

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG, Kommission II

Titel der Tagung:

Böden verstehen - Böden nutzen - Böden fit machen

Veranstalter:

DBG, September 2011, Berlin

Berichte der DBG

(nicht begutachtete online Publikation)

<http://www.dbges.de>

Anpassung der Barometrischen Prozess-Separation (BaPS) für die Anwendung in kalkhaltigen Böden

Hannah Conrads¹, Riyad Bisharat¹,
Joachim Ingwersen¹, Thilo Streck¹

Zusammenfassung

Es wird ein neues Konzept zur Anpassung der Barometrischen Prozess-Separation (BaPS) an alkalische Bodenbedingungen vorgestellt und es werden erste vorläufige Ergebnisse präsentiert. Das methodische Problem der BaPS in kalkhaltigen Böden besteht im zunehmenden Einfluss der CO₂-Lösung in der Bodenlösung (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht) auf die Gas-

¹ Institut für Bodenkunde und Standortlehre, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 27, 70593 Stuttgart

E-Mail:

Hannah_Conrads@uni-hohenheim.de

bilanzrechnungen. Dies wirkt sich auf die Bestimmung der C- und N- Umsatzraten aus. Anstelle den $\Delta\text{CO}_{2\text{aq}}$ -Term mit dem Massenwirkungsgesetz für CO₂ anzunähern, soll er nun mit der Fumigations-CO₂-Injektions Methode experimentell bestimmt und charakterisiert werden.

Schlüsselworte

Barometrische Prozess-Separation (BaPS), kalkhaltige Böden, CO₂-Dissoziation in der Bodenlösung

Einleitung

Die BaPS nach Ingwersen et al. (1999) ist eine isotonenfreie Methode zur Messung der zentralen N- und C-Umsetzungsprozesse in Böden. Respirations-, Nitrifikations- und Denitrifikationsraten können aus Druck- und Partialdruckänderungen während eines Inkubationszeitraumes mit Hilfe einer Gasbilanzierung bestimmt werden.

Der mit zunehmendem Boden-pH verstärkte ins Gewicht fallende Term der CO₂-Lösung ($\Delta\text{CO}_{2\text{aq}}$) wird bis dato vom UMS*-BaPS-System mit Hilfe des Massenwirkungsgesetzes (MWG) angenähert:

$$\text{CO}_{2\text{aq}} = K_{\text{H}} * P_{\text{CO}_2} \left(1 + \frac{K_{\text{H}_2\text{CO}_3}}{[\text{H}^+]} + \frac{K_{\text{H}_2\text{CO}_3} * K_{\text{HCO}_3^-}}{[\text{H}^+]^2} \right)$$

In kalkhaltigen Böden ist CO_{2aq} extrem sensibel gegenüber dem pH-Wert, was zu großen Fehlern in der Berechnung der Umsatzraten führen kann (Ingwersen et al., 2008). In dieser Arbeit verfolgen wir einen neuen Ansatz. Der $\Delta\text{CO}_{2\text{aq}}$ -Term wird in einem zweiten, unabhängigen Experiment bestimmt.

* BaPS-System der UMS GmbH München

Konzept und Methode

Die BaPS-kombinierte Fumigations-CO₂-Injektions-Methode besteht aus zwei Teilmessungen. Die erste Teilprobe wird, wie in Ingwersen et al. (1999) beschrieben, in der BaPS-Kammer inkubiert und Druck, CO₂- und O₂-Konzentrationen sowie Temperatur werden über die Inkubationszeit hinweg durchgehend gemessen.

Um den störenden Einfluss der bodenbürtigen CO₂-Produktion auszuschalten, wird die zweite Teilprobe im ersten Schritt mittels der Chloroform-Fumigation sterilisiert und anschließend in der BaPS-Kammer inkubiert. Es werden mehrmals definierte Mengen CO₂ (z.B. 10ml CO₂-Reingas) in das System injiziert.

Als Folge der veränderten Bedingungen stellt sich ein neuer Gleichgewichtszustand zwischen der CO₂-Konzentration der BaPS-Atmosphäre und der im Bodenwasser gelösten CO₂-Konzentration (CO_{2aq}) ein.

Aus den CO₂/CO_{2aq}-Datenpaaren wird mittels Regression die empirische Beziehung zwischen den CO₂-Konzentrationen in der Kammer-atmosphäre und Bodenlösung abgeleitet.

