

# Hydrothermale Karbonisierung im Pilotmassstab

## Erste Erfahrungen mit dem neuen Reaktor



# Fazit / gute Nachrichten aus Chur

Die neue Reaktorgeometrie hat den Stresstest erfolgreich bestanden. Auch nach 60 Std. Betrieb mit Gülle gab es keine Probleme mit Ausgasungen, Verstopfungen und dergleichen. Der Energiebedarf konnte um über 30% verringert werden. Die Kohle-Wassertrennung hat den Gülletest ebenfalls bestanden. Wir sind mit dem eingeschlagenen Weg ein gutes Stück weiter gekommen!

Durchfluss mit Wasser 400 Liter pro Std. = 9.6 m<sup>3</sup> / Tag Durchfluss mit Gülle 300 Liter pro Std. = 7.2 m<sup>3</sup> pro  
Energieverbrauch 4.2-4.5 m<sup>3</sup> Erdgas pro Std. gegenüber 6-7 m<sup>3</sup> vor dem Umbau

Energiekosten pro m<sup>3</sup> = 4.5m<sup>3</sup> Gasx24Std. X0.65Rp.= 70.20 = **9.75 Fr./m<sup>3</sup>** ( können nochmals um 50% gesenkt werden.)

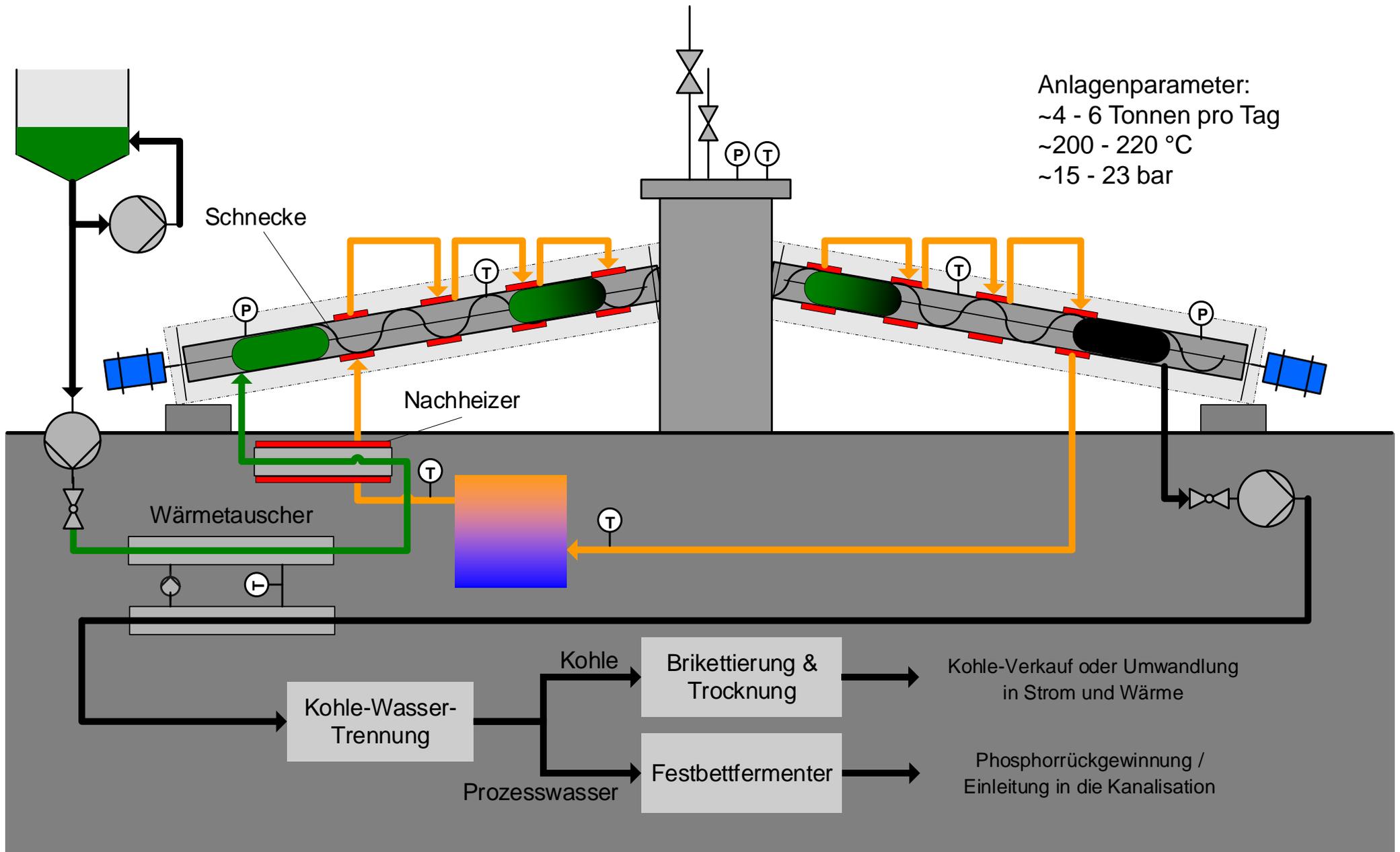


HTC Innovationscampus Rheinmühle Chur



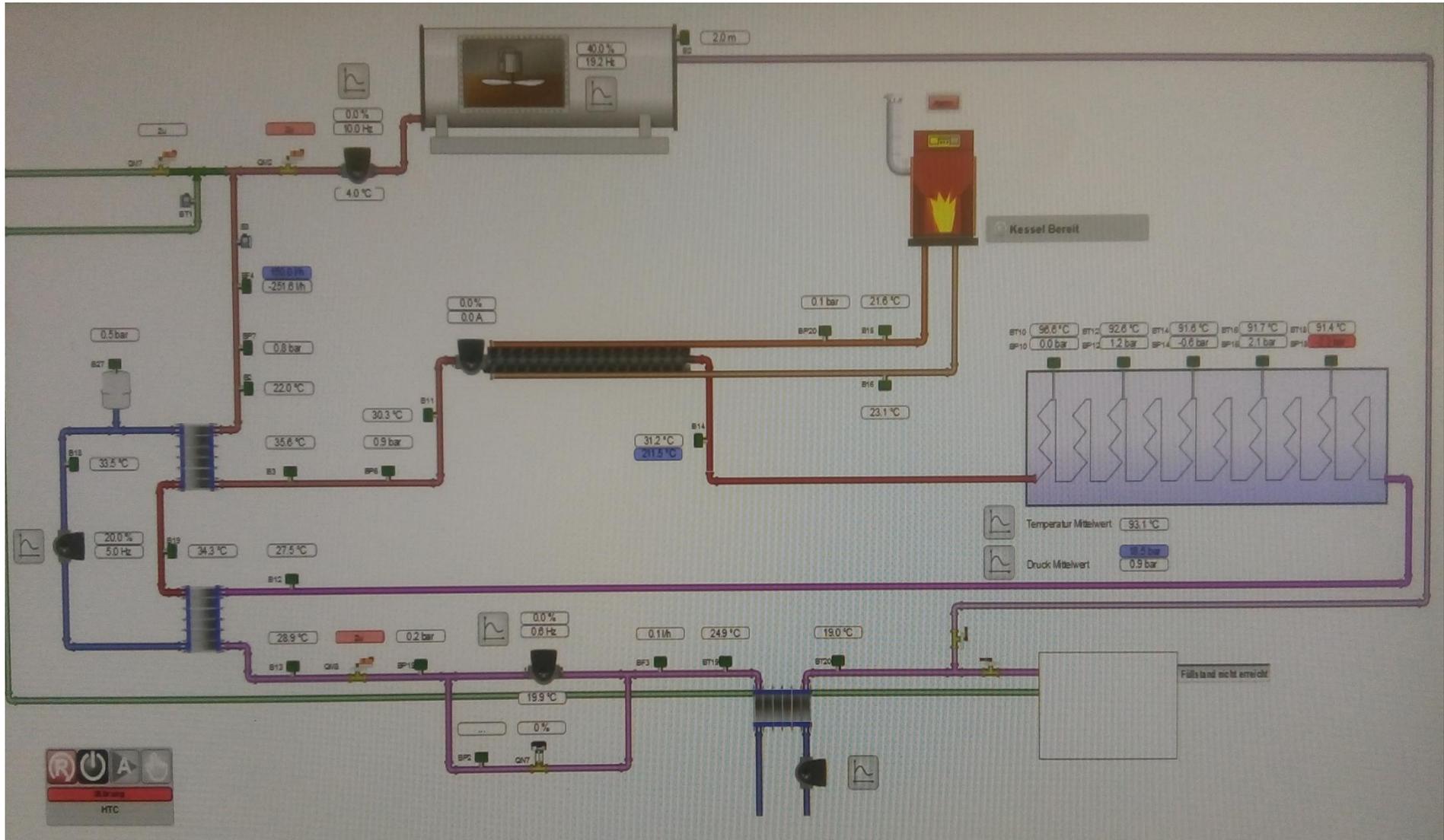
Austrag Kohle-Wasser Trennung

