

Experimentelle Untersuchung der IR-Strahlung von den Gasen CO₂ und Butan/Propan im Labor und Feldversuch

geschrieben von Chris Frey | 16. April 2019

Die grundsätzlichen Fragestellungen dieser Forschung sind: Kann ein Treibhausgas die Temperatur eines Körpers durch eine dabei auftretende Gegenstrahlung erhöhen?

Ist es möglich, dass es eine Sättigungsgrenze der Treibhausgaskonzentrationen gibt, bei der keine weitere Steigerung der Gegenstrahlungseffekte mehr eintreten? Ist diese Sättigungsgrenze bei CO₂ in der Atmosphäre bereits erreicht?

Die hier vorgestellten Experimente sind nur ein erster Schritt und sollen ausschließlich einem grundlegenden Wissensgewinn dienen.

Bei den Versuchen wurde das Prinzip der Vordergrund- und Hintergrundstrahlung zugrunde gelegt (M. Schnell, Experimentelle-Verifikation-des-Treibhauseffektes hier).

Nach diesem Prinzip kann eine Hintergrundstrahlung die Wirkung einer

Vordergrundstrahlung vollständig überlagern, wenn beide die gleichen Wellenlängen nutzen und hier die gleiche Strahlungsdichte besitzen. Aus diesem Grunde sind Messungen des Treibhauseffektes nur vor einem kälteren Hintergrund möglich. Deswegen hatten die untersuchten Gase eine höhere Temperatur als der Hintergrund, der durch eine Eiswasserschale bzw. einen wolkenfreien Himmel gebildet wurde.

Hatten bei Kontrollversuchen Gas und Hintergrund die gleiche Temperatur, wurde auch tatsächlich kein messbarer Effekt festgestellt.

Der Messsensor

Um festzustellen, ob ein Körper durch ein Treibhausgas erwärmt wird, musste ein Messsensor entwickelt werden, welcher nur auf Strahlungseffekte reagiert. Umwelteinflüsse bzw. Wärmetransporte anderer Art, mussten möglichst verhindert werden. Gleichzeitig wurde ein Sensor-Aufbau angestrebt, welcher auch im Feldversuch möglichst genaue Aufzeichnungen liefert, um vergleichbare Ergebnisse, mit dem Laborversuch, zu erzielen.

