

Jugend forscht 2015

Holzvergasung – Alternative Nutzung eines nachwachsenden Rohstoffs

Pablo Grimm

Niklas Schmidt

22. Februar 2015

Betreut durch: Herrn Bernd Jahn, Herrn Wolfgang Fliegner
Archenhold-Gymnasium, Meteum

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	3
2	Funktionsweise der Holzvergasung	4
2.1	Chemische Vorgänge	4
2.2	Zusammensetzung des Holzgases	5
2.3	Verschiedene Reaktortypen	5
3	Ökologische Betrachtung	7
3.1	Holz – Ein nachwachsender Rohstoff	7
3.2	Schadstoffe	7
4	Bau einer Holzvergaseranlage	8
4.1	Der Imbert-Vergaser	8
4.2	Aufbereitung des Gases	8
4.3	Praktische Realisierung	9
4.4	Erste Testläufe	11
4.5	Weitere Entwicklung der Anlage	12
5	Ausblick	14
6	Danksagung	15

1 Motivation

Die Versorgung mit elektrischer Energie und Wärme zählt heute zu den Grundbedürfnissen eines jeden Menschen. Doch auch heute gibt es immer noch – ob aus gesellschaftlichen, geografischen, technischen oder anderen Gründen – in vielen Regionen der Erde keine zureichende Energieversorgung.

Ziel dieses Projektes ist es, durch eine effektivere Verwertung von Holz thermische und elektrische Energie zu gewinnen. Dies lässt sich mithilfe eines Blockheizkraftwerks umsetzen. Wir werden Holzgas selbst erzeugen, auf einige seiner Eigenschaften hin untersuchen und damit im weiteren Verlauf des Projekts einen Verbrennungsmotor betreiben.

Auch der Aspekt der nachhaltigen Energieversorgung spielt in diesem Projekt eine wichtige Rolle: Holz, der Brennstoff, mit dem die Anlage betrieben wird, ist ein nachwachsender Rohstoff. Wird es nachhaltig angebaut, so kann dieser Energieträger langfristig genutzt werden, ohne der Umwelt zu schaden.

2 Funktionsweise der Holzvergasung

2.1 Chemische Vorgänge

Die Umwandlung des zugeführten Brennstoffs in Holzgas findet im Holzvergaser statt. Es handelt sich um einen sogenannten Vergasungsprozess.

Vergasen beschreibt einen chemisch-physikalischen Vorgang, bei dem ein Teil eines Feststoffs oder einer Flüssigkeit in ein gasförmiges Endprodukt überführt wird. Dies geschieht durch Erhitzung, gegebenenfalls unter einer speziellen, sauerstoffarmen Atmosphäre.

Im Gegensatz zum Verdampfen erfolgt beim Vergasen eine Aufspaltung und Neuordnung bestehender chemischer Verbindungen durch Cracken bzw. Pyrolyse und/oder Reduktion bzw. partielle Oxidation. [9]

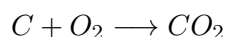
Ein wesentlicher chemischer Vorgang, der bei der Holzvergasung stattfindet, ist die Pyrolyse.

Die Pyrolyse [...] ist eine thermo-chemische Spaltung organischer Verbindungen, wobei durch hohe Temperaturen (200–900°C) ein Bindungsbruch innerhalb großer Moleküle in kleinere erzwungen wird. [...]

Auch beim Verkoken von Kohle und bei der Holzkohle-Herstellung bzw. Holzvergasung finden Pyrolysevorgänge statt, neben Koks bzw. Holzkohle entsteht brennbares Gas und Teer. [8]

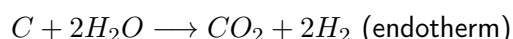
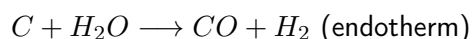
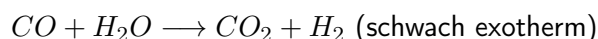
Der hier anfallende Teer ist lediglich ein Zwischenprodukt. Durch weitere Vorgänge wird auch er umgewandelt.

Oxidation



Diese exotherme Reaktion ermöglicht im Wesentlichen alle folgenden endothermen Prozesse. Endotherme Prozesse verbrauchen Energie und kämen ohne diesen exothermen, wärmefreisetzenden Vorgang nicht zustande.