# HTC-Pilotanlage Rheinmühle altes System



# HTC-Pilotanlage Rheinmühle neues System

Anlagenparameter: Menge: 4 - 33 Tonnen pro Tag Temp.: 200 - 220 °C Druck: 20 - 22 bar



Schneider Steuerung: Programmiert von Simon Scherrer / Firma Hälg Chur



# Gründe für den Ersatz des alten Systems



Alter ineffizienter Reaktor



Mittig angelegter Problemdom

Der Reaktor war ursprünglich so aufgebaut, dass in dem 600 mm dicken Rohr die Aufheizung und auch die Reaktion ablief. Mittig war ein Dom angelegt, der als Ausgleichspufferraum diente.

- Der Reaktor erwies sich als ineffizient beim Wärmeeintrag wegen des grossen Durchmessers.
- Dann wurde der Dom zu einem grossen Problem, weil sich sämtliche Prozessgase da oben angesammelt hatten und jeweils als Hochenergiedampf in den Biofilter abgelassen werden mussten. Dies hat den Filter jeweils komplett überlastet, was zu üblem Geruch führte.
- Die Prozessführung über eine Höhenstandsonde im Dom war fast nicht möglich. Es gab immer wieder Störungen wegen der hohen Anforderungen an die Technik und Software.
- Der Austrag beim Reaktor von den 600 mm auf 50 mm war das grösste Problem. Je poröser die Kohle war, desto mehr neigte der Austrag zum Verstopfen.

Deshalb haben wir uns entschieden, einerseits den Prozess von Aufheizung und Reaktion zu trennen und andererseits auch einen neuen Reaktor zu bauen. Dabei wird das geniale Grenol-Patent mit der abkrazenden Schnecke beibehalten. |

# Nachheizer I Aufheizung vor dem Reaktor



Nachheizer-Schnecke Grenol Patent

Dieser Nachheizer wurde bereits 2018 in Betrieb genommen und hat sich seither bestens bewährt.

- Effizienteres Aufheizen des Biomasse-Eintrittsströms aufgrund verbessertem Wärmeübergang
- Beheizt mittels Thermo-Öl (270 °C) im Doppelmantelrohr (basierend auf Grenol-Patent)
- Kontinuierlich laufende Schnecke kratzt Kruste ab
- Sicherstellung gleichmässiger Durchströmung
- Trennung von Aufheizen und Reaktion



Neuer Austrag Nachheizer

Der seitliche Austrag des Nachheizers neigte zu Verstopfungen. Deshalb wurde beim Umbau 2019 die Schnecke angepasst und ein zentraler konischer Austrag in direkter Linie angefertigt und montiert. Der neue Austrag hat bisher sehr gut funktioniert.

