

Jahresgang und Klimaabhängigkeit des CO₂-Efflux aus Böden des Westallgäuer Hügellandes

Markus Kleber und Karl Stahr

Synopsis

Soil respiration on the northwestern slope of the terminal moraine of the Würmian glaciation in a temperate grassland area in southwestern Germany has been monitored since May 1993. Total CO₂-Efflux as well as its seasonal variation were found to be dependent on climate, slope position and soil type. A comparison of soil CO₂ efflux between the »standard« summer of 1993 and the warm summer of 1994 showed no difference in CO₂-efflux at the Luvisol-Colluvisol on the upper slope of the moraine. At the gleysol on the basis of the moraine, cumulated respiration was increased by 50%. Lower soil moisture contents at both sites during summer 1994 led to a moisture deficit uphill, but shifted soil moisture content in the basin into the optimum range for carbon turnover. It therefore seems to be possible to state:

1. Carbon-rich soils respond to higher temperatures with higher respiratory activity only if water supply is adequate.
2. With soil temperature and soil moisture conditions in the optimum range, the Gleysol was observed to mineralize almost 50% of the annual turnover within a 41 day period.

Bodenatmung, Kohlenstoffhaushalt, Klimaveränderung, Lundegardh-methode

Soil respiration, Soil carbon balance, Climate change, Lundegardh-method

1. Einführung

Hypothesen zur Reaktion von Standorten auf Klimaänderungen lassen sich experimentell kaum überprüfen, da man den komplexen Naturkörper Boden nicht ohne erhebliche Störung kontrollierten Versuchsbedingungen aussetzen kann. Insbesondere sind im Freiland keine Möglichkeiten zur experimentellen Beeinflussung des Klimas in den räumlichen Maßstäben gegeben, die für seriöse Aussagen erforderlich wären. Ein Ausweg ist das Monitoring von Klimabedingungen wie bodenphysiologischen Parametern über Jahre hinweg in der Erwartung, in der gleichen Jahreszeit von Jahr zu Jahr deutlich unterschiedliche Bedingungen anzutreffen. Der Sommer 1994 unter-

schied sich so gravierend vom vorausgegangenen Sommer, das solche vergleichenden Beobachtungen angestellt werden konnten.

2. Standort, Methode

2.1 Standort

Der Meßplatz Siggen/Neuweier liegt in der Nähe von Leutkirch im Württembergischen Allgäu. Der südöstliche Teil Oberschwabens gehört zu den feuchten und kühlen Gebieten Südwestdeutschlands. Auf der Untersuchungsfläche fallen ca. 1400 mm im Jahresmittel. Die Jahresschwankungen betragen 200 mm. Die Niederschläge sind sehr gleichmäßig über das Jahr verteilt, geringe Maxima ergeben sich im Juli/August und im Spätwinter März/April. Die Jahresdurchschnittstemperatur wird für den gesamten Raum mit ca. 6,5° C angegeben. Während der letzten 5 Jahre lag sie im Durchschnitt über 1° C höher. Die Vegetationsperiode (Zeitraum mit einer Lufttemperatur über 5° C) beginnt am 5. April und endet am 25. Oktober. Mit 205 Tagen ist sie damit für Baden-Württemberg relativ kurz. Die gute Wasserversorgung und das relativ kühle Klima begünstigen die Eignung des Gebietes für Grünlandwirtschaft.

Der Sommer 1994 war im Allgäu außerordentlich warm. Die langjährigen (1950-1980) Monatsmittel für Lufttemperatur und Niederschlag betragen in Wangen im Juli 15,8°C und 156 mm und im August 15,1°C und 149 mm. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Temperatur und Niederschlagsunterschiede zwischen Sommer 1993 und Sommer 1994 für den Vergleichszeitraum vom 4. Juli bis zum 14. August.

