

**Zwischenbericht für den Zeitraum Okt. 2017 bis Oktober 2018**

**Beteiligung der Schweiz am Projekt**

**“Readiness of ICOS for Necessities of integrated Global Observations (RINGO)”**

**Antragsteller/in:**

Prof. Dr. Nina Buchmann, ETH Zürich; Dr. Lukas Emmenegger, Empa; Prof. Dr. Markus Leuenberger, Uni Bern

**Bericht aus den drei Arbeitspaketen (APs)**

**AP1: Entwicklung einer optimalen Strategie für eine regelmässige Entnahme von diskreten Luftproben zur anschliessenden Messung von stabilen Isotopen im CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> in einem zentralen Labor und Aufarbeitung, Qualitätsprüfung und Dokumentation von Langzeit-Messreihen, die vor ICOS RI erhoben wurden (z.B. die Isotopen-Messungen in CO<sub>2</sub> vom Jungfraujoch). Damit soll mit einer minimalen Anzahl Proben die bestmögliche räumliche Zuweisung von Quellen und Senken erreicht werden (RINGO Task 1.3 und Task 4.2 → Empa).**

**Arbeitsfortschritt**

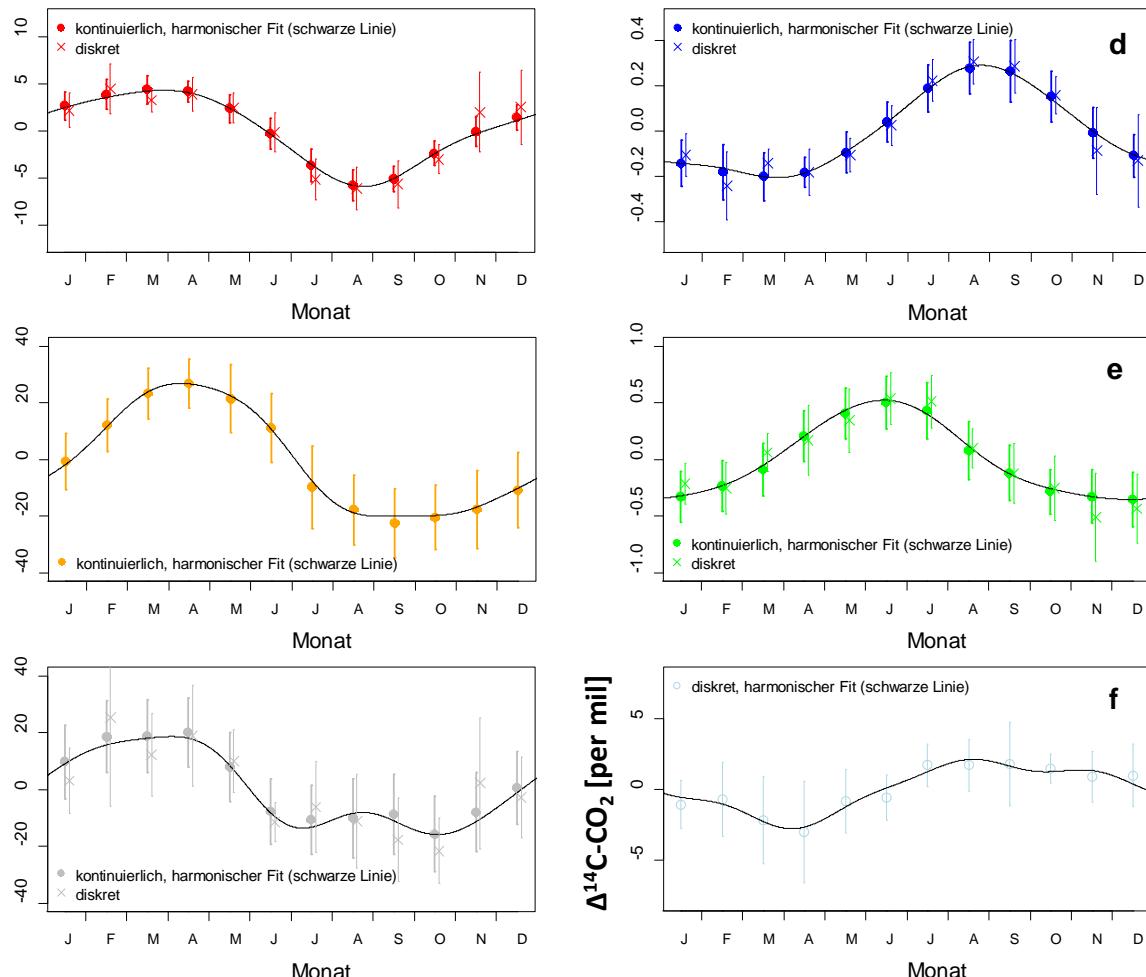
Die auf dem Jungfraujoch im Jahr 2008 begonnenen, kontinuierlichen Messungen der stabilen CO<sub>2</sub> Isotope ( $\delta^{13}\text{C-CO}_2$  und  $\delta^{18}\text{O-CO}_2$ ) wurden weitergeführt. Die Daten wurden einer umfangreichen Qualitätskontrolle unterzogen und mit atmosphärischen Transportmodellen verknüpft. Das entwickelte Clustering-Verfahren, um Einflüsse von verschiedenen Regionen in Europa auf die Messwerte am Jungfraujoch zu charakterisieren (siehe Zwischenbericht vom November 2017), wurde für den Zeitraum bis Oktober 2018 aktualisiert.

