



Entwicklung und Validierung eines Systems zur Messung der räumlichen Verteilung atmosphärischer Spurengase

Zur Begutachtung eingereichter VIP-Antrag



Mike Schwank

Mike
Schwank



M. Böhm

Michael
Böhm



Löhmannsröben

Hans-Gerd
Löhmannsröben



Oliver Henneberg

Oliver
Henneberg



Michael Sommer

Michael
Sommer



Jürgen Augustin

Jürgen
Augustin



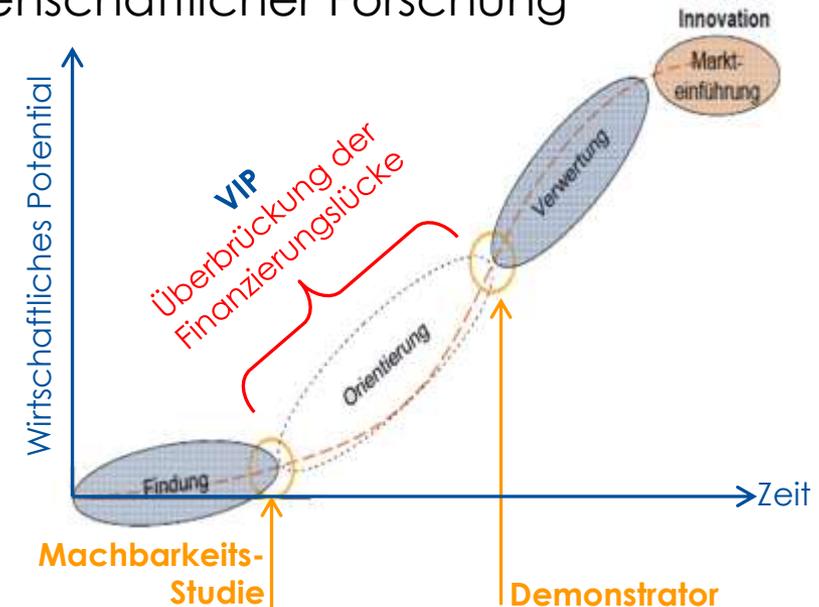


Fördermaßnahme VIP des BMBF

Validierung des InnovationsPotentials wissenschaftlicher Forschung

Förderrahmen:

- Finanzierung wissenschaftlicher Projekte (Personal-, Sachmittel)
- Förderdauer: 3 Jahre
Pro Jahr $\leq 500'000\text{€}$
Total $\leq 1500'000\text{€}$
- Antragstellung bis: 30. Juni 2012
- <http://www.validierungsfoerderung.de/>



Eingereichter VIP-Antrag:

- Entwicklung eines NIR-Transmissions-Spektrometers in Kombination mit Tomographie auf der Feldskala (**TomSpek**)
- Demonstratoren in TERENO-NO Gebiet (CarboZALF-D,...)

Begutachtung / Entscheid bis: April 2012
Zwei feldtaugliche Demonstratoren: + 2 Jahre → April 2014



TomSpek-System

Was soll das System können?

- Konzentrationsmessungen atmosphärischer Spurengase mit räumlicher Auflösung in Bodennähe (Feldskala, störungsfrei, langfristig, isotopen-spezifisch)

Bedeutung für Umweltforschung

- Schliessung methodischer Lücke
- Quellen- / Senken- Funktion von Ökosystemen bezüglich klimarelevanter Spurengase

Prinzip

- Kombination von **Tom**ographie mit NIR-Transmissions-**Spek**troscopie langer atmosphärischer Strecken

Leistungs-Zahlen für « Machbarkeitsstudie »

- Fläche mit: $d \approx 100 \text{ m}$
- Gase: $\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, ^{12}\text{CO}_2, ^{13}\text{CO}_2, \text{CH}_4, \dots$
- Empfindlichkeit: $\approx 1\% \text{ der atm. Konz.}$
- Auflösung: $\approx 1 \text{ m}^2$