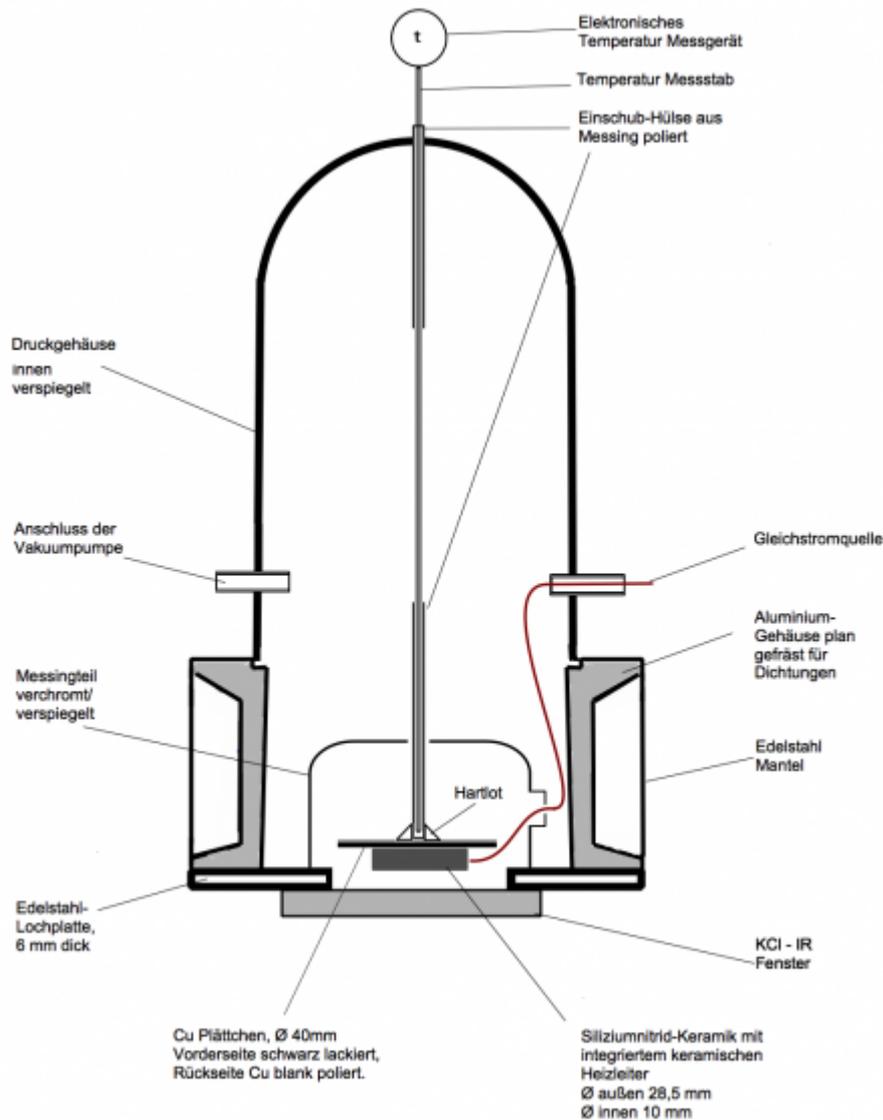


Abbildung 1 Messsensor

Als abstrahlender Körper im Messsensor wurde ein einseitig schwarz beschichtetes Cu-Plättchen gefertigt. Die geringe Wandstärke von 1 mm mit gleichzeitig guter Wärmeleitfähigkeit des Materials, wirkt sich positiv auf schnelle Reaktionszeiten aus (< 10 Sek.). Dieses Plättchen wurde mit einer Klammer und Wärmeleitpaste zusätzlich mit einem Gleichstrom Heizelement (Vollkeramisches Heizelement aus Siliziumnitrid Typ Hi, 7,5 Ohm bei Raumtemperatur) verbunden. Dieses Heizelement wurde jedoch bei den hier vorgestellten Versuchen noch nicht in Betrieb genommen und soll erst bei zukünftigen Experimenten verwendet werden.

Damit der abstrahlende Körper möglichst nur in die gewünschte Richtung (zum IR Fenster) strahlt, wurde die Rückseite des Cu-Körpers poliert. Ein verchromtes Messingteil, sowie die verspiegelte Innenseite des Druckgehäuses verhindern weitgehend Abstrahlung in die falsche Richtung.

Damit die Temperatur des Cu-Plättchens ermittelt werden kann, wurde auf der Rückseite ein poliertes Messingröhrchen aufgelötet. Dieses wird als Einschub für den Messstab des elektronischen Thermometers verwendet und mit einer Wärmeleitpaste gefüllt.



Abbildung 2 Beschichtetes Cu Plättchen

Der gesamte Messsensor wird für den Messbetrieb evakuiert. Damit ist Konvektion im Messsensor verhindert, als auch der Einfluss der Wärmeleitfähigkeiten der gemessenen Gase. Für die Temperaturerfassung kam ein Handmessgerät XP100 von Lufft® mit dem Temperaturfühler PT100 zum Einsatz.

Der Versuchsaufbau im Laborbetrieb/Funktionsprinzip

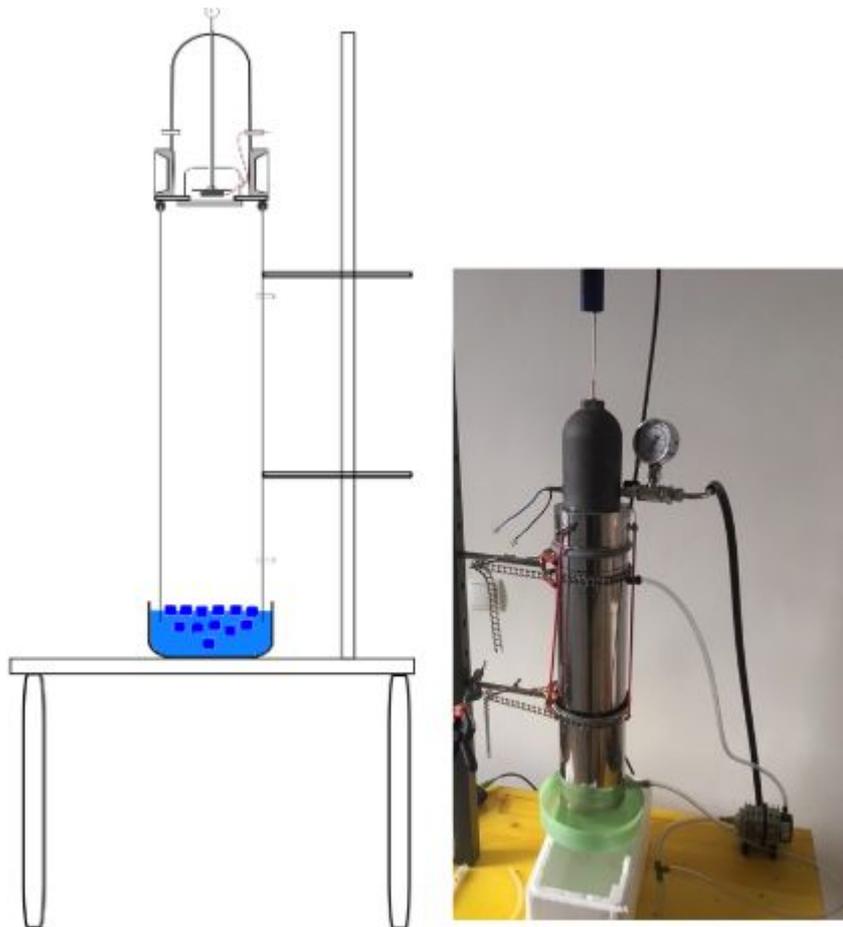


Abbildung 3 Laborbetrieb des Messensors im Schema und Fotografie

Der Messsensor wird für den Laborbetrieb, mittels Dichtung, gasdicht auf ein poliertes Edelstahlrohr fixiert. Das Edelstahlrohr wird auf der anderen Öffnung in ein Gefäß mit Eiswasser getaucht, um es ebenso gasdicht zu verschließen.