Die Ergebnisse daraus erlauben eine Klassifizierung in Situationen ohne signifikanten lokalen oder regionalen Einfluss (sogenannte Hintergrundbedingungen) und Episoden mit Einfluss aufgrund des Transports von Luftmassen aus der planetaren atmosphärischen Grenzschicht. Die Grenzschicht erreicht in der Regel das Jungfraujoch nicht; spezifische meteorologische Bedingungen wie thermische Konvektion oder Fronten können jedoch zu einem Transport von Luftmassen aus tieferen Lagen führen.

Eine solche Klassifizierung wurde auch mit anderen Methoden vorgenommen, d.h. anhand chemischer Indikatoren wie der Radon-Konzentration, dem Verhältnis verschiedener Spurengase (Kohlenstoffmonoxid und Stickoxiden) sowie anhand von statistischen Methoden. Dadurch wurde die Eignung der verschiedenen Ansätze zur Hintergrundbestimmung evaluiert. Im Weiteren wurde für die kontinuierlichen Daten die statistische Methode zur Klassifizierung der Hintergrundbedingungen herangezogen. Diese Informationen fließen in Konzepte zur optimalen Strategie der Sammlung diskreter Luftproben zur Bestimmung der Hintergrundkonzentration ein.

Weiter wurden die Zeitreihen der kontinuierlichen Messungen mit vorhandenen Daten von diskreten Proben verglichen, um den Informationsgewinn kontinuierlicher versus diskreter Methoden zu evaluieren. Als Beispiel wurde die Vergleichbarkeit des berechneten Jahresgangs untersucht. Abb. 1 zeigt den Jahresgang für CO<sub>2</sub>-Isotope und andere Spurengase basierend auf kontinuierlichen und diskreten Daten. Die Jahresgänge erlauben Aussagen über die Quellen und Senken der unterschiedlichen Spezies, besonders wenn die saisonalen Muster gemeinsam interpretiert werden. Quellen und Senken beinhalten sowohl natürliche Prozesse (Photosynthese und Respiration) als auch anthropogene Emissionen. Der Jahresgang der kontinuierlichen Carbonylsulfid (COS)-Messungen unterstützt die Interpretation der Jahresgänge des CO<sub>2</sub> aufgrund der ähnlichen Wechselwirkungen

zwischen Atmosphäre und Biosphäre der beiden Substanzen. Radiokohlenstoff  $^{14}\text{C}$ -CO<sub>2</sub>, gemessen von der Universität Heidelberg in diskreten Luftproben (siehe <https://doi.org/10.11588/data/10100>), erlaubt eine Abschätzung des Beitrags durch die Verbrennung fossiler Energieträger. Aktuell werden die Jahresgänge interpretiert und mit Modellen simuliert.



**Abb. 1: Mittlere Jahresgänge unter Hintergrundbedingungen der kontinuierlichen und diskreten Messungen für den Zeitraum 2009 bis 2018.** Gezeigt sind Mittelwert  $\pm 1$  Standardabweichung von **a)** Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), **b)** Carbonylsulfid (COS), **c)** Kohlenstoffmonoxid (CO), **d)** und **e)** stabile CO<sub>2</sub>-Isotope ( $\delta^{13}\text{C}$ -CO<sub>2</sub> und  $\delta^{18}\text{O}$ -CO<sub>2</sub>), und **f)** Radiokohlenstoff ( $\Delta^{14}\text{C}$ -CO<sub>2</sub>). Die diskreten Proben (a, c-e) wurden jede zweite Woche um ca. 6 Uhr am Morgen für eine Dauer von 30 Minuten gesammelt und am Max-Planck-Institut in Jena analysiert. Durch den gewählten Zeitpunkt der Probenahme sollen durch die meteorologische Situation am Jungfraujoch möglichst Hintergrundbedingungen beprobt werden. Die diskreten Proben für den Radiokohlenstoff werden über eine Dauer von zwei Wochen gesammelt (f).

