

Dies ist der Titel der  
wissenschaftlichen Arbeit, kann ruhig  
auch etwas länger sein

von Tim Taylor  
Jennifer Lawrence

**Diese Arbeit wurde vorgelegt am Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung**

- 1. Prüfer Prof. Dr.-Ing Reinhold Kneer
- 2. Prüfer Prüfer Nummer 2

---

„Dies ist der Titel der wissenschaftlichen Arbeit, kann ruhig auch etwas  
ler sein“ (Bachelorarbeit)

vorgelegt am 18. November 2015 von

Tim Taylor, Matrikelnummer: 123456

Jennifer Lawrence, Matrikelnummer: 654321

betreut durch Dipl.-Ing. Max Mustermann

RWTH Aachen University  
Lehrstuhl für We- und Stoffübertragung  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Kneer  
Augustinerbach 6  
52056 Aachen  
Telefax 0241/80-95400  
Telefon 0241/80-92143  
[www.wsa.rwth-aachen.de](http://www.wsa.rwth-aachen.de)  
[info@wsa.rwth-aachen.de](mailto:info@wsa.rwth-aachen.de)

---

# Selbstständigkeitserklärung

Ich/Wir erkläre/n hiermit, dass ich/wir die vorliegende Arbeit, bis auf die vom Betreuer gegebene Hilfestellung, selbstständig verfasst und keine anderen, als die im Literaturverzeichnis aufgeführten Quellen verwendet habe/n. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß Quellen entnommen wurden, habe/n ich/wir als solche gekennzeichnet.

Aachen, 18. November 2015

---

# Zusammenfassung

**Keywords:** Geothermie, Kondensationswe, Organic Rankine Cycle, Erneuerbare Energien ä Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

---

# Abstract

**Keywords:** Geothermie, Kondensationswe, Organic Rankine Cycle, Erneuerbare Energien

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>2</b>
2.1	Der Versuchsreaktor am WSA . . . . .	2
2.2	Funktionsweise des FTIR . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Versuche</b>	<b>5</b>
3.1	Ist Zustand . . . . .	5
3.2	Optimierung des Versuchsaufbaus . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung &amp; Ausblick</b>	<b>7</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>II</b>

---

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Aufbau des Wirbelschichtreaktors . . . . .	3
2.2	Aufbau eines FTIR-Spektrometers . . . . .	4
2.3	Absorptionsspektrum von $CO_2$ in einem FTIR . . . . .	4

---

# 1 Einleitung

ä



---

## 2 Versuchsaufbau

### 2.1 Der Versuchsreaktor am WSA

Der am WSA stehende Modell-Wirbelschichtreaktor (siehe Abb.1.1) besteht aus einem Ofen in dem der Reaktor eingelassen ist. Mit Hilfe des Ofens lassen sich im Reaktor Temperaturen von bis zu 1280°C erzielen. Der Reaktor (siehe Abb. 2.1 auf der nächsten Seite) hat einen Durchmesser von  $d_i=34\text{ mm}$ . Innerhalb des Reaktors befindet sich ein keramisches Beut bestehend aus  $Al_2O_3$ , welches der Erzeugung der Wirbelschicht dient. Dem Versuchsreaktor ist ein Schaltbrett vorgeschaltet. Auf dem Schaltbrett können verschiedene Gase beliebig vermischt werden, um eine gewünschte Reaktion einstellen zu können. Im Fall der Pyrolyse wird dem Reaktor in aller Regel reiner Stickstoff zugeführt. Aber auch Kohlenstoffdioxid, Umgebungsluft, eine Kombination der Gase oder ein beliebiges anderes Gas können zusätzlich angeschlossen werden. Das Abgas wird nach dem Reaktor über beheizte Schläuche zuerst in einen Filter, zur Abscheidung möglicher Festkörper, geleitet und darauf dem FTIR zugeführt, wo es auf seine Zusammensetzung untersucht werden kann. Der Reaktor wird in einem diskontinuierlichen Batch-Betrieb mit Brennstoff versorgt. In der Regel betragen die zugeführten Mengen Brennstoff zwischen 5 und 15 mg pro Probe.