Durch das IR Fenster hat der abstrahlende Körper im Messensor nun eine optische Verbindung mit den Eiswürfeln im Eiswasser (Eis absorbiert nahezu 100% der Infrarotstrahlung und bleibt im Wasser konstant bei 0 °C).

Das Edelstahlrohr (Durchmesser 120 mm x 500 mm) hat zwei seitliche, verschließbare Öffnungen. Diese dienen zur Befüllung des Rohres mit einem Gas (Entlüftungs- und Befüllstutzen). Die polierte Oberfläche des Rohres hat einen hohen Reflektionsgrad und damit absorptionsarme Eigenschaften.

Mit diesem Aufbau können Infrarot aktive Gase geprüft werden, in wie weit diese, den Strahlungsfluss beeinflussen können

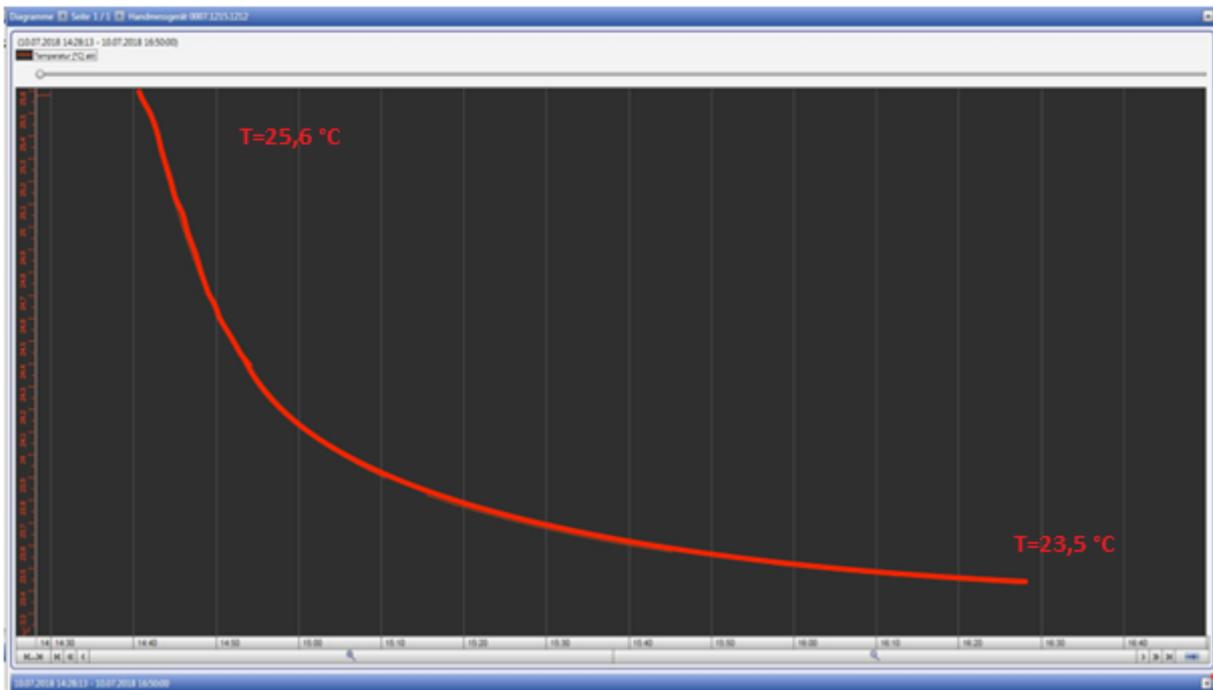


Abbildung 4 Reaktion des Messensors auf Eisoberfläche

Wie in der Abbildung 4 zu sehen ist, stellt sich nach dem Platzieren des Eiswassers ein niedrigeres Temperaturniveau des Messensors ein.

Diese Abkühlung wird durch IR-Abstrahlung verursacht, bis sich ein Gleichgewicht zwischen IR-Strahlung und Wärmezufuhr aus der unmittelbaren Umgebung eingestellt hat.

Messergebnisse des Versuchsaufbaus im Laborbetrieb

Messergebnisse Argon

Um festzustellen, ob die Änderung der Wärmeleitfähigkeit der eingelassenen Gase einen Einfluss auf den Messsensor hat, wurde Argon als nicht IR aktives Gas verwendet.

Bei der Messung mit Argon wurde kein Einfluss auf den Verlauf der Temperaturkurve festgestellt. Es ist davon auszugehen, dass der Messsensor nicht von unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten der Prüf-Gase beeinflusst wird.

Messergebnisse CO_2

Bei der Messung von CO_2 reagierte der Messsensor durch eine unmittelbare Reaktion

auf das Einlassen des Kohlendioxids, die Abkühlung des Sensors wurde deutlich beeinflusst.

