

# Synthesegasherstellung aus Kunststoffabfällen – Erfahrungen und Kennzahlen aus der Inbetriebnahme einer 32 MW-Pilotanlage –

Roland Möller

1.	Beschreibung des Verfahrens .....	798
1.1.	Funktionsweise und innovative Kernelemente .....	798
1.2.	Einsatzstoffe .....	800
1.3.	Synthesegas .....	800
2.	32 MW Pilot-(Referenz)-Anlage.....	800
2.1.	Investition .....	800
2.2.	Bauphase .....	801
3.	Inbetriebnahme der Anlage.....	802
3.1.	Kalt-Inbetriebnahme .....	802
3.2.	Heiß-Inbetriebnahme.....	802
3.3.	Kalk-Brennbetrieb .....	802
4.	Aufnahme Vergasungsbetrieb .....	803
4.1.	Anthrazit-Vergasung .....	803
4.2.	Vergasung von Kunststoff-Abfällen .....	803
4.2.1.	Einsatzstoffe .....	803
4.2.2.	Technische Anpassungen .....	805
4.2.3.	Erfahrungen aus dem Vergasungsbetrieb.....	806
5.	Optimierungsphase.....	807
5.1.	Leistungssteigerung .....	807
5.2.	Schließung interner Prozesskreisläufe.....	807
5.3.	Messprogramme.....	807
6.	Ausblick.....	808
6.1.	Technologische Erweiterungen .....	808
6.2.	Weitere Anwendungsfelder.....	808

Die Technologie wurde von der Ecoloop GmbH und der Fels-Werke GmbH entwickelt. Es handelt sich um einen neuen verfahrenstechnischen Ansatz zur Realisierung eines Vergasungsverfahrens, das auch für den Einsatz schwer handhabbarer Kohlenstoffträger, wie beispielsweise chlor- oder schwefelhaltiger Kunststoffabfälle sowie Shredderfraktionen, geeignet ist. Es entsteht Synthesegas, das sowohl hochwertige fossile Energieträger ersetzen, als auch verstromt werden kann.

Das Verfahren macht sich die Multifunktionalität eines zirkulierenden Kalk-Schüttgut-Wanderbettes zunutze, in welchem die Einsatzstoffe in einem Schachtofen im Gegenstromprinzip vergast werden.

Der Kalk dient dabei zugleich als Transportmedium, Schadstoffbinder, Reaktionsoberfläche, Stützgerüst und Katalysator. Darüber hinaus ermöglicht das Schüttgutwanderbett den Verzicht auf Schleusen, Armaturen und bewegte Teile in den heißen Zonen des Verfahrens. Der Materialtransport wird dabei durch die eigene Schwerkraft realisiert.

Die erste großtechnische Realisierung erfolgte im Rahmen eines Pilotprojektes bei der Fels-Werke GmbH, wo eine 32 MW Referenzanlage in einem Kalkwerk errichtet und in Betrieb genommen wurde. Das dort produzierte Synthesegas soll jährlich etwa 20.000 t Erdgas im angrenzenden Kalk-Brennprozess ersetzen. Dies entspricht einer thermischen Arbeit von etwa 250.000 MWh pro Jahr.

Die Technologie soll in unterschiedliche Branchen und Industrien vermarktet werden.

## 1. Beschreibung des Verfahrens

### 1.1. Funktionsweise und innovative Kernelemente

Das Verfahren kombiniert bewährte technische Methoden – vor allem aus der Kalkindustrie – zu einem neuartigen Vergasungsverfahren. Dies sind die wesentlichen Kernelemente:

