

## **Dynamik der Austauschprozesse von CO<sub>2</sub> und <sup>222</sup>Radon zwischen Waldboden, Waldbestand und Atmosphäre -**

### **Profilmessung der Kohlendioxidkonzentration im Waldbestand und Messung der Radon-Isotop-Konzentration in Bodennähe als Tracer am Standort Waldstein, WALDATEM 2006**

Johannes Lüers<sup>1</sup>, Johanna Smaczny<sup>1</sup>, Antoine Kies<sup>2</sup> und Jörg Bareiss<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universität Bayreuth, Abteilung Mikrometeorologie

<sup>2</sup>Université du Luxembourg, Laboratoire Physique des Radiations

<sup>3</sup>Universität Trier, Fach Umweltmeteorologie

#### **Zusammenfassung**

Das Einrichten einer Dauermessstation zur Messung von Vertikalprofilen der Kohlendioxid- und <sup>222</sup>Radon-Konzentration an der Station Waldstein Weidenbrunnen im oberfränkischen Fichtelgebirge (50°09' Nord und 11°52' Ost, 775 m ü. NN) gehörte zum Ziel der Messkampagne WALDATEM 2006, die von Juni 2006 bis März 2007 stattgefunden hat. Die CO<sub>2</sub>-Profilmessungen in einem 19 m hohen Fichtenbestand erfolgen am dortigen Turm in acht verschiedenen Messhöhen zwischen 3 cm und 33 m und dienen der Untersuchung von Assimilations- und Respirationprozessen sowie des Netto-Ökosystem-Austauschs (Net Ecosystem Exchange, NEE) von Kohlendioxid in einem Fichtenbestand. Zum Verständnis mikrometeorologischer Austauschprozesse (Entkopplung, Inversion und Counter Gradienten) werden neben Kohlendioxid auch <sup>222</sup>Radon-Isotope als Tracer im Boden und in Bodennähe erfasst. Es werden erste Ergebnisse der kontinuierlichen Messungen beider Spurengase hinsichtlich saisonaler Variation der Austauschbedingungen zwischen Sommer- und Winterhalbjahr in einem Fichtenbestand einer höheren Mittelgebirgslage präsentiert.

#### **Dynamics of exchange processes of CO<sub>2</sub> and <sup>222</sup>Radon between forest floor, forest canopy and atmosphere**

##### **Abstract**

The implementation of a long-term observation station to measure vertical profiles of the carbon dioxide and <sup>222</sup>Radon concentration at the international FLUXNET site Waldstein Weidenbrunnen (Germany, 50°09' N, 11°52' E, 775 m a.s.l.) was part of the measurement campaign WALDATEM-2006 during June 2006 and March 2007. The new developed CO<sub>2</sub>-profile-system attached to the 32 m tall main flux-tower is designed to measure at eight different heights above ground level (0.03 m up to 32 m) within and above a 19 m tall spruce forest simultaneously and to serve for the investigation of assimilation and respiration processes as well as the Net Ecosystem Exchange (NEE) of carbon dioxide in a tall canopy. For a better understanding of micrometeorological exchange processes (decoupling, inversion, counter gradients) ongoing extensive measurements of the <sup>222</sup>Rn isotope as a tracer in the soil air and the near surface atmosphere in the sub-canopy layer are realized. First results are presented of the ongoing measurements of both trace gases regarding seasonal variation of exchange conditions between summer and winter half year in a European spruce forest of a mid altitude mountain area.

