



UNIVERSITÄT HOHENHEIM  
INSTITUT FÜR BODENKUNDE  
UND STANDORTSLEHRE

---

## HOHENHEIMER BODENKUNDLICHE HEFTE

---

Herausgeber:

Ellen Kandeler – Yakov Kuzyakov – Karl Stahr – Thilo Streck

Heft 82

**Haiqing Chen**

**Evaluation of Carbon Sequestration Potential in  
Agricultural Soils in Baden-Württemberg,  
South West Germany**

2007

UNIVERSITÄT HOHENHEIM (310), D-70593 STUTTGART

ISSN 0942-0754

## 7 Summary/Zusammenfassung

### 7.1 Summary

#### **Evaluation of Carbon Sequestration Potential in Agricultural Soils in Baden-Württemberg, South-West Germany**

Concern over global warming and rising levels of atmospheric CO<sub>2</sub> has prompted renewed interest in increasing soil C sequestration. Much effort has been invested in identifying soil management practices and land uses that favor C sequestration. This thesis was designed to evaluate the effects of three contrasting land uses (plow tillage (PT), reduced tillage (RT), and grassland (GL)) on C sequestration in Baden-Württemberg, southwest Germany, and investigate the key factors and processes controlling soil organic carbon (SOC) storage and turnover.

This thesis included three different experiments.

#### **1 Soil organic carbon and total N stocks as affected by different land uses in Baden-Württemberg, southwest Germany**

This study was conducted to evaluate the effects of PT, RT and GL on SOC and total nitrogen (TN) stocks in surface soils. Nearby 13 paired PT, RT, and GL with the same soil type were sampled at depths of 0-5, 5-10, and 10-20 cm throughout Baden-Württemberg, southwest Germany. Averaged over the 13 sites, GL had significantly higher SOC contents in the 0-5 cm layer and significantly higher TN contents in the 0-5 and 5-10 cm layers, compared with PT. RT tended to have higher SOC contents in the 0-5 and 5-10 cm layers, and higher TN contents in all the three depths, compared with PT. GL contained significantly higher SOC and TN stocks than PT in the 0-5 and 5-10 cm layers. RT tended to have higher SOC and TN stocks than PT in all the three layers, although the differences were not significant. GL increased SOC and TN stocks by 44.5% (14.75 Mg C ha<sup>-1</sup>) and 43.5% (1.58 Mg N ha<sup>-1</sup>) over PT, and RT increased SOC and TN stocks by 7.3% (2.7 Mg C ha<sup>-1</sup>) and 7.9% (0.29 Mg N ha<sup>-1</sup>) over PT in the 0-20 cm depth interval, respectively. We estimated that GL sequestered average 1.27 Mg C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> and 0.129 Mg N ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> more than PT, and RT sequestered average 0.32 Mg C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> and 0.033 Mg N ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> more than PT in the top 20 cm, respectively. Our study suggested that grassland and reduced tillage could be effective in increasing SOC and TN accumulation in Baden-Württemberg.

## 2 Effects of nitrogen and intensive mixing on decomposition of $^{14}\text{C}$ -labelled maize (*Zea mays* L.) residue in soils of different land use types

This study investigated (1) the effects of three contrasting land use types on decomposition of  $^{14}\text{C}$ -labelled maize (*Zea mays* L.) residue and soil organic matter (SOM); (2) the effects of mineral-N addition and intensive mixing (analogous to disturbance by plowing) on decomposition of  $^{14}\text{C}$ -labelled maize (*Zea mays* L.) residue and SOM.

Soils were collected from the upper 5 cm of three land use types at Edelweiler, Germany: PT, RT, and GL. Soils were incubated at 20 °C and 80% WHC (water holding capacity), with or without  $^{14}\text{C}$ -labelled maize residue (4 g DM kg<sup>-1</sup> soil), with or without nitrogen (100 mg N kg<sup>-1</sup> soil as  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) and with or without intensive mixing. The incubation experiment for treatments with N and intensive mixing was conducted for 112 days, for treatments with three soils and soils with residues for 159 days.

