Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

DBFZ

Tagungsreader 12

HTP-Fachforum 2018

Hydrothermale Prozesse zur stofflichen und energetischen Wertschöpfung



19./20. September 2018 | Leipzig: DBFZ, 2018

IMPRESSUM

Herausgeber:
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Telefon: +49 (0)341 2434-112
Fax: +49 (0)341 2434-133
info@dbfz.de

Förderung:
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Geschäftsführung:
Prof. Dr. Michael Nelles (Wissenschaftlicher Geschäftsführer)
Daniel Mayer (Administrativer Geschäftsführer)

DBFZ Tagungsreader, Nr. 12
4. HTP-Fachforum „Hydrothermale Prozesse zur stofflichen und energetischen Wertschöpfung"
am 19./20. September 2018
Leipzig: DBFZ, 2018
ISSN: 2199-9856 (online)
ISBN: 978-3-946629-34-4

Datum der Veröffentlichung: 19. Dezember 2018

Bilder: DBFZ (Sofern nicht am Bild vermerkt)

Das DBFZ ist nicht verantwortlich für den Inhalt der eingereichten Dokumente. Die Verantwortung für die Texte sowie der Bilder/Grafiken liegt bei den Autoren.

Gestaltung: Stefanie Bader, Desktop Publishing: Paul Trainer

Copyright: Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne die schriftliche Genehmigung des Herausgebers vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere auch die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf anderen digitalen Datenträgern

HTP-Fachforum 2018

Hydrothermale Prozesse zur stofflichen und energetischen Wertschöpfung

19./20. September 2018 | Leipzig: DBFZ, 2018

Inhaltsverzeichnis

Grußwort des Veranstalters 8

WISSENSCHAFTLICHE KEYNOTES

Prof. Dr. Daniela Thrän, UFZ/DBFZ/Universität Leipzig
Is there enough for everything and everyone? Bioenergy between different expectations 10

Gerd Unkelbach, Fraunhofer CBP
Kaskaden: Welche technischen Möglichkeiten sind aussichtsreich? 20

Horst Fehrenbach, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung
Monitoringsysteme zur Sicherstellung der Nachhaltigkeit für die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse 22

Prof. Dr. David Chiaramonti, University of Florence
EU policy in biomass, bioenergy and bioproducts: which directions after REDII? 30

PRAXISBEISPIELE UND ANLAGENTECHNIK

Erkan Yalcin, TerraNova Energy GmbH
Hydrothermale Carbonisierung von Klärschlämmen in industriellen Maßstab: Langzeitbetrieb und Etablierung von P-Rückgewinnungsverfahren 40

Stepan Kusche, HTCycle GmbH
HTC-Akivitäten in Mecklenburg-Vorpommern 50

Prof. Dr. Nicolaus Dahmen, KIT / Prof. Dr. Andrea Kruse, Uni Hohenheim
Materialien für hydrothermale Prozesse: Werkstoffe, Korrosion, Salze und Feststoffe 64

HYDROTHERMALE PROZESSE ZUR BEREITSTELLUNG VON KOHLENSTOFF-WERKSTOFFEN

Viola Hoffmann, Universität Hohenheim
HTC zur Herstellung biobasierter Elektrodenmaterialien für die Elektromobilität 80

Frank Schröter, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Production of porous Hydrochars out of wet Biomasses under Application of different Additives 92

Dominik Siemon, SunCoal Industries GmbH
Auf dem Weg in den Markt – Hochwertige Kohlenstoffe mit SunCoals hydrothermaler Plattformtechnologie 104

HYDROTHERMALE PROZESSE ZUR BEREITSTELLUNG VON CHEMIKALIEN UND BIOKRAFTSTOFFEN

Jakob Köchermann, Deutsches Biomasseforschungszentrum
Production of furfural from D-xylose and organosolv hemicellulose in water/ethanol mixtures 118

Björn Schwarz, Fraunhofer IKTS
Kombinierte Verfahren zur Nutzung und Aufbereitung von HTC-Prozesswässern 132

Ulrike Junghans, Fraunhofer CBP
Oxidative Depolymerisation von Kraftlignin im wässrigen alkalischen Medium zur Gewinnung hochwertiger oligomerer funktioneller Bausteine 142

Dr. Arne Roth, Bauhaus Luftfahrt e.V.
HTL-based liquid fuel production: First results from the European collaborative project HyFlexFuel 152

WERTSCHÖPFUNG AUS RESTSTOFFEN

Heiner Brookman, HAWK Göttingen
Einfluss der HTC auf die Konzentration und Toxizität von PCBs, PCDDs und PCDFs in Klärschlamm 170

Frank Hokamp, Fraunhofer UMSICHT
Prozesscharakterisierung und Prozesswasseraufbereitung am Standort: metabolon 182

Daniel Reißmann, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ
Wohin die Reise gehen könnte... Potentielle Entwicklungspfade der Hydrothermalen Verwertung wässriger biogener Rest- und Abfallstoffe in Deutschland bis 2030 196

POSTER-SPEEDPRESENTATION

Marlen Verges, Fraunhofer CBP
Kinetics of the ethanol water organosolv Fractionation of lignocellulosic Feedstock on pilot scale 208

Christian Bartsch, Fraunhofer CBP
Separation und Aufreinigung von Furanderivaten aus Prozesswässern der hydrothermalen Umwandlung 210

Nader Marzban, Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie
Reaction kinetic modelling of the hydrothermal carbonization of plant- based feedstocks 212

Tim Worrieschek, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
FT-ICR-MS-Analyse und Photo-Fenton degradation reaction of HTC-Process water 214

Yujie Fan, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
The fate of nitrogen during catalytic hydrothermal liquefaction of sewage sludge 216

Edoardo Miliotti, Università di Firenze/RE-CORD
Experimental experience on batch subcritical hydrothermal processing of lignin-rich stillage from 2nd generation ethanol process 218

Paul Körner, Universität Hohenheim
Einblicke in Kinetik und Mechanismus der hydrothermalen Konversion von Fructose 220

Lynn Hansen, Technische Universität München
Thermogravimetrische Analyse von HTC Biomasse - Einfluss von Reaktionsparametern und Ascheeigenschaften 222

CLOSING SESSION

Prof. Dr. Michael Nelles, Deutsches Biomasseforschungszentrum
Energetische und stoffliche Verwertung von biogenen Abfällen und Reststoffen 226

Prof. Dr. Daniela Thrän, UFZ/DBFZ/Universität Leipzig
Bioenergy in a CO_2 Economy 248

Prof. Dr. Dirk Enke, Universität Leipzig
Potenziale der biogenen Silika - ein Rohstoff für die Zukunft? 256

REFERENTENPROFILE

Brookman, Heiner 267
Chiaramonti, Prof. Dr. David 267
Dahmen, Prof. Dr. Nicolaus 268
Enke, Prof. Dr. Dirk 268
Fehrenbach, Horst 269
Hoffmann, Viola 269
Hokamp, Frank 270
Junghans, Ulrike 270
Köchermann, Jakob 271
Kruse, Prof. Dr. Andrea 271
Kusche, Stepan 272
Müller-Langer, Dr. Franziska 272
Nelles, Prof. Dr. Michael 273
Reißmann, Daniel 273
Roth, Dr. Arne 274
Schröter, Frank 274
Schwarz, Björn 275
Siemon, Dominik 275
Thrän, Prof. Dr. Daniela 276
Unkelbach, Gerd 276
Yalcin, Erkan 277

ANHANG

Veranstalter 279
Save the Date 280
Teilnehmerliste 281

Weitere Fotos unter: www.flickr.com/photos/139453872@N08/albums/72157701723697415








Grußwort des Veranstalters

Sehr geehrte Damen und Herren,



Dr. Marco Klemm, DBFZ

auch das 4. HTP-Fachforum war ein voller Erfolg, wofür ich mich bei Ihnen, und allen die darüber hinaus dazu beigetragen haben, herzlich bedanken möchte.

Vertreter von Wissenschaft und Wirtschaft aus den Bereichen Ent- und Versorgung, Biomassenutzung, Chemie, Energieversorgung, Kohlenstoffwerkstoffe, Anlagenbau, Landwirtschaft, Planungs- und Beratungsdienstleistungen aus dem In- und Ausland konnten die Ergebnisse ihrer Arbeit, Fragestellungen und Lösungsansätze diskutieren. Die in den geraden Jahren mögliche Einbindung in die DBFZ Jahrestagung führte zu einer deutlichen gegenseitigen Bereicherung.

In den Vorträgen und Postern wurde auch in diesem Jahr wieder ein guter Teil der gesamten Bandbreite der hydrothermalen Prozesse dargestellt. Weiterhin spielt die Nutzung nasser biogener Reststoffe, auch im Hinblick auf ein Recycling anorganischer Nährstoffe und eine Prozesskopplung mit der Biogaserzeugung, eine bedeutende Rolle. Das hydrothermale Prozesse, ungeachtet der Bedeutung dieser Anwendungen, noch vielmehr können, zeigten eindrucksvolle Beispiele aus den Bereichen Chemikalienproduktion und Kohlenstoffwerkstoffe bis hin zu hydrothermal erzeugten Materialien für Kondensatoren für die E-Mobilität.

Erfreulicherweise konnte von laufenden kommerziellen Anlagen und von in den Markt drängenden Lösungen berichtet werden. Es steht zu hoffen, dass von diesen positiven Signalen aus der Praxis ein Schub für die ganze Branche ausgeht, der neben der Forschungs- und Entwicklungsarbeit weitere Umsetzungen befördert. Es bleibt auch in Zukunft ein dezidiertes Ziel des HTP-Fachforums, Wissenschaft und Anwendung im Austausch zu halten.

Die Arbeit der Organisatoren wurde dieses Jahr erstmalig durch ein international besetztes Scientific Committee unterstützt, dem mein besonderer Dank gilt. Wir möchten mit dessen Hilfe das organisatorische und inhaltliche Konzept, etwa in der thematischen Schwerpunktsetzung, stetig weiterentwickeln, um Ihnen auch in den nächsten Jahren eine gewinnbringende Veranstaltung bieten zu können.

Wir sehen erwartungsvoll dem HTP-Fachforum 2019 entgegen. Ich würde mich freuen, Sie am 25. und 26. September, dann im Neubau des DBFZ, wieder begrüßen zu dürfen.



Mit besten Wünschen,

Dr. Marco Klemm
Arbeitsgruppenleiter "Chemische Biomasseveredelungsverfahren"
Deutsches Biomasseforschungszentrum

Wissenschaftliche Keynotes

Prof. Dr. Daniela Thrän, UFZ/DBFZ/Universität Leipzig

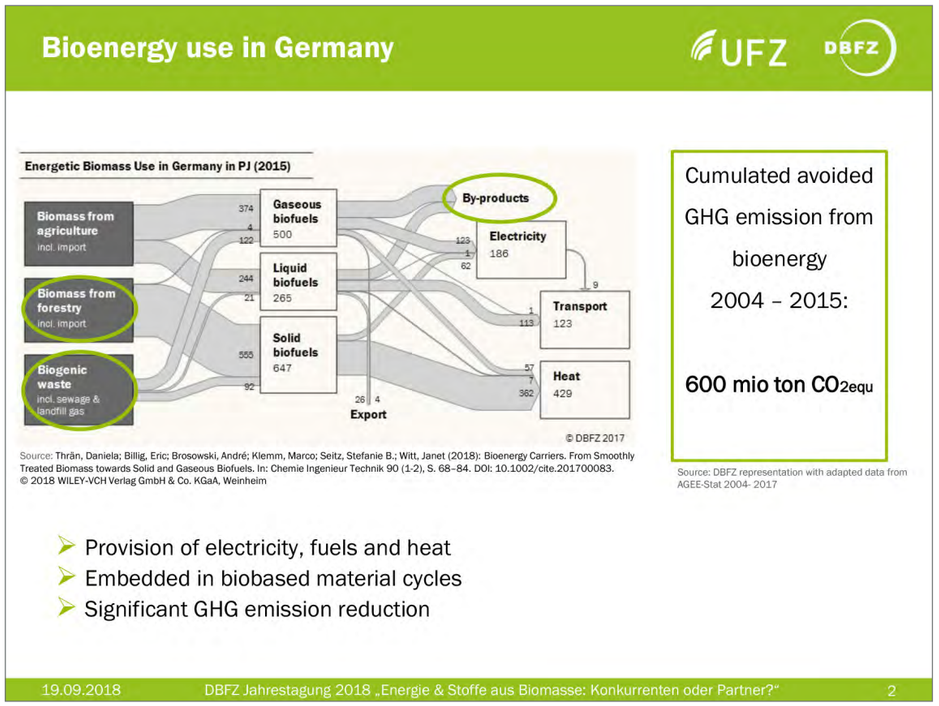
Is there enough for everything and everyone? Bioenergy between different expectations

Prof. Dr. Daniela Thrän[123], Dr. Volker Lenz, Dr. Jan Liebetrau, Stefan Majer, Dr. Franziska Müller-Langer, Maria Braune, Katja Oehmichen, Diana Pfeiffer
[1] Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Bioenergie (BEN), Permoser Straße 15, 04318 Leipzig
[2] DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig
E-Mail: daniela.thraen@dbfz.de
[3] Universität Leipzig, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, IIRM - Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement - Lehrstuhl Bioenergiesysteme, Grimmaische Straße 12, 04109 Leipzig

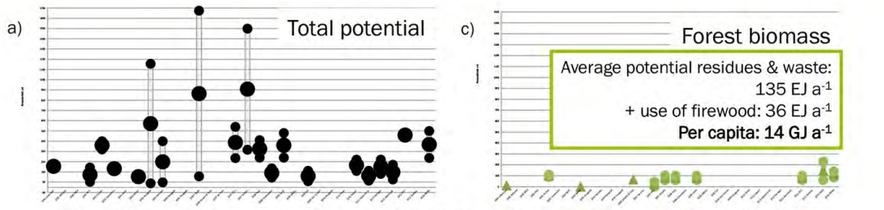
Bioenergie wird auf Basis von Forstprodukten, Energiepflanzen, Reststoffen und Abfällen bereitgestellt. Während die Nutzung von Lignozellulose, und insbesondere Holz lange etabliert und in den meisten Ländern die wesentliche Bioenergiebereitstellung leistet, erhielten Energiepflanzen, insbesondere Ölpflanzen für Biodiesel und Zucker- und Stärkepflanzen für Ethanol und Biogas, im letzten Jahrzehnt eine verstärkte Aufmerksamkeit. Ihre Rolle ist aber sowohl aktuell als auch künftig untergeordnet. Die wesentliche Rohstoffbasis für Bioenergie stellen damit Lignozellulose und – in geringerem Umfang - vergärbare Reststoffe dar. Für diese Stoffströme sind in Deutschland 1000 PJ dauerhaft verfügbar; sie werden aktuell nur teilweise genutzt. Dazu können umweltverträgliche Anbaubiomassen wie Blühpflanzen oder aus Anbausystemen für degradierte Flächen kommen. Da Lignozellulose nicht veratmet wird, sind diese Reststoffe auch in einer stärker auf Biomasse basierten Wirtschaft zu erwarten, allerdings können sich die Produkteigenschaften deutlich verändern. Die Etablierung nachhaltiger und effizienter Nutzungskaskaden muss sowohl technische als auch wirtschaftliche und organisatorische Anfor-derungen berücksichtigen. Gute Beispiele für solche Kaskaden werden vorgestellt.

Auch im Energiesystem ist die Konkurrenz um Bioenergie erheblich. In einer weitgehend auf erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgung wird Biomasse als Kraftstoff in schwer auf Strom umstellbaren Transportsystemen (Flugverkehr, Schwerlastverkehr), als Energieträger für industrielle Hochtemperaturprozesse, als Wärmequelle für historische Gebäude, als flexible Ergänzung von Wind- und PV-Strom, sowohl im klassischen Strommarkt als auch in Sektor-gekoppelten Systemen eingeplant. Zusätzlich kann Bioenergie zur CO_2-Entnahme beitragen. Um diese vielfältigen Bedarfe möglichst umfassend zu erfüllen, besteht für die Koppelung der stofflichen und energetischen Nutzung Forschungs- und Entwicklungsbedarf, u.a. bei der Mobilisierung der noch nicht genutzten Rest- und Abfallstoffe, bei der Aufbereitung der Biomasse zu einfach nutzbaren Einsatzstoffen, bei der Entwicklung von mengen- und bedarfsangepassten Konversionskonzepten, bei der Aufbereitung und der Verwendung von nährstoffreichen Rückständen (Aschen, Gärresten), aber auch beim Produktdesign am Anfang der Kaskade, bei der ganzheitlichen Bewertung und bei der Weiterentwicklung der Steuerungsinstrumente.





How much biomass can we expect?



Global potential expectations for 2050 for different bioenergy feedstock: Evaluation of 32 studies (1993–2016)

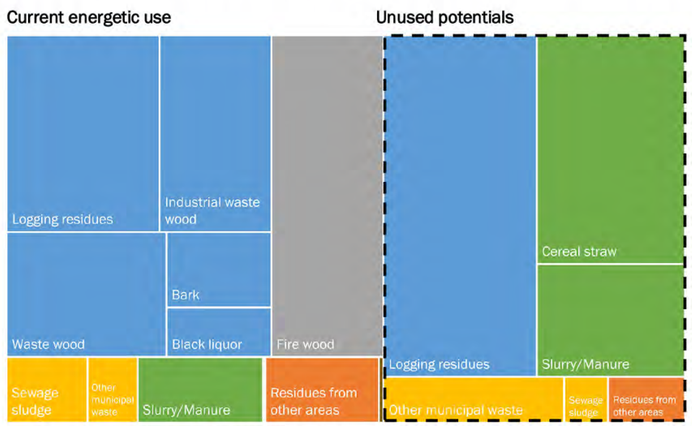
Uncertainties in energy crop potentials, but stable expectation for forest biomass and residues & waste

Source: a+b: Pfeiffer, Diana; Thrän, Daniela (2018): One Century of Bioenergy in Germany. Wildcard and Advanced Technology. In: Chemie Ingenieur Technik 90 (11), S. 1676–1686. DOI: 10.1002/cite.201800154. c+d: DBFZ (2018) unpublished

How much biomass can we expect?

- Biomass potential from residues (and fire wood) in Germany: at least 1,000 PJ

→ Session I



Result range
971 – 1,667 PJ

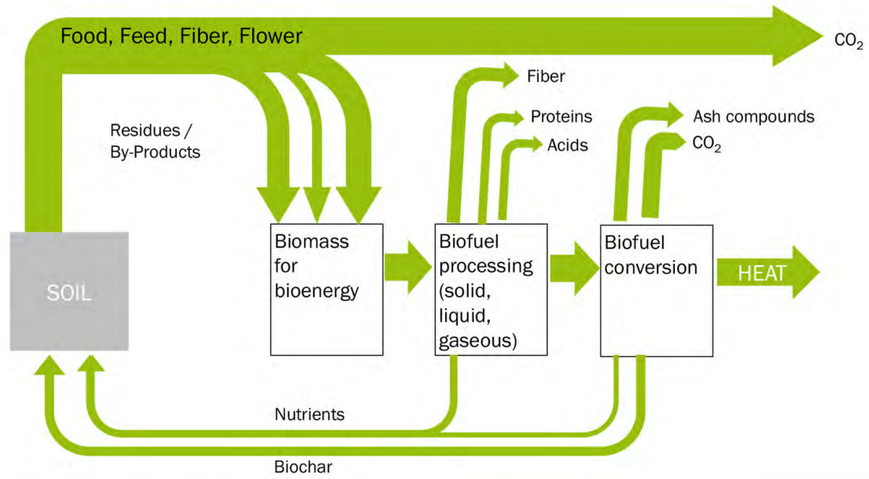
***

Update available
11/2018

Source: Scheitholz: Mantau 2014, RWI & forsa 2015, Rest- und Abfallstoffe: Brosowski et al. 2015, Brosowski et al. (2019, *in publication*)

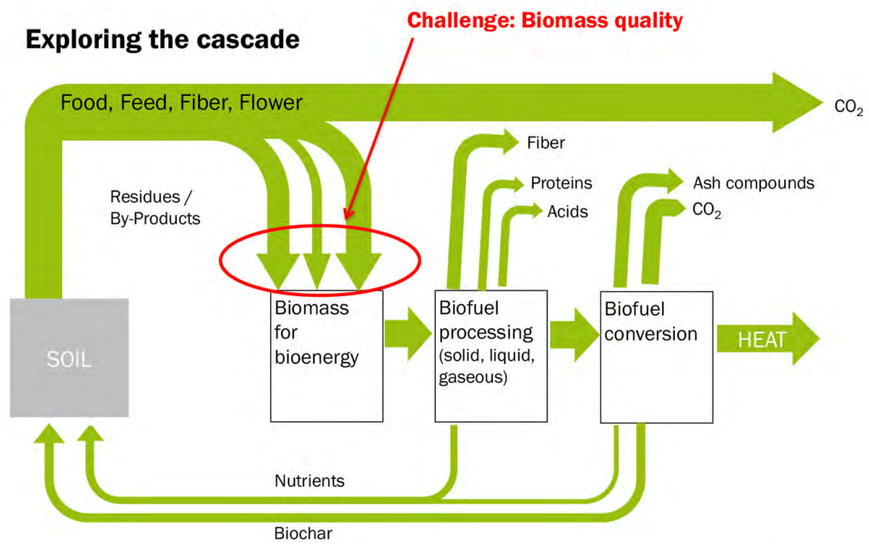
Material and energy use

Options



Material and energy use

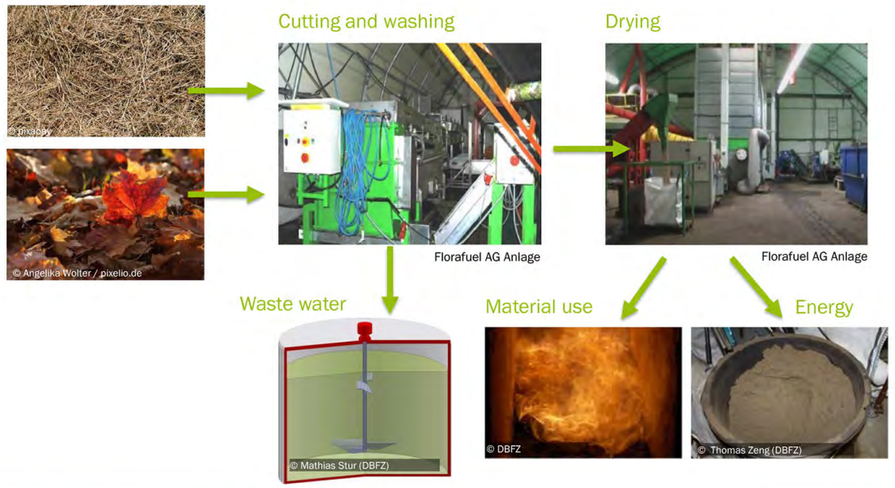
Exploring the cascade



Material and energy use

Leaves and grass from landscape gardening
Cascade to material and energy

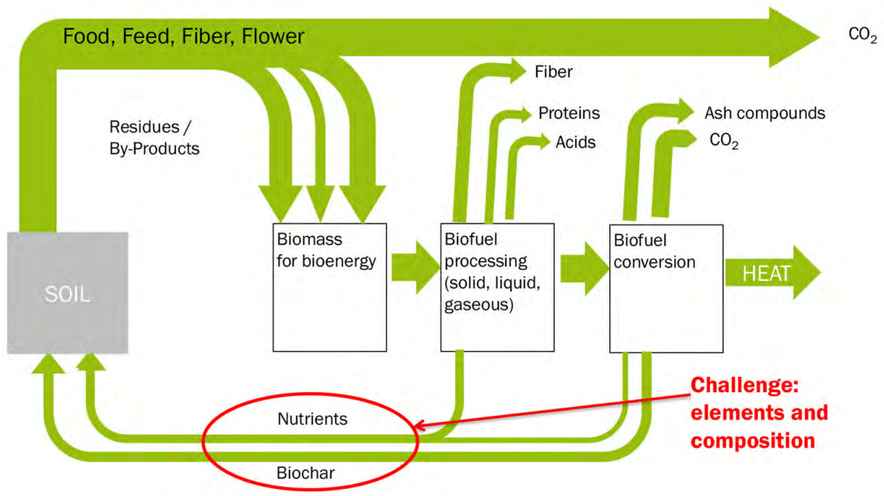
→ Session III



Material and energy use

Exploring the cascade

→ Session II

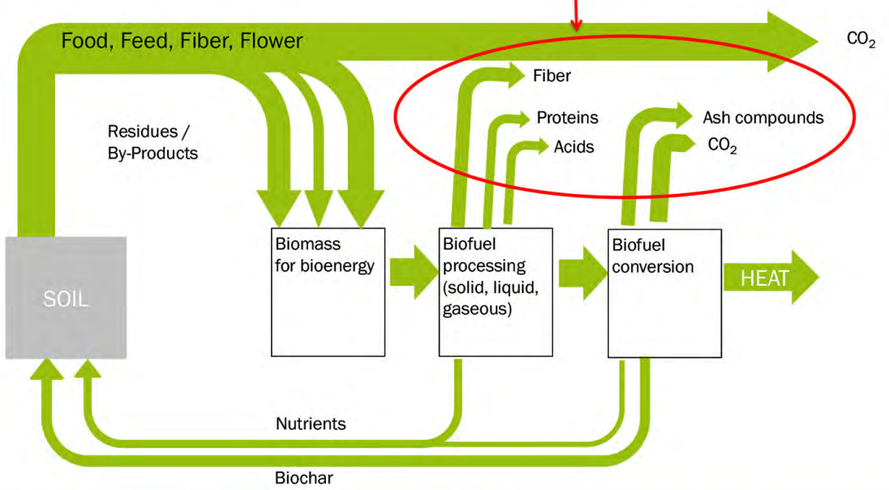


Material and energy use

From cascades to refineries

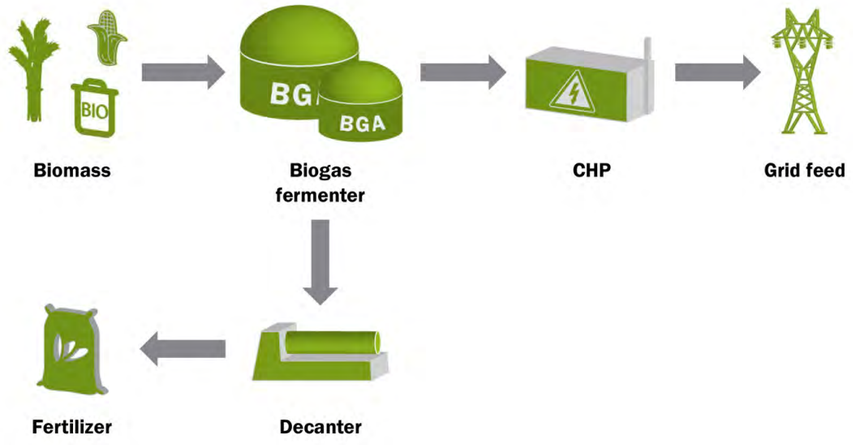
Challenge: Product quality

→Session IV



Material and energy use

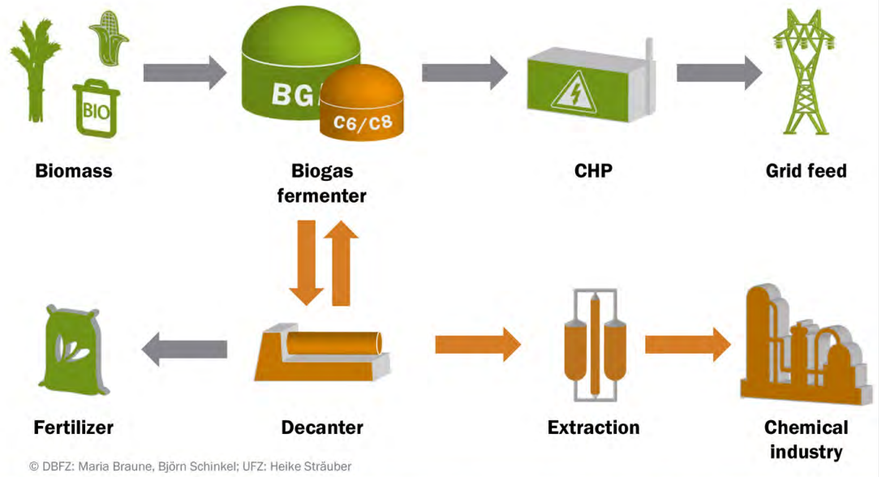
From cascades to refineries – many approaches in biogas → Session II
One example Projekt *CapACIDy*



© DBFZ: Maria Braune, Björn Schinkel; UFZ: Heike Sträuber

Material and energy use

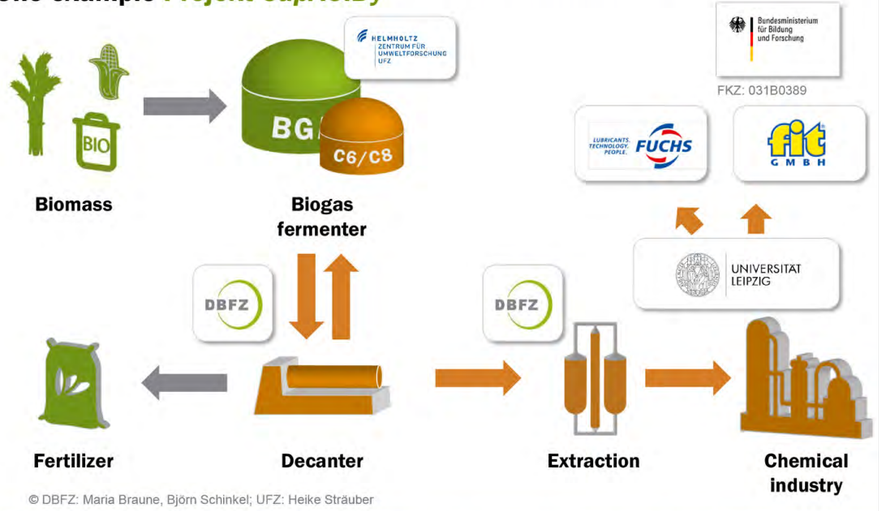
From cascades to refineries – many approaches in biogas → Session II
One example Projekt *CapACIDy*



© DBFZ: Maria Braune, Björn Schinkel; UFZ: Heike Sträuber

Material and energy use

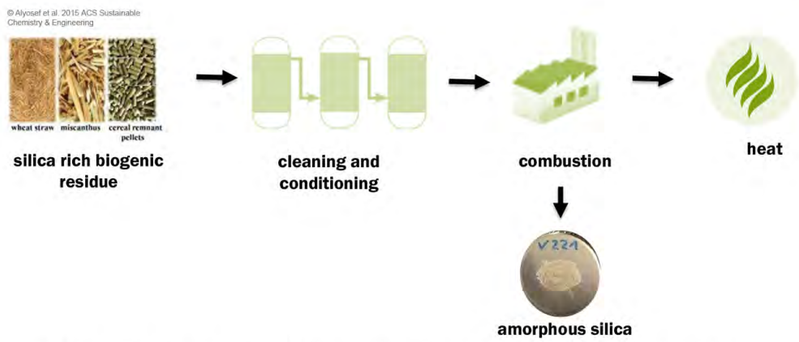
From cascades to refineries – many approaches in biogas → Session II
One example Projekt *CapACIDy*



© DBFZ: Maria Braune, Björn Schinkel; UFZ: Heike Sträuber

Material and energy use

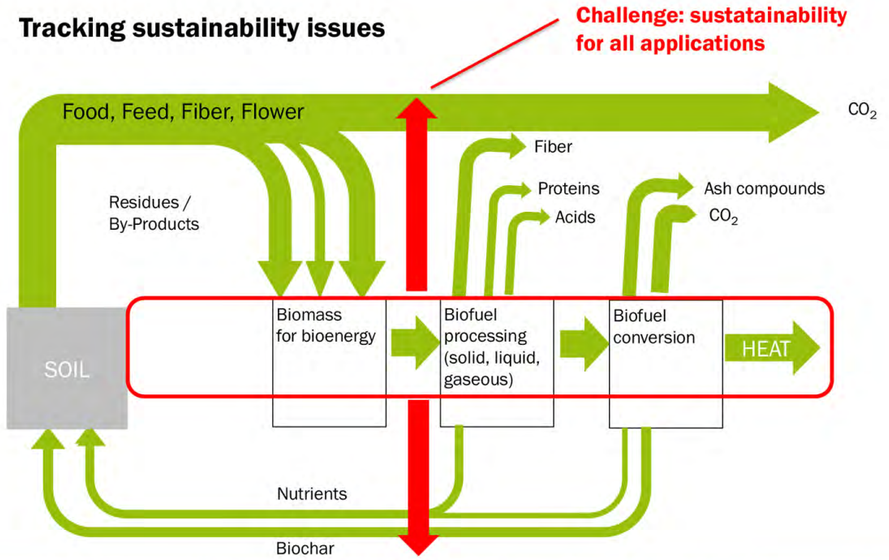
From cascades to refineries – end of pipe material regeneration
One example
→ Session V



- Main target is quality of the combustion ash = amorphous silica
- Conditioning and combustion parameters are adjusted to gain high quality and significant amount.

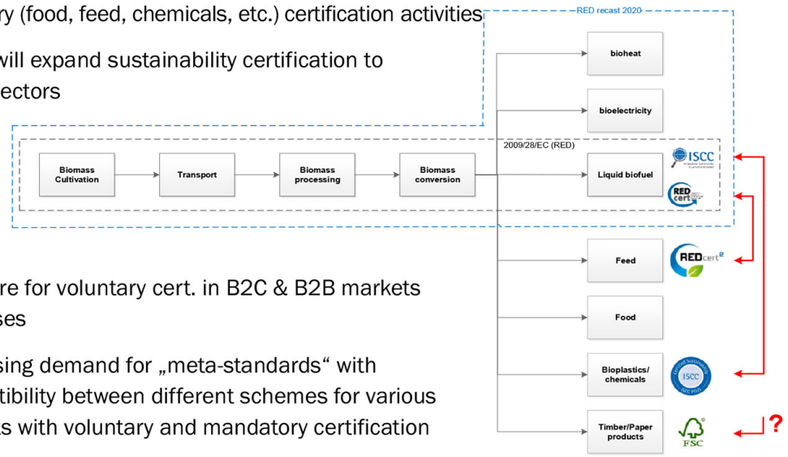
Material and energy use

Tracking sustainability issues



Synergies in biomass certification for material and energy use

- Over the past decade, sustainability certification of biomass has increased impressively → Session I
- Various certification schemes do exist in markets with mandatory (e.g. biofuels) and voluntary (food, feed, chemicals, etc.) certification activities
- RED II will expand sustainability certification to all BE sectors



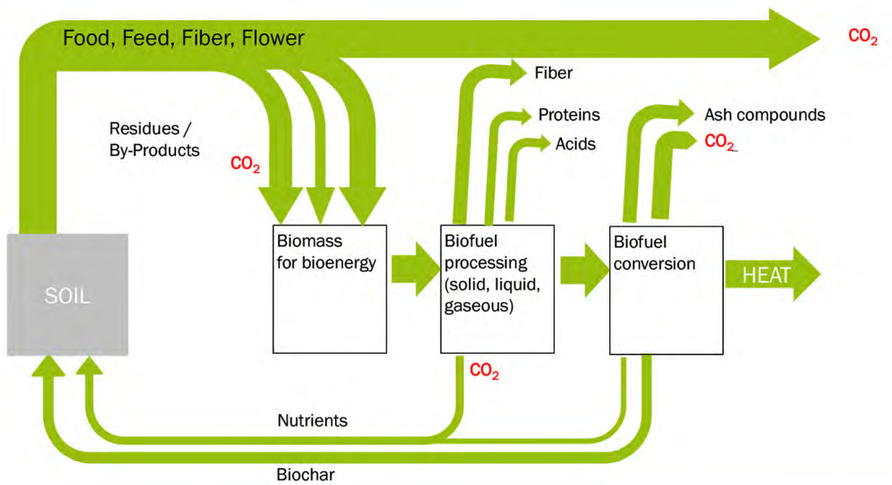
- Pressure for voluntary cert. in B2C & B2B markets increases

➢ Increasing demand for „meta-standards“ with compatibility between different schemes for various markets with voluntary and mandatory certification

Material and energy use

Long term needs: CO_2 econoomy?

→Closing Session



Conclusion

- Even under an increased demand of biomass for materials **a long term available biomass potential for energy can be expected!**
- Different approaches are under development to **integrate bioenergy into the provision and use of materials and energy** (→ smart bioenergy concept)
- The **variety of the options** demands open frame condition for development (cascading as concept and not as rule), but also
  - **Mobilization** of biogenic residues and waste (concepts, but also adopted (waste) regulation)
  - **Treatment technologies** for residues and waste to clean fuels
  - **Market implementation of conversion concepts** for combined material and energy provision using modular systems
  - **Product design** and product specification
  - Better **system understanding** and improved **assessment tools**
- **Long term strategy** for bioenergy

Contact

Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän

Head of Department Bioenergie (BEN)
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ

Head of Bioenergiesysteme (Bereich BS)
Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH – DBFZ

Torgauer Straße 116, D-04347 Leipzig
www.dbfz.de / www.ufz.de
Tel.: +49 (0)341 2434 – 435
Fax: +49 3412434-133

Gerd Unkelbach, Fraunhofer CBP

Kaskaden: Welche technischen Möglichkeiten sind aussichtsreich?

Gerd Unkelbach
Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP
Am Haupttor (Tor 12, Bau 1251)
06237 Leuna
Tel.: +49 (0)3461 43-9101
E-Mail: **gerd.unkelbach@cbp.fraunhofer.de**

Schlagwörter: Bioraffinerie, Lignocellulose, Biotechnologie, Zucker, Lignin

Bioraffinerien sollen zukünftig biobasierte Materialien und Chemikalien zur Verfügung stellen. Als Rohstoff, der nachhaltig und ohne Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung steht, bieten sich heimische Laubhölzer an. Wichtigster Aspekt ist die Herstellung von nachgefragten, marktfähigen Produkten durch robuste, effiziente und integrierte Prozessführung, damit eine breite Anwendbarkeit und Konkurrenzfähigkeit gegenüber petrochemisch hergestellten Plattformchemikalien gewährleistet ist.

Da jedoch die Prozesse zur Rohstoffaufbereitung, Konversion und Produktabtrennung stark interagieren und sich gegenseitig beeinflussen, müssen die Prozesse vollständig in ausreichender Dimension abgebildet und bilanziert werden, um belastbare Aussagen über die gesamte Wertschöpfungskette zu erhalten. Nur so können verlässliche Stoff- und Energiebilanzen ermittelt und Rückschlüsse auf die Skalierbarkeit der Prozesse gezogen werden, um das Potential der auch im petrochemischen Bereich bereits erreichten Prozessintegration auszuschöpfen.

Dieser übergeordnete Ansatz soll am Beispiel des aktuell am Fraunhofer CBP und DBFZ laufenden Verbundforschungsvorhabens "Fein- und Plattformchemikalien aus Holz durch kombinierte chemisch-biotechnologische Prozesse - KomBiChemPro" gezeigt werden.

Ausgangspunkt ist der physikalisch-chemische Aufschluss von Holz mit Alkohol-Wasser-Mischungen (Organosolv-Verfahren), welcher die Gewinnung aller drei Hauptkomponenten von Lignocellulose (Cellulose-, Hemicellulose und Lignin), sowie die Herstellung von biobasierten Plattformchemikalien auf deren Basis und damit eine kaskadenartige Nutzung der Lignocellulose erlaubt. Am Fraunhofer CBP wurde das Konzept einer holzbasierten Bioraffinerie im Pilotmaßstab im Rahmen des Projektes „Lignocellulose Bioraffinerie“ (BMEL/FNR) erfolgreich umgesetzt und die Verfahrensentwicklung im Spitzencluster-Verbundprojekt 2.3 „Biomasse-Aufschluss – Vorbereitung der Demonstrationsphase“ vorangetrieben.

Dabei zeigte sich, dass die Gewinnung von Faserstoffen und Zellstoff eine weitere aber wirtschaftlich durchaus attraktivere, Option statt der Gewinnung von Glukose aus der Cellulosefraktion bietet. Auch die gewinnbringende Wertschöpfung aus der Hemicellulose stellt neben dem Lignin eine wichtige Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit des Gesamtverfahrens dar. Die Konversion zu Produkten, deren Eigenschaften spezifisch mit der C5-Struktur des Xylans verbunden sind, bieten hier die besten Aussichten für eine hohe Wertschöpfung.

Neben der ökonomischen Bewertung der am Fraunhofer CBP durchgeführten Versuche führt das DBFZ eine ökologische Betrachtung durch, um Vor- aber auch Nachteile der integrierten Verfahren herauszuarbeiten und letztere zu überwinden. Darüber hinaus ermöglicht die Durchführung der Versuche im Technikumsmaßstab gleichzeitig die Herstellung von Mustermengen und die Ermittlung der Produktspezifikationen.

Horst Fehrenbach, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung

Monitoringsysteme zur Sicherstellung der Nachhaltigkeit für die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse

Horst Fehrenbach
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Im Weiher 10
69121 Heidelberg
Tel.: +49 (0)6221 4767 16
E-Mail: horst.fehrenbach@ifeu.de

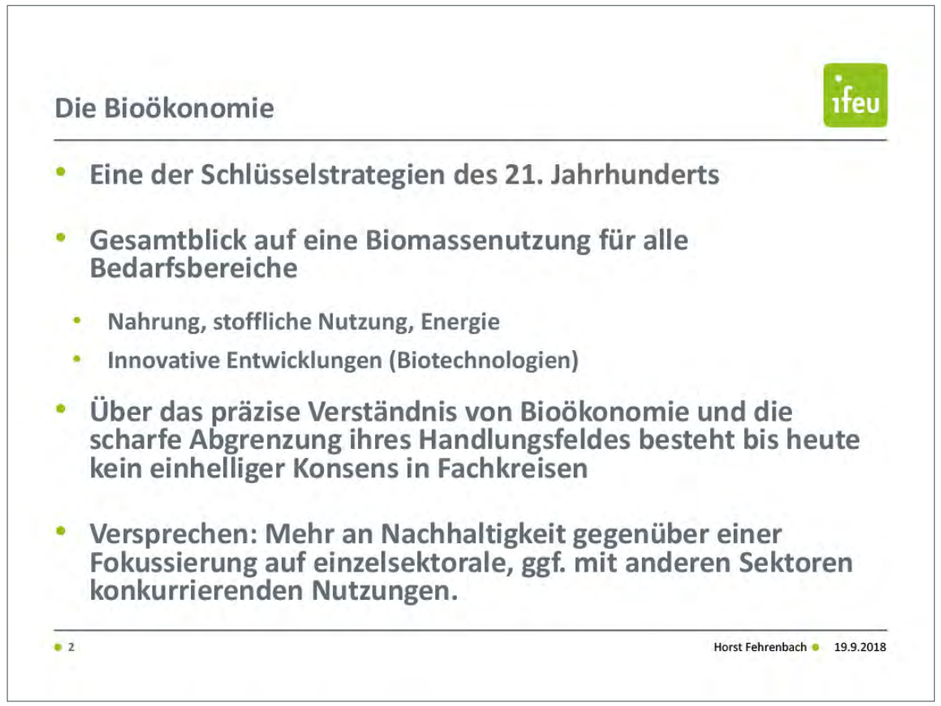
Schlagworte: Biomasse, Monitoringsysteme, Indikatoren, Fußabdrücke, Lebenswegbilanz

Die Bioökonomie zählt zu den Schlüsselstrategien des 21. Jahrhunderts. Sie verspricht durch den Gesamtblick auf eine Biomassenutzung für alle Bedarfsbereiche (Nahrung, stoffliche Nutzung, Energie) auch unter Einbeziehung von innovativen Entwicklungen (Biotechnologien) ein Mehr an Nachhaltigkeit gegenüber einer Fokussierung auf einzelsektorale im Zweifel mit anderen Sektoren konkurrierender Nutzungen. Bioökonomie ist damit komplex und über das präzise Verständnis davon und die scharfe Abgrenzung ihres Handlungsfeldes besteht bis heute kein einhelliger Konsens in Fachkreisen. Besonders komplex ist daher die Frage, wie sich die Prämisse des "Mehr an Nachhaltigkeit" messen und bewerten lässt.

Nachhaltigkeitsbewertungen sind nun schon seit längerem in der Praxis üblich, wenngleich es kein standardisiertes Verfahren dazu gibt. Ähnlich wie bei Ökobilanzen bestimmen Ziel und Rahmen im Grunde die konkrete Ausgestaltung. Die erstmals gesetzlich verbindlichen Nachhaltigkeitskriterien der RED geben (für Biokraftstoffe) ebenfalls einen Satz an Kriterien vor, der jedoch als Mindestanforderungen zu verstehen ist: werden sie nicht erfüllt, schließt sich Nachhaltigkeit aus. Eine Erfüllung der RED-Kriterien bedeutet jedoch keinesfalls ein insgesamt nachhaltiges Produkt im Geiste des Brundlandt-Verständnisses. Diese Disparität spiegelt sich interessanterweise auch in der Breite an Zertifizierungssystemen wider, die von streng auf die Mindestanforderungen beschränkt bis sehr weitgreifend mit diversen ökologischen wie sozioökonomischen Kriterien reichen.

Geht es nun aber um die Bewertung und das Monitoring der Bioökonomie insgesamt in Deutschland, so können Ökobilanzen und Zertifizierung zwar wertvolle Praxiserfahrungen gerade im Umgang mit Kriterien oder Daten liefern. Ein derart systemisches Monitoring muss jedoch notgedrungen bei Skalieren von der Ebene des Wirtschaftsakteures oder des einzelnen Produktlebenswegs (Mikroebene) auf ein abstrakteres Niveau (Makroebene) abzielen. Das Projekt SYMOBIO hat die Entwicklung eines Indikatorensystems zum Ziel, um ein solches systemisches Monitoring zu ermöglichen. Als Schlüsselkriterien und Indikatoren wird dabei auf folgende Fußabdrücke gesetzt: Treibhausgase, Fläche, Wasser, Holz. Aus diesen footprints wird im Rahmen des Projekts ein selbstlernendes und intelligentes Monitoringsystem entwickelt, das unter Einbeziehung von Fernerkundungsdaten und mit Einsatz von Webtools dieses systemische Monitoring ermöglichen soll.





Wie misst man *mehr Nachhaltigkeit*?

- Auch hier ist erst das Verständnis von Nachhaltigkeit zu klären
- Brundtland-Definition: komplex, globale Sicht (Süd-Nord-Gerechtigkeit), Generationengerechtigkeit.
- 3-Säulen-Konzept: Gewichtsverschiebung zu ökonomischen Interessen .
- In Praxis etabliert: Mindest-Kriterien zum Ausschluss und zur Vermeidung „des Schlimmsten“.
  - Beispiel: die Erneuerbare Energie-Richtlinie (RED)
- Apropos Brundtland: der „Ur-Sinn“ stellt auf nachhaltige Entwicklung ab --> Monitoring!

3 Horst Fehrenbach 19.9.2018

Ansätze im Bereich Biomasse

- die Erneuerbare Energie-Richtlinie (RED)
- Die ISO-Norm 13065: Nachhaltigkeitskriterien für Bioenergie
- Global Bioenergy Partnership (GBEP) – Sustainability Indicators for Bioenergy
- Bereich stoffliche Nutzung: INRO Initiative (nicht weiterverfolgt)
- Übergreifende Ansätze:
  - Sustainable Development Goals (SDGs)
  - Nationale Nachhaltigkeitsstrategien
- Nicht zu vergessen: Biomasse-Monitoring Arbeiten des DBFZ

4 Horst Fehrenbach 19.9.2018

Mikroebene - Makroebene

- Indikatorensysteme setzen auf Makroebene auf
- Indikatorenanwendung ist bisher v.a. auf Mikroebene (Wirtschaftsakteure oder einzelne Produktlebenswege) etabliert:
  - Umsetzung der Kriterien der RED durch Zertifizierungssysteme
  - Langjährige Praxis der Ökobilanz
- Grundlegende Erfahrungen für Skalierung auf die weit abstraktere Makroebene (--> „die Bioökonomie“, die Stoffwirtschaft etc.)

5 Horst Fehrenbach 19.9.2018

Zertifizierung zum Nachhaltigkeitsnachweis von konkreten Produkten und Lieferketten

- **Primär zugeschnitten auf konkrete Produkte (Lieferketten)**
- **Systemgrenze: Lieferkette**
- **Tatsächlichkeit der nachzuweisenden Daten.**

- **Vorteile bezüglich Monitoringsysteme :**
  - Zertifizierung ist bekannt und wird vielfach angewendet (Verbrauchernah/Ökolabels, auch B2B)
  - Systeme bergen große Datenmengen (jedoch z.T. schwer erschließbar)
  - Differenzierung nach zertifiziert/nicht zertifiziert gibt Orientierung über Entwicklung nachhaltiger Märkte

6 Horst Fehrenbach 19.9.2018

Ökobilanzen als Methode der Systemanalyse

- **Primär zugeschnitten auf Produkte (und Dienstleistungen)**
- **Cradle-to-grave-Ansatz**
- **Frage der räumlichen und zeitlichen Systemgrenze**
- **Daten oft aus generischen Datenbanken**

- **Vorteile bezüglich Monitoringsysteme :**
  - Internationale Standardisierung (ISO 14040/44)
  - Kohlenstofffußabdruck ist eine auf THG limitierte Ökobilanz (auch standardisiert: ISO 14067)
  - Die Ökobilanz ist bekannt und wird vielfach angewendet (auch intern in der Industrie)

7 Horst Fehrenbach 19.9.2018

Was hat es mit GBEP auf sich?

Indikatorensystem zur Anwendung und Monitoring auf nationaler Ebene:

Environmental pillar	Social pillar	Economic pillar
1. Life-cycle GHG emissions	9. Allocation and tenure of land for new bioenergy production	17. Productivity
2. Soil quality	10. Price and supply of a national food basket	18. Net energy balance
3. Harvest levels of wood resources	11. Change in income	19. Gross value added
4. Emissions of non-GHG air pollutants, including air toxics	12. Jobs in the bioenergy sector	20. Change in consumption of fossil fuels and traditional use of biomass
5. Water use and efficiency	13. Change in unpaid time spent by women and children collecting biomass	21. Training and re-qualification of the workforce
6. Water quality	14. Bioenergy used to expand access to modern energy services	22. Energy diversity
7. Biological diversity in the landscape	15. Change in mortality and burden of disease attributable to indoor smoke	23. Infrastructure and logistics for distribution of bioenergy
8. Land use and land-use change related to bioenergy feedstock production	16. Incidence of occupational injury, illness and fatalities	24. Capacity and flexibility of use of bioenergy

IINAS International Institute for Sustainability Analysis and Strategy

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

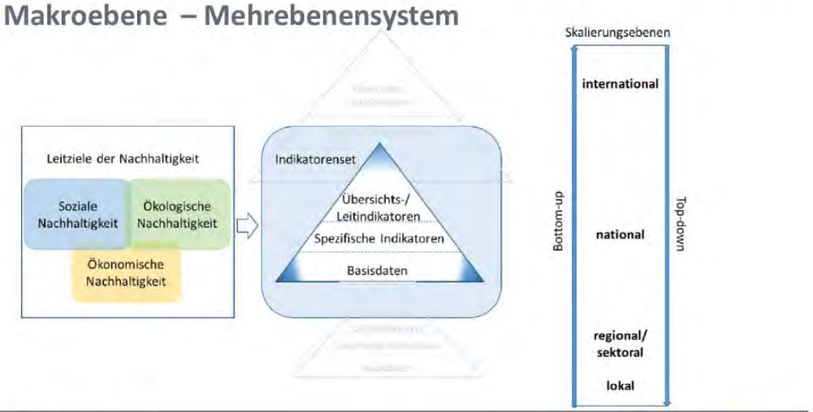


8 GBEP 2011, ifeu IINAS 2014, ifeu IINAS 2018 Horst Fehrenbach 19.9.2018

Der Ansatz im Projekt SYM BIO

Entwicklung eines Indikatorensystems zum systemischen Monitoring der BÖ Einbeziehung von Fernerkundungsdaten und mit Einsatz von Webtools

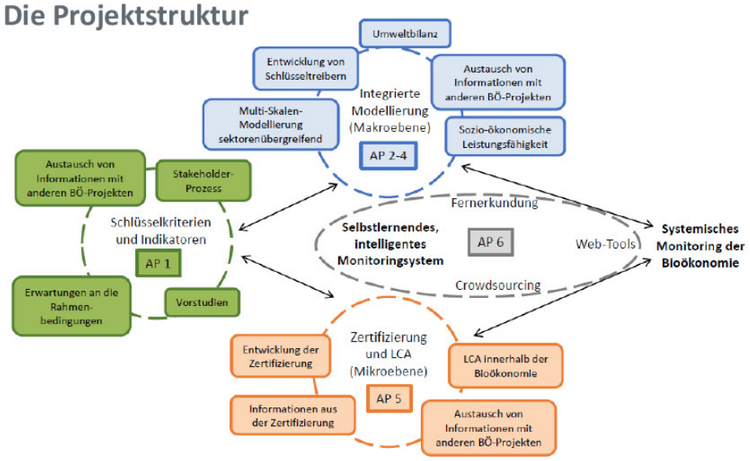
- **Makroebene – Mehrebenensystem**



9 Quelle: Bringezu (2018) Horst Fehrenbach 19.9.2018

Der Ansatz im Projekt SYM BIO

- **Die Projektstruktur**



10 Quelle: Bringezu (2018) Horst Fehrenbach 19.9.2018

Der Ansatz im Projekt SYMBIO

- Schlüsselkriterien und Indikatoren aus den Erfahrungen der Mikroebene
  - Agrarfußabdruck --> Fläche
  - Forstfußabdruck --> Holz
  - Wasserfußabdruck --> Wasser
  - Materialfußabdruck --> Ressourcen
  - THG-Fußabdruck --> THG-Emissionen



11 Quelle: Bringezu (2018) Horst Fehrenbach 19.9.2018

Der Ansatz im Projekt SYMBIO

- **Bsp: Agrarfußabdruck**

Deutschland ist **Netto-Importeur** agrarischer Fläche
Inland: *16,7 Mha*, Verbrauch benötigt: *19,4 Mha* in 2015
(DESTATIS 2018)

- global überdurchschnittliche Belegung intensiv genutzter Agrarfläche
- Trend 2008 –2015: leicht abgenommen (-3,8%)
- 2,0 Mha für Energiepflanzen im Inland (+ 42%)
- 2,4 Mha für Importe von Soja (hauptsächlich Kraftfutter) (-7%)
- 2,1 Mha für Importe von Kakao (+ 36%)

Auswirkungen auf andere Regionen (z.B. Biodiversität in Herkunftsländern)?