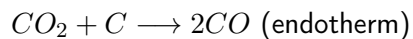
Wasserstoffbildung



Stoff oder Verbindung	Volumenanteil in %
<i>N</i>	45
<i>CO</i>	20
<i>H</i>	20
<i>CO₂</i>	13
<i>CH₄</i>	2

Tabelle 2.1: Zusammensetzung des Holzgases [5]

Reduktion



Bei dieser Reduktion entsteht wiederum aus nicht brennbarem CO_2 brennbares CO . Bei der Holzvergasung entsteht als Nebenprodukt aufgrund der hohen Temperatur z. B. Holzkohle, ähnlich wie in einem Holzkohlemeiler.

2.2 Zusammensetzung des Holzgases

Das entstehende Gasgemisch besteht aus brennbaren und nicht brennbaren Bestandteilen. Je nach Brennstoff und Herstellungsmethode variieren die genauen Volumenanteile dieser im Holzgas. Um einen groben Überblick zu erhalten, kann Tabelle 2.1 herangezogen werden.

2.3 Verschiedene Reaktortypen

Im Laufe der Zeit haben sich verschiedene Typen von Reaktoren zur Holzvergasung durchgesetzt. Dazu zählen vor allem Festbettvergaser, Wirbelschichtvergaser und Flugstromvergaser.

2.3.1 Festbettvergaser

Bei Festbettvergasern ist der Brennstoff in Form einer relativ dichten Schüttung vorhanden. Festbettvergaser können in zwei Kategorien unterteilt werden: die Gegenstrom- und die Gleichstromvergaser.

Während in Gegenstromvergasern Brennstoff und Primärluft¹ aus entgegengesetzten Richtungen aufeinander stoßen, durchlaufen sie bei Gleichstromvergasern den Reaktor in der selben Richtung. Auch ein seitliches Einleiten der Luft über Düsen ist möglich. Bewegt sich das Produktgas abwärts, so handelt es sich um einen Fallstrom-Vergaser. Hierfür ist vor allem die englischsprachige Bezeichnung „downdraft gasifier“ gebräuchlich.

¹Luft, die dem Reaktor zur Oxidation z. B. über Düsen zugeführt wird

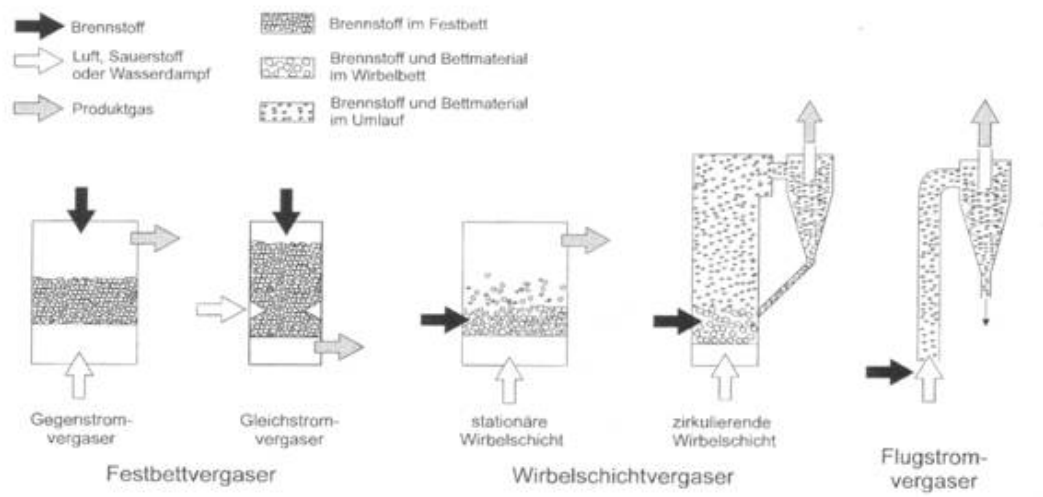


Abbildung 2.1: Verschiedene Reaktortypen [6], [1]

2.3.2 Wirbelschicht- und Flugstromvergaser

Bei diesen Reaktortypen gibt es keine dichte Anordnung des Brennmaterials. Bei Reaktoren mit stationärer Wirbelschicht wird das Brennmaterial meist von unten mit der Primärluft durchsetzt, bei Flugstromvergasern und Reaktoren mit zirkulierender Wirbelschicht wird das Brennmaterial durch entsprechende Gasströmungen im Reaktor umhergewirbelt. Durch die größere aktive Oberfläche der Brennstoffpartikel wird eine schnellere Reaktion des Brennstoffs möglich.