## 1. Theoretischer Hintergrund

Der granitische Untergrund des Fichtelgebirges begünstigt wegen seiner geologischen Beschaffenheit und Bodenporosität das Vorkommen erhöhter Radonkonzentrationen ( $^{222}\text{Rn}$ ). Die Nutzung von Radon als Tracergas bei der Untersuchung bodennaher Grenzschichten oder der Bestimmung des NEE fand bereits in Arbeiten über tropischen Regenwäldern (Brasilien) Anwendung (MARTENS, 2004). Die Zerfallsreihe des Urans im Gestein und der Bodenschicht ist die einzige Radonquelle; der weitere radioaktive Zerfall (Halbwertszeit 3.825 Tage) die einzige Senke. Zusätzlich verhält sich Radon chemisch inert. Es bietet sich daher als ideales Tracergas bei der Untersuchung bodennaher mikrometeorologischer Austauschprozesse an. Die bodennahe Radonanreicherung unterliegt meteorologisch bedingten jahres- und tageszeitlichen Schwankungen. So behindert Bodenfrost oder eine Eis- und Schneedecke beispielsweise eine Emanation. Kurzzeitige Schwankungen können insbesondere während starker Niederschlagsereignisse auftreten. Dabei werden die Radon-Folgeprodukte (Polonium, Blei, Wismut) bei Regen ausgewaschen oder in Niederschlagstropfen inkorporiert. Zudem kann bei Starkregen die Bodenausgasung erheblich verhindert werden (KAMINSKI, 1999). Einen erheblichen Anteil an der Variation der  $\text{CO}_2$ - und Rn-Konzentration am Standort Waldstein wird durch typische atmosphärische Austauschbedingungen in einem hohen Pflanzenbestand (Fichtenforst) beeinflusst (REBMANN et al., 2004; WICHURA et al., 2004; THOMAS and FOKEN, 2005; THOMAS and FOKEN, 2007a und 2007b). Unter entkoppelten Bedingungen (stabile Schichtung) wird der vertikale Luftaustausch zwischen Pflanzenbestand und Atmosphäre verhindert, Kohlendioxid und Radon akkumuliert in Bodennähe. Bei labiler Schichtung (gekoppelter Zustand) kommt es durch Turbulenz zur ausreichenden Durchmischung bis zum Waldboden. Radonmessungen und abgeleitete Parametrisierungen wie sie z.B. von MARTENS (2004) anhand von Radon-Bodenausgasung (S) im Bezug zum Verhältnis von  $\text{CO}_2$ - und Rn-Profilen im Bestand vorgestellt wurden,

$$NEE_{Rn} = S \frac{\Delta(\text{CO}_2)}{\Delta(\text{Rn})}$$

können bei der Bestimmung des Netto-Ökosystem-Austausches von Kohlendioxid als zusätzliche Gap-Filling-Strategie dienen, insbesondere dann, wenn Messungen des Kohlendioxidflusses mit Hilfe der Eddy-Kovarianz-Methode aufgrund fehlender atmosphärischer Turbulenz während ruhiger, windstillen Nächten zu einer Unterschätzung der Bilanzierung des  $NEE_{\text{CO}_2}$  führen (RUPPERT et al., 2006; LEE, 1998; MARTENS, 2004). Auch bei der Quantifizierung advektiver Prozesse im Bestand, die zur Misschätzung v. a. nächtlicher Flusses führen können (AUBINET, 2003), können - durch bodenbiologische Prozesse unbeeinflusste - Radonmessungen hilfreich sein.

## 2. Gerätetechnik und Methodik

Die Kohlendioxidprofilanlage WACO2P wurde von der Abteilung Mikrometeorologie (RUPPERT, 2005) für das Experiment WALDATEM 2003 (THOMAS et al., 2004) entworfen. Die Steuer-Software wurde in LABVIEW programmiert. Die Messung erfolgt kontinuierlich mit einer Probenahmefrequenz von 2 Hz (LiCor 820). Jede Messhöhe wird eine Minute lang gemessen. Abzüglich einer Spülzeit (Totzeit) von 14.5 Sekunden, ergibt sich pro geschaltetem Ventil ein Datenumfang von 88 Messwerten pro Minute. Durch eine Spülluftpumpe wird über acht einzelne Spülflaschen (2.5 Liter) kontinuierlich Luft im Kreislauf angesaugt und in spezieller an hohe Vegetation angepasste Reihenfolge durch eine elektronische Ventilsteuerung in den Messkreislauf inklusive einer Trocknungsspirale zum Gasanalysator (LiCor 820) geführt. Die Ventilschaltung wird dabei extern durch einen am PC angeschlossenen Mem-IO-Port gesteuert und von einer USV-Anlage vor Stromausfällen gesichert. Als Radon-Messsysteme wurde ein AlphaGuard (Genitron Instruments, Deutschland) in der Messhöhe

20 cm und zwei Radim3a (SMM, Tschechien), Messhöhen 50 cm und 170 cm, eingesetzt. Diese Geräte werden pumpengestützt im Durchflussbetrieb betrieben. Die Messluft wird aufgrund der Feuchtigkeitsanfälligkeit des Verfahrens vorgetrocknet. Die Messung der Radon-Isotop-Konzentration erfolgt bei allen Geräten alphaspektrometrisch. Zur Datenverarbeitung wurden im Vorfeld zwei Programmroutinen (Compaq Visual Fortran) entwickelt, die zum einen eine Messkanaltrennung und Verkettung der Messwerte zu jeweiligen Tagessätzen zulassen und zum anderen minütliche Mittelwerte und Standardabweichungen berechnen. Für weitere statistische Ausarbeitungen (Tiefpassfilter, Autokorrelation, Regression) wurde auf bewerte Programmroutinen zurückgegriffen.