#### Erreichte Meilensteine

März 2018:	RINGO Annual Meeting in Antwerpen
Mai 2018:	Hintergrundbestimmung anhand meteorologischer, chemischer und statistischer Filter
Juni 2018:	Transportmodellierung und Cluster-Analyse für den erweiterten Zeitraum
August 2018:	Bereitstellung einer konsistenten CO <sub>2</sub> -Zeitreihe vom Jungfraujoch zur europaweit konsistenten Reprozessierung der historischen Zeitreihen
August 2018:	Abstract für Vortrag am Swiss Geoscience Meeting in Bern (Dezember 2018)

- September 2018: Vergleich der online Daten mit diskreten Proben des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena
- Oktober 2018: Vorläufige Trend-Analyse und Interpretation der Jahresgänge der kontinuierlichen und diskreten Daten

#### *Weiteres Vorgehen*

Die Zeitreihen der stabilen Isotopen im CO<sub>2</sub> vom Jungfraujoch werden weiter erhoben und statistisch ausgewertet. Die Unsicherheiten zur Entnahme diskreter Hintergrundproben anhand der realen Daten werden quantifiziert, und die Ergebnisse den RINGO Partnern zur allfälligen Anpassung der Probenahmestrategie zur Verfügung gestellt. Verschmutzungsepisoden werden identifiziert und mit Transportmodellen detailliert weiteruntersucht. Die konsistente CO<sub>2</sub>-Zeitreihe des Jungfraujoch wird gemeinsam mit anderen langjährigen Zeitreihen in Europa einer einheitlichen Qualitätskontrolle unterzogen.

**AP2: Evaluation der AirCore-Technologie zur Bestimmung von atmosphärischen Vertikalprofilen. AirCores können eventuell die Lücke schliessen zwischen Messungen am Boden und jenen im Flugzeug oder von Satelliten (RINGO Task 3.1 → Uni Bern).**

#### *Arbeitsfortschritt*

Zwei neue AirCore-Einheiten wurden gebaut und getestet. Durch deren Länge von 200 Meter und einem einheitlichen Durchmesser eignen sie sich gut für die hochaufgelöste Beprobung der Stratosphärenluft. Die Metallschläufen wurden mit SilcoNert 2000 beschichtet. Nach ausführlicher Dichtheitsprüfung wurden auch sogenannte Slag-Tests durchgeführt. Dies sind Tests, bei welchen von einem ersten Standardgas auf ein zweites umschaltet wird, um die Güte der Oberfläche bezüglich Adsorptions/Desorptionsverhalten zu überprüfen. Innerhalb des Tasks 3.1 wurden bestimmte Idealwerte vorgegeben, welche unsere beiden neuen AirCores erreichten.

Im Juni 2018 wurde eine AirCore-Kampagne in Nordfinnland durchgeführt, an welcher wir teilnahmen. Die Kampagne hatte zum Ziel, mehrere AirCores verschiedener Institutionen zu vergleichen. Die Kampagne in Sodankylä war ein voller Erfolg. So konnten insgesamt 23 Aircores von sieben verschiedenen Institutionen aus sieben Ländern (NL, FI, UK, F, D, CH, USA) verglichen werden. Es wurden auch die Standardgase der Institute verglichen, um etwaige Skalenunterschiede herauszufinden. Wir konnten mit unseren drei AirCores während der zwei Wochen insgesamt sieben erfolgreiche Flüge absolvieren und erreichten bei einem Flug 35 km Höhe. Bei der Messung der gesammelten Luft haben wir zwei Picarro Geräte in Serie geschalten, sodass neben den Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO und H<sub>2</sub>O mittels des Picarro 2401) auch O<sub>2</sub> Konzentrationen (mittels des Picarro 2207) bestimmt werden konnten. Die letztere Messung wurde weltweit zum ersten Mal mit einem solchen Gerät durchgeführt. Die Auswertung der Daten ist noch nicht abgeschlossen, da insbesondere die Höhenzuordnung eine echte Hürde darstellt. Deshalb werden bei einer nächsten Kampagne auf bestimmten GPS-definierten Höhen Injektionstests durchgeführt, um die Unsicherheit der Höhenzuordnung zu minimieren. Trotz dieser Schwierigkeiten sehen die Profile bezüglich Veränderung auf der Tropopausenhöhe sehr ähnlich aus.

Die Partner des Task 3.1 hielten vier Telefonkonferenzen ab, um Informationen auszutauschen.

#### *Erreichte Meilensteine*

- Juni 2018: Erfolgreiche AirCore Kampagne in Sodankylä (Nordfinnland)

### Weiteres Vorgehen

Definitive Auswertung der Messungen der ersten Kampagne. Durchführung von Verbesserungen aufgrund der Erkenntnisse der ersten Kampagne. Planung der zweiten Kampagne.

