxena A., Singh D. V., Joshi, N.L., 1997: Effects of tillage and cropping systems on soil moisture balance and pearl millet yield, *J. Agronomy and Crop Science*, 178, 251-257
- Scheffer, F., Schachtschabel P., Blume H., Hartge K., Schwertmann, 1998: Lehrbuch der Bodenkunde, 14. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 494S.
- Schinner, F., 1996: Bodenökologie: Bodenmikrobiologie und Bodenenzymatik, Springer Verlag, Berlin, 450S.
- Schmidt W., Nitzsche O., Gebhart C., 2002: Fusariumbekämpfung bei konservierender Bodenbearbeitung, www.smul.sachsen.de.
- Schwerdtle, F., 1969: Untersuchungen zur Populationsdichte von Regenwürmern bei herkömmlicher Bodenbearbeitung und bei Direktsaat, *Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz*, 76, 635-641.

- Sekera, F. und A. Brunner, 1943: Beiträge zur Methodik der Gareforschung, Z. Pflanzenernährung Düngung und Bodenkunde, 29, 169-212.
- Sekera, F., 1951: Gesunder und kranker Boden, Paul Parey Verlag, Berlin, 90S.
- Selles, F., McConkey B.G., Cambell, C.A., 1999: Distribution and forms of P under cultivator and zero tillage for continuous and fallow wheat cropping system in semiarid Canadian prairies, Soil and Tillage Research, 51, 47-59.
- Semmel, H., Horn, R., 1995: Möglichkeiten zur Bestimmung der mechanischen Belastbarkeit und der Druckfortpflanzung im Boden im Hinblick auf die Ableitung von bodentyp- und maschinenspezifischen Grenzwerten, Bodenversichtung, Schrift 362, KTBL, Darmstadt, 206.
- Sidiras, N., Pavan, M., 1986: Influence of soil management practices on soil temperature, Rev. Bras. G. Solo, 10, 181-184.
- Sidiras, N., Kahnt, G., 1998a: Biopores, rooting of maize and physical soil properties as influence by tillage systems, ISTRO, Edinburgh, Scotland, 115-121.
- Sidiras, N., Bilalis D. (Σιδηράς, Ν., Μπιλάλης, Δ.), 1998b: Επίδραση τριών συστημάτων εδαφοκατεργασίας στη δομή και στην ανάπτυξη των ριζών του σκληρού σιταριού. Influence of three tillage systems on the root growth of cereals, Πρακτικά 7^ο Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, 65-78σελ.
- Sidiras, N., Efthimiadis P., Bilalis D., Takopoulos N., 2000: Effect of tillage system and fertilization on physical properties of soil in the seedbed and on seedling emergence of winter barley, J. Agronomy and Crop Science, 184, 287-296.
- Sidiras, N., Bilalis, D., Vavoulidou E., 2001: Effects of tillage and fertilization on some selected physical properties of soil and on the root growth dynamic of winter barley, J. Agronomy and Crop Science, 187, 167-176.
- Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L., Mäder, P., 1998: Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term study on loess in Switzerland, Agriculture, Ecosystem and Environment., 69, 253-264.
- Simpfendorfer, S., Kirkegaard, J.A., Heenan, D.P., Wong, P.T.W., 2002: Reduced early growth of direct drilling wheat in southern New South Wales, Austrian Journal of Agricultural Research, 53, 323-331.
- Singh B., Chanasyk D. S., McGill W. B., and M. P. Nyborg. 1994: Residue and tillage management effects on soil properties of a typic cryoboroll unter continuous barley, Soil Tillage and Research, 32, 117-133.
- Skalar Analytical B.V., 1993: Soil and Plant Analysis, Breda, Publ. Nr. 0640693.
- Smit, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., van Noordwijk, M., Pellerin, S., van de Geijn, S.C., 2000: Root Methods, Springer Verlag, Heidelberg, 587S.