### 3. Erste Vergleiche CO<sub>2</sub>- und Rn-Messungen

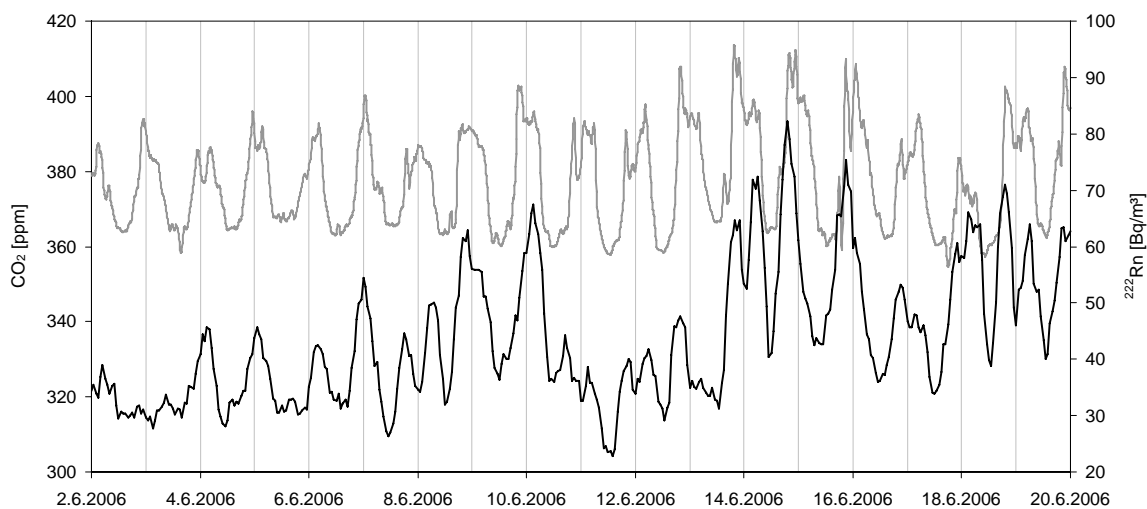


Abb. 1: <sup>222</sup>Rn (0.20 m, schwarz) und CO<sub>2</sub> (0.25 m, grau) Konzentrationen, Juni 2006, Waldstein-Weidenbrunnen

Fig. 1: <sup>222</sup>Rn (0.20 m, black) and CO<sub>2</sub> (0.25 m, grey) concentrations, June 2006, Waldstein-Weidenbrunnen

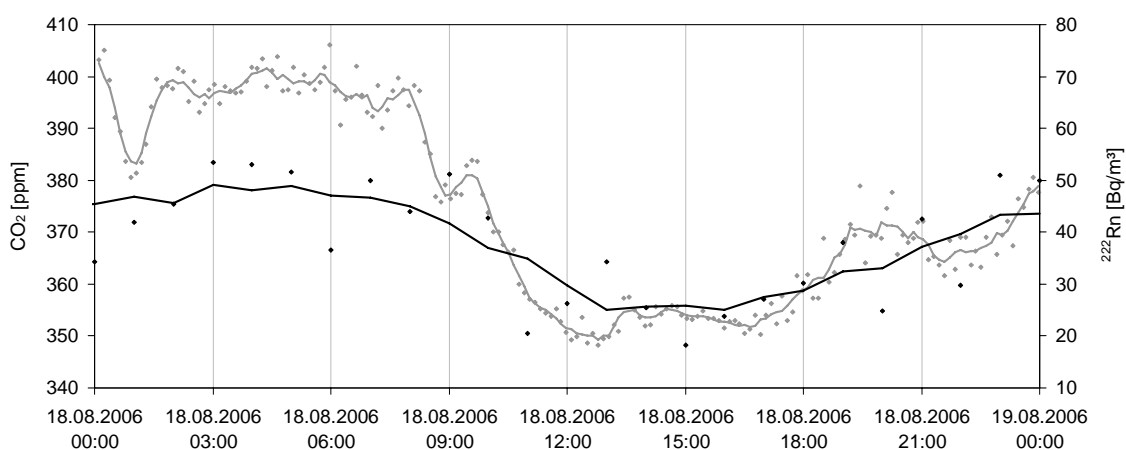


Abb. 2: <sup>222</sup>Rn (0.20 m, schwarz) und CO<sub>2</sub> (0.25 m, grau) Konzentrationen, Tagesgang, 18.08.06, Waldstein-Weidenbrunnen