Die Isolation des Nachheizers hat noch einiges an Potenzial. Auch die Metallständer auf denen der Nachheizer abgestützt ist, sind noch nicht isoliert.

# Neuer Rohrschlangenreaktor I



120 mm. Aussenpaneelen und Schüttisolation



Modulrohrsystem des neuen Reaktors

Für die Planung des neuen Reaktors wurde mit Inventa Thyssen-Krupp eine renommierte Engineeringfirma beauftragt. Auf Grund vieler tausend Betriebsstunden Erfahrungen und Erkenntnisse mit den bisherigen Anlagen wurde der neue Reaktor ausgelegt.

- Effiziente Wärmedämmung, damit im Reaktor möglichst wenig Wärmeverluste entstehen.
- Modularer Aufbau des Systems. Dadurch ist das Reaktorvolumen an die Bedürfnisse des Kunden anpassbar.
- Kein Austragskonzeption aus grossem Durchmesser mehr notwendig.
- Kein Dom für Ausdehnung mehr. Daher keine Probleme mit Ablassen von verunreinigtem Heissdampf.
- Dem Umstand der Ausdehnungsflexibilität wurde an anderer Stelle Rechnung getragen (Know-how).
- Dem Umstand mit der Gasbildung / Entgasung wurde an anderer Stelle Rechnung getragen (Know-how).

Der neue Reaktor ist als Rohrschlange ausgelegt. Man sieht in der Abbildung links den modularen Aufbau sowie die sehr effiziente Isolierung auch zwischen den Rohren. Bei eventuellen Verstopfungen ist der Zugang zu den Rohren sehr einfach. Es muss jeweils nur ein rund 12.0 m langes gerades Rohr gereinigt werden.

## Neuer Rohrschlangenreaktor II



Anpassbare Verweilzeiten / einfache Wartung

Durch die stehende Anordnung kann auch sehr einfach das Reaktorvolumen verändert werden. Der gebaute Reaktor weist ein Volumen von rund 5,5 m<sup>3</sup> aus. Bei 4 Std. Karbonisierungszeit können bis 33 m<sup>3</sup> pro Tag karbonisiert werden.

Da bei unserer Anlage der Wärmetauscher und der Nachheizer nicht so hohe Durchsätze zulassen, haben wir das Volumen auf 1 m<sup>3</sup> begrenzt. Bei wiederum 4 Std. Karbonisierungszeit schaffen wir damit 6 m<sup>3</sup> pro Tag. Bei 6 Std. Karbonisierungszeit 4 m<sup>3</sup> pro Tag.

- Sehr einfach veränderbares Reaktorvolumen
- Kombinierte Druck- und Temperaturfühler im Reaktor

Der neue Reaktor war vom 12.9-19.9. über eine Woche im Dauerbetrieb. Die ersten Tage über mit Wasser, um das ganze Verhalten der Ausdehnungen und auch der Steuerung kennenzulernen. Nach einigen Anpassungen an der Steuerung wurde dann auf Gülle mit ca. 12% TS umgestellt und es konnte ein rund 60 Std. langer Dauertest gemacht werden.

- Die Anlage ist viel einfacher zu fahren ohne den Gasdom
- Die getroffenen Massnahmen betreffend Entgasung haben sich bewährt. Es sind diesbezüglich keine Probleme aufgetreten
- Bei demselben Durchsatz konnte der Energieaufwand bei der Thermalölheizung um über 30 % reduziert werden.
- Auch elektrisch haben wir weniger Energiebedarf.



Reaktor Ein- und Austrag, links Nachheizer

# Kohle-Wasser-Trennung (KWT)



Kontinuierlich integriertes Kohle-Wassertrennsystem



Austrag der Kohle

Die in 2018 selbstentwickelte Kohle-Wasser-Trennung konnte bisher nur mit Klärschlamm getestet werden. Dieser erste Test im November 2018 war auf Grund der mässigen Kohlequalität, die der Klärschlamm naturgemäss aufweist wenig erfolgreich. Das Ziel des Systems ist, dass die Kohle den eigentlichen Filterkuchen bildet. Das bedingt eine gewisse Qualität der Eingangsstoffe.