-
- SÖL, 1994: Leben auf gesunder Erde, SÖL-Sonderausgaben, Nr. 50, Deukalion Verlag, Holm, 38S.
- Sojka, R.E., Horne, D.J., Ross, C.W., Baker, C.J., 1996: Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oats stand and yield, *Soil and Tillage Research*, 40, 125-144.
- Sommer, C., Zach M., 1993: Grundbodenbearbeitung mit nichtwendender Lockerung. In: (Hrsg. KTBL) *Ergebnisse von Versuchen zur Bodenbearbeitung und Bestellung*, KTBL-Arbeitspapier190, Darmstadt, 35-42.
- Sommer, C., 1997: Bodenbearbeitung. In: (Hrsg. Keller, E., Hanus, H., Heyland, K.) *Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion*, Ulmer Verlag, Stuttgart, 860S.
- Sprague M.A., Triplett G.B., 1986: No-tillage and surface-tillage agriculture, *The tillage revolution*, John Willey & Sons Inc., 467p.
- Statistica, 1993: *Statistica for Windows version 4.1, User manual*. Statsoft.
- Stevens, W.E., Johnson, J.R., Varco, J.J., Parkman, J., 1992: Tillage and winter cover management effects on fruiting and yield of cotton, *J. Prod. Agric.*, 5, 570-575.
- Stockfisch N., Ehlers, W., Eberhard, U., 1995: Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung auf biologische und chemische Kennwerte in verschiedenen Tiefen einer Löß-Parabraunerde, *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 76, 697-700.
- Stockfish N., Forstreuter T., Ehlers W., 1999: Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany, *Soil and Tillage Research*, 52, 91-101.
- Stöppler, H., Kölsch, E., Vogtman, H., 1990: Zum Einfluß von Saatzeiten, Saatstärke und Sorten auf agronomische Merkmale von Winterweizen in einem System mit geringer Betriebsmittelzufuhr von außen, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 165, 28-38.
- Stöppler, H., 1988: Zur Eignung von Winterweizensorten hinsichtlich des Anbaues und der Qualität der Produkte in einem System mit geringer Betriebsmittelzufuhr von außen, *Diss. agrar.*, Uni. Gh. Kassel.
- Stülpnagel, R., 1984: Fuhrwerke auf dem Feld ohne Folgen?, *Agrarübersicht*, 35, 40-43.
- Susckevic, M., Kos, N., 1982: Results of minimum tillage in Chechoslovakia, *Sci. Agric. Bokemoslav.*, 14, 261-264.
- Tate R., 1987: *Soil organic matter-biological and ecological effects*, John Wiley Verlag, New York, 291p.

-
- Tebrügge F., Bohrensen A., Groß, U., Düring, R., 1994: Advantages and disadvantages of No-Tillage compared to conventional plough tillage, ISTRO, Proc. of Soil Tillage for Crop Production, Denmark, 2, 737-744.
- Tebrügge, F., Düring, R.A., 1999: Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany, Soil and Tillage Research, 53, 15-28.
- Thomas, G.W., 1986: Mineral nutrition and fertilizer placement. In: (Ed.: Sprague M.A., Triplett G.B.) No-tillage and surface tillage agriculture, The tillage revolution, John Wiley and Sons, 93-116p.
- Tippelt-Sander, R., 1993: In: (Hrsg.: Brenndörfer, M.) Ergebnisse von Versuchen zur Bodenbearbeitung und Bestellung, KTBL Arbeitspapier 190, Erwin Lokay, Reinheim, 139S.
- Triplett G. B., Dabney S. M., Siefker, J.H., 1996: Tillage systems for cotton on silty upland soils, Agron. J., 88, 507-512.
- Tsatsareli, K., (Τσατσαρέλη Κ.), 2000: Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς, Soil tillage, Θεσσαλονίκη, 510σελ.
- Unger P. W. and T. C. Kaspar. 1994: Soil compaction and root growth: A Review, Agron. J., 86, 759-766.
- Vakali, C., Köpke, U. 2001a: Sproß- und Wurzelentwicklung von Getreide bei reduzierter Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau, Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, 480S.
- Vakali, C., Franken, H., Köpke, U. 2001b: Einfluß der reduzierten Bodenbearbeitung auf Sproß- und Wurzelentwicklung, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Band 13, Verlag Freisinger Presse, Freisingen, 267S.
- Vakali, C., Köpke, U. 2001c: Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf bodenphysikalische Eigenschaften und Wurzelwachstum von Sommergerste im Ökologischen Landbau, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Band 13, Verlag Freisinger Presse, Freisingen, 267S.
- Vakali, C., Sidoras N., Bilalis D., Köpke U., 2002: Possibilities and Limits of reduced primary tillage in organic farming, Proc. of the 14th IFOAM Organic World Congress, Victoria, Canada, 320p.
- VDLUFA, 1991: Methodenhandbuch , Band I und 1988: Methodenbuch, Band III, VDLUFA Verlag, Darmstadt.
- Vosshenrich, H., 1990: Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug, Landtechnik, 45, 7-8, 263-264.

-
- Wagner, Fr., 1991: Der Feldversuch, Durchführung und Technik, Verlag Wagner, Bad Hersfeld, 40S.
- Walkley A., Black I.A., 1934: An examination of the Degtiareff methods for determining soil organic and a proposed modification of chromic acid titration method, *Soil Sci.*, 37, 29-38.
- Werland, K., 1990: Bodenbearbeitung im ökologischen Landbau, Diplomarbeit, Uni Bonn, 79p.
- Wiersum, L. K., 1957: The relationship of the size and the structural rigidity of pores to their penetration by roots, *Plant and Soil*, 9, 75-85.
- Witkamp, M., Frank, M.L., 1969: Evolution of CO₂ from litter, humus and subsoil of a pine stand, *Pedobiologia*, 9, 358-365.
- Zadoks, J.C., Chang, T. T., Konzak, C.F., 1974: A decimal code for the growth stages of cereals, *Weed Research*, 14, 415-421.
- Zwerger, P., 1986: Integrated weed management in developed nations, Proc. 2nd Int. Weed Control Congress, Copenhagen, 933-942.
- Zwerger, P., Ammon, H.U., 2002: Unkraut, Ökologie und Bekämpfung, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 419S.