

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 CO₂-Konzentrationen in Böden - Anforderungen aus Sicht des Bodenschutzes

C. F. Stange¹, W.H.M. Duijnsveld¹ und J. Böttcher²

Zusammenfassung

Im Rahmen des vom Umweltbundesamt finanzierten Projektes (Ufo-Förderkennzeichen: 3709 72 402) wurden potentielle Auswirkungen von CCS bedingten CO₂-Zuflüssen auf das Ökosystem Boden beleuchtet. Dazu wurden bisher publizierte Ergebnisse hinsichtlich potentieller Wege des CCS-CO₂ in den Boden, Einflussfaktoren der CO₂-Konzentration im Boden sowie Auswirkungen hoher CO₂-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, CO₂, CCS

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

² Leibniz Universität Hannover, Institut für Bodenkunde

Einleitung

Zur Minderung des klimawirksamen Anstiegs der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre gibt es weltweit Bestrebungen, CO₂ 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 CO₂ notwendig. Da eine Auswirkung von CO₂ auf das Umweltkompartiment Boden durch eine Freisetzung von CCS-bürtigem CO₂ 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 CO₂ in den Boden

Bisher ist noch relativ wenig bekannt über mögliche Folgen einer CO₂-Freisetzung in das Umweltkompartiment Boden bedingt durch Transport, Injektion und Speicherung von CO₂. 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 CO₂-Speicherung in salinaren Aquiferen von einer Verteilung des CO₂-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 CO₂-Konzentration im Boden erschwert die Festlegung eines allgemeingültigen Schwellenwertes. Auch die Trennung zusätzlicher CO₂-Flüsse