Welche künftigen Trends sind zu erwarten?

12 Quelle: Bringezu (2018) Horst Fehrenbach 19.9.2018

Schluss

- **Über 10 Jahre intensive wissenschaftlicher, politischer und öffentlicher Diskurs über die Nachhaltigkeit der Biomassenutzung bilden eine solide Grundlage**
- **Ein systemisches Monitoringsystem ist dennoch eine große Herausforderung**
- **Entscheidend ist für ein erfolgversprechendes Monitoringsystem ist es:**
  - **die Schlüsselindikatoren sind enthalten**
  - **die Datengrundlage ist fortschreibungsfähig**
  - **die Erkenntnisse sind kommunizierbar!**

13 Horst Fehrenbach 19.9.2018

INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG

Vielen Dank für's Zuhören



Horst Fehrenbach
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH
Wilckensstr. 3, D – 69120 Heidelberg
Tel.: +49/(0)6221/4767-0 – direkt: -16
E-mail: horst.fehrenbach@ifeu.de
Website: www.ifeu.de

Prof. Dr. David Chiaramonti, University of Florence

EU policy in biomass, bioenergy and bioproducts: which directions after REDII?

Prof. Dr. David Chiaramonti
University of Florence and RE-CORD
Stanz 326, Dipartimento Ingegneria Industriale
Viale Morgagni 40, Firenze
Phone: +39 (0)55 2758690
E-Mail: david.chiaramonti@unifi.it

Tags: Renewable Energy Directive, Biofuels, Biomass, Bioenergy

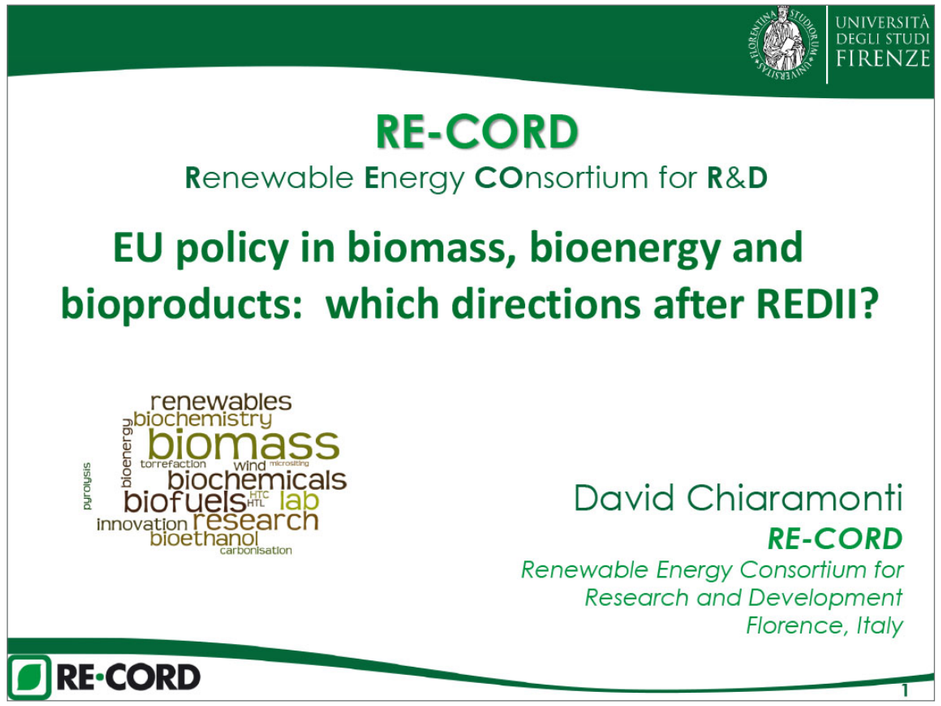
In November 2016 the European Commission released the proposal for a new Directive for the promotion of Renewable Energy Sources, so called REDII, that will follow the previous RED (28/2009). The EC proposal has been then examined by both the European Parliament and the European Council, that expressed their positions: a confrontation between these three European Institutions (trialogue) then followed, until an amended version of REDII was agreed in June 2018. REDII is expected to be formally issued before the end of 2018.

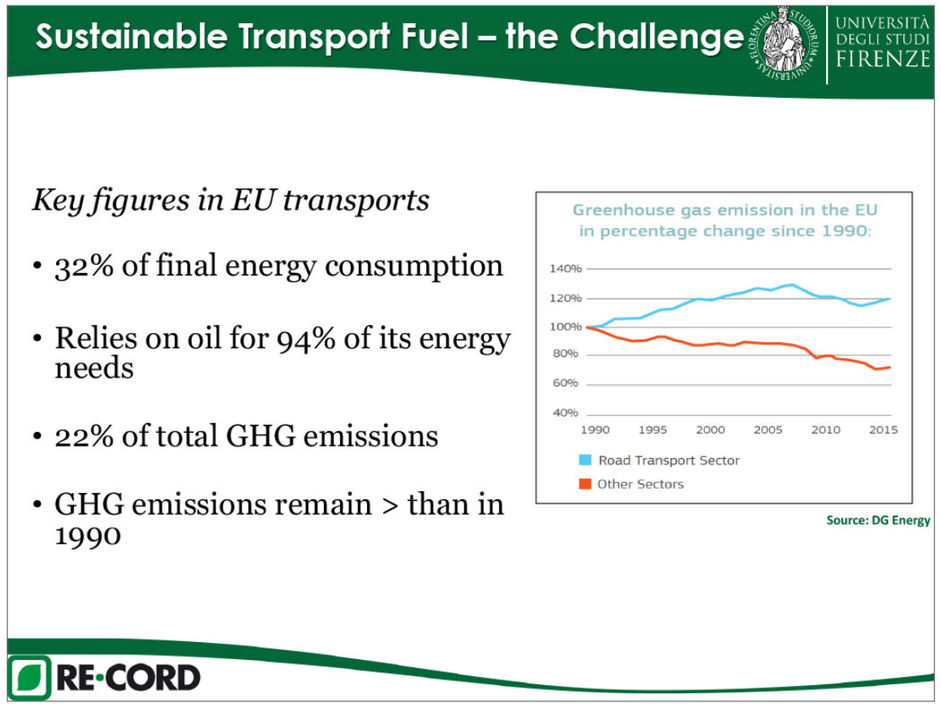
Even if REDII aims at stimulating the introduction of more sustainable and innovative routes for decarbonising EU transports, the Directive targets the delivery of significant volumes of sustainable fuels: thus, in this respect it has to be bear in mind that it clearly differentiates from R&D programmes, as for instance the H2020 programme and the SET plan, which "seeks to improve new technologies and bring down costs by coordinating national research efforts and helping to finance projects" and "promotes research and innovation efforts across Europe". The production of large amounts of more sustainable biofuels through industrial deployment of innovation, and increased production capacities in EU, are instead the main goals of the Directive, and therefore elements as implementing upscaling of process and technologies, replicating of industrial commercial initiatives, financing large investments, and widely deploying of proven value chain becomes fundamental components of such policy framework.

The discussion around Conventional and Advanced Biofuels (including Recycled Carbon Fuels) were among the most critical issues of the new Directive, with a particular focus on the sustainability component (following also the intense confrontation during the elaboration of the previous EC ILUC Directive in 2015). These elements not only belong to the energy issue, but also interact with other EU policy, measures, such as the Circular Economy Package or the Common Agricultural Policy.

Based on the information that can be reasonably estimated on the base of the previous confrontation among the EU Institutions and the interested stakeholders (Final REDII proposal has not yet been formally communicated at moment of the preparation of this paper), this work examines how the REDII could likely influence the sector during the next decade.

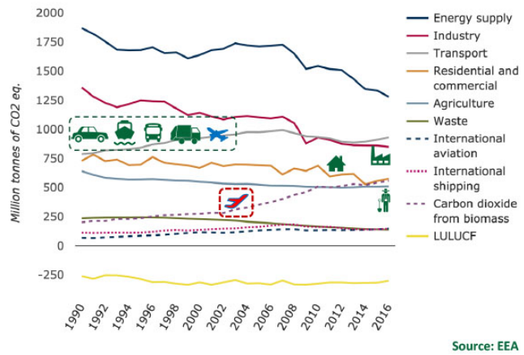
The perspectives for transferring innovative pathways to industrial scale and commercial deployment along the Mountain of Death during the 2020-2030 timeframe are examined, differentiating between the three main transport areas of Road, Aviation and Maritime, and the issues in introducing at commercial scale new fuels are considered.





EU CO2 equivalent emissions

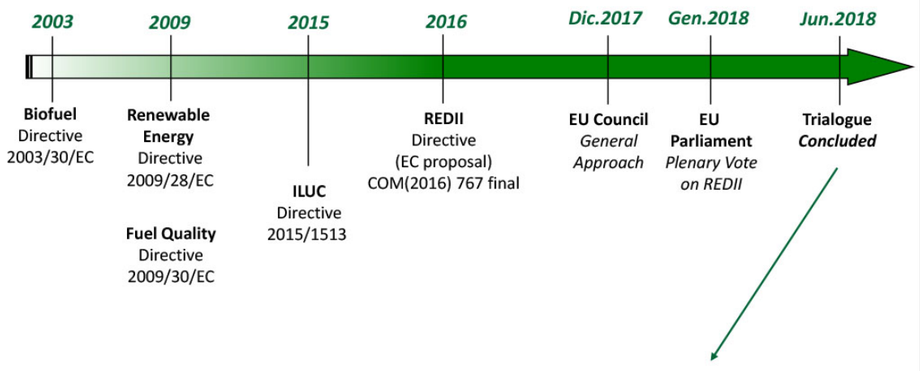
- Emissions from transport show an opposite trend to industry, residuential and commercial, and agriculture.
- Specifically in the transport area, International Aviation represents a key (and growing) contributor.



Source: EEA

RE·CORD

Summary of EU Biofuels Policy developments



https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CONSIL:ST_10308_2018_INIT&from=EN

RE·CORD 4

The REDII after Trialogue

RE·CORD

RED II – Key elements for Biofuels

- **REDII should increase the share of renewable fuels at 14 % (versus 10% of RED) at 2030, following an indicative trajectory set by the MS**
- **3.5 % of Advanced Biofuels (as defined by the list of feedstocks given in Annex IX Part A)**
  - *the contribution of biofuels and biogas produced from feedstock listed in part A of Annex IX shall be **at least equal to 0.2% in 2022, 1% in 2025 and, increasing up to at least 3.5% by 2030.***
- **Pathway defined to 2030**
- **MS may double count biofuels and biogas from Annex IX Part A feedstocks**
- **Limit food-feed crop-based biofuels to max 7%**
- **High ILUC impact biofuels: not exceed 2019 consumption levels, from 31.12.2023 decrease to 0% at 2030**
- **Cap biofuels from Annex IX Part B feedstocks to 1.7 %**

RE·CORD 6

RED II – Key elements for Biofuels

- These include renewable fuels of non-biological origin (e-fuels from RES electricity, min GHG savings 70% as of 1.1.2021) and low carbon fuels of non-renewable origin (Recycled Carbon fuels, min GHG threshold defined by DA).
- Stimulate Aviation and Maritime through the adoption of a multiplier factor of 1.2
- Stimulate electrical transport on road (x4.0) and rail (x1.5).
- New concepts as low ILUC impact biofuels or inclusion of cover/lye cropping are included in the Advanced Biofuel definition
- Address impact on soil quality and soil C

RE·CORD 7

GHG emission saving from the use of biofuels, bioliquids and biomass fuels:

- (a) **at least 50 %** for biofuels, biogas consumed in transport and bioliquids produced in installations in operation on or **before 5 October 2015;**
- (b) **at least 60 %** for biofuels, biogas consumed in transport and bioliquids produced in installations starting operation from **5 October 2015;**
- (c) **at least 65 %** for biofuels, biogas consumed in transport and bioliquids produced in installations starting operation **after 1 January 2021;**
- (d) **at least 70 %** for **electricity, heating and cooling** production from biomass fuels used in installations starting operation **after 1 January 2021** and **80 %** for installations starting operation **after 1 January 2026**

RE·CORD

EC Delegated Acts

RE·CORD

REDII – List of delegated acts

By February 2019:

- **Criteria for certification of low indirect land-use change-risk biofuels** and for determining the high indirect land-use change risk feedstocks for which a significant expansion of the production area into land with high carbon stock is observed

By 2021 or later:

- **Thresholds for greenhouse gas emission savings of recycled carbon fuels**
- Detailed **rules** for economic operators to work with a **common European database** to be put in place to ensure transparency and traceability of renewable fuels
- **Methodology to count electricity as fully renewable** if used for production of renewable fuels
- **Methodology to determine the share of biofuel resulting from biomass being processed with fossil fuels in a common process**
- **Methodology for assessing greenhouse gas emission savings from renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin and recycled carbon fuels**

In addition, the Commission is asked to **assess regularly whether feedstocks can be added to Annex IX and to review the effectiveness of the obligation** and the possibility to increase the ambition for advanced biofuels.

RE·CORD 10

Developing the Biofuel Market & Managing the transition during REDII/2020-2030…

Managing the 2020-2030 transition

SHORT TERM (2020-2030) → mostly develop sustainable supply chains

Lipids

- **UCO** + Source **Cat.3 animal fat** available at competitive prices (in addition to UCO & Animal Fat Cat.1-2)
- **Cover/lye/secondary oil crops or crops suitable for marginal**/dry Land (e.g. Carinata, Camelina)
- **Sustainable Palm oil sourcing** from non rain-forest regions and sustainable management

Lignocellulosic and AD-feedstocks

- Exploit **marginal, abandoned, unused land in EU** (potential of ~8.5 Mha in EU MED only) and **abroad**, bringing socio-economic rural development → **Low ILUC impact biofuels**
- Support **sustainable agricultural models** (as BDR)
- Full commercial deployment of **lignocellulosic ethanol**

Recycled Carbon Fuels

- Develop the **Waste-to-Fuel** chains (Recycled Carbon Fuels)

Power To X and Balancing the Grid

- Exploit biomass & electrical transport integration, balancing the grid, biorefining

MS engaged in the incorporation of REDII provisions. MS have a significant role in including some of these fuels under the category of Advanced Fuels

Beyond the 2020-2030 transition

LONG-TERM R&D&D during 2020-2030, targeting beyond 2030

- **Bring innovation to scale** (i.e. **industrial demo scale** & **validate** these during **the 2020-2030 REDII period → Ready for Post 2030!**
- Develop **innovative lignocellulosic-biomass technologies**, as HTTP, & innovative **lignocellulosic biomass pretreatment to biocrude** (via fast pyrolysis/HTL)
- Develop **innovative lignocell.sugar-to-lipids** (yeast, GMO algae) technologies
- Implement **co-processing** of **intermediates** and **residual lipids** in refineries
- Develop a specific programme on **bio-based Jet Fuels** & **Maritime** (that could partly balance the reduction in diesel demand for road transports)

Contacts



Praxisbeispiele und Anlagentechnik

Erkan Yalcin, TerraNova Energy GmbH

Hydrothermale Carbonisierung von Klärschlämmen in industriellen Maßstab: Langzeitbetrieb und Etablierung von P-Rückgewinnungsverfahren

Erkan Yalcin
TerraNova Energy GmbH
Königsberger Straße 100
40231 Düsseldorf
Tel.: +49 (0)211 5441 3096
E-Mail: **erkan.yalcin@terranova-energy.com**

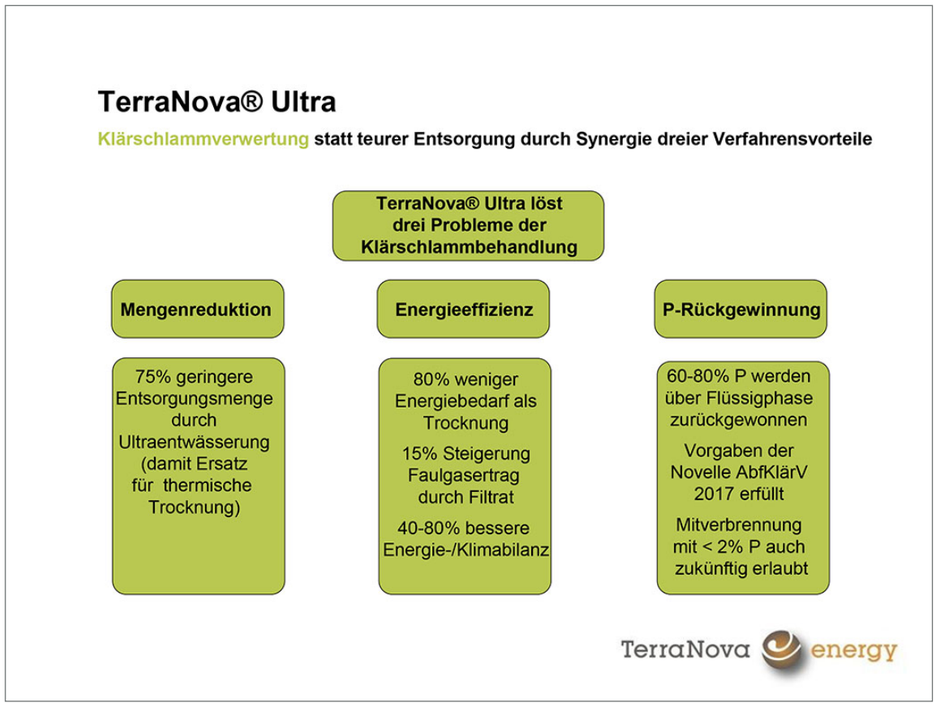
Die TerraNova Ultra® Technologie wurde zur effizienten Behandlung von Klärschlamm mit hydrothermaler Carbonisierung (HTC) entwickelt. Das Verfahren führt hierbei zu folgenden Vorteilen:

- Reduktion der Entsorgungsmenge um 75% durch bessere mechanische Entwässerbarkeit
- 80% geringerer Energiebedarf als bei Trocknung
- homogenisiertes, hygienisiertes, lagerstabiles Produkt mit verbesserten Verbrennungseigenschaften
- 10% höherer Faulgasertrag bei Rückführung des HTC-Filtrates in Faulung.

Im Jahr 2016 erfolgte die internationale Markteinführung des TerraNova Ultra® Verfahrens in Jining/ China. Die weltweit erste großtechnische HTC-Anlage mit einer Kapazität von 14.000 t/a dient der energieeffizienten Klärschlamm-Entwässerung und Herstellung von HTC-Kohle als Ersatzbrennstoff zur Energieerzeugung. Mit Abschluss der Inbetriebnahme läuft die Anlage seit Anfang 2017 kontinuierlich.
Zusätzlich zu den genannten Vorteilen kann nach der HTC von Klärschlamm aus diesem ein Großteil des Phosphors zurückgewonnen werden. Hierfür wird der bei der HTC entstehende Kohleslurry angesäuert, wobei der Phosphor in die flüssige Phase überführt wird. Anschließend wird er mit Kalziumsilikathydrat (CSH) auskristallisiert und abgetrennt.
Das Verfahren ist eine Kombination aus HTC, P-Leaching und P-Kristallisation, wobei durch den hydrothermalen Aufschluss weniger Säure als bei reinen Säureverfahren notwendig ist. Das entstehende P-Recyclat ist zudem gut pflanzenverfügbar.

Die technische Umsetzung des P-Rückgewinnungsverfahrens erfolgt u.a. im Rahmen eines vom BMBF geförderten Verbundprojektes, in dem zusätzlich durch den Projektpartner Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) das Potential des HTC-Filtrates nach P-Abreicherung zur Biogasgenese untersucht wird.
Im Vortrag wird zunächst das Projekt in Jining skizziert sowie anhand von Langzeitdaten bewertet und anschließend der Stand des Phosphorrückgewinnungsprojektes vorgestellt.

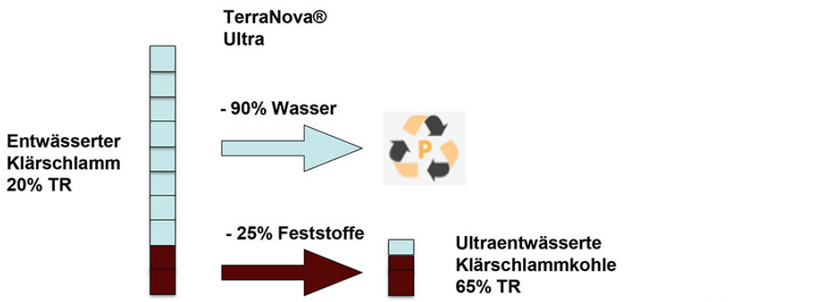




TerraNova® Ultra

Vorteil Mengenreduktion

- energiesparende „Ultraentwässerung“ von 90% des im Klärschlamm enthaltenen Wassers
- 80% weniger Energieverbrauch als thermische Klärschlammtrocknung
- Reduktion der Feststoffe um 25% zur Minimierung der Entsorgungsmenge

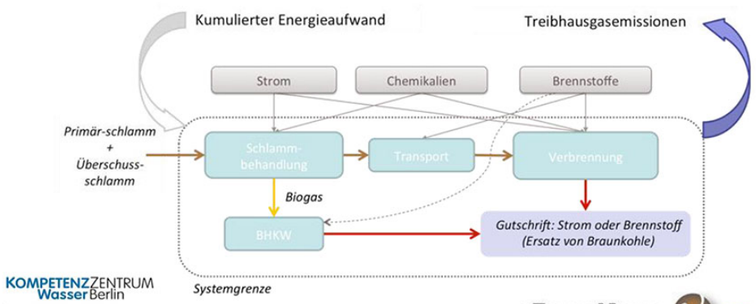


TerraNova energy

TerraNova® Ultra

Vorteil Energieeffizienz

- Nur 18 kWh elektrische Energie pro Tonne Klärschlamm (Thermischer Trockner ca. 85 kWh)
- Nur 130 kWh thermische Energie pro Tonne Klärschlamm (Thermischer Trockner ca. 600 kWh)
- 10-15% mehr Faulgasertrag und Eigenstromerzeugung durch Mitfaulung des Filtrats
- Im Bilanzvergleich mit konventioneller Behandlung + Entsorgung von Faulschlamm erzielt das TerraNova® Ultra Verfahren zwischen 47% und 79% mehr Energieüberschuß*



KOMPETENZZENTRUM WasserBerlin

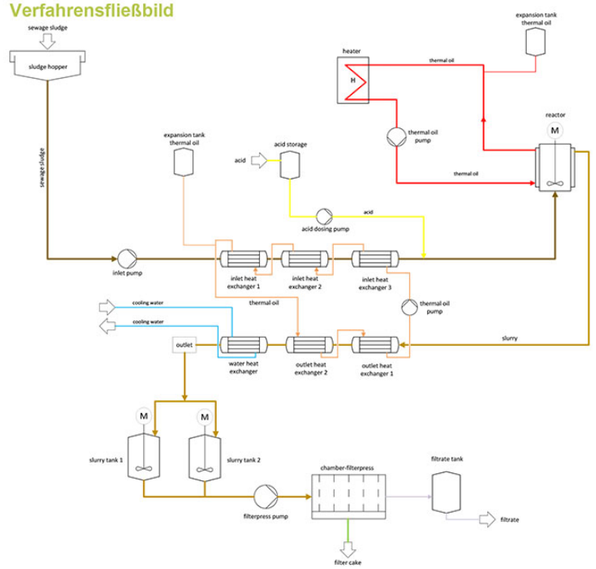
TerraNova energy

*Ganzheitliche Energie- und Treibhausbilanz von Entsorgungsketten kommunaler Klärschlämme mit hydrothermaler Carbonisierung; Remy, Warneke, Lesjean, 2014

TerraNova® Ultra

TerraNova energy

Verfahrensfließbild



- vollständig kontinuierlicher Prozess
- minimale Anzahl an Pumpen und Ventilen
- keine Druck- und Temperaturwechsel
- keine Totzeiten durch Batchwechsel
- kein Kondensatverlust durch Dampfinjektion
- Ultraentwässerung in automatischer Kammerfilterpresse

TerraNova® Ultra Projekt Jining/China

Ultraentwässerung von 40.000 Jahrestonnen Klärschlamm (Kläranlage mit 500.000 EW)

- 1. Bauabschnitt für 14.000 t im Dauerbetrieb seit Sommer 2016
- Energieaufnahme für Strom/Wärme unterhalb der Annahmen
- Katalysatorverbrauch unterhalb der Annahmen
- hoher Mineralikanteil des Klärschlamms und der Kohle
- Entwässerungsergebnisse > 70% TR mit Membranfilterpresse
- Chinesisches Betriebspersonal fährt Anlage mit sehr wenigen Eingriffen
- Online-Monitoring durch TerraNova in Deutschland

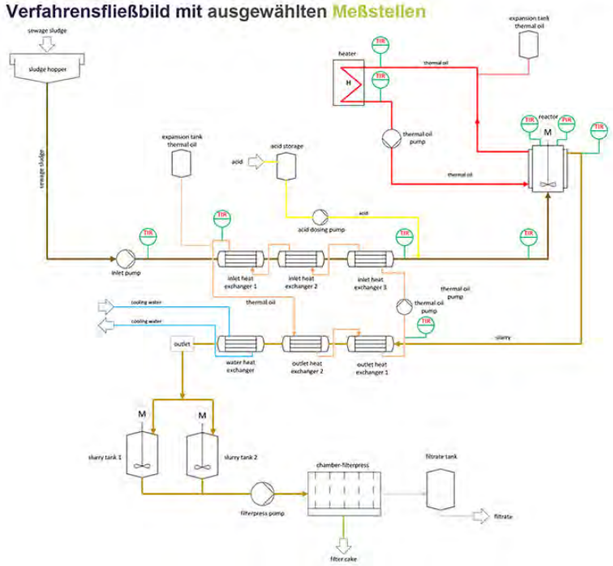


TerraNova energy

TerraNova® Ultra

TerraNova energy

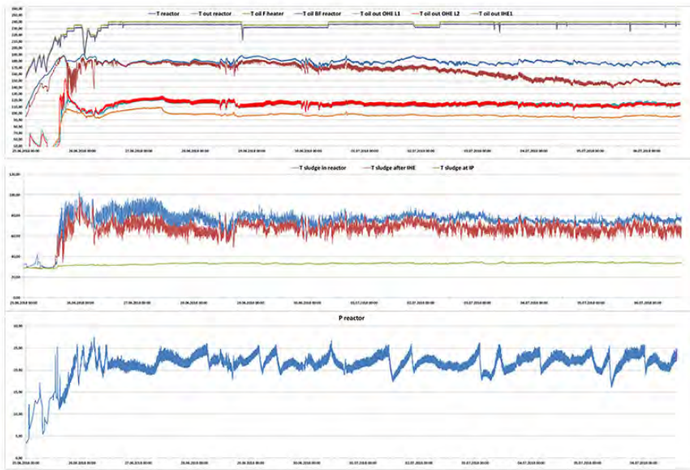
Verfahrensfließbild mit ausgewählten Meßstellen



TerraNova® Ultra

TerraNova energy

Daueranlagenbetrieb (2): 2018-06-25 bis 2018-07-06, Anfahrbetrieb, Temperaturdrift



T-t-Verlauf (1)
- T Oil Heater, Feed
- T Oil Heater, Back Flow
- T Reactor, Head
- T Reactor, Outlet
- T Oil Out OHE
- T Oil Out IHE

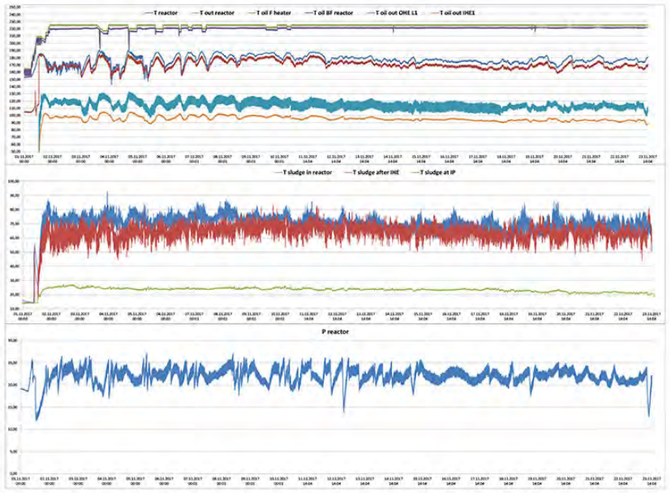
T-t-Verlauf (2)
- T Sludge, in Reactor
- T Sludge, after IHE
- T Sludge, at IP

P-t-Verlauf
- P, in Reactor

TerraNova® Ultra

TerraNova energy

Daueranlagenbetrieb (1): 2017-11-01 bis 2017-11-23, Normalbetrieb mit Standby



T-t-Verlauf (1)
- T Oil Heater, Feed
- T Oil Heater, Back Flow
- T Reactor, Head
- T Reactor, Outlet
- T Oil Out OHE
- T Oil Out IHE

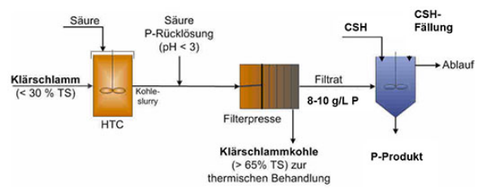
T-t-Verlauf (2)
- T Sludge, in Reactor
- T Sludge, after IHE
- T Sludge, at IP

P-t-Verlauf
- P, in Reactor

TerraNova® Ultra

Spezifikationen des Phosphorrückgewinnungsprozesses

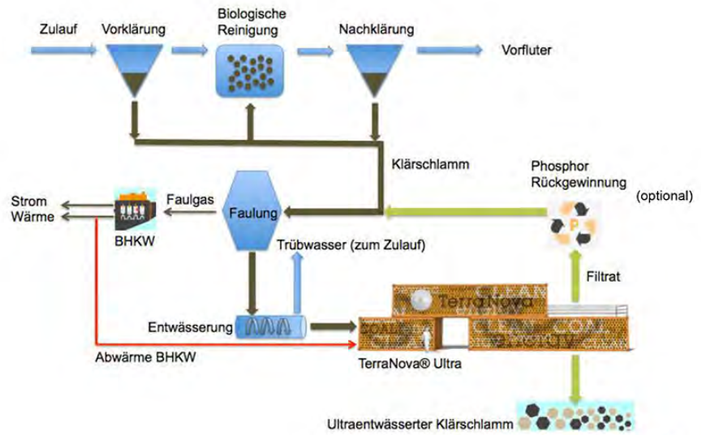
- Die Phosphorrückgewinnung kann optional ergänzt werden
- Für alle Schlämme (Fe, Al, Bio-P) geeignet
- Durch Nachsäuerung des HTC-Slurrys mit H_2SO_4 werden bis zu 80% des Phosphors in die Wasserphase rückgelöst
- Geringer Säureverbrauch, da entwässerter Klärschlamm > 20% TR verwertet wird
- Hohe P-Konzentration im Vergleich zu anderen Verfahren (8-10 g/L P)
- Nachfolgende Fixierung des P durch Calcium-Silikat-Hydrat (CSH)
- Resultierendes Ca-P-Recyclat erfüllt die Vorgaben der *STRUBIAS recovery rules* (*Revised Fertiliser Regulation*) der *European Commission* für ein CE Marked Fertilising Product, *CMC1* (*Precipitated phosphate salts & derivates*)
- Die Klärschlammkohle wird auf < 20g/kg TR Phosphor abgereichert und kann auch zukünftig in einer Mitverbrennung energetisch verwertet werden



TerraNova energy

TerraNova® Ultra

Integration der P-Rückgewinnung als letzten Behandlungsschritt



TerraNova energy

TerraNova® Ultra

“KMU-innovativ Verbundprojekt CarBioPhos:
Entwicklung eines integrierten Verfahrens zur Carbonisierung von Klärschlamm, Erzeugung von Biogas und Rückgewinnung von Phosphor“

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Förderkennzeichen 02WQ1438A
Teilprojekt 1, TerraNova Energy GmbH
Teilprojekt 2, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Laufzeit: Juli/September 2018 – Februar/Juni 2020

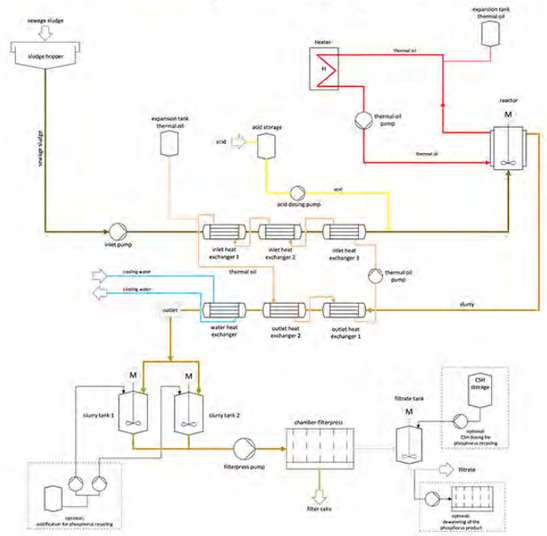
TerraNova / DBFZ: CarBioPhos	2017						2018												2019					
Kalendermonat	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Projektmonat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AP 1: Produktion eines angesäuerten HTC-Filtrates im Technikumsmaßstab (TNE)				(1)																				
AP 2: Weiterverarbeitung von Filtratbatches für die Biogasversuche (TNE)					(2a)				(2b)						(2c)			(2d)						
AP 3: Untersuchung des anaeroben Abbaus konditionierten Filtrats (DBFZ)																								
AP 3.1: Aufbau Versuchsstand Anaerobtechnik und Start-up																								
AP 3.2: Kontinuierlicher Versuchsbetrieb mit HTC-Filtrat inkl. Optimierung des anaeroben Abbaus																								
AP 3.3: Nasschemische Analytik der Substrate und flüssigen Gärrückstände																								
AP 3.4: Berichtswesen und Administration																								
AP 4: Fixierung von Phosphor zu handelbarem Produkt, Laborversuche (TNE)					(4a)				(4b)															
AP 5: Planung und Errichtung einer Technikumsanlage für P-Fixierung (TNE)														(5a)			(5b)							
AP 6: Versuchsbetrieb und Optimierung der Technikumsanlage zur P-Fixierung (TNE)																		(6a)		(6b)				
AP 7: Konzepterstellung zur energetischen Kopplung der Prozesse (TNE)																								(7)
AP 8: Berichtswesen und Administration (TNE)																								

TerraNova energy

TerraNova® Ultra

Verfahrensfließbild mit optionaler P-Rückgewinnung

TerraNova energy



- P-Rückgewinnung einfach integrierbar
- Mitnutzung vorhandener Anlagenteile
- vollständig automatisierbar

TerraNova® Ultra

Ausgezeichnete Innovationskraft







TerraNova energy

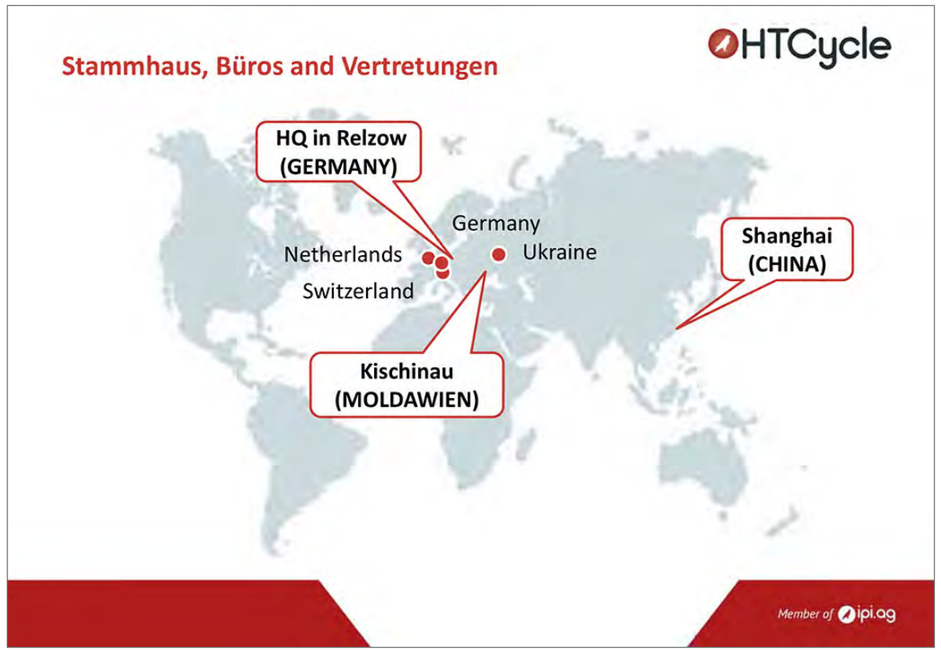
Stepan Kusche, HTCycle GmbH

HTC-Akivitäten in Mecklenburg-Vorpommern

Stepan Kusche, Tommy Ender
HTCycle GmbH
Libnower Landstrasse 41
17390 Murchin OT Relzow
Tel.: +49 (0)3971 87690-24
E-Mail: **s.kusche@ipi.ag**

Nach eingehender und langjähriger Forschung an Instituten und Universitäten ist die AVA heutigeHTCycle 2009 mit dem Ziel gegründet worden, die Technologie der HydrothermalenCarbonisierung (HTC) zu einem industriell nutzbaren Verfahren zu entwickeln. Dazu wurdezunächst der HTC-Prozeß bis ins Detail erforscht und auf diesen Erkenntnissen die Projektierungvon individuellen langfristig tragfähigen Umweltkonzepten aufgesetzt und in EU-Projekten z.B. R3water (Reuse, Recovery, Resource efficiency) am Beispiel des belgischen Standortes Mechelen-Noord validiert. Seit 2013 fokussiert sich HTCycle auf die Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft und Entsorgungsindustrie. Das Konzept sieht vor wässrige Biomassen - mechanisch entwässertenKlärschlamm - naßchemisch unter Druck und Temperatur in Lösung zu versetzen und aus der Suspension wertvolle Produkte z.B. für die Landwirtschaft zurückzugewinnen. Besonders Klärschlamm stellt eine Quelle an Wert- und Nährstoffen (bis 5,5 % Phosphoranteil) dar. HTCycle hat speziell für Kläranlagen ein komplettes alternatives Entsorgungskonzeptentwickelt, welches jetzt auf dem Standort der Kläranlage Anklam oder Wolgast in Mecklenburg-Pommern realisiert werden soll. Unterstützt und begleitet wird dieses Bauvorhaben von dendortigen Zweckverbänden, der Politik und den Universitäten Rostock und Stuttgart-Hohenheim.Darüber hinaus bewerben sich die Universität Rostock und HTCycle mit anderen Partner um dasBMBF-Projekt "RePhor-MV". Ziel des beantragten Projektes ist die Entwicklung einerganzheitlichen Strategie für das P (Phosphor)-Recycling aus Klärschlamm für das BundeslandMecklenburg-Vorpommern (MV) als eine Modellregion für Deutschland.
Ganz im Sinne der Resourcenschonung und des Firmennamens werden auf Basis der HTC-Technologie die Nähr- und Wertstoffkreisläufe geschlossen. Während bei der herkömmlichenEntsorgungspraxis der Klärschlamm aufwendig getrocknet werden muss bevor er in einerMonoverbrennung endgültig komprimiert wird oder teilweise unter Stützfeuerung verbrannt wird,bedeutet das bei der HTC-Technologie, dass der mechanisch entwässerte Klärschlamm direktnaßchemisch zu verbrennfähiger HTC-Kohle konvertiert wird. Erst nach der Rückgewinnung undder Trennung in Nähr- und Wertstoffe sowie Schadstoffe werden die Schadstoffe in einerMonoverbrennung als Abfall vollständig vernichtet. Auf diese Weise erhält der Landwirt dieJahrzehnte genutzen Vorteile des Klärschlammes zurück ohne die neuzeitlichen Nachteile durch die Industrialisierung in Kauf nehmen zu müssen.





HTCycle – Der Neue integrierte Umweltschutz

HTCycle
- Gründung AVA heutige HTCycle im Jahre 2009
- Entwicklung der Technologie der Hydrothermalen Carbonisierung (HTC) zu einem industriell nutzbaren Verfahren

HTCycle Philosophie
- Projektierung von individuellen langfristig tragfähigen Umweltkonzepten auf Basis der HTC-Batchtechnologie
- 2013 Fokussierung auf Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft und Entsorgungsindustrie
- Konzept: Wässrige Biomasse unter Druck und Temperatur in Lösung versetzen und wertvolle Produkte gewinnen
- Speziell Klärschlamm ist eine Quelle von Wert- und Nährstoffen (bis 5,5 % Phosphoranteil)

- Entwicklung eines alternativen Entsorgungskonzeptes speziell für Kläranlagen
  - ➢ Teilnahme am EU-Projekt R3 water (Reuse, Recovery, Resource efficiency)
  - ➢ Validierung des Konzeptes am Beispiel des belgischen Standortes Mechelen-Noord
  - ➢ Kohle (Biocarbonisat)
    - Aktivkohle als Ersatz für die 4. Reinigungsstufe der Kläranlage zur Verfügung gestellt werden
  - ➢ Prozesswasser
    - MAP (Struvit)
    - Metallsulfate (Fällungsmittel in einer Kläranlage)
    - Ammoniumsulfate

Member of ipi.ag

BMBF-Antrag: MV als Modellregion für Deutschland

RePhoR-MV: **Regionales Phosphor-Recycling aus Klärschlämmen in Mecklenburg-Vorpommern**

Gesamtmittel	125000
Fördermittel	125000
Projektdauer	6 Monate

Kontaktdaten des Verbundkoordinators:
Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Tränckner
Professur für Wasserwirtschaft
Satower Str. 48 18059 Rostock
Tel: +49 381 498 346, Fax: +49 381 498 3462
Mail: jens.traenckner@uni-rostock.de

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Startseite › Über uns › Bekanntmachungen
</index.html>

Bekanntmachungen
09.03.2018 - 29.06.2018

Bekanntmachung

Richtlinie zur Förderung von Zuwendungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Thema "Regionales Phosphor-Recycling" (RePhoR) im Rahmen des Förderprogramms "Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA3)". Bundesanzeiger vom 09.03.2018



Universität Rostock Traditio et Innovatio

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

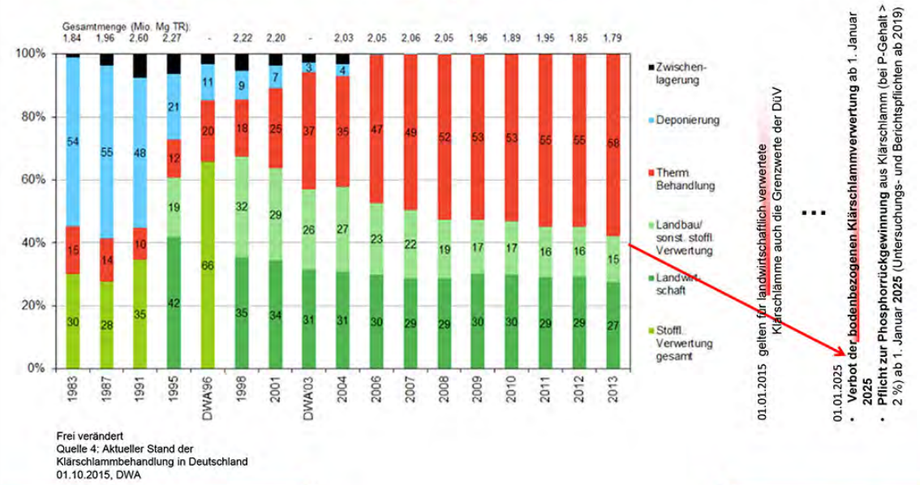
Es sind ganzheitliche Konzepte zu entwickeln und zu realisieren, die die Lücke zwischen P-Rückgewinnung und P-Recycling schließen und den Phosphor überwiegend über die Landwirtschaft wieder in den Nährstoffkreislauf zurückführen.