### 2.2 Funktionsweise des FTIR

Zur Messung der Verbrennungsprodukte wird ein FTIR-Spektrometer eingesetzt. Ein FTIR-Spektrometer besteht grundsätzlich aus zwei schwarzen Körpern. Der eine dient als Strahlungsquelle zur Erzeugung einer Schwarzkörperstrahlung, der andere

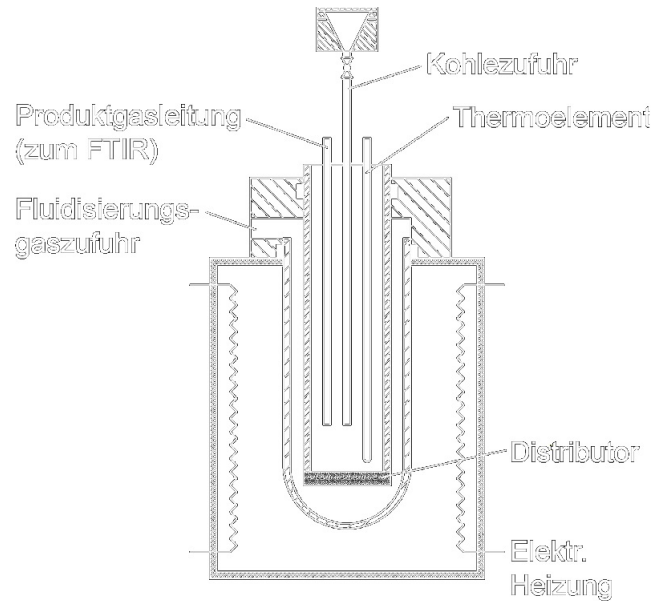


Abbildung 2.1: Aufbau des Wirbelschichtreaktors

als Strahlungsdetektor und misst die Energie der einfallenden Photonen. Zwischen der Strahlungsquelle und dem Strahlungsdetektor befinden sich noch teils bewegliche Spiegel um den Strahlengang zu führen. Dabei durchläuft die ausgesendete Strahlung das zugeführte Gas und wird von diesem teilweise absorbiert. Aufgrund der Energie der einfallenden Photonen kann geschlossen werden, in welchen Wellenlängenbereichen Absorption vorliegt. Man kann auf diese Weise Rückschlüsse über die Zusammensetzung des Gases ziehen, da jedes Gas über andere Absorptionseigenschaften verfügt. So ist  $\text{CO}_2$  beispielsweise als Treibhausgas bekannt, da gerade die Wärmestrahlung im Bereich von  $4,17 \mu\text{m}$  bis  $4,35 \mu\text{m}$  von  $\text{CO}_2$  sehr stark absorbiert wird (siehe 2.3 auf der nächsten Seite). Andere Gase absorbieren andere Wellenlängen und auch mit unterschiedlicher Intensität.