- Schüttgutsäulen im Materialein- und -austrag sorgen durch ihren Druckverlust für eine atmosphärische Abdichtung – ohne komplexe und anfällige Schleusensysteme oder Armaturen.
- Der Materialstrom wird in einem Schüttgutwanderbett aus Kalk und Kunststoffabfällen nur durch die eigene Schwerkraft transportiert.
- Kalk fungiert als multifunktionaler Schlüssel im Prozess. Das bedeutet: Er dient als Transportmedium für die Einsatzstoffe und ist Stützgerüst zur Gewährleistung einer optimalen Gasverteilung innerhalb des Schüttgutwanderbettes. Die katalytische Wirkung steigert den Spaltgrad bei der Vergasung und die Ausbeute des Synthesegases. Außerdem absorbiert der Kalk Chlor, verhindert die Bildung von Dioxinen und Furanen und bietet eine große spezifische Oberfläche zur Adsorption von Schwermetallen sowie anderer Schadstoffe.





Bild 2:

Kalk-Wanderbett

## 1.2. Einsatzstoffe

Das Verfahren ist in der Lage, unterschiedlichste Reststoffe effizient zu verwerten.

- Durch die Robustheit des Verfahrens ist keine oder nur eine geringe Aufbereitung des Inputmaterials nötig.
- Dank der Schadstoffbindenden Wirkung des Kalks können auch Schadstoffbelastete Einsatzmaterialien oder Abfälle mit hohem Chlorgehalt eingesetzt werden, und es besteht keine Obergrenze beim Heizwert.
- Abgänglich von Kundenanforderungen an die Gasqualität ist ein flexibler Einsatz unterschiedlicher Inputstoffe möglich.

## 1.3. Synthesegas

Das im Prozess entstehende Synthesegas ist gereinigtes Schwachgas, vergleichbar mit Stadtgas oder Kokereigas. Die Qualität des Synthesegases ermöglicht es, Erdgas oder andere fossile Primärenergieträger in thermischen Anwendungen vollständig zu ersetzen oder in Gasmotoren Strom zu erzeugen.

Die Anlage erzeugt bis zu 15.000 Nm<sup>3</sup> Synthesegas pro Stunde.

Eine weitergehende Nutzung des Gases als chemischer Rohstoff ist abhängig von den Inputstoffen, der Fahrweise des Reaktors und von zusätzlichen Gasaufbereitungsschritten.

## 2. 32 MW Pilot-(Referenz)-Anlage

### 2.1. Investition

Die Fels-Werke haben 2009 entschieden, in die erste großtechnische Anlage zu investieren. Die Anlage befindet sich im Kalkwerk Kaltes Tal in Elbingerode (Harz).

Grundlage für die Investition war der Ersatz von etwa 20.000 t Erdgas pro Jahr sowie der Zugriff auf einen weiteren Schwefel-freien Brennstoff zur Erzeugung hochwertiger Kalkqualitäten.

Das Vorhaben wurde zusätzlich vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über den Projektträger Jülich gefördert. Durch das Projekt wurden etwa 20 neue Arbeitsplätze geschaffen.



Bild 3:

EcoLoop-Anlage, Kaltes Tal

## 2.2. Bauphase

Mit dem Bau der Anlage wurde im Herbst 2010 begonnen. Zuvor mussten mehrere 100.000 m<sup>3</sup> Haldenmassen entfernt und das Baufeld vorbereitet werden.



Bild 4: Baufeld vor der Beräumung

Die Haupt-Bauaktivitäten erstreckten sich über das gesamte Jahr 2011. Die Mechanische Fertigstellung war Anfang 2012.



Bild 5:

Baufeld im Sommer 2011

## 3. Inbetriebnahme der Anlage

### 3.1. Kalt-Inbetriebnahme

Die Anlage wurde im Januar 2012 mechanisch fertig gestellt. Danach erfolgte die Inbetriebnahme der einzelnen Komponenten. Insgesamt wurden etwa 1.300 Messstellen und Antriebe hinsichtlich ihrer Sollfunktionen getestet und parametrisiert.

Daneben bildete die mechanische und fördertechnische Optimierung des Kalk-Kreislaufes einen wesentlichen Schwerpunkt.

