

Zwischenbericht für den Zeitraum Okt. 2018 bis Oktober 2019

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 CO₂ und CH₄ in einem zentralen Labor und Aufarbeitung, Qualitätsprüfung und Dokumentation von Langzeit-Messreihen, die vor ICOS RI erhoben wurden (z.B. die Isotopen-Messungen in CO₂ 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 CO₂-Isotope ($\delta^{13}\text{C}$ -CO₂ und $\delta^{18}\text{O}$ -CO₂) mittels Quantenkaskadenlaser-Absorptionsspektroskopie (QCLAS) wurden weitergeführt. Die Daten wurden einer umfangreichen Qualitätskontrolle unterzogen und dazu auch laufend mit Messungen diskreter Luftproben verglichen (Abb. 1). Diese werden am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena analysiert.

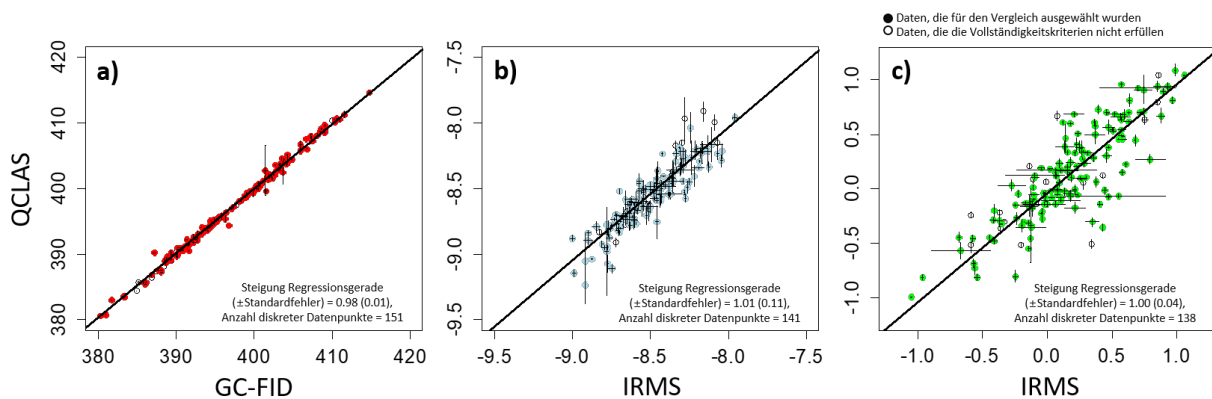


Abb. 1: Direkter Vergleich der kontinuierlichen Messungen mit den diskreten Luftproben. Gezeigt sind 30-min Mittelwerte der kontinuierlichen Messungen (± 1 Standardabweichung), und Mittelwerte (± 1 Standardabweichung) von drei in Serie gesammelten diskreten Luftproben, **a)** CO₂, in ppm, GC-FID steht für Gaschromatographie mit Flammenionisation-Detektion, folgend einer chemischen Reduktion des CO₂ mittels Wasserstoff; **b)** $\delta^{13}\text{C}$ -CO₂, in ‰, IRMS steht für Isotopen-Verhältnis Massen-Spektrometrie; **c)** $\delta^{18}\text{O}$ -CO₂, in ‰.

Die kontinuierlichen QCLAS-Daten sind im Vergleich zu den diskreten Luftproben über einen weiten Konzentrationsbereich stabil. Die Vorgaben der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) zur Übereinstimmung zweier Messsysteme werden im Mittel über den gesamten Zeitraum erreicht (Tab. 1). Bezogen auf die Einzelmessungen werden die anspruchsvollen WMO Vorgaben für regionale Studien ("extended compatibility") in 40-61% der Fälle erreicht, was die hohe Qualität der QCLAS-Messungen bestätigt.

Tab. 1. Übereinstimmung von kontinuierlichen Messungen mit den diskreten Luftproben im Vergleich zu den WMO Vorgaben.

Parameter	Kontinuierliche <i>minus</i> diskrete Daten ¹⁾ (Mittelwert $\pm$ 1 Standardabweichung)	WMO Vorgaben "Extended Compatibility"
CO ₂	-0.1 ($\pm$ 0.6) ppm	0.2 ppm
$\delta^{13}\text{C-CO}_2$	-0.06 ($\pm$ 0.10) ‰	0.1 ‰
$\delta^{18}\text{O-CO}_2$	-0.03 ($\pm$ 0.22) ‰	0.1 ‰

¹⁾ Messungen von 2009-2017. Die Jahre 2018-2019 wurde auf Grund einzelner ausständiger Ergebnisse der diskreten Luftproben aktuell nicht berücksichtigt.