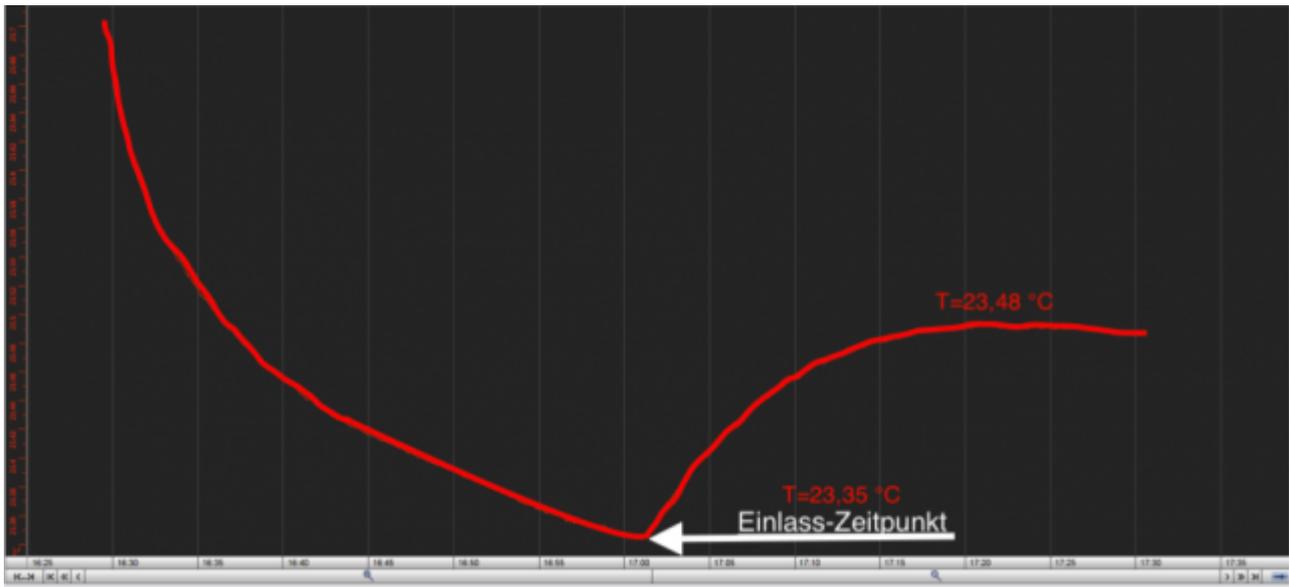


Abbildung 5 Reaktion Messsensor auf Kohlendioxid im Laborversuch

Wie in Abbildung 5 zu erkennen ist, war die Temperatur des Messensors noch in einem deutlichen Abwärtstrend. Dieser kehrte sich augenblicklich nach dem Einleiten von 0,75 L CO₂ in einen positiven um.

Messergebnisse Propan/Butan

In Abbildung 6 ist zu sehen, dass sich der Messsensor beim Einlassen von 0,75 L Propan/Butan noch stärker als beim CO₂ erwärmt.

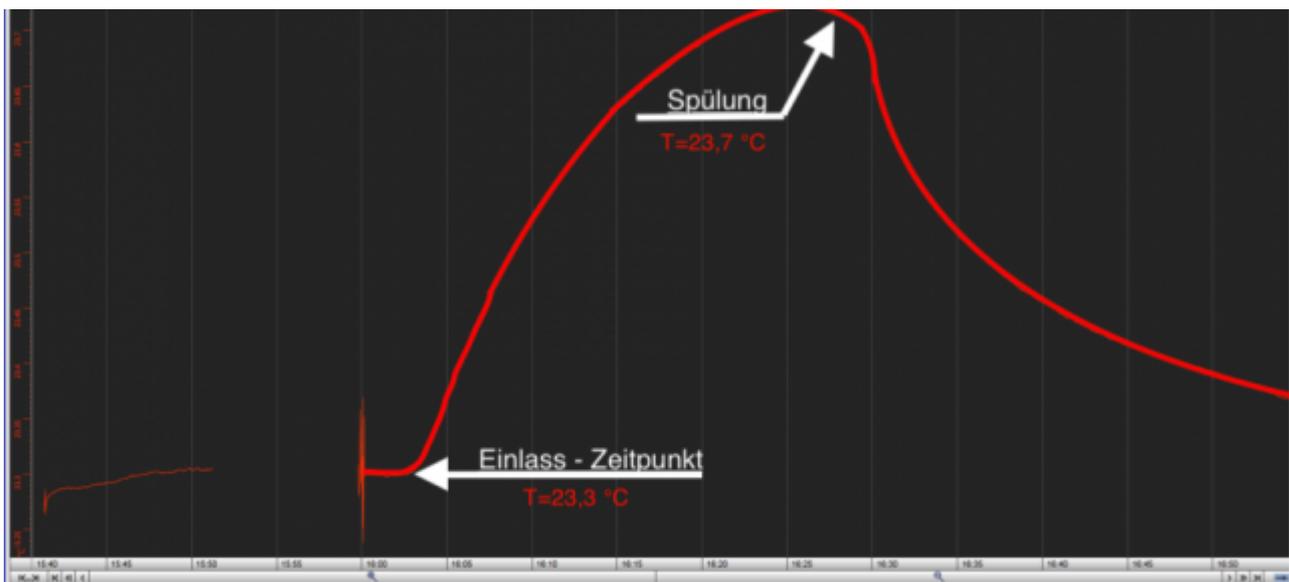


Abbildung 6 Reaktion Messsensor auf Butan/Propan im Laborversuch

Nachdem das Propan/Butan wieder aus der Messröhre durch Spülen mit Luft entfernt wurde, trat wieder eine Abkühlung des Sensors, mit der bereits bekannten Abkühlungsrate, ein.