**Effects of land use types on decomposition of  $^{14}\text{C}$ -labelled maize residue (*Zea mays* L.).** Except the first few days, the cumulative total  $\text{CO}_2$  production was in the order: GL>RT>PT. This sequence reflected the difference of soil organic C between the three land use types. The total amount of  $\text{CO}_2$  evolved during 159 day of incubation represented 9.71, 7.89 and 6.80% of soil organic C for GL, RT and PT, respectively.  $^{14}\text{CO}_2$  efflux from maize residue decomposition was higher in GL than in PT, which could be due to higher soil organic C and microbial biomass C in GL than in PT. RT soil behaved differently from PT and GL. RT had the lowest  $^{14}\text{CO}_2$  efflux from day 2 to day 14, thereafter, it increased progressively, and had the highest  $^{14}\text{CO}_2$  efflux from day 28 to the end of the incubation. The lowest microbial biomass C in RT explained the delayed decomposition of maize residue in the beginning. At the end of the incubation,  $^{14}\text{CO}_2$  efflux amounted to 56.4, 61.6 and 57.7% of input  $^{14}\text{C}$  for PT, RT and GL, respectively. A double exponential model fitted the cumulative soil native carbon and maize residue-C mineralization data sufficiently well ( $R^2>0.99$ ).

**Effects of nitrogen and intensive mixing on decomposition of  $^{14}\text{C}$ -labelled maize (*Zea mays* L.) residue in soils of different land use types.** The effect of mineral-N on maize residue decomposition differed depending on the stage of decomposition and land use type. Nitrogen accelerated residue decomposition rates in the first 5 days in RT and GL soils, but not in PT soil, and decreased residue decomposition rate in all three land use types after 11

days. At the end of the incubation, N suppressed  $^{14}\text{CO}_2$  efflux in RT and PT soils, but not in GL soil. Mineral-N did not increase SOM decomposition independently on the land use types.

Intensive mixing stimulated decomposition of both plant residue and SOM in all three land use types. However, effects were smaller in GL soil than in RT or PT soil, presumably because stronger soil aggregates in GL would have been less affected by mixing and allowed greater protection of SOM and plant residue against decomposition.

### **3 Comparison of net ecosystem $\text{CO}_2$ exchange with climatical relevance from soils of ploughed cropland and grassland under ecological conditions**

This study was to quantify and contrast net ecosystem  $\text{CO}_2$  exchange (NEE) in cropland and grassland at Kleinhohenheim, Germany. NEE was measured automatically using the "Hohenheim Chambers" with an infrared  $\text{CO}_2$  analyzer. For each chamber, NEE were measured 6 times everyday during August, 13 to November, 17, 2006.

The grassland generally showed higher nighttime NEE, but lower daytime NEE than the cropland. The average daytime NEE were  $1.05 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  and  $-0.70 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  in the cropland and grassland, respectively. The average nighttime NEE were  $1.66$  and  $2.44 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  in the cropland and grassland, respectively. Nighttime NEE showed exponential relationships with air and soil temperature in both ecosystems. Daytime NEE in the cropland followed a linear function of soil and air temperature. The average daily NEE were  $2.77 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  and  $1.86 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  in the cropland and grassland, respectively. Both ecosystems were sources of  $\text{CO}_2$  across our experimental period. Over all,  $268.4 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2}$  and  $180.5 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2}$  were lost in the cropland and grassland, respectively. Our study suggested that grassland could be promoted as a strategy for reducing  $\text{CO}_2$  emission.

In conclusion, grassland and reduced tillage could be promoted as strategies to increase SOC and TN accumulation, and reducing  $\text{CO}_2$  emission in Baden-Württemberg.

## 7.2 Zusammenfassung

### **Bewertung des Kohlenstoffbindungspotenzials in landwirtschaftlich genutzten Böden in Baden-Württemberg, Südwest-Deutschland**

Die Sorge über die globale Erwärmung und die Zunahme des atmosphärischen CO<sub>2</sub> belebte das Interesse an zunehmender Kohlenstoffbindung im Boden. Viele Versuche wurden angelegt, um Bodenmanagement-Praktiken und Landnutzungen zu erkennen, die die C-Bindung begünstigen. Die vorliegende Dissertation beabsichtigt, die Auswirkungen dreier unterschiedlicher Landnutzungen (Pflugeinsatz (PT), reduzierter Bodenbearbeitung (RT), und Grünlandnutzung (GL)) auf die Bindung des bodenbürtigen organischen C in Baden-Württemberg, Südwest-Deutschland zu beurteilen und untersucht die Schlüsselfaktoren und -prozesse, die die Speicherung und den Umsatz des bodenbürtigen C<sub>org</sub> regulieren.

Diese Arbeit beinhaltet drei unterschiedliche Herangehensweisen/Ansätze.

