

Tagungsbeitrag zu: Vorträge der Kommission I  
Titel der Tagung: Böden verstehen; Böden nutzen; Böden fit machen  
Jahrestagung der DBG 03-09 Sept. 2011 in Berlin  
Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **Einfluss CCS-bedingter Zuflüsse auf die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Böden - Anforderungen aus Sicht des Bodenschutzes**

C. F. Stange<sup>1</sup>, W.H.M. Duijnsveld<sup>1</sup> und J. Böttcher<sup>2</sup>

### **Zusammenfassung**

Im Rahmen des vom Umweltbundesamt finanzierten Projektes (Ufo-Förderkennzeichen: 3709 72 402) wurden potentielle Auswirkungen von CCS bedingten CO<sub>2</sub>-Zuflüssen auf das Ökosystem Boden beleuchtet. Dazu wurden bisher publizierte Ergebnisse hinsichtlich potentieller Wege des CCS-CO<sub>2</sub> in den Boden, Einflussfaktoren der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Boden sowie Auswirkungen hoher CO<sub>2</sub>-Gehalte auf Bodenlebewesen und Bodenfunktionen zusammengestellt und ausgewertet. Aufgrund der Heterogenität der Böden, der zeitlichen Variabilität der Bodenzustände, sowie der nicht vorhersagbaren Randbedingungen wird vorgeschlagen, mittels deterministischer Prozessmodelle maximal zulässige Flussdichten aus dem Untergrund (im Sinne von „Critical Loads“) abzuschätzen.

### **Schlüsselwörter:**

Gashaushalt, Bodenfunktionen, Critical Loads, CO<sub>2</sub>, CCS

<sup>1</sup> BGR-Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Fachbereich B2.4 Boden als Ressource - Stoffeigenschaften und -dynamik, Hannover  
florian.stange@bgr.de

<sup>2</sup> Leibniz Universität Hannover, Institut für Bodenkunde

### **Einleitung**

Zur Minderung des klimawirksamen Anstiegs der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre gibt es weltweit Bestrebungen, CO<sub>2</sub> in geologischen Formationen zu speichern (CCS: Carbon Capture and Storage). Besonders nach dem geplanten Ausstieg aus der Atomkraft in Deutschland sind neue Wege der Verminderung und/oder Nutzung des bei der Energiegewinnung und industrieller Produktion entstehenden CO<sub>2</sub> notwendig. Da eine Auswirkung von CO<sub>2</sub> auf das Umweltkompartiment Boden durch eine Freisetzung von CCS-bürtigem CO<sub>2</sub> nicht generell ausgeschlossen werden kann, ist eine fachlich fundierte und geeignete Methodik zur Gefährdungsabschätzung für das Schutzgut Boden erforderlich. Die Arbeit soll dazu beitragen, die potentiellen Risiken bei Störungen des ordnungsgemäßen Betriebes von CCS auf den Boden beurteilen zu können.