Der $\Delta\text{CO}_{2\text{aq}}$ -Term aus der Gasbilanz der ersten Teilmessung kann nun mit Hilfe des in der zweiten Teilmessung ermittelten Verhältnisses zwischen CO₂ und CO_{2aq} korrigiert werden so dass die Umsatzraten korrekt bestimmt werden können.

Die neue Methode wird insgesamt an fünf Böden mit einem pH-Wert-Gradienten von 5,1 bis 7,9 getestet. Die pH-Werte wurden hier in 0,01M CaCl₂-Lösung bestimmt.

Parallel zur BaPS-Messung wird als unabhängige Referenzmessung die ¹⁵N-Verdünnungsmethode durchgeführt.

Vorläufige Ergebnisse

Es konnte gezeigt werden, dass die Chloroform-Fumigations-Methode die CO₂-Produktion der mikrobiellen Biomasse des Bodens für mehrere Stunden unterbindet bzw. signifikant reduziert (Daten nicht dargestellt).

In diesem Zeitraum kann der physikochemische Prozess der CO₂-Lösung untersucht werden.

In ersten Probeläufen der Fumigation-CO₂-Injektions-Methode konnte ein unterschiedliches Verhalten der CO₂-Konzentrationen nach den CO₂-Injektionen zwischen den Böden mit unterschiedlichen pH-Werten festgestellt werden. Im Folgenden beziehen wir uns exemplarisch auf einen kalkhaltigen, neutralen Boden mit pH(CaCl₂) 6,9 (Abb.1A) und einen sauren Boden mit pH(CaCl₂) 5,1 (Abb.1B).

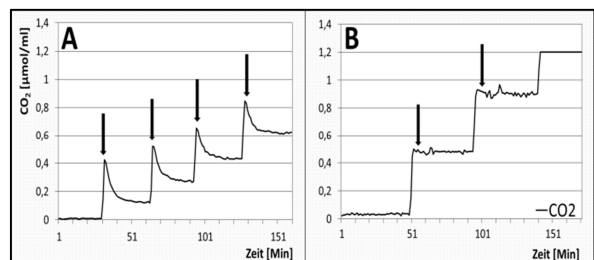


Abb. 1: CO₂-Konzentration der BaPS-Atmosphäre während der Fumigation-CO₂-Injektions-Methode. (A) Kalkhaltiger Boden mit pH(CaCl₂) 6,9 und (B) Saurer Boden mit pH(CaCl₂) 5,1. Die schwarzen Pfeile symbolisieren die Injektion von 10 ml CO₂-Reingas ins BaPS-System.

Im kalkhaltigen Boden (pH>6,5) sinkt die CO₂-Konzentration von einem Maximum direkt nach der Injektion auf ein konstantes Niveau ab. Dieses Niveau entspricht dem neuen Gleichgewichtszustand im System. Ein vergleichbarer Konzentrationsabfall ist im sauren Boden nicht oder kaum zu beobachten.

Aus der injizierten CO₂-Menge (gemessen oder berechnet) und der neuen Gleichgewichtskonzentration lässt sich die Menge an gelöstem CO₂ berechnen. Diese kann bis zu 75% der injizierten CO₂-Menge entsprechen. Abb.2 zeigt die Beziehung zwischen den CO₂-Konzentrationen in der Kammeratmosphäre und in der Bodenlösung.

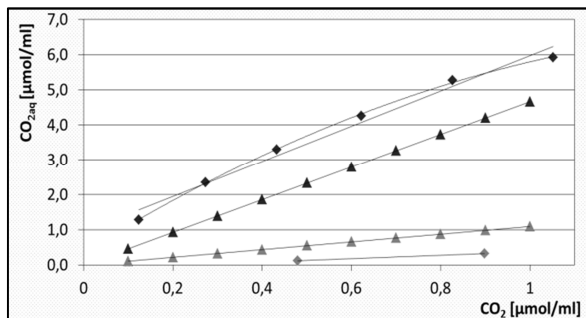


Abb. 2: Verhältnis von CO₂ (in [μmol/ml Luft]) und CO_{2aq} (in [μmol/ml Bodenlösung]) bei zunehmender CO₂-Menge im BaPS-System. In schwarz: Kalkhaltiger Boden (pH(CaCl₂) 6,9) und in grau: Saurer Boden (pH(CaCl₂) 5,1). Die Rauten (◊) symbolisieren die gemessenen Verhältnisse; die Dreiecke (Δ) symbolisieren das nach dem Massenwirkungsgesetz berechnete Verhältnis basierend auf dem Boden-pH.