Den Untergrund des Untersuchungsstandortes bilden Gesteine, die im Oligozän und Miozän im sogenannten Molassetrog abgelagert wurden. Über die Gesteine der oberen Süßwassermolasse schob sich während der verschiedenen Eiszeiten das Eis des Rheingletschers nach Norden und Osten (STAHR & al., 1994). Der Untersuchungsstandort liegt im östlichen Bereich des Rheingletschers im sogenannten Argenlobus auf dem Nordwesthang der inneren Würmendmoräne. Das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung ist Geschiebemergel. Die beiden hier näher betrachteten Böden sind eine kolluvial überdeckte Parabraunerde vom Oberhang und ein Anmoorgley aus dem gleichen Ausgangsmaterial am Übergangsbereich des Hanges zur feuchten Senke.

Tab. 1
Temperatur- und Niederschlagsunterschiede zwischen Sommer 1993 und Sommer 1994. Alle Werte bezogen auf Vergleichszeitraum vom 04. Juli bis 14. August.
 Tab. 1
Temperature and precipitation differences between summer 1993 and summer 1994. All values related to period from July 04. until August 14.

	1993	1994	Veränderung
Σ Niederschlag (mm)	157	120	-24%
mittlere Lufttemperatur			
Kuppe (°C)	12.5	20.0	+7.5
Senke (°C)	16.4	21.5	+4.1
mittlere Bodentemperatur in 5cm Tiefe			
Kuppe (°C)	15.4	19.4	+4.0
Senke (°C)	15.2	17.5	+2.3

Tab. 2
Übersicht über die für den Kohlenstoffhaushalt wesentlichen Eigenschaften der untersuchten Böden.

	Oberhang	Senke
Bodentyp	Koll. über Parabraunerde	Anmoorgley
Horizontabfolge (bis 1m Tiefe)	Ah - rAp - wM - Bv - Btv	Aa - AhGo - Gro - Gor - Gr
Vegetation	Weidelgrasweide	Streuwiese
Nutzung	5 Schnitte	1 Schnitt
Vorrat C (kg/m ²) (bis 1m Tiefe)	16.41	22.36
Eigenschaften des oberen Horizontes	Ah	Aa
Mächtigkeit (dm)	0.8	1.0
Raumgewicht (g/cm ³)	1.0	0.31
C _{org} (% Feinerde)	5.33	19.99
Vorrat C (kg/m ²)	4.24	6.24
Vorrat N (kg/m ²)	0.42	0.51
C/N - Verhältnis	10.2	12.3

Tab. 2
Soil properties of importance for soil carbon turnover.

Die für den Umsatz organischer Substanz wenig vorteilhaften Klimabedingungen führen in den Böden zur Einstellung eines Humus-Gleichgewichtes auf hohem Niveau, d.h. die Böden enthalten sehr hohe Mengen an organischer Substanz (Tab. 2). Da die Böden des Meßhanges erst im Jahr 1964 aus der Acker- in die Grünlandnutzung übergegangen sind, muß davon ausgegangen werden, daß sie den größten Teil der organischen Substanz in dieser relativ kurzen Zeit akkumuliert haben. Sie sind daher als Kohlenstoffsenke anzusehen. Einen Überblick über die in diesem Kontext wichtigsten Eigenschaften der Böden gibt Tabelle 2.

2.2 Methoden

Profildaten:

Vorräte wurden nach folgender Beziehung ermittelt (SCHLICHTING & BLUME 1966):

Vorrat (kg/m²) = Gehalt(%) x Lagerungsdichte (kg/dm³) x Skelettgehalt (100-Vol% Steine)/100 x Horizontmächtigkeit (dm).

Die Einzelgrößen wurden wie folgt bestimmt:
 Lagerungsdichte (TD): Bestimmung an Stechzylinderproben nach Trocknung bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz, 10 Parallelen

Skelettgehalt:
 nach Auswaschung aus Stechzylindern anfallende Steine gewogen und durch Wasserverdrängung Volumen festgestellt, dann Beziehung zwischen Gewicht und Volumen angewandt auf aus umfangreicheren Beutelp Proben abgesiebte Steine

Gesamt-C:

Bestimmung mit Wösthoff-Gerät (SCHLICHTING & BLUME 1966).