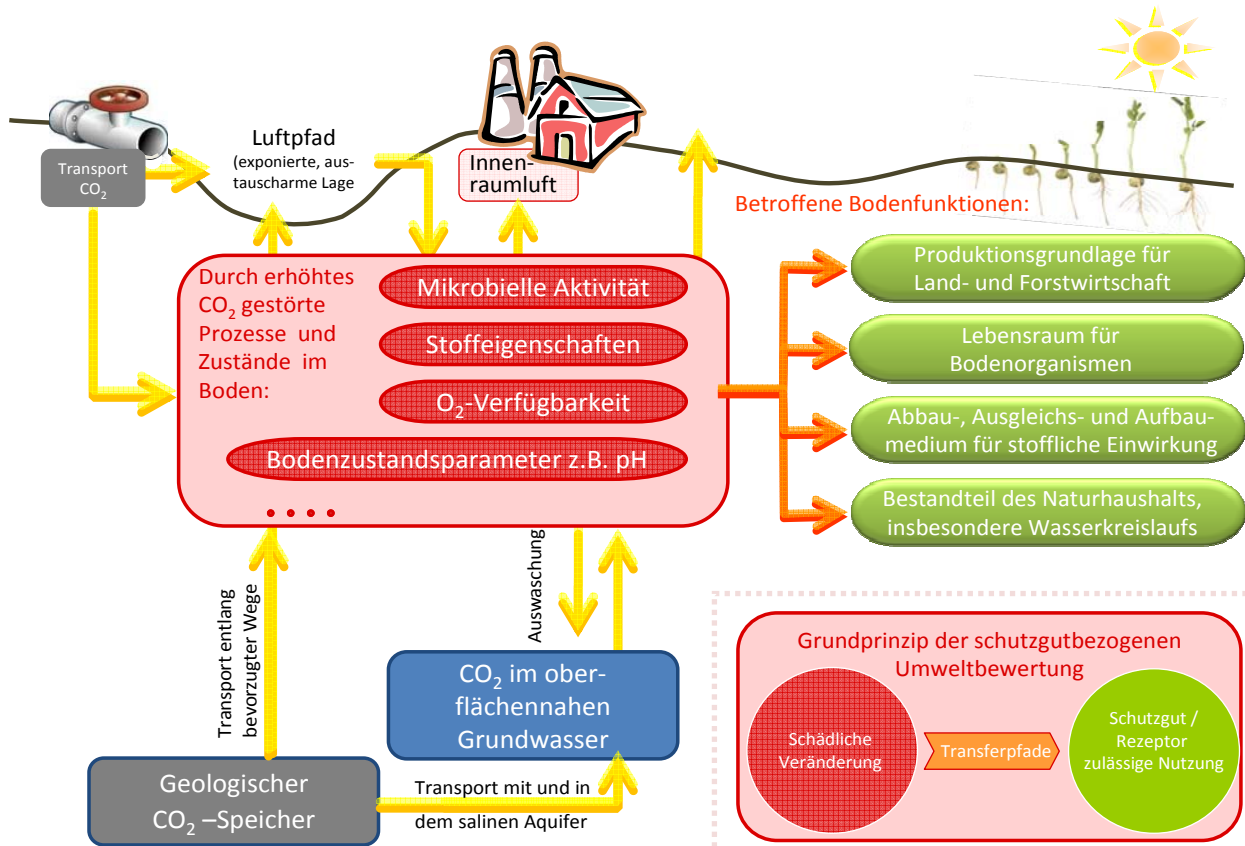
### **Potentielle Wege des CO<sub>2</sub> in den Boden**

Bisher ist noch relativ wenig bekannt über mögliche Folgen einer CO<sub>2</sub>-Freisetzung in das Umweltkompartiment Boden bedingt durch Transport, Injektion und Speicherung von CO<sub>2</sub>. Dabei erscheinen die Gefahren, die von dem Transport durch Pipelines ausgehen, relativ gering zu sein. In diesem Bereich ist großes ingenieurtechnisches Wissen vorhanden, und es kann auf die Erfahrungen aus dem Kohlenwasserstofftransport zurückgegriffen werden.

Die möglichen Risiken durch Leckagen bei der Speicherung für den Boden hängen stark von der Speicherformation ab. So wird vielfach davon ausgegangen, dass bei KW-Lagerstätten Bohrlochleckage die wahrscheinlichste Leckagemöglichkeit ist und es somit zu einer punktförmigen Quelle mit hoher Flussdichte kommen könnte. Dagegen

gehen die Szenarien einer Leckage aus der CO<sub>2</sub>-Speicherung in salinaren Aquiferen von einer Verteilung des CO<sub>2</sub>-Flusses über eine größere Fläche aus. Generelle Aussagen sind hier nicht möglich, da die Bewertung immer an den örtlichen Gegebenheiten erfolgen muss.

und Transport abhängig und diese wiederum von zahlreichen Faktoren und Prozessen (s. Abb. 2). Diese natürliche Variation in der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Boden erschwert die Festlegung eines allgemeingültigen Schwellenwertes. Auch die Trennung zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Flüsse



**Abbildung 1:** Darstellung der potentiellen Wirkungspfade bei der Umweltbewertung der CCS-Technologie (grau) im Hinblick auf das Schutzgut Boden (rot) und seine zu erhaltenden Bodenfunktionen (grün).