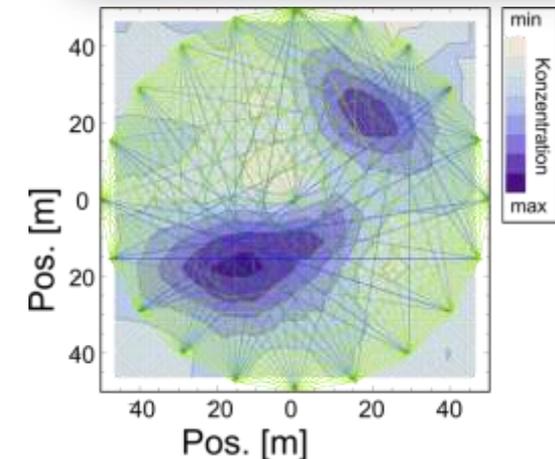
EC-System:

- Fläche
- Rauheit
- Wind
- Model
- + Flüsse



Haubenmethode:

- Punkt
- Störung
- + Flüsse





« Machbarkeitsstudie » Strahlführung

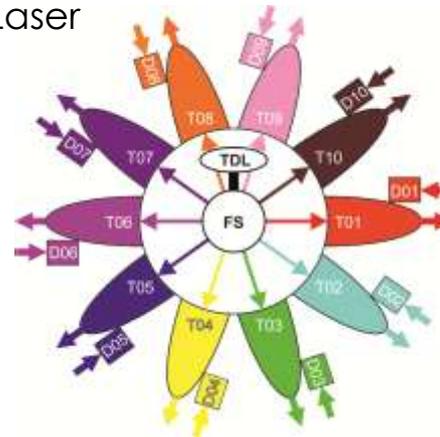
Feld-Aufbau

- RR = Retroreflektoren
- DS = Drehspiegel



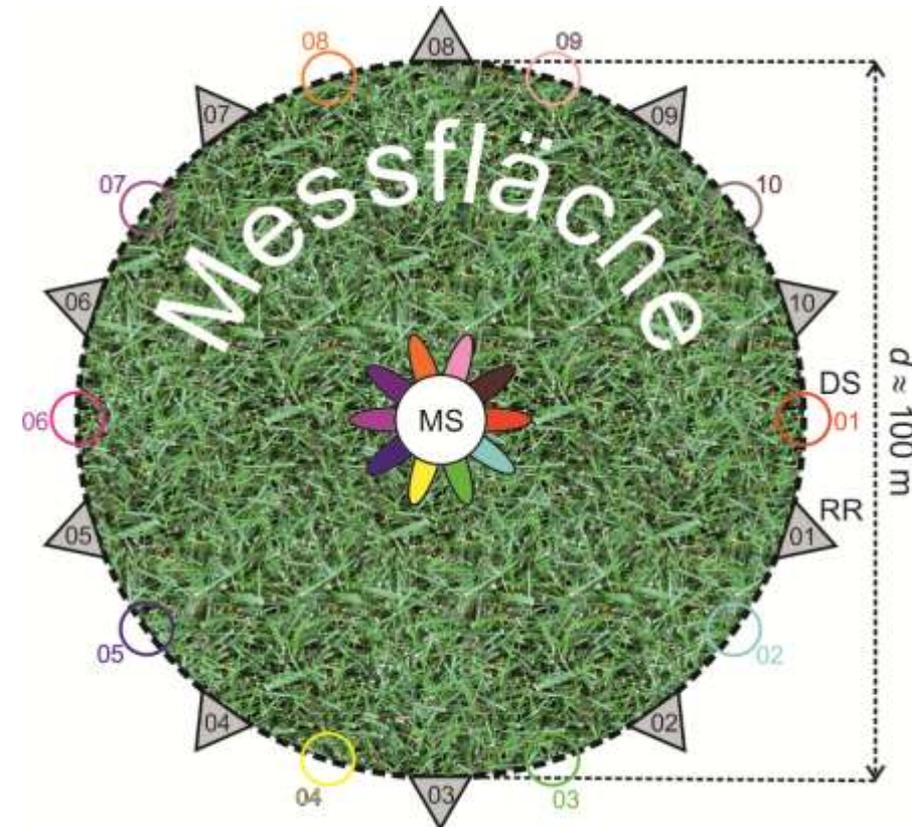
- MS = Multi-Pfad Spektrometer

- TDL = Tunable Diode Laser
- FS = Faser-Splitter
- T = Teleskop
- D = Detektor



Beispiel für

- MS mit 10 Kanälen
- 10 × DS
- 10 × RR





« Machbarkeitsstudie » Strahlführung

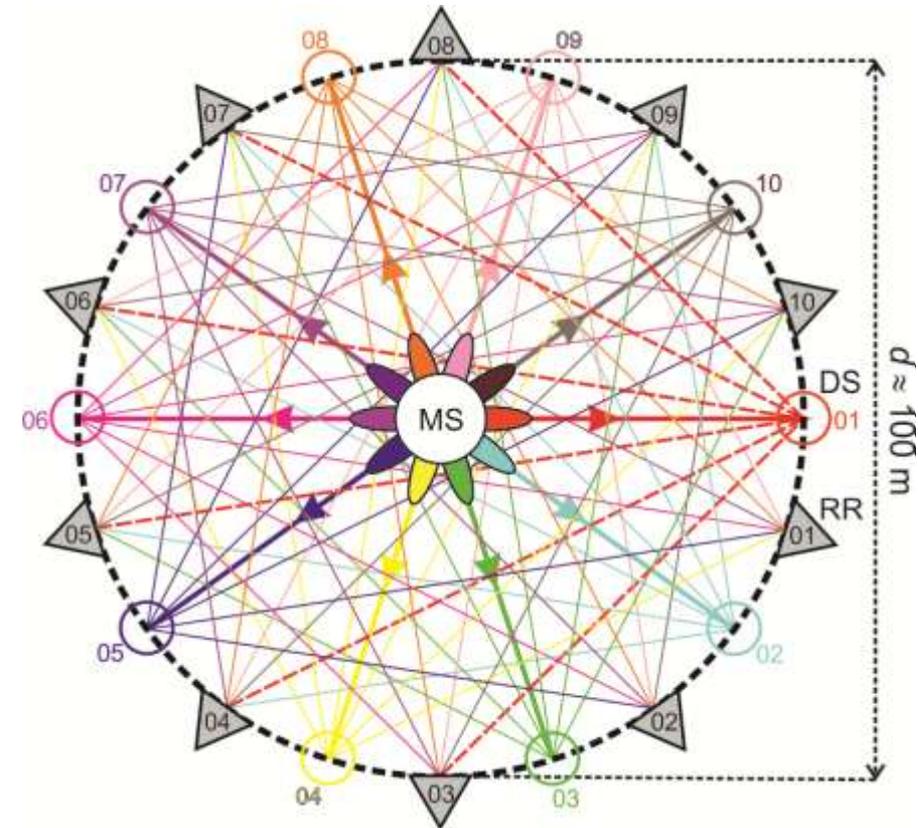
Feld-Aufbau

- RR = RetroReflektoren 
- DS = DrehSpiegel 

- Mehrere Messpfade **gleichzeitig**
(MS → DS)
- **DS01** erzeugt **einen Strahlenfächer**
(MS → **DS01** → RR03-RR08 → **DS01** → MS)
- **Jeder DSxx** erzeugt **einen Strahlenfächer**
(MS → DSxx → RRYy → DSxx → MS)
- Strahlen für die NIR-Transmissionsspektren
während eines Scans gemessen werden
(ca. 1 Sekunde pro DS-Position ⇒ 6 Sekunden)

Beispiel für

- MS mit 10 Kanälen
- 10 × DS
- 10 × RR





« Machbarkeitsstudie » Trans. Spektroskopie atm. Pfade (Bsp. CO₂):

- Welche Spektralbereiche eignen sich um molekülspezifische Konzentrationen aus gemessenen Transmissionspektren langer atmosphärischer Messpfade zu bestimmen?
- Wie sensitiv reagieren die spektralen Transmissivitäten auf Konzentrations- und Temperaturänderungen?
- Wie lassen sich Einflüsse von Druck, Temperatur und Konzentration auf gemessene spektrale Transmissionen separieren?