Die Gleichgewichtsbeziehung kann durch lineare oder quadratische Regressionsgleichungen beschrieben werden (Tab.1).

| Reihe | Regressions-typ | Regressionsgleichung | R ² |
|------------------------------------|-----------------|--|----------------|
| kalkhaltiger Boden (gemessen) ◊ | Polynom | $CO_{2aq} = -2,45 * CO_2^2 + 7,88 * CO_2 + 0,36$ | 0,9993 |
| alkalischer Boden (gemessen) ◊ | Linear | $CO_{2aq} = 5,01 * CO_2 + 0,95$ | 0,9823 |
| kalkhaltiger Boden (MWG- pH 6,9) ▲ | | $CO_{2aq} = 4,67 * CO_2 + 2E^{-15}$ | |
| saurer Boden (gemessen) ◊ | Linear | $CO_{2aq} = 0,48 * CO_2 - 0,10$ | |
| saurer Boden (MWG- pH 5,1) ▲ | | $CO_{2aq} = 1,10 * CO_2 - 4E^{-16}$ | |

Tab. 1: Gleichgewichtsbeziehungen zwischen CO₂ und CO_{2aq} im kalkhaltigen Boden (schwarz) und im sauren Boden (grau). Annäherung des gemessenen Verhältnisses (◊) durch Regressionsgleichungen und Darstellung des über das Massenwirkungsgesetz berechneten Verhältnisses (▲).

Diskussion

Mit diesen vorläufigen Ergebnissen konnten wir zeigen, dass sich erhöhte CO₂-Konzentrationen im BaPS-System bei kalkhaltigem Boden anders verhalten als bei saurem Boden. Der beobachtete Konzentrationsabfall beim kalkhaltigen Boden lässt sich durch die erhöhte CO₂-Löslichkeit in der Bodenlösung erklären.

Es zeichnet sich ab, dass sich das Verhältnis zwischen CO₂ und CO_{2aq} nicht exakt durch das MWG für den entsprechenden pH-Wert beschreiben lässt (Abb.2). Im kalkhaltigen Boden wird die Lösung von CO₂ offenbar unterschätzt, was zu einer Überschätzung der Nitrifikationsrate führen würde.

Im sauren Boden überschätzt das MWG die CO₂-Lösung leicht; in diesem niedrigen Konzentrationsbereich ist die Auswirkung auf die Gasbilanz jedoch weniger dramatisch.

Das experimentell bestimmte Verhältnis zwischen CO₂ und CO_{2aq} scheint sich außerdem besser durch eine Quadratfunktion beschreiben zu lassen als durch eine lineare Funktion. Die Löslichkeit von CO₂ nimmt mit zunehmender CO₂-Sättigung ab.

Ausblick

Die Fumigations-CO₂-Injektionsmethode ist ein vielversprechender Ansatz, um den ΔCO_{2aq}-Term experimentell zu bestimmen. Im nächsten Schritt muss diese Information in die Gasbilanzierung der BaPS eingebunden werden und die resultierenden Raten müssen mit der ¹⁵N-Verdünnungsmethode verglichen werden. Die Konsistenz muss in weiteren Versuchswiederholungen nachgewiesen werden.

Dabei soll außerdem festgestellt werden, ob sich die CO₂-Löslichkeit in einem Boden durch eine Regressionsgleichung beschreiben lässt und ob sie sich durch bestimmte Bodeneigenschaften wie z.B. Karbonatgehalt kategorisieren lässt.

Des Weiteren soll der Einfluss von Temperatur und Wassergehalt auf den $\Delta\text{CO}_{2\text{aq}}$ -Term eines Bodens untersucht werden.

Wenn sich unsere neue Methode als funktionsfähig erweist, stellt sie ein robustes und genaues Messverfahren dar, das ohne die fehleranfällige Boden-pH-Wert-Bestimmung auskommt und somit die Verwendung des BaPS-Systems in kalkhaltigen Böden ermöglicht.

Literatur

Ingwersen, J., Butterbach-Bahl, K., Gasche, R., Richter, O., Papen, H. (1999) *Barometric Process Separation: New Method for Quantifying Nitrification, Denitrification, and Nitrous Oxide Sources in Soils*. SSSAJ 63: 117-128

Ingwersen, J., Schwarz, U., Stange, C.F., Ju, X.T., Streck, T., 2008. *Shortcomings in the Commercialized Barometric Process Separation Measuring System*. SSSAJ 72:135-142