Gesamt-N:

Bestimmung nach Kjeldahl (SCHLICHTING & BLUME 1966) an lufttrockener, gemörselter Feinerde.

Maximale Wasserkapazität:

Bestimmung an zehn Stechzylindern pro Horizont nach SCHLICHTING & BLUME (1966).

Gravimetrische Wassergehalte:

Bestimmung wöchentlich nach SCHLICHTING & BLUME (1966).

Klimadaten:

wurden durch automatisch registrierende Wetterstationen gemessen (STAHR, 1992).

Zur Bestimmung der CO₂-Emission wurde eine Modifikation des Verfahrens von LUNDEGARDH (1924) angewandt. Dabei wird eine CO₂-sorbierende Chemikalie in einem offenen Gefäß auf die Bodenoberfläche gestellt, und diese Fläche dann mit einem geschlossenen Zylinder abgedeckt. Sobald CO₂ aus dem Boden diffundiert, wird es durch den Zylinder am Entweichen gehindert und durch die Chemikalie sorbiert.

Gewöhnlich wird als Sorbens Natronlauge verwendet und eine Expositionszeit von 24 Stunden oder weniger gewählt (ANDERSON 1982). Wegen der Unmöglichkeit eines täglichen Wechsels der Lundegardh-Glocken wird am Standort im württembergischen Allgäu das von TESAROVA & GLOSER (1976) modifizierte Verfahren nach MONTEITH et al. (1964) benutzt, bei dem die Glocken mehrere Tage am Standort verbleiben. Es konnte gezeigt werden (KLEBER & al. 1994), daß auch mehrtägige Installationen der Lundegardhglocken möglich sind und zu sinnvollen Ergebnissen führen. Der Efflux von CO₂ aus dem Boden unterliegt einer sehr hohen Variabilität. Es wurden daher auf der Kuppe und in der Senke Meßparzellen eingerichtet, auf denen je 8 CO₂-Fallen (Grundfläche 415 cm²) installiert wurden. Die Fallen werden jede Woche neu beschickt und innerhalb der Meßparzelle umgesetzt. Die Anzahl von 8

Tab. 3

Bodenatmung der Messflächen Kuppe und Senke (g CO₂ m⁻²). Angegeben sind die durchschnittlichen Tagesmittelwerte (MW), ihre Standardabweichung (SD) sowie die Monatssumme (Σ).

Tab. 3

Soil respiration at sites hilltop and basin (g CO₂ m⁻²). For each month average daily values (MW), standard deviation (SD) and monthly total (Σ) are given.

	Kuppe			Senke		
	MW	SD	Σ	MW	SD	Σ
1993						
JUL	15,89	3,56	492,70	10,72	2,93	332,31
AUG	20,16	2,86	624,93	13,25	2,44	410,85
SEP	15,08	2,21	452,35	6,55	2,36	196,52
OKT	10,07	2,17	312,15	4,74	1,35	146,82
NOV	5,60	1,62	168,03	4,54	1,13	136,23
DEZ	4,56	1,49	141,46	3,36	0,67	104,11
1994						
JAN	4,03	1,03	125,23	2,02	0,69	62,56
FEB	3,23	0,75	90,55	1,88	0,59	52,44
MAR	9,47	2,45	293,80	4,14	0,96	128,42
APR	11,39	1,48	341,81	5,73	1,23	172,09
MAI	17,16	3,04	532,26	10,25	2,50	317,85
JUN	19,49	2,18	584,82	13,16	2,88	394,84
JUL	22,28	2,88	690,94	24,53	4,10	760,59
AUG	19,58	2,96	607,16	18,06	3,66	560,08
SEP	17,84	3,15	535,39	6,84	2,16	205,29
ΣJUL 93 –		(CO ₂)	4160,09			2455,04
JUN 94		(C)	1155,60			681,96