#### **1. Bodenbürtiger organischer Kohlenstoff und Gesamt-N-Bindung durch unterschiedliche Landnutzungen in Baden-Württemberg, Südwest-Deutschland**

Diese Untersuchung wurde durchgeführt, um die Wirkung von PT, RT und GL auf die Bindung von Boden-C<sub>org</sub> (SOC) und Gesamt-Stickstoff (TN) im Oberboden zu bewerten. 13 nahegelegene Parzellen-PT, -RT und -GL gleichen Bodentyps wurden in Tiefen von 0-5, 5-10 und 10-20 cm in Baden-Württemberg, Südwest-Deutschland beprobt. Im Durchschnitt der 13 Probenahmestellen waren die SOC-Gehalte in der 0-5 cm-Schicht und die TN-Gehalte in den 0-5 und 5-10 cm-Schichten deutlich erhöht im Vergleich zu PT. Durch RT waren die SOC-Vorräte tendenziell in den 0-5 und 5-10 cm-Schichten erhöht, im Vergleich zu PT waren die TN-Vorräte in sämtlichen drei Schichten erhöht. GL beinhaltete in allen drei Schichten deutlich erhöhte SOC- und TN-Vorräte im Vergleich zu PT, obwohl die Unterschiede nicht signifikant waren. In den 0-20 cm-Tiefen-Intervallen nahmen die Vorräte von SOC und TN durch GL um 44.5% (14.75 Mg C ha<sup>-1</sup>) bzw. 43.5% (1.58 Mg N ha<sup>-1</sup>) gegenüber PT zu, und durch RT nahmen sie um 7.3% (2.7 Mg C ha<sup>-1</sup>) bzw. 7.9% (0.29 Mg N ha<sup>-1</sup>) gegenüber PT zu. Wir berechneten, dass GL durchschnittlich 1.27 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> bzw. 0.129 Mg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> mehr band als PT, und dass RT in den oberen 20 cm durchschnittlich 0.32 Mg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> bzw. 0.033 Mg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> mehr band als PT. Unsere Untersuchung legt nahe, dass Grünlandnutzung

und reduzierte Intensität der Bodenbearbeitung die Bindung von SOC und TN wirksam erhöhen können und dass Grünlandnutzung dabei der reduzierten Bodenbearbeitung überlegen ist.

## 2. Auswirkungen von Stickstoff und intensiver Mischung auf den Abbau des Rückstands von $^{14}\text{C}$ -markiertem Mais (*Zea mays* L.) in Böden unterschiedlicher Landnutzungstypen

Diese Untersuchung ermittelte (1) die Auswirkung dreier gegensätzlicher Landnutzungstypen auf den Abbau der Rückstände von  $^{14}\text{C}$ -markiertem Mais (*Zea mays* L.) und organischer Substanz im Boden (SOM); (2) die Auswirkungen der Zugabe von mineralischem N und intensiver Mischung (analog zur Zerstörung durch Pflügen) auf den Abbau von Rückständen aus  $^{14}\text{C}$ -markiertem Mais (*Zea mays* L.) und SOM.

Bodenproben wurden aus den oberen 5 cm von Böden dreier Landnutzungstypen bei Edelweiler, Deutschland entnommen: PT, RT und GL. Die Böden wurden bei 20°C und 80% WHC (Wasserhalte-Kapazität) inkubiert, mit bzw. ohne  $^{14}\text{C}$ -markierte Mais-Rückstände (4 g DM kg<sup>-1</sup> Boden), mit bzw. ohne Stickstoff (100 mg N kg<sup>-1</sup> Boden als NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) und mit bzw. ohne intensives Mischen. Der Inkubationsversuch für Bearbeitungen mit N und intensiver Mischung wurde 112 Tage, die Versuche mit drei Böden bzw. für Böden mit Rückständen 159 Tage durchgeführt.

**Auswirkungen von Landnutzungstypen auf den Abbau von  $^{14}\text{C}$ -markierten Maisrückständen (*Zea mays* L.).** Mit Ausnahme der ersten Tage nahm die kumulative CO<sub>2</sub>-Gesamtproduktion in der Reihenfolge: GL>RT>PT ab. Diese Abfolge spiegelt die Unterschiede im SOC zwischen den drei Landnutzungstypen wieder. Innerhalb der 159 Tage Inkubationszeit betrug der CO<sub>2</sub>-Gesamtgehalt jeweils 9.71, 7.89 bzw. 6.80 % des SOC für GL, RT und PT. Der  $^{14}\text{CO}_2$ -Abfluss aus Maiszersetzungsrückstand war in GL höher als in PT, was auf erhöhte SIC und mikrobielle Biomasse-C in GL gegenüber PT zurückgeführt werden konnte. RT-Boden verhielt sich anders als PT und GL. RT hatte den geringsten  $^{14}\text{CO}_2$ -Abfluss zwischen dem 2. und dem 14. Tag, nahm danach schrittweise zu und zeigte den höchsten  $^{14}\text{CO}_2$ -Abfluss zum Ende der Inkubationszeit. Die verzögerte Zersetzung von Maisrückstand zu Beginn erklärt sich durch das geringste mikrobielle Biomasse-C in RT. Zum Ende der Inkubation betrug der  $^{14}\text{CO}_2$ -Abfluss 56.4, 61.6 bzw. 57.7 % des Einsatzes an PT, RT bzw. GL.