Diese Typen von Reaktoren werden aufgrund ihres komplexen Betriebs in größeren Anlagen verwendet.

3 Ökologische Betrachtung

3.1 Holz – Ein nachwachsender Rohstoff

Bei der Verbrennung von Holz bzw. der motorischen Verwertung von Holzgas wird kein weiteres CO_2 erzeugt, sondern nur das CO_2 , welches die Pflanzen während ihrer Lebensdauer aufgenommen haben, wieder freigesetzt.

Der Brennstoff nimmt während seines Lebensprozesses als Pflanze CO_2 auf. Aufgrund der im Vergleich zur Verbrennung von fossilen Brennstoffen relativ zügigen Reproduktion des Brennstoffes kann dieser Vorgang der Freisetzung ebendieses CO_2 s als CO_2 -neutraler Prozess betrachtet werden.

In Anbetracht der größeren zeitlichen Abstände zwischen CO_2 -Aufnahme und CO_2 -Abgabe wird bei fossilen Brennstoffen von einer CO_2 -belastenden Verbrennung gesprochen.

3.2 Schadstoffe

Beim Anfeuern der Anlage kommt es kurzzeitig zu einer unvollständigen Verbrennung, welche CO und Feinstaub¹ freisetzt. Schwefelbestandteile im Brennstoff verbrennen zu SO_2 .

Ist die Temperatur im Reaktor zu gering, so entsteht aufgrund der unvollständigen Vergasung Teer. Abhilfe kann in diesem Fall z. B. durch vorwärmen der Primärluft geschaffen werden, wodurch die Oxidationstemperatur steigt. [3]

¹in Form von Ruß

4 Bau einer Holzvergaseranlage

Um das Funktionsprinzip zu testen und weitere Untersuchungen durchführen zu können, haben wir mit dem Bau einer Holzvergaseranlage begonnen. Nach der Recherche haben wir uns für einen Imbert-Vergaser entschieden, weil wir uns von diesem einen akzeptablen Kompromiss zwischen optimaler Funktion und vertretbarem Bauaufwand erhoffen.

4.1 Der Imbert-Vergaser

Beim Imbert-Vergaser handelt es sich um einen Gleichstrom-Abwärtsreaktor. Der Brennstoff wird oben in den Vorratsbehälter, welcher zugleich als Trockner fungiert, eingefüllt. Im Brennmaterial enthaltenes Wasser verdampft.

Während des Absinkens des Brennmaterials setzt durch die steigende Temperatur die Verschwelung ein. Bei einer Temperatur von rund 500°C entstehen die Zwischenprodukte Essigsäure, Methanol und Teer.

Schließlich erreicht der Brennstoff eine Temperatur von ungefähr 700°C; die Verkohlung beginnt und es entsteht Holzkohle.

Durch eine Einschnürung des Reaktorbehälters und das Einbringen von Primärluft über einen Düsenring wird die Temperatur in der Oxidationszone verdoppelt. Sie sollte nun rund 1400°C betragen. Die Zwischenprodukte Essigsäure, Methanol und Teer werden in Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Wasserstoff umgewandelt.

Der anschließende Rost hindert das Brennmaterial am herausfallen. Das austretende Gas durchquert die Reduktionszone und verlässt den Reaktorkessel als Holzgas.

In Abbildung 4.1 ist dieser Vorgang grafisch veranschaulicht.

4.2 Aufbereitung des Gases

Das Holzgas aus dem Imbert-Vergaser hat eine Temperatur von einigen hundert °C. Es sollte gekühlt werden, um seine Dichte und damit seinen Brennwert zu erhöhen. Die dabei kondensierende Feuchtigkeit wird – zusammen mit Aschenpartikeln – in einem Absetzbehälter aufgefangen.

Soll eine motorische Verwertung des Gases erfolgen, so ist die weitere Filterung des Gases sinnvoll, da auch geringe Mengen an Aschepartikeln und Teeresten den Verbrennungsmotor verschmutzen oder sogar beschädigen können.