Die kontinuierlichen Messungen erlauben es, die Häufigkeit und Intensität von CO₂-Events am Jungfraujoch zu analysieren. Diese wurden für die kalte Jahreszeit (Oktober-April) untersucht, wenn die CO₂ Aufnahme durch die Photosynthese gering ist. Sie treten im Mittel an 35 Tagen pro Periode Oktober-April auf und zwar mit einer Intensität von mehr als 5 ppm CO₂ über der Hintergrundkonzentration. Die Events erreichen im Maximum bis zu 35 ppm CO₂, wobei diese hohe Intensität nur selten auftritt. Events mit mehr als 15 ppm CO₂ treten im Mittel nur an 4 Tagen pro Periode Oktober-April auf. Erste Model-Simulationen von CO₂ am Jungfraujoch zeigen, dass in der Periode Oktober-April ein Grossteil dieser CO₂-Events durch den Transport anthropogener Emissionen bedingt ist.

CO₂-Daten vom Jungfraujoch und von neun weiteren europäischen Stationen mit langjährigen Zeitreihen wurden von verschiedenen Datenzentren gesammelt und auf ihre Konsistenz überprüft. Relevante Metadaten zu den Zeitreihen wie Zusammenstellungen der verwendeten Analysatoren, der verwendeten Referenzgase und der Massnahmen zur Qualitätskontrolle wurden ebenfalls zusammengetragen. Diese Informationen werden in einem nächsten Schritt genutzt um die Unsicherheitsabschätzung für alle Zeitreihen bestmöglich zu vereinheitlichen.

Erreichte Meilensteine

Dezember 2018:	Vortrag am Swiss Geoscience Meeting 2018, Bern.
Februar 2019:	Cluster-Analyse für den erweiterten Zeitraum inkl. 2018.
März 2019:	Vortrag am Ringo Annual Scientific Meeting 2019 in Southampton, UK; aktualisierter Vergleich der kontinuierlichen Daten mit diskreten Proben des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena.
April 2019:	Analyse von Häufigkeit, Frequenz und geographische Herkunft von CO ₂ Transport-Events; PICO Vortrag an der EGU General Assembly 2019, Wien.
Mai-Juni 2019:	Vorläufige Quellsignatur-Bestimmung mittels automatisiertem Verfahren; Literatur Recherche zu treibstoffbasierten Emissionssignaturen.
Juli 2019:	Sammlung von Inventar-Informationen; treibstoffbasierte Kategorisierung für die CO ₂ -Simulationen; Berechnung von Skalierungsfaktoren für das Inventar (Basisjahr 2010) anhand von BP Statistiken.
August 2019:	Vorläufige Ergebnisse aus den FLEXPART-COSMO CO ₂ -Simulationen sowie Ergebnisse der STILT-ECMWF CO ₂ -Simulationen mittels ICOS Carbon Portal "on-demand" Tool; vorläufige Ergebnisse einer $\delta^{13}\text{C}$ -Simulation basierend auf einem Mischmodell, das die FLEXPART-COSMO CO ₂ -Simulationen und literaturbasierte $\delta^{13}\text{C}$ -Emissionssignaturen verknüpft.
September 2019:	Erstellen von $\delta^{13}\text{C}$ -Skalierungsfaktoren für den Simulationshintergrund basierend auf Daten der Messstation Mace Head (Irland).
Oktober 2019:	Vergleich der Ergebnisse von FLEXPART-COSMO und STILT-ECMWF.

Weiteres Vorgehen

Die Zeitreihen der stabilen Isotopen im CO₂ vom Jungfraujoch werden weiter erhoben und statistisch ausgewertet. Simulationsergebnisse werden im Detail mit den gemessenen Messreihen verglichen und experimentell bestimmte Quellsignaturen mit weiteren Parametern (z.B. Verhältnis von CO-zu-CO₂) korreliert.