Aktueller Planungsstand zur Klärschlammentsorgung Mecklenburg-Vorpommern
(Karte basierend auf: *kvwmap LUNG M-V, Stelle: FiswrV-KA, Nutzer: Tränckner)*

Quelle 7: Frei ergänzt

Member of ipi.ag

Entwicklung Klärschlammentsorgung Deutschland

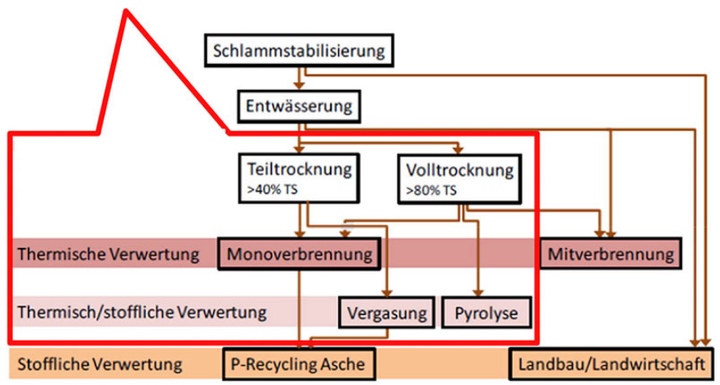


Frei verändert
Quelle 4: Aktueller Stand der Klärschlammbehandlung in Deutschland 01.10.2015, DWA

Member of ipi.ag

Entwicklung Klärschlammentsorgung Deutschland

01.01.2025 **Verbot der bodenbezogenen Klärschlammverwertung** ab 1. Januar **2025**
Pflicht zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm (bei P-Gehalt > 2 %) ab 1. Januar **2025** (Untersuchungs- und Berichtspflichten ab 2019)



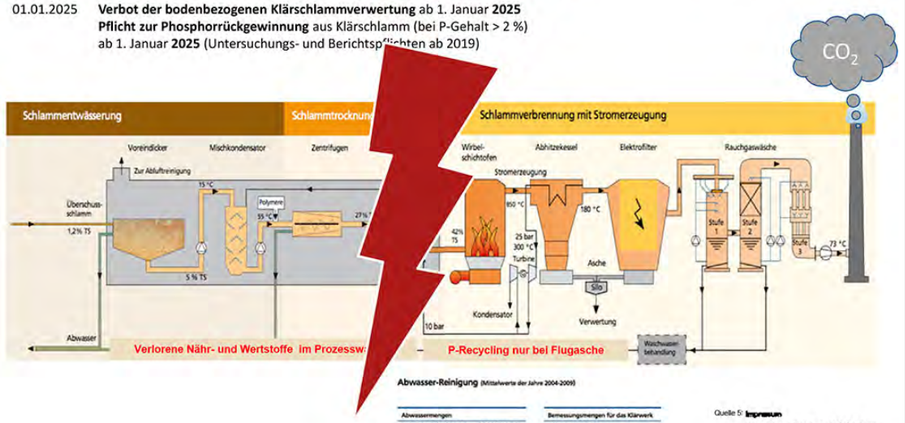
aus DWA KEK-1.4: „Verfahren und Trends in der Thermischen Klärschlammbehandlung"

Quelle 3: Frei ergänzt

Member of ipi.ag

Etablierte Klärschlammentsorgung Deutschland

01.01.2025 **Verbot der bodenbezogenen Klärschlammverwertung** ab 1. Januar **2025**
Pflicht zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm (bei P-Gehalt > 2 %)
ab 1. Januar **2025** (Untersuchungs- und Berichtspflichten ab 2019)



Abwasser-Reinigung (Mittelwerte der Jahre 2004-2009)

Abwassermengen	
Jährliche Zulaufmenge	34 000 000 m³/a
Mittlerer täglicher Zulauf bei Regen und Trockenwetter	93 000 m³/d
Täglicher Zulauf bei Trockenwetter	64 000 m³/d

Bemessungsmengen für das Klärwerk		
Wassermenge Q_{dim} (Trockenwetter) =	2,1 m³/s	
Wassermenge Q_{dim} (Regenwetter) =	4,0 m³/s	
Ausbaugröße =	105 910 CSB entspricht	875 000 EW

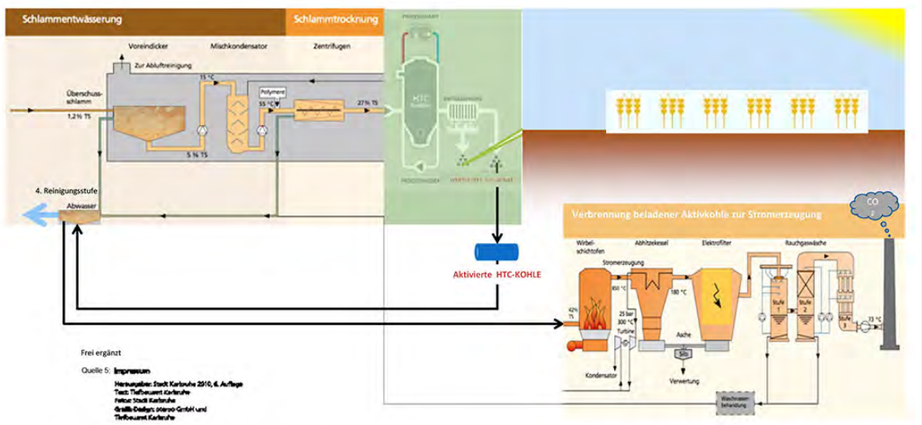
Verbrauch Betriebsmittel pro Jahr	
Strom	21 700 000 KWh/a
Heizöl	317 m³/a
Polymere (Wirksubstanz)	57 t/a

Schlammmengen	
Klärschlamm (Trockensubstanz)	10 240 t/a
Trockene Asche zur Verwertungsstelle	3 560 t/a

Quelle 5: Impressum
Herausgeber: Stadt Karlsruhe 2010, 4. Auflage
Text: Tiefbauamt Karlsruhe
Fotos: Stadt Karlsruhe
Grafik-Design: interop GmbH und Tiefbauamt Karlsruhe

Member of ipi.ag

Alternative Klärschlammentsorgung

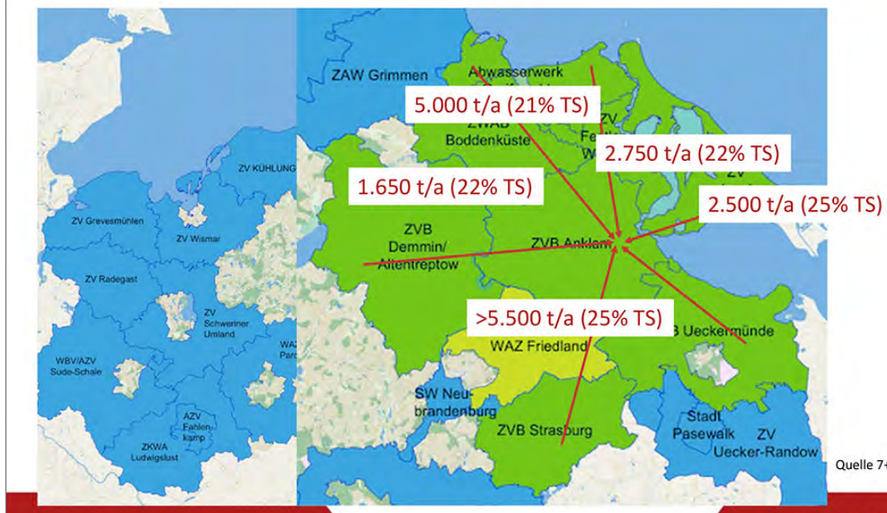


Frei ergänzt

Quelle 5: Impressum
Herausgeber: Stadt Karlsruhe 2010, 4. Auflage
Text: Tiefbauamt Karlsruhe
Fotos: Stadt Karlsruhe
Grafik-Design: interop GmbH und Tiefbauamt Karlsruhe

Member of ipi.ag

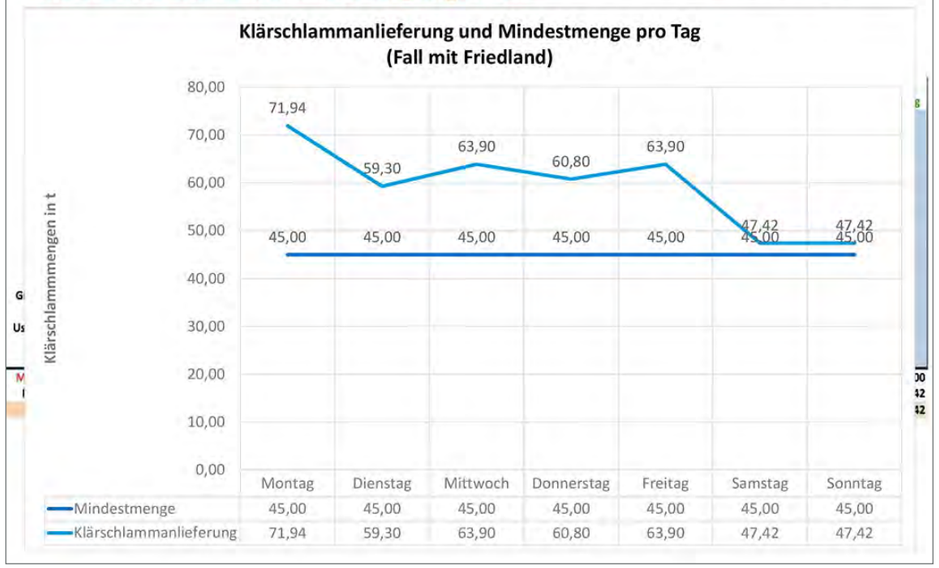
Alternative Klärschlammentsorgung in MV



Quelle 7+8+9:

Member of ipi.ag

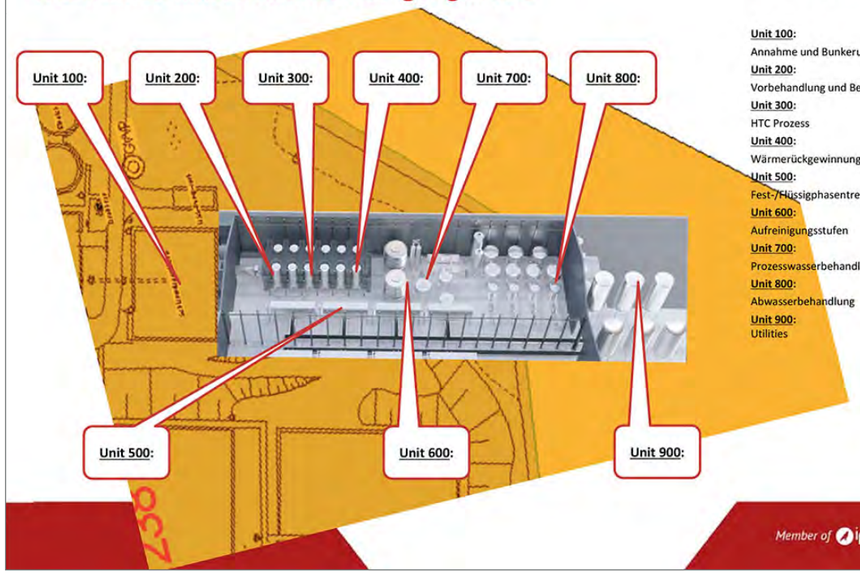
Alternative Klärschlammentsorgung in MV



	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
Mindestmenge	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
Klärschlammanlieferung	71,94	59,30	63,90	60,80	63,90	47,42	47,42

Alternative Klärschlammentsorgung in MV

HTCycle

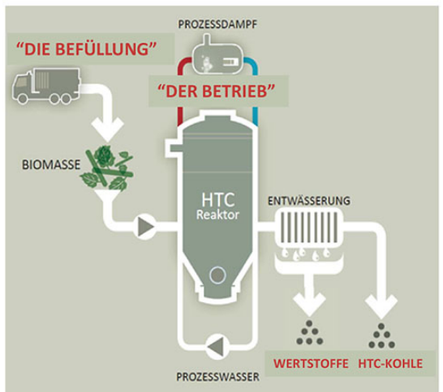


Unit 100:
Annahme und Bunkerung
Unit 200:
Vorbehandlung und Beschickung
Unit 300:
HTC Prozess
Unit 400:
Wärmerückgewinnungssystem
Unit 500:
Fest-/Flüssigphasentrennung
Unit 600:
Aufreinigungsstufen
Unit 700:
Prozesswasserbehandlung
Unit 800:
Abwasserbehandlung
Unit 900:
Utilities

Member of ipi.ag

HTCycle – Die Technologie

- Auflösen feuchter Biomasse unter Druck (ca. 24 bar) und Temperatur (ca. 210° C) sowie Rückgewinnung von Wert- und Nährstoffen aus einer Tropfensuspension



VERFAHREN

- Umwandlung feuchter Biomassen, 25% Trockensubstanz, 75% Wassergehalt
- gleicht der Umwandlung von fossilen Energieträgern, jedoch in nur 3 bis 5 h
- vereinfacht: Prinzip eines Schnellkochtopfes
- prädestiniert für die Phosphorrückgewinnung

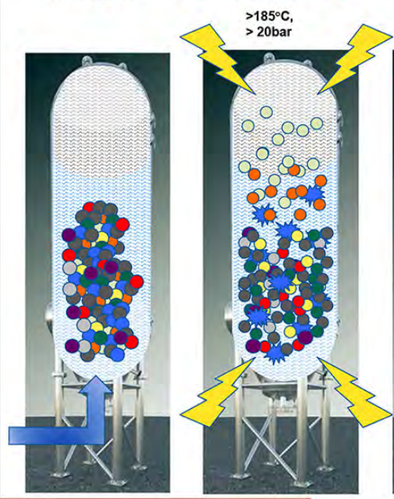
PRODUKT (abhängig von Biomasse)

- CO_2-freie HTC-Kohle
  - ➢ Chemisch/Mechanische Aktivierung -> Aktivkohle
- Wertvolle Substanzen (Wertstoffe) wie Düngemittel: Ammoniumsulfaten und Struvit (MAP)

Member of ipi.ag

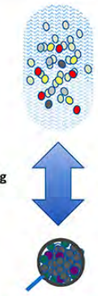
HTCycle – Die Technologie

HTCycle



Tab. 2.3 Veränderungen der Stoffeigenschaften von Wasser unter erhöhten Temperaturen und Drücken und deren positive Einflüsse bei der hydrothermalen Konversion von Biomasse. [595, 728, 794]

Parameter	Veränderung	Folge
Dichte, Viskosität	↓ (Abnahme)	Stoffübergänge werden begünstigt, besseres Eindringen in Poren
Ionenprodukt	↑ (Zunahme)	Katalysierender Effekt
Dielektrizitätskonstante	↓ (Abnahme)	Lösemitteleigenschaften (Polarität)



Quelle: 2

Member of ipi.ag

HTCycle – Die Technologie

HTCycle

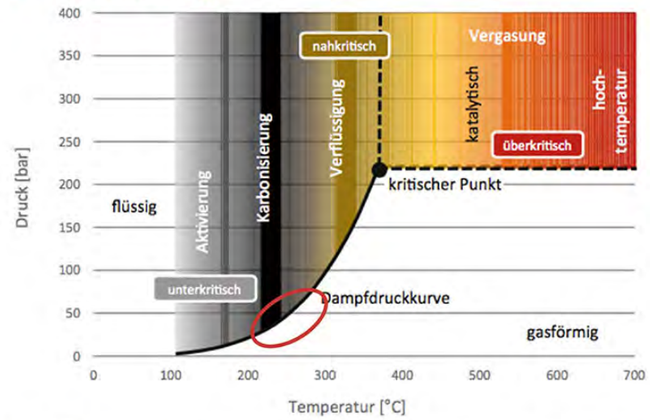


Abb. 2.16 Temperaturbereiche der verschiedenen hydrothermalen Prozesse im Phasendiagramm des Wassers (feste Eisphase nicht dargestellt). (Verändert nach [595]) Quelle 2: Frei ergänzt

Member of ipi.ag

HTCycle – Wertschöpfungskette Klärschlamm



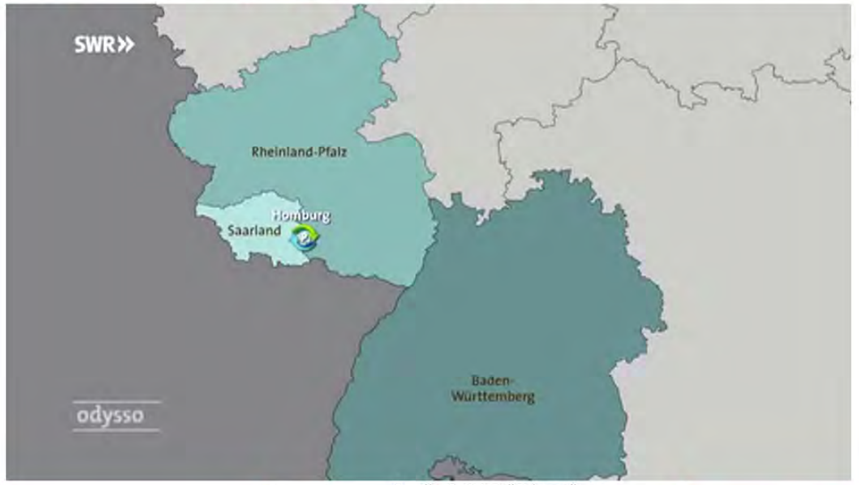
Tab. 3.13 Analysen von Edukt und Karbonisaten aus AVA-CO2-Verfahren. (Versuchsanlage Karlsruhe, Daten AVA-CO2, Bezug TS)

Parameter	Einheit	Klär-schlamm-Edukt	BMK unbehan-delt	BMK Leaching mit HCl	BMK Leaching mit HCl[b]	BMK Leaching mit H_2SO_4
Brennwert	[MJ/kg]	12,6	13,5	18,8	19,5	15,1
Heizwert	[MJ/kg]	11,6	12,7	17,7	18,4	14,2
Asche (550 °C)	[Ma.-%]	43,4	55,0	40,7	37,2	49,6
Asche (815 °C)	[Ma.-%]	42,5	52,0	39,2	36,3	48,9
Elementaranalyse						
Kohlenstoff	[Ma.-%]	28,0	32,3	40,0	43,1	34,0
Wasserstoff	[Ma.-%]	4,9	3,0	4,8	5,1	3,9
Stickstoff	[Ma.-%]	3,9	2,8	2,8	2,9	2,2
Schwefel	[Ma.-%]	0,8	1,9	2,5	2,0	7,0
Sauerstoff[b]	[Ma.-%]	19,0	5,0	9,1	9,5	3,2
H/C-Verhältnis	[–]	2,10	1,11			
O/C-Verhältnis	[–]	0,51	0,12			

Quelle 2:

Member of ipi.ag

HTCycle – Wertschöpfungskette Klärschlamm



Quelle 6: SWR “Odysso”
12.04.2018

Member of ipi.ag

HTCycle – Wertschöpfungskette Klärschlamm

	Eigenschaften	AK-KK-600-K4	AK-KS-600-K4	AK-PKS-450-K2	AK-KS-450-K2	AK-KS-30-2
pyhsikalisch	Ausgangstoff	Kirschkern	Klärschlamm	P-reduzierter Klärschlamm	Klärschlamm	Klärschlamm
	Herstellungsart	HTC/ KOH-Aktivierung	HTC/ KOH-Aktivierung	HTC/ KOH-Aktivierung	HTC/ KOH-Aktivierung	HTC/ KOH-Modifizierung
	Einsatzmöglichkeit	Abgasreinigung/ Abwasserauf-bereitung	Abwasserauf-bereitung	Abwasserauf-bereitung	Abwasserauf-bereitung	Abwasserauf-bereitung
	Aussehen	Pulverkohle	Pulverkohle	Pulverkohle	Pulverkohle	Pulverkohle
	Spezifische Oberfläche (BET) (m^2/g)	2910	534	376	-	3
	Schüttdichte (g/ml)	0,16	0,32	-	-	-
	Aschegehalt (Gew.-%)	5	50	-	-	-
Adsorption	Jodzahl (mg/g)	1016	607	-	-	-
	Chloroform (g/g)	0,97	0,33	-	-	-
	Schwermetalle (mg/g)[2]	47,8	93,6		83,1	100
	Phenol (mg/g)	50,1	>87,6	22,4	13,5	1,9
	Mikroverunreini-gungen (5-Mix) (%)	-	>99	>95	>90	>13
	Methylblau (g/100g)	-	-	-	-	-

Dipl.-Ing. Dominik Wüst
Leitender Ingenieur

Universität Hohenheim

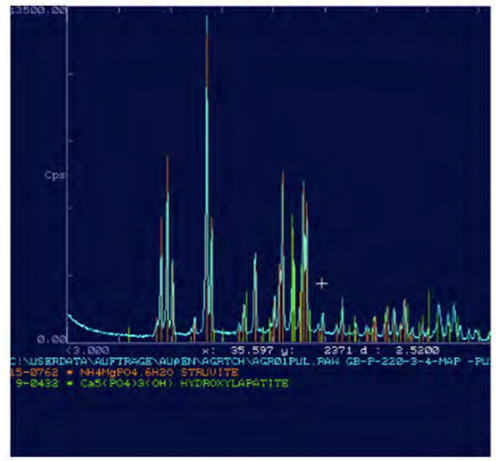
Institut für Agrartechnik
Fg. Konversionstechnologien
nachwachsender Rohstoffe
(440f)

Garbenstrasse 9
70599 Stuttgart

200 YEARS 1818 2018 UNIVERSITY OF HOHENHEIM

Member of ipi.ag

HTCycle – Wertschöpfungskette Klärschlamm



Hallo Gero,

hier ist Deine Probe aufgenommen und manuel Ausgewertet. Es sind ~95% Struvit und ein paar Spuren Hydroxylapatite. Ziemliche reine Substanz. Die Fehlerquellen liegen bei +- 5% standartmäßig.

Gruß Detlev

Quelle 1:
Dipl.-Ing. Dominik Wüst
Leitender Ingenieur

Universität Hohenheim

Institut für Agrartechnik
Fg. Konversionstechnologien
nachwachsender Rohstoffe
(440f)

Garbenstrasse 9
70599 Stuttgart

200 YEARS 1818 2018 UNIVERSITY OF HOHENHEIM

Member of ipi.ag

HTCycle – Integrierter Umweltschutz

Highlights

Einhaltung aller Neuen Randbedingungen für die Entsorgung von Klärschlamm

- Umweltaspekt im Sinne der Ressourcenschonung und Produktgenerierung
- Hygieneaspekt im Sinne der Beseitigung von Medikamentenrückständen und Nanopartikeln
- Rechtliche Aspekte gemäß der Novelle der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) und der Düngeverordnung (DüV)

Kombination der Besten verfügbaren Techniken (BVT) und Einhaltung der IVU-Richtlinien über die integrierte Vermeidung sowie Verminderung der Umweltverschmutzung für

- Wasser
- Boden
- Luft
- Lärm

Erste nach 4. BImSchV vollgenehmigte HTC-Anlage im Industriemaßstab

Mehr Informationen über unsere Technologie erhalten Sie bei

HTCycle GmbH
s.kusche@ipi.ag
www.htcycle.ag

Member of ipi.ag

HTCycle – Inter-National Partner / Projekte

BioBoost – Biomass based energy intermediates boosting biofuel production

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Universität Stuttgart ifk

Aquafin

SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME

xGaTe

SteamBio

Fraunhofer ISC

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Konversions Technologien

DECHEMA FORSCHUNGSINSTITUT Stiftung bürgerlichen Rechts

Universität Rostock Traditio et Innovatio

This project has received funding from the European Union's Seventh Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement No 619093.

DBU

BIO-BASED INDUSTRIES Public-Private Partnership

VTT

3water

EQTEC GASIFICATION TECHNOLOGY

IVL Swedish Environmental Research Institute

Member of ipi.ag

HTCycle – Integrierter Umweltschutz





This document is digitally sealed. The digital sealing mechanism uniquely binds the document to the modules of the Participant Portal of the European Commission, to the transaction for which it was generated and ensures its integrity and authenticity.

Any attempt to modify the content will lead to a breach of the electronic seal, which can be verified at any time by clicking on the digital seal validation symbol.

Member of ipi.ag

Quellenangaben

Quelle 1: Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik
Fg. Konversionstechnologien nachwachsender Rohstoffe (440f), Garbenstrasse 9, 70599 Stuttgart

Quelle 2: Biokohle Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biokarbonisaten
Springer Vieweg, 2016, ISBN 978-3-658-03689-8 (eBook)
© Springer-Fachmedien Wiesbaden 2016

Quelle 3: Verfahren und Trends in der Thermischen Klärschlammbehandlung – Teil1
Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.4 „Neue Technologien zur Schlammbehandlung, KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall, Verlag GFA, ISSN 1866-0029, Nr.7, Juli 2016

Quelle 4: Gemeinschaftsveröffentlichung von DWA und DESTATIS
„Abwasser und Klärschlamm in Deutschland - Statistische Betrachtungen" KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 12/2014, 01/2015

Quelle 5: Prozeßschema Kläranlage Karlsruhe
Grafik-Design: otenso GmbH und Tiefbauamt Karlsruhe, Stadt Karlsruhe 2010, 6. Auflage

Quelle 6: Filmbeitrag SWR-Mediathek Redaktion ODYSSO
Titel: Tabu Toilette, 12.04.2018

Quelle 7: Universität Rostock, Professur für Wasserwirtschaft
Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Tränckner, Satower Str. 48 , 18059 Rostock

Quelle 8: GKU Gesellschaft für Kommunale Umweltdienste mbH Ostmecklenburg-Vorpommern
Betriebstätte Anklam, Kleinbahnweg 5, 17389 Anklam

Quelle 9: Apple Inc. Karten Version 2.0 (1844.0.15), Daten von TOMTOM und anderen
Copyright 2012-2014

Member of ipi.ag


HTCycle
Danke für Ihre Aufmerksamkeit!
Member of ipi.ag

Prof. Dr. Nicolaus Dahmen, KIT / Prof. Dr. Andrea Kruse, Uni Hohenheim

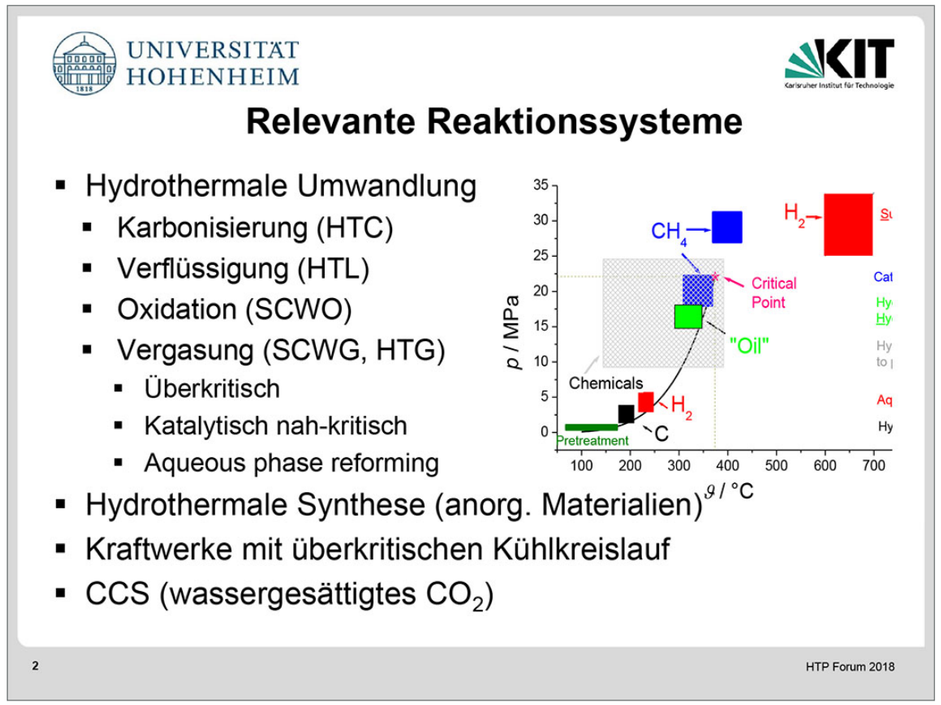
Materialien für hydrothermale Prozesse: Werkstoffe, Korrosion, Salze und Feststoffe

Prof. Dr. Nicolaus Dahmen
Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Katalyseforschung und-technologie
Hermann-von-Helmholtzplatz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel.: +49 (0)721 608-22596
E-Mail: **nicolaus.dahmen@kit.edu**

Prof. Dr. Andrea Kruse
Universität Hohenheim
FG Konversionstechnologien nachwachsender Rohstoffe (440f)
Garbenstr. 9
70599 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 459-24700
E-Mail: **andrea_kruse@uni-hohenheim.de**

Water at elevated pressures and temperatures shows highly variable properties. Density, pH and static dielectric constant determine its behavior as a reaction medium and solvent for organic substances, salts and gases. Temperature and pressure determine process control, apparatus design and selection of materials for the reactors, seals or fittings used. With pressure and temperature, the requirements increase in particular in the presence of reductive or oxidative reaction environments such as in the hydrothermal gasification (HTG) or supercritical wet oxidation (SCWO), respectively. In hydrothermal liquefaction (HTL) and carbonation (HTC), the requirements are less extreme, but in detail e. g. no less demanding in terms of handling of solid loads and high ash contents. The article summarizes the experiences of more than 20 years of work with hydrothermal processes with regard to the materials and equipment used as well as to special process designs and operational experience.





UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Outline

- Reaktormaterialien
- Passivierung und katalytische Effekte
- Korrosion durch
  - Sauerstoff
  - Chor
  - Schwefel
- Wasserstoff
- Salze
- Feststoffe

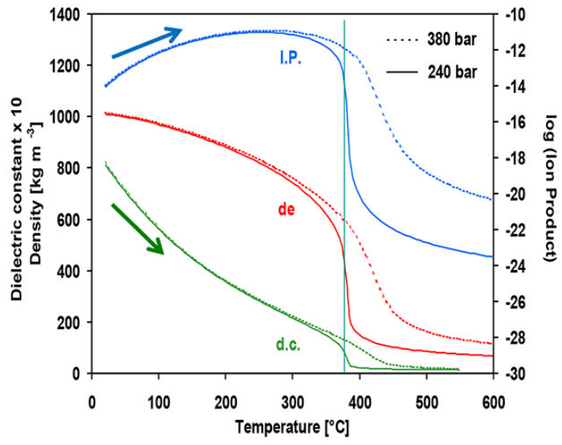
Wechselwirkung von:
- Verwendeten Werkstoffen
- Eingetragenen Stoffen
- Gebildeten Zwischen- und Endprodukten
- Kinetik, Phasenverhalten, in Abhängigkeit von p, T….
- Reaktordesign und -betrieb

3 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Lösungsmittelpolarität vs. Molekül-Polarität



Mit abnehmender Dichte werden stabilisierende Hydrathüllen im nah-kritischen Gebiet schnell abgebaut (fallendes Ionenprodukt)

Kritischer Punkt: 374°C, 22,1 MPa

4 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Teil 1: Werkstoffe und Korrosion

Prof. Dr. Nicolaus Dahmen

5 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Werkstoffe

- Hoch legierte, austenitische Stähle (Ni-Gehalt > 8%), z.B. 1.4301 (X5CrNi18-10), 1.4401 (X5CrNiMo17-12-2), 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2), 1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)
- Nickel-Basis-Legierungen, z.B.

	Ni	C	Si	Cr	Mo	Fe				
C276	56	0,01	0,08	15,8	16	5,5	Co	Mn	V	…
718	52,5	0,08	0,35	19,0	3,3	Diff	Nb	Mn	Ti	…
600	Diff	0,1	0,5	15	-	8,0	Mn	Cu	Ti	…
625	60	0,03	0,4	22	10	5	Co	Mn	Ti	…

- Liner (Ti, Au, Pt)
- Oxidische Keramiken

6 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Schutzschichtbildung auf Alloy C-276

- Reines Wasser unter hydrothermalen Bedingungen
  - $NiO/Ni(OH)_2$ über Cr_2O_3
- Sauerstoffatmosphäre (Luft)
  - 500 °C: Doppelschicht aus Fe_2O_3 und $NiCr_2O_4$ (außen) und $NiCr_2O_4$ /Cr_2O_3 innen
  - 550 °C: Einfachschicht $NiCr_2O_6$ und wenig Cr_2O_3
- SCWO: NiO über Cr_2O_3
- SCWG-Bedingungen
  - Doppelschicht
    Äußere Schicht Ni/Fe-Partikel,
    innere Schicht Cr_2O_3 und wenig MoO_3
  - Keine Bildung von NiO- und $Ni(OH)_2$-Phasen

Li et al, Int. J. Hydrogen Energy 42 (2017) 19829 - 19835

7 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Sauerstoff in hydrothermalem Wasser

- Typische Anlauffarben und geringe Korrosion bei Edelstahl und Alloy 625 im 800-Stunden-Versuch bei 500 °C (24 MPa)
- Saure Lösungen unter oxidativen Bedingungen wirken extrem korrosiv auf Metalle und Keramiken
- Bei HCl-Zugabe (0,05 M) nach 10 Stunden Leckage durch Spannungsrisskorrosion in Edelstahl
- Beobachtete Phänomene: Flächenabtrag, Lochfraß, Spannungsrisskorrosion, Intergranulare Korrosion

Boukis et al., FZK Nachrichten 33 (2001) 81-90

8 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Cl- und S-Korrosion

- In HCl und H_2SO_4-Lösungen Materialabtrag für Inconel 625 bei 300-380 °C (24 MPa) bis zu 10 μm/h
- Die schützende Cr(III)oxid-Schicht geht u.a. als Chromat in Lösung, NiO wird im sauen Medium löslich
- Bei höheren Temperaturen sind die Spezies geringer dissoziiert und weniger löslich
- Korrosionsprodukte bilden auf der Oberfläche wieder schützende, unlösliche Beläge
- S-Korrosion deutlich geringer als Cl-Korrosion
- Alle Ni-Basis-Legierungen weisen ein ähnliches Korrosionsverhalten auf

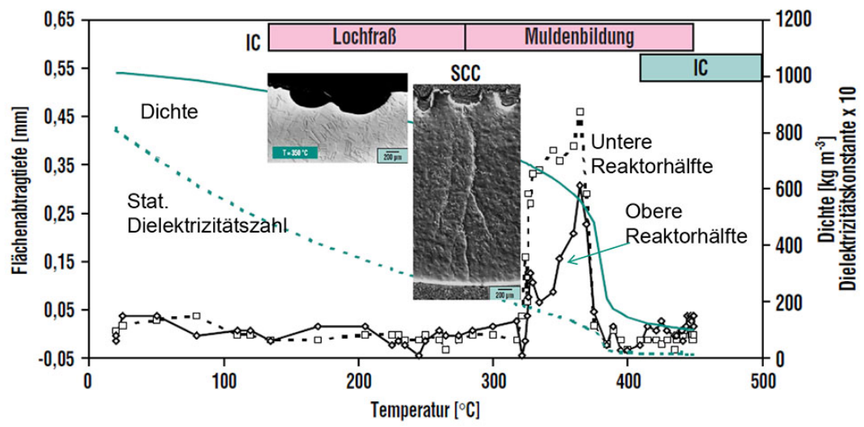
Boukis et al., FZK Nachrichten 33 (2001) 81-90

9 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Cl- und S-Korrosion



Boukis et al., FZK Nachrichten 33 (2001) 81-90

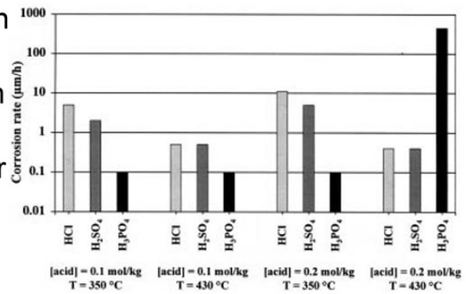
10 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Phosphatkorrosion

- Niedrige Korrosion bei nahkritischen Bedingungen durch geringe Dissoziation der Phosphorsäure
- Bildung unlöslicher Fe-/Cr-P-Schutzschichten
- Je nach Bedingungen werden lösliche Komplexe gebildet
- Korrosionsraten bis 850 μm/h bei 430-490 °C
- Vermutlich über Bildung einer P-/Salzreichen 2. Phase



Kritzer et al., Materials and Corrosion 49 (1998) 831-839

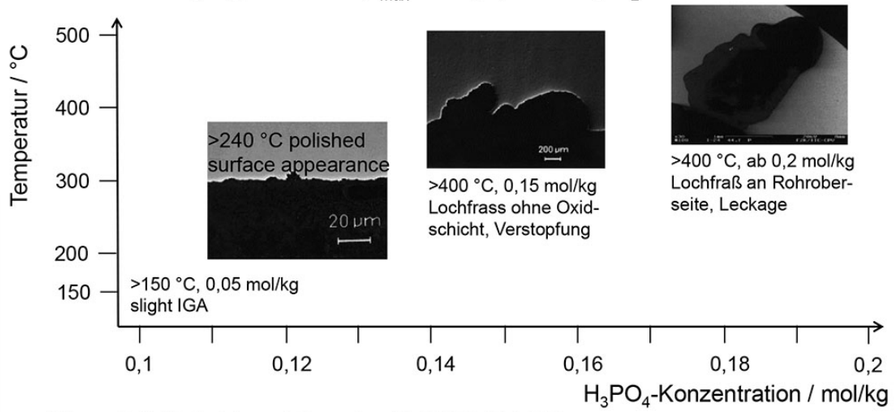
11 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Phosphatkorrosion

Bedingungen: 24 MPa, t_{max} 185 h, 0,48 mol/kg O_2



Kritzer et al., Materials and Corrosion 49 (1998) 831-839

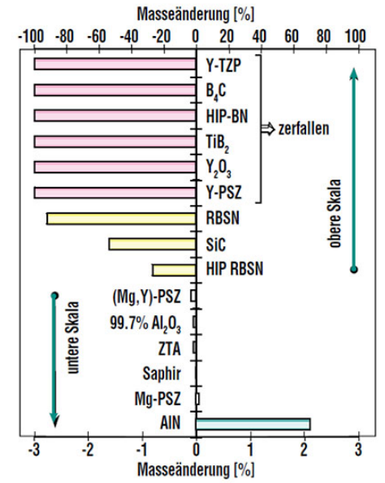
12 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Keramiken

- Beste Korrosionsbeständigkeit gegenüber sauren, stark oxidierenden Lösung zeigen Oxidkeramiken



Bedingungen: 150 h, 0,05 mol/kg HCl und 0,5 mol/kg O_2, 470°C, 25 MPa

Boukis et al., FZK Nachrichten 33 (2001) 81-90

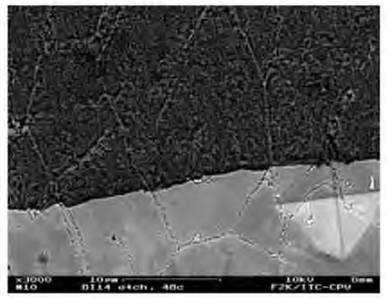
13 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

SCWG: Reforming von Methanol

- Bei Inconel 625 zeigt sich Duktilitätsverlust über 550 °C (25 MPa, 1000 h) im Rahmen des bekannten thermischen Werkstoffverhaltens
- Versprödung aufgrund von H_2 konnte nicht nachgewiesen werden
- Zusatz von K_2CO_3 führt zu interkristalliner Korrosion an Korngrenzen (IG) (Bild)
- Festigkeitsverlust durch Abbau von Mo und Ni (Dealloying) bei hohen T



Habicht et al., Microchim. Acta 145 (2004) 57–62

14 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Schutzmöglichkeiten

Ansatz	Lösung	Anwendbarkeit
Vermeidung des Zugangs korrosiver Spezies zur Oberfläche	Fallfilm- oder Schwitzwand-Reaktoren u.a. Reaktortypen	Aufwändige Konstruktion und Betrieb
Korrosionsschutzschicht	Materialwahl, Liner, Coatings	Änderung der Wärmeübertragung
Korrosionsmanagement	Opferschichten	Kosten, Wartung
Vorbehandlung der Einsatzstoffe	Neutralisation	Zusätzlicher Aufwand, Salzabscheidung
	Verdünnung	Effizienzverringerung
	Entfernung von Heteroatomen	Zusätzlicher Aufwand
Anpassung der Prozess-bedingungen	Wahl anderer Bereiche von T, p, pH etc.	Weniger effiziente Umsetzung

Marrone, J. of Supercritical Fluids 51 (2009) 83-103

15 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Konversions Technologien

Teil 2: Salze und Feststoffe

Prof. Dr. Andrea Kruse

16 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

2.1 Salze

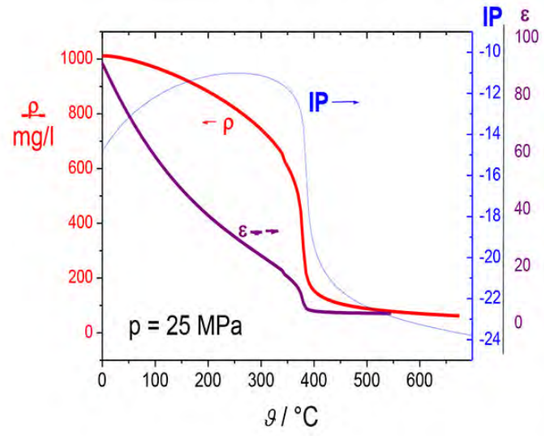
- Gewünschtes Produkt (Quarzkristalle…)
- Natürliche Ablagerung (Hydrothermal vents ⇒ Geothermie
- **Katalysatorgift ⇒ nah- und unterkritische Vergasung**
- **Verstopfungsgefahr aber: Möglichkeit der Nährstoffgewinnung**
- Korrosion (siehe Teil 1)

17 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Eigenschaften von Salzen





Kawasaki, S. I., Oe, T., Itoh, S., Suzuki, A., Sue, K., Arai, K. *The Journal of Supercritical Fluids*. **2007**, *42*, 241.

18 HTP Forum 2018

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Phasenverhalten Salz-Wasser-Systeme

Typ I Salze-Wasser Systeme:
ununterbrochene kritischer Kurve

⇒ **„Schmelze“ bzw. zweite fluide Phase höhere Dichte**

Typ II Salze-Wasser Systeme:
unterbrochene kritischer Kurve

⇒ Feststoff

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

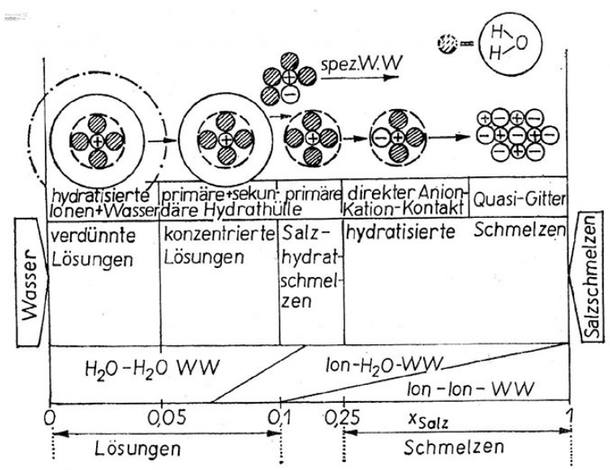
KIT Karlsruher Institut für Technologie

Phasenverhalten Salz-Wasser

Tonen		CO_3^{2-} 1,85	SO_4^{2-} 2,30	F^- 1,33	HCO_3^- 1,63	OH^- 1,40	Cl^- 1,81	ClO_3^- 2,00	NO_3^- 1,89	Br^- 1,96	ClO_4^- 2,36	J^- 2,20
Mg^{2+}	(0,74)	II	II	II	-	II	I	I	I	I	I	I
Zn^{2+}	(0,83)	II	II	II	-	II	I	I	I	I	I	I
Cd^{2+}	(0,99)	II	II	II	-	II	I	I	I	I	I	I
Ca^{2+}	(1,04)	II	II	II	-	II	I	I	I	I	I	I
Hg^{2+}	(1,12)	-	-	II	-	-	I	I	I	I	I	I
Sr^{2+}	(1,20)	II	II	II	-	II	I	I	I	I	I	I
Ba^{2+}	(1,38)	II	II	II	-	I	II	I	I	I	I	I
Li^+	(0,68)	II	II	II	-	I	I	I	I	I	I	I
Cu^+	(0,98)	II	II	II	-	II	I	I	I	I	I	I
Na^+	(0,98)	II	II	II	II	I	I	I	I	I	I	I
Ag^+	(1,13)	II	II	II	-	-	I	I	I	I	I	I
K^+	(1,33)	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I
NH_4^+	(1,43)	I	I	I	I	-	I	I	I	I	I	I
Rb^+	(1,49)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Cs^+	(1,65)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie



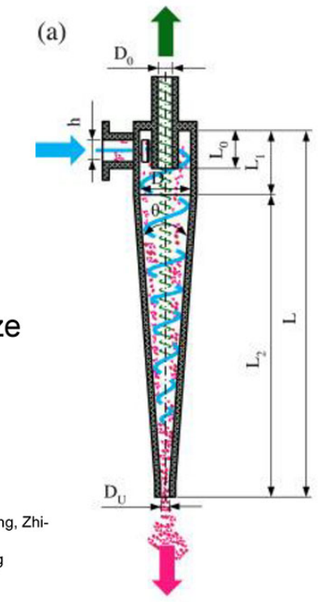
Aus: EMONS, H.-H.; FANGHÄNEL, Th.; NAUMANN, R.; VOIGT W.: *Salzhydratschmelzen – Struktur-Eigenschaften-Anwendung*. Berlin: Akademie-Verlag Berlin, 1986

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

IT technologie

Abtrennung von Salzen

- **Zyklon**
- Sedimentationsabscheider
- Schwitzwandreaktor (SCWO)
- In der hydrothermalen Schmelze



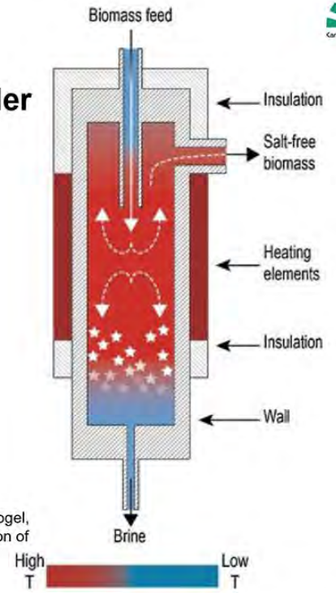
Jian-Ping Li, Xue-Jing Yang, Liang Ma, Qiang Yang, Yan-Hong Zhang, Zhi-Shan Bai, Xiang-Chen Fang, Li-Quan Li, Yue Gao, Hua-Lin Wang, The enhancement on the waste management of spent hydrotreating catalysts for residue oil by a hydrothermal–hydrocyclone process, Catalysis Today, Volume 2712016, Pages 163-171,

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Sedimentationsabscheider

Lokale Überhitzung!



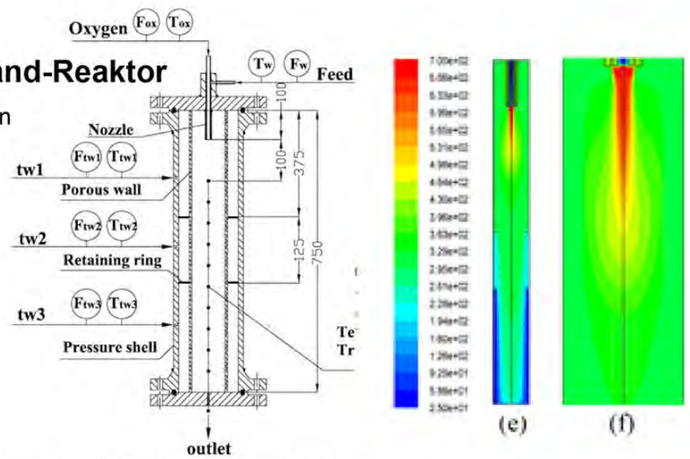
J. Reimer, G. Peng, S. Viereck, E. De Boni, J. Breinl, F. Vogel, A novel salt separator for the supercritical water gasification of biomass, The Journal of Supercritical Fluids, Volume 117, 2016, Pages 113-121

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Schwitzwand-Reaktor

CFD-Simulation

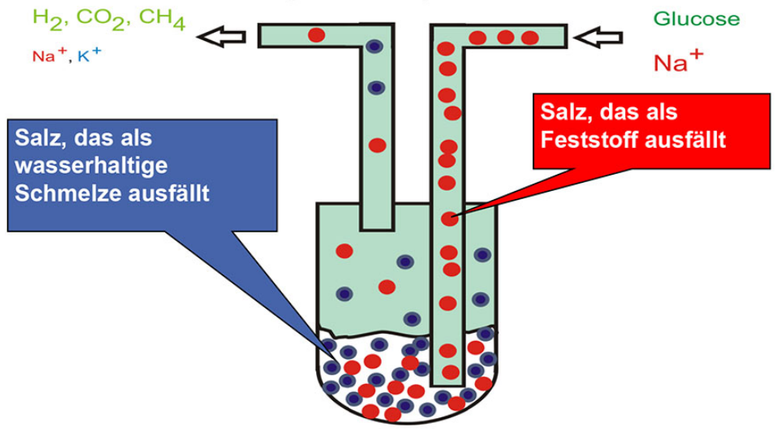


CFD simulation of a transpiring-wall SCWO reactor: Formation and optimization of the water film, Volume: 62, Issue: 1, Pages: 195-206, First published: 27 August 2015, DOI: (10.1002/aic.15021)

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Salzabscheidung in der hydrothermalen Schmelze



Kruse, A., Forchheim, D., Gloede, M., Ottinger, F., Zimmermann, J., Brines in supercritical biomass gasification: 1. Salt extraction by salts and the influence on glucose conversion, (2010) Journal of Supercritical Fluids, 53 (1-3), pp. 64-71.

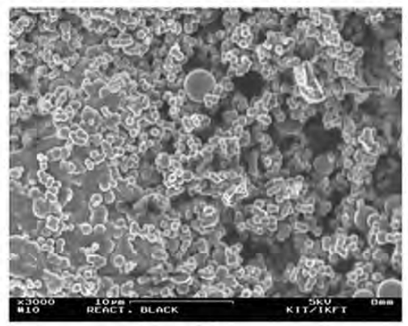
UNIVERSITÄT HOHENHEIM

KIT Karlsruher Institut für Technologie

2.2 Andere Feststoffe

HTC: Feststoffe müssen aus dem Reaktor hinein- und herausgefördert werden.

Fouling?



(d)

Castello, D.; Rolli, B.; Kruse, A.; Fiori, L. Supercritical Water Gasification of Biomass in a Ceramic Reactor: Long-Time Batch Experiments. Energies 2017, 10, 1734.

Hydrothermale Prozesse zur Bereitstellung von Kohlenstoff-Werkstoffen

Viola Hoffmann, Universität Hohenheim

HTC zur Herstellung biobasierter Elektrodenmaterialien für die Elektromobilität

Viola Hoffmann, Dr. Catalina C. Rodriguez, Prof. Dr. Andrea Kruse
Universität Hohenheim
Garbenstr. 9
70599 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 459-23933
E-Mail: **viola.hoffmann@uni-hohenheim.de**

Für die Etablierung der Kreislaufwirtschaft im Sinne der Bioökonomie bedarf es der Entwicklung innovativer Technologien und Verfahren zur Herstellung alternativer, biobasierter Materialien als Basis für ein zukunftsfähiges und nachhaltiges Wirtschaftssystem. Die Verwertung von Abfall-Biomassenströmen zu funktionalen Werkstoffen ist dabei ein möglicher Weg zur Schließung von Stoffkreisläufen und zur nachhaltigen Verwertung von organischen Reststoffen. Die hydrothermale Karbonisierung (HTC) und anschließende Aktivierung erlaubt die Herstellung von funktionalen und porösen Kohlenstoffen aus Biomasse, die als Substitut für fossile Aktivkohlen verwendet werden können.

Ein vielversprechendes Anwendungsfeld für die genannten Aktivkohlen ist der Einsatz als Elektrodenmaterialien in elektrochemischen Energiespeichern (engl. electric double-layer capacitors, kurz EDLC). Diese wiederum finden Anwendung als leistungsstarke Energiespeicher in der Elektromobilität oder im Sektor der Erneuerbaren Energien. Die Herstellung biobasierter Elektrodenmaterialien wäre somit ein wichtiger Beitrag zur Entwicklung umweltfreundlicher Energiespeichersysteme für Schlüsseltechnologien der Zukunft.

Ziel ist es Kohlenstoffmaterialien aus Biomasse herzustellen, die nicht nur über eine hohe innere Oberfläche (bzw. einen hohen Anteil an Mikroporen) verfügen sondern auch über eine hohe elektrische Leitfähigkeit und bestimmte Oberflächenfunktionalitäten, da die genannten Eigenschaften direkt mit hohen Leistungs- und Energiedichten (auch Kapazität) korrelieren. Da diese physio-chemischen Eigenschaften der Kohlenstoffmaterialien nicht nur durch die gewählte Ausgangs-Biomasse sondern auch durch die Prozessparameter während der Karbonisierung und Aktivierung bestimmt werden, ist es von grundlegender Bedeutung den Zusammenhang zwischen Prozessparametern und Materialeigenschaften genau zu untersuchen.

Anhand der hydrothermalen Karbonisierung von Kaffeesatz und der Anwendung zweier verschiedener Aktivierungsmethoden (in-situ Aktivierung mit Kaliumhydrogencarbonat während HTC oder HTC mit anschließender KOH-Aktivierung) wurden zwei Gruppen von aktivierten HTC-Kohlen hergestellt und hinsichtlich ihrer Elementarzusammensetzung, BET Oberfläche und elektrochemischen Eigenschaften untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass aus Kaffeesatz mittels HTC und anschließender KOH-Aktivierung Aktivkohlen mit BET Oberflächen von > 2 000 m^2/g und hohen C-Gehalten von knapp 80 % hergestellt werden können. Die in-situ funktionalisierten Aktivkohlen hingegen weisen einen geringeren C-Gehalt und deutlich niedrigere Oberflächengrößen (max. 808 m^2/g) auf.

Im Vortrag werden diese und weitere aktuelle Erkenntnisse hinsichtlich HTC als Verfahren zur Herstellung biobasierter Elektrodenmaterialien vorgestellt. Dies umfasst auch die Präsentation der Zusammenhänge zwischen physio-chemischen Eigenschaften der Aktivkohlen und ihren elektrochemischen Eigenschaften (Kapazität, elektrische Leitfähigkeit).





UNIVERSITÄT HOHENHEIM

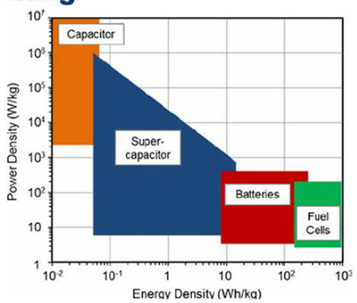
Inhalt

1. Einleitung
2. State of the Art
3. Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC
   a. Herstellung
   b. Eigenschaften
4. Ausblick



UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Einleitung



Leistungsdichte vs. Energiedichte für diverse Energiespeichertechnologien (Ragone plot)

Herausforderung: Supercap mit hoher Leistungs- **und** Energiedichte!

Kotz R, Carlen M, Kötz R, Kötz R, Carlen M, Carlen M.. Electrochim Acta. 2000;45:2483-2498. doi:10.1016/S0013-4686(00)00354-6.

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

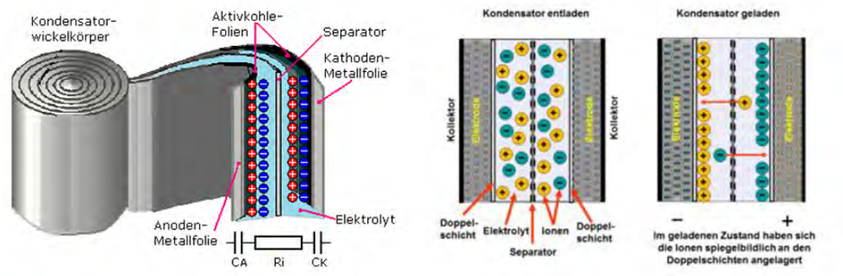
Einleitung



Source: Lux Research Report "Quantifying Growth Opportunities in the $105 Billion Energy Storage Market"

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

State of the Art



Aufbau und Funktionsweise eines EDLC

https://elektroniktutor.de/bauteilkunde/goldcap.html / https://de.wikipedia.org/wiki/Superkondensator

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

State of the Art



Anwendungsfelder Supercaps

https://de.wikipedia.org/wiki/Superkondensator#/media/File:Doppelschichtkondensatoren-Klasseneinteilung.png

KT 7

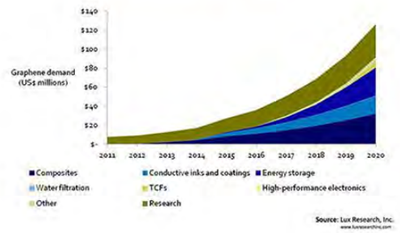
UNIVERSITÄT HOHENHEIM

State of the Art

Aktivkohle aus **Graphit** – laut EU-Kommission als „kritisch" eingestufte Ressource, da bis 2030 Knappheit erwartet wird und die Vorkommen sich auf wenige Länder (z.B. China) konzentrieren

http://europa.eu/rapid/press-release_IP-10-752_de.htm?locale=de

Total Graphene Market will Reach $126 million in 2020

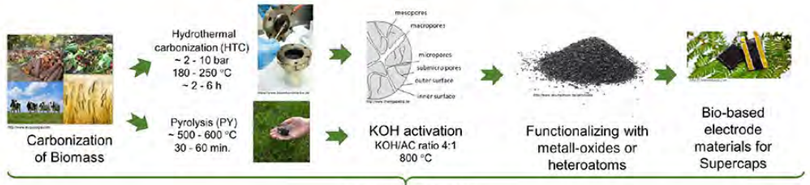


KT 8

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Ziel: Substitution fossiler Elektrodenmaterialien → Beitrag zur Bioökonomie



KT 9

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Eigenschaften

- hohe spezifische Oberflächen (SSA)
- Porengrößenverteilung (PSD) passend zum Elektrolyt
- hoher Anteil von Mikroporen (< 2nm)
- Oberflächenfunktionalitäten (z.B. O-, N-haltige Funktionalitäten)
- hohe elektrische Leitfähigkeit (EC)
- Langzeit Stabilität
- bestimmte strukturelle und morphologische Eigenschaften(z.B. graphit-ähnliche Kohlenstoffstrukturen)

Frackowiak E, Béguin F. Supercapacitors Materials, Systems and Application.2013.; Ghosh A, Hee Y. ChemSusChem. 2012;5:480-499. doi:10.1002/cssc.201100645.; Chen WC, Hu CC, Wang CC, Min CK. J Power Sources. 2004;125(2):292-298. doi:10.1016/j.jpowsour.2003.08.001. Hu B, Wang K, Wu L, Yu SH, Antonietti M, Titirici MM. 2010;22(7):813-828. doi:10.1002/adma.200902812.; Falco C, Marco-Lozar JP, Salinas-Torres D, et al. Carbon, 62, 346–355. doi:10.1016/j.carbon.2013.06.017.; Stern M, Stadler I. Berlin; 2014. doi:10.1007/978-3-642-37380-0. Worasuwannarak N, Sonobe T, Tanthapanichakoon W.. J Anal Appl Pyrolysis. 2007;78(2):265-271. doi:10.1016/j.jaap.2006.08.002.