Dabei mussten zahlreiche Förderaggregate und Übergabestellen so ausgestaltet werden, dass die Kornzerstörung des Grobkalkes auf ein Minimum reduziert wurde, um einen zu hohen zu entsorgenden Feingutanfall zu vermeiden. Ferner wurden zahlreiche Absaugungsstellen optimiert, um diffuse Emissionen von schadstoffbelasteten Stäuben auszuschließen.

Die Gasführenden Anlagenteile wurden aufwändigen Dichtigkeitsprüfungen unterzogen. Diese Prüfungen erforderten mehrere Monate.

In der letzten Phase der Kaltinbetriebnahme erfolgte die Mess- und Regeltechnische Optimierung der verfahrenstechnischen Prozesse über alle Teilanlagen sowie Tests der sicherheitsrelevanten Alarmierungen und Schaltpunkte.

Insgesamt war für die Kaltinbetriebnahme ein Zeitraum von 6 Monaten erforderlich, bis diese im Juli 2012 abgeschlossen wurde.

### 3.2. Heiß-Inbetriebnahme

Im Juli 2012 wurden die Zündbrenner gestartet und kurz danach über die Haupt-Brennerlanzen mit dem Aufheizen des Reaktors begonnen. Als Brennstoff wurde Erdgas eingesetzt.

Zunächst war es erforderlich, die Feuerfest-Ausmauerung des Reaktors nach einer festgelegten Aufheizrampe mit definierten Haltepunkten auszuheizen. Dabei wurden etwa 20 bis 30 t Wasser aus den Feuerfestmaterialien verdampft und in einer zweiten Phase Kristallwasser ausgetrieben. Dieser Prozess wurde im August 2012 abgeschlossen.

### 3.3. Kalk-Brennbetrieb

Um eine optimale Vergasungs-Performance der Anlage zu gewährleisten, ist eine homogene Verteilung der Feststoffe im Schüttgutwanderbett und der Gasphase erforderlich. Um dies zu testen, wurde im Reaktor Kalkstein ( $\text{CaCO}_3$ ) als Schüttgutwanderbett eingesetzt, der kontinuierlich zu Kalk ( $\text{CaO}$ ) gebrannt wurde. Durch die langjährigen Erfahrungen beim Brennen von Kalk war es daher sehr gut möglich, repräsentative Tests durchzuführen, bei denen über den Kalzinierungsgrad des Schüttgutwanderbettes und der Temperaturverteilung im Schacht, auf die Verteilung von Feststoffen und der Strömungsmechanik der Gasphase zu schließen.

Dabei wurde der Brennbetrieb zunächst mittels der Hauptbrennerlanzen durchgeführt, um die Energieverteilung der Lanzen zu testen.

In einem weiteren Schritt wurde der Brennbetrieb dann durch Zumischung von Anthrazit in Form einer klassischen Mischfeuerung wiederholt, um die Verteilung von Anthrazit im Schüttgutwanderbett zu ermitteln.

## 4. Aufnahme Vergasungsbetrieb

### 4.1. Anthrazit-Vergasung

Im September 2012 wurde mit einem ersten Vergasungstest begonnen. Dabei wurde Anthrazit als Einsatzstoff gewählt.

Bei diesem Test konnte erfolgreich Synthesegas erzeugt werden. Nach kurzer Laufzeit traten jedoch mechanische Schäden an den Brennerlanzen auf. Dies machte ein Re-Engineering für die Brennerlanzen nötig. Weiterhin wurden Verstopfungen im Bereich der Kühlluftabführung in der Kühlzone festgestellt, sodass strömungsmechanische Anpassungen im Bereich der unteren Feuerfestausmauerung vorgenommen werden mussten.

Diese Anpassungsarbeiten wurden Ende 2012 erfolgreich abgeschlossen und eine weitere Vergasungskampagne mit Anthrazit durchgeführt. Erfahrungen aus dieser Anthrazit-Vergasung waren Grundlage für die Detail-Planung der ersten Kunststoff-Vergasungskampagne.