### Einflussfaktoren der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Böden

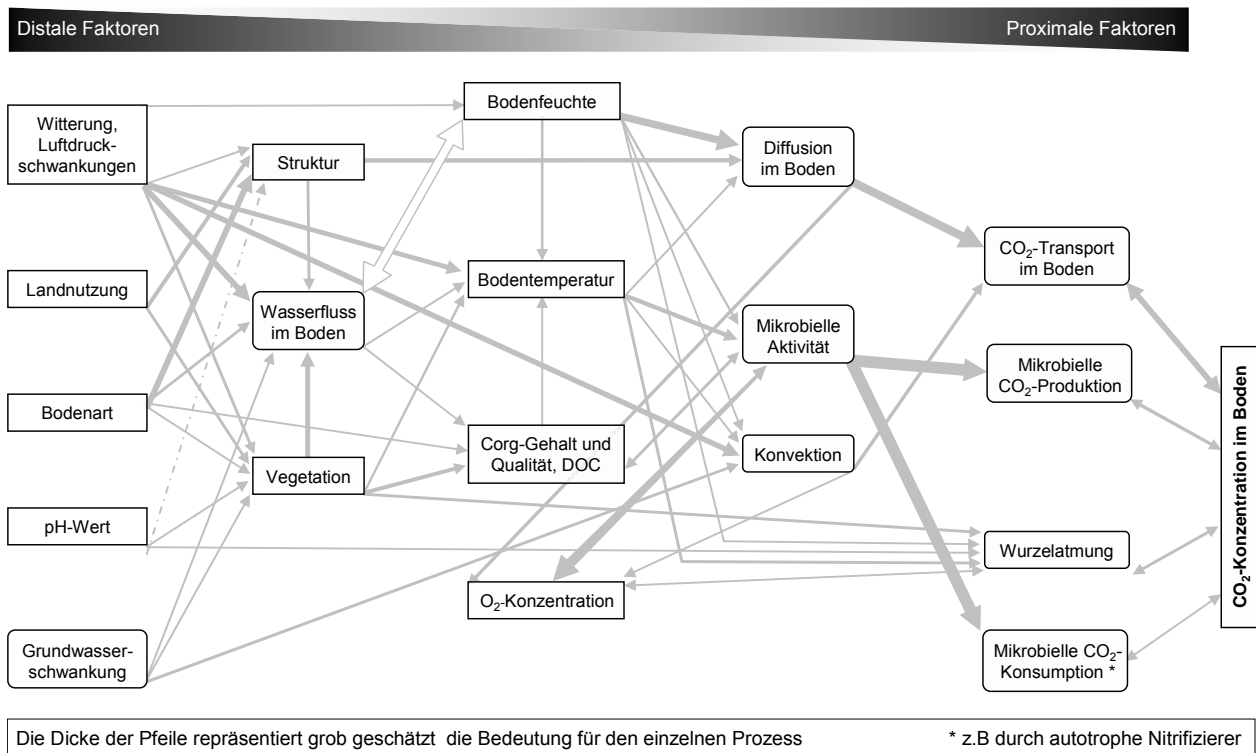
Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Böden sind gegenüber der Luftkonzentration (2006: 380 ppm) deutlich erhöht und schwanken zwischen 500 ppm und 50000 ppm (5 vol%) (Santrůčková & Šimek, 1997), bzw. von 1800 ppm bis 43000 ppm (Brook et al., 1983), aber auch Werte bis 13 vol% sind beobachtet worden (Amundson & Davidson 1990). Die Konzentration ist von den Prozessen Produktion, Konsumtion

von den zeitlich und örtlich hoch variablen natürlichen CO<sub>2</sub>-Flüssen, bleibt eine Herausforderung für die Untersuchung und Quantifizierung der CO<sub>2</sub>-Flüsse aus der Speicherung. Besonders die Lokalisierung des Austrittes mit einfachen und kostengünstigen Techniken ist ein Problem, an dem auch noch zukünftig gearbeitet werden muss.