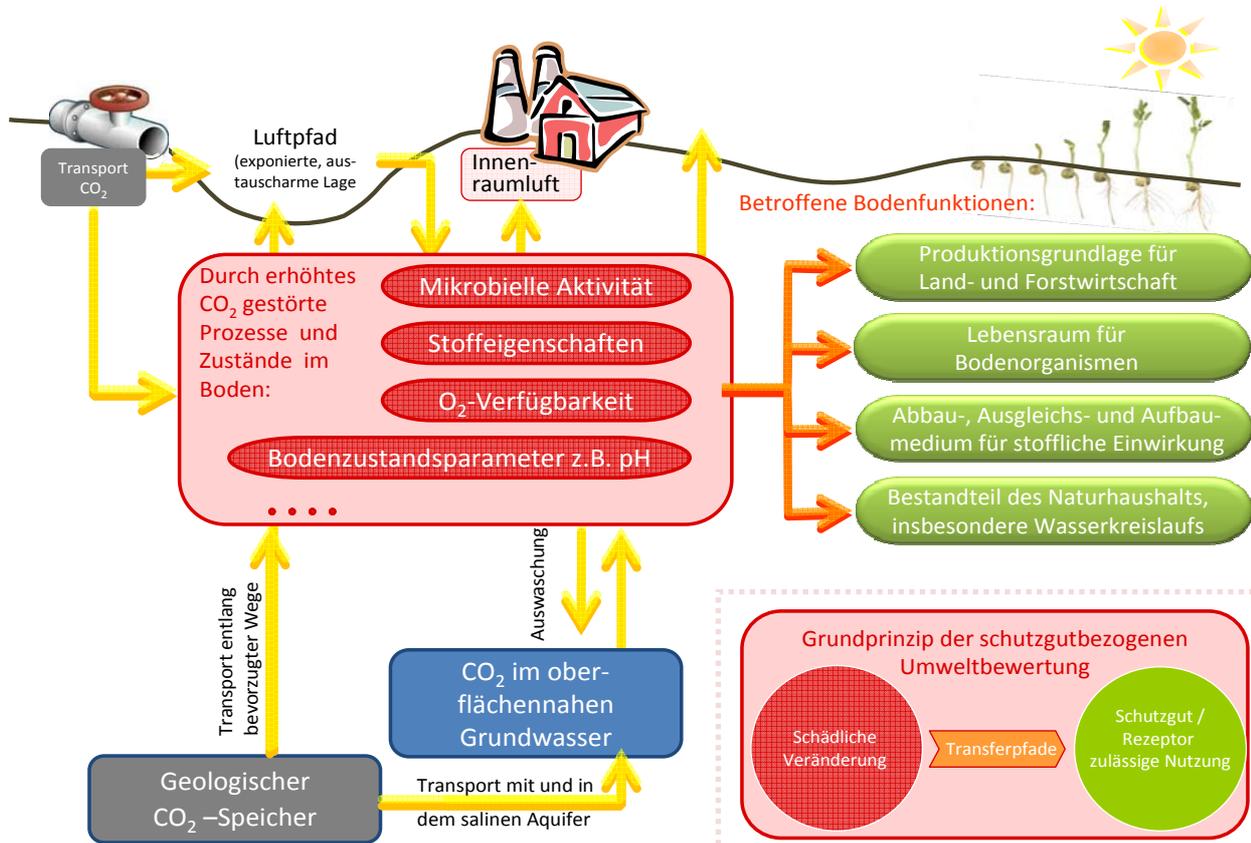


Abbildung 1: Darstellung der potentiellen Wirkungspfade bei der Umweltbewertung der CCS-Technologie (grau) im Hinblick auf das Schutzgut Boden (rot) und seine zu erhaltenden Bodenfunktionen (grün).

Einflussfaktoren der CO₂-Konzentrationen in Böden

Die CO₂-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 CO₂-Flüssen, bleibt eine Herausforderung für die Untersuchung und Quantifizierung der CO₂-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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂-beeinflusst gegenüber der unbeeinflussten Kontrolle beschränken und systematische Untersuchungen mit abgestuften CO₂-Konzentrationen rar sind. In Abb. 3 sind die Auswirkungen verschiedener CO₂-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

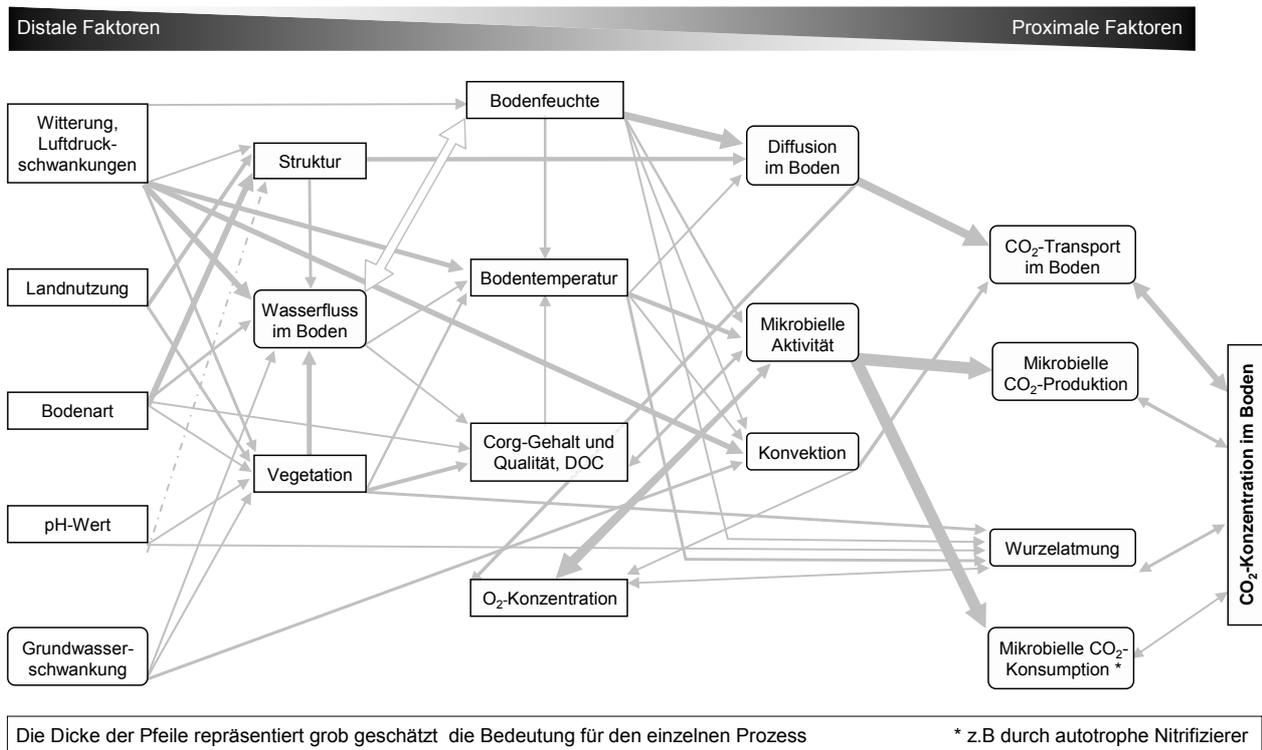


Abbildung 2: Einflussfaktoren und –prozesse für die CO₂-Konzentration im Boden. Die Pfeile verdeutlichen die Interaktionen zwischen den einzelnen Parametern und der damit verbundenen Komplexität bei der Berechnung der CO₂-Konzentrationen

Auswirkungen hoher CO₂-Konzentrationen auf die Bodenfunktionen

Bisher ist es nicht möglich verlässlich abzuschätzen, wie sich das Ökosystem Boden bei zusätzlichen CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Konzentrationen möglich ist.