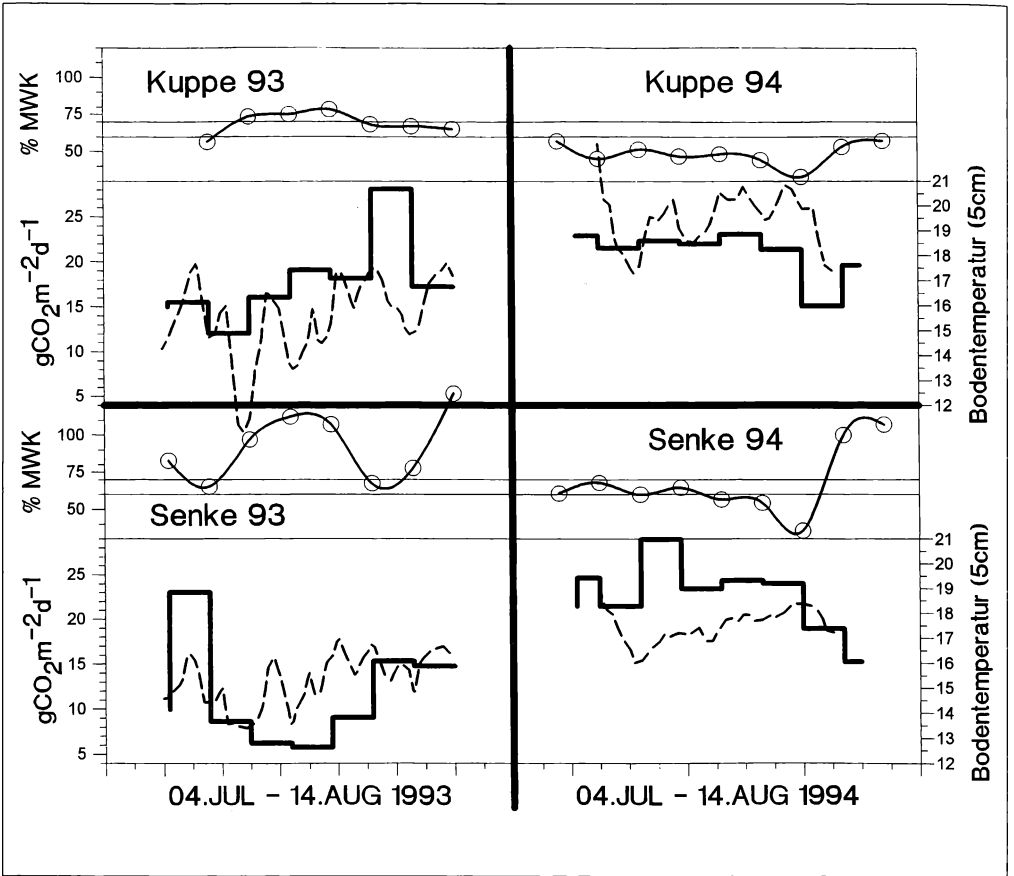


Abb. 1

Darstellung der unterschiedlichen Respirationsraten (fettgedruckte Linie) an den Meßplätzen »Kuppe« und »Senke« zwischen Sommer 1993 und Sommer 1994 in Abhängigkeit von Bodentemperatur (gestrichelte Linie) und Bodenfeuchte (ausgedrückt in % der maximalen Wasserkapazität, durchgezogene Linie). Waagerechte Linien in Feuchtediagrammen geben Bereich der für Respirationsvorgänge optimalen Feuchte an (60–70% MWK).

Fig. 1

Variation of respiration rates (heavy line) at the sites »hill-top« and »hollow« between summer 1993 and summer 1994 and their dependence on soil temperature (dashed line) and soil moisture (expressed as fraction of maximum water holding capacity, straight line). Horizontal lines in soil water graphs indicate optimal respiration conditions (60–70% water retention capacity).