Fig. 2: <sup>222</sup>Rn (0.20 m, black) and CO<sub>2</sub> (0.25 m, grey) concentrations, diurnal variation, 2006-08-18, Waldstein-Weidenbrunnen

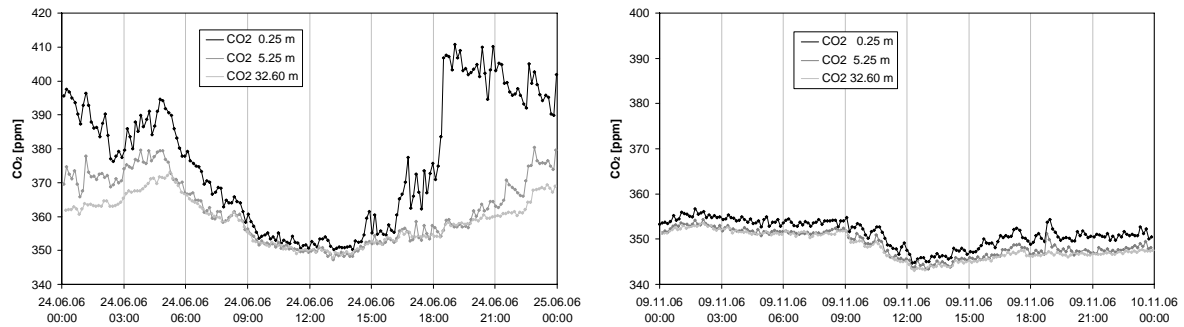


Abb. 3: CO<sub>2</sub>-Profilmessungen (0.25 m, schwarz, 5.25 m, grau, 32.60 m hellgrau), Tagesgang, links: Sommer (24.06.06), rechts: Winter (09.11.06), Waldstein-Weidenbrunnen

Fig. 3: CO<sub>2</sub> profile measurements (0.25 m, black, 5.25 m, grey, 32.60 m light grey), diurnal variation, left: summer (06-06-24), right: winter (06-11-09), Waldstein-Weidenbrunnen

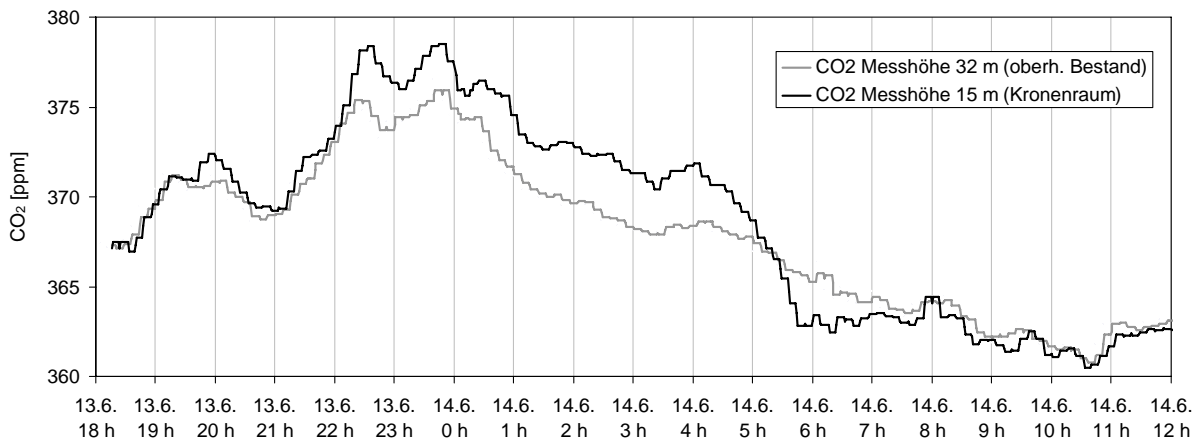


Abb. 4: CO<sub>2</sub>-Profilmessungen (15 m, schwarz, Kronenraum; 32 m, grau, oberhalb Bestand) 13./14.06.06

Fig. 4: CO<sub>2</sub>- profile measurements (15 m, black, canopy; 32 m, grey, above canopy) 06-06-13/14

Die Variation der CO<sub>2</sub>- und Rn-Konzentrationen, gemessen in vergleichbaren Höhen über Grund (25 cm bzw. 20 cm) am Standort Waldstein-Weidenbrunnen für eine ausgewählte Sommerperiode (2.6. bis 20.6.2006, Abb. 1) bzw. einen typischen Sommertag (18.8.2006, Abb. 2) zeigt ausgeprägte – zwischen beiden Spurengasen korrespondierende – Tagesgänge, gesteuert durch bodennahe Anreicherung in der Nacht bei stabilen, entkoppelten Austauschbedingungen und fehlender Assimilation und Nivellierung auf den atmosphärischen Hintergrundwert bzw. die Hintergrund-Emanation bei turbulenter, gekoppelter Durchmischung am Tage und aktiver Assimilation des Pflanzenbestandes.