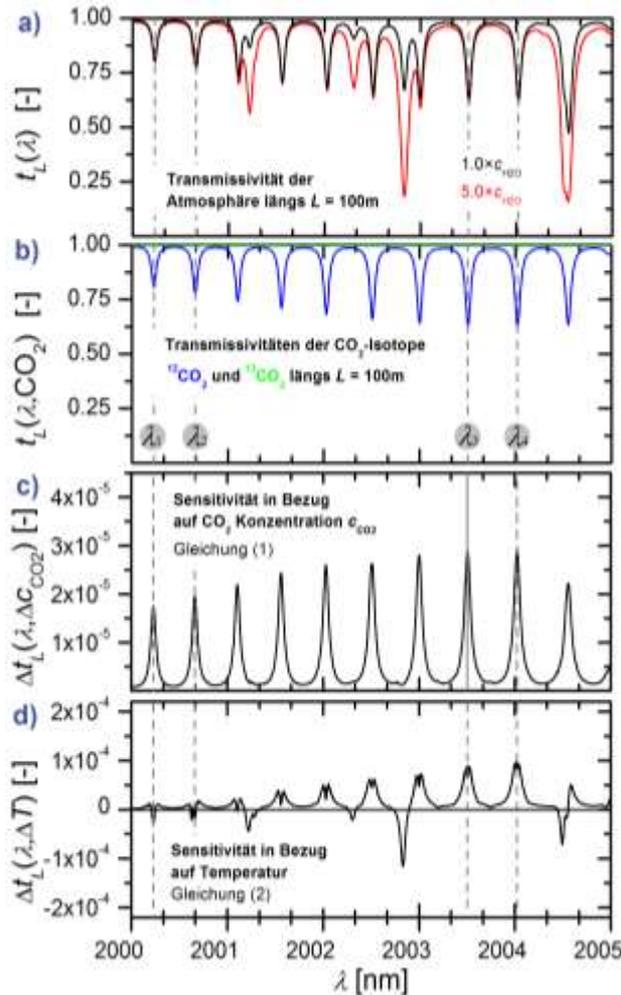
Modellrechnungen für $L = 100$ m lange Strecken durch die US-Standardatmosphäre auf Meereshöhe.
($p = 1013$ mbar, $T = 15.2^\circ\text{C}$)

Gas M	Volumetrische Konzentration c_M
N ₂	78,1 %
O ₂	20,9 %
H ₂ O	$7,75 \cdot 10^3$ ppm
CO ₂	330 ppm
CH ₄	1,7 ppm
N ₂ O	0,32 ppm
CO	0,15 ppm



« Machbarkeitsstudie » Trans. Spektroskopie atm. Pfade (Bsp. CO₂):

CO₂ (2000nm ≤ λ ≤ 2005nm)



Modellierte Transmissionen durch 100 m lange atm. Strecke

a) Totale Transmission $t_L(\lambda)$ für zwei Wasserdampf-Konzentrationen ($1.0 \times c_{\text{H}_2\text{O}}$, $5.0 \times c_{\text{H}_2\text{O}}$)

⇒ **Transparent genug**

b) Ausschließlich durch $^{12}\text{CO}_2$ und $^{13}\text{CO}_2$ bedingte Absorptionen $t_L(\lambda, ^{12}\text{CO}_2)$ resp. $t_L(\lambda, ^{13}\text{CO}_2)$

⇒ **Molekül-Sensitivität**

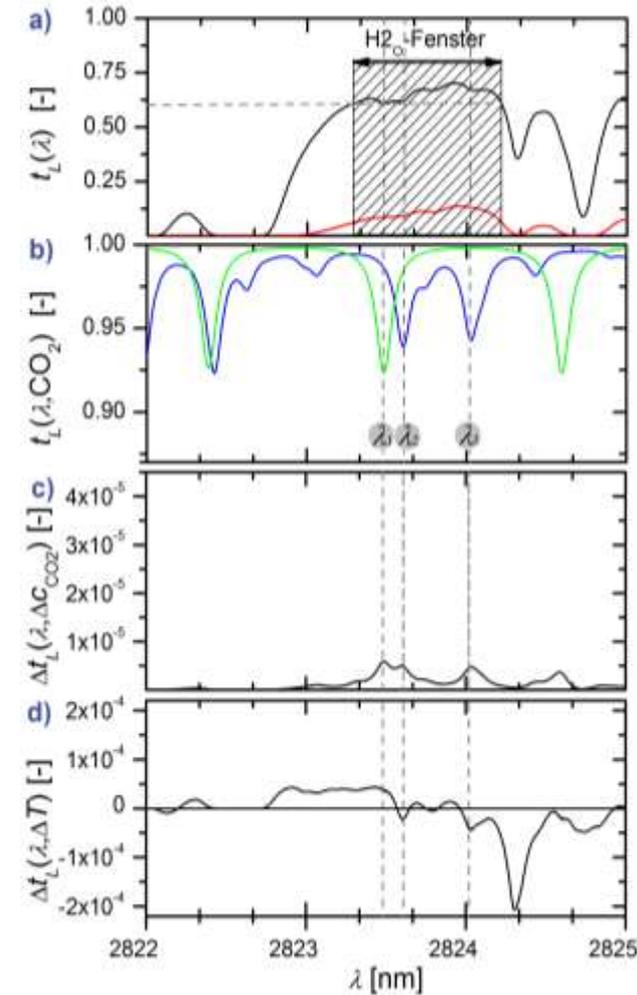
c) Sensitivität $\Delta t_L(\lambda, \Delta c_{\text{CO}_2})$ von $t_L(\lambda)$ bez. der Konzentrationsänderung $\Delta c_{\text{CO}_2} = 0.01 \times c_{\text{CO}_2} = 3.3 \text{ ppm}$ auf der Teilstrecke $\Delta L = 0.01 \times L = 1 \text{ m}$