Diskussion der Ergebnisse:

Es konnte demonstriert werden, dass die IR-aktiven Gase die Temperatur des Sensors messbar beeinflussen können. Die Wirksamkeit einer Gegenstrahlung wurde damit nachgewiesen.

Die untersuchten Gase wurden vor dem Einlassen auf die gleiche Temperatur wie die Röhre erwärmt und ohne große Druckdifferenz ($< 2 \text{ Pa}$) in das Prüfrohr eingelassen.

Gegenprobe mit IR-Kamera

Um die erhaltenen Ergebnisse mit einem anderen Messverfahren zu überprüfen, wurden die Strahlungen der untersuchten Gase mit der Wärmebildkamera der Firma Testo detektiert und auch der Versuchsaufbau variiert.

Hierbei wird die mit dem Messsensor der Testo-Kamera empfangene IR-Strahlung in eine fiktive Temperatur umgerechnet.

Verwendetes Gerät: Testo 872, Thermografie Kamera 320 x 240 Pixel, 60mK

IR Kamera Laborversuch

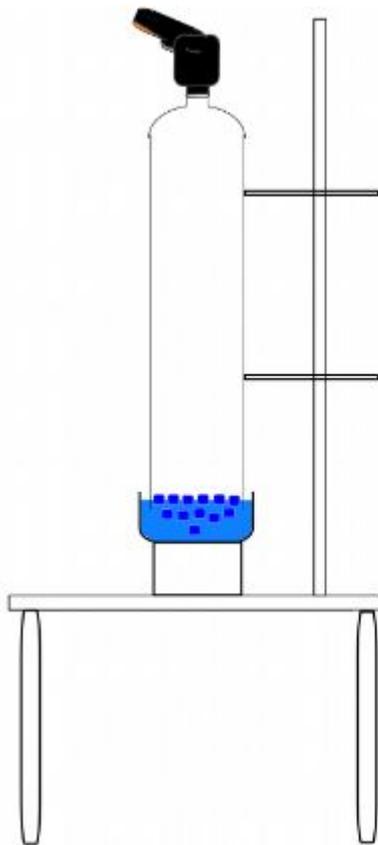


Abbildung 7 IR Kamera Laborversuch im Schema und Photographie

Bei dem Einsatz der IR-Kamera im Laborversuch blickt diese durch ein verspiegeltes gasdichtes Rohr auf den Boden mit Eiswasser und misst aus dieser Position die Temperatur des Eiswassers.

Wird nun ein Gas in die Versuchsanordnung eingelassen, kann nun direkt an der IR-Kamera

abgelesen werden, ob das zu prüfende Gas, die in den Messsensor gelangende IR-Strahlung, verstärkt, abschwächt oder unverändert lässt.

Messergebnisse des Versuchsaufbaus im Laborbetrieb

Messergebnisse Kohlendioxid:



Abbildung 8 Reaktion der IR Kamera auf Kohlendioxid im Laborversuch /
 $T_1 = -3,1 \text{ °C}$ $T_2 = -0,2 \text{ °C}$

Die Kamera gibt für das Eiswasser ohne IR-Gase eine Temperatur von $-3,1 \text{ °C}$ an. Da die Kamera nicht geeicht werden kann und ohnehin nur die

Veränderung von Interesse ist, wird dieser Wert als Startwert genommen.

Die Temperatur der Eiswasseroberfläche stieg nach Einlassen von 0,75 L Kohlendioxid unmittelbar von -3,1 °C auf -0,2 °C; also ein Temperaturanstieg von 2,9 Kelvin.

Messergebnisse Propan/Butan:



Abbildung 9 Reaktion der IR Kamera auf Propan/Butan im Laborversuch T1= -1,5 °C T2= 3,0 °C

Die angezeigte Temperatur der Eiswasseroberfläche stieg nach Einlassen von 0,75 L Propan/Butan unmittelbar von -1,5 °C auf 3 °C; also ein Temperaturanstieg von 4,5 Kelvin.

Diskussion der Ergebnisse:

Es konnte demonstriert werden, dass die IR-aktiven Gase den Strahlungsfluss messbar beeinflussen können.

Die verwendete IR-Kamera ist also in der Lage, Veränderungen der Strahlungsintensitäten welche durch die untersuchten Gase verursacht werden zu detektieren.

Auch hier wurden die untersuchten Gase vor dem Einlassen auf die gleiche Temperatur wie die Röhre erwärmt und ohne große Druckdifferenz (< 2 Pa) in das Prüfrohr eingelassen.

Der Versuchsaufbau im Feldversuch/Funktionsprinzip

Um den Ansatz der Vorder- und Hintergrundstrahler weiter zu verfolgen, wurde nach den Laborversuchen der klare Nachthimmel anstatt der Eiswürfel als „Hintergrundstrahler“ herangezogen.