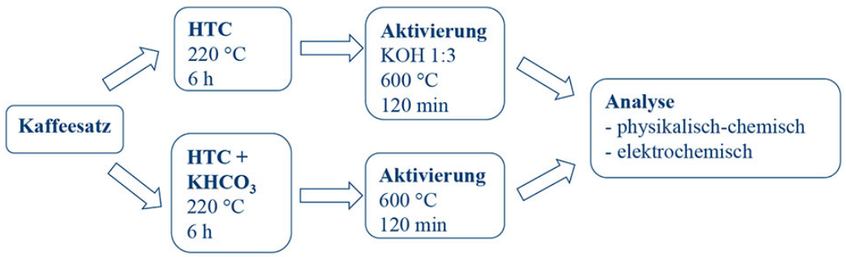
KT 10

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Verfahren

Aktivkohleherstellung aus Kaffeesatz mittels HTC und zweier Aktivierungsverfahren



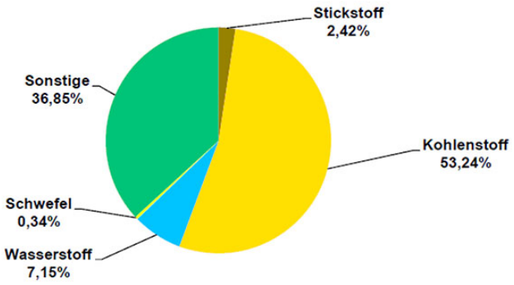
Ziel: Welches Verfahren eignet sich besser zur Herstellung von Elektrodenmaterialien aus Kaffeesatz ?

11

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Ergebnisse



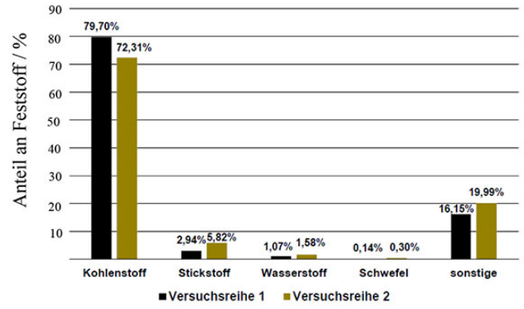
Elementare Zusammensetzung Kaffeesatz

12

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Ergebnisse



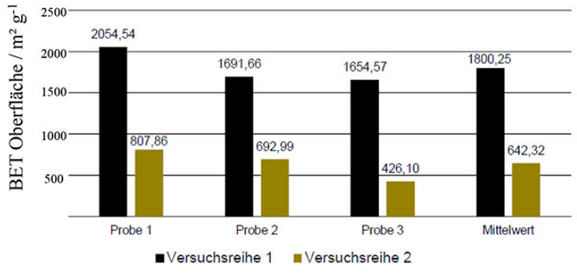
Elementaranalyse der Aktivkohlen

13

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Ergebnisse



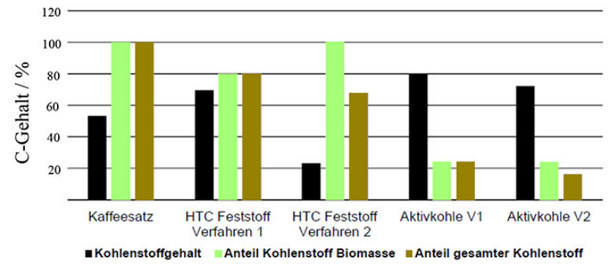
BET Oberfläche

14

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Ergebnisse



Vergleich der Verfahren hinsichtlich C-Gehalt und C-Effizienz

15

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Ergebnisse

Elektrische Leitfähigkeit:
< 0,5 S m^{-1}

Kapazitäten:
10 - 20 µF cm^{-2}
(3-Elektroden-Messzelle mit Ag/AgCl Ref.elektrode und Pt-Gegenelektrode in 0,5 M H_2SO_4)

Vergleich kommerzielle Aktivkohlen:
MAXSORB (BET SSA: 1840 m² g^{-1}) → 14 µF cm^{-2}

Thomas E. Rufford, Denisa Hulicova-Jurcakova , Zhonghua Zhu, Gao Qing Lu.. Electrochemistry Communications 10 (2008) 1594–1597, doi:10.1016/j.elecom.2008.08.022

16

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Ergebnisse – Vergleich mit Aktivkohle aus Mais (Pyrolyse + KOH Aktivierung)

Sample	C (wt.%)	H (wt.%)	N (wt.%)	S (wt.%)	O (wt.%)	Ash (wt.%)
Corncob[10]	46.2	6.2	1.3	N.D.	47.0	0.9
P600	81.7	1.6	0.9	N.D.	7.8	8.2
AC-600-800	95.3	0.1	0.2	N.D.	3.7	0.7

** Elemental composition on a dry basis of the pyrolysis chars and activated carbon. N.D.: not detected*

The ash content was determined by difference (Eq. 1)
%Ash = 100 - %C - %H - %N - %S - %O (1)

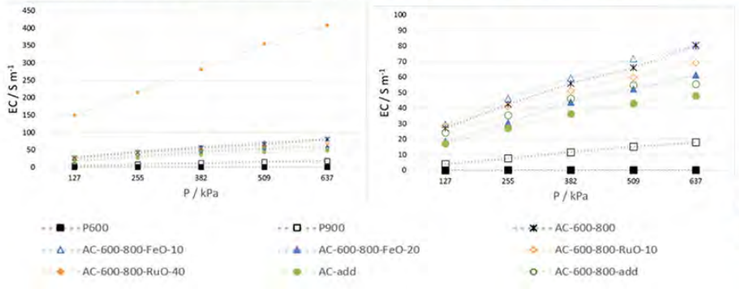
- BET SSA (AC-600-800) = 2.333 m² g^{-1}

17

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Ergebnisse – Vergleich mit Aktivkohle aus Mais (Pyrolyse + KOH Aktivierung)



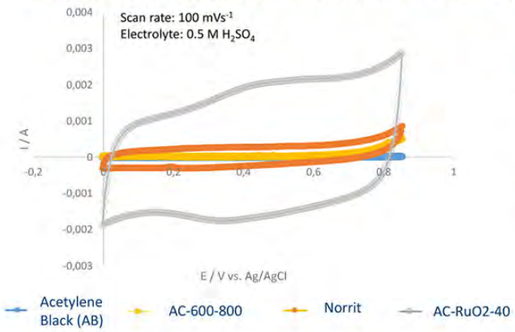
Elektrische Leitfähigkeit biobasierter Aktivkohlen

18

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Biobasierte Elektrodenmaterialien mittels HTC

Ergebnisse – Vergleich mit Aktivkohle aus Mais (Pyrolyse + KOH Aktivierung)



Sample	C / F g^{-1}
AB	0.38
AC-600-800	7.60
Norrit	261.15
AC-RuO2-40	1813.20

Kapazität biobasierter Aktivkohlen

KT 19

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Zusammenfassung

Korrelationen physikalisch-chemischer Eigenschaften und elektrochemischer Performance:

Physikalisch-chemisch	Elektrochemisch
Hohe BET Oberfläche	höhere Kapazitäten, höhere EC
Hohe Karbonisierungstemperatur	graphitähnlichere Strukturen, höhere EC
KOH-Aktivierung	höhere BET Oberflächen, niedrigere Aschegehalte

- Pyrolyse + KOH Aktivierung vs. HTC + KOH Aktivierung
- In-situ Aktivierung bringt keine nennenswerten Vorteile

KT 20

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Ausblick

Ist HTC zur Herstellung vielversprechender Elektrodenmaterialien trotz geringer EC und geringerer Kapazitäten (im Vgl. zu Pyrolyse) geeignet?

Next step:
Herstellung von Aktivkohlen aus Kaffeesatz mit HTC + Harnstoff (Urea) + KOH Aktivierung
→ Charakterisierung hinsichtlich funktioneller Gruppen auf der Oberfläche

Ziel:
Hoher Stickstoffanteil → pseudokapazitative Effekte
(siehe z.B. Jingjiang Liu, Yuanfu Deng, Xuehui Li, Lefu Wang, Sustainable Chem. Eng. 2016, 4, 177−187, DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b00926)

KT 21

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Kontakt:
Viola Hoffmann
Tel. +49 711 459 23933
viola.hoffmann@uni-hohenheim.de

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST

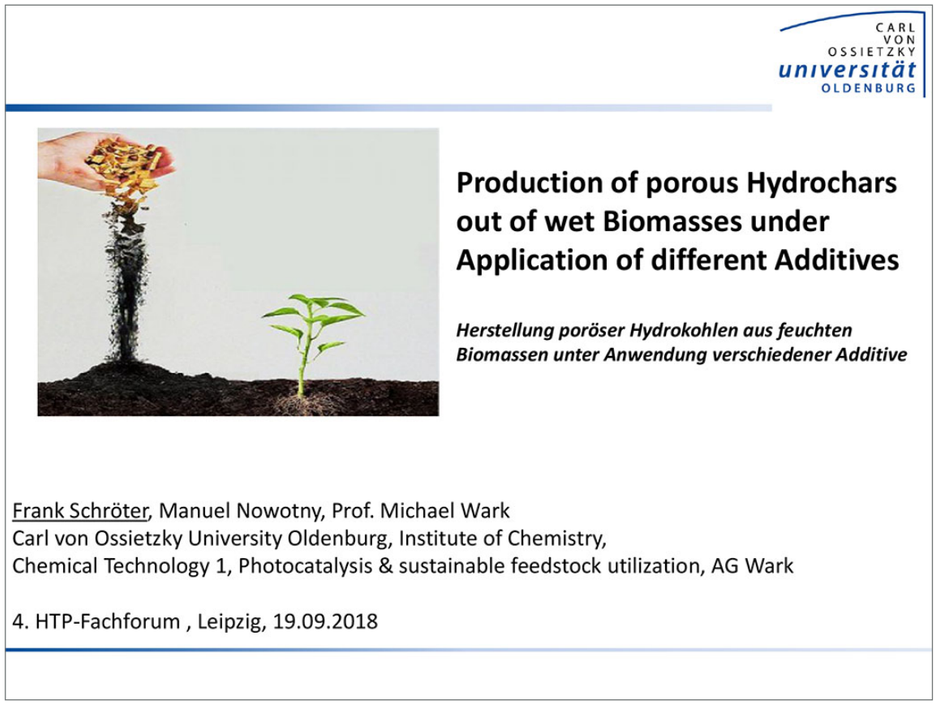
BIO ÖKONOMIE FORSCHUNG

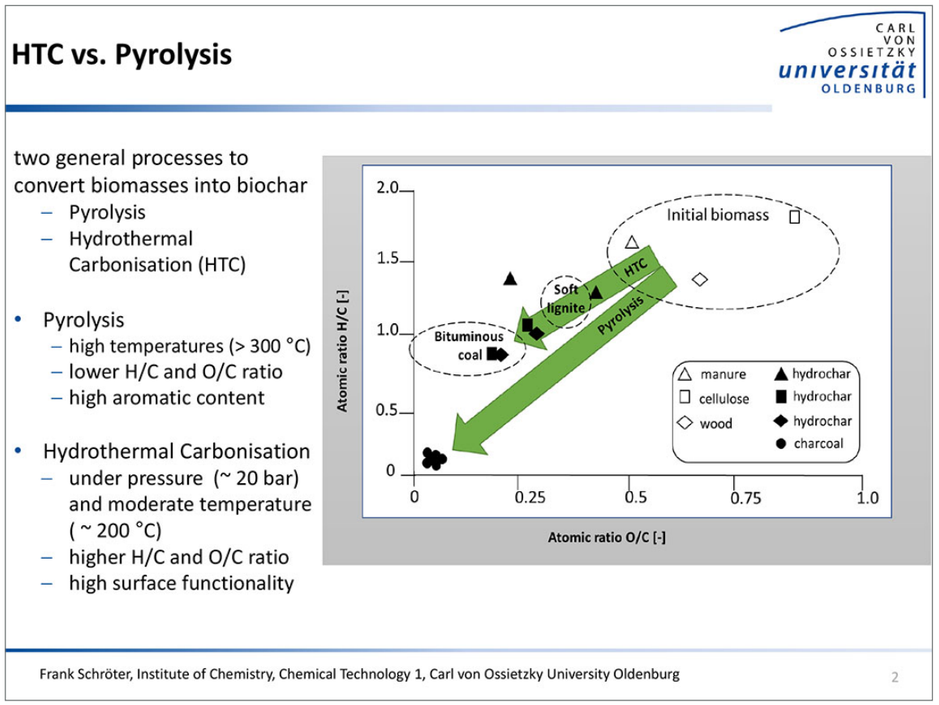
Frank Schröter, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Production of porous Hydrochars out of wet Biomasses under Application of different Additives

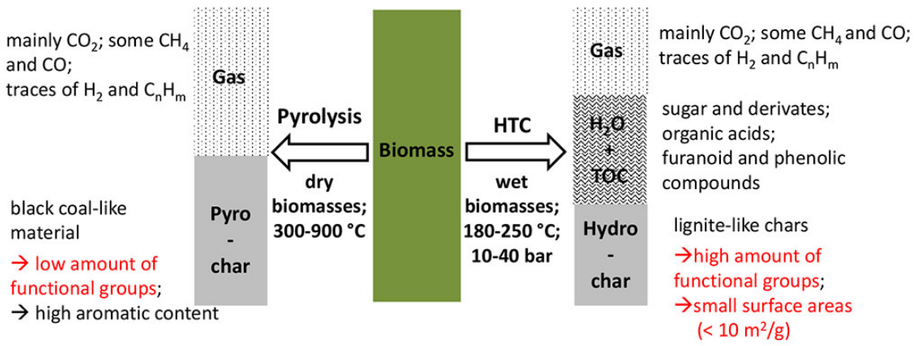
Frank Schröter, Manuel Nowotny, Prof. Dr. Michael Wark
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Institut für Chemie, Technische Chemie 1
Carl-von-Ossietzky-Str. 9-11
26129 Oldenburg
Tel.: +49 (0)441 798-3561
E-Mail: **frank.schroeter@uni-oldenburg.de**

Es werden Methoden diskutiert, Abfallstoffe aus der Landwirtschaft (u.a. Gülle) mittels Hydrothermaler Carbonisierung (HTC) in hochporöse Hydrokohlen für Adsorptionsanwendungen umzuwandeln.
Hydrokohlen aus der HTC sind braunkohleähnlich und zeichnen sich, im Gegensatz zu Biokohlen aus der Pyrolyse, durch eine innere Oberfläche aus, die noch hydrophil ist und funktionelle Gruppen enthält, und damit mehr Wechselwirkungen zu Stoffen ermöglicht, die adsorbiert werden sollen.
Sollen kleine Moleküle aus einem Gasgemisch adsorbiert werden, sind mikroporöse Porensysteme erwünscht, welche hohe spezifische Oberflächen liefern. Sollen größere Moleküle aus Abwässern adsorbiert werden, sind mesoporöse Strukturen erwünscht, welche das Eindringen größerer Gastmoleküle in das Porensystem erlauben. Weiter sind in vielen Anwendungen bimodale Porensysteme aus weiten Zuleitungsporen und engen Poren erwünscht, um Diffusionsprozesse zu beschleunigen.
In diesem Beitrag soll die Wirkungsweise unterschiedlicher Additive bei der HTC von Biomassen hinsichtlich der Porosität der hergestellten Hydrokohlen untersucht werden. Hierbei wird der Fokus besonders auf Verfahren zur Herstellung mesoporöser Strukturen gelegt. Dies soll durch die Zugabe von geeigneten Zusätzen, beispielsweise Salze mit organischen Anionen (Acetat, Stearat), oder die Nutzung von Soft-Templating (Zusatz von Mizellbildnern) oder Hard-Templating (Zusatz von mesoporösen SiO2-Festkörperstrukturen) erreicht werden. Weitere Untersuchungen schließen eine der HTC nachgeschaltete Wasserdampfbehandlung zur Erhöhung der Porosität ein.
Ebenfalls soll die Gasphasenzusammensetzung untersucht werden, um weitere Kenntnisse über den Reaktionsverlauf bei unterschiedlichen Reaktionsbedingungen zu erhalten.





HTC vs. Pyrolysis



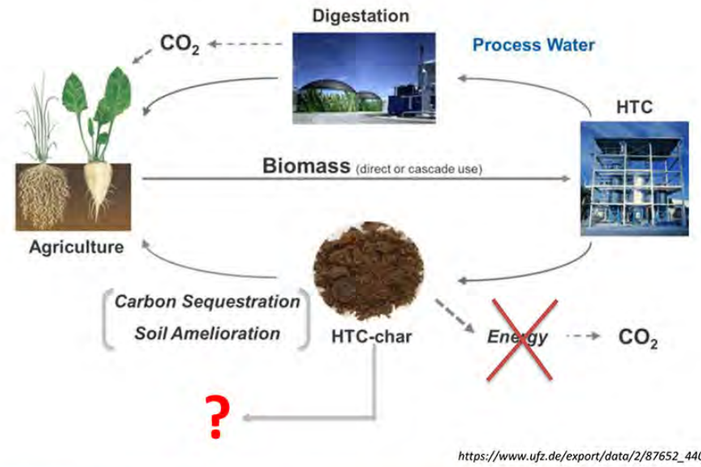
HTC research at the University Oldenburg

- member of the innovation network „HTC“
- founded by (EFRE)
- ➔ “Europäische Fonds für Regionale Entwicklung”

- German-Dutch Interreg project „Groene Kaskade“
- establishment of cascade processes

2011 - 2014	2014 - 2017	2016 - 2019	2017 - 2020
	• various research on HTC (TC1) • surface modification		• Interreg project „BIOCAS“ • establishment of cascade processes

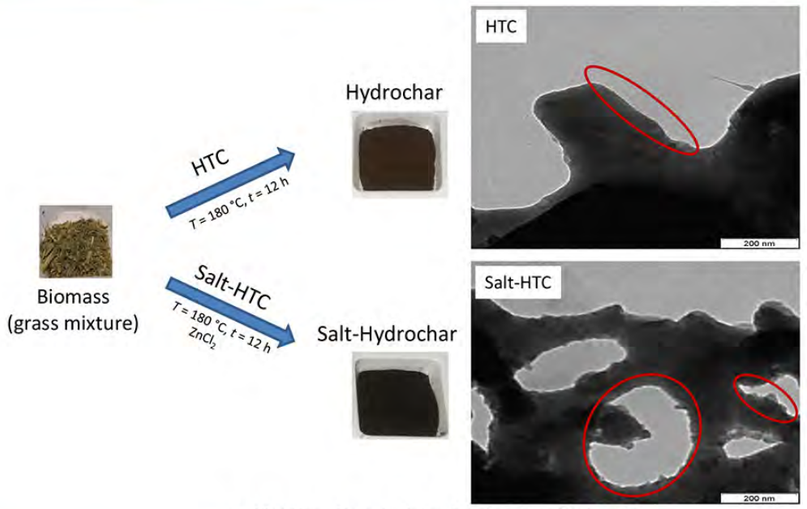
Motivation



Key Questions

- What kind of hydrochar to be obtained?
  - surface functional groups
  - porous / high specific surface area (SSA)
- How to create hydrochars with surfaces > 100 m^2/g?
  - additives (salts) → mesopores (2 – 50 nm)
  - steam activation → micropores (< 2 nm)
- Possible application of hydrochars?
  - commercial and ecological adsorbent
  - soil amelioration

Salt-HTC

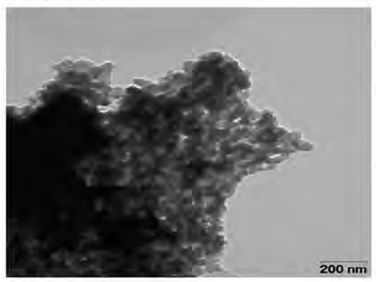


Hendrik Multhaupt, Dissertation, Carl von Ossietzky University Oldenburg, 2017.

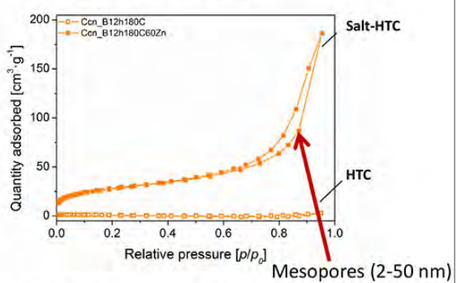
Salt-HTC

Salt-HTC of Coconut Shell

T = 180 °C, *t* = 12 h



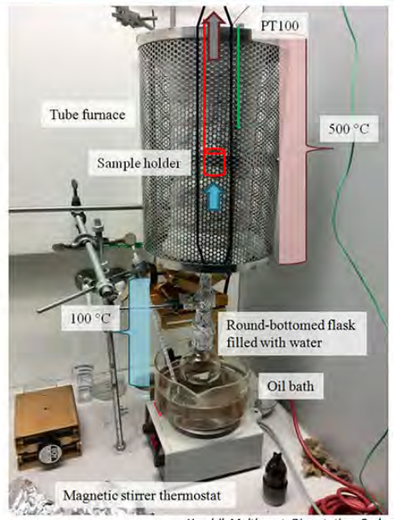
Nitrogen Sorption Isotherms



- smaller particles in Salt-HTC lead to larger specific surface areas (SSA)
- possible generation of meso- and macroporosity
- SSA up to nearly 200 m²/g
  - strongly depends on chosen substrate (esp. contents of inorganic, lignin)

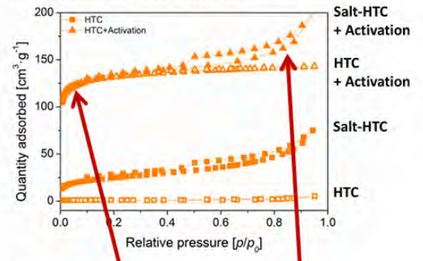
Hendrik Multhaupt, Dissertation, Carl von Ossietzky University Oldenburg, 2017.

Steam Activation of Hydrochars



- sample in crucible
- tube furnace (e.g. 500 °C)
- water vapor flows through the oven
- yield: 20-30%

Nitrogen Sorption Isotherms

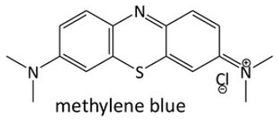


HTC activated: Micropores (< 2 nm)
Salt-HTC activated: Micro- and mesopores (2-50 nm)

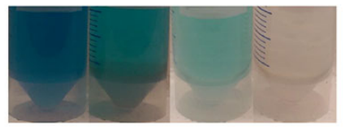
Hendrik Multhaupt, Dissertation, Carl von Ossietzky University Oldenburg, 2017.

Dye Sorption Studies

- **using hydrochars for the removal of dyes from waste waters**
- chars in methylene blue solution of known concentration

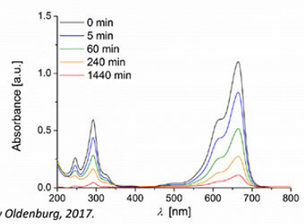


methylene blue



0 min 5 min 60 min 1440 min

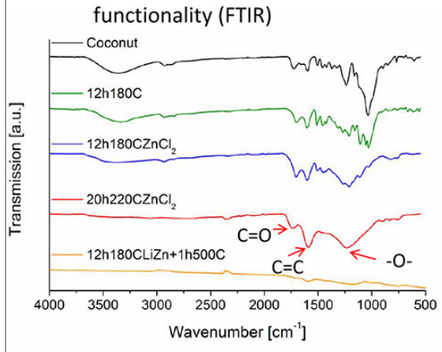
- decrease of the characteristic UV/Vis-spectra signal
- calculation of the concentration from calibration data
- sorption capacity q_t ➡ $q_t = \frac{(c_0 - c_t) * V}{m}$



Hendrik Multhaupt, Dissertation, Carl von Ossietzky University Oldenburg, 2017.

Dye sorption studies

functionality (FTIR)



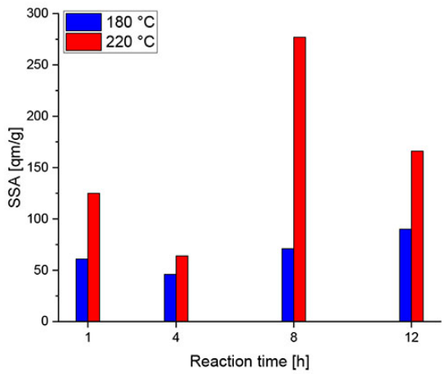
sorption capacities (q_t) at t = 1440 min

Sample	q_t [mg·g^{-1}]	SSA [m^2·g^{-1}]
Coconut shell	42	-
HTC (180 °C)	72	4
Salt-HTC (180 °C)	160	98
Salt-HTC (220 °C)	222	135
Salt-HTC + activation	33	518

- equilibrium studies show a maximum capacity (q_m) of Salt-HTC Char around 277 m^2/g
- activated carbons found in literature: q_m around 100-400 m^2/g

Hendrik Multhaupt, Dissertation, Carl von Ossietzky University Oldenburg, 2017.

HTC of Manure
+ Steam Activation

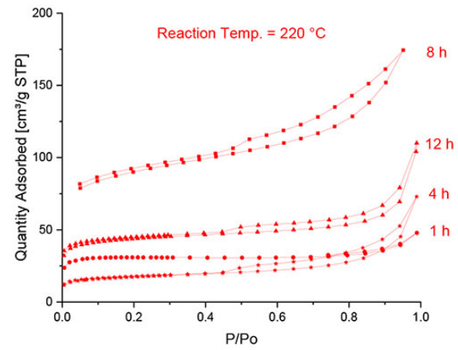


Reaction time [h]	Temperature [°C]	SSA [m^2/g]
1	180	61
4		46
8		71
12		90
1	220	125
4		64
8		277
12		166

- high temperature leads to hydrochars with larger surfaces
  - T > 180 °C

HTC of Manure
+ Steam Activation

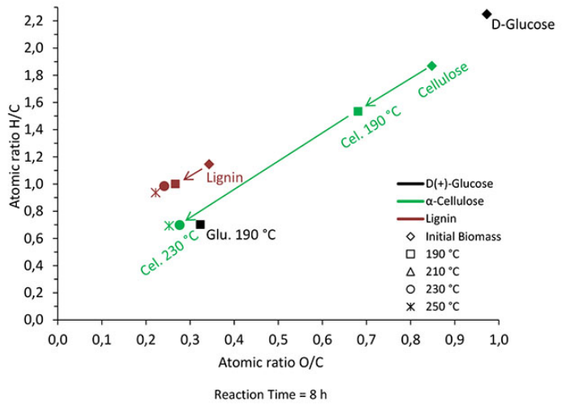
Nitrogen Sorption Isotherms



- Micro- and Mesoporoes are present

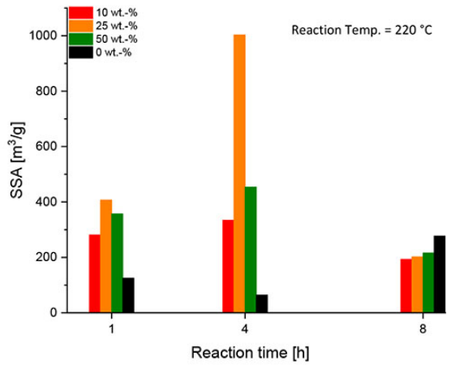
Temperature dependence of HTC

Placement of Hydrochars from Model Substrates
in a Van Krevelen Diagram



Reaction Time = 8 h

HTC of Coconut Shell Manure Mixtures
+ Steam Activation



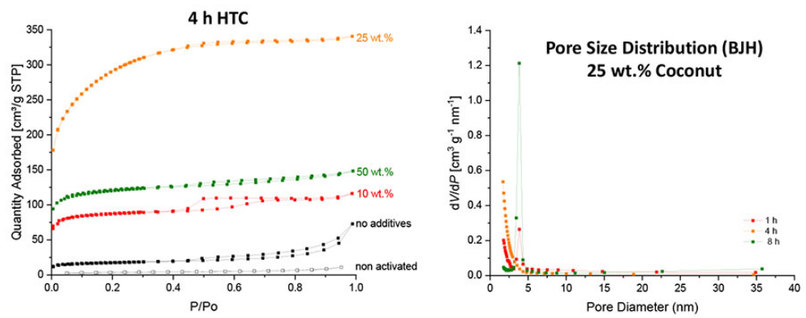
Reaction time [h]	Coconut shell [%]	SSA [m²/g]
1	0	125
	10	281
	25	401
	50	357
4	0	64
	10	334
	25	1003
	50	454
8	0	277
	10	193
	25	202
	50	216

- best results with 25 wt.% coconut shell and 4 h reaction time
- no high reaction times required

Frank Schröter, Institute of Chemistry, Chemical Technology 1, Carl von Ossietzky University Oldenburg 15

HTC of Coconut Shell Manure Mixtures
+ Steam Activation

Nitrogen Sorption Isotherms



Reaction Temp. = 220 °C

Frank Schröter, Institute of Chemistry, Chemical Technology 1, Carl von Ossietzky University Oldenburg 16

Hard Templating in HTC



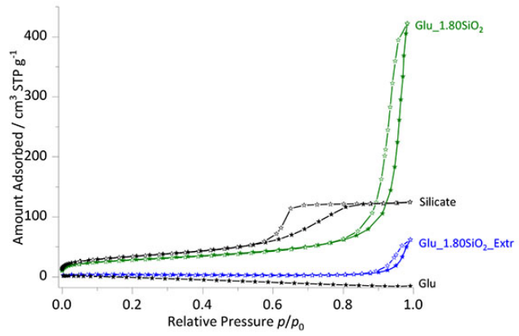
A) a rigid porous solid is infiltrated with the precursor for the final solid
B) Template removal from the composite to yield the porous or high-surface area material

Frank Schröter, Institute of Chemistry, Chemical Technology 1, Carl von Ossietzky University Oldenburg 17

Hard Templating in HTC

HTC of Glucose + Silicate at 210 °C

Nitrogen Sorption Isotherms



- Silica AS-40: mesoporous; colloidal solution; particle size 20-24 nm; ~ 135 $m^2 g^{-1}$
- Extraction with 0.1 M NaOH

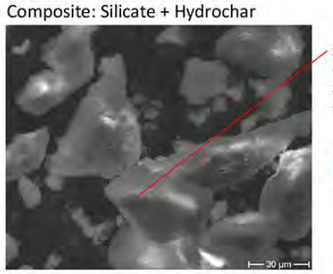
Frank Schröter, Institute of Chemistry, Chemical Technology 1, Carl von Ossietzky University Oldenburg 18

Hard Templating in HTC

HTC of Glucose + Silicate at 210 °C

Scanning Electron Microscopy

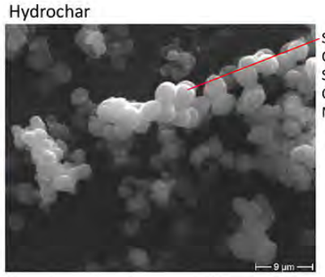
Composite: Silicate + Hydrochar



SEM/EDX [Atom-%]
C: 8
Si: 25
O: 68

Extraction

Hydrochar

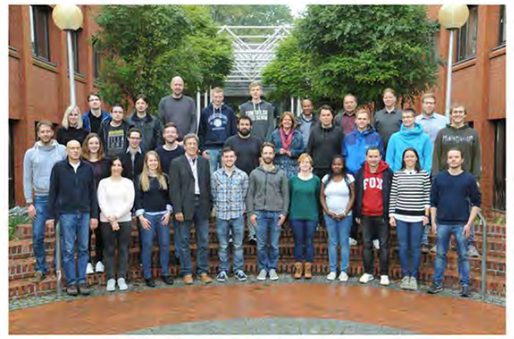


SEM/EDX [Atom-%]
C: 99
Si: 0
O: 0
Na: 0

Summary

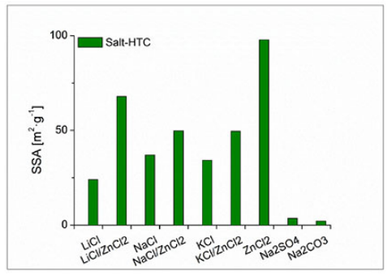
- HTC leads to more surface functional groups compared to pyrolysis
- Application of hydrochars as ecological adsorbent is possible
- Adding salts to the feedstock leads to increased specific surface areas (SSA) and mesopores
- subsequent steam activation:
  - increased specific surface area
  - decreased functionality
  - formation of micropores
- with biomasses as additives larger surfaces and mesopores can be achived after steam activation without salt additives

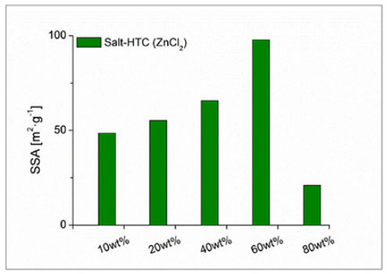
Thank you for your kind attention



Chemical Technology 1
Photocatalysis & sustainable feedstock utilization

Salt-HTC





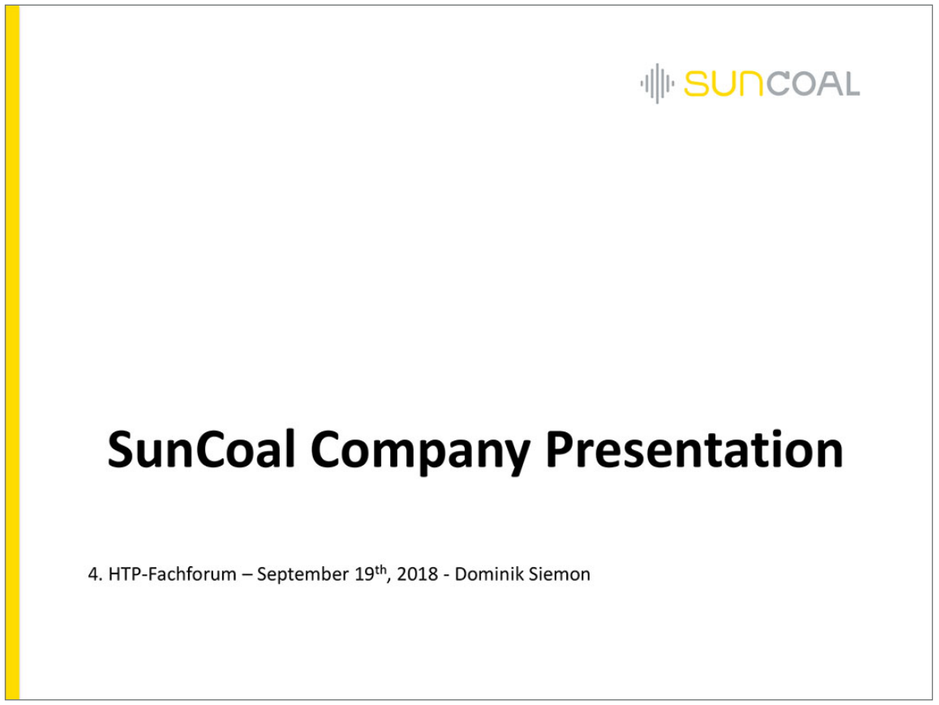
- Use of alkali metal chlorides results in increased surface areas
  - higher in mixtures with $ZnCl_2$
- Zinc chloride best effect in terms of high SSA
- High amounts of salt are necessary for higher SSA

Dominik Siemon, SunCoal Industries GmbH

Auf dem Weg in den Markt – Hochwertige Kohlenstoffe mit SunCoals hydrothermaler Plattformtechnologie

Dominik Siemon
SunCoal Industries GmbH
Rudolf-Diesel-Straße 15
14974 Ludwigsfelde
Tel.: +49 (0) 3378 88 122 11
E-Mail: **siemon@suncoal.com**

SunCoal entwickelt und kommerzialisiert patentierte, hydrothermale Prozesse zur Herstellung von hochwertigen Produkten wie technischen Kohlenstoffen und bio-basierten Chemikalien für stoffliche Anwendungen in der Chemieindustrie. Außerdem bietet SunCoal mit ihrer hydrothermaler Plattformtechnologie eine innovative Lösung zur Herstellung von Bioenergieträgern und zur Entsorgung organischer Schlämme an.





Solutions

Technical Carbons

High quality carbons for material applications



Experienced raw materials:
lignin, black liquor, woody biomass, etc.





Experienced application as functional fillers in rubber, thermoplasts, etc.

3

SUNCOAL

Solutions

Activated Carbons

High quality carbons for material applications



Experienced raw materials:
woody biomass, etc.





Application for gas or water treatment.

4

SUNCOAL

Solutions

Specialty Carbons

High quality carbons for material applications



Experienced raw materials:
wood, digestate, hemp, etc.





Application as carbon nano materials or super capacitors

5

SUNCOAL

Solutions

5-HMF / FDCA

Building block chemicals for plastic applications



Experience with lignocellulosic biomass like hydrolysate sugar solutions, C6 sugar, etc.





Application as an educt for sustainable PEF plastics, resins, pharmaceuticals, etc.

6

SUNCOAL

Solutions

Furfural

Building block chemicals for plastic applications



Experience with lignocellulosic biomass like hydrolysate sugar solutions, C5 sugar, etc.





Application as an educt for Poly-THF, resins, etc.

7

SUNCOAL

Solutions

Biocoal Firing

Biofuels for heat and power generation



Experience with green waste, organic waste, agri-waste, straw, foliage, wood, etc.





Co-Firing in coal power plants, powder firing or energetic use in biomass and pellet-firing plants

8

SUNCOAL

Solutions

Biocoal Gasification

Biofuels for heat and power generation



Experience with green waste, organic waste, agri-waste, straw, foliage, wood, etc.





Gasification of biocoal powder in an entrained flow gasifier for the generation of syngas

9

SUNCOAL

Solutions

Separation

Sludge carbonization to decrease disposal costs



Experience with organic sludges from municipal and industrial waste water treatment plants



Sludge can be dewatered up to 60% dry matter content, which results in energy savings up to 70%



Filter cakes can be utilized in power plants for co-firing or in the cement industry

10

SUNCOAL

02
Services

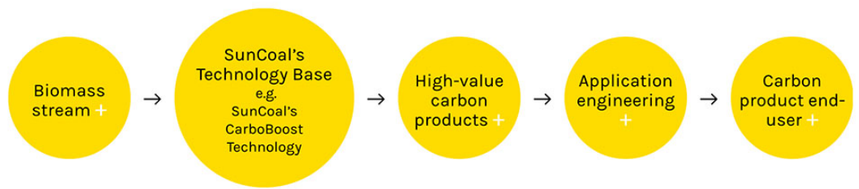
11

SUNCOAL

Services

Service Spectrum

SunCoal creates innovative value chains



12

SUNCOAL

Services

Contract R&D

Starting in laboratory-scale



1

Screening Experiments in Laboratory



2

Sample Production in Laboratory



3

PQM and Application Tests

13

SUNCOAL

Services

Contract R&D

Upscaling to pilot-scale



4

Sample Production in Pilot Plant



5

PQM and Application Engineering



6

Results for Engineering and Plant Design

14

SUNCOAL

Services

Industrial Services/Licensing

Preparation of industrial-scale



1

Results from
Contract R&D



2

Engineering Services from
SunCoal



3

Feasibility Study and
Consulting

15

SUNCOAL

Services

Industrial Services/Licensing

Realization of industrial-scale



4

Construction



5

Commissioning

16

SUNCOAL

03
Company

17

SUNCOAL

Company

Facilites

SunCoal's technology center









18

SUNCOAL

Company

Team

SunCoal's interdisciplinary and highly qualified team



19

SUNCOAL

Thank you.

SunCoal Industries GmbH
Rudolf-Diesel-Str. 15
D-14974 Ludwigsfelde
www.suncoal.com

Dominik Siemon
+49 3378 88122-11
siemon@suncoal.com

20

SUNCOAL

Hydrothermale Prozesse zur Bereitstellung von Chemikalien und Biokraftstoffen

Jakob Köchermann, Deutsches Biomasseforschungszentrum

Production of furfural from D-xylose and organosolv hemicellulose in water/ethanol mixtures

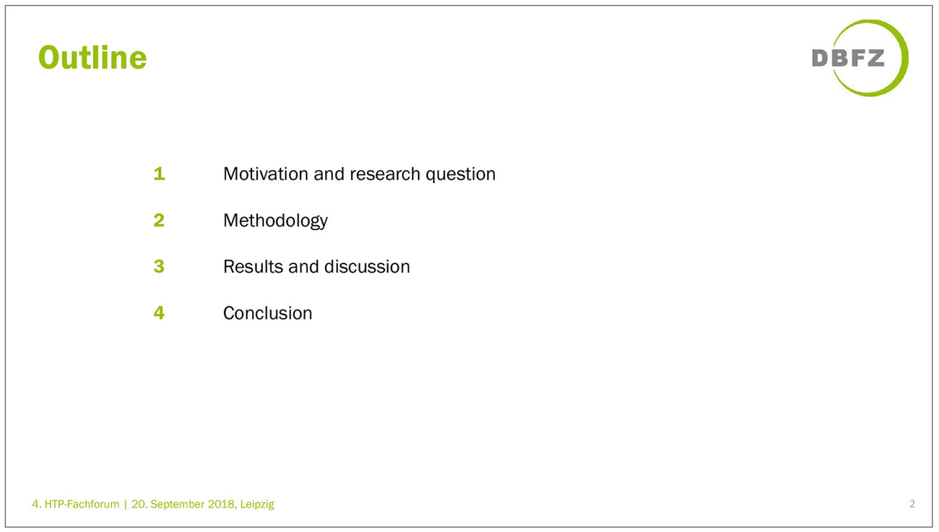
Jakob Köchermann, Janine Schreiber, Dr. Marco Klemm
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434 359
E-Mail: jakob.koechermann@dbfz.de

In recent years, the production of furfural from d-xylose and hemicellulose rich streams from the pulp and paper industry were extensively discussed. However, one problem that has always been described was the formation of insoluble humins by self- and cross-polymerization of furfural. Due to these side reactions the product yield and selectivity decreases. Therefore, the use of biphasic systems or ionic liquids was investigated to avoid this issue. Promising results have been shown but such systems could by costly due to expensive solvents and the subsequently recovery processes. Another approach to suppress polymerization of furfural is the usage of alcohol/water mixtures as reaction medium. Alcohol can react with the sugars and stabilize the reactive intermediates.

For our exploration as reaction medium ethanol/water with different mass ratios were tested. Xylose was used as model compound for organosolv hemicellulose and sulfuric acid as homogeneous catalyst. The experiments were conducted in a thermostatically heated 500 mL stirred batch reactor at three temperatures (180, 200 and 220 °C). To avoid the heating phase, the xylose was dissolved in water and transferred in a liquid charging pipette made of stainless steel. The educt solution was added to the ethanol/water mixture only after reaching the reaction temperature. Immediately after addition, a first sample was taken by a liquid sample valve with dip tube. Five more samples followed after 5, 15, 30, 60 and 180 min. Afterwards the reactor was cooled down to ambient by the thermostat as fast as possible. Subsequently the insoluble humins
were separated from the reaction medium by vacuum filtration. The process liquor samples were analyzed by liquid chromatography (HPLC-DAD) and the humins were quantified by weighing. Since ethanol is used as solvent for the organosolv process, the hemicellulose stream after the pulping contains residues of that alcohol. Therefore, we were interested on furfural polymerization suppress capacity of different ethanol/water mixtures. This approach has an interesting benefit since after furfural separation ethanol/water stream can be reused for the organosolv process. Preliminary results show a correlation between the ethanol/water ratio and the amount of formed humins. The ethanol content has also a strong influence and leads to an increase of furfural yield.

Furthermore, reference experiments with pure water were conducted. The results are promise for further explorations with real organosolv hemicellulose that should be carried out in the next step.



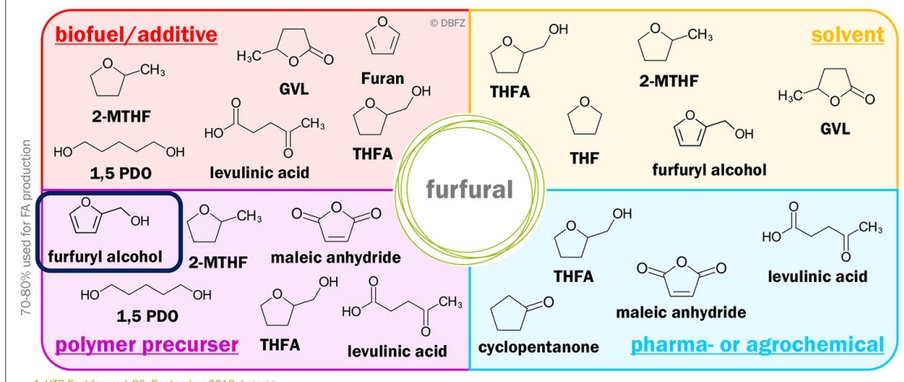


1 Motivation and research question
Furfural as platform chemical

furfural

- is one of the top 30 biomass-derived platform chemicals (according U.S. Department of Energy)
- production is 100% bio based
- versatile applicable
- over 80 chemicals can be derived directly or indirectly from furfural

1 Motivation and research question
Furfural as platform chemical



1 Motivation and research question
Current situation

bdguss

Marktsituation „Furanharz“

Die Preise für Furanharz haben sich in den letzten Monaten sprunghaft und drastisch erhöht. Furanharzhersteller berichten über massive Preisanstiege ihres Vorproduktes Furfurylalkohol.

Nach Recherchen des BDG liegt die Hauptursache der Preiserhöhungen in der seit März geltenden Verschärfung der Umweltstandards in der Volksrepublik China und deren rigoroser Umsetzung. Viele Produktionsstätten erfüllen dort die neuen Vorgaben nicht und mussten gewissermaßen „über Nacht“ ihre Aktivitäten einstellen. Dies führte zu einer plötzlichen und nicht vorhersehbaren Verknappung des Materials.

Produzenten von Furfurylalkohol in China sprechen von einem „nicht mehr kalkulierbaren Markt“ ihres Vorproduktes Furfural. Marktkenner geben allerdings Entwarnung hinsichtlich der Verfügbarkeit. Sie gehen davon aus, dass Furfurylalkohol weiterhin verfügbar bleiben wird, so dass die Furanharzproduktion gewährleistet ist, jedoch auf einem vielleicht auch langfristigen deutlich höheren Preisniveau.

Die betroffenen Gießereien sind auf eine kontinuierliche Belieferung mit Furanharz angewiesen und haben keine Möglichkeit durch Lieferanten- oder Materialwechsel den geforderten Preiserhöhungen ihrer Lieferanten auszuweichen.

vom: 04.09.2017

https://www.bdguss.de/presse/aktuelles/details/artikel/detail/News/bdg-marktsituation-furanharz/

https://www.mazzon.eu/de/news/furfurylalkoholpreis-in-die-hohe-geschnellt

MAZZON

HOME UNTERNEHMEN QUALITÄT, SICHERHEIT, UMWELT FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG UNSERE PRODUKTE NEWS KONTAKT

FURFURYLALKOHOL IN DIE HÖHE GESCHNELLT!

Was sind die Alternativen?

Seit einigen Monaten sehen wir eine konstante Steigerung des Preises von Furfurylalkohol, einem Molekül, das die Produktionsbasis von Furanharzen darstellt, die in Gießereiprozessen zur Anwendung kommen. Aus diesem Grund sind viele Gießereien stark beeinträchtigt, denn **der Preis der Harze ist** in relativ kurzer Zeit – in nur 12 Monaten – **um mehr als 1 €/kg gestiegen.**

Aus diesem Grund wird vermehrt versucht, minderwertige Produkte, die zwar weniger kosten, jedoch signifikant sowohl die Kinetik der Prozesse als auch die prozentuelle Verbrauchsmenge verändern, anzubieten.

Im Allgemeinen besteht das Risiko einer kompletten Verzerrung der Standards und der von einer Gießerei in ihrem eigenen Produktionsprozess erzielten Gleichgewichte.

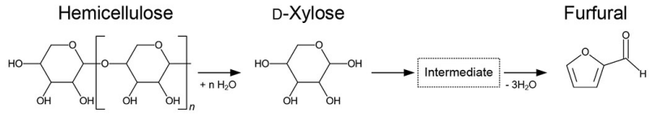
Die Gründe für die Preiserhöhung sind im Wesentlichen auf die gestiegene Nachfrage zurückzuführen. Furfurylalkohol ist, wie allgemein bekannt, kein Derivat von Erdöl, sondern hat einen pflanzlichen Ursprung und findet seine Hauptanwendung in China. In der Vergangenheit zeigte die chinesische Handelspolitik darauf ab, mittels Niedrigpreispolitik die Konkurrenten aus anderen Ländern auf der ganzen Welt aus dem Markt zu drängen und somit ein Monopol für Furfurylalkohol zu schaffen.



1 Motivation and research question
Current production situation



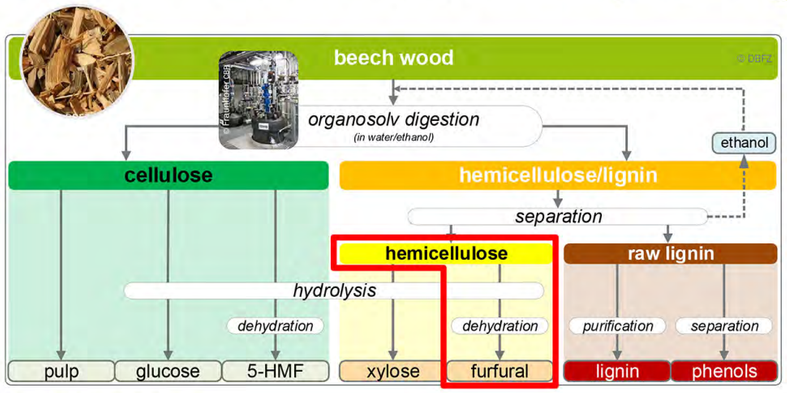
Pictures: corncobs © S.-S.Ingler/pixelio.de / oat hulls © W.R.Wagner/pixelio.de / bagasse © Swedish Exergy AB



- high energy usage: 20-30 tons of water steam per ton furfural
- low furfural yields: approx. 11% of initial biomass weight
- mineral acids (HCl or H_2SO_4) as catalysts goes lost
- huge amounts of solid waste

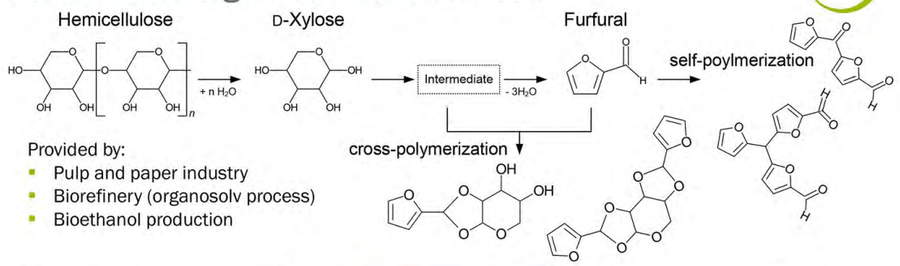
1 Motivation and research question

Approach within KomBiChem^{Pro} project



1 Motivation and research question

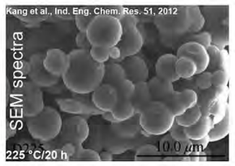
Furfural from organosolv hemicellulose



Provided by:
- Pulp and paper industry
- Biorefinery (organosolv process)
- Bioethanol production

Furfural loss leads to:
- low yield and selectivity
- reactor blockage





1 Motivation and research question

How can we suppress that side reactions?

Usage of homogeneous or heterogeneous catalysts?

→ does not solve the problem

Usage of ionic liquids or biphasic systems?