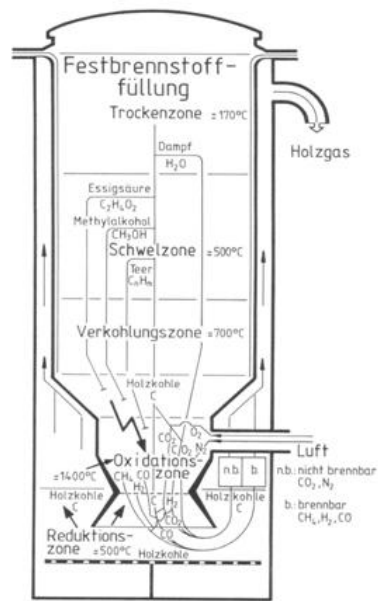


Abbildung 4.1: Funktionszeichnung zum Imbert-Vergaser [7], [1]

In Abbildung 4.2 ist eine Funktionszeichnung einer typischen Imbert-Vergaseranlage zu sehen.

Wenn der Imbert-Vergaser angefeuert wird, dauert es zunächst einige Zeit, bis dieser seine zum Betrieb notwendige Temperatur erreicht hat. In diesem Moment kommt es zu einer unvollständigen Vergasung, wodurch kein brennbares Gas entsteht. Die Gasströmung muss durch geeignete Maßnahmen, wie zum Beispiel den Einsatz eines Verdichters, in Gang gesetzt werden.

Durch ungünstige Umstände, wie z. B. zu feuchtes Brennmaterial oder geringe Umgebungstemperaturen wird diese Zeitspanne vergrößert. Um die Betriebstemperatur schneller zu erreichen und die Teerbildung beim Anfeuern zu reduzieren, kann zuerst etwas Kohle verwendet werden.

4.3 Praktische Realisierung

Als Baumaterial haben wir entleerte, handelsübliche Gasflaschen verschiedener Größen verwendet, da diese der Form des Reaktorkessels relativ nahe kommen und das verwendete Stahlblech der thermischen Belastung über lange Zeit standhalten sollte.

Zur Dimensionierung des Reaktors wurde Abbildung 4.3 verwendet. Der gebaute Vergaser ist für eine Gasproduktion von 5–44m³ pro Stunde ausgelegt, was der zweiten Zeile in Abbildung 4.3 entspricht.

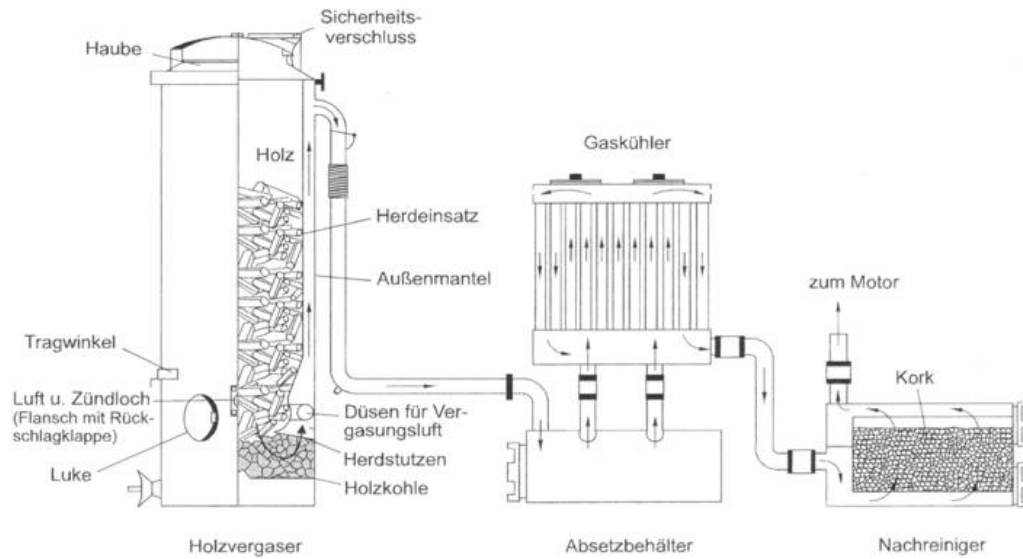


Abbildung 4.2: Typischer Aufbau eines Imbert-Vergasers [6], [1]