Unter der Berücksichtigung dieser hohen Variabilitäten im Boden, bieten Computersimulationen ein sinnvolles Werkzeug, um Gefährdungen abzuschätzen und einzugrenzen. Wurden die Modelle bisher hauptsächlich genutzt, um Flüsse, im Speziellen die Emissionen an der Bodenoberfläche, zu simulieren, so steht bei dieser Aufgabenstellung die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Boden im Fokus der Betrachtung.

Erste eigene Simulationen mit HYDRUS-1D (Simunek et al. 2008), sowie publizierte Validierungsstudien und Sensitivitätsanalysen zeigen das Potential, den Einfluss von zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Flüssen auf die Konzentrationsverteilung im Boden zu berechnen. Umfangreiche Sensitivitätsanalysen unter realitätsnahen Randbedingungen sollen in der zweiten Projektphase durchgeführt werden, um maximal zulässige Flussdichten aus dem Untergrund (im Sinne von „Critical Loads“) unter Berücksichtigung der Heterogenität von Böden abzuschätzen

hauptsächlich daran, dass bisherige Untersuchungen sich auf den Vergleich CO<sub>2</sub>-beeinflusst gegenüber der unbeeinflussten Kontrolle beschränken und systematische Untersuchungen mit abgestuften CO<sub>2</sub>-Konzentrationen rar sind. In Abb. 3 sind die Auswirkungen verschiedener CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Ökosystem Boden zusammengetragen. Die Ergebnisse der Untersuchungen natürlicher Analoga zeigen Änderungen im Stoffhaushalt der Böden, ein Absinken des pH-Wertes, dadurch erhöhte Mobilität