→ can suppress formation of humins but such solvents are costly

Polar solvents like alcohols?

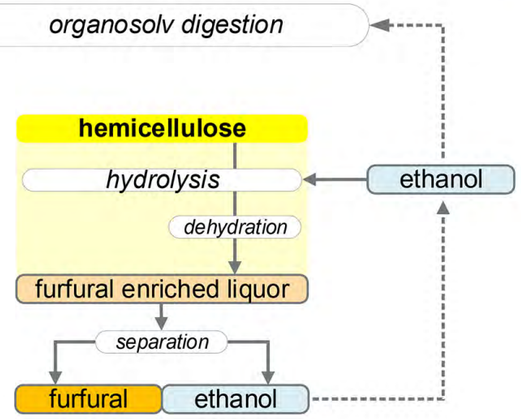
→ good miscibility with water

→ can be used for organosolv pulping processes

→ suppression of humins is possible

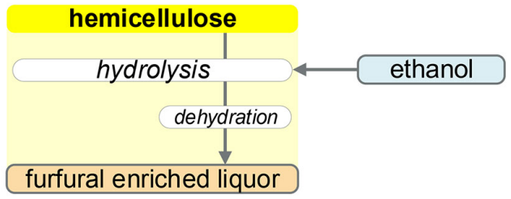
1 Motivation and research question

Aim of the study



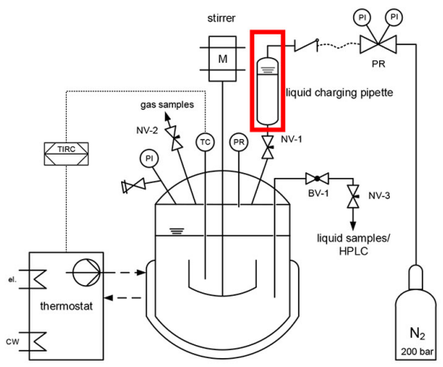
1 Motivation and research question

Aim of the study



- ethanol influence on hydrothermal furfural production
- ethanol influence on humin formation
- influence of ethanol ratio

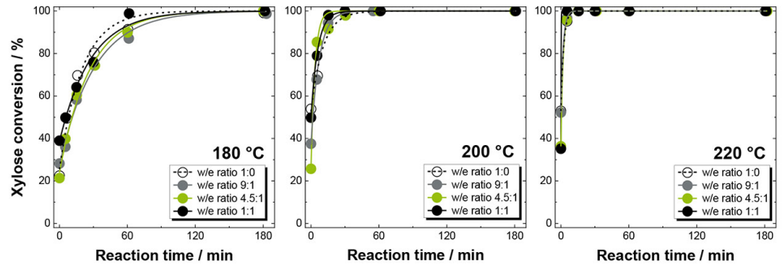
2 Methodology



Reaction conditions		
reaction volume	ml	500
reaction time	min	0 / 5 / 15 / 30 / 60 / 180
temperature	°C	180 / 200 / 220
water/ethanol ratio	wt%	1:0 / 9:1 / 4.5:1 / 1:1
catalyst		H_2SO_4
pH		1.6 (before reaction)
D-Xylose	g L^{-1}	50
Organo. Hemicell.	g L^{-1}	≈ 50 (xylose equivalent)

3 Results and discussion

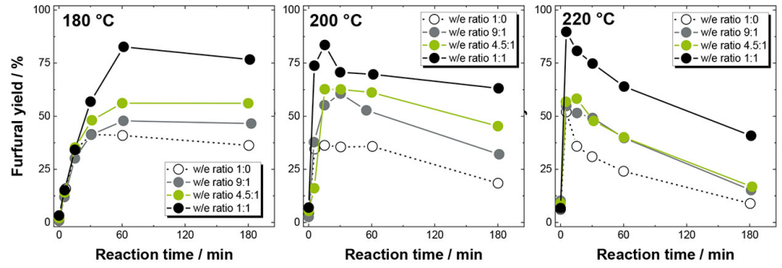
Ethanol influence on D-xylose conversion



- ethanol ratio has no significant influence on xylose conversion rate
- D-xylose conversion rate increases by rising temperatures

3 Results and discussion

Ethanol influence on furfural yield

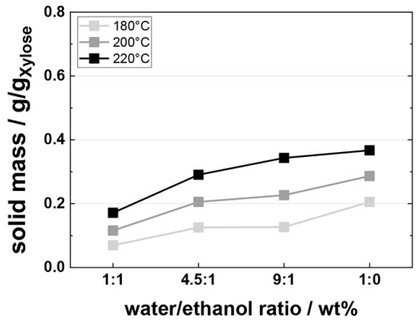


- rising ethanol ratios increase the furfural yield
- correlation between ethanol ratio and degradation rate of furfural could not be observed

3 Results and discussion

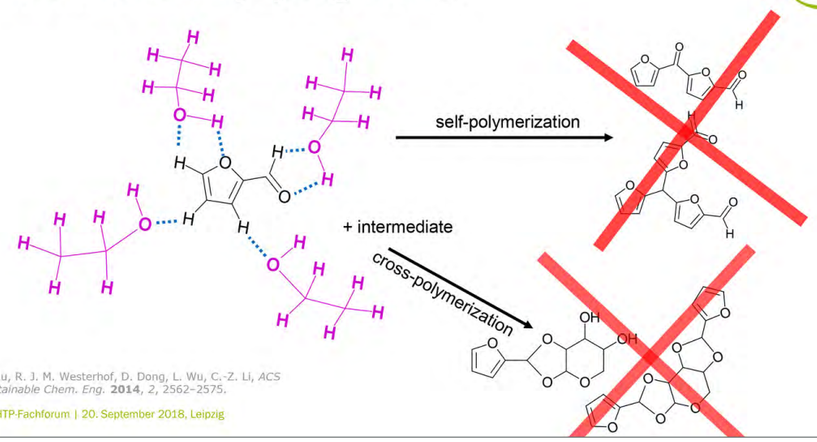
Ethanol influence on humin formation

mass of insoluble humins after 3 h of reaction time, remained in the reactor



3 Results and discussion

Steric hindrance by hydrogen-bonds



X. Hu, R. J. M. Westerhof, D. Dong, L. Wu, C.-Z. Li, *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2014**, *2*, 2562–2575.

3 Results and discussion

Organosolv hemicellulose as feedstock…



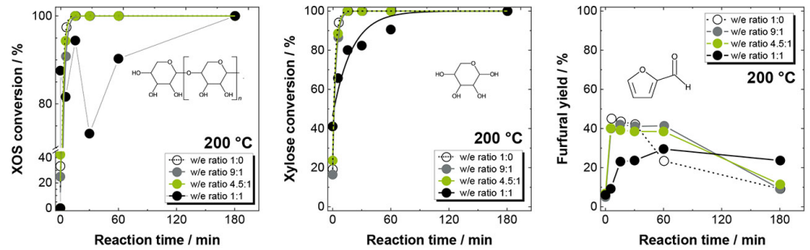
organosolv hemicellulose



furfural enriched liquor

3 Results and discussion

XOS and D-xylose conversion as well as furfural yield

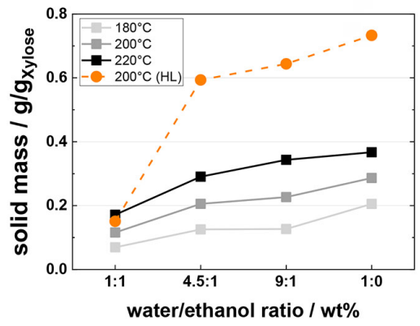


- high ethanol ratios can inhibit XOS hydrolysis to xylose monomers
- low ethanol ratio did not effect the furfural yield
- decomposition was suppressed for high ethanol ratio (1:1)

3 Results and discussion

Humin formation

mass of insoluble humins after 3 h of reaction time, remained in the reactor



3 Results and discussion

Humin formation

mass of insoluble humins after 3 h of reaction time, remained in the reactor



hydrochar produced by side reactions © DBFZ

4 Conclusion

- furfural decomposition and formation of insoluble humins are problematic in context of furfural production
- ethanol…
  - …can suppress the formation of humins
  - …increase the yield of furfural (yields over 90% could be determined)
  - …could be synergistically for ethanol based organosolv pulping process
- results of xylose conversion could not transferred to organosolv hemicellulose experiments
- high ethanol ratios can inhibit oligo-sugar (XOS) hydrolysis to xylose monomers
- further investigations are needed

Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

Thank you for your attention!

Contact
Dipl.-Ing. Jakob Köchermann
Tel. +49 (0)341 2434 – 359
E-Mail: Jakob.Koechermann@dbfz.de

Acknowledgments:
Funded by Federal Ministry of Education and Research
KomBiChem^{Pro}
Fraunhofer CBP

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
D-04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-112
E-Mail: info@dbfz.de
www.dbfz.de

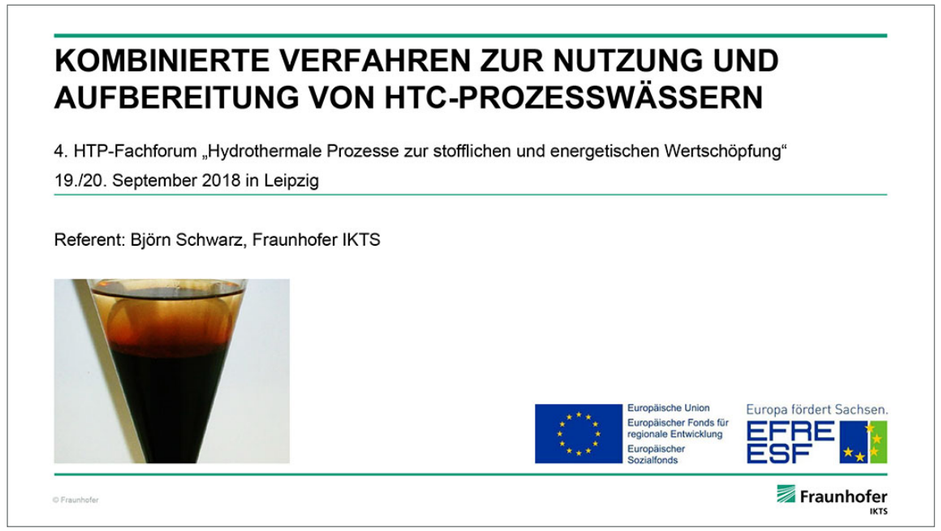
Fotos: DBFZ, Jan Gutzeit, DIEWAG/Peter Schubert (Titelfolie, rechts), Pixabay / CC0 Public Domain

Björn Schwarz, Fraunhofer IKTS

Kombinierte Verfahren zur Nutzung und Aufbereitung von HTC-Prozesswässern

Björn Schwarz
Fraunhofer IKTS
Winterbergstr. 28
01277 Dresden
Tel.: +49 (0)351 2553 7745
E-Mail: **bjoern.schwarz@ikts.fraunhofer.de**

Für die industrielle Anwendung von HTC-Prozessen stellt die Abwasserbehandlung nach wie vor eine Herausforderung dar. Neben dem Hauptprodukt, der HTC-Kohle, entstehen im Zuge der Carbonisierung größere Mengen an Prozesswasser mit verschiedenen Inhaltsstoffen. Es handelt sich hierbei sowohl um biologisch leicht abbaubare Substanzen, wie niedere Carbonsäuren, als auch um schwer abbaubare Komponenten wie Phenole und Furanderivate. Ein Teil dieser Produkte der hydrothermalen Umwandlung besitzt einen Marktwert und sollte daher im Sinne der Wirtschaftlichkeit sowie Nachhaltigkeit des Gesamtverfahrens zurückgewonnen werden. Andere Produkte besitzen ein nicht zu vernachlässigendes Energiepotenzial, welches möglichst ausgeschöpft werden sollte. Übrig bleiben Reststoffe im Prozesswasser, welche vor einer Einleitung entfernt werden müssen, wobei enthaltene Nährstoffe, wie Phosphor und Stickstoff im Sinne der Ressourcenschonung vorzugsweise zurückgewonnen werden sollten.
In einem von der Sächsischen Aufbaubank geförderten Verbundprojekt (HTC-liq) arbeiten das DBFZ und das Unternehmen LTC-Lufttechnik Crimmitschau GmbH gemeinsam mit dem Fraunhofer IKTS an der Entwicklung von Verfahren und Reaktoren zur nachhaltigen Nutzung von biogenen Reststoffen mit Hilfe hydrothermaler Carbonisierung. Aufgabe des Fraunhofer IKTS ist es, die werthaltigen und Ressourcen relevanten Prozesswasserinhaltsstoffe in einem kombinierten technischen Prozess abzutrennen, die verbliebenen organischen Bestandteile energetisch zu nutzen und das Prozesswasser dabei mindestens zu Indirekteinleiterqualität aufzubereiten.
Im geplanten Vortrag soll der aktuelle Stand der Erfahrungen und Ergebnisse im Bereich Extraktion von Carbonsäuren, Vergärung des Prozesswassers in einem EGSB-Reaktor und die Wasseraufbereitung mit Nährstoffrückgewinnung vorgestellt werden.

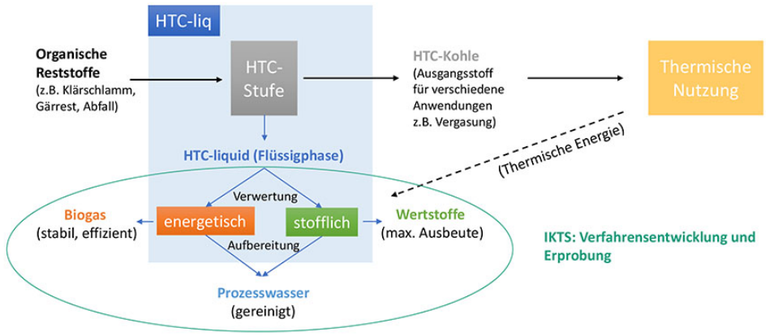




Hintergrund

In Kooperation mit: DBFZ, LTC Lufttechnik

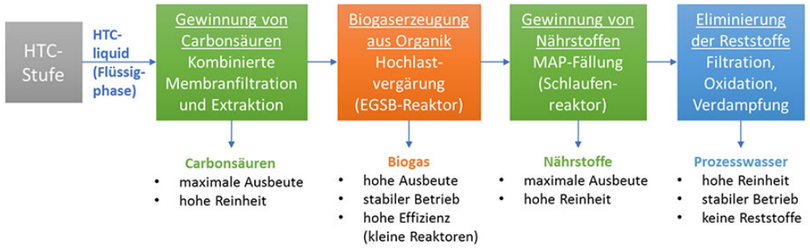
SAB-Projekt „HTC-liq - Entwicklung eines hocheffizienten Kaskadenprozesses zur Aufbereitung von Prozesswässern“



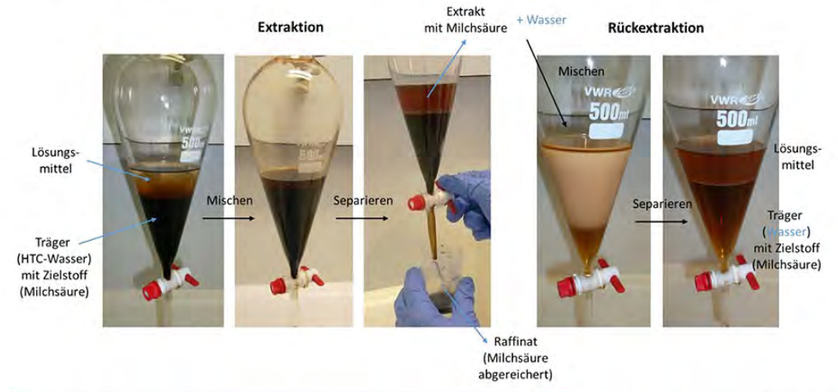
IKTS: Verfahrensentwicklung und Erprobung

Verfahrenskonzept

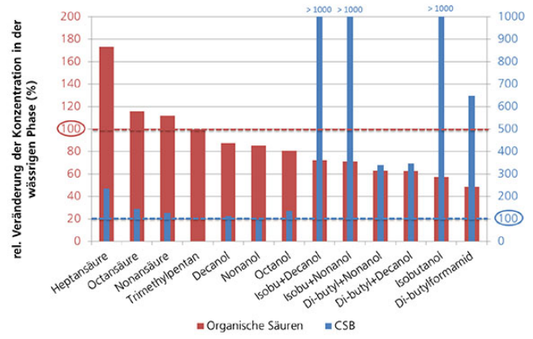
Konzipierung, Testung und Optimierung einer gestaffelten Prozesswasserbehandlung



Extraktion von Carbonsäuren



Extraktion von Carbonsäuren



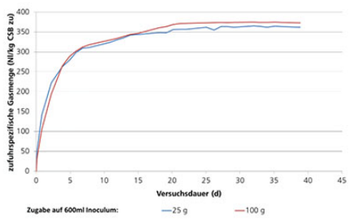
Test alternativer Extraktionsmittel mit geringer Wasserlöslichkeit und gleichzeitiger Polarität:

- Heptansäure (2,4 g/l), Octansäure (0,7 g/l), Nonansäure (0,3 g/l)
  → Erhöhung der Säurewerte
- Octanol (0,54 g/l), Nonanol (0,14 g/l), Decanol (0,04 g/l)
  → prinzipiell geeignet, aber geringe Effektivität
- Isobutanol (70 g/l), Di-butylformamid (0 g/l)
  → sehr gute Aufnahme v. Milchsäure, aber CSB-Freisetzung
- Kombinationen ohne Synergie

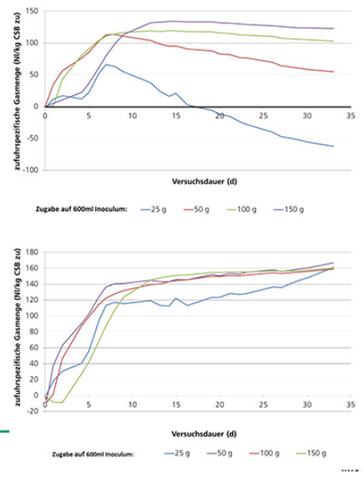
Vergärung

Batchtests – Energiepotenzial und Hemmung

HTC-Wasser ohne Hemmeffekt:



HTC-Wasser mit Hemmeffekt:



Vergärung

Batchtests – Energiepotenzial und Hemmung

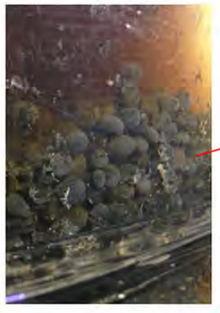
Probe	L...Labor-HTC K...Kleintech.	HTC-Temp. °C	HTC-Zeit min	Gasertrag NL/kg CSB	CH4-Gehalt %	Methanertrag NL/kg CSB	Abbaugrad %
HTK-Gärrest	L	190	120	**292**	63,0	184	**57**
HTK-Gärrest	L	220	120	**168**	63,0	106	**33**
HTK-Gärrest	L	260	120	**174**	63,0	110	**34**
HTK-Gärrest-Flüssigphase nach Zentrifuge	L	220	120	**332**	61,6	205	**64**
HTK-Gärrest-Flüssigphase nach Zentrifuge	L	260	120	**328**	62,1	204	**64**
NawaRo-Gärrest	K	190	120	**162**	69,2	112	**35**
NawaRo-Gärrest (wdh.)	K	190	120	**155**	68,7	106	**33**
Landschaftpflegematerial	K	170	60	**367**	60,1	221	**69**
NawaRo-Gärrest angesäuert	K	180	120	**102**	60,1	61	**19**
Überschussschlamm entwässert, angesäuert	K	180	30	**338**	(60)	203	**63**
Überschussschlamm entwässert, angesäuert	K	190	60	**434**	(60)	261	**81**

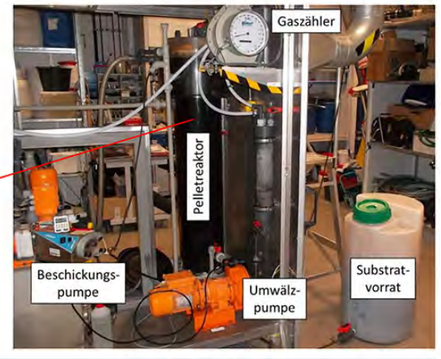
- Gärreste mit TS-Gehalt < 10% → Energiegewinnung aus HTC-Wasser: 10 bis 50 kWh_{th} / m^3
- Gärreste mit TS-Gehalt > 10% → Energiegewinnung aus HTC-Wasser: 50 bis 100 kWh_{th} / m^3
- Rohschlamm (ÜSS) entwässert (20%TS) → Energiegewinnung aus HTC-Wasser: bis 150 kWh_{th} / m^3

Vergärung

Kontinuierliche Vergärung im EGSB-Reaktor (Expanded granular sludge bed)

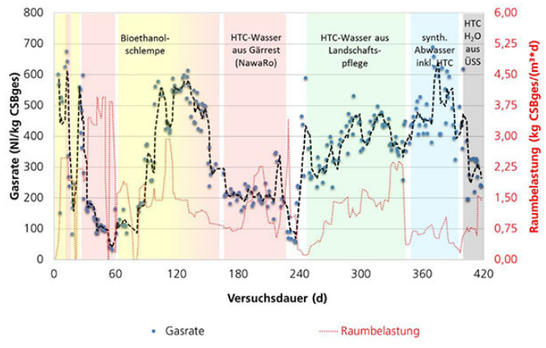
- Biozönose als 2 bis 5 mm Granulate
- Symbiotischer Schalenaufbau der einzelnen MO-Gruppen
- Robuster gegenüber Hemmstoffen und Belastungs-schwankungen





Vergärung

Kontinuierliche Vergärung im EGSB-Reaktor



Langzeitversuch mit verschiedenen HTC-Wässern:

- Seit über 1 Jahr ohne Austausch der Biozönose
- Robuster Betrieb, aber Adaption nötig
- Im Batch ermittelte Gaspotenziale werden reproduziert und i.d.R. übertroffen
- Methangehalt liegen zwischen 70 und 80%
- Aufgrund von begrenzter Substratverfügbarkeit → bisher keine Maximierung der Raumbelastung erreicht

MAP-Fällung

Ziel: praktische Ausfällung der gelösten Hauptnährstoffe zu Magnesium-Ammonium-Phosphat





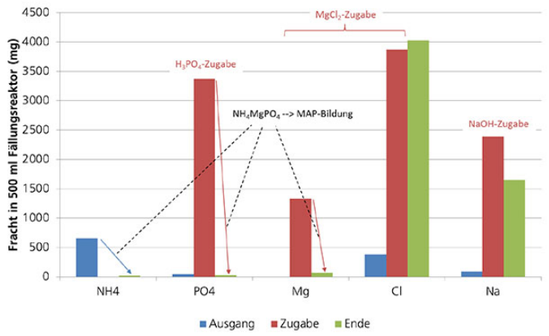
N: 1 bis 7 kg/m³
P: 0 bis 1 kg/m³ (pH-abhängig)
(K: 0,5 bis 8 kg/m³)



Prinzipieller Nachweis ist erfolgt
→ Einfache und saubere Abtrennung von MAP möglich

MAP-Fällung

Herausforderung: P-Freisetzung und Minimierung der eingesetzten Chemikalien



- Steigerung der P-Verlagerung von der Kohle in die Flüssigphase
  → Durch Ansäuern (vorzugsweise mit H_3PO_4)
  → Nutzung von P-reichen Reststoffen (z.B. Knochenmehl)
- Einsatz von MgO statt $MgCl_2$
  → geringere Aufsalzung (Cl^-)
  → Minimierung NaOH-Einsatz
- Alternative: NH_3-Strippung

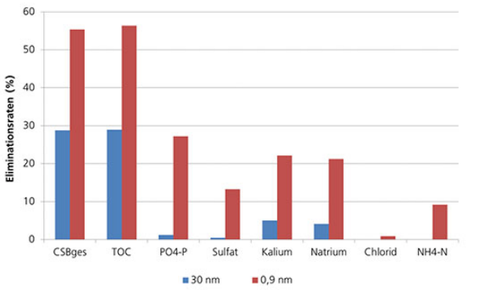
Wasserreinigung

Filtration +
Totaloxidation





- Gute Filtrierbarkeit hinsichtlich Durchsatz und Deckschichten
- Zu geringer Reinigungseffekt
- → dadurch auch Totaloxidation nicht einsetzbar



→ Erreichte Endkonzentrationen nach 0,9 nm (aus HTC-Wasser)

CSB (g/l)	TOC (g/l)	PO4-P (mg/l)	Sulfat (mg/l)	Kalium (mg/l)	Natrium (mg/l)	Cl- (mg/l)	NH4-N (mg/l)	LF (mS/cm)
8,8	3,3	20,1	52,9	2808,2	135,5	792,4	919,7	11,3

Wasserreinigung

Option Verdampfung





Gärrest
100 t
9,6 % TR
→ Separation
→ Dickstoff
11,4 t
30 % TR
stoffliche Nutzung
(C-Kreislauf, Fasern,...)

→ Dünnphase
88,6 t
7 % TR
→ Verdampfung
→ Kondensat (1)
57,6 t
→ Kondensat (2)
19,6 t

→ Konzentrat
31,0 t
20 % TR
→ HTC
→ HTC-Wasser
19,6 t



→ Kohle
13,8 t
45 % TR
→ Trocknung
→ Kohle
6,2 t
100 % TR
→ Thermische Verwertung



Wasserreinigung

Option Verdampfung



- Energetische Betrachtung:
  - Verdampfungsenergie für Wasser: 0,63 kWh_{th}/l
  - Trockneranlagen für Gärreste: ca. 1,2 kWh_{th}/l und 0,04 kWh_{el}/l Wasserverdampfung
  - Mehrstufige Verdampfung (z.B. Fa. Arnold): 0,27 kWh_{th}/l und 0,03 kWh_{el}/l Wasserverdampfung (→ Stand der Technik)
- Vorteile und Möglichkeiten:
  - Hohe Energieeffizienz bei intelligenter Integration in Wärmemanagement des Gesamtverfahrens (Mehrfachnutzung von Wärme)
  - Vergleichsweise einfache und robuste Technologie ohne Chemikalien
    - Für partikelfreie Wässer: Sprüh- oder Rieselverdampfer
  - Kondensat kann sofort als Prozesswasser eingesetzt oder indirekt eingeleitet werden
  - Möglichkeit der Nährstoffabtrennung (insbesondere NH_3)
  - Möglichkeit der Konzentration von Carbonsäuren

Zusammenfassung/Ausblick

- Prozesswasser aus der hydrothermalen Carbonisierung von Gärresten oder Klärschlamm zeichnet sich aus:
  - Durch einen Anteil an verschiedenen Carbonsäuren → Gezielte Gewinnung nicht lukrativ, da Konzentration zu gering
  - Durch einen hohen Gehalt an biologisch abbaubaren C-Verbindungen → Energetische Nutzung sinnvoll
  - Durch einen z.T. hohen Gehalt an Pflanzennährstoffen → Rückgewinnung sinnvoll
  - Durch einen schwer abbaubaren und abtrennbaren Gehalt an gelösten Verbindungen
- Nach aktuellem Stand der Untersuchungen sollten folgende Aufbereitungsschritte weiter verfolgt werden:
  - Vergärung in Festbettreaktoren (insb. EGSB)
    - → hohe Stabilität und Abbaurate
    - → weitere Adaption an höhere Belastungen, Anpassung der HTC-Bedingungen
  - Nährstoffrückgewinnung durch Fällung, wenn ausreichend PO_4 vorhanden oder durch NH_3-Strippung
  - Nutzung einer effektiven Verdampferstufe für die Wasserreinigung + Nährstoffausschleusung (NH_3) + Aufkonzentrierung von anderen Nährstoffen (K) oder Carbonsäuren (mgl. Vorstufe für weitere Abtrennung)

Ulrike Junghans, Fraunhofer CBP

Oxidative Depolymerisation von Kraftlignin im wässrigen alkalischen Medium zur Gewinnung hochwertiger oligomerer funktioneller Bausteine

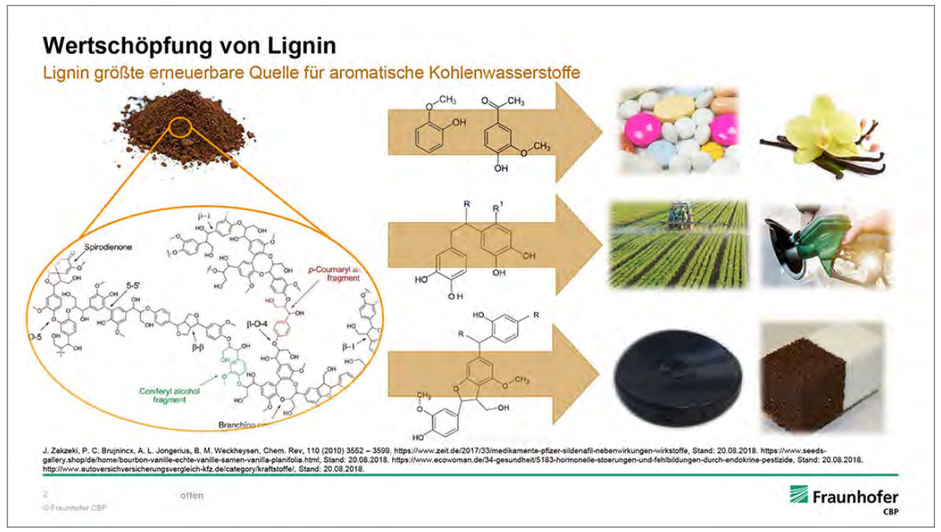
Ulrike Junghans, Dominik Triebert, Maximilian Koch, J. Bernhardt, Kerstin Thiele,
Dr. Daniela Pufky-Heinrich
Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP
Am Haupttor Bau 1251
06237 Leuna
Tel.: +49 (0)3461 439128
E-Mail: **ulrike.junghans@igb.fraunhofer.de**

Bei der Herstellung von Zellstoff nach dem Kraftprozess in Zellstoffwerken, fällt Schwarzlauge an, welche mit einem Anteil von 98% thermisch verwertet und dabei zur Energieerzeugung in den Zellstoffwerken genutzt wird. Ohne die Energieautarkie der Zellstoffwerke zu gefährden, könnte ein Teil des in der Schwarzlauge enthaltenen Lignins nach erfolgreicher Depolymerisation zu Oligomeren mit geringerer molarer Masse und anschließender chemischer Funktionalisierung als Polymerbaustein z.B. in Polyurethanschäumen oder Klebstoffen Anwendung finden. Die Lignindepolymerisation kann mit einer Vielzahl chemischer Verfahren erreicht werden, z.B. hydrothermal mittels Nassoxidation (100 °C – 320 °C, 0,5 MPa – 20 MPa, z.B. unter Einsatz von Edelmetallkatalysatoren) oder der basenkatalysierten Depolymerisation (250 – 350 °C, 15 – 25 MPa). Auch die Oxidation mit Sauerstoff im wässrigen alkalischen Medium (bis zu 150 °C, bis zu 10 bar, z.B. Kupfer(II)salze als Katalysator) wurde bereits vielfach untersucht. Einen Ansatz unter milderen Reaktionsbedingungen stellt jedoch die oxidative Depolymerisation von Lignin im wässrigen alkalischen Medium unterhalb von 100 °C unter Einsatz von H_2O_2 als Oxidationsmittel nach dem Vorbild der Zellstoffbleichung dar.

In Anlehnung an diesen Prozess wurde in der vorliegenden Arbeit die Oxidation von Kraftlignin mit H_2O_2 in wässriger NaOH-Lösung unter Atmosphärendruck in einem Batchreaktor untersucht. Nach 1 h Reaktionsdauer wurden die oligomeren Spaltprodukte mit Hilfe einer 25 %igen H_2SO_4-Lösung ausgefällt, während die monomeren Spaltprodukte mit Methylisobutylketon aus der wässrigen Phase extrahiert wurden. Die Analyse der Spaltprodukte erfolgte mittels GPC, GC-MS, IR und potentiometrischer Titration.

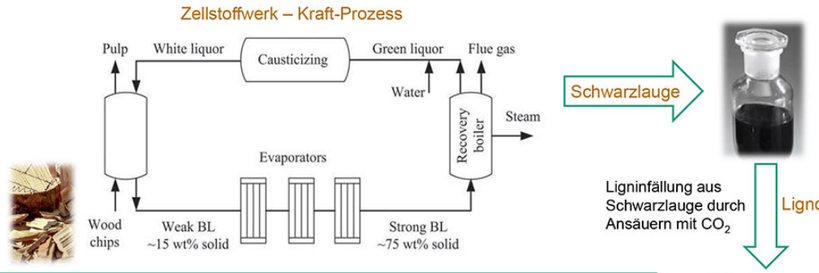
Die Depolymerisation von Lignin mit H_2O_2 erfolgt unter Bildung von Caboxyl (COOH)- oder phenolischen Hydroxyl (OH)-gruppen. Durch Variation der Reaktionsparameter (Ligninkonzentration, H_2O_2-Konzentration, NaOH-Konzentration, Temperatur und Reaktionszeit) konnte in der vorliegenden Arbeit eine Zunahme des COOH-Gehaltes von 1,2 mmol/g auf bis zu 2,1 mmol/g im Spaltprodukt erreicht werden, was auf eine erfolgreiche Oxidation des Lignins hinweist. Der Anstieg des COOH-Gehaltes wurde dabei besonders deutlich bei der Variation der Reaktionszeit, der Temperatur sowie der H_2O_2-Konzentration beobachtet. Insgesamt konnten Depolymerisationsgrade von bis zu 32% erreicht werden. Die Molmassenverteilung in der Oligomerfraktion konnte im Vergleich zum Ausgangslignin mit Mw = 7271 g/mol und Mn = 1243 g/mol auf ein Mw = 4924 – 6708 g/mol (Mn = 1322 – 1776 g/mol) und in der Ölfraktion auf ein Mn 307 – 469 g/mol und ein Mw = 587 – 809 g/mol gesenkt werden. Mit Hilfe anschließender Lösungsmittelfraktionierung (in Wasser/Aceton bzw. Wasser/Ethanol) wurden die oligomeren Spaltprodukte zusätzlich fraktioniert, wodurch die molaren Massen (Mn = 645 g/mol, Mw = 1241 g/mol) weiter verringert werden konnten.





Kraftlignin als Nebenprodukt im Zellstoffwerk

Zellstoffwerk – Kraft-Prozess



Schwarzlauge

Ligninfällung aus Schwarzlauge durch Ansäuern mit CO_2

LignoBoost



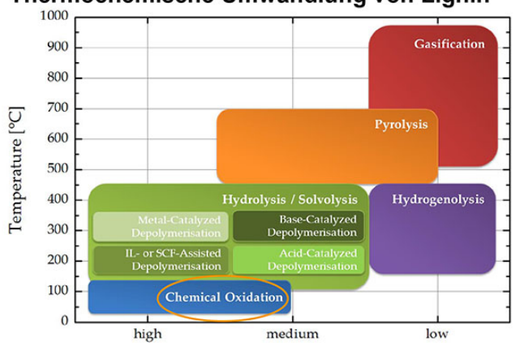
Kraftlignin

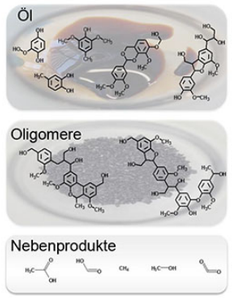
- Jährlich etwa 50 Mio. Tonnen Lignin produziert (weltweit)
- 98 % des Lignins thermisch verwertet zur Energieerzeugung
- Bis zu 20 % des Lignins aus Nebenstrom entfernbar ohne Energieautarkie zu gefährden

P. Azadi, O. R. Inderwildi, R. Farnood Und D. A. King, Renewable And Sustainable Energy Reviews, 21 (2013) 506 – 523.
F.S. Chakar, A. J. Ragauskas, Industrial Crops and Products, 20 (2004) 131 – 141.

© Fraunhofer CBP
Fraunhofer CBP

Thermochemische Umwandlung von Lignin





Niedrig molekulare phenolische Verbindungen

oligomere phenolische Verbindungen

Organische Säuren, Alkohole, Gase

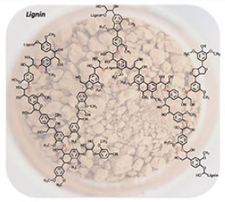
Zusammenfassung thermochemischer Ligninumwandlungsprozesse für verschiedene Prozesstemperaturen als Funktion des Funktionalisierungsgrades.

B. Rößiger, G. Unkelbach, D. Pufky-Heinrich; Base-Catalyzed Depolymerization of Lignin: History, Challenges and Perspectives; Lignin - Trends and Applications, (2018), CH. 4, p. 99-120 ISBN 978-953-51-5674-1,

© Fraunhofer CBP
Fraunhofer CBP

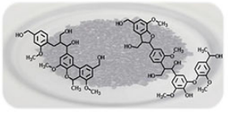
Lignin Oxidation mit Wasserstoffperoxid im alkalischen Medium

- **Zielsetzung**: Gewinnung oligomerer funktioneller Bausteine
- Aufgrund milder Reaktionsbedingungen Gewinnung dieser Bausteine mittels Oxidation möglich
- Nach dem Vorbild der Zellstoffbleichung
- Vorteile:
  - Reaktion im basischen Milieu → direkter Einsatz der Schwarzlauge als Eduktstrom
  - Aromatizität sowie sauerstoffhaltige Funktionalität der erhaltenen Polymerbausteine bleiben erhalten



H_2O_2; ΔT

Alkalisches Medium



© Fraunhofer CBP
Fraunhofer CBP

Reaktionsansatz und Aufarbeitung

Reaktionsansatz:

- c_{Lignin} = 40 g L^{-1}
- $c_{H2O2(30\ \%ige)}$ = 80 g L^{-1}
- V_{NaOH} = 150 mL
- t = 1 h
- T = 45 °C
- v = 500 rpm

Adaptiert von:
F. Napoly, N. Kardos, L. Jean-Gerard, C. Goux-Henry, B. Andrioletti, M. Draye, Ind. Eng. Chem. Res. 54 (2015) 6046-6051.

Aufarbeitung entsprechend: B. Rößiger, Masterarbeit, Hochschule Merseburg, 2015.



Ansäuern



Zentrifugation



Extraktion



Destillation



Bildung oligomerer (Feststoff) und niedrig molekularer (Öl) funktioneller Spaltprodukte

© Fraunhofer CBP
Fraunhofer CBP

Reaktionsansatz und Aufarbeitung

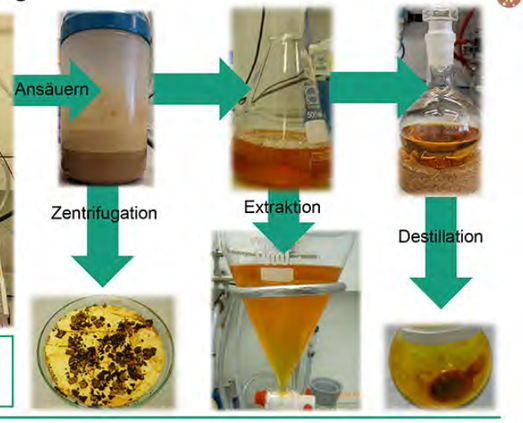
Reaktionsansatz:

- c_{Lignin} = 40 g L^{-1}
- $c_{H2O2(30\ \%ige)}$ = 80 g L^{-1}
- V_{NaOH} = 150 mL
- t = 1 h
- T = 45 °C
- v = 500 rpm

Adaptiert von:
F. Napoly, N. Kardos, L. Jean-Gerard, C. Goux-Henry, B. Andrioletti, M. Draye, Ind. Eng. Chem. Res. 54 (2015) 6046-6051.

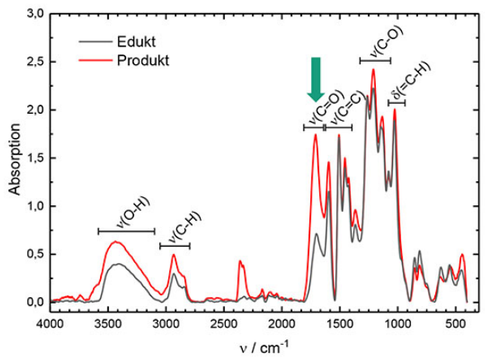
Aufarbeitung entsprechend: B. Rößiger, Masterarbeit, Hochschule Merseburg, 2015.



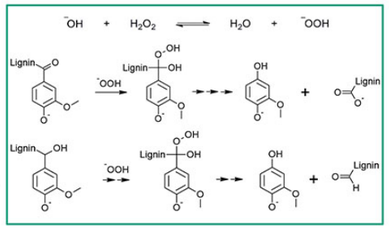


Bildung oligomerer (Feststoff) und niedrig molekularer (Öl) funktioneller Spaltprodukte

Infrarotspektroskopie an den oligomeren Spaltprodukten

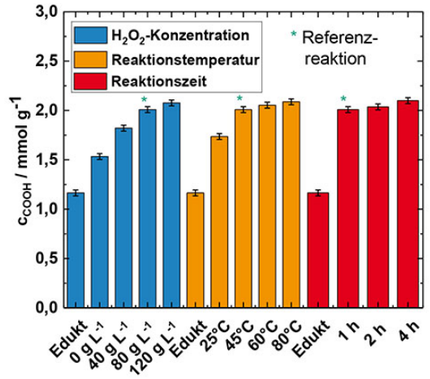


- Oxidation findet statt
- Intensitätszunahme der C=O-Valenzschwingung
- Bildung von Aldehyd- oder Säuregruppen

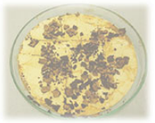


IR-Spektren von Kraftlignin und festem Spaltprodukt nach der Oxidation des Lignins mit Wasserstoffperoxid

Säuregruppenkonzentration in den oligomeren Spaltprodukten

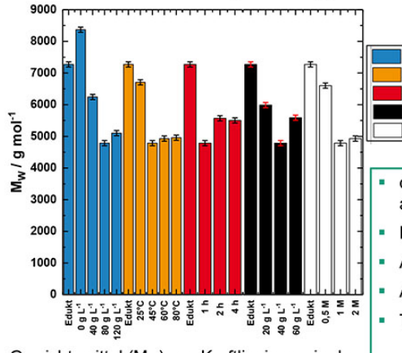


Konzentration der Säuregruppen des Kraftlignins (*Edukt*) sowie der oligomeren Spaltprodukte in Abhängigkeit der Reaktionsbedingungen.



- Bestimmung mittels potentiometrischer Titration
- Zunahme der Säurefunktionalität von 1,2 mmol g^{-1} auf 2,1 mmol g^{-1}

Molmassenverteilung der oligomeren Spaltprodukte



	M_n / g mol^{-1}	M_W / g mol^{-1}	PDI
Kraft-lignin	1243	7271	5,85
Fest-stoff	1322 – 1776	4924 - 6708	3,4 – 4,1
Öl	307 - 469	587 - 809	1,7 – 2,0

Gewichtsmittel (M_W) von Kraftlignin sowie der oligomeren Spaltprodukte in Abhängigkeit der Reaktionsbedingungen.

- oligomeren Spaltprodukte weißen geringere molare Masse auf als eingesetzte Kraftlignin
- Depolymerisationsgrade von 32 % erzielt
- Ausbeute Feststoff bis zu 72 %
- Ausbeute Öl bis zu 12 %
- Trotz Oxidation liegt ein breiter Molmassenbereich vor
  - Gewinnung einzelner Polymerfraktionen mit engem Molmassenbereich durch Lösungsmittel-fraktionierung

LÖSUNGSMITTELFRAKTIONIERUNG



Bild: Valerij Teltevskij

WEITERVERARBEITUNG DER SPALTPRODUKTE





Lösungsmittelfraktionierung der oligomeren Spaltprodukte

Fraktionierungsansatz:

- c_{Lignin} = 20 g L^{-1}
- m_{Lignin} = 2 g
- v = 500 rpm
- T = 25 °C
- t = 18 h
- Aceton/Wasser = 10:90 (v/v), 30:70 (v/v), 50:50 (v/v), 70:30 (v/v)





Adaptiert von: Boeriu, C. G.; Fitigau, F. I.; Gosselink, R. J. A.; Frissen, A. E.; Stoutjesdijk, J.; Peter, F.; Industrial Crops and Products 62 (2014) 481 – 490.

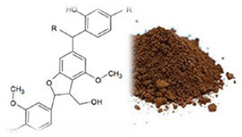
Zusätzliche Verringerung der molaren Masse durch Lösungsmittelfraktionierung

	10:90 (gelöste Fraktion)
M_N / g mol^{-1}	645
M_W / g mol^{-1}	1241
PDI	1,9

Synthese eines Epoxidharzes aus oligomerem Spaltprodukt



Epoxidiertes Leinöl



Lignin Spaltprodukt

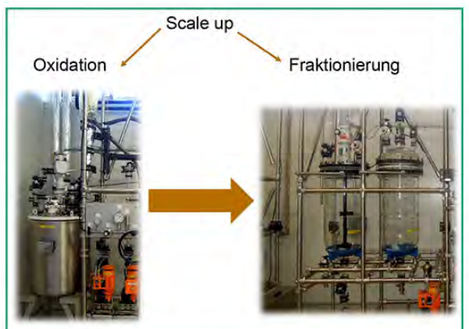
- Verhältnis: 1 : 1
- Lösungsmittel: THF
- Temperaturrampe: 60°C – 130°C



- 95 Shore A bestimmt
- Zum Vergleich:
  - Gabelstaplerreifen 95 Shore A
  - Gummischuhsohle 80 Shore A

https://theepoxyexperts.com/shore-hardness/, Stand: 12.09.2018.

Ausblick



Weitereführende Untersuchungen zur Epoxidharzsynthese aus oligomeren Spaltprodukten



Danksagung

- **Projektpartner in LignOx (Ligninoxidation zur Gewinnung hochwertiger oligomerer funtioneller Bausteine):**
  - Dr. Detlef Schmiedl, Sebastian Reinhardt, Fraunhofer ICT, Pfinztal
  - Sabine Teucke, Zellstoff Stendal
  - Dr. Stefan Horner, Zellstoff Rosenthal
- **Projektteam:**

  Dominik Triebert, Maximilian Koch, Valerij Teltevskij, Ronja Wollnik, Anett Schlichter, Kerstin Gessner, Florian Dargies, Kerstin Thiele, Justin Bernhardt, Björn Rößiger
- **Förderung:**

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

FNR

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Ulrike Junghans; Daniela Pufky-Heinrich
Fraunhofer Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP
Am Haupttor (Bau 1251), 06237 Leuna
Telefon +49 3461 43 9128
ulrike.junghans@igb.fraunhofer.de; daniela.pufky-heinrich@igb.fraunhofer.de



Dr. Arne Roth, Bauhaus Luftfahrt e.V.

HTL-based liquid fuel production: First results from the European collaborative project HyFlexFuel

Dr. Arne Roth[1], Konstantinos Anastasakis[2], Patrick Biller[2], Ib Johannsen[2], Daniele Castello[3], Lasse Rosendahl[3], Filip Velghe[4]
[1] Bauhaus Luftfahrt e.V.
Willy Messerschmitt-Str. 1
82024 Taufkirchen
Tel.: +49 (0)89 307 4849-46
E-Mail: arne.roth@bauhaus-luftfahrt.net
[2] Aarhus University
[3] Aalborg University
[4] Organic Waste Systems

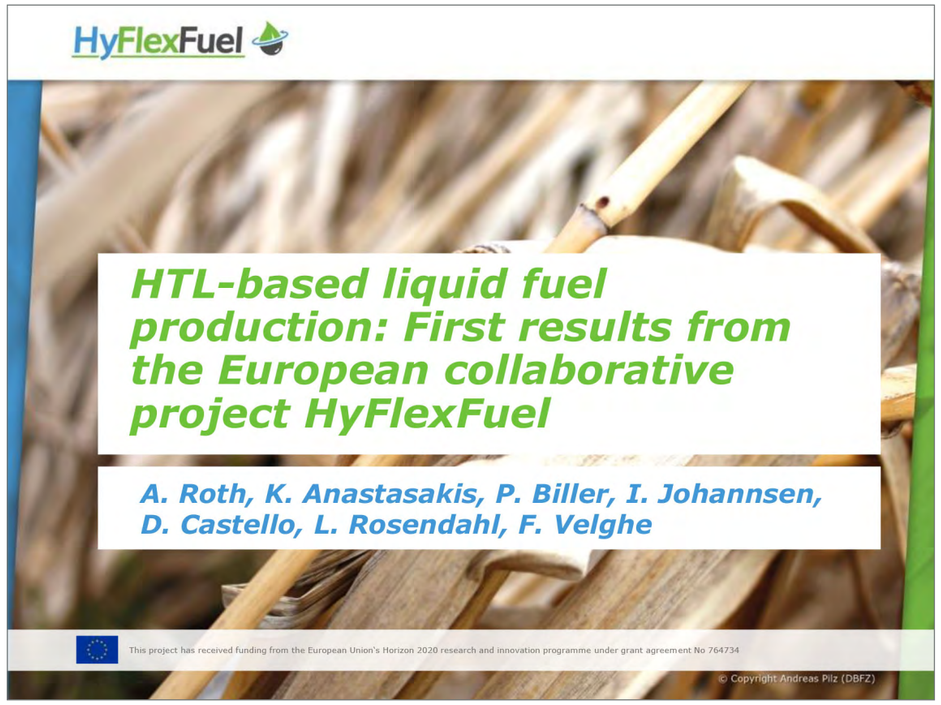
Renewable liquid fuels are needed for a successful energy transition and the “decarbonization” of the transport sector. This is particularly true for transport modes such as aviation and heavy-duty road transport, where electrification poses major challenges. Hydrothermal liquefaction (HTL) has recently received increasing attention as technology option to convert essentially any type of biomass feedstock into liquid fuels without the requirement of prior energy-intensive drying.

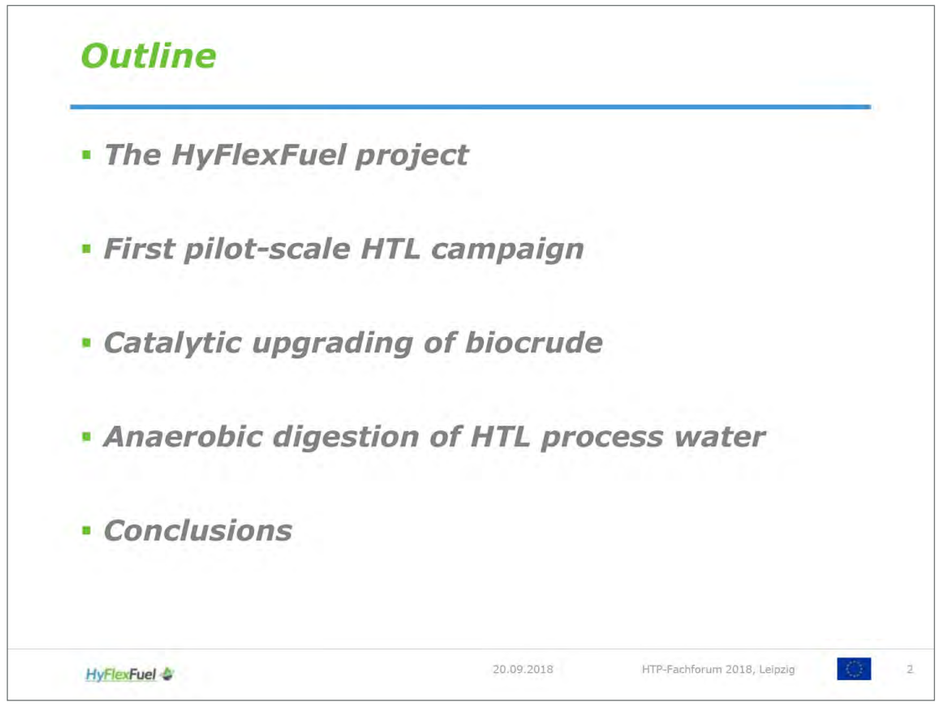
Here, we introduce the EU-funded collaborative research project HyFlexFuel that is dedicated to the advancement of the technical maturity of the HTL technology to provide truly sustainable fuels that are compatible with existing infrastructure (drop-in capable) and that can be produced at competitive costs. Importantly, the projects aims at developing all individual process steps of HTL-based fuel production and at demonstrating their viability under relevant operational conditions. The scope of the work in HyFlexFuel goes beyond the liquefaction step and also includes the catalytic upgrading of biocrude to fuel products and the treatment of the aqueous phase through catalytic hydrothermal gasification, anaerobic digestion and nutrient recovery. Moreover, supply and utilization of a broad range of feedstock is studied in detail.