Die Versuche wurden bei 20 °C auf 800 m Seehöhe und ca. 75% rel. Luftfeuchte durchgeführt.

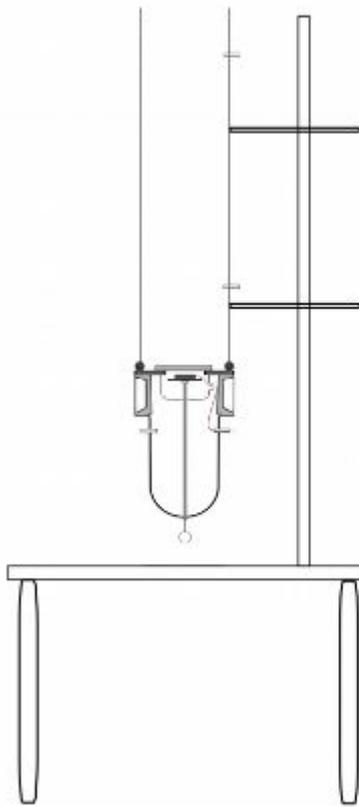


Abbildung 10 Feldbetrieb des Messensors im Schema und Photographie

Der Messsensor wird für den Feldversuch, mittels Dichtung, gasdicht auf ein poliertes Edelstahlrohr fixiert. Die Messöffnung blickt nach oben. Das am oberen Ende offene Edelstahlrohr wird nahezu senkrecht dem klaren Himmel entgegen gerichtet. Dabei darf kein Objekt der Umgebung höher als das Edelstahlrohr sein, da sonst IR Strahlung aus der Umgebung in das Edelstahlrohr eingestrahlt wird. Die Messungen werden bei Dunkelheit durchgeführt, um eine Bestrahlung durch die Sonne auszuschließen.

Durch die polierte Oberfläche des Rohres (hoher Reflektionsgrad) hat der abstrahlende Körper im Messsensor nun eine optische Verbindung mit dem Himmel.

Das Edelstahlrohr hat zwei seitliche, verschließbare Öffnungen. Diese dienen zur Befüllung des Rohres mit einem Gas. Mit diesem Aufbau kann somit geprüft werden, ob eine zusätzliche Menge an IR-aktiven Gasen die Gegenstrahlung erhöht und die Abkühlungsrate des Sensors beeinflusst

Um möglichst den Gasverlust an die Umgebung durch das offene Rohr zu minimieren,

kann eine Rohrverlängerung eingesetzt werden. Ebenso sollten nur Prüf-Gase verwendet werden, die deutlich schwerer als die Umgebungsluft sind.