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

Es wurden weitere Tests mit den AirCores im Labor durchgeführt. Deren Ziele waren: (1) Simulation von Flügen im Labor, um die Mischprozesse in den AirCores zu studieren und (2) Testen eines integrierten Kleinstvolumen-Ventils, das Markierungen mittels CO zulässt. Um diese beiden Ziele zu erreichen, wurden Druck- und Flussmessgeräte so verbaut, dass diese mittels Labview Programm parametrisiert und betrieben werden konnten, um Flugprofile abzufahren. Ein Norm-Flugprofil entsprach einem mittleren Profil der letztjährigen Kampagne in Sodankylä in Nordfinnland. Mit diesem Aufbau konnten wir Untersuchungen der Mischprozesse während des passiven Befüllen und auch während des Ausmessen der Luftprofile durchführen. Die Resultate fliessen nun in eine Publikation ein. Zum zweiten Ziel, haben wir eine Firma aus dem Berner Oberland ausfindig gemacht, die Kleinst-Volumen Ventile herstellt, welche in sehr kurzen Abständen geöffnet und geschlossen werden können. Dies ist die ideale Voraussetzung, um kleine Markierungsgasmengen über kurze Zeiten zu bestimmten Zeiten beziehungsweise Höhen ins AirCore einzuspeisen, und soll dazu beitragen, die Höhenzuordnung, insbesondere in der mittleren Stratosphäre, genau zuordnen zu können. Auf welcher Höhe die Markierung ausgelöst werden soll, kann durch die Druckmessung oder aber durch die GPS Signale ausgelöst werden. Tests mit diesem eingebauten Ventil liefen im Labor ausgezeichnet. Dies erzeugte grosse Erwartungen, dass dies auch im Feld gut laufen würde. Die Messungen während der Ringo Kampagne in Trainou, in der Nähe von Paris (Frankreich), haben uns jedoch eines Besseren belehrt. Es hat sich gezeigt, dass sich die tiefen Temperaturen negativ auf die Funktion des Ventils auswirkten – es blockierte. Deshalb wurden keine oder nur sporadische Signale mit sehr unerwartet variablen Amplituden gemessen, obwohl Markierungspuls-Signale vom Labview Program ans Ventil übermittelt wurden. Momentan sind wir an der Überarbeitung des Konzepts und integrieren eine Heizung, damit das Ventil auch auf grossen Höhen einwandfrei funktionieren kann.

Die Kampagne in Trainou, organisiert durch die Kollegen des „Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement“ (LSCE), Saclay Frankreich, wurde von mehreren internationalen Gruppen (NL, FI, UK, F, D, CH, USA) benutzt, um Vergleichsmessungen weiterzuführen, die schon bei der Kampagne in Sodankylä initiiert wurden. Wir haben denselben Aufbau mit zwei Picarro-Geräten verwendet wie 2018. Leider verlief der erste Flug schlecht, weil die Verbindungsschnur zum Fallschirm riss und das AirCore im freien Fall zurück auf den Erdboden fiel. Nach einer Suche von 24 Stunden wurde das AirCore doch noch gefunden, nach einer Reparatur durch unseren Techniker und unter Mithilfe der internationalen Kollegen konnten weitere erfolgreiche Flüge (insgesamt drei) durchgeführt werden. Die Partner der Task 3.1 hielten wiederum vier Telefonkonferenzen ab, um Informationen auszutauschen.

Erreichte Meilensteine

Juni 2019: Ergebnisreiche AirCore Kampagne in Trainou (Frankreich)

Weiteres Vorgehen

Die Messresultate der Labortests werden nun in eine technische Publikation einfließen, die es uns erlaubt, die Daten der beiden bisherigen Kampagnen mittels dieses Wissens über Mischprozesse gezielt auszuwerten.

AP3: Operationalisierung von Eddy-Kovarianzmessungen von CH₄ und N₂O 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 CH₄- und N₂O-Flüsse bereits mehr als 2 Jahre lang (2015-2017) erfolgreich mit der Eddy-Kovarianz-Methode gemessen. Der daraus entstandene Datensatz ist aufgrund seiner Einmaligkeit für Waldökosysteme von hohem wissenschaftlichem Wert. Mit Hilfe der Flussdaten konnte bereits abgeschätzt werden, welchen Einfluss CH₄ und N₂O auf die Klimabilanz des Nadelwaldes haben. Die Flussdaten werden seit 2019 offen und ohne Einschränkungen mit der wissenschaftlichen Community via FLUXNET (<https://fluxnet.fluxdata.org>) geteilt.

Die im Jahr 2018 gestartete Sammlung weltweit verfügbarer CH₄- und N₂O-Flussdaten wurde 2019 fortgeführt. Mit Stand Oktober 2019 wurden insgesamt 25 Messstation identifiziert, die Eddy-Kovarianz-Flussdaten für alle drei Gase CO₂, CH₄ und N₂O zur Verfügung stellen können. Ähnlich wie Davos haben viele dieser Messstationen 2018 und 2019 begonnen, ihre berechneten Flüsse mit der Community zu teilen. Die Besonderheit dieser Datensammlung ist nicht nur die Einzigartigkeit der Flussdaten, sondern auch wie die Daten geteilt werden, nämlich unter der Lizenz CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), mit welcher auch kommerzielle Nutzung erlaubt ist.