In this contribution, we present first results achieved in HyFlexFuel. Specifically, we report on the first HTL campaign in a pilot-scale continuous HTL plant, including a description of the HTL reactor system and the pre-treatment methods for preparing the biomass slurries as well as preliminary results on the reactor performance. Miscanthus, microalgae (Spirulina) and sewage sludge were used as feedstock in this HTL campaign.

Furthermore, we present preliminary results from catalytic upgrading tests on biocrude yielded from Spirulina. Hydrotreating was performed in microbatch reactors with a commercial catalyst under various pressures, temperatures and residence times. The relatively high nitrogen content of about 8% of the tested biocrude sample proved challenging. Removal of oxygen was found to be very effective under the tested conditions, while removal of nitrogen was not yet sufficient.

Initial small-scale experiments on anaerobic digestion of HTL process water are promising and show the generation of biomethane. Potential challenges could arise from the presence of toxic compounds, such as ammonia and phenolic species. This remains to be examined in the further course of the project.





Outline

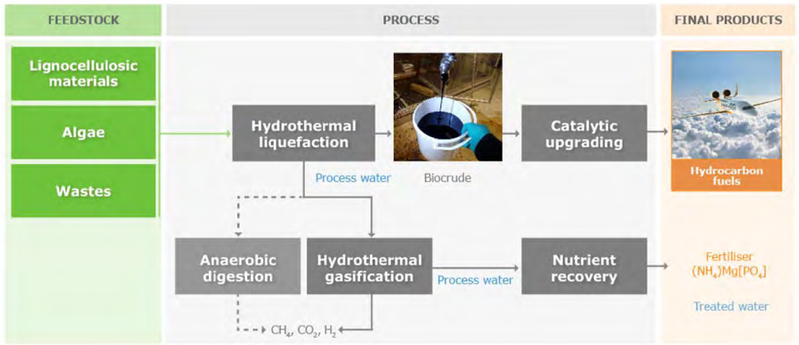
- *The HyFlexFuel project*
- *First pilot-scale HTL campaign*
- *Catalytic upgrading of biocrude*
- *Anaerobic digestion of HTL process water*
- *Conclusions*

HyFlexFuel: Objectives

Development of a process chain to produce sustainable liquid fuels based on hydrothermal liquefaction of various biomass feedstocks

- *Specific objectives*
  - **Demonstrate compatibility with diverse biomass feedstock portfolio (incl. algae and waste streams, such as sewage sludge)**
  - **Increase energy and carbon efficiency through improved heat integration and product recovery**
  - **Valorise organic and inorganic components in residual process streams**
  - **Upgrade biocrude by catalytic hydrotreatment into fuel products and demonstrate their drop-in capability**
  - **Assess technical, socio-economic and environmental performance potentials**

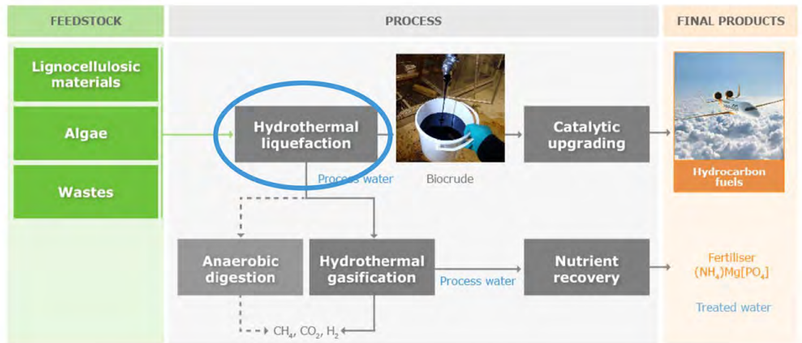
The HyFlexFuel process



Outline

- *The HyFlexFuel project*
- *First pilot-scale HTL campaign*
- *Catalytic upgrading of biocrude*
- *Anaerobic digestion of HTL process water*
- *Conclusions*

The HyFlexFuel process



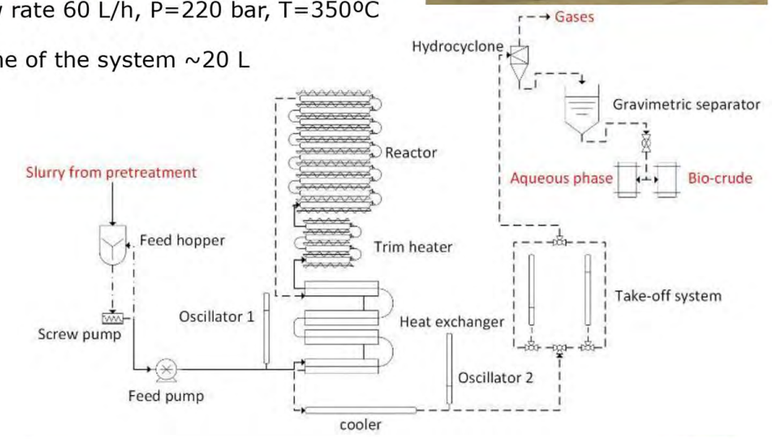
Pilot-scale HTL



AARHUS UNIVERSITY

Typical flow rate 60 L/h, P=220 bar, T=350ºC

Total Volume of the system ~20 L



First HTL campaign

- *Three „model feedstocks"*







- *Input*
  - **Slurry: 250 kg (Miscanthus, Spirulina), 500 kg (sewage sludge)**

First HTL campaign

- *Three „model feedstocks"*



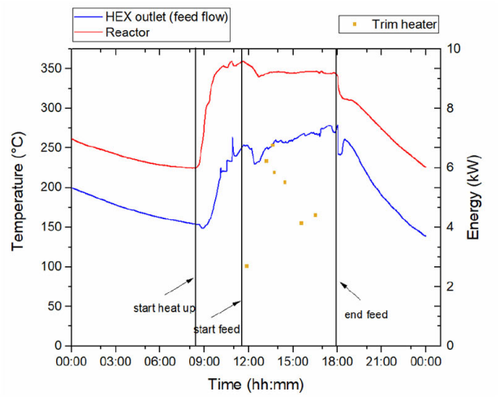




- *Output*
  - **>10 kg biocrude and >200 L aqueous phase per feedstock**



Heat recovery in heat exchanger



Time	HR (%)
12:00-13:00	69.1
13:00-14:00	73.3
14:00-15:00	74.8
15:00-16:00	76.7
16:00-17:00	77.6
17:00-18:00	79.9
Average	75.2

- Heat recovery increases over duration of experiments
- Longer run times should further enhance heat recovery (> 80%)

Anastasakis et al., Assessing Hydrothermal Liquefaction of Lignocellulosic Biomass, Microalgae and Sewage Sludge at Pilot Scale, 26th European Biomass Conference & Exhibition, Copenhagen, 2018.

Process performance

Anastasakis et al., Assessing Hydrothermal Liquefaction of Lignocellulosic Biomass, Microalgae and Sewage Sludge at Pilot Scale, 26th European Biomass Conference & Exhibition, Copenhagen, 2018.

	Miscanthus	Spirulina	Sewage sludge
Flow rate (L/h)	60	60	60
DM content (%)	0.15	0.16	0.04
Time (h)	1	1	1
Feedstock consumed (kg, dry)	9	9.8	2.4
Energy in feedstock (kW, dry)	42.7 (HHV=17.1MJ/kg)	63.1 (HHV=23.1MJ/kg)	13.2 (HHV=19.8MJ/kg)
Bio-crude yield (wt.%)	**26.2**	**32.9**	**24.5**
Energy in bio-crude (kW, dry)	19.9 (HHV=30.6 MJ/kg)	32 (HHV=35.6 MJ/kg)	4.4 (HHV=26.8 MJ/kg)
η_{th} (%)	46.5	50.7	33.2
Trim heater energy req. (kW)	4.4	5.5	5.4
Reactor energy req. (kW)	2	2.8	2.5
Main pump energy req. (kW)	0.7	0.7	0.7
η_{tot} (%)	39.9	44.4	20.1

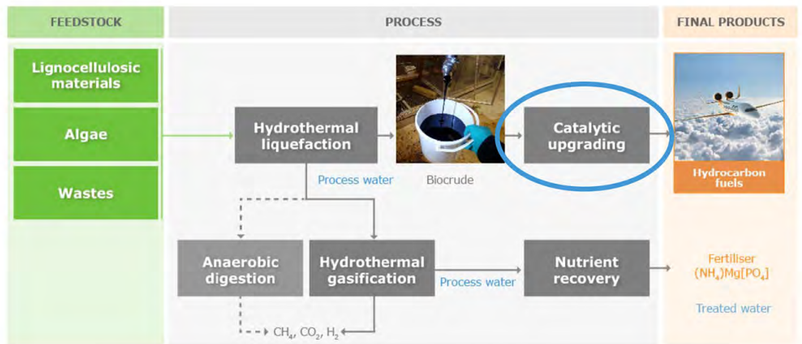
HTL campaign: Summary & outlook

- *Successful liquefaction of three different feedstocks*
  - Samples (biocrude, aq. phase, solids) could be supplied to partners
  - Heat recovery of up to 80%
  - Average biocrude yields 26.2% (Miscanthus), 32.9% (Spirulina) and 24.5% (sewage sludge)
- *Further work will focus on improvement of process conditions (e.g. heat recovery, in-line filtration) and other feedstocks*

Outline

- The HyFlexFuel project
- First pilot-scale HTL campaign
- **Catalytic upgrading of biocrude**
- Anaerobic digestion of HTL process water
- Conclusions

The HyFlexFuel process



First catalytic upgrading experiments

- *Catalytic hydrotreatment of biocrudes from first HTL campaign*
  - **Spirulina**, sewage sludge, miscanthus
  - Batch mode
  - Screening of reaction conditions and pre-treatment procedures

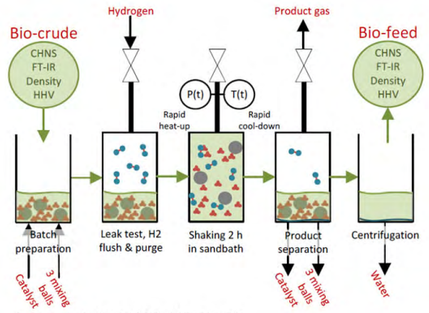


Spirulina biocrude

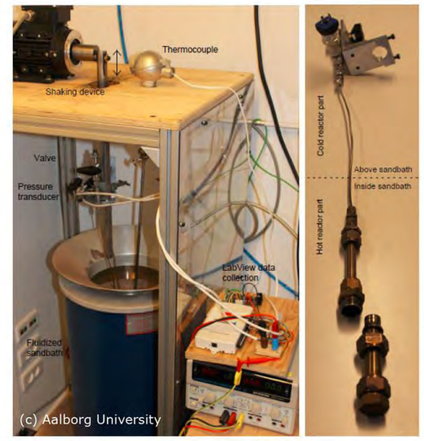
- *Objectives*
  - To identify sample-specific challenges
  - To find suitable reaction conditions for upgrading campaigns in **continuous mode**
  - To collect data enabling specific catalyst design

First catalytic upgrading experiments

- *Experimental setup*

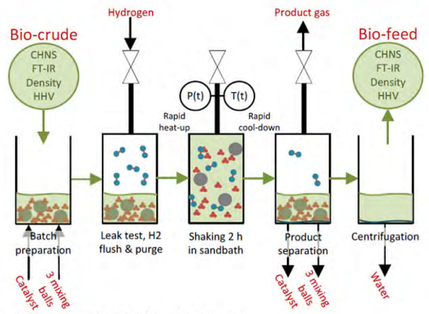


Jensen et al., Fuel **2016**, *165*, 536-543.



First catalytic upgrading experiments

- *Experimental setup*



Jensen et al., Fuel **2016**, *165*, 536-543.

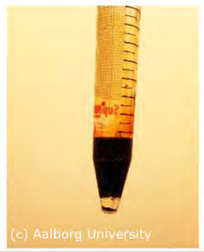
Reaction condition	T (°C)	P_0 (bar)	t (h)
Mild	250	40	2
Medium	300	60	3
Severe	300	80	4

- Biocrude 4 g, Catalyst 2 g
- Commercial $NiMo/Al_2O_3$ catalyst
- Pre-sulfided



Catalytic upgrading of Spirulina biocrude

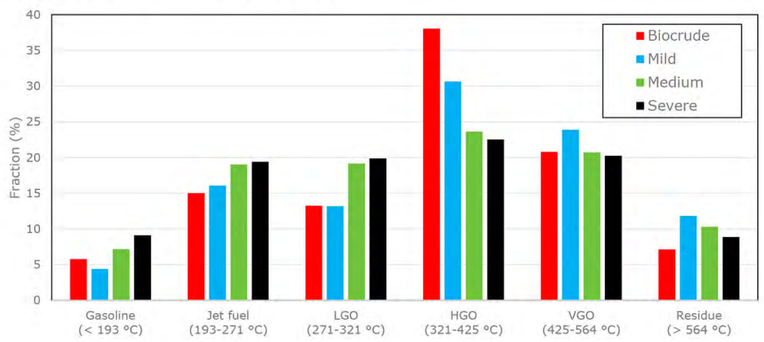
	Dry ash free *(wt. %)*				H/C *(-)*	de-O *(wt. %)*	de-N *(wt. %)*
	C	H	N	O			
Spirulina	53.5	7.2	12.6	26.6	1.62	-	-
Biocrude	78.1	10.4	8.0	3.5	1.60	86.8	36.7
Mild	79.2	10.8	7.4	2.6	1.63	90.2	41.2
Medium	79.7	11.7	6.3	2.3	1.76	91.4	50.1
Severe	81.0	12.1	6.0	1.0	1.79	96.4	52.7



- More severe conditions result in more effective removal of heteroatoms
- Increasing H/C ratio
- Relatively high deoxygenation
- Denitrogenation is around or below 50%

Catalytic upgrading of Spirulina biocrude

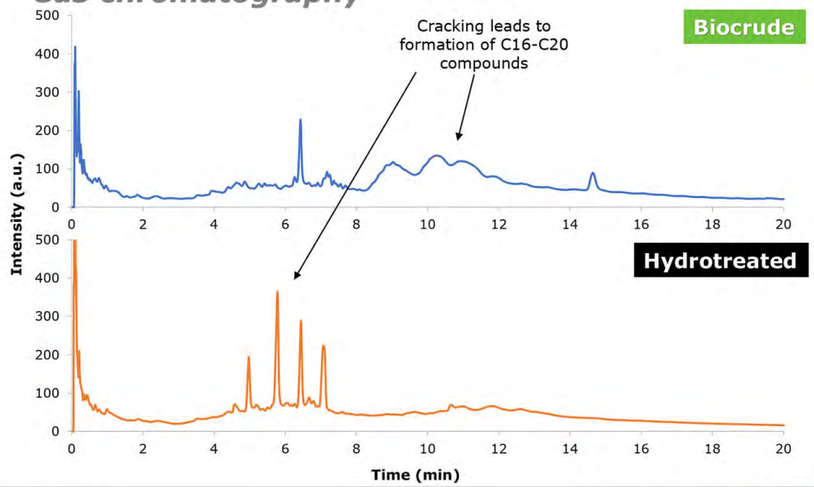
- *Simulated distillation*



- **Simulated distillation according to ASTM D7169**
- **Increase in the lighter fractions, reduction of HGO**

Catalytic upgrading of Spirulina biocrude

- *Gas chromatography*



Catalytic upgrading: Summary & outlook

- *First batch experiments on catalytic upgrading of HTL biocrudes conducted*
- *Fuel quality (H/C, de-O, de-N) substantially enhanced; de-N not yet sufficient*
- *Gasoline and middle distillate fraction increased*

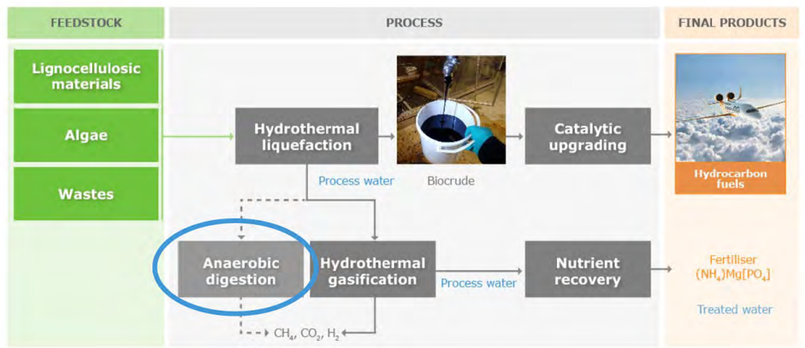
- *Next steps*
  - **More screening experiments**
  - **Improvement of pre-treatment techniques**
  - **Taylored catalysts**
  - **First experiments in continuous mode**

HALDOR TOPSOE

Outline

- The HyFlexFuel project
- First pilot-scale HTL campaign
- Catalytic upgrading of biocrude
- **Anaerobic digestion of HTL process water**
- Conclusions

The HyFlexFuel process



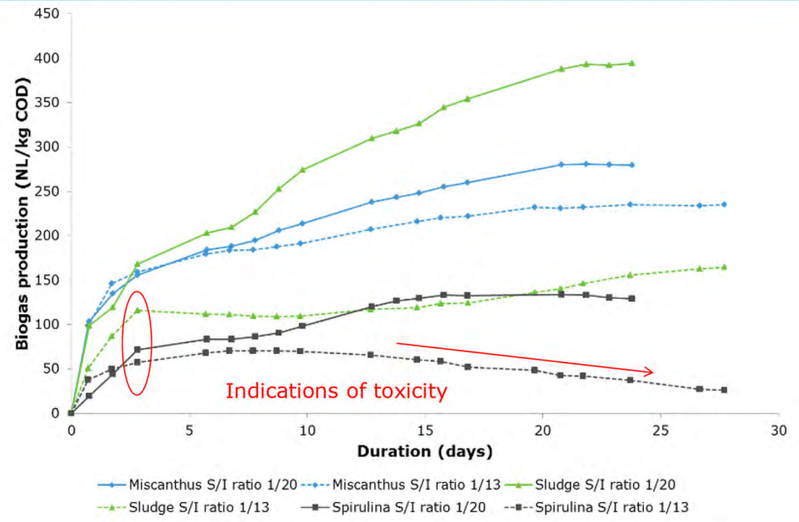
Anaerobic digestion of HTL process water

- **Biogas production potential test**
- **Goal:**
  - Determine max potential
  - Detect acute toxicity/deficiency
- **Experimental setup**
  - 10-100 g of substrate to 1 kg active inoculum
  - Typical duration: 14 days or until daily gas production < 1% of cumulative production
- **Basis for continuous test set-up**

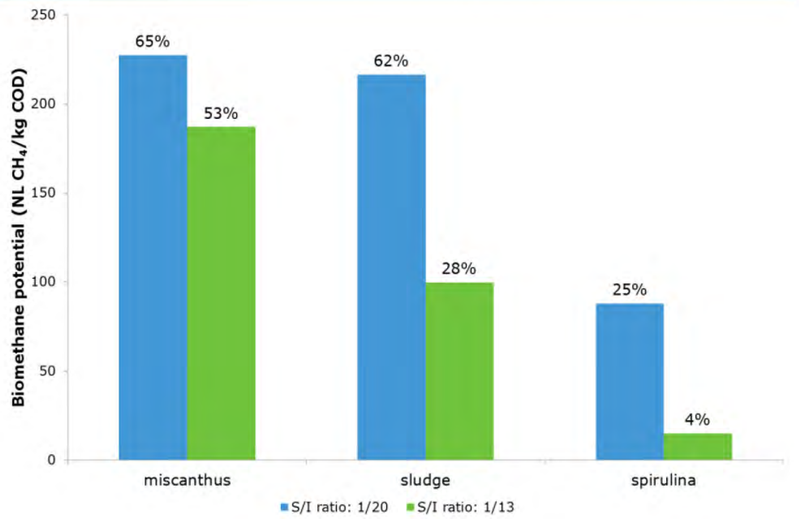




Anaerobic digestion of HTL process water



Anaerobic digestion of HTL process water



Outline

- The HyFlexFuel project
- First pilot-scale HTL campaign
- Catalytic upgrading of biocrude
- Anaerobic digestion of HTL process water
- **Conclusions**

Conclusions

- ***HyFlexFuel develops a process chain for production of liquid fuels based on hydrothermal liquefaction***
- ***First HTL campaign conducted***
  - **Successful liquefaction of Spirulina, sewage sludge, Miscanthus**
  - **Pilot-scale, relevant process conditions**
- ***First batch experiments on catalytic upgrading of HTL biocrudes conducted***
  - **Deoxygenation successful; denitrogenation challenging**
- ***Anaerobic digestion of HTL process water***
  - **Substantial methane formation, but also indication of toxicity observed**

HyFlexFuel

Thank you!

Arne Roth

Bauhaus Luftfahrt e.V.
Willy-Messerschmitt-Str. 1
82024 Taufkirchen, Germany

arne.roth@bauhaus-luftfahrt.net
+49 (0)89 307 4849-46



www.hyflexfuel.eu
hyflexfuel-arttic@eurtd.com
Follow us on Twitter @HyFlexFuel

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 764734

Wertschöpfung aus Reststoffen

Heiner Brookman, HAWK Göttingen

Einfluss der HTC auf die Konzentration und Toxizität von PCBs, PCDDs und PCDFs in Klärschlamm

Heiner Brookman, Fabian Gievers, Dr. Volker Zelinski, Dr. Jan Ohlert, Prof. Dr. Achim Loewen
HAWK Göttingen Fachgebiet NEUTec
Rudolf-Diesel-Str. 12
37075 Göttingen
Tel.: +49 (0)551 50 32 269
E-Mail: **heiner.brookman@hawk.de**

Der Einfluss der hydrothermalen Carbonisierung (HTC) auf den Gehalt an organischen Schadstoffen, wie polychlorierten Biphenylen (PCBs), polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen (PCDDs) und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDFs), ist bisher wenig untersucht. Diese Schadstoffe können in Klärschlämmen kritische Konzentrationen erreichen und müssen daher gemäß rechtlicher Vorgaben regelmäßig untersucht werden.

Zum Teil wird argumentiert, dass das sogenannte "Dioxinfenster" bei 300 bis 600 °C, in dem eine Neogenese von Dioxinen stattfinden kann, bei der HTC nicht erreicht wird. Aus diesem Grund, und auch, weil die Analysen aufwendig und kostenintensiv sind, wird in Forschungsprojekten meist auf diese Analytik verzichtet.

Bei der Umsetzung der HTC-Technologie vom Labor- und Technikumsmaßstab in den Praxismaßstab stellt sich z. T. die Frage, ob sichergestellt ist, dass in den Produkten der HTC keine erhöhten Konzentrationen an Schadstoffen auftreten. Kann dies nicht sichergestellt werden – z. B. durch entsprechende Voruntersuchungen, reduziert das die Investitionsbereitschaft und die Wahrscheinlichkeit der Projektumsetzung.

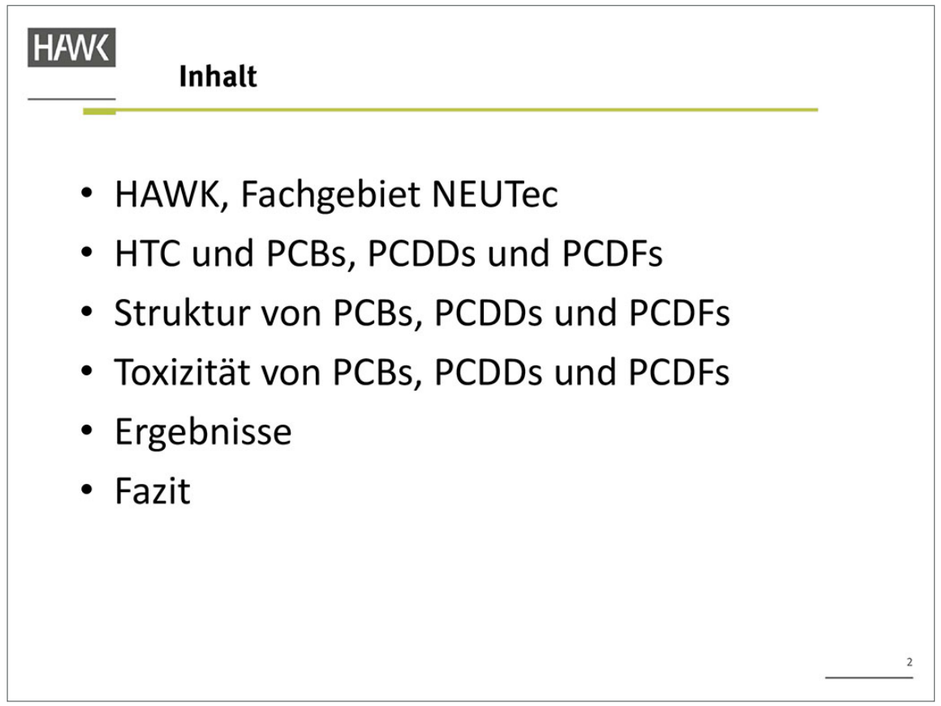
In unseren Untersuchungen im Rahmen des Projekts „HTC in Niedersachsen“ wurden Klärschlammproben aus dem Klärwerk einer deutschen Großstadt carbonisiert. Die Batchversuche wurden in Edelstahlbehältern bei 200 °C, 220 °C und 240 °C für jeweils fünf Stunden durchgeführt. Die HTC-Kohle wurde abgepresst, getrocknet und die Analysen in einem kommerziellen Labor beauftragt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamttoxizität der drei Schadstoffe sich um bis zu dem 8,5-fachen erhöhen kann, bei den PCDDs sogar um den Faktor 16,4. Dies deckt sich weitgehend mit Untersuchungen von Tirler et al. (2013), die an PCDDs und PCDFs durchgeführt wurden. Für den in den Versuchen verwendeten Klärschlamm führt dies bei einer „intensiven“ Carbonisierung bei 240 °C für 5 h zu einer Überschreitung der Grenzwerte nach der novellierten Klärschlammverordnung (AbfKlärV vom 27.09.2017).

PCBs, PCDDs und PCDFs fassen jeweils eine Reihe von sogenannten Kongeneren zusammen. Diese besitzen das gleiche Grundgerüst, jedoch Chloratome in unterschiedlicher Anzahl und an unterschiedlicher Position. Bei den Analysen werden nur die toxischsten Kongenere untersucht. Die anderen Kongenere haben einen deutlich geringeren sogenanntenToxizitätsfaktor, so dass sie vernachlässigt werden. Die toxischeren Kongenere der drei Schadstoffgruppen gleichen sich dadurch, dass alle eine ähnliche Struktur besitzen wie das toxischste Dioxin (2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-1,4-dioxin, auch bekannt als Seveso-Dioxin).

Im Vortrag werden die Untersuchungen vorgestellt und erläutert, welche Effekte zu einer erhöhten Toxizität führen. Der weitere Forschungsbedarf, um die Effekte exakter beschreiben zu können und HTC-Prozesse an vorbelastetem Substrat so steuern zu können, dass eine Erhöhung der Toxizität vermieden wird, wird beschrieben.





HAWK Göttingen, Fachgebiet NEUTec

Fachgebiet Nachhaltige Energie- und Umwelttechnik NEUTec

Angewandte Forschung und Entwicklung

- Abfallwirtschaft und Umwelttechnik
- Energie- und Verfahrenstechnik
- Biogas
- Feste Biobrennstoffe
- Biogene Kraftstoffe
- Dezentrale Energieversorgungskonzepte
- Klima- und Ressourcenschutz



Einer der Träger und Sitz des Göttinger Büros des Kompetenzzentrum 3N

Niedersachsen · Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe www.3-N.Info 3N



Thema HTC bei NEUTec

- **2011 bis 2014: "HTC in Niedersachsen" (EFRE/ Land Niedersachsen)**
- **im Technikum Vergärung von HTC-Prozesswässern aus Carbonisierung von:**
  - **Bioabfällen**
  - **Klärschlamm**
  - **Gärresten**
  - **etc.**
- **„Vergleichende Untersuchungen und Bilanzierungen von Prozessketten zur Herstellung und Nutzung von Pflanzenkohlen“ (Doktorand Fabian Gievers)**
- **Poster von Fabian Gievers auf der Tagung angemeldet**

4

Publikation

- **15. Juni 2018:**

energies MDPI

Article

Influence of Hydrothermal Carbonization on Composition, Formation and Elimination of Biphenyls, Dioxins and Furans in Sewage Sludge

Heiner Brookman [1,*], Fabian Gievers [1], Volker Zelinski [1], Jan Ohlert [2] and Achim Loewen [1]

[1] Faculty of Resource Management, University of Applied Sciences and Arts (HAWK), 37075 Göttingen, Germany; fabian.gievers@hawk.de (F.G.); volker.zelinski@hawk.de (V.Z.); achim.loewen@hawk.de (A.L.)
[2] Institute of Chemistry, University of Oldenburg, 26129 Oldenburg, Germany; jan.ohlert@uni-oldenburg.de
* Correspondence: heiner.brookman@hawk.de; Tel.: +49-551-5032-269

Received: 30 May 2018; Accepted: 13 June 2018; Published: 15 June 2018

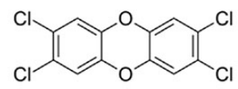
check for updates

5

Schadstoffe in Klärschlamm

novellierte Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 27.09.2017:

- **Schwermetalle**
- **verschiedene organische Schadstoffe**
- **darunter PCBs, PCDDs und PCDFs = jeweils Gruppen von Verbindungen**
  - **PCDDs und PCDFs als „Dioxine“ bekannt (korrekter: Dibenzodioxin-Derivate)**
  - **PCBs: dioxinähnliche Struktur**
  - **Toxizität beruht auf ähnlicher Struktur**
  - **Dioxin mit höchster Toxizität: „Seveso-Dioxin“ (2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin):**



- **Grenzwerte verschärft von 100 auf 30 ng Toxizitätsäquivalent (TEQ)/kg**

6

HTC und Dioxine – aktueller Stand

Dioxine selten untersucht bei HTC-Versuchen:

- **gelegentlich Aussage: bei HTC wird das sogenannte Dioxinfenster nicht erreicht (Temperaturen von 300 bis 600°C) – daher würden Dioxine kein Problem darstellen**
- **Dioxinanalysen sind teuer**
- **es sind Probenmengen notwendig, die bei Kleinversuchen nicht unbedingt anfallen (20 g Trockensubstanz)**

Bei Umsetzung von Laborergebnissen im Pilot- oder Praxismaßstab aber Frage: können bei dem thermischen Prozess HTC kritische Verbindungen entstehen?

- **daher in „HTC in Niedersachsen“ untersucht**

Nur wenige andere Untersuchungen in dem Bereich (Tirler et al. 2013).

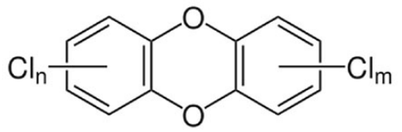
7

Vorab-Zusammenfassung der Ergebnisse

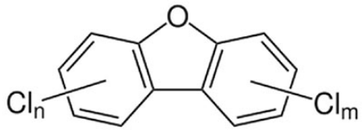
- **„Dioxin-Toxizitätsäquivalente“ können durch die HTC zunehmen!**
- **aber: nur bei entsprechender Vorbelastung relevante Konzentrationen nach HTC!**
- **„unbelastetes Material“ nicht kritisch! (z. B. Landschaftspflegematerial; Werte bei unseren Untersuchungen unter Bestimmungsgrenze)**
- **Klärschlämme: häufig vorbelastet – daher hier Kontrollen notwendig! Bei thermischer Verwertung der HTC-Kohle nicht kritisch.**
- **noch durch Untersuchungen einzugrenzen: wie stark kann TEQ ansteigen?**

8

PCDDs und PCDFs



- Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD)



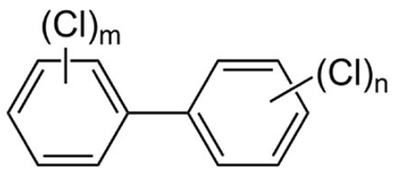
- Polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)

Kongenere		
Chlorato me	PCDD-Isomere	PCDF-Isomere
1	2	4
2	10	16
3	14	28
4	22	38
5	14	28
6	10	16
7	2	4
8	1	1
Total	75	135

(Quelle Graphiken und Tabelle: www.wikipedia.de)

9

PCBs



Polychlorierte Biphenyle (PCBs)

PCB-Kongenere
(m = 0, 1, 2, 3, 4 oder 5;
n= 0, 1, 2, 3, 4 oder 5)

209 Kongenere

(Quelle Graphik und Tabelle: www.wikipedia.de)

Übersicht der Kongenere			
PCB-Homolog	CAS-Nummer	Cl-Substituenten	Anzahl Isomere
Monochlorbiphenyl	27323-18-8	1	3
Dichlorbiphenyl	25512-42-9	2	12
Trichlorbiphenyl	25323-68-6	3	24
Tetrachlorbiphenyl	26914-33-0	4	42
Pentachlorbiphenyl	25429-29-2	5	46
Hexachlorbiphenyl	26601-64-9	6	42
Heptachlorbiphenyl	28655-71-2	7	24
Octachlorbiphenyl	55722-26-4	8	12
Nonachlorbiphenyl	53742-07-7	9	3
Decachlorbiphenyl	2051-24-3	10	1

10

Toxizität

- **Toxizitätsäquivalent (TEQ) von PCDDS, PCDFs und PCB im Vergleich zum Seveso-Dioxin:**

	Congeners	WHO-TEF [-]	I-TEF [-]	Congeners	WHO-TEF [-]	I-TEF [-]	
7 PCDDs	OCDD	0.0003	0.001	2,3,3′,4,4′,5,5′-HpCB (189)	0.00003	-	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01	3,3′,4,4′,5,5′-HxCB (169)	0.03	-	
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	2,3′,4,4′,5,5′-HxCB (167)	0.00003	-	
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1	2,3,3′,4,4′,5′-HxCB (157)	0.00003	-	
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1	2,3,3′,4,4′,5-HxCB (156)	0.00003	-	
	1,2,3,7,8-PeCDD	1	0.5	3,3′,4,4′,5-PeCB (126)	0.1	-	12 PCBs
	2,3,7,8-TCDD	1	1	2′,3,4,4′,5-PeCB (123)	0.00003	-	
10 PCDFs	OCDF	0.0003	0.001	2,3′,4,4′,5-PeCB (118)	0.00003	-	
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01	2,3,4,4′,5-PeCB (114)	0.00003	-	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01	2,3,3′,4,4′-PeCB (105)	0.00003	-	
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	3,4,4′,5-TCB (81)	0.00003	-	
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1	3,3′,4,4′-TCB (77)	0.00001	-	
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1				
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1				
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.05	0.05				
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.5	0.5				
	2,3,7,8-TCDF	0.1	0.1				

- **nur die toxischsten Kongenere werden in Praxis bestimmt!**

  (wegen Aufwand und Relevanz)

11

Toxizität

- **Toxizitätsäquivalent (TEQ) von PCDDS, PCDFs und PCB im Vergleich zum Seveso-Dioxin:**

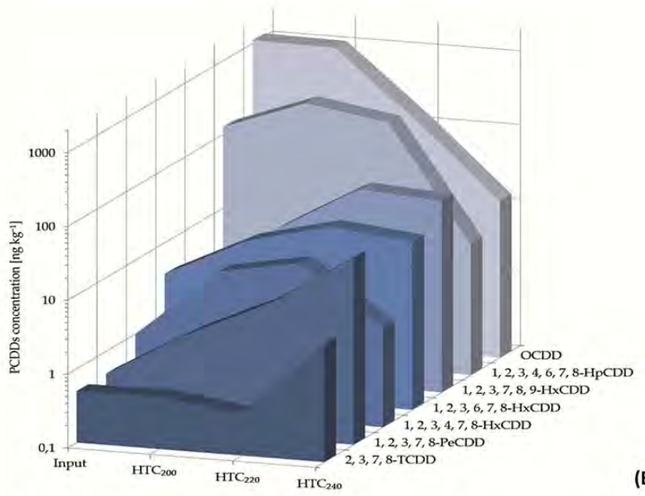
	Congeners	WHO-TEF [-]	I-TEF [-]	Congeners	WHO-TEF [-]	I-TEF [-]	
7 PCDDs	OCDD	0.0003	0.001	2,3,3′,4,4′,5,5′-HpCB (189)	0.00003	-	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01	3,3′,4,4′,5,5′-HxCB (169)	0.03	-	
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	2,3′,4,4′,5,5′-HxCB (167)	0.00003	-	
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1	2,3,3′,4,4′,5′-HxCB (157)	0.00003	-	
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1	2,3,3′,4,4′,5-HxCB (156)	0.00003	-	
	1,2,3,7,8-PeCDD	1	0.5	3,3′,4,4′,5-PeCB (126)	0.1	-	12 PCBs
	2,3,7,8-TCDD	1	1	2′,3,4,4′,5-PeCB (123)	0.00003	-	
10 PCDFs	OCDF	0.0003	0.001	2,3′,4,4′,5-PeCB (118)	0.00003	-	
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01	2,3,4,4′,5-PeCB (114)	0.00003	-	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01	2,3,3′,4,4′-PeCB (105)	0.00003	-	
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	3,4,4′,5-TCB (81)	0.00003	-	
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1	3,3′,4,4′-TCB (77)	0.00001	-	
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1				
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1				
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.05	0.05				
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.5	0.5				
	2,3,7,8-TCDF	0.1	0.1				

- **nur die toxischsten Kongenere werden in Praxis bestimmt!**

  (wegen Aufwand und Relevanz)

12

PCDD-Konzentrationen nach HTC



Konzentration der bestimmten PCDDs in:

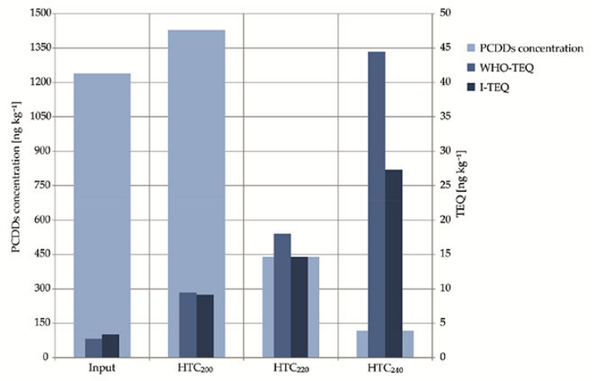
- **Input**
- **nach HTC 200**
- **nach HTC 220**
- **nach HTC 240**
- **jeweils 5 h**

Logarithmisch aufgetragen!

(Brookman et al. 2018)

13

PCDD-Konzentrationen und TEQ (WHO und NATO)



Gesamtkonzentration sinkt nach HTC 220 und HTC 240 deutlich ab

TEQs steigen massiv an

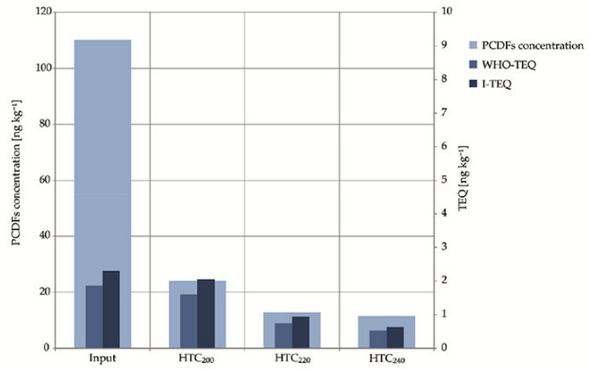
Erklärung:

Die Konzentration der weniger toxischen Kongenere sinkt, während die der seht toxischen zunimmt.

(Brookman et al. 2018)

14

PCDF-Konzentrationen und TEQ (WHO und NATO)



Gesamtkonzentration sinkt deutlich ab

TEQs sinkt

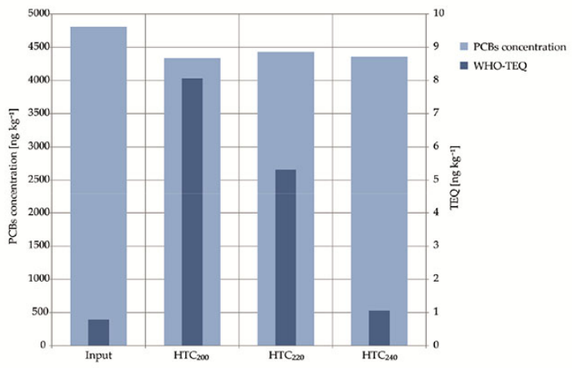
Erklärung:

Die Konzentration sinkt – auch die der toxischeren Kongenere.

(Brookman et al. 2018)

15

PCB-Konzentration und TEQ (WHO)



Gesamtkonzentration relativ stabil

TEQ bei HTC 200 sehr deutlich und bei HTC 220 deutlich erhöht.

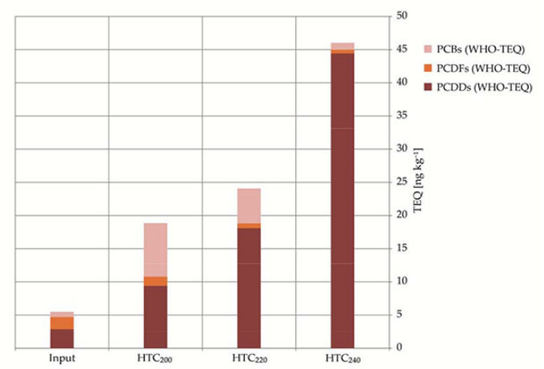
Erklärung:

Die Konzentration bleibt in Summe relativ stabil. Toxischere Kongenere werden aber abgebaut.

(Brookman et al. 2018)

16

Gesamt-TEQ (PCDDs, PCDFs und PCBs)



deutlicher Anstieg des TEQ

nach HTC vor allem Beitrag der PCDD zum TEQ.

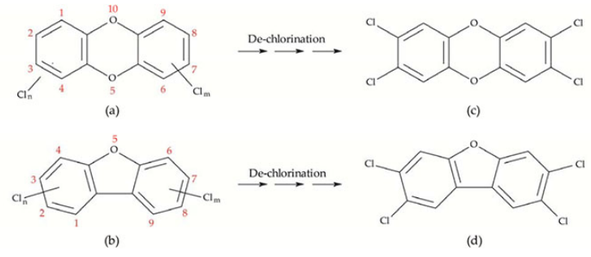
bei HTC 200 und HTC 220 auch großer Beitrag der PCBs zum TEQ

Nach HTC 240 wird für diesen Klärschlamm Grenzwert nach AbfKlär 2017 überschritten!

(Brookman et al. 2018)

17

Mögliche Ursache der Zunahme des TEQ



(Brookman et al. 2018)

Höher chlorierte PCDDs und PCDFs werden dechloriert.

Die Konzentration der Seveso-Dioxin-ähnlichen Kongenere der PCDDs und PCDFs kann zunehmen – und damit auch das TEQ.

18

Fazit

- **Bei Material, welches mit höheren Konzentrationen an PCBs, PCDDs und/oder PCDFs vorbelastet ist, ist ein möglicher Anstieg des TEQ zu beachten.**
- **„Unbelastetes Material“ ist nicht kritisch!**
- **Weitere Untersuchungen, wie stark der TEQ ansteigen kann und welche chemischen Prozesse stattfinden, sind notwendig.**

19

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Paper unter (open access):

http://www.mdpi.com/1996-1073/11/6/1582

Kontakt:
heiner.brookman@hawk-hhg.de

Weitere Informationen:
www.hawk-hhg.de

20

Frank Hokamp, Fraunhofer UMSICHT

Prozesscharakterisierung und Prozesswasseraufbereitung am Standort: metabolon

Frank Hokamp[1], Dr.- Ing. Esther Stahl[1], Adam Hadulla[2]
[1] Fraunhofer UMSICHT
Osterfelder Straße 3, 46047 Oberhausen
Tel.: +49 (0)208 8598-1392
E-Mail: **frank.hokamp@umsicht.fraunhofer.de**
[2] Technische Hochschule Köln
Lehr- und Forschungszentrum :metabolon
Am Berkebach 1, 51789 Lindlar

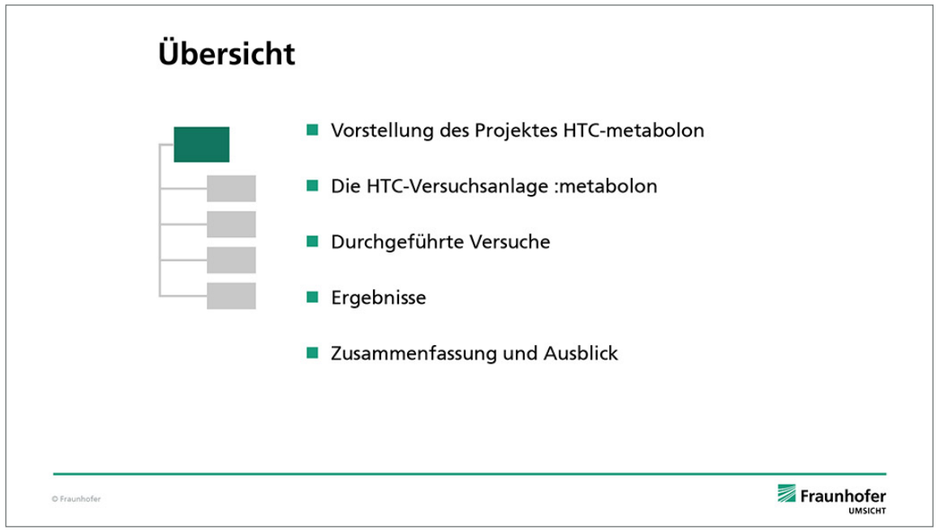
Ziele des Projektes “Prozessoptimierung und Erweiterung der VTC am Standort :metabolon” sind zum einen eine Optimierung des VTC-Prozesses, um hochwertige Produkte bei idealer Fahrweise herstellen zu können und zum anderen die Entwicklung eines integrierten Verfahrens zur Prozesswasseraufbereitung während des Prozesses. Die Versuche finden u.a. an der HTC-Technikumsanlage am Lern- und Forschungszentrum :metabolon statt, die von der TH Köln betrieben wird. Sie hat ein Füllvolumen von 2,3 m³, ist mit einem Rührwerk ausgestattet und wird mit Sattdampf aus einem Dampferzeuger beheizt. Der Prozess verläuft im batch-Betrieb. Unterhalb des Behälters ist ein Wärmetauscher installiert, der während des Versuches Prozesswasser aus dem Reaktor entnehmen und abkühlen kann. Dieser wird genutzt, um die Beprobung durchzuführen und soll später als Anschlusspunkt für die Prozesswasseraufbereitung dienen.

In regelmäßigen Abständen werden Proben aus dem Prozess entnommen und analysiert. Anhand der Veränderung der Konzentrationen der Inhaltsstoffe können Rückschlüsse auf den Reaktionsverlauf gezogen werden, so dass der Prozess besser gesteuert werden kann. So ergaben beispielsweise Untersuchungen des Prozesswassers aus der Karbonisierung von Bioabfällen bei 180 °C, dass die Reaktionen sehr langsam ablaufen und nach sechs Stunden noch nicht gänzlich abgeschlossen sind. Dahingegen ist bei einer Temperatur von 200 °C der größte Teil der Reaktion zu Beginn der Reaktionsphase abgeklungen.

Die Prozesswässer werden zunächst im Laborumfeld mit physikalischen und thermischen Trennmethoden fraktioniert. Ziel dieser Fraktionierung ist eine bessere Verwendbarkeit der Fraktionen um den Aufbereitungsaufwand zu verringern. Auf Basis dieser Ergebnisse soll eine Teilstromanlage konzipiert und an die bestehende Technikumsanlage angeschlossen werden. Diese Anlage soll in der Lage sein, Prozesswässer während des Versuches in Fraktionen zu teilen, die entweder direkt nutzbar oder zumindest einleitfähig sind.

Bisher konnte gezeigt werden, dass eine membrantechnische Auftrennung in eine Permeatfraktion gelingt, die 75 % der Gesamtmenge ausmacht und mit einem CSB um 3000 mg/l belastet ist. Dies stellt eine Verringerung um den Faktor 10 gegenüber dem Feed dar. Ähnliche Ergebnisse lassen sich mittels Vakuumfiltration einstellen. Auf Grund des direkten Ansatzes kann das Prozesswasser im heißen Zustand weiterverarbeitet werden, was eine thermische Auftrennung energetisch und ökonomisch machbar erscheinen lässt. Eine Kombination beider Verfahren soll zukünftig Grundlage der Anlagenentwicklung sein. Die Aufbereitungsanlage soll so ausgestaltet sein, dass sie mobil und modular einsetzbar ist und auch an HTC-Anlagen, nach entsprechender Vorabtrennung der Wasserfraktion, ihren Dienst verrichten kann. Die Ergebnisse der Prozesswassercharakterisierung sollen eine exakte Feststellung der optimalen Reaktionsdauer bei gegebener Temperatur und Substrat ermöglichen.