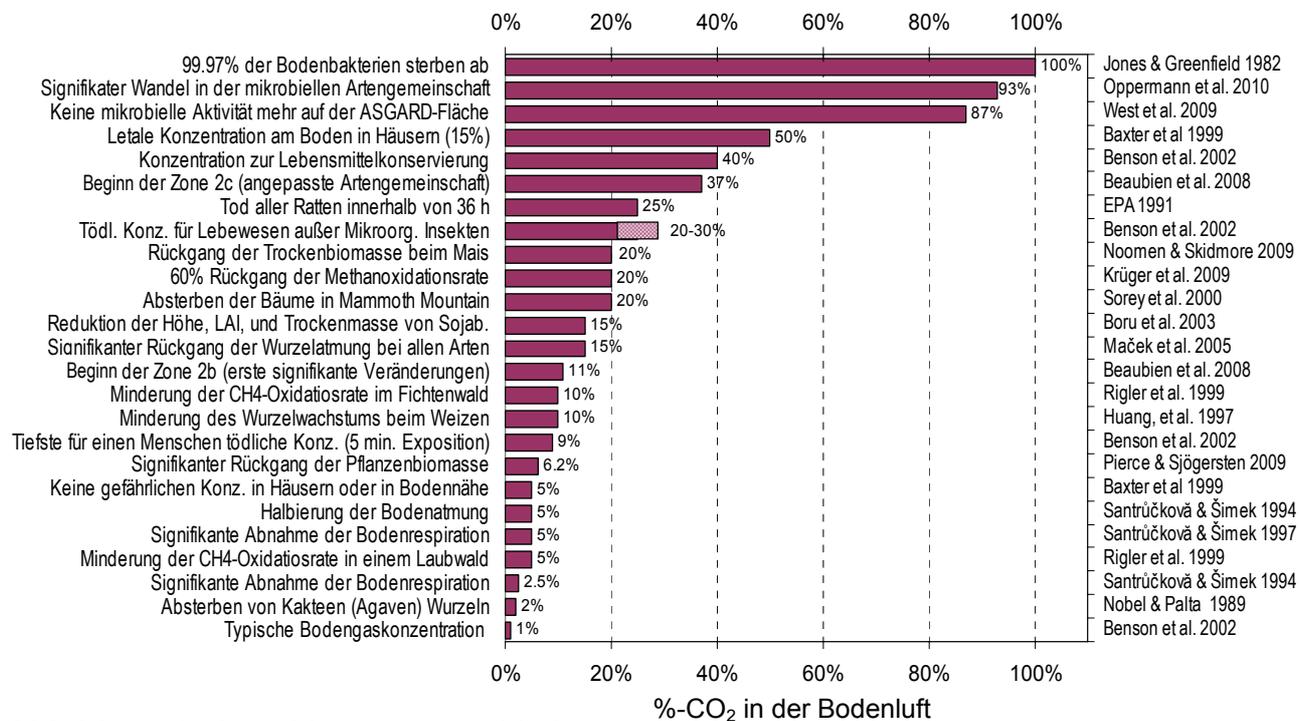


Abbildung 3: Auswirkungen verschiedener CO₂-Konzentrationen auf Lebewesen und Prozesse im Boden

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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ concentrations on microbial populations at a terrestrial CO₂-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 CO₂ concentrations in plants from natural CO₂ springs. *Environ. and Experim. Botany* 54 (1): 90-99.
- Nobel P.S., and J.A. Palta (1989). Soil O₂ and CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ vent. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74 (9): 2697-2716.
- Pierce S., and S. Sjögersten (2009). Effects of below ground CO₂ 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 CO₂ and mineral nitrogen. *Geoderma* 90 (1-2): 147-159.
- Santrůčková H., and M. Šimek (1994). Soil microorganisms at different CO₂ and O₂ tensions. *Folia Microbiologica* 39 (3): 225-230.
- Santrůčková H., and M. Šimek (1997). Effects of soil CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ on the soil ecosystem and chemistry of an English lowland pasture. *Energy Procedia* 1 (1): 1863-1870.