### 4.2. Vergasung von Kunststoff-Abfällen

Im Februar 2013 wurde erstmals mit der Vergasung von Kunststoffabfällen begonnen. In mehreren geplanten Vergasungskampagnen sollten folgende Punkte untersucht werden:

- Zumischrate von Kunststoffabfall zum Kalk im Schüttgutwanderbett
- Setzverhalten des Schüttgutwanderbetts
- Vergasungs- und Koksrate
- Einfluss von Wasser- und Dampfdosierung
- Radialverteilung der Feststoffe über den Umfang
- Ermittlung der optimalen Lanzen-Positionen
- Prozesseinflüsse durch Parameter-Einstellungen

#### 4.2.1. Einsatzstoffe

Insgesamt wurden bis zum Redaktionsschluss Mitte November 2013 sieben Vergasungskampagnen durchgeführt, in denen mehrere hundert Tonnen unterschiedlicher Abfallströme zum Einsatz kamen.

Begonnen wurden die ersten Vergasungsversuche mit pelletierten Mischkunststoffen und Sortierresten.



Bild 6: Pelletierte Mischkunststoffe

Hintergrund für den Einsatz aufwändig pelletierter Mischkunststoffe war, dass zunächst die Vergasung ohne mögliche Probleme hinsichtlich von Fördertechnik studiert werden sollte. Nach ersten erfolgreichen Tests wurde unter anderem auf unbehandelte Sortierreste umgestellt:



Bild 7:

Unbehandelte DSD-Sortierreste, Unterkorn

Weiterhin bildeten unbehandelte Shredderfraktionen aus dem Automobil-Recycling einen weiteren Schwerpunkt bei den bisher erfolgreich eingesetzten Einsatzmaterialien:



Bild 8: Shredder-Schwerfraktion, Automobil-Recycling

Der Prozess konnte an die verschiedenen Eingangsqualitäten problemlos durch gezielte Parameteranpassungen adaptiert werden. Dabei war es bisher es sogar möglich, unterschiedliche Chargen von Einsatzstoffen im Vorbunker unvermischt einzufüllen und kontinuierlich ohne Prozessunterbrechung hintereinander in den Vergasungsprozess zu dosieren.

Die Gasausbeute veränderte sich mit dem Heizwert der Einsatzstoffe.

Die wesentlichen Prozessanpassungen beziehen sich auf die Veränderung der Zuzusammensetzung der Abfallstoffe zum Kalkwunderbett sowie auf die Anpassung der Vergasungsluftmenge (Gesamt-Lambda)



## 4.2.2. Technische Anpassungen

Der Reaktor ist in der Oxidationszone mit Brennerlanzen ausgestattet, um den Prozess mittels Erdgas zu starten. Diese können auch als Dosierlanzen für zusätzliche Vergasungsmittel eingesetzt werden. Während der Vergasungskampagnen wurde festgestellt, dass der Prozess durch gezielte Dosierung von Luft oder Wasserdampf über die einzelnen Lanzen angesteuert werden muss, um eine gute Vergasungs-Performance zu erreichen. Um dies optimal umzusetzen, wurden alle Brennerlanzen mit zusätzlicher Mess- und Regeltechnik ausgestattet, sodass alle Medien an jeder Lanze einzeln gesteuert werden können: Jede von insgesamt 54 möglichen Lanzen können bis zu 6 unterschiedliche Medien gleichzeitig dosieren. Dazu gehören Luft, Erdgas, Synthesegas, Wasser, Wasserdampf und Pyrolyseöle.

Weiterhin wurde festgestellt, dass die Verteilung der Abfälle im Kalkwanderbett, insbesondere die Radialverteilung, von entscheidender Bedeutung für ein gutes Vergasungs-Ergebnis ist. Das hängt damit zusammen, dass die von unten aufgegebenen Kühl- und Vergasungsluft stets gleich verteilt in das Schüttgutwanderbett einströmt und nur dann eine homogene Reaktionsfront gewährleistet werden kann, wenn auch die Abfall-Partikel weitgehend gleich verteilt sind.