Einführung

Projektorte:

- Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen
- Lehr- und Forschungszentrum :metabolon, Lindlar



Lehr- und Forschungszentrum :metabolon

:metabolon

- von der Deponie zum Innovationsstandort
- Ziel des Projektes :metabolon ist die Neuausrichtung des bisherigen Entsorgungszentrums Leppe zu einem Kompetenz-, Lern- und Innnovationsort
- Standort der Versuchsanlage im Technikumsmaßstab

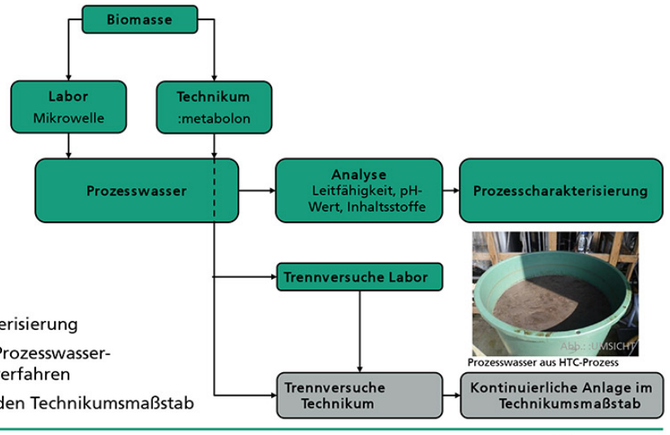


Forschungshalle :metabolon

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Einführung



Ziele:

- Prozesscharakterisierung
- Konzipierung Prozesswasser-aufbereitungsverfahren
- Umsetzung in den Technikumsmaßstab

Prozesswasser aus HTC-Prozess

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Übersicht



- Vorstellung des Projektes HTC-metabolon
- Die HTC-Versuchsanlage :metabolon
- Durchgeführte Versuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

HTC-Versuchsanlage :metabolon

HTC-Reaktor

- Durchmesser: 1 m
- Länge: 3 m
- Bruttovolumen: 2,3 m³
- Edelstahl 1.4571
- Schnellverschlüsse zum Befüllen und Entleeren
- reversibles Rührwerk



- Betrieb batchweise, manuelle Befüllung
- direkte Beheizung mit Dampf
- max. Betriebsdruck: 30 bar
- max. Betriebstemperatur: 250°C

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

HTC-Versuchsanlage :metabolon



Reaktorinneres mit Rührwerk
- fünfstufiges Rührwerk
- Langsamläufer 0,5 – 5 UPM
- reversierbarer Getriebemotor



Schnelldampferzeuger
- Schnelldampferzeuger
- 120 kg/h, 28 bar Dampf
- flüssiggasbefeuert

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

HTC-Versuchsanlage :metabolon



Wärmetauscher
- Prozesswasserablass im laufenden Betrieb
- automatische Steuerung über Füllstandmelder
- Prozessanschluss an Prozesswasseraufbereitung

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Übersicht



- Vorstellung des Projektes HTC-metabolon
- Die HTC-Versuchsanlage :metabolon
- **Durchgeführte Versuche**
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Bisherige Arbeiten

Karbonisierung in der Mikrowelle
- Modellsubstanzen Glucose und Fructose als Beispiel
  - Versuche bei 200 °C (1 – 360 Minuten)
  - Analyse des Prozesswassers



Karbonisierung in der HTC-Versuchsanlage
- Bioabfälle des Oberbergischen Kreises
- Versuch bei 180 °C und Versuch 200 °C (6 h) als Beispiel
  - Beprobung des Wassers während der Aufheiz- und Reaktionsphase
  - Analyse des Prozesswassers



Bioabfallentnahme BAV



© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Bisherige Arbeiten



Thermische Auftrennung im Rotationsverdampfer

- Annahme, dass Prozesswasser im heißen Zustand vorliegt
- Reduzierung des Drucks als Stellgröße für den späteren Prozess
  - Versuche bei 1013, 500, 80 mbar
  - Trennung bis 75 % Destillat



Mechanische Auftrennung in der Rührzelle

- gerührte Testzelle im Dead-End-Betrieb
- Permeatfluss wird gravimetrisch erfasst und aufgezeichnet
  - Testen von Ultrafiltration-, Nanofiltration- und Umkehrosmosembranen
  - Druckbereich 6 – 80 bar
  - Trennung bis 75 % Permeat

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Übersicht

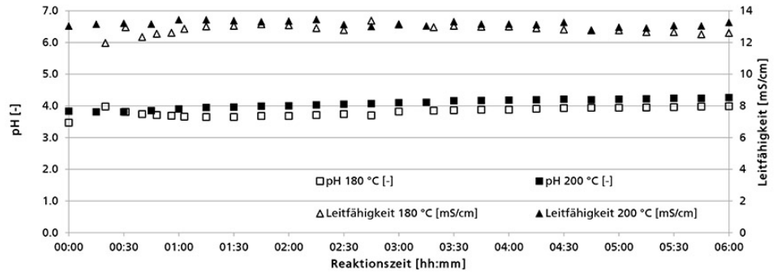


- Vorstellung des Projektes HTC-metabolon
- Die HTC-Versuchsanlage :metabolon
- Durchgeführte Versuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse



- Technikumsversuche mit Bioabfall bei 180 °C und 200 °C, jeweils 6 h Reaktionszeit
- während der Reaktionszeit sind sowohl pH-Wert als auch die Leitfähigkeit des Prozesswassers nahezu konstant

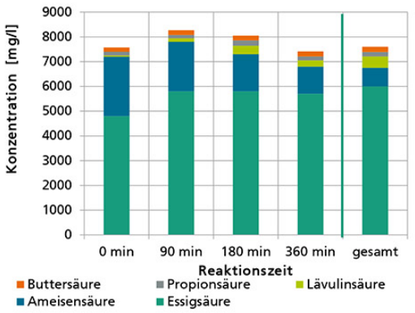
© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse

Technikumsversuch Bioabfall bei 200 °C

- Konzentration der Säuren während der Reaktionsphase
  - Essigsäure erreicht nach 90 Minuten ein Plateau bei 5,8 g/L
  - Ameisensäure wird konstant abgebaut
  - Lävulinsäure und Propionsäure erreichen lokale Maxima nach 180 Minuten



Organische Säuren im Prozesswasser zum jeweiligen Reaktionszeitpunkt

© Fraunhofer

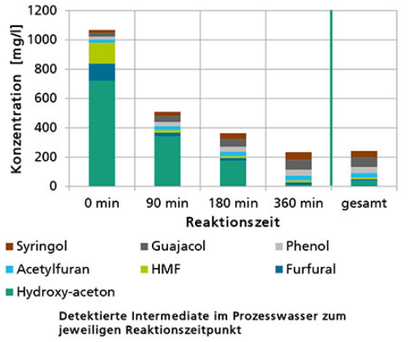
Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse

Technikumsversuch Bioabfall bei 200 °C

Analyse mit Gaschromatographie

- Hydroxyaceton ist nach 6 h nahezu abgebaut
- Furfural und HMF nach 90 Minuten nur noch in geringen Konzentrationen messbar
- andere detektierbare Komponenten sind nur in sehr geringen Konzentrationen enthalten



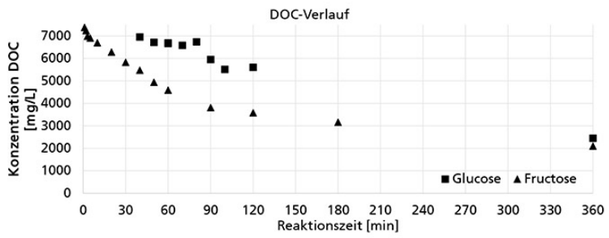
Detektierte Intermediate im Prozesswasser zum jeweiligen Reaktionszeitpunkt

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse

Mikrowellenversuche mit Glucose und Fructose bei 200 °C



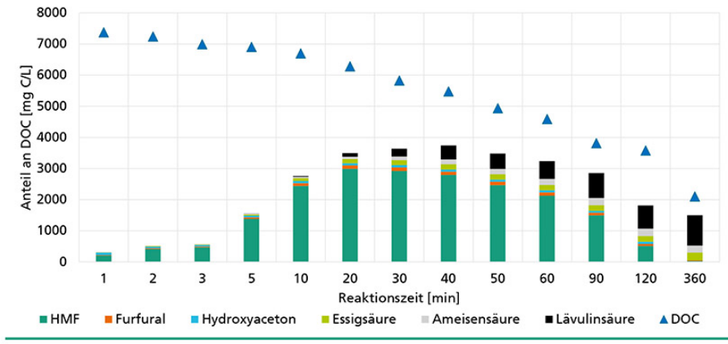
- Startkonzentration von 0,1 mol/L Zuckerlösung entspricht einem gelösten Kohlenstoffgehalt (DOC) von 7200 mg/L
- nach 6 Stunden liegen noch 2400 mg/L bzw. 2100 mg/L DOC in der Glucose- und Fructoselösung vor

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse

Mikrowelle: Verteilung des Kohlenstoffs bei 200 °C - Fructose

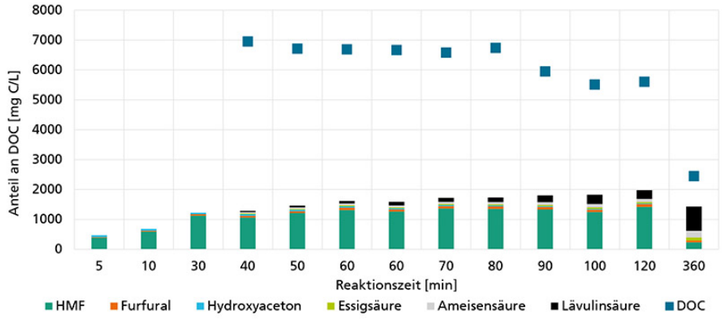


© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse

Mikrowelle: Verteilung des Kohlenstoffs bei 200 °C - Glucose

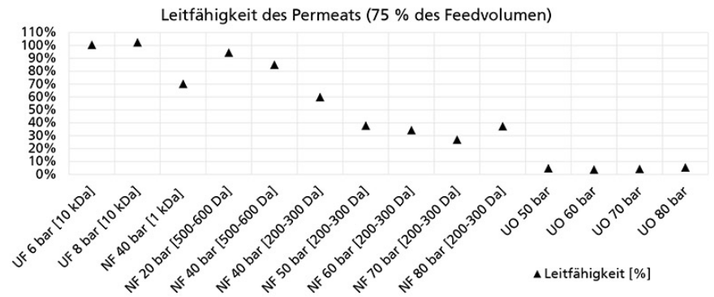


© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse

Filtrationsversuche in der Membrantestzelle



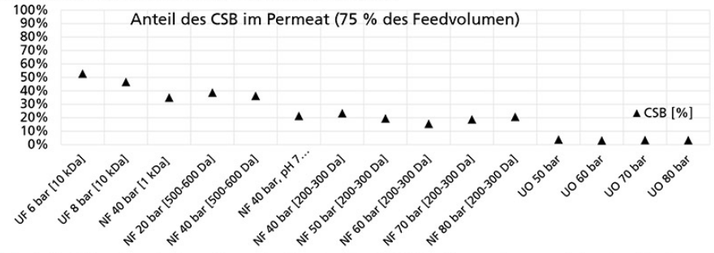
- Leitfähigkeit als Summenparameter der elektrolytischen Konzentration
- Permeat der UO besitzt noch 4-6 % der Leitfähigkeit des Feeds

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse

Filtrationsversuche in der Membrantestzelle



- Anteil des chemischen Sauerstoffbedarfes (CSB) im Permeat, wobei das Feedvolumen im Verhältnis 0,75 zu 0,25 getrennt wurde
  - Druckvariation führt zu geringen Unterschieden in der Verteilung
  - Neutralisierung des Feeds führt zu einer reineren Permeatfraktion
  - Umkehrosmose-Permeat enthält nur 3-4 % des Feed-CSBs

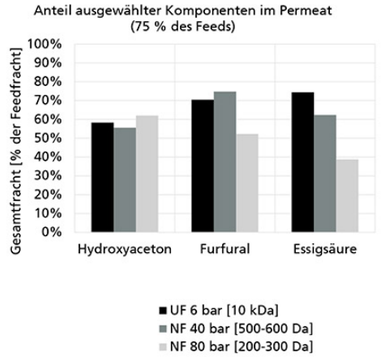
© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse

Filtrationsversuche in der Membrantestzelle

- Hydroxyaceton wird in allen Membranen ähnlich stark zurückgehalten
- Furfural und Essigsäure werden in der dichten Nanofiltration teilweise zurückgehalten
- Ultrafiltration und weite Nanofiltration halten Furfural und Essigsäure nicht zurück

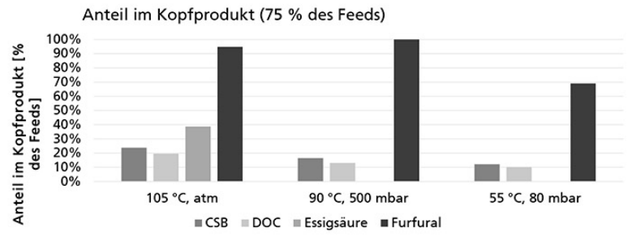


© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnisse

Destillationsversuche im Rotationsverdampfer



- je niedriger die Temperaturen, desto geringer ist der Anteil der jeweiligen Fraktion im Kopfprodukt
- Essigsäure wurde bei 500 mbar und 80 mbar nicht im Kopfprodukt gefunden
- Furfural konnte bei 500 mbar und atmosphärischem Druck am besten abgetrennt werden

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Übersicht



- Vorstellung des Projektes HTC-metabolon
- Die HTC-Versuchsanlage :metabolon
- Durchgeführte Versuche
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Zusammenfassung

- Die Untersuchung des Prozesswassers zeigt den Abbau von Intermediaten während der Reaktionsphase.
- Essig- und Lävulinsäure wird während des Versuches angereichert, Ameisensäure während der Zeit abgebaut.
- Bei 200 °C waren die Konzentrationen an Intermediaten im Prozesswasser sehr gering.
- Eine Aufkonzentrierung von Komponenten des Prozesswassers ist prinzipiell thermisch und mechanisch möglich.
- Eine einstufige Trennung ist nicht ausreichend, eine Kombination von Verfahren scheint erforderlich.
- Die Kombination beider Verfahren muss noch vertieft getestet werden.

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

Ausblick

- Technikumsanlage zur mechanischen Auftrennung in der Planung/ Umsetzung
  - Nanofiltrationsanlage mit Vorabscheider
  - alternativ mit vorgeschalteter Ultrafiltration oder Destillation
  - modular aufgebaut, sodass sie an bestehende Anlagen zu Testzwecken angeschlossen werden kann
- Mikrowellenversuche sollen zukünftig die Kenntnisse über den Prozess erweitern
  - hierzu werden Biomassen und Kombinationen von Modellsubstanzen in der Mikrowelle karbonisiert und das Prozesswasser analysiert

© Fraunhofer

Fraunhofer UMSICHT

FRAUNHOFER UMSICHT

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Herzlichen Dank an die TH Köln für die Unterstützung und Ausführung von Versuchen an der HTC-Technikumsanlage :metabolon

- Dipl.-Ing. Adam Hadulla
- Oliver Minkus (B.Eng.)

Technology Arts Sciences TH Köln

Projektförderung:
FKZ: KEE-1-007A

EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum und Beschäftigung

Kontakt:
Fraunhofer UMSICHT
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen
E-Mail: info@umsicht.fraunhofer.de
Internet: http://www.umsicht.fraunhofer.de

Frank Hokamp (M.Eng.)
Telefon: 0208-8598-1392
E-Mail: frank.hokamp@umsicht.fraunhofer.de

© Fraunhofer UMSICHT

Fraunhofer UMSICHT

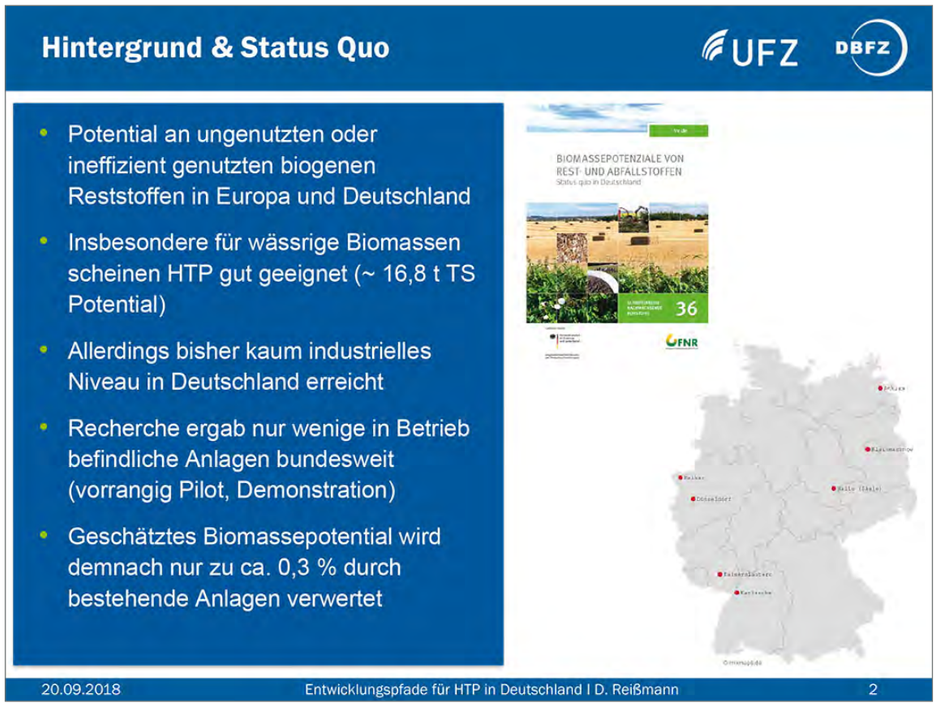
Daniel Reißmann, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ

Wohin die Reise gehen könnte… Potentielle Entwicklungspfade der Hydrothermalen Verwertung wässriger biogener Rest- und Abfallstoffe in Deutschland bis 2030

Daniel Reißmann[1], Dr. Alberto Bezama[1], Prof. Dr. Daniela Thrän[1,2]
[1] Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ
Permoserstr. 15
04318 Leipzig
E-Mail: daniel.reissmann@ufz.de
[2] DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Str. 116
04347 Leipzig

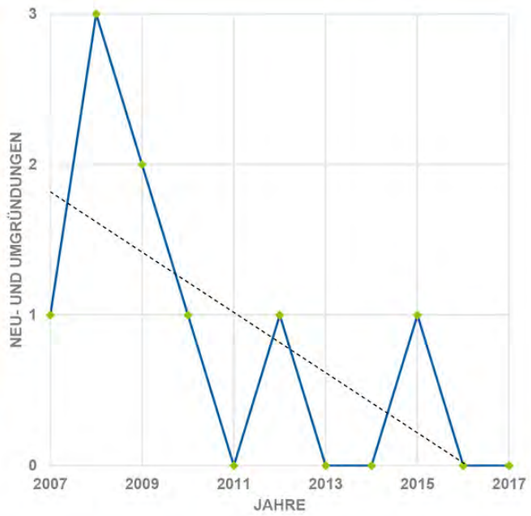
In Europa befindet sich aktuell ein erheblicher Anteil an wässrigen biogenen Reststoffen in keiner oder einer weitgehend ineffizienten Nutzung. Allein in Deutschland ist ein technisches Potential derartiger Biomassen von 46,9 Tonnen Trockensubstanz pro Jahr kalkuliert worden. Momentan sind es vor allem rechtliche und ökonomische Hemmnisse, die eine Nutzung dieser Stoffströme über konventionelle Wege verhindern (z.B. rechtliche Restriktionen in der landwirtschaftlichen Nutzung von Klärschlämmen, hohe Kosten für die Vorbehandlung wässriger Substrate). Hydrothermale Prozesse (HTP) haben daher in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen haben, denn sie benötigen ohnehin 70-90 % Wasseranteil im Substrat für ein effizientes Verfahren, was sie für diese Art von Substrate zu prädestinieren scheint. Allerdings ist eine Vielzahl weiterer Kriterien für die Eignung von HTP zur Nutzung wässriger biogener Reststoffe von Relevanz. Ein entsprechendes multidimensionales Bewertungsverfahren, welches die Eignung von HTP für eben diesen Zweck beurteilt, existierte bislang nicht. Im Zuge eines umfangreichen Literaturreviews zeigte sich, dass Bewertungen von HTP zumeist nur eine Dimension, beispielsweise mittels Ökobilanzen oder Kosten-Nutzen Analysen, betrachtet haben. Multikriterielle Analysen zu Biotechnologien sind wiederum nicht auf HTP zugeschnitten und daher nur bedingt geeignet. In vorherigen Studien wurde daher ein entsprechendes multikriterielles Bewertungsverfahren, welches sowohl techno-ökonomische als auch ökologische Eigenschaften berücksichtigt, entwickelt und anhand von Literaturdaten erprobt. Im Folgenden soll das Verfahren für die Bewertung dreier Zukunftsszenarien zur Technologieentwicklung von HTP eingesetzt werden, welche einen großtechnischen Einsatz von HTP annehmen. Die Szenarien differenzieren dahingehend, dass HTP als reine Energietechnologie, als reine Kreislaufwirtschaftstechnologie und als ergänzende Biotechnologie unter Annahme derzeitiger bestehender Biomassepotentiale eingesetzt wird.





Hintergrund & Status Quo

- „Gründungsboom“ an Gesellschaften und Inbetriebnahme von Anlagen um 2008, seitdem Stagnation
- Dennoch hat sich der Entwicklungsstand der meisten Anlagen gesteigert, es passiert also etwas (z.B. Patentierungen)



20.09.2018 Entwicklungspfade für HTP in Deutschland I D. Reißmann 3

Stand der Technik in Deutschland



Bevorzugte Technologie: Hydrothermale Carbonisierung	Bevorzugte Substrate: Abfallbiomasse, Grünschnitt, Klärschlamm, Gärreste, tier. Exkremente	Massenbilanz: 60-75% org. TS
TRL: Demo bis marktreif (5-8)	Kapazität: Bis zu 50.000 t FM/Jahr	Energiebilanz: Stark fallabhängig, teils bis zu 65%



Gestehungskosten: < 8 ct/kWh	Kohlenstoff in Endprodukt: 50-90%	Priorisierte Märkte: Energie, Landwirtschaft, Chemie
ROI: 1-8 Jahre	Heizwert Hydrokohle: 20-35 MJ/kg	Hauptsächliche Produkte: Bio- und Aktivkohle, Chemikalien, Düngemittel



- CO2 Bilanz: Stark fallabhängig, meist positiv zum Referenzfall
- Prozesswasser: je nach Reinigung bis zu <100 mg/l CSB

20.09.2018 Entwicklungspfade für HTP in Deutschland I D. Reißmann

Wie könnte es weitergehen?

- Warum ist bislang kaum industrielles Niveau erreicht?
- Wo liegen die „Flaschenhälse“ der Entwicklung?
- Was sollte in Zukunft geschehen und was ist wahrscheinlich?
- Lässt sich bewerten, welche Entwicklung besonders vielversprechend ist?





20.09.2018 Entwicklungspfade für HTP in Deutschland I D. Reißmann 5

Was haben wir gemacht?

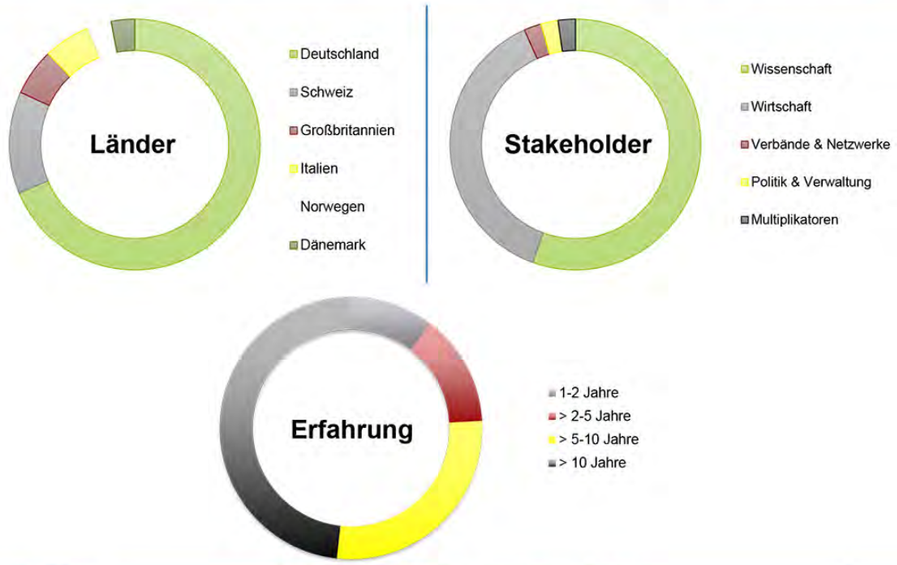
- Umfangreiche Literaturanalyse zu **Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen** von HTP in Deutschland und Europa,
- Zwei einfache **Expertenumfragen** unter deutschsprachigen HTP Stakeholdern,
- Eine **Fuzzy Delphi-Expertenumfrage** unter Beteiligung internationaler Experten und
- Zwei **Stakeholder Workshops** (2016 und 2018).





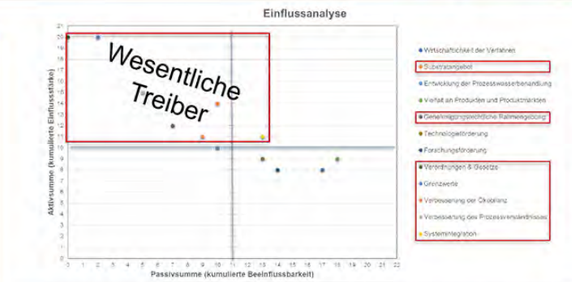
20.09.2018 Entwicklungspfade für HTP in Deutschland I D. Reißmann 6

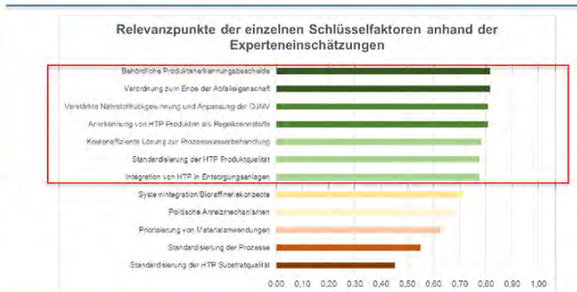
Wer wurde eingebunden?



Ergebnisse zu Schlüsselfaktoren

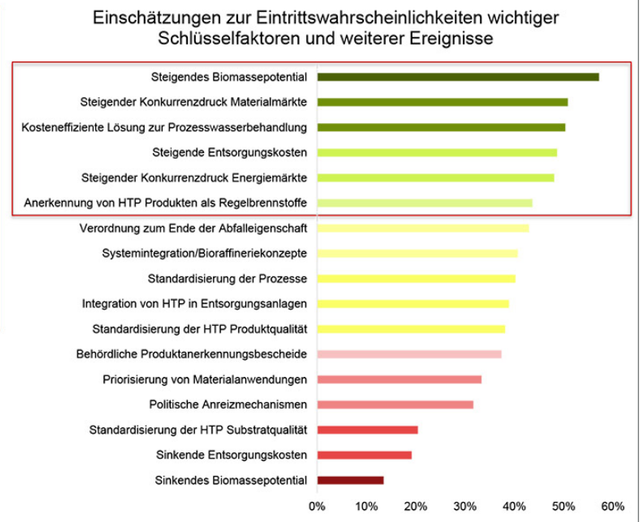
Wesentliche **Schlüsselfaktoren (Treiber)** und **Risiken** für die HTP Entwicklung in Deutschland und deren Zusammenhänge wurden identifiziert und priorisiert





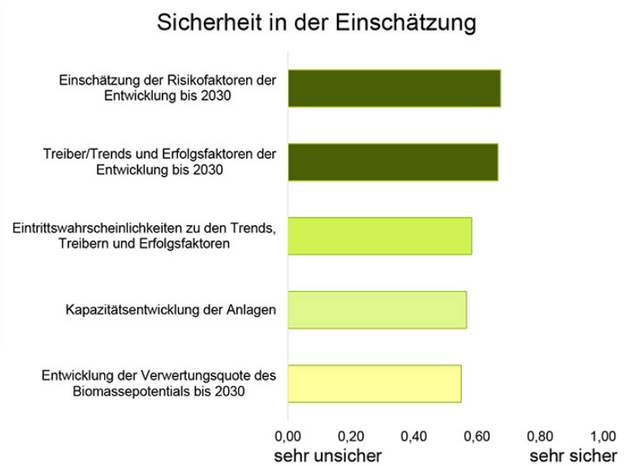
Ergebnisse zu Eintrittswahrscheinlichkeiten

Eintritts-wahrscheinlich-keiten für Schlüssel-ereignisse wurden abgefragt und gewichtete Durchschnitte berechnet



Ergebnisse zu (Un)sicherheiten

Die Experten wurden zu Ihrer **Sicherheit** im Rahmen der Einschätzungen befragt. Mit einer Likert-Skala wurden Sicherheitsfaktoren berechnet.



Abgeleitete Zukunftsszenarien

Szenario 1 – “Slowdown”/Wesentliche Risiken treten ein (S=hoch)
Genehmigungsrechtliche Verschärfungen und striktere Grenzwerte
Keine Regelbrennstoffanerkennung (keine Abfallende-VO)
Keine Standardisierung
Keine Technologiesprünge (z.B. Systemintegration, Prozesswasserbehandlung)

Szenario 2 – “Lockstep”/Wahrscheinlichste Ereignisse treten ein (S=mittel)
Regelbrennstoffanerkennung
Keine Standardisierung
Kosteneffiziente Lösung zur Prozesswasserbehandlung
Steigender Konkurrenzdruck auf Energie- und Materialmärkten

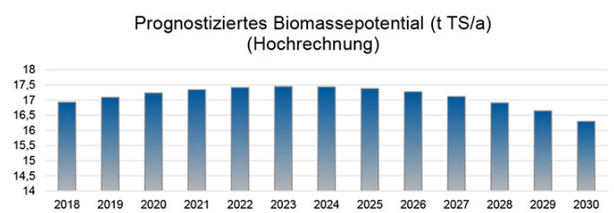
Szenario 3 – “Up-Swing”/Relevante Schlüsselereignisse treten ein (S=hoch)
Abfallende-VO (Regelbrennstoffanerkennung) und/oder Anerkennungsbescheide
Verstärktes Nährstoffrecycling
Technologiesprünge (z.B. Systemintegration, kosteneffiziente Prozesswasserbehandlung)
Produktqualitätsstandards

Analyse der Zukunftsszenarien (1/4)

Zunächst werden **Basisdeskriptoren** beschrieben, die für alle Szenarien den Ausgangspunkt bilden.

Beispiel: Basisdeskriptor Substratangebot/Biomassepotential

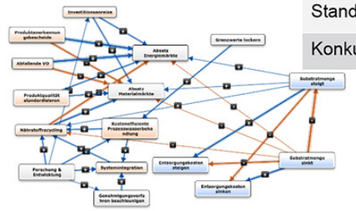
- Aktuell: ~ 16,8 Tonnen TS/Jahr
- Ist für jedes Szenario gleich relevant
- Wird zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit für jedes Szenario gleichgesetzt
- Experten gehen mehrheitlich von einer Steigerung des Substratangebots aus (Delphi-Umfrage)/linear: 1%/a
- Allerdings treibt insbesondere die Bevölkerungsentwicklung das Substrataufkommen für HTP (Abfallstoffe, Klärschlamm), diese sinkt
- Durch die Novelle der AbfKlärV werden allerdings Klärschlammmengen für neue Nutzungen frei



Analyse der Zukunftsszenarien (2/4)

Anschließend werden für jedes Szenario (basierend auf Annahmen) wesentliche **Deskriptoren** beschrieben und, falls möglich, quantifiziert.

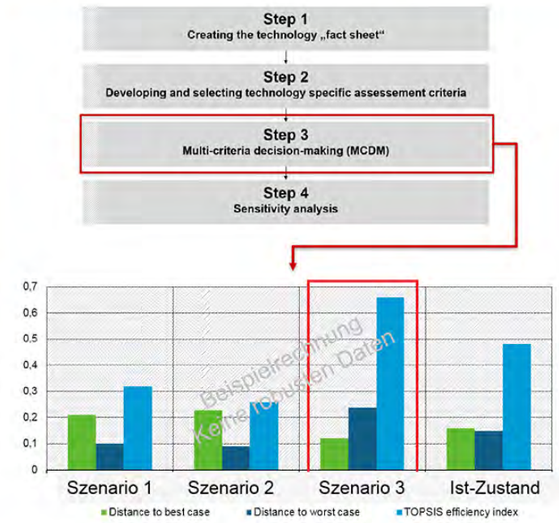
Qualitative Deskriptoren (Systemebene)	Quantitative Deskriptoren (Anlagenebene, fallspezifisch)
Technologieattraktivität (S-Kurve)	Wirtschaftlichkeitskennzahlen (z.B. ROI)
Technologieentwicklung (Erfahrungskurve)	Prozesswasserbelastung (z.B. CSB-Wert)
Anpassungen von Grenzwerten (z.B. BImSchV)	Nährstoffrecyclingquote (z.B. rückgewonnenes Phosphor)
Ordnungsrechtliche Änderungen (z.B. Abfallende VO)	Substratverfügbarkeit (z.B. Distanz zur Anlage)
Systemintegration	Umweltperformance (z.B. GWP)
Standardisierung	Produktqualität (z.B. Heizwert)
Konkurrenzdruck	Material- und Energiebilanz



Hochrechnungen auf Basis von Anlagendaten aus Betreiberbefragung. Validierung mit Monte-Carlo Simulationen.

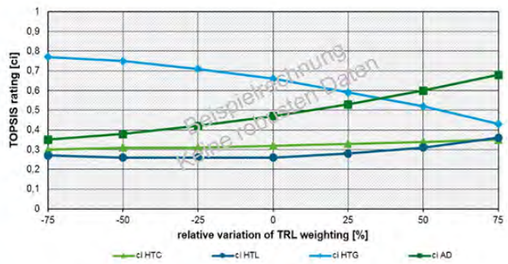
Analyse der Zukunftsszenarien (3/4)

Die fallspezifischen quantitativen Werte werden anschließend in ein **MCA** Tool übertragen um vergleichbare Effizienzwerte zu ermitteln

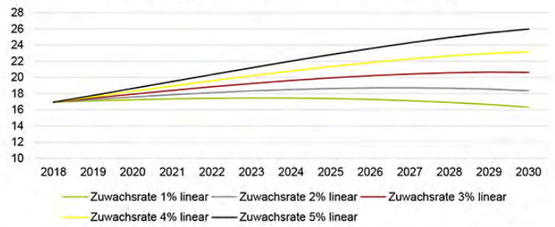


Analyse der Zukunftsszenarien (4/4)

Mittels einer **Sensitivitätsanalyse** sollen die Daten und Bewertungen validiert werden. Damit wird auch einer etwaigen Datenunsicherheit Rechnung getragen.



Substratmenge (Mio. t TS/Jahr) - Veränderungen nach Zuwachsrate
(Bevölkerungsfaktor und Klärschlammmengen einbezogen)



20.09.2018 Entwicklungspfade für HTP in Deutschland I D. Reißmann 15

Was wollen wir damit erreichen?

- Die Spannbreite künftiger Entwicklungen im Bereich HTP in Deutschland abbilden
- Unsicherheiten und Risiken aufzeigen
- Erfolgsfaktoren aufzeigen
- Wissenschaftlich hinterlegte Handlungsempfehlungen ableiten, insbesondere für die Politik
- Zielwerte und Zielkorridore ableiten
- Den potentiellen Beitrag von HTP zur Erreichung bundespolitischer Ressourcen- und Klimaschutzziele für die Zukunft aufzeigen



20.09.2018 Entwicklungspfade für HTP in Deutschland I D. Reißmann 16

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Daniel Reißmann
daniel.reissmann@ufz.de

Diese Arbeit wird durch die Helmholtz-Gemeinschaft im Rahmen des Projekts “Energie System 2050 – Ein Beitrag des Forschungsbereichs Energie” unterstützt. HELMHOLTZ SPITZENFORSCHUNG FÜR GROSSE HERAUSFORDERUNGEN

17.05.2018 17

Poster-Speedpresentation

Marlen Verges, Fraunhofer CBP

Kinetics of the ethanol water organosolv Fractionation of lignocellulosic Feedstock on pilot scale

Marlen Verges, Moritz Leschinsky, Thomas Hirth
Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP
Am Haupttor Bau 1251
06237 Leuna
E-Mail: **marlen.verges@igb.fraunhofer.de**

Die Fraktionierung von Lignocellulose in ihre Hauptbestandteile Cellulose, Hemicellulose und Lignin stellt die Grundlage für eine effiziente stoffliche Nutzung dieses nachwachsenden Rohstoffes mit hoher Wertschöpfung dar. Ein vielversprechendes Verfahren ist der Organosolvprozess, bei dem organische Lösungsmittel bei erhöhter Temperatur für den Aufschluss von Lignocellulose eingesetzt werden. Das Verfahren arbeitet im Vergleich zu konventionellen Zellstoffverfahren umweltschonender und ermöglicht die Bereitstellung einer hochreinen Ligninfraktion. Diese kann für vielfältige Anwendungen z. B. in Harzen, Klebstoffen, Lacken und Carbonfasern eingesetzt werden. Am Fraunhofer CBP steht eine Pilotanlage zur Umsetzung des Ethanol-Wasser-Verfahrens im 460 L-Maßstab bereit. Sie ermöglicht die Optimierung des Verfahrens und die Untersuchung der Prozesskinetik im Hinblick auf eine großtechnische Umsetzung. Auch wichtige Folgeprozesse, wie die Ligninfällung, Lösemittelrückgewinnung und enzymatische Hydrolyse des Faserstoffes werden mit abgebildet. Die in dem Maßstab hergestellten Produkte können Interessenten für die Entwicklung von Anwendungen bereitgestellt werden. Weitere prozesstechnische Verbesserungen, wie die Aufreinigung von Produktströmen und Separation von Nebenprodukten werden angestrebt.

Fraunhofer CBP

FRAUNHOFER CENTER FOR CHEMICAL-BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES CBP

KINETICS OF THE ETHANOL WATER ORGANOSOLV FRACTIONATION OF LIGNOCELLULOSIC FEEDSTOCK ON PILOT SCALE

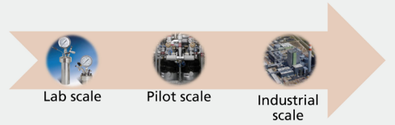
Marlen Verges, Moritz Leschinsky, Thomas Hirth
Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes (CBP), Leuna, Germany
Institute of Interfacial Process Engineering and Plasma Technology IGVP, University of Stuttgart, Germany

BACKGROUND

The organosolv fractionation of lignocellulosic feedstocks into their main building units cellulose, hemicellulose and lignin is a promising biorefinery approach to allow for a complete use and high valorization of renewable resources. Especially the high purity lignin fraction provides a great application potential.

Kinetic modeling on pilot scale is valuable for scale up purposes paving the way for an industrial implementation. It allows for:

- Process optimization
- Process control
- Prediction of behaviour at larger scale



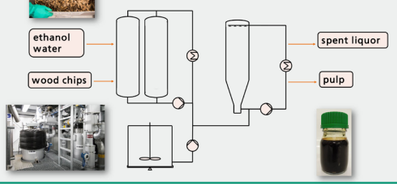
EXPERIMENTAL

Autocatalyzed process runs of an ethanol water organosolv process of beech wood have been conducted in a 460 L reactor. Liquor samples where taken over process time and analyzed for lignin and sugar content.



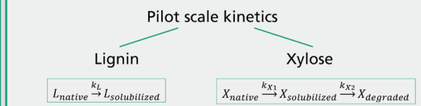
Pilot scale enabled applications of:

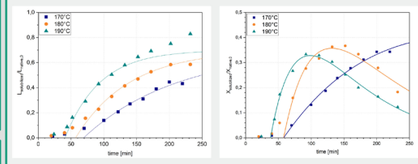
- Industrial wood chip sizes
- Industrial liquor to wood ratios
- Scalable flow through reactor technology
- Replacement washing



RESULTS

Lignin and xylose concentration of the process liquors was modeled using first order reaction models. Obtained results are influenced by material transportation effects on this scale





	k_L [min^{-1}]	k_{X1} [min^{-1}]	k_{X2} [min^{-1}]
170°C	0,0070	0,0038	0,0030
180°C	0,0121	0,0132	0,0140
190°C	0,0188	0,0147	0,0184
EA [kJ mol-1]	84,6	116,1	155,5
k_0 [min-1]	6,6 ·107	2,2 ·1011	7,9 ·1015
R^2	0,9984	0,8192	0,8688

CONCLUSIONS

1. The autocatalyzed ethanol water organosolv fractionation of beech wood was modeled on 460 L pilot scale.
2. An activation energy of 84,6 kJ mol^{-1} was determined for bulk delignification on this system using a first order reaction approach.
3. Xylan solubilization and degradation was modeled using a first order consecutive reaction model.
4. The results include material transportation limitations and are valuable for a scale up of the process to industrial scale.

funded by Federal Ministry of Education and Research

Christian Bartsch, Fraunhofer CBP

Separation und Aufreinigung von Furanderivaten aus Prozesswässern der hydrothermalen Umwandlung

Christian Bartsch, Dr. Daniela Pufky-Heinrich , Christian Bartsch, Michael Bruder, Christoph Hansmann, Sophie Holzmann
Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP
Am Haupttor, 06237 Leuna, Germany
Tel.: +49 (0)3461 43-9115
E-Mail: **christian.bartsch@cbp.fraunhofer.de**

Das Fraunhofer Zentrum für Chemisch- Biotechnologische Prozesse führt Machbarkeitsstudien zur Methodenentwicklung für downstreaming Prozesse und Produktisolierung von biobasierten Grund- und Feinchemikalien aus Flüssigkeiten der hydrothermalen Umwandlung durch. Hierzu werden Produktströme aus dem Hydrothermalprozess- hinsichtlich Crossflow-Membranfiltration; (Vakuum)-Rektifikation; Flüssig/Flüssig-Extraktion und Adsorption/Desorption im Labormaßstab mit Modell- und Reallösungen - untersucht. Ziel ist die Separation und/oder Aufkonzentrierung von Furanderivaten und weiteren Nebenprodukten.

Technisch moderne Verfahren wie Crossflow-Membranfiltration weisen im Gegensatz zu thermischen Trennverfahren einen energetisch höheren Wirkungsgrad auf, um gelöste wie auch ungelöste Inhaltsstoffen zu trennen. Gleichfalls ist dies ein Verfahren für temperaturempfindliche Substanzen wie bspw. 5-HMF. Dieses Separationsverfahren kann zur Abtrennung der Zuckerinhaltsstoffe oder Reduzierung des Wasseranteils und somit zur energetischen Optimierung für anschließende thermische Verfahren genutzt werden. Klassische downstreaming Prozesse wie (Vakuum)-Rektifikation stehen ebenfalls im Fukus der Arbeit. Gezielte Azeotropdestillation trägt wesentlich zur Gewinnung der Wertstoffe bei. Die Nutzung von Flüssig/Flüssig-Extraktion und Adsorption/Desorption dient der selektiven Trennung der späteren biobasierten Grund- und Feinchemikalien.

Fraunhofer
CBP

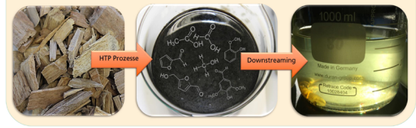
FRAUNHOFER-ZENTRUM FÜR CHEMISCH-BIOTECHNOLOGISCHE PROZESSE CBP

Separation und Aufreinigung von Furanderivaten aus Prozesswässern der hydrothermalen Umwandlung

Christian Bartsch*, Michael Bruder, Sophie Holzmann, Christoph Hansmann, Dr. Daniela Pufky-Heinrich
Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP | Am Haupttor (Tor 12, Bau 1251) | 06237 Leuna | Telefon +49 3461 439115 | www.cbp.fraunhofer.de | *christian.bartsch@igb.fraunhofer.de

Zielsetzung und Hintergrund

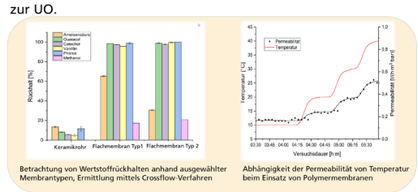
Verwertungsstrategie für lignocellulosehaltige Rohstoffe



Das Fraunhofer CBP führt Machbarkeitsstudien, Verfahrensoptimierungen und Skalierungen zur Separation und Aufreinigung von wässrigen und organischen Produktströmen aus HTP Verfahren lignocellulosehaltiger Rohstoffe durch. Anwendung finden verfahrenstechnischen Aufbereitungsverfahren wie die Membranfiltration, (Vakuum)-Rektifikation und Flüssig / Flüssig-Extraktion, die im Labor- sowie Pilotmaßstab untersucht und direkt auf spezifische Anforderungen zugeschnitten werden. Ergebnisse aus Untersuchung an Produktmischungen nach Torrefizierung (≤ 280° C) sowie der hydrothermalen Verflüssigung (≤ 160 ° C) werden gezeigt.

Methoden und Resultate

Zur Abtrennung der gelösten und ungelösten Inhaltsstoffe werden **Cross-Flow-Membrananlagen** in unterschiedlichen Maßstäben eingesetzt. Zielsetzung ist die Separation von Poly- und Monomeren bzw. der Reduzierung des Wasseranteils zur energetischen Optimierung. Gleichfalls ist dies eine Technologie für temperaturempfindliche Substanzen wie 5-HMF und Ameisensäure. Zum Einsatz kommen Keramik-, Flachmembranen und Wickelmodule im Bereich der MF bis hin zur UO.

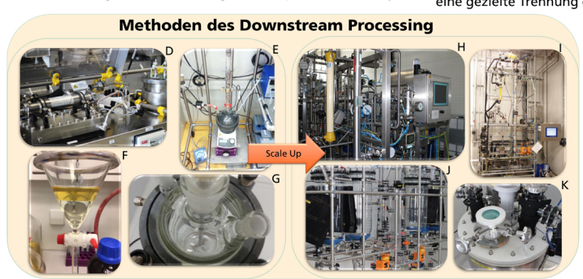


Betrachtung von Wertstoffrückhalten anhand ausgewählter Membrantypen, Ermittlung mittels Crossflow-Verfahren

Abhängigkeit der Permeabilität von Temperatur beim Einsatz von Polymermembranen

Klassische Downstream Prozesse wie **(Vakuum)-Rektifikation** stehen ebenfalls im Fokus der Arbeiten. Hierbei trägt die Azeotropdestillation wesentlich zur Gewinnung der Wertstoffe bei. Die Abtrennung einer konzentrierten Furfuralphase mittels Rektifikation wurde am CBP erfolgreich durchgeführt. Die Blasenrückstände, welche temperatursensitive Substanzen wie 5-HMF und Ameisensäure enthalten, konnten mittels Vakuumrektifikation weiter aufbereitet werden. Untersuchungen zu **Flüssig/Flüssig-Extraktion** und **Adsorption/Desorption** zeigten eine gezielte Trennung der Carbonsäuren von den Furanderivaten.

Methoden des Downstream Processing



Durch Verwendung von Chloroform als Extraktionsmittel, konnten die Derivate in einer Größenordnung von größer 89 Ma% generiert werden.

Diskussion / Ausblick

Die prinzipielle Machbarkeit zur Abtrennung von 5-HMF und Fufural aus Produktmischungen konnte aufgezeigt werden und Produktmuster wurden isoliert. Weiterer Forschungsaufwand ist notwendig, um Stoffkreisläufe nachhaltig schließen zu können. Eine Kopplung verschiedener Separationsverfahren zu einem ganzheitlichen Prozess zeigt momentan die größten Erfolgsaussichten in der Umsetzung.

D: MF-UO Membrananlage (Keramik-, Polymermembran)
E: ZI Vakuumrektifikationsanlage
F: Scheidetrichter für Extraktionsversuche
G: gerührter 1l-Batchreaktor
H: Mikro- und Ultrafiltration (Cross-Flow; Diafiltration)
I: kontinuierliche Vakuumdestillationsanlage
J: Gegenstromextraktionsanlage
K: gerührter 100l-Batchreaktor

Förderung:
Wir bedanken uns bei der Europäischen Kommission für die Unterstützung im Projekt STEAMBIO (636865-24), bei dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Unterstützung im Projekt BBChem (033RK031 A/B/C) und KombiChemPro 031B0083A)

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Europäische Kommission

Nader Marzban, Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie

Reaction kinetic modelling of the hydrothermal carbonization of plant- based feedstocks

Nader Marzban, Judy Libra
Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam
Tel.: +49 (0)331 5699-856
E-Mail: **n.marzban@ce.iut.ac.ir**

Hydrothermal carbonization (HTC) is used to convert diverse feedstocks to stabilized solids in a liquid matrix. Depending on the application, the desired product can be either the solid or liquid phase. A variety of agricultural residues can be used as feedstock. Although plant-based feedstocks are mainly made of lignin, cellulose, hemicellulose, sugars, proteins, their concentrations and additional components in each feedstock can vary widely. Understanding the reaction kinetics of the transformation is necessary for reactor design and optimization. This presentation will give an overview of the current status of the modelling work on hydrothermal carbonization. Previous modelling work has varied from detailed statistical models of the solid products for single feedstocks (Alvarez et al. 2015) over kinetic models for liquid components (Reza et al. 2014) to general statistical models based on literature results from hundreds of publications (Li et al. 2015). It will also present the results of our recent work, comparing experimental results on plant-based feedstocks to some of the currently available models. In this work, the reaction kinetics of HTC for a variety of plant-based feedstocks were investigated. The feedstock ranged from a fast-growing energy grass to vegetable and fruit pomace. Experiments were conducted in two sizes of reactors (1 L, 18.6 L) at 190, 220, and 250 °C. Different orders of kinetic reactions were examined to identify the best order for reactions. Kinetic models have been suggested for liquid products (HMF, furfural, phenolic compounds, organic acids) and solid products (solid yield, energy contents). Computationally, temperature distribution, reaction kinetic, feed percentage have been examined in the two-dimensional batch reactor using ANSYS Fluent. The computational fluid dynamic (CFD) model provided an accurate picture of the processes taking place in the reactor and allows us to verify the validity of our assumptions.

Alvarez -Murillo, A.; Roman, S.; Ledesma, B.; Sabio, E. Study of variables in energy densification of olive stone by hydrothermal carbonization. J. Anal. Appl. Pyrolysis 2015, 113, 307 − 314.

Reza, M. T., Wirth, B., Lüder, U., & Werner, M. (2014). Behavior of selected hydrolyzed and dehydrated products during hydrothermal carbonization of biomass. Bioresource Technology, 169, 352–361. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.010

Li, L.; Flora, J. R. V.; Caicedo, J. M.; Berge, N. D. Investigating the role of feedstock properties and process conditions on products formed during the hydrothermal carbonization of organics using regression technqiues. Bioresour. Technol. 2015, 187, 263 − 274.

ATB

Reaction kinetic modeling of the hydrothermal carbonization of plant – based feedstocks

N. Marzban, J. Libra

Progress in developing models capable of describing the kinetics and the governing mechanisms of the HTC-reaction is very important to design equipment and choose operating conditions required to produce char and/or liquid with desired characteristics. When dealing with heterogeneous feedstocks, ideally the kinetic model should focus on the reactions which determine the desired property. In reality, the variety of feedstocks, complex chemistry in both the liquid and solid phases, and difficulties in obtaining real-time kinetic data are a great hindrance. The present work aims at developing a computational model with simplified reaction kinetics that can be used for process optimization for selected output characteristics.

Current status of modeling the HTC process

In order to produce HTC-products with desired characteristics, various models have been proposed to describe how experimental parameters can affect the reactions taking place and how they affect the final characteristics. For example, a conceptual model of the HTC-pathways (Fig. 1) and mathematical models based on chemical /physical processes and on statistical analysis (Tab. 1) consider a limited number of input and output parameters (Tab. 2).

Category	Modeling approach	Example equation
Basic kinetic	First order, T = constant	$X(t) = \exp(-kt) = \exp(-A_0 \exp\left(\frac{-E_a}{R \times T}\right) \times t)$
Statistical	Linear regression Regression tree Quadratic model	$y_{ln} -1.124Ash_{feed} - 1.22VM_{feed} - 1.58FC_{feed} + 1.63C_{feed} - 4.89H_{feed} - 0.73O_{feed} + 0.43Solid_{Sconst} - 0.21T_{final} + 9.70\frac{H_2}{T} + 1.36HR - 22.19VR + 212.76$ $Y = A_0 + A_1R + A_2T + A_3t + A_4RT + A_5Rt + A_6tT + A_7R^2 + A_8T^2 + A_9t^2$
Computational	T = f(t,x,y,z)	$r = -\frac{dm_{cell}}{dt} = 2.46.T(t)^{2.2}.\exp\left(\frac{-90.186}{8.314T(t)}\right)$

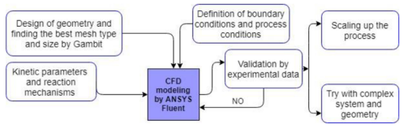
Common model inputs and outputs

Inputs	Range	Average
Feedstock type & composition	-	-
Initial feedstock concentration	1 – 47 % solids	(18)
Reaction time (t)	5 min – 5 d	(15 h)
Temperature (T_{final})	180 – 320 °C	(240)
Reactor heating rate (HR)	0.6 – 580 °C/min	(28)
Heating time (HT)	0.4 – 310 min	(81)
Heating time/ reaction time (HT/t)	0.01 – 4	(0.5)
Reactor volume (V)	5 mL – 25 L	(3.0 L)
Volume ratio (VR) (filled volume/reactor volume)	0.04 – 0.98	(0.40)
Cooling rate and time, pH, …	-	-

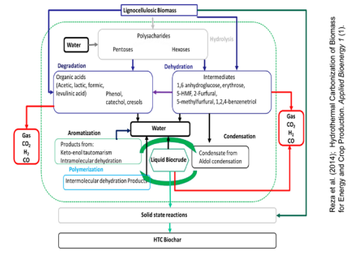
Outputs	Range	Average
Solid products		
Solids yield	20–98 %, db	(58)
Carbon content of solids	26–79 %, db	(61)
Solids energy content	14–35 kJ/g, db	(25)
Solid carbon content	0.13–0.54 g C/ g dry feedstock	(0.36)
Liquid and gas products		
Liquid carbon content	0.0006–0.42 g C/ g dry feedstock	(0.11)
Gas carbon content	$1.0 \cdot 10^{-6}$–0.04 g C/ g dry feedstock	(0.02)
Liquid components, concentrations	HMF, furfural, phenols	-

Computational modeling using CFD

After extracting the kinetic parameters from experimental results from a variety of feeds, the reactions and their parameters will be input into the software ANSYS Fluent. Using CFD, the heat and momentum transfer, the complex reacting systems and geometry will be modeled to optimize and scale up the process.

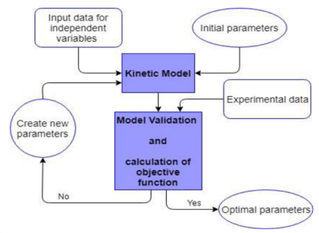


Conceptual model of HTC reaction pathways for lignocellulosic biomass



Kinetic modeling of hydrothermal carbonization

One of the most important features of a model is to achieve agreement between the model predictions and the modeled experimental data. A model may be used as a predictive tool for design and control and/or used for process optimization.



Expected project results

Simulation of the HTC process will help to

- understand how to control the governing reactions for chosen output parameters
- evaluate reactor design for different geometries
- reduce the cost of operation
- optimize the energy utilization.