Fallen ist während des größten Teiles eines Jahres hinreichend, um Unterschiede zwischen den Meßparzellen erkennen zu können. Die etwa 20x20 m großen Meßparzellen wurden nach einer Kartierung so ausgewählt, daß innerhalb ihrer Grenzen Bodeneigenschaften möglichst konstant waren.

3. Ergebnisse

Die Bodenatmung wird am Messhang seit Mai 1993 ununterbrochen gemessen. Standortunterschiede werden nicht nur durch den unterschiedlichen Jahres-

umsatz deutlich (Tab.3). Auffällig ist ebenso die unterschiedliche Länge der Mineralisationsperiode (auf der Kuppe von März bis Mitte Oktober, in der Senke von Mitte April bis Ende August). Die teilweise beträchtliche Variabilität der Bodenatmung ist bekannt (BEYER 1991). Sie nimmt in den Phasen intensiver Mineralisation die größten Beträge an.

Des weiteren ist auf den Unterschied bezüglich des Jahresumsatzes an Kohlenstoff hinzuweisen: der Anmoorgley in der Senke erreicht einen deutlich geringeren Umsatzwert als das Kolluvium auf der Kuppe (Tab.3). Dies muß auch so sein, sonst hätte im oberen Horizont des Standortes nicht eine so große

Tab. 4

Respirations- und Bodentemperaturunterschiede an den Meßplätzen Kuppe und Senke für die unterschiedlich warmen Sommer 1993 und 1994. Alle Angaben sind auf den Vergleichszeitraum vom 04. Juli bis 14. August (41 Tage) bezogen.

Jahr	Kuppe Kolluvium			Senke Anmoorgley		
	1993	1994	Faktor	1993	1994	Faktor
mittlere Bodentemperatur in 5 cm Tiefe (°C)	15.4	19.4	1.3 (+4.0°C)	15.2	17.5	1.2 (+2.3°C)
mittlere Bodenfeuchte im Ah (% MWK)	69	48	0.7	92	67	0.7
Σ Respiration g C m ²	245.2	276.4	1.1	160.8	310.8	1.9
Respiration in % des Jahresumsatzes	21	24		24	46	

Tab. 4

Differences in soil respiration and soil temperature at the sites »hilltop« and »hollow« for summer 1993 and summer 1994. All data refer to the period from July 04 until August 14.

Menge Kohlenstoff akkumuliert werden können (Tab.2).

Zur Verdeutlichung der Wechselwirkungen zwischen Klima und Kohlenstoffumsatz wurde der Vergleichszeitraum in Abb. 1 in größerer zeitlicher Auflösung dargestellt, und die Respirationwerte mit Bodentemperatur sowie Bodenfeuchte in Beziehung gesetzt. Ferner wurde in die Bodenfeuchtediagramme jener Bereich der maximalen Wasserkapazität eingetragen (60–70%), der in Inkubationsvorschriften (stellvertretend ISERMEYER 1952) als Optimum für den Kohlenstoffumsatz angegeben wird.

Durch diese Kombination wird erkennbar:

1. Respiration

Auf der Kuppe ist 1994 die Respiration gegenüber 1993 schwach erhöht, in der Senke bewegt sich die Respiration 1994 auf weit höherem Niveau als 1993. Sie übersteigt sogar die Werte der Kuppe, obwohl, wie aus Tabelle 3 ersichtlich, prinzipiell auf der Kuppe mehr Kohlenstoffmineralisation stattfindet.

2. Temperatur

Die Bodentemperatur ist 1994 auf der Kuppe gegenüber 1993 weitaus höher als 1993. In der Senke

schwankte die Bodentemperatur 1993 stärker als 1994, lag jedoch nur 2.3°C unter dem Niveau von 1994.

3. Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte bewegte sich 1993 auf der Kuppe in der Umgebung jenes Bereiches von 60–70% der maximalen Wasserkapazität, der allgemein als optimal für den Kohlenstoffumsatz angegeben wird (siehe etwa ISERMEYER 1952). 1994 lag der Wassergehalt ständig unter diesem Bereich. Dies dürfte der Grund dafür sein, warum die Respiration trotz der viel höheren Bodentemperaturen nicht auffällig über das Niveau des Jahres 1993 steigen konnte (Tab.4).

In der Senke verschob der trockene und warme Sommer 1994 die Bodenfeuchte aus dem Bereich der Wassersättigung (1993) genau in den oben erwähnten Optimalbereich von 60–70% MWK. Dies führte dann trotz der vom Betrag her weniger stark erhöhten Bodentemperatur zu extrem erhöhtem Kohlenstoffumsatz (Tab.4). Zusammenfassend lässt sich sagen: Entscheidend für das unterschiedliche Respirationsverhalten ist die Bodenfeuchte, da die direkte Beziehung zwischen Temperatur und Respiration nur bei optimaler Bodenfeuchte gilt. Die Daten zeigen auch, daß die potentielle Mineralisation (aufgrund

des größeren C-Vorrates) in der Senke wesentlich größer ist (Tab. 4).

Literatur

- ANDERSON, J.P.E. 1982: Soil respiration. In: PAGE, A.L., MILLER, R.H. und D.R. KEENEY (eds). *Methods of soil analysis: 2. Chemical and microbiological properties*. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, 831–871.
- BEYER, L., 1991: Intersite characterization and variability of soil respiration in different arable and forest soils. – *Biol. Fertil. Soils* 12:122–126.
- ISERMAYER, H., 1952: Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. – *Z. Pflanzenernähr.Bodenk.* 56:26–38.
- KLEBER, M., STAHR, K. & I. HENNING-MÜLLER, 1994: Der Einfluß der Expositionszeit auf die Höhe der Bodenatmung bei Anwendung der Lunde-gardhmethode. – *Z. Pflanzenernähr.Bodenk.* 157: 441–445.
- LUNDEGARDH, H., 1924: *Der Kreislauf der Kohlen-säure in der Natur*. Fischer, Jena.
- MONTEITH, J.L., G. SCEICZ & K. YABUKI, 1964. Crop photosynthesis and the flux of carbon dioxide below the canopy. – *J. Appl. Ecol.* 1:321–337.
- SCHLICHTING, E. & H. P. BLUME, 1966: *Boden-kundliches Praktikum*. – Paul Parey, Hamburg, Berlin: 209 S.
- STAHR, K., 1992: *Landschaftsbezogene Nährstoff- und Wasserhaushaltsuntersuchungen bei unterschiedlicher Nutzung und Düngung von Grün-land (Beispiel Allgäu)*. – Zwischenbericht zum Sonderforschungsbereich 183 »Umweltgerechte Nutzung von Agrarlandschaften«, TP A 2, Universität Hohenheim.
- STAHR, K., KLEBER, M. & F. RÜCK, 1994: Stickstoff- und Kohlenstoffhaushalt von Grünlandökosyste-men im württembergischen Allgäu. – *Hohenhei-mer Bodenkundliche Hefte 20-I*. Institut für Boden-kunde und Standortslehre, Universität Ho-henheim: 1–11.
- TESAROVA, M., & J. GLOSER, 1976: Total CO₂ out-put from alluvial soils with two types of grassland communities. – *Pedobiologia* 16: 364–372.

Adressen

Dipl. Agr.-Biol. Markus Kleber, Prof. Dr. Karl Stahr,
Institut für Bodenkunde und Standortslehre (310),
Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [24_1995](#)

Autor(en)/Author(s): Stahr Karl, Kleber Markus

Artikel/Article: [Jahresgang und Klimaabhängigkeit des CO₂-Efflux aus Böden des Westallgäuer Hügellandes 303-308](#)