**AP3: Operationalisierung von Eddy-Kovarianzmessungen von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O auf Ökosystemebene. Dies beinhaltet die Qualitätskontrolle der Messung, aber auch die Datenauswertung dieser höchst dynamischen Flüsse (RINGO Task 3.4 → ETH Zürich).**

### Arbeitsfortschritt

Am Standort Davos wurden bereits zwei Jahre Eddy-Kovarianzmessungen der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Flüsse erfolgreich durchgeführt. Mit den bestehenden Daten konnte die Relevanz der beiden Verbindungen für das Waldökosystem eingeschätzt werden. Die Daten des ICOS-CH Standorts Davos sind aufgrund ihrer Einzigartigkeit von hohem Wert, da nur für Davos Daten beigesteuert werden können, die über Wald gemessen werden.

Im Frühling 2018 hat die Sammlung weltweit verfügbarer CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Flussdaten begonnen. Mit Stand Oktober 2018 wurden insgesamt 22 Messstationen identifiziert, die diese ansonsten schwer zugänglichen Daten zur Verfügung stellen. Für die Sammlung dieser Daten wurde ein Server an der ETH Zürich eingerichtet, auf dem die Daten gesammelt und mit der Community geteilt werden. Das Ziel ist, mit diesen Daten die zuvor definierten neun Fragestellungen gezielt zu untersuchen, um eine korrekte Berechnung des Ökosystem-Austauschs von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O durchführen zu können:

- Hoch-frequente Daten: (1) Synchronization, (2) Time-lag estimation, (3) Random uncertainty, (4) Detrending and spectral correction, (5) H<sub>2</sub>O pressure line broadening;
- Hoch-frequente und/oder halbstündliche Daten: (6) Despiking, (7) u\* filtering, (8) gap-filling, (9) uncertainty estimation.

Die ETH Zürich ist massgeblich an (7) und (8) beteiligt. Zur Erforschung der gegebenen Fragestellungen wurde die Entwicklung einer neuartigen Fluss-Analyse-App begonnen, welche das schnelle Testen verschiedener Hypothesen in einer benutzerfreundlichen Programmoberfläche ermöglicht. Die App wird für alle Interessierten frei zugänglich unter einer open source Lizenz veröffentlicht.

Der derzeitige Wissenstand über non-CO<sub>2</sub> Flussmessungen wurde in der Publikation "Standardisation of eddy-covariance flux measurements of methane and nitrous oxide" von Nemitz et al. (in press), unter Beteiligung der ETH Zürich, in der Zeitschrift *International Agrophysics*, zusammengefasst und wird im November 2018 publiziert werden. Die Veröffentlichung dieser Publikation ist für die weitere Forschung innerhalb von RINGO WP 3.4 von massgeblicher Bedeutung.

### Erreichte Meilensteine

- Nov. 2017: Identifikation der Messstationen, die CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Flussdaten zur Verfügung stellen können
- Frühling 2018: Start der Sammlung von CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Flussdaten auf einem ETH Server
- Jun. 2018: Eine erste Version des Python Codes zum gap-filling von non-CO<sub>2</sub> Flussdaten wird unter einer open-source Lizenz (GPL-3.0) veröffentlicht, um internationale Kooperationen zu vereinfachen ([https://github.com/amp335/gapfilling\\_reichstein](https://github.com/amp335/gapfilling_reichstein)). Der Code ist Bestandteil der Fluss-Analyse-App.

Nov. 2018: Publikation des für RINGO WP 3.4 relevanten ICOS Protokolls «*Eddy Covariance Measurements of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O*» im Journal *International Agrophysics*. Titel der Publikation: "Standardisation of eddy-covariance flux measurements of methane and nitrous oxide"

*Weiteres Vorgehen*

- Treffen, um Fragestellungen von (7) und (8) zu untersuchen, werden im Winter 2018/19 stattfinden.
- Ein Treffen der Mitglieder innerhalb des WP 3.4 ist für Anfang 2019 in Dänemark geplant.
- Das nächste RINGO Meeting findet vom 20.-22. März 2019 (Southampton, UK) statt.
- Die Fluss-Analyse-App wird laufend erweitert, getestet und im Laufe von 2019 unter einer open source Lizenz veröffentlicht.
- Basierend auf der Publikation wird ein ICOS Instruction Document vorbereitet werden, das den derzeitigen Wissenstand in Kurzform darlegt und ICOS Stationen Hilfestellung bei Flussmessungen von nicht-CO<sub>2</sub> Gasen leistet.

Zürich, 31.10.2018



Prof. Dr. Nina Buchmann  
Hauptantragstellerin