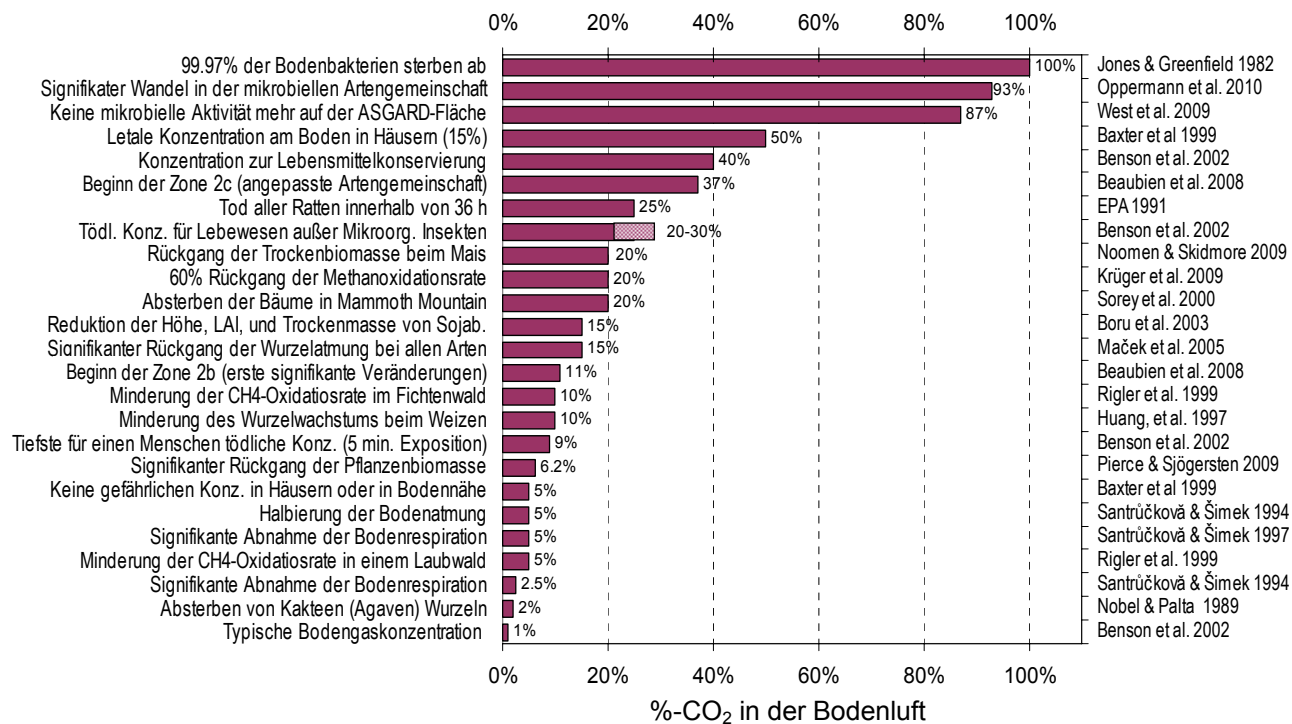


**Abbildung 2:** Einflussfaktoren und –prozesse für die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Boden. Die Pfeile verdeutlichen die Interaktionen zwischen den einzelnen Parametern und der damit verbundenen Komplexität bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen

### Auswirkungen hoher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Bodenfunktionen

Bisher ist es nicht möglich verlässlich abzuschätzen, wie sich das Ökosystem Boden bei zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Flüssen und dadurch erhöhten Konzentrationen im Boden verändern würde. Das liegt

von Schwermetallen und eine Minderung des Pflanzenwachstums. Besonders deutlich wurde dies in den Mammoth Mountains in Kalifornien, wo bei CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 20-30% die Bäume abstarben (Sorey et al. 2007). Die zwei vor Kurzem etablierten Großversuche, einer in England (ASGARD: Artificial Soil Gassing and Response Detection, West et al. 2009) und einer in der U.S.A. (ZERT: Zero Emissions Research and Technology, Spangler et al. 2009) geben Anlass zur Hoffnung, dass mit deren Ergebnisse eine bessere Einschätzung potentieller Risiken von hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen möglich ist.



**Abbildung 3:** Auswirkungen verschiedener CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf Lebewesen und Prozesse im Boden