d_f/d_h	d_h mm	d_f mm	d_r mm	h mm	H mm	R mm	A No.	d_m mm	$\frac{A_m \times 100}{A_h}$	$\frac{d_r}{d_h}$	$\frac{h}{d_h}$	Range of Gas Output		Maximum Wood Consumption	Air Blast Velocity
												max. Nm^3/h	min. Nm^3/h	kg/h	V_m m/s
268/60	60	268	150	80	256	100	5	7.5	7.8	4.5	1.33	30	4	14	22.4
268/80	80	268	176	95	256	100	5	9.0	6.4	3.3	1.19	44	5	21	23.0
268/100	100	268	202	100	256	100	5	10.5	5.5	2.7	1.00	63	8	30	24.2
268/120	120	268	216	110	256	100	5	12.0	5.0	2.2	0.92	90	12	42	26.0
300/100	100	300	208	100	275	115	5	10.5	5.5	3.0	1.00	77	10	36	29.4
300/115	115	300	228	105	275	115	5	11.5	5.0	2.6	0.92	95	12	45	30.3
300/130	130	300	248	110	275	115	5	12.5	4.6	2.3	0.85	115	15	55	31.5
300/150	150	300	258	120	275	115	5	14.0	4.4	2.0	0.80	140	18	67	30.0
400/130	130	400	258	110	370	155	7	10.5	4.6	3.1	0.85	120	17	57	32.6
400/150	135	400	258	120	370	155	7	12.0	4.5	2.7	0.80	150	21	71	32.6
400/175	175	400	308	130	370	155	7	13.5	4.2	2.3	0.74	190	26	90	31.4
400/200	200	400	318	145	370	153	7	16.0	3.9	2.0	0.73	230	33	110	31.2

Variables not given in figure are defined as follows:

d_m = inner diameter of the tuyere.

A_m = sum of cross sectional areas of the air jet openings in the tuyeres.

A_h = cross sectional area of the throat.

A = number of tuyeres.

Source: Kaupp 1984a, Table 5; Fig. 75.

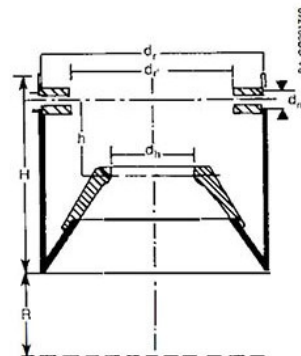


Abbildung 4.3: Tabelle Zur Dimensionierung eines Imbert-Vergasers [2]



Abbildung 4.4: Blick von oben in den Reaktorkessel

Auf eine doppelwandige Ausführung des Reaktorkessels wie in Abbildung 4.1 haben wir verzichtet. Die Außenhaut des Reaktors besteht aus zwei größeren Gasflaschen. Die Kappe der unteren Flasche ist abgetrennt, das Unterteil der oberen Flasche ragt etwas in sie herein.

Am Tiefpunkt dieses Unterteils befindet sich ein 8cm großes Loch, welches den Beginn der Reduktionszone markiert. Das ebenfalls durchbohrte Oberteile einer kleineren Gasflasche schließt sich an, wodurch die Reduktionszone unter der Einschnürung seitlich begrenzt und der Rost fixiert werden kann.

Die fünf Düsen für die Primärluft sind ringförmig angeordnet. Sie sind in Abbildung 4.4 noch vor dem Schweißen zu sehen. Der Rost besteht aus Stahlstäben, die in regelmäßigen Abständen am unteren Ende der Reduktionszone mit der Stahlhülle verschweißt sind. In Abbildung 4.5 ist links oben die obere Gasflasche mit Luftdüsen auf der Umhüllung der Reduktionszone zu sehen. Rechts unten liegen die Stahlstäbe für den Rost.

Als Verdichter wird ein Seitenkanalverdichter verwendet. Die Gaskühlung erfolgt durch einen Plattenheizkörper.

4.4 Erste Testläufe

Bereits beim ersten provisorischen Aufstellen der Anlage und dem Anfeuern mit etwas Kohle und Holzstücken entstand brennbares Gas. Nach dem vollständigen Befüllen des Vorratsbehälters konnte eine gelblich-violette Flamme mit einer Länge von ungefähr 40cm beobachtet



Abbildung 4.5: Innenleben des Reaktors vor dem Schweißen

werden. Momentan enthält das Holzgas noch relativ viel Teer, der im Gaskühler und im Seitenkanalverdichter kondensiert. Wir hoffen, dieses Problem durch eine bessere Trocknung des Brennstoffs und eine thermische Isolierung des Reaktorkessels lösen zu können.