Obwohl die Entkopplung Bestand/Atmosphäre unter autochthonen Witterungsbedingungen insbesondere in der warmen Jahreshälfte extreme vertikale Gradienten der CO<sub>2</sub>-Konzentration hervorruft bleibt jedoch bei komplementärer Witterung ein erheblich geringerer, doch erkennbarer Konzentrationsgradient erhalten (Abb. 3).

Der Tagesgang der CO<sub>2</sub>-Konzentration wird im Wesentlichen durch Respirations- und Assimilationsprozesse der Vegetation und des Bodens durch Überlagerung unterschiedlicher atmosphärischer Austauschbedingungen innerhalb und oberhalb des Pflanzenbestandes verursacht. Die Rn-Konzentration wird nicht von biologischer Aktivität beeinflusst, die Variationsursachen reduzieren sich auf meteorologische, bodenphysikalische (und auf geologische) Einflussgrößen. Der Einfluss biologischer Aktivität wird in Abb.5 verdeutlicht. Der Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration in 15 m ü. G. (mittlerer Kronenraum) zeigt beginnend ab ca. 20 Uhr (13.6.) eine Anreicherung von CO<sub>2</sub> im Kronenraum (Entkopplung, fehlende Assimilation) gegenüber die Messhöhe in 32 Metern (rund 13 m ü. Baumhöhe). Mit beginnender Photosynthese kurz nach Sonnenaufgang (4:30 MEZ) fällt die CO<sub>2</sub>-Konzentration rasch bis ca. 7 Uhr morgens auf deutlich unter die der Messhöhe oberhalb des Bestandes in 32 Metern, um sich dann bei durchsetzender Turbulenz gegen Mittag zu nivellieren.

#### 4. Schlussfolgerungen

Parallele Messungen der vertikalen Verteilung der CO<sub>2</sub>- und Rn-Konzentration in einem Waldbestand im Rahmen einer Langzeitroutine ermöglicht einerseits klimatologische Studien hinsichtlich tageszeitlicher und jahreszeitliche Schwankungen und deren verursachenden Prozesse und andererseits durch die biologisch inerte Radon-Emanation zahlreiche Möglichkeiten Austausch-, Respirations- und Assimilationsprozesse zu trennen. Diese Frage wird Gegenstand weiterer Forschung am Standort Waldstein-Weidenbrunnen sein.

#### Literaturverzeichnis

- AUBINET, M., B. HEINESCH, M. YERNAUX, 2002: Horizontal and vertical CO<sub>2</sub> advection in a sloping forest. - *Boundary-Layer Meteorology* **108**, 397-417.
- BALDOCCHI, D. et. al., 2001: FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor and energy flux densities. - *Bulletin of the American Meteorological Society* **82**, 2415-2434.
- BETTS, A. K., 2004: Coupling between CO<sub>2</sub>, water vapor, temperature, and radon and their fluxes in an idealized equilibrium boundary layer over land. - *Geophysical Research* **109**.
- DENMEAD, D. T., E.F. BRADLEY, 1985: Flux-gradient relationships in a forest canopy. - *The forest-atmosphere interaction*, 421-442.
- FOKEN, T., 2006: *Angewandte Meteorologie, Mikrometeorologische Methoden*, 2. überarb. u. erw. Aufl., 326 S.
- KAMINSKI, U., S. GILGE, 1999: Die Bedeutung von Radon als Tracer im luftchemischen Meßprogramm der Gaw Globalstation Zugspitze/Hohenpeißenberg. - *Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium*.
- KLEMM, O., H. LANGE, 1999: Trends of air pollution in the Fichtelgebirge Mountains, Bavaria. - *Universität Bayreuth, Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK)*.
- LEE, X., 1998: On micrometeorological observations of surface-air exchange over tall vegetation. - *Agricultural and Forest Meteorology* **91**, 39-49.
- MARTENS, C. S., T.J. SHAY, 2004: Radon fluxes in tropical forest ecosystems of Brazilian Amazonia: night-time CO<sub>2</sub> net ecosystem exchange derived from radon and eddy covariance methods. - *Global Change Biology* **10**, 618-629.