## Literatur

- Amundson R.G., and E.A. Davidson (1990). Carbon dioxide and nitrogenous gases in the soil atmosphere. *Journal of Geochemical Exploration* 38 (1-2): 13-41.
- Baxter P. J., J.-C. Baubron, and R. Coutinho (1999). Health hazards and disaster potential of ground gas emissions at Furnas volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 92 (1-2): 95-106.
- Beaubien S. E., G. Ciotoli, P. Coombs, M.C. Dictor, M. Krüger, S. Lombardi, J.M. Pearce, and J.M. West (2008). The impact of a naturally occurring CO<sub>2</sub> gas vent on the shallow ecosystem and soil chemistry of a Mediterranean pasture (Latera, Italy). *International Journal of Greenhouse Gas Control* 2: 373-387.
- Benson S.M., R. Hepple, J. Apps, C.F. Tsang, and M. Lippmann (2002). Lessons learned from natural and industrial analogues for storage of carbon dioxide in deep geological formations. Lawrence Berkeley National Labs. <http://www.co2captureproject.org/reports/reports.htm>.
- Boru G., T. Vantoi, J. Alves, D.Hua, and M. Knee (2003). Responses of Soybean to Oxygen Deficiency and Elevated Root-zone Carbon Dioxide Concentration. *Annals of Botany* 91 (4): 447-453.
- Brook G.A., M.E. Folkoff, and E.O. Box (1983). A global model of soil carbon dioxide. *Earth Surface Processes and Landforms* 8: 79-88.
- EPA Environmental Protection Agency (EPA) (1991). Reregistration Eligibility Document (RED), Carbon and Carbon Dioxide.
- Huang B., J.W. Johnson and D.S. NeSmith (1997). Responses to Root-Zone CO<sub>2</sub> Enrichment and Hypoxia of Wheat Genotypes Differing in Waterlogging Tolerance. *Crop Sci.* 37 (2): 464-468.
- Krüger M., J. West, J. Frerichs, B. Oppermann, M.-C. Dictor, C. Jouliaud, D. Jones, P. Coombs, K. Green, J. Pearce, F. May, and I. Möller (2009). Ecosystem effects of elevated CO<sub>2</sub> concentrations on microbial populations at a terrestrial CO<sub>2</sub>-vent at Laacher See, Germany. *Energy Procedia* 1: 1933-1939.
- Macek I., H. Pfanz, V. Francetic, F. Batic, and D. Vodnik. (2005): Root respiration response to high CO<sub>2</sub> concentrations in plants from natural CO<sub>2</sub> springs. *Environ. and Experim. Botany* 54 (1): 90-99.
- Nobel P.S., and J.A. Palta (1989). Soil O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> effects on root respiration of cacti. *Plant and Soil* 120: 263-271.
- Noomen M.F. and A.K. Skidmore (2009). The effects of high soil CO<sub>2</sub> concentrations on leaf reflectance of maize plants. *International Journal of Remote Sensing* 30 (2): 481-497.
- Oppermann B.I., W. Michaelis, M. Blumenberg, J. Frerichs, H.M. Schulz, A. Schippers, S.E. Beaubien and M. Krüger (2010). Soil microbial community changes as a result of long-term exposure to a natural CO<sub>2</sub> vent. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74 (9): 2697-2716.
- Pierce S., and S. Sjögersten (2009). Effects of below ground CO<sub>2</sub> emissions on plant and microbial communities. *Plant and Soil* 325 (1): 197-205.
- Rigler E., and S. Zechmeister-Boltenstern (1999). Oxidation of ethylene and methane in forest soils--effect of CO<sub>2</sub> and mineral nitrogen. *Geoderma* 90 (1-2): 147-159.
- Santrůčková H., and M. Šimek (1994). Soil microorganisms at different CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> tensions. *Folia Microbiologica* 39 (3): 225-230.
- Santrůčková H., and M. Šimek (1997). Effects of soil CO<sub>2</sub> concentration on microbial biomass. *Biol Fertil Soils* 25: 269-273.
- Simunek J., M.T. van Genuchten, and M. Sejna (2008). Development and Applications of the HYDRUS and STANMOD Software Packages and Related Codes. *VZJ* 7(2): 587-600.
- Sorey M.L., C.D. Farrar, W.C. Evans, D.P. Hill, R.A. Bailey, J.W. Hendley, and P.H. Stauffer (2007). Invisible CO<sub>2</sub> gas killing trees at Mammoth Mountain, California, U.S. Geological Survey Fact Sheet 172-96, 4pp. <http://wrgis.wr.usgs.gov/fs/fs172-96/>.
- Spangler L.H., L.M. Dobeck, K.S. Repasky, A.R. Nehrir, S.D. Humphries, J.L. Barr, C.J. Keith, J.A. Shaw, J.H. Rouse, A.B. Cunningham, S.M. Benson, C.M. Oldenburg, J.L. Lewicki, A.W. Wells, J.R. Diehl, B.R. Strazisar, J.E. Fessenden, T.A. Rahn, J.E. Amonette, J.L. Barr, W.L. Pickles, J.D. Jacobson, E.A. Silver, E.J. Male, H.W. Rauch, K.S. Gullickson, R. Trautz, Y. Kharaka, J. Birkholzer, and L. Wielopolski (2009). A controlled field pilot for testing near surface CO<sub>2</sub> detection techniques and transport models. *Energy Procedia* 1(1): 2143-2150.
- West J.M., J.M. Pearce, P. Coombs, J.R. Ford, C. Scheib, J.J. Colls, K.L. Smith, and M.D. Steven (2009). The impact of controlled injection of CO<sub>2</sub> on the soil ecosystem and chemistry of an English lowland pasture. *Energy Procedia* 1 (1): 1863-1870.