Messergebnisse CO₂

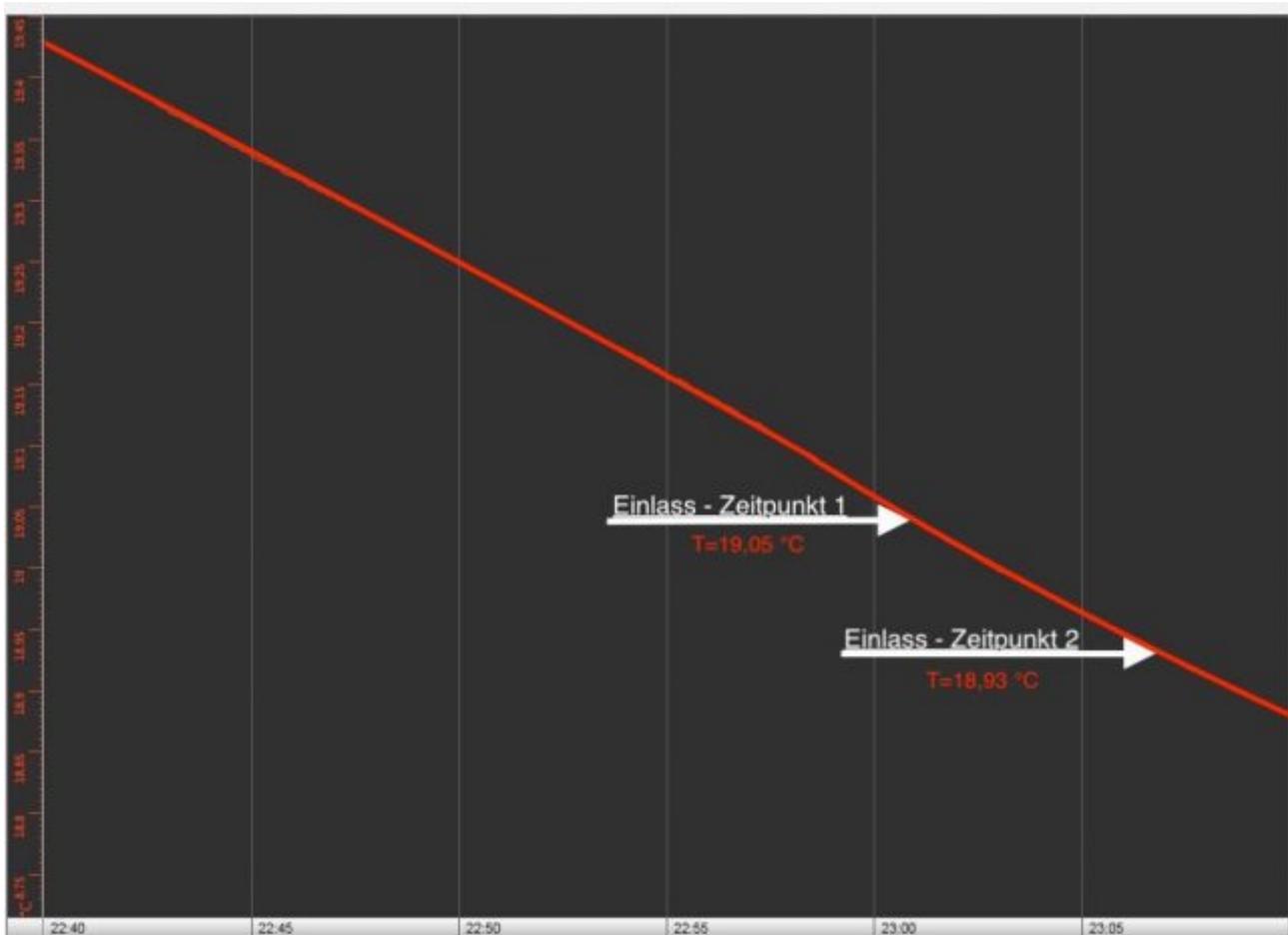


Abbildung 11 Reaktion des Messsensors im Feldbetrieb auf Kohlendioxid
3.8.2018 / 23:02 + 23:06

Wie in Abbildung 11 zu sehen, konnte keinerlei Beeinflussung des Temperaturverlaufes durch Einlassen von 0,75 L Kohlendioxid in das Messrohr festgestellt werden, auch ein nochmaliges Einlassen von weiteren 0,75 L Kohlendioxid brachte keinerlei Beeinflussung des Messsensors.

Messergebnisse Propan/Butan

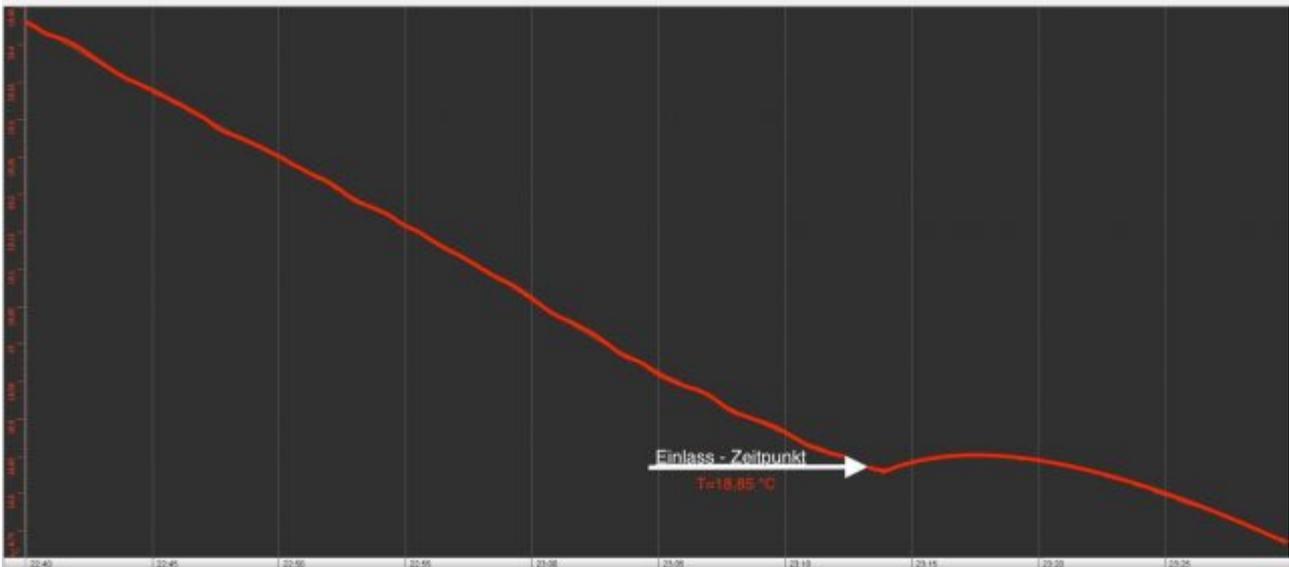


Abbildung 12 Reaktion des Messsensors im Feldbetrieb auf Butan/Propan
3.8.2018 / 23:13

Später, aber im selben Messzyklus, wurde auch Propan/Butan in das Messrohr eingelassen, siehe Abbildung 12.

Unmittelbar nach dem Einlassen von 0,75 L Propan/Butan wurde der Temperaturverlauf messbar beeinflusst.

Diskussion der Ergebnisse

Bei diesem Feldversuch konnte, im Gegensatz zum Laborversuch, keinerlei Reaktion des Messsensors auf das Einlassen von Kohlendioxid in das Prüf-Rohr beobachtet werden.

Bei Propan/Butan erfolgte unmittelbar nach ihrer Zugabe, sowohl im Laborversuch als auch im Feldversuch, eine Erwärmung des Sensors.