⇒ **Messbare Änderungen (~10⁻⁵)**

d) Sensitivität $\Delta t_L(\lambda, \Delta T)$ von $t_L(\lambda)$ bez. der Temperaturänderung $\Delta T = 8 \text{ K}$ längs $\Delta L = 0.01 \times L = 1 \text{ m}$

⇒ **Linien λ mit unterschiedlichen Temperatursensitivitäten erlauben die Trennung von Temperatur- und Konzentrations-Effekten**

$^{12}\text{CO}_2/^{13}\text{CO}_2$ (2000nm ≤ λ ≤ 2005nm)





Nutzen der TomSpek-Entwicklung für TERENO:

In \approx 2 Jahren soll ein TomSpek-Demonstrator im TERENO-NO Gebiet (CarboZALF-D) installiert werden.

- Langzeit Monitoring von bodennahen Konzentrationen atmosphärischer Spurengase
- Gasaustausch zwischen Geosphäre & Atmosphäre
- Bilanzierung des Gashaushaltes agrarwirtschaftlich genutzter Flächen und der daran gekoppelten Kohlenstoff-Bilanz von Landschaften.

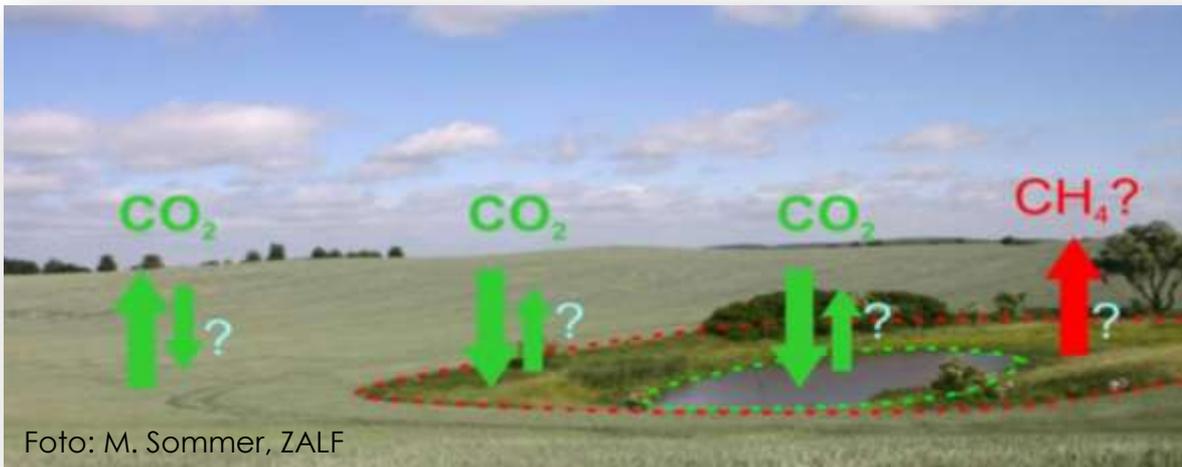


Foto: M. Sommer, ZALF

Herzlichen Dank
fürs Zuhören

Mitja Lehmann