Der gebaute Filter weist folgende Merkmale auf:

- Gute Entwässerbarkeit der HTC-Kohle ausnutzen
- Trennsystem nach dem Reaktor – Ausnutzung des Systemdrucks (~20 bar)
- Prototyp: Filterkorb (2-4 mm) mit Hydraulikzylinder
- Vollautomatischer Betrieb möglich

Wir konnten den Filter bei unserem 60-Std.-Gülleversuch am 17.9. erfolgreich testen. Das System ist vorläufig auf Handbetrieb und noch nicht in der Systemsteuerung integriert. Es ist gelungen, einen Filterkuchen aufzubauen und einen briketteähnlichen Feststoff zu erzeugen (ca. 50% TS).

Wir werden nun weitere Modifikationen anbringen und den Filter noch weiter entwickeln. **Wir sind mit diesem System auf dem richtigen Weg.**

# Anaerobe Abwasserbehandlung mit Flexbio AF 100



Flexbio Festbettfermenter in Chur

Der als Festbett ausgelegte Fermenter der Firma Flexbio wurde ebenfalls 2018 angeschafft. Leider haben es die vielen Ausfälle des alten Reaktors nie zugelassen, dass das System in einen vernünftigen Dauerbetrieb gehen konnte.

Der Festbettfermenter weist gegenüber Rührfermentern eine massiv höhere Oberfläche für die Bakterien auf. Dazu besiedeln die Bakterien die Füllkörper und werden nicht mit den Gärresten ausgepült.

- Anaerobes Festbett mit oberflächenimmobilisierter Biomasse
- 3 Kammern,  $V_{\text{total}} = 20 \text{ m}^3$ ,  $A_{\text{total}} = 660 \text{ m}^2$
- Kontinuierliche Beschickung
- Abbauleistung & Biogasproduktion
- Sehr kompakt und absolut dicht, kein Methanschluß
- Sehr einfache Bedienung
- Sehr niedrige Betriebskosten

Wir werden nun den Fermenter in Dauerbetrieb nehmen können und werden danach die Abbauleistungen des Prozesswassers zusammen mit der Hochschule untersuchen und beurteilen.



## GRUNDMODUL: FLEXBIO-AF-100

- |                           |                                             |
|---------------------------|---------------------------------------------|
| 1. Input-Leitung          | 10. Überlaufrinnen                          |
| 2. Input- und Umwälzpumpe | 11. Absatzbecken                            |
| 3. Heizungssystem         | 12. Messarmaturen für Temperatur, pH, Redox |
| 4. Steuerung              | 13. Biogasleitung                           |
| 5. Ablauf                 | 14. Revisionsöffnungen                      |
| 6. Wärmerückgewinnung     | 15. Gasdichter PE-Rechteckbehälter          |
| 7. Verteilersystem        | 16. Wärmedämmung                            |
| 8. Festbettraum           | 17. 40ft-ISO-Container                      |
| 9. Gitterrost             |                                             |

# Energiemanagement



Alter ineffizienter Wärmetauscher



Frontansicht Wärmetauscherrohre

Es ist sehr erfreulich dass wir alleine mit dem neuen Reaktor über 30% weniger an Erdgas einsparen konnten.

- Boden des Reaktors mit Vakuumpaneelen isolieren
- Bessere Isolation des Nachheizers
- Effizienterer Wärmetauscher
- Thermalölheizung optimieren auf Wärmeverluste
- Nachheizer ergänzen und Leistung auf Thermalölheizung und Reaktor anpassen
- Wärmerückgewinnung der heissen Rauchgase der Heizung

Das grösste Potenzial sehen wir beim Wärmetauscher und bei der Heizung. Der jetzige Wärmetauscher schaffte bei den Versuchen die Gülle auf max. 110-115°C aufzuwärmen. ( Wasser 135-140°C. Da sind nochmals 25-30°C möglich.