Bild 9: Brennerlanzen mit Steuerungstechnik

Hier hat die Inbetriebnahme gezeigt, dass die Aufgabe des Schüttgutwanderbetts nicht über konventionelle Systeme erfolgen kann, deren Abwurfparabel zur Entmischung der Komponenten führt

Daher wurde im Bereich der Materialaufgabe ein Drehschuppen-System installiert, wie es auch an Kalkschachtofen mit Koks-Mischfeuerung üblicherweise eingesetzt wird.

Mittels einer rotierenden Schurre wird so eine radiale Gleichverteilung der Feststoffpartikel gewährleistet.

Dies ist bei Schachtreaktoren eine wesentliche Voraussetzung, um ein ausgeglichenes Massenverhältnis zwischen Feststoff- und Gasphase über den gesamten Umfang zu gewährleisten.

Neben den oben beschriebenen Anpassungen zur Prozesssteuerung, wurden über den mehrmonatigen Betriebszeitraum Material- bzw. Staub-Akkumulatonen im Reaktorkopf und im Bereich der Kühlluftabführung festgestellt.



Bild 10: Ursprüngliche Materialaufgabe

Um die Initiale Bildung solcher Akkumulationen zukünftig auszuschließen wurden Stickstoff- bzw. Luftkanonen installiert, deren Funktion inzwischen erfolgreich nachgewiesen wurde.



Bild 11: Modifizierte Materialaufgabe

Neben diesen konkreten Beispielen wurden weitere Optimierungen an der 32 MW-Pilotanlage durchgeführt, um einen stabilen und performanten Vergasungsbetrieb zu erreichen. Dazu zählten neben Optimierungen in der Mess- und Regeltechnik auch viele kleinere Maßnahmen zur Erhöhung der technischen Verfügbarkeit.

#### 4.2.3. Erfahrungen aus dem Vergasungsbetrieb

Der Prozess zeichnete sich in vergangenen Monaten durch eine hohe Robustheit bei Wechsel der Einsatzstoffe aus.

Bis zum Redaktionsschluss Mitte November 2013 konnte die Zumischrate der Abfälle im Kalkwanderbett bis auf 25 Gew.-% gesteigert und eine thermische Leistung von etwa 15 MW stabil realisiert werden.



Bild 12: Luftkanonen im Bereich der Kühlluftabführung

Die Verweilzeit der Feststoffe im aktiven Reaktorteil betrug dabei mehr als 12 Stunden. Die dabei erzielte Gasqualität entsprach den Erwartungen, die sich aus der Vergasung mit Luft als Vergasungsmittel ergeben. Durch gezielte Dosierung von Wasserdampf kann sowohl die homogene, als auch heterogene Wassergasreaktion bevorzugt vorangetrieben werden, wodurch der Wasserstoffanteil bei gleichzeitiger Reduzierung des Kohlenmonoxid-Gehaltes signifikant erhöht werden konnte.

Der Energiehaushalt des Reaktors ist problemlos beherrschbar und das Schüttgutwanderbett zeigt zusammen mit den Kunststoffabfällen ein hervorragendes Setzverhalten.

## 5. Optimierungsphase

### 5.1. Leistungssteigerung

Die thermische Leistung des Reaktors soll in den nächsten Monaten sukzessive bis auf die Nennleistung von 32 MW gesteigert werden. Dazu wird die Zumischrate von derzeit 25 Gew.-% Abfälle im Kalkwanderbett weiter auf bis zu 30 Gew.-% erhöht und die Verweilzeit im aktiven Schachtbereich auf bis zu 6 Stunden abgesenkt.

Zum Redaktionsschluss waren keine prozesstechnischen Restriktionen erkennbar, die einer solchen Leistungssteigerung entgegenstehen. Die Pilotanlage soll im 2. Halbjahr 2014 auf Nennleistung hochgefahren und stabil betrieben werden.