Weitergehende Erläuterungen der unterschiedlichen Reaktionen der IR-Gase finden sich im Kapitel „IR Kamera Feldversuch“.

Bild: Joujou / pixelio.de

IR Kamera Feldversuch

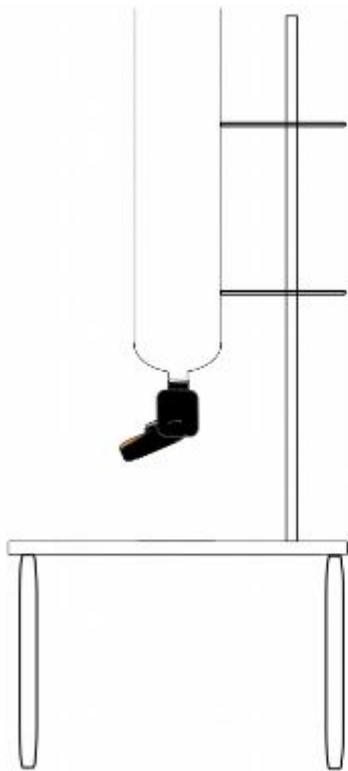


Abbildung 13 IR Kamera Feldversuch im Schema und Photographie

Bei dem Einsatz der IR-Kamera im Feldversuch blickt diese durch ein verspiegeltes gasdichtes Rohr direkt in den wolkenfreien Nachthimmel. Die Erd- Atmosphäre strahlt gemäß ihrer Gaseigenschaften und Temperatur in die IR-Kamera und diese ordnet der (Gegen)Strahlung eine Temperatur zu.

Wird nun ein Prüf-Gas in die Versuchsanordnung eingelassen, kann nun direkt an der IR-Kamera abgelesen werden, ob das zu prüfende Gas, die in den Messsensor gelangende IR-Strahlung (in diesem Fall die atmosphärische Gegenstrahlung), verstärkt, abschwächt oder unverändert lässt.

Messergebnisse des Versuchsaufbaus im Feldversuch

Messergebnisse Kohlendioxid:



Abbildung 14 Reaktion der IR Kamera im Feldversuch auf Kohlendioxid: T1= -35,8 °C, T2= -35,7 °C

Beim Einlassen von 0,75 L Kohlendioxid wurde keine signifikante Änderung der Temperatur festgestellt. Der angezeigte Unterschied von 0,1 K liegt innerhalb der Messgenauigkeit der IR-Kamera.

Messergebnisse Propan/Butan:



Abbildung 15 Reaktion der IR Kamera im Feldversuch auf Propan/Butan: T1 = -36,5 °C, T2 = -19,4 °C

Nach Einlassen von 0,75 L Propan/Butan-Gases wurde ein Temperaturanstieg von rund 17 Kelvin festgestellt!

Diskussion der Ergebnisse:

Propan/Butan sind nur in sehr kleinen Spuren in der Atmosphäre vorhanden und Ihre Absorptionsbanden sind bei rund 3 bzw. 7 μm teilweise von der Wasserdampf-Strahlung und vom atmosphärischen Fenster (8 – 13 μm) betroffen. Die Hintergrundstrahlung des wolkenfreien Himmels kann die Strahlung von Propan/Butan nicht vollständig überlagern. Die Strahlung des viel wärmeren Propan/Butans in der Röhre verursachte deswegen einen deutlichen Erwärmungseffekt bzw. eine Zunahme der Gegenstrahlung.

CO₂ ist mit 400 ppm ein relevanter Bestandteil der Atmosphäre. Da seine Strahlung schon nach wenigen 100 m gesättigt ist (Lit. M. Schnell, siehe Einleitung), hat das atmosphärische CO₂ auch keinen signifikanten Temperatur-Nachteil gegenüber dem CO₂ in der Röhre. Die atmosphärische CO₂-Strahlung überlagert hier vollständig die CO₂-Strahlung in der Röhre, so dass eine Temperatur-Erhöhung nicht feststellbar war.

Die beiden Versuche mit den IR-aktiven Gasen CO₂ und Propan/Butan sind eine experimentelle Bestätigung des Prinzips der Vorder- und Hintergrundstrahlung.

Drüber hinaus sollte mit den CO₂-Versuchen auch der Frage nachgegangen werden, ob die atmosphärische CO₂-Strahlung bei einer Konzentration von 400 ppm bereits gesättigt ist. Die Ergebnisse sprechen für diese Aussage, allerdings muss man auch die einfache Versuchsdurchführung und die geringe Empfindlichkeit der Detektoren berücksichtigen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Nachweis eines geringen CO₂-Effektes an begrenzten Möglichkeiten der Messsysteme gescheitert ist.

Geplante Versuchsreihen:

Die Feldversuche wurden bis dato in Sommernächten durchgeführt, welche eine feuchte Luft aufwiesen (75% relative Luftfeuchtigkeit). Daher sind nun im Winter klare und trockene Nächte für weitere Versuchsreihen angestrebt.

Ebenso wird in der laufenden Arbeit die Sensitivität des Messensors überprüft, da eine Detektion der Gegenstrahlung im sehr kleinen Leistungsbereich liegt.

Als weiteres „Treibhausgas“ soll auch Methan untersucht werden.