Für den momentanen Durchsatz von 300 Liter Gülle pro Std. ist die Heizung viel zu gross. Sie würde das 5-6 fache schaffen. Bei mehr Durchsatz wird sie viel effizienter arbeiten.

Beim 60 Std. Gulletest konnte auch festgestellt werden dass der Flow bei Wasser 400 Liter/Std. betrug. Bei Gülle dann auf 300 Liter abfiel. Das sind ca. 25%.

**Wir sehen nochmals ein weiteres Energieeinsparpotenzial von insgesamt 40-50%!**

# Abluftfilter / Biofilter



Biofilter auf Schwarzwassertank montiert



Messkampagne im Februar 2019

Der eingesetzte Hartmann Biofilter arbeitet mit einer Mischung von speziellen hackschnitzeln, die auf grosser Fläche ca. 1 m. dick auf einem Rost lagern. Ein Gebläse zieht die Abluft durch die Schnitzel. Die Bakterien zersetzen die hängen gebliebenen Schadstoffe. Es ist eine automatische Bewässerung installiert damit das Filterbett nicht austrocknet.

Unsere Erfahrungen waren zuerst durchzogen. Weil die Anlage immer wieder ausfiel konnten sich der Bakterienstamm nicht entwickeln. Auch war der Filter mit den Dampfausgasungen des alten Reaktors überfordert.

Im Februar konnte dann der Abgastest absolviert werden. Es mussten sämtliche Schadstoffe gemessen werden inkl. Dioxin. Die Gesamtkosten beliefen sich auf über 20'000 Fr. Ein ganzer Bus voller Apparaturen wurde aufgefahren und installiert.

Wir freuen uns dass das Resultat sehr positiv ausgefallen ist. Auch hier hat sich der Aufwand gelohnt und wir haben ein gut funktionierendes System implementiert.

Mit dem Filter kann sowohl die gesamte Hallenluft, sowie auch ein ganz gezielter Abluftstrom erfasst und behandelt werden.

# Ausblick / weiteres Vorgehen 2019/2020



HTC Kohlebriquets / schwarzes Gold



Input- und Output Produkte

## Optimierung Anlage:

- Kohle-Wasser Trennung weiter optimieren
- Wärmetauscher optimieren
- Erdgas- und Stromzähler werden ins Leitsystem integriert

## Kampagnen:

- September Oktober 2019 2. Messkampagnen mit Gülle und Klärschlamm
- Bis Ende 2019 Dauerbetrieb für verwendbare Resultate Prozesswasserbehandlung aus Festbettfermenter.
- Test's und Beurteilung des Prozesswassers.
- Prozesswasserbeurteilung durch das ANU noch ausstehend.

## Einfluss Prozessparameter:

- TS im Feed, Durchsatz/Verweilzeit, Temp./Druck, pH-Wert
- Energie- und Massenbilanz erstellen
- Zusammensetzung und Beurteilung der Produkte
- Nährstoff- und Schwermetallverteilung
- Energetische Bewertung der Kohle

## Zukunft:

Das BFE Projekt muss wegen der Verzögerungen verlängert werden. Deshalb soll auch die Betriebsbewilligung nochmals um 18 Monate verlängert werden. Parallel wird ein Standort in der Nähe für produktiven Dauereinsatz gesucht.

## Mitwirkende im Projekt



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

**Bundesamt für Energie BFE**  
**Office fédéral de l'énergie OFEN**



Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften



**Life Sciences und  
Facility Management**

IUNR Institut für Umwelt und  
Natürliche Ressourcen



**biosweet**

Biomass for Swiss Energy Future  
Swiss Competence Center for Energy Research



Fachhochschule Nordwestschweiz  
Hochschule für Technik

This research project is financially supported by the Swiss Federal Office of Energy and Swiss Innovation Agency Innosuisse and is part of the Swiss Competence Center for Energy Research SCCER BIOSWEET.