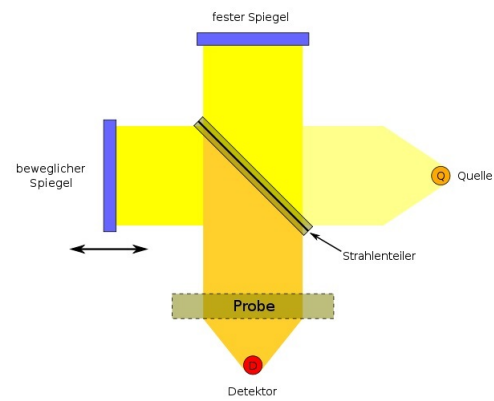


Abbildung 2.2: Aufbau eines FTIR-Spektrometers

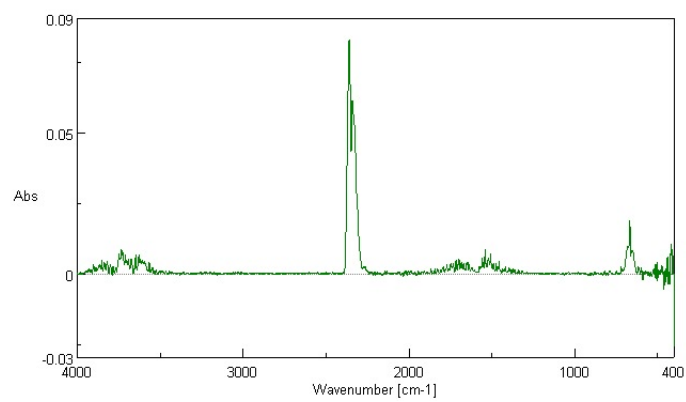


Abbildung 2.3: Absorptionsspektrum von  $\text{CO}_2$  in einem FTIR

---

## 3 Versuche

### 3.1 Ist Zustand

Im Moment werden die Pyrolysegase unter kontinuierlichem Fluss vom FTIR gemessen. Da die Pyrolyseprozesse jedoch sehr schnell von statten gehen und die Probengröße nicht größer als 15mg Brennstoff ist sind nur wenige Einzelmessungen möglich, bevor die Verbrennungsgase wieder aus der Messzelle gespült werden. So führt jede Messungen zu unterschiedlichen Ergebnissen, nicht nur in der Quantität der gefundenen Zusammensetzung, was aufgrund der anfänglichen zu und anschließenden Abnahme der Verbrennungsgase in der Messzelle zu erwarten wäre, sondern auch in der Qualitativen Zusammensetzung des Gases. Da das Signal-Rausch-Verhältnis zu schlecht ist, so dass einige Spezies, welche nur in geringen Mengen vorkommen oder nur schwache absorptive Eigenschaften haben mal vom Rauschen geschluckt werden, oder aber das Rauschen fälschlicher Weise als eine Spezies interpretiert wird. Da, das Signal-Rausch-Verhältnis jedoch mit dem Faktor Wurzel aus Anzahl der Messungen verbessert wird, soll das Verbrennungsgas in der Messzelle eingefangen werden und so eine höhere Anzahl an Messungen ermöglicht werden.

### 3.2 Optimierung des Versuchsaufbaus

Um das Verbrennungsgas in der Zelle einzufangen wurde am Ein- und Ablauf der Messzelle jeweils ein manuell zu betätigender Kugelhahn angebracht. Zusätzlich wurde ein ebenfalls, per manuellem Kugelhahn zu betätigender Bypass gelegt, durch den das weiterhin strömende Gas an der Messzelle vorbei abgeführt wird. Auf diese

Weise wird ein zu starker Druckaufbau innerhalb des Reaktors, welcher zu einem Abbau des Wirbelschichtbetts führen könnte, vermieden. Ein zusätzlicher Vorteil dieses Aufbaus ist, dass der Reaktor während der Messungen bereits durchgespült wird. Mit Hilfe dieses Aufbaus wird Versucht, möglichst den Peak, der Pyrolysegase im FTIR einzufangen, um so mehrere kontinuierliche Messungen der Produkte zu ermöglichen. Auf diese Weise soll das SNR verbessert werden, so dass genauere, weniger durch Rauschen beeinflusste Messungen durchgeführt werden können.

---

## 4 Zusammenfassung & Ausblick

ä Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua (Bidini et al., 1999; Ma et al., 2008). At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

---

# Literaturverzeichnis

- Bidini, G., Desideri, U. und Maria, F. D. (1999). A single fash integrated gas turbine-geothermal power plant with non condensable gas combustion, *Geothermics*, Vol. 28, Pergamon, pp. 131–150.
- Ma, X.-H., Zhou, X.-D., Lan, Z., LI, Y.-M. und Zhang, Y. (2008). Condensation heat transfer enhancement in the presence of non-condensable gas using the interfacial effect of dropwise condensation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, pp. 1728–1737.
- National Renewable Energy Laboratory (2011). *2010 Renewable Energy Data Book*, U.S. Department of Energy.

---

# **A Anhang**