Zusätzlich zu diesen berechneten Flussprodukten wurde zudem mit der Sammlung von hochaufgelösten Rohdaten (20Hz) von diesen Stationen begonnen. Die Sammlung startete 2018 und wurde 2019 fortgeführt. Aufgrund des hohen Datenvolumens wurde ein Server an der ETH Zürich eingerichtet, auf dem auch die Rohdaten gesammelt und mit der Community geteilt werden können. Neben den Gruppen, die selbst Rohdaten beisteuern, hat mit Stand Oktober 2019 auch das ICOS Ecosystem Thematic Centre (ETC) Zugriff auf alle gesammelten Rohdaten. Das ICOS ETC verwendet die Daten, um in Zusammenarbeit mit Task 3.4 verschiedene Ansätze zur Generierung von qualitativ hochwertigen Flussprodukten zu testen. Mit den Rohdaten werden unter anderem die zuvor definierten neun Fragestellungen untersucht, um eine korrekte Berechnung des Ökosystem-Austauschs von CH₄ und N₂O durchführen zu können:

- Hoch-frequente Daten: (1) Synchronization, (2) Time-lag estimation, (3) Random uncertainty, (4) Detrending and spectral correction, (5) H₂O pressure line broadening;
- Hoch-frequente und/oder halbstündliche Daten: (6) Despiking, (7) u* filtering, (8) gap-filling, (9) uncertainty estimation.

Um diese Fragestellungen (v.a. 7 und 8) bearbeiten zu können, wurde die Entwicklung der neuartigen Fluss-Analyse-App «AMP» intensiviert. «AMP» erlaubt das schnelle Testen verschiedener Hypothesen in einer benutzerfreundlichen Programmoberfläche. «AMP» ist so konzipiert, dass Tests für die Fragestellungen (7) und (8) schnell und vollständig reproduzierbar durchgeführt werden können. Obwohl «AMP» mit Hinblick auf die in RINGO nötigen Tests programmiert wurde, können die in der Anwendung berücksichtigten Methoden (z.B. gap-filling, Ausreisser-Entfernung) mit jeder

Art von Zeitreihendaten genutzt werden. Die Anwendung wird daher auch für alle Interessierten ausserhalb von RINGO frei zugänglich unter einer open source Lizenz veröffentlicht werden.

Der derzeitige Wissenstand über non-CO₂-Flussmessungen wurde unter Beteiligung der ETH Zürich in der Publikation "*Standardisation of eddy-covariance flux measurements of methane and nitrous oxide*" von Nemitz et al. (2018) in der Zeitschrift *International Agrophysics* zusammengefasst und im November 2018 publiziert (<https://doi.org/10.1515/intag-2017-0042>). Die Veröffentlichung dieser Publikation ist eine wichtige Grundlage für die weitere Forschung innerhalb von RINGO Task 3.4.

Erreichte Meilensteine

Frühling 2018: Sammlung von CH₄- und N₂O-Flussdaten auf ETH Server

Jun. 2018: Erste Version des Python Codes zum gap-filling von non-CO₂ Flussdaten wurde unter einer open-source Lizenz (GPL-3.0) veröffentlicht, um internationale Kooperationen zu vereinfachen (https://github.com/amp335/gapfilling_reichstein). Der Code ist Bestandteil der Fluss-Analyse-App AMP.

Nov. 2018: Publikation des für RINGO Task 3.4 relevanten ICOS-Protokolls «*Eddy Covariance Measurements of CH₄ and N₂O*» im Journal *International Agrophysics*. Titel der Publikation: "*Standardisation of eddy-covariance flux measurements of methane and nitrous oxide*"

März 2019: Task 3.4 Treffen am Ringo Annual Scientific Meeting in Southampton, UK. Diskussion über den derzeitigen non-CO₂ Wissensstand, das weitere Vorgehen und die Datensammlung.

Apr. 2019: Intensivierung der Entwicklung der Fluss-Analyse App unter dem Namen „AMP“

Frühling/ Sommer 2019: Detaillierte Tests zu den Fragestellungen (7) und (8). Datengrundlage bildeten die Flussdaten der Schweizer Messstationen Davos, Oensingen und Chamau.

Aug. 2019: Weitere Benutzer erhalten Zugriff auf „AMP“

Sep. 2019: Vorkehrungen für das offene Teilen von „AMP“ mit der Community (stand-alone App, Dokumentation, Version Control, Repository unter <https://gitlab.ethz.ch>). Weitere Gruppen bekommen Zugriff auf das App.

Okt. 2019: ICOS ETC hat Zugriff auf Rohdatenserver.

Nov. 2019: Telekonferenz Task 3.4

Weiteres Vorgehen

Über den Winter 2019/2020 sind weitere Treffen geplant, um die Fragestellungen (7) und (8) zu untersuchen, auch in Zusammenarbeit mit ICOS ETC. Die Anwendung «AMP» und der Quellcode werden veröffentlicht. Gleichzeitig wird «AMP» laufend erweitert und von mehreren Gruppen getestet. Im März 2020 findet das nächste RINGO-Treffen statt. Basierend auf der Publikation wird zudem ein ICOS Instruction Document vorbereitet werden, das den derzeitigen Wissenstand in Kurzform darlegt und ICOS Stationen Hilfestellung bei Flussmessungen von nicht-CO₂ Gasen leistet.

Zürich, 26.11.2019



Prof. Dr. Nina Buchmann
Hauptantragstellerin