### 5.2. Schließung interner Prozesskreisläufe

Im ersten Halbjahr 2014 sollen die wesentlichen internen Prozesskreisläufe geschlossen werden. Dazu gehören:

- Rückführung von Leichtöl und Schweröl aus der Gaskühlung zurück in die Brennerlanzen des Reaktors. Dadurch soll der Heizwert dieser Kondensatkomponenten in der Vergasung genutzt, und die Entsorgung vollständig vermieden werden.
- Rückführung der Wasserphase aus der Gaskühlung zurück in die Kühlzone bzw. Oxidationszone des Reaktors. Dadurch soll das Wasser als Vergasungsmittel im Kreis gefahren, und eine Vorbehandlung für die Einleitung in die lokale Kläranlage auf ein Minimum reduziert werden.

Die Schließung dieser Kreisläufe erfordert in umfangreiches Monitoring, um durch Proben und Analysen Anreicherungen oder überhöhte stationäre Konzentration unerwünschter Komponenten zu vermeiden.

### 5.3. Messprogramme

Im ersten Halbjahr 2014 wird ein umfangreiches Messprogramm in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt und dem Landesamt für Umwelt Sachsen-Anhalt durchgeführt.

Dafür wurden insgesamt 14 Probenahme-Stellen festgelegt.

Schwerpunkte des Messprogramms sind:

- Nachweis von Schadstoffsenken für Chlor, Schwefel und Schwermetalle im abgeseihten Feingut des Schüttgutwanderbetts.
- Systematische Ermittlung von Schadstoff-Anreicherungsseffekten in den einzelnen Prozessströmen und insbesondere in den Prozess-internen Kreisläufen.
- Ermittlung der Emissionen, die bei der thermischen Nutzung des Synthesegases entstehen.

Aus dem Messprogramm und den Ergebnissen sollen ggf. Grenzwerte für die Einsatzstoffe festgelegt werden. Weiterhin soll geprüft werden, ob das gereinigte Synthesegas aufgrund der ermittelten Zusammensetzung und der Emissionen als Regelbrennstoff anerkannt werden kann. Dadurch würde das Synthesegas seine Abfalleigenschaft verlieren und nach geschaltete Anlagen wären in einem solchen Fall nicht mehr entsprechend der 17. BImSchV zu genehmigen.

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen sollen zu gegebener Zeit veröffentlicht werden.

## 6. Ausblick

### 6.1. Technologische Erweiterungen

Die Pilotanlage im Kalkwerk Kaltes Tal soll mittelfristig mit einem Gasmotor erweitert werden. Ziel ist die Motorenoptimierung im Schwachgasbetrieb und die weitere Wirkungsgrad-Optimierung gegenüber dem Stand der Technik.

In diesem Zusammenhang ist in einem zweiten Entwicklungsschritt geplant, die heißen Motorenabgase wieder als Vergasungsmittel in der Reduktionszone des Pilotreaktors einzusetzen.

### 6.2. Weitere Anwendungsfelder

Das neue Verfahren eröffnet eine Reihe neuer Anwendungen im Bereich von Closed Recycling Loops in unterschiedlichen Industriebereichen, wo Synthesegas beispielsweise wieder als Rohstoff verwendet werden kann.

Ein weiteres Anwendungsfeld besteht in der Möglichkeit der Anreicherung von nicht vergasbaren Wertstoffen im Kalkwanderbett. Dazu gehören beispielsweise:

- Anreicherung von Metallen (beispielsweise aus Shredderfraktionen) im Kalkwanderbett und deren Abtrennung/Rückführung
- Anreicherung von Edelmetallen oder Seltenen Erden bei Einsatz bestimmter Fraktionen aus dem E-Schrottbereich.
- Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlämmen.

An diesen Themen wird derzeit mit erfahrenen Partnern gearbeitet.