4.5 Weitere Entwicklung der Anlage

Um alle Komponenten sinnvoll befestigen und als Ganzes transportieren zu können, wurde ein Rahmen aus Stahl gebaut.

Zwei Kugelventile ermöglichen das Betreiben einer Fackel zum Abfackeln des Gases und das Ablassen des entstehenden teerhaltigen Kondensates. Eine Anschlussmöglichkeit zur weiteren Verwertung des gewonnenen Gases ist vorhanden.



Abbildung 4.6: Erster Testlauf der Anlage



Abbildung 4.7: Stahlrahmen mit allen Anlagenteilen

5 Ausblick

Es soll ein Zyklonfilter zur ersten Gasaufbereitung gebaut werden, um das Zusetzen des Kühlers mit Teer zu verhindern.

Holzvergaser sind eine praktikable Methode zum Aufbau von Inselnetzen und zur Einzelversorgung. Vor allem in weit abgelegenen Bereichen der Welt, in denen genug Brennmaterial zur Verfügung steht, wie beispielsweise in der Taiga. Dort bieten Holzvergaser-Blockheizkraftwerke langfristig eine lohnende Alternative zu konventionellen Energiegewinnungsmethoden wie z. B. Dieselgeneratoren.

Aufgrund ihrer Umweltverträglichkeit, einer relativ hohen Standortunabhängigkeit und ihren vielseitigen Einsatzmöglichkeiten ist der Einsatz von Holzvergaseranlagen eine lohnenswerte Investition in die Zukunft. Auch werden, um eine nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes sicherzustellen, neue Fachkräfte ausgebildet und Arbeitsplätze gewonnen werden. Spätestens, wenn die Versorgung mit fossilen Energieträgern zusammenbricht, wird die Holzvergasertechnik wieder einen Boom erleben.

Erst vor Kurzem erwähnte die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. die Holzvergasertechnik in ihrer Zeitschrift. [4]

6 Danksagung

An dieser Stelle möchten wir allen unseren Unterstützer*Innen herzlich für ihre Beteiligung an unserem Projekt danken. Dazu zählen:

- Firma Henning Einecke Gas-, Heizungs- und Sanitärinstallation (Bereitstellung der Gasflaschen),
- Reiner Leschber (technische Unterstützung, Schweißarbeiten),
- Thorsten Schmidt (Schweißarbeiten),
- Bernd Jahn vom Archenhold-Gymnasium (Finanzierung, theoretische Unterstützung),
- Wolfgang Fliegner vom Meteum (Konstruktionsvorschläge, Stellfläche)
- sowie unseren Eltern und Familienmitgliedern, die uns Brennmaterial bereitstellten und uns beim Transport der Anlage behilflich waren.

Literaturverzeichnis

- [1] *Funktion des Imbert-Gaserzeugers*. August 2011. <http://www.fh-flensburg.de/ima/ret-projekte/Inhalt/Funktion%20des%20Imbert-Gaserzeugers.htm>.
- [2] ARTIM D. O. O.: *Gasifier Designs*. Juli 2013. <http://www.biomasa-elektrika.com/energy-biomass/5-biomass-gasifier-designs.html>.
- [3] DUTCH, JOHN: *Vergasung*. Januar 2011. <http://www.woodgas.nl/D/vergasung.html>.
- [4] FNR: *Nachwachsende Rohstoffe – Spitzentechnologie ohne Ende*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Bestell-Nr. 245, 2011. <http://www.fnr.de>.
- [5] JOOS, BERND: *Anlage 2: Kraft und Wärme aus Holz*. Juni 2003. <http://www.holzgas.com/kraftwaerme.htm>.
- [6] M. KALTSCHMITT, H. HARTMANN: *Energie aus Biomasse*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.
- [7] M. KLEEMANN, M. MELISS: *Regenerative Energiequellen*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993.
- [8] WIKIPEDIA: *Pyrolyse*. Dezember 2014. <http://de.wikipedia.org/wiki/Pyrolyse>.
- [9] WIKIPEDIA: *Vergasen*. Dezember 2014. <http://de.wikipedia.org/wiki/Vergasen>.