Die kumulierten Daten aus bodenbürtigem Kohlenstoff und Mais-Rückstands-C sind durch ein zweifach-exponentielles Modell ausreichend gut angepasst ( $R^2 > 0.99$ ).

**Auswirkungen von Stickstoff und intensiver Mischung auf die Zersetzung von Rückständen des  $^{14}\text{C}$ -markiertem Mais (*Zea mays* L.) in Böden unterschiedlicher Landnutzungstypen.** Die Wirkung von Mineral-N auf die Zersetzung von Maisrückständen unterschied sich in Abhängigkeit von Zersetzungsphase und Landnutzungstyp. Stickstoff beschleunigte die Abbauraten der Maisrückstände in den ersten 5 Tagen in RT- und GL-Böden, nicht jedoch in PT-Böden, und verringerte die Abbauraten dieser Rückstände in allen drei Landnutzungstypen nach 11 Tagen. Zum Ende der Inkubation unterdrückte N den  $^{14}\text{CO}_2$ -Abfluss in RT- und PT-Böden, nicht jedoch in GL-Böden. Unabhängig von der Landnutzung trug Mineral-N nicht zu erhöhter SOM-Zersetzung bei.

Intensive Mischung regte den Abbau sowohl von Pflanzenrückständen als auch von SOM in allen drei Landnutzungstypen an. In GL-Böden waren die Auswirkungen jedoch geringfügiger als in RT- oder PT-Böden, vermutlich weil stärkere Bodenaggregate in GL-Böden weniger durch Mischung beeinträchtigt wurden und damit einen größeren Schutz von SOM und Pflanzenrückständen gegen ihren Abbau boten.

### **3. Vergleich des Nettoaustauschs von $\text{CO}_2$ in Ökosystemen hinsichtlich der Klimarelevanz von Böden unter gepflügten Ackerflächen und Grünland unter ökologischen Bedingungen**

Diese Untersuchung sollte Gegensätze des  $\text{CO}_2$ -Austauschs (NEE) auf Ackerflächen und Grünland in Kleinhohenheim, Deutschland quantifizieren und gegenüberstellen. NEE wurde durch ein Infrarot- $\text{CO}_2$ -Analysegerät in den „Hohenheimer Messkammern“ automatisch gemessen. In jeder Kammer wurde NEE täglich 6mal in der Zeit vom 13. August bis 17. November 2006 gemessen.

Im Allgemeinen war der NEE auf Grünlandflächen nachts höher, tagsüber jedoch geringer als auf Ackerflächen. Der NEE betrug tagsüber durchschnittlich  $1.05 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  und  $-0.70 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  auf Ackerflächen bzw. Grünlandflächen. Die durchschnittliche Nachtzeit-NEE betrug  $1.66$  und  $2.44 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  auf Ackerflächen bzw. Grünlandflächen. Nachtzeit-NEE zeigte eine exponentielle Beziehung zu Luft- und Bodentemperatur in beiden

Ökosystemen. Tagzeit-NEE auf Ackerflächen beschreibt eine lineare Funktion der Luft- und Bodentemperatur in beiden Ökosystemen. Der durchschnittliche Tages-NEE betrug  $2.77 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  und  $1.86 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  auf Ackerflächen bzw. Grünlandflächen. Beide Ökosysteme waren  $\text{CO}_2$ -Quellen während unserer Versuchsperiode. Insgesamt gingen  $268.4 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2}$  und  $180.5 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2}$  auf Ackerflächen bzw. Grünlandflächen verloren. Unsere Untersuchung deutet darauf hin, dass Grünlandnutzung als Strategie gefördert werden kann, um  $\text{CO}_2$ -Emissionen zu reduzieren.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass Grünlandnutzung und reduzierte Bodenbearbeitung als Strategien zur Steigerung von SOC und TN sowie zur Minderung von  $\text{CO}_2$ -Emissionen in Baden-Württemberg gefördert werden können.