Reza, M. T., Andert, J., Wirth, B., Busch, D., Pielert, J., Lynam, J. G., Mumme, J. (2014). Hydrothermal Carbonization of Biomass for Energy and Crop Production. *App.Bioenergy*, *1*(1).
Román, S., Libra, J., Berge, N., Sabio, E., Ro, K., Li, L., … Bae, S. (2018). Hydrothermal Carbonization: Modeling, Final Properties Design and Applications: A Review. *Energies*, *11*(1).

Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy
Max-Eyth-Allee 100 | 14469 Potsdam | Germany | atb@atb-potsdam.de | www.atb-potsdam.de

Leibniz Association

Tim Worrieschek, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

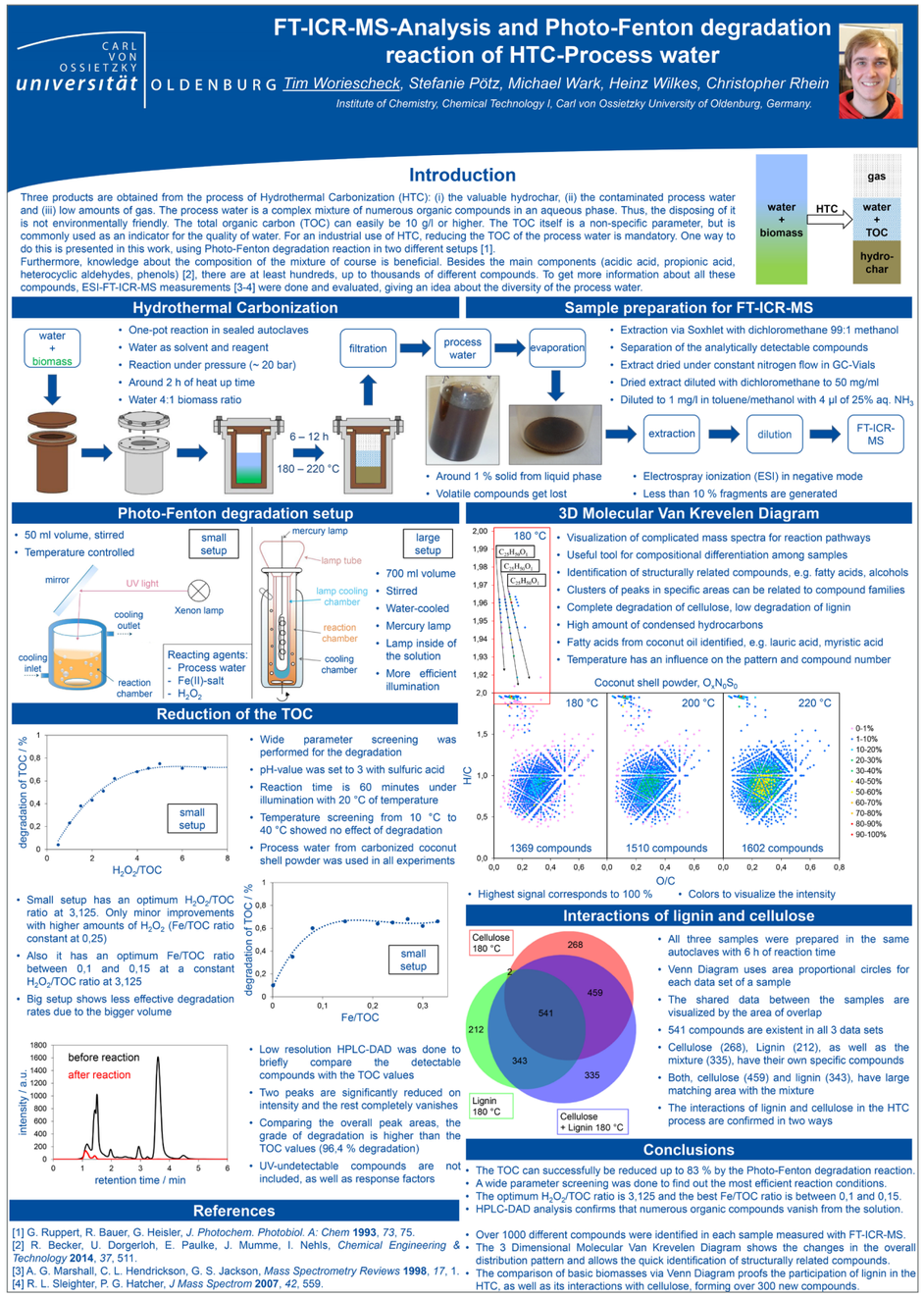
FT-ICR-MS-Analyse und Photo-Fenton degradation reaction of HTC-Process water

Tim Worieschеck, Dr. Stefanie Pötz, Prof. Dr. Michael Wark, Prof. Dr. Heinz Wilkes, Christopher Rhein
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Carl-Von-Ossietzky-Str. 9-11
26129 Oldenburg
Tel.: +49 (0)441 798 3829
E-Mail: **tim.worieschеck@uni-oldenburg.de**

Bei der Hydrothermalen Carbonisierung (HTC) entsteht ein stark mit organischen Substanzen kontaminiertes Prozesswasser, welches einem hochkomplexen Gemisch aus einer Vielzahl an chemischen organischen Stoffklassen entspricht. Das Ausmaß der Kontamination kann über den TOC-Wert (total organic carbon) quantifiziert werden. Dieser kann je nach eingesetzter Biomasse und Reaktionsbedingungen unterschiedlich hoch sein (10–100 g/L) und sich aus verschiedenen Verbindungsklassen zusammensetzen. Um detaillierte Einblicke in die Zusammensetzung der Prozesswässer zu erhalten, wurden extrahierte Proben am Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) in Potsdam mittels FT-ICR-MS (Fouriertransformations-Ionenzyklotronresonanz-Massenspektrometrie) analysiert. Dieses Gerät erzeugt durch Elektronspray-Ionisation (ESI negativ) fast ausschließlich Molekülionen und kann sehr hohe chromatografische Auflösungen erreichen (> 1.000.000). Aufgrund der hohen Messgenauigkeit, lassen sich ausgehend von den detektierten Massen die chemischen Summenformeln berechnen. Es zeigte sich, dass in jedem analysierten Prozesswasser mehr als 1000 verschiedene Verbindungen identifiziert werden können. Zur Auswertung werden diese zunächst in Komponenten- und Elementklassen unterteilt. Weiterhin müssen Darstellungsformen gewählt werden, welche in der Lage sind, derart große Datenmengen geeignet zu visualisieren. Es bieten sich u.a. molekulare Van-Krevelen-Diagramme und KMD (Kendrick-Mass-Defect) -Plots an. Dies kann sowohl unter Einbeziehung der Integralmengen erfolgen (3D) als auch ohne (2D). Es zeigte sich, dass hauptsächlich kondensierte Kohlenwasserstoffe und Lignin-artige Verbindungen vorliegen, dessen Vielfalt und Verteilung durch die Temperatur beeinflussbar ist.

Um die organische Belastung aus dem Prozesswasser zu reduzieren, wurden photokatalytische Abbaureaktionen mit Wasserstoffperoxid und Eisensalzen, sogenannte Photo-Fenton-Reaktionen, durchgeführt. Die Bestrahlung erfolgte mit dem UV-Licht einer Xenon-Lampe und die Reaktionsparameter wurden optimiert. Das Eisensalz wird in katalytischen, das Wasserstoffperoxid in stöchiometrischen Mengen zugegeben. Bereits bei sehr milden Reaktionsbedingungen und geringen Bestrahlungszeiten zeigte sich ein schneller Abbau der organischen Fracht von bis zu 80 %. Die Versuche erfolgten sowohl in hoher Verdünnung (1:100) als auch im reinen HTC-Prozesswasser. Die quantitative Analyse der Abbaurate erfolgte über TOC- und CSB-Messungen (chemischer Sauerstoffbedarf), die qualitative via HPLC (Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie). Literaturbekannt ist, dass die Wahl des Katalysators einen Einfluss darauf hat, welche organische Stoffklassen abgebaut werden.

Weiterhin können die Ergebnisse der FT-ICR-MS-Messungen mit den Photo-Fenton-Reaktionen in Bezug auf den Abbau verschiedener Stoffklassen verglichen werden.

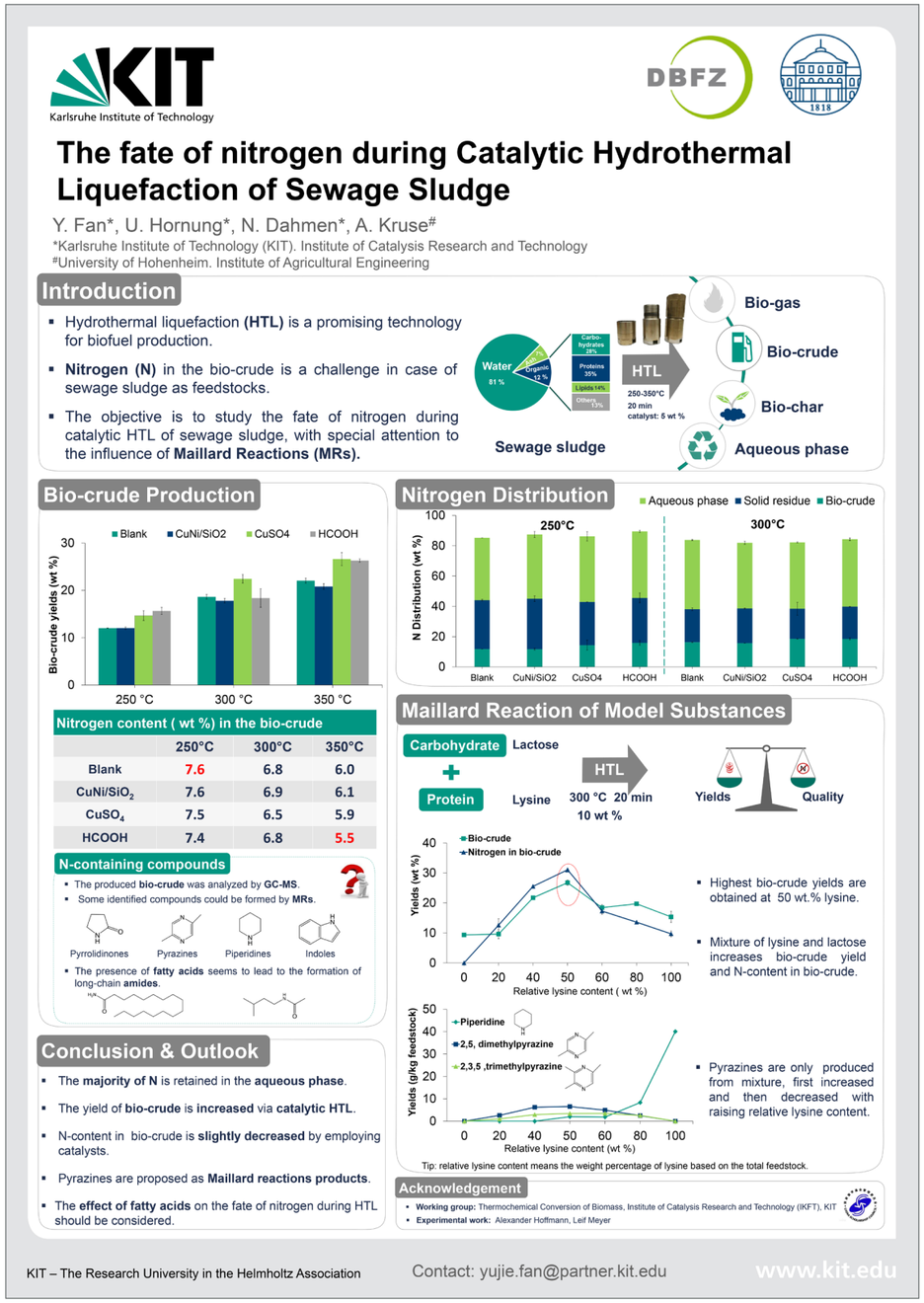


Yujie Fan, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

The fate of nitrogen during catalytic hydrothermal liquefaction of sewage sludge

Yujie Fan[1], Dr. Ursel Hornung[1], Prof. Dr. Nicolaus Dahmen[1], Prof. Dr. Adrea Kruse[2]
[1] Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Catalysis Research and Technology (IKFT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 76344
Eggenstein-Leopoldshafen, Germany
Tel.: +49 (0)721 6082-21693
E-Mail: yujie.fan@partner.kit.edu
[2] University of Hohenheim
Conversion Technologies of Biobased Resources,
Institute of Agricultural Engineering
Stuttgart, Germany

Hydrothermal liquefaction (HTL) has been successfully tested with promising bio-crude yields from different types of biomass. However, nitrogen issue still constitutes a major challenge in case of the protein contained in the feedstock, like sewage sludge. The objective of this work is therefore to identify the fate of nitrogen during HTL of sewage sludge. Particular attention was paid to the nitrogen distribution in the different phases, as well as the chemical characteristics of nitrogen containing heterocycles, contributing to the high nitrogen content in the bio-crude. In this study, the catalytic HTL of sewage sludge with three potential catalysts ($CuNi/SiO_2$, $CuSO_4$ and HCOOH, 5 wt % loading) at 250 – 350 °C was investigated. Primary results show that HCOOH performed the most effective regarding bio-crude yield increase. The maximum yield 26 wt % was obtained at 350 °C with HCOOH. For the aqueous phase, around 50 % of nitrogen was found after HTL at the stated conditions, mostly as NH4+. While nitrogen distribution in the bio-crude increased along with the decrease of that in solid residue with increasing temperature. The obtained bio-crude products were examined by thermogravimetric analysis (TGA); around 2 wt % water remained in the bio-crude, which can potentially influences the nitrogen content, suggesting that further process should be considered to remove the water and solved compounds from bio-crude. Additionally, the bio-crude samples were characterized by gas chromatography-mass spectroscopy (GC-MS); the identified nitrogen-heterocyclic compounds are mainly pyrazines, indoles and pyrroles, which are supposedly generated by Maillard reactions. The reaction pathways of nitrogen found in the bio-crude was investigated to obtain a better understanding about the mechanism of Maillard reaction pathways through HTL of sewage sludge.



Edoardo Miliotti, Università di Firenze/RE-CORD

Experimental experience on batch subcritical hydrothermal processing of lignin-rich stillage from 2nd generation ethanol process

Edoardo Miliotti, Prof. Dr. David Chiaramonti, PhD Andrea Maria Rizzo, Giulia Lotti, Stefano dell'orco
Università di Firenze/RE-CORD
Viale Morgagni 40,
50134, Firenze/Italia
Tel.: +39 (0)55 2758690
E-Mail: **edoardo.miliotti@unifi.it**

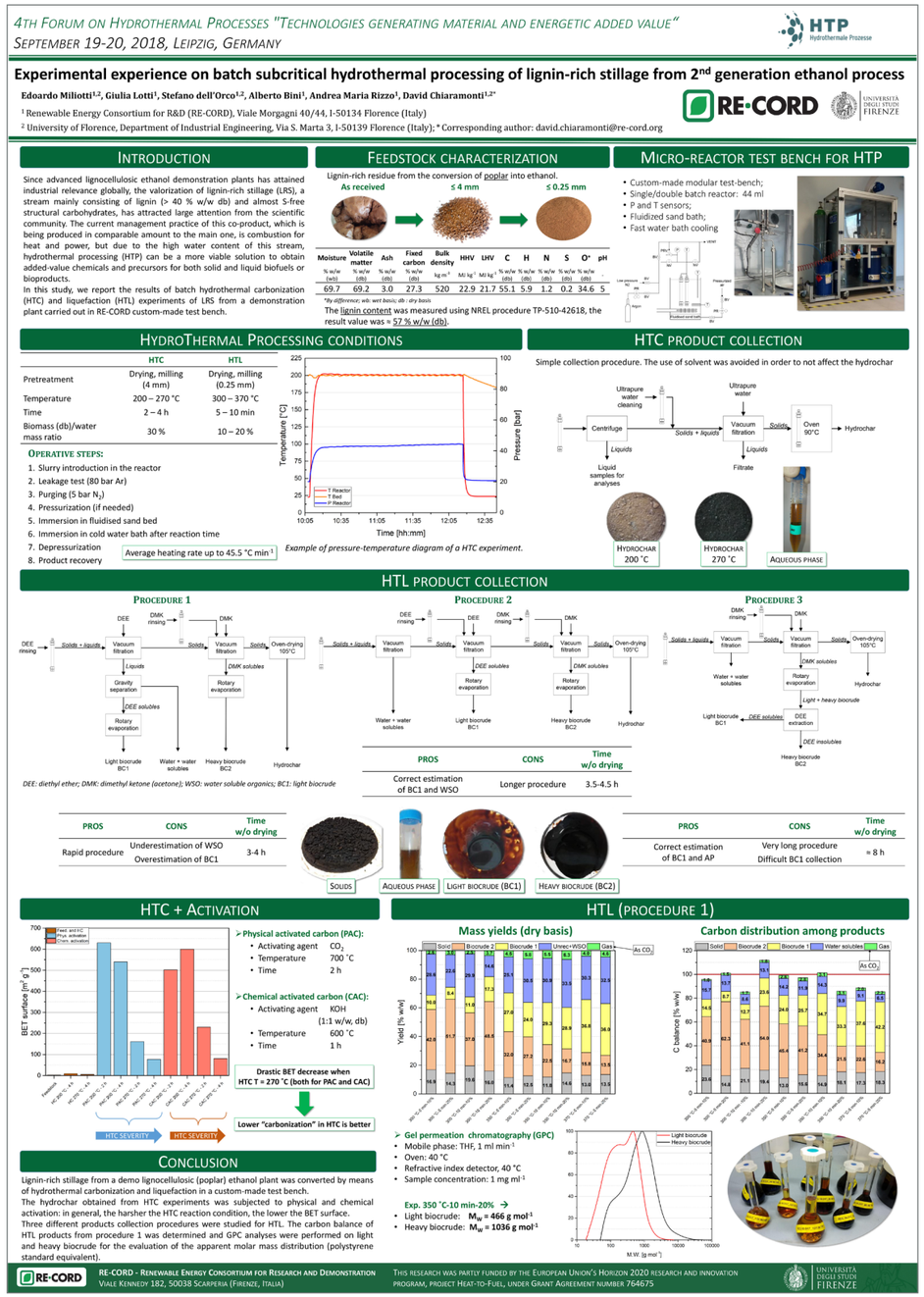
Since advanced lignocellulosic ethanol demonstration plants has attained industrial relevance globally, the valorization of lignin-rich stillage (LRS), a stream mainly consisting of lignin (> 40 wt. % d.b.) and almost S-free structural carbohydrates, has attracted large attention from the scientific community. The current management practice of this co-product, which is being produced in comparable amount to the main one, is combustion for heat and power, but due to the high water content of this stream, hydrothermal processing (HTP) can be a more viable solution to obtain added-value chemicals and precursors for both solid and liquid biofuels or bioproducts.

To the authors' knowledge, the reported experiences of lignin in HTP have been carried out on lignin from pulp and paper processes or high-purity model compounds, both of them structurally differing from LRS from 2nd generation ethanol processes. The present work aims at partly filling this gap by preliminary assessing the viability of converting this promising feedstock in batch, subcritical hydrothermal conditions and providing a comprehensive characterization of products.

The experimental experience of HTP was developed at RE-CORD thanks to a custom-made micro-reactor test bench (MRTB), were batch reactors of 27-41 ml were used for hydrothermal experiments up to 400°C and 300bar.

LRS was converted by means of hydrothermal carbonization (HTC) and hydrothermal liquefaction (HTL). In the HTC experiments, the reaction conditions were 200-300°C, 120-240min, 30wt% dry biomass-to-water ratio. The produced hydrochar was used as a precursor for activated carbon production by means of physical (CO_2) and chemical (KOH) activation. The obtained activated carbon were characterized with N2 adsorption at 77K in terms of BET surface area, microporosity and pore size distribution. Results showed that the higher the HTC severity the lower the activated carbon quality.

Regarding HTL, some exploratory experiments with reaction medium made of water-ethanol and water-glycerol mixture were performed; but a more in-depth investigation of operating parameters' influence on products, biocrude collection procedure and products characterization was carried out with HTL of LRS in pure water. In this latter case, the reaction conditions ranges were 300-350°C, 5-10min, 10-20wt% of dry biomass-to-water ratio. A two-step extraction procedure was developed in order to obtain a light and a heavy fraction of the biocrude and an analytical protocol was settled for biocrude quantitative characterization with GC-MS and water-soluble organics characterization with GC-MS and HPLC. Results showed that oxygenated aromatics were the most abundant class identified in the light biocrude (e.g. phenols, syringols, guaiacols as well as aromatic cyclic ketones and aromatic aldehydes), while the process-water contained also high amount of organic acids.



Paul Körner, Universität Hohenheim

Einblicke in Kinetik und Mechanismus der hydrothermalen Konversion von Fructose

Paul Körner, Prof. Dr. Andrea Kruse
Universität Hohenheim
Fachgebiet Konversionstechnologien nachwachsender Rohstoffe
Garbenstraße 9
70599 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 45924707
E-Mail: **Paul.Koerner@uni-hohenheim.de**

Die hydrothermale Konversion kohlenhydrathaltiger Biomasse erlaubt die Gewinnung interessanter Verbindungen wie 5-Hydroxymethylfurfural (HMF), Lävulin- und andere organische Säuren, aber auch eines kohlenstoffreichen, festen Produkts, das je nach Kontext als HTC-Kohle oder Humin bezeichnet wird. Insbesondere HMF gilt als vielversprechende Plattformchemikalie und damit als potentielle Alternative zu fossilen Rohstoffen. Es entsteht besonders gut durch die säurekatalysierte Dehydrierung von Ketohexosen, wie Fructose. Die Ausbeute wird jedoch durch die Bildung der genannten Nebenprodukte geschmälert. Ein tiefgehendes Verständnis des Reaktionsmechanismus, im Hinblick auf den Einfluss verschiedener Katalysatoren und Begleitstoffe sowie Eigenschaften des gebildeten Humins, ist daher nicht nur von großem grundlagenwissenschaftlichen Interesse, sondern liefert auch wichtige Anhaltspunkte für die Entwicklung zukünftiger HT-Prozesse für die Gewinnung von HMF aus Biomasse.

Einblicke in Kinetik und Mechanismus der hydrothermalen Konversion von Fructose

Paul Körner*, Andrea Kruse
*E-Mail: Paul.Koerner@uni-hohenheim.de

Hintergrund

Die hydrothermale Behandlung von Fructose unter Säurekatalyse führt zur Umsetzung in gelöste organische Verbindungen (HMF, Lävulin-, Ameisensäure) einerseits und unlösliche, makromolekulare Stoffe (Humin) andererseits.

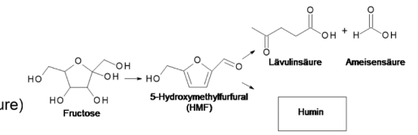


Abbildung 1: Produkte der hydrothermalen Behandlung von Fructose

Material & Methoden

- 10 ml 100 g/l Fructoselösung mit unterschiedlichen Mengen Säure werden für 5 bis 180 min bei 150°C behandelt
- Produktlösung wird filtriert, der feste Rückstand getrocknet und gewogen
- Mittels HPLC erfolgt die Bestimmung der Konzentration von Fructose, HMF, Ameisen- und Lävulinsäure, Furfural im Filtrat

Ergebnisse & Diskussion

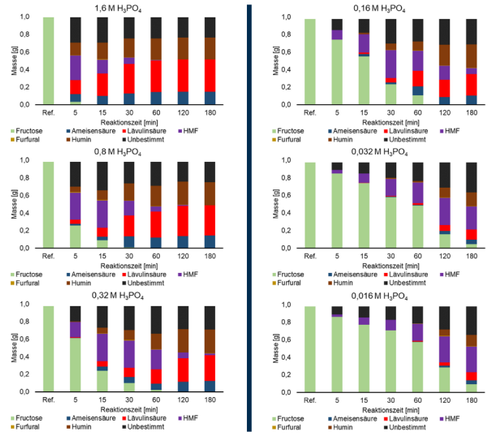


Abbildung 2: Massenbilanzen der hydrothermalen Behandlung von Fructose in Gegenwart unterschiedlicher Säurekonzentrationen

- Höhere Säurekonzentration bewirkt:
  - rascheren Abbau von Fructose und HMF
  - höheres Verhältnis von Lävulinsäure zu Humin, da Lävulinsäurebildung offenbar säurekatalysiert ist, Huminbildung nicht
- Nach vollständigem HMF-Abbau ist keine weitere Veränderung der übrigen Produkte zu beobachten
- Obwohl Lävulin- und Ameisensäure im Verhältnis 1:1 gebildet werden sollten (vgl. Abb.1), entsteht stets ein Ameisensäureüberschuss
- Max. HMF-Ausbeute (45%) ist weitgehend unabhängig von der Säurekonzentration, wird aber unterschiedlich schnell erreicht

Schlussfolgerung

Die Säurekonzentration hat einen großen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit der Fructosekonversion, die maximale Ausbeute an Lävulinsäure und Humin, nicht jedoch auf die maximale HMF-Ausbeute.

Lynn Hansen, Technische Universität München

Thermogravimetrische Analyse von HTC Biomasse - Einfluss von Reaktionsparametern und Ascheeigenschaften

Lynn Hansen, Sebastian Fendt, Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff
Technische Universität München
Lehrstuhl für Energiesysteme
Boltzmannstraße 15
85748 Garching bei München
Tel.: +49 (0)89 289 16266
E-Mail: **lynn.hansen@tum.de**

Europa weit wird etwa die Hälfte des finalen Energieverbrauchs durch das Heizen und Kühlen von Gebäuden verursacht. Biomasse macht hierbei mehr als 90 Prozent der erneuerbaren Wärmeerzeugung aus, auf den gesamten Wärmemarkt bezogen lag der Anteil der Biomasse-basierten Technologien 2007 jedoch nur bei 11 Prozent. Eine geeignete Technologie zur Nutzung von Biomasse zur Wärme und Stromerzeugung stellen Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK) Kraftwerke dar. Die größte Herausforderung für effiziente KWK und die Erzeugung von Wasserdampf mit hohem Druck und hoher Temperatur aus Biomasse sind aschebedingte Probleme wie Korrosion und Ablagerungen an Komponenten. Im Gegensatz zu fossilen Energieträgern ist bei Biomasse insbesondere der Gehalt an Alkalimetallen deutlich erhöht.

Vorangegangene Forschungsarbeiten belegen, dass durch eine Vorbehandlung von Biomasse die Eigenschaften biobasierter Brennstoffe deutlich verbessert werden können. Es konnte bereits gezeigt werden, dass durch die Vorbehandlung mittels hydrothermaler Carbonisierung (HTC) die Alkali-, Slagging- und Fouling- Indices von vorbehandelter Biomasse im Vergleich zum Rohmaterial gesenkt werden können.

Bisher unerforscht bleibt, wie sich eine HTC Vorbehandlung auf die Reaktivität der HTC Biomassen auswirkt. Dieser Aspekt wird im Rahmen eines EU Projektes zur Effizienzsteigerung von biomassebefeuerten KWK Kraftwerken an der TUM mittels thermogravimetrischen Messungen untersucht: Sowohl die Auswirkung einer Variation der Prozessgrößen Temperatur und Verweilzeit, als auch verschiedene Biomassequellen werden evaluiert. Die Auswirkungen verschiedener Parameter auf das Verbrennungsverhalten und die Aschequalität werden durch verschiedene Analysetechniken (e.g. RFA, Elementaranalyse) charakterisiert. Langfristig soll so ein Grundverständnis der ablaufenden Vorgänge erhalten werden und bisher ungenutzte Biomassepotentiale für eine energetische Nutzung zugänglich gemacht werden.

HTP-Fachforum 2018

Closing Session

Prof. Dr. Michael Nelles, Deutsches Biomasseforschungszentrum

Energetische und stoffliche Verwertung von biogenen Abfällen und Reststoffen

Prof. Dr. Michael Nelles, Dr. Ingo Hartmann, Dr. Volker Lenz, Dr. Jan Liebetrau, Dr. Franziska Müller-Langer, Prof. Dr. Daniela Thrän
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Str. 116
04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-112
E-Mail: michael.nelles@dbfz.de

Schlagworte: Kreislaufwirtschaft, biogene Abfälle und Reststoffe, stoffliche Verwertung, energetische Nutzung, Verwertungskaskaden

Die Entsorgungswirtschaft muss sich zunehmend an den Vorgaben nachhaltiger Ressourcen- und Klimaschutzziele ausrichten. Eine der zentralen globalen Zukunftsaufgaben ist dabei die Sicherstellung einer nachhaltigen, d.h. ökonomisch, ökologisch und sozial tragfähigen Versorgung mit Rohstoffen und Energie. In beiden Bereichen kann die Kreislaufwirtschaft einen wichtigen Beitrag leisten. Für Deutschland lässt sich hier eine positive Zwischenbilanz ziehen. Insbesondere die positiven ökologischen Effekte der Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen sind durch zahlreiche wissenschaftliche Studien belegt. In Deutschland trägt die Kreislaufwirtschaft inzwischen maßgeblich zum Klimaschutz bei, während in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern etwa 10 bis 15 % der klimarelevanten Emissionen aus abfallwirtschaftlichen Prozessen stammen. Der Aufbau einer modernen Abfall- und Recyclingwirtschaft leistet somit einen erheblichen Beitrag zur Lösung dieser globalen Zukunftsaufgaben.

Die Energieversorgung Deutschlands muss im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten vollständig auf erneuerbare Energien (EE) umgestellt und die Versorgung der Industrie mit organischen Grundstoffen in diesem Jahrhundert von petro- auf biobasierte Stoffe ausgerichtet werden. Dieses ambitionierte Ziel der langfristigen Integration von Biomasse in ein nachhaltiges Energie- und Bioökonomiesystem ist nur erreichbar, wenn die Biomasse effizient, umweltverträglich und mit höchstmöglichem volkswirtschaftlichem Nutzen eingesetzt wird. Schon heute nimmt die Bioenergie im Energiesystem eine besondere Stellung ein (2016: rund 9 % des Primärenergiebedarfs). Bezogen auf die Einsatzgebiete waren dies 2016 fast 30 % an der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien sowie über 90 % der erneuerbaren Wärme und regenerativen Kraftstoffe.

In den nächsten Jahrzehnten werden die Anforderungen und Rahmenbedingungen an die stoffliche und energetische Biomassenutzung im Zuge der Energiewende und dem Aufbau einer biobasierten Wirtschaft in Deutschland erheblich steigen. Nachhaltigkeitsbewertungen, Nutzungskonkurrenzen, die intelligente Verknüpfung von Wertschöpfungsketten sowie die Kopplung von Industriesektoren sind nur einige Felder, die in diesem Zusammenhang bearbeitet werden müssen. Deutschland kommt hierbei eine besondere Verantwortung zu. In vielen Technologiebereichen der Energie- und Rohstoffeffizienz, der erneuerbaren Energien und der Bioökonomie zählen deutsche Akteure in Wirtschaft, Forschung und Politik zur Weltspitze. Eine erfolgreiche Demonstration von Technologien und Systemen in einer der führenden Industriegesellschaften ist Voraussetzung, um internationale Märkte erfolgreich erschließen zu können. Eine optimierte Reststoff- und Abfallnutzung sowie deren Verwertung, z.B. in der Chemieindustrie sowie das Schließen von Nährstoffkreisläufen eröffnen ergänzende Wertschöpfungspotenziale für intelligent integrierte Bioenergieverfahren.





Universität Rostock Traditio et Innovatio

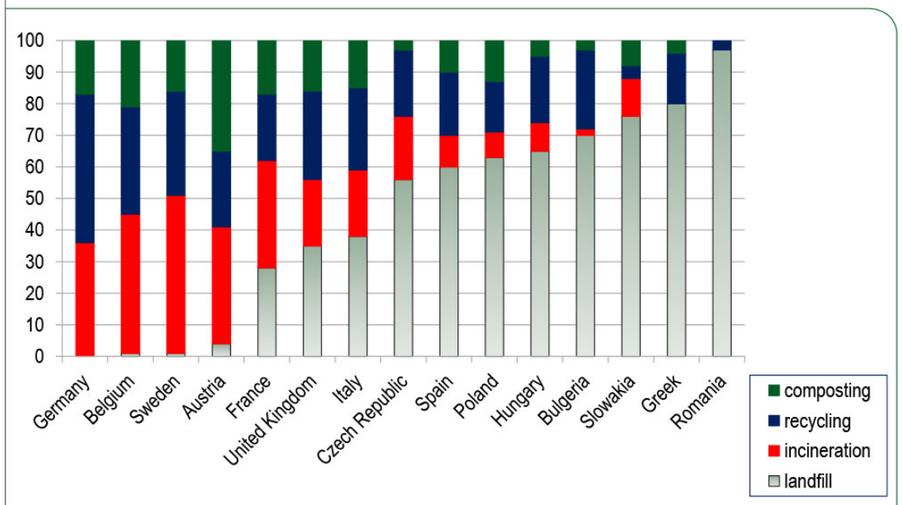
DBFZ

Waste Management in Europe

Universität Rostock Traditio et Innovatio

Status of MSW Treatment in Europe 2013

DBFZ



Source: EU, EuroStat 2015

© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FAKULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Universität Rostock Traditio et Innovatio

Waste Management Hierarchy

DBFZ

PREVENTION	using less material in design and manufacture, designing products for a longer life
PREPARING FOR REUSE	cleaning, repairing, refurbishing whole items or spare parts
RECYCLING	turning waste into new materials or products, includes composting if it meets quality protocols
OTHER RECOVERY	anaerobic digestion, incineration with energy recovery, gasification and pyrolysis which produce energy/fuels, some backfilling
DISPOSAL	landfill and incineration without energy recovery

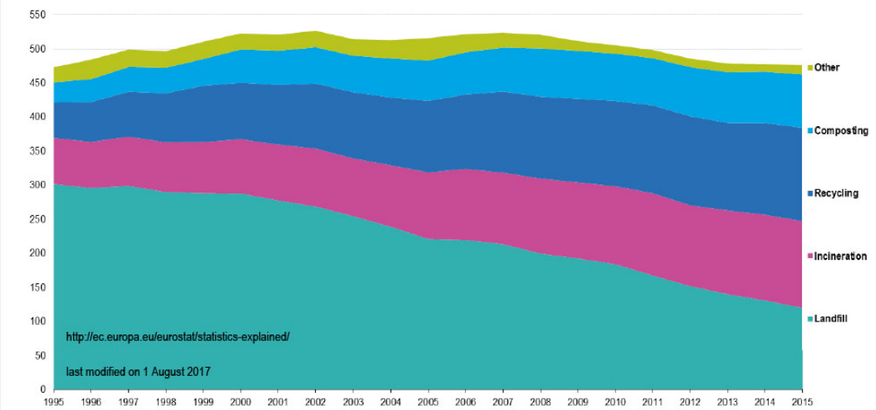
Source: EU Waste Framework Directive 2008/98/EC

© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FAKULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Universität Rostock Traditio et Innovatio

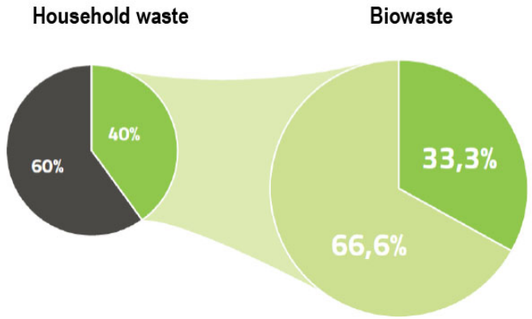
DBFZ

Municipal waste treatment, by type of treatment, EU-27, (kg per capita), 1995-2015



© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FACULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Biowaste potential of households in the European Union

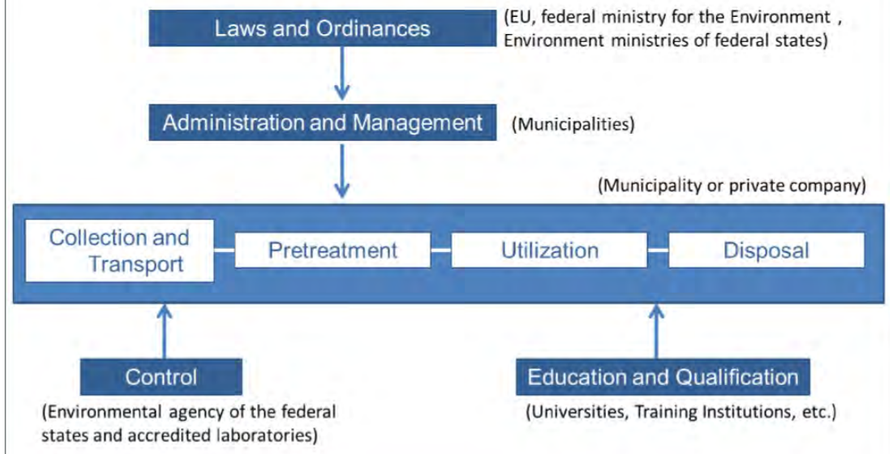


Source: ECN 2016: ECN Factsheet biowaste generates jobs, http://www.compostnetwork.info/

© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FACULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

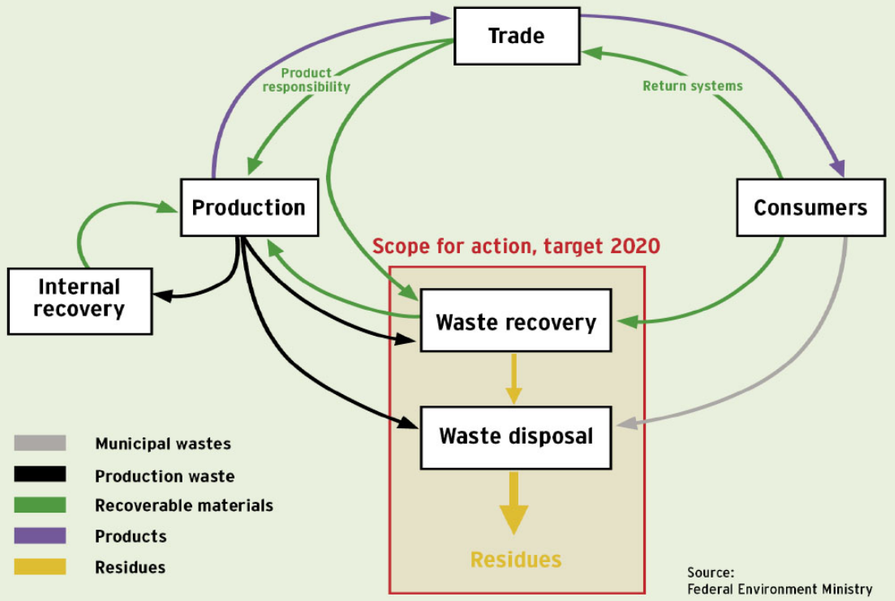
Waste Management in Germany

Elements and responsibilities of Waste Management in Germany



© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FACULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Model: German waste policy as an integral component of sustainability



Waste disposal in Germany 2000 to 2015 (in millions of tonnes)



© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FACULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

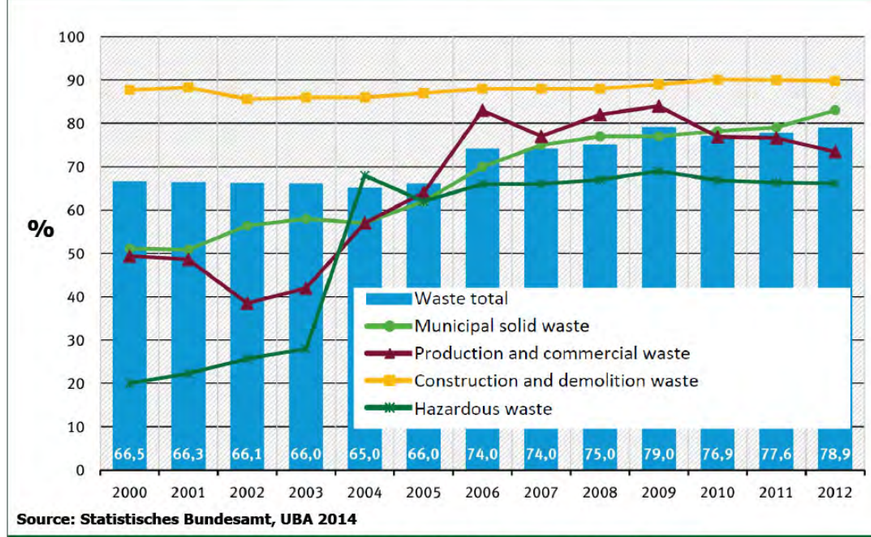
Decoupling of waste generation from economic output (2000-2015)



Source: Federal Statistical Office, 2017

© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FACULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

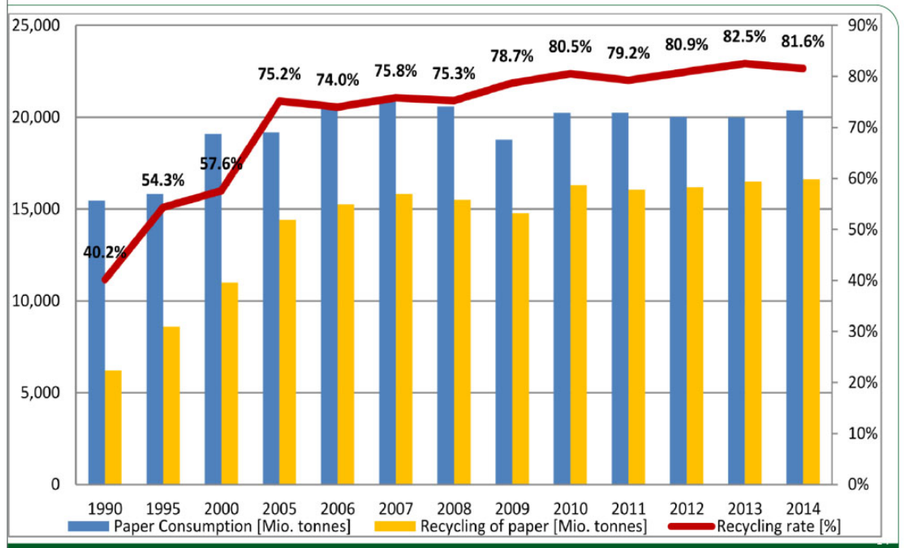
Recovery rates of important types of waste



Source: Statistisches Bundesamt, UBA 2014

© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FAKULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Recycling of Waste Paper in Germany (1995 – 2014) (UBA, 2016)

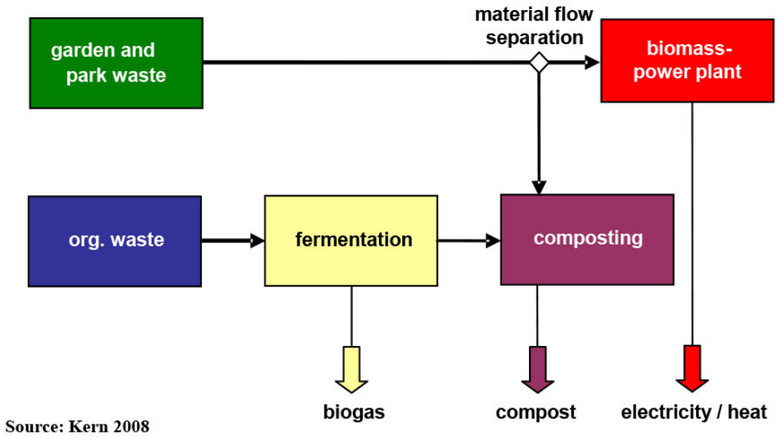


© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FACULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Universität Rostock Traditio et Innovatio

DBFZ

Intelligent integration of the anaerobe fermentation process into the waste treatment concept



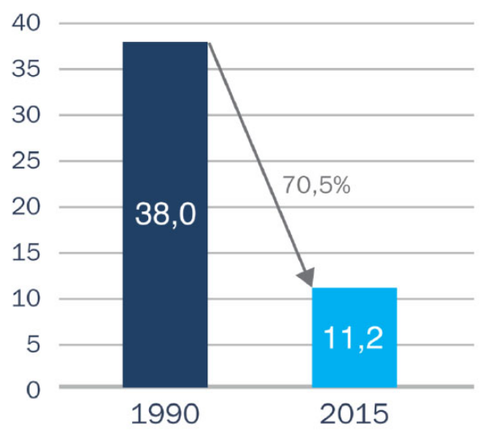
Source: Kern 2008

© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FACULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Universität Rostock Traditio et Innovatio

DBFZ

Reduction of greenhouse gas emissions of the German waste management industry, 1990-2015 (in million tonnes)



Source: Umweltbundesamt [Federal Environment Agency], „Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2015" [National Trend Tables for the German Atmospheric Emission Reporting 1990-2015], 2017

© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FACULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Universität Rostock Traditio et Innovatio

The end of a climate killer – waste management clearly improves CO_2 balance

DBFZ

Waste landfilled after 2005 emits almost no climate-relevant greenhouse gases



Emissions of greenhouse gases in million tonnes CO_2-equivalents

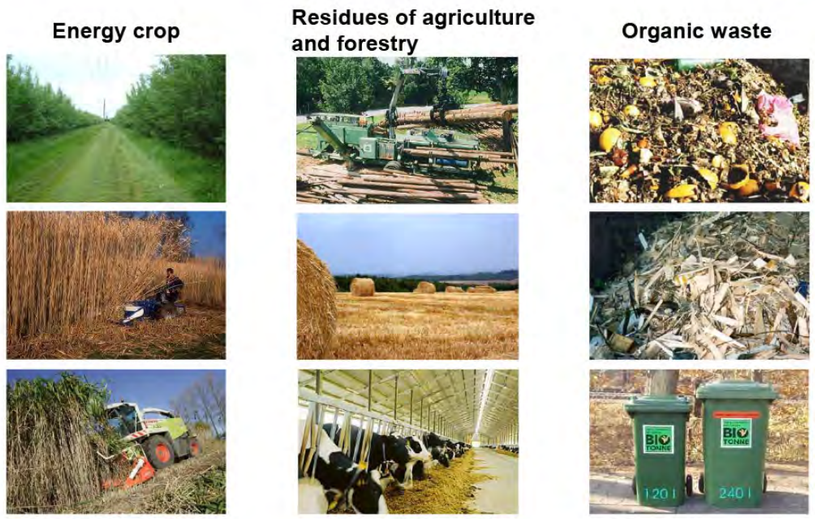
Source: IFEU Study 2010, Öko-Institute e. V.

© 2009 UNIVERSITY OF ROSTOCK | FACULTY OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

DBFZ

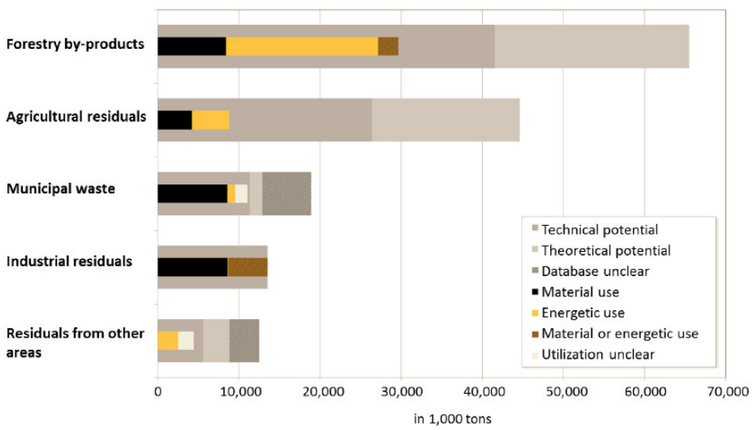
Organic waste and residues in Germany

Biomass for the energy system



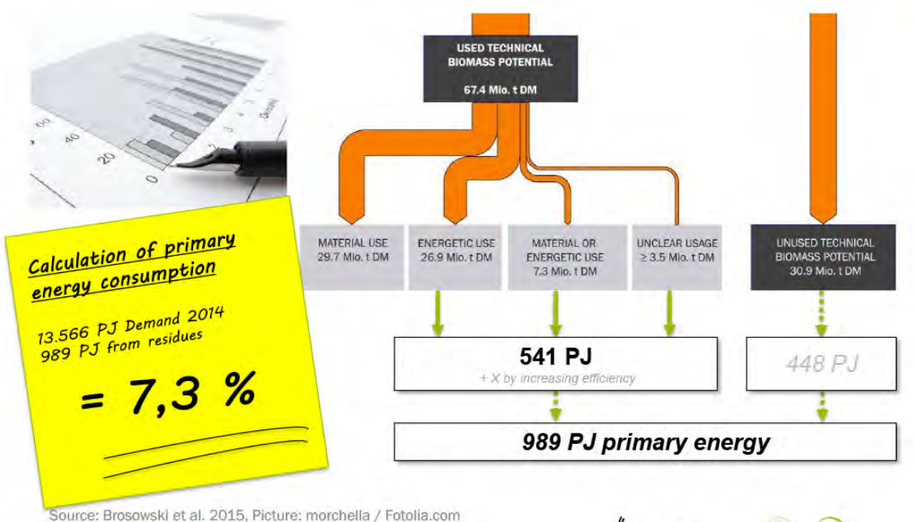
Current utilization of different biogenic waste and residues categories in Germany

(dry mass per year)



Source:Brosowski et al. 2015, FNR-research project FKZ 22020114 , Project BioPot

What do these results mean?

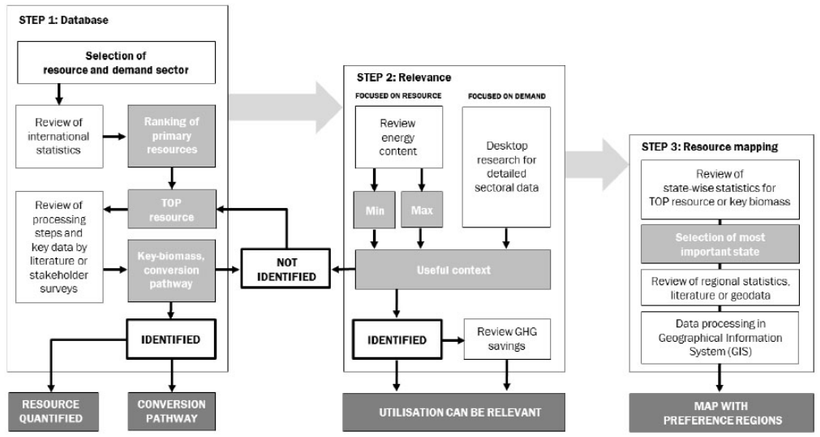


Source: Brosowski et al. 2015, Picture: morchella / Fotolia.com

DBFZ-Multi-Step-Quick-Scan

Multi-Step-Quick-Scan

Identification of Hot Spots for Resource Mobilisation



Step 2: Relevance

Identification of useful context



WHAT DOES THAT MEAN?



50-60 million cylinders

+1.2 million t (dm) manure



Existing Light Motor Vehicles (passenger).....

Source: Transport Research Wing, Ministry of Surface T

Theoretical number of tuk tuks that could drive 5,000 km with

CNG from press mud.....

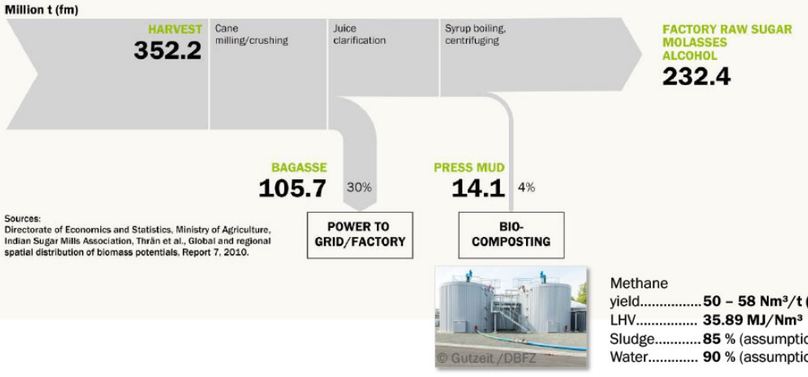
-80 % CO_2-eq

Fuel c.: 3.5/100km, LHV_{petrol}:30,5 MJ/l,
100 km = 106,75 MJ, 5,000 km = 5,338 MJ

Step 1: Database

Analysis of resource processing and identification of key-biomass

SUGARCANE PROCESSING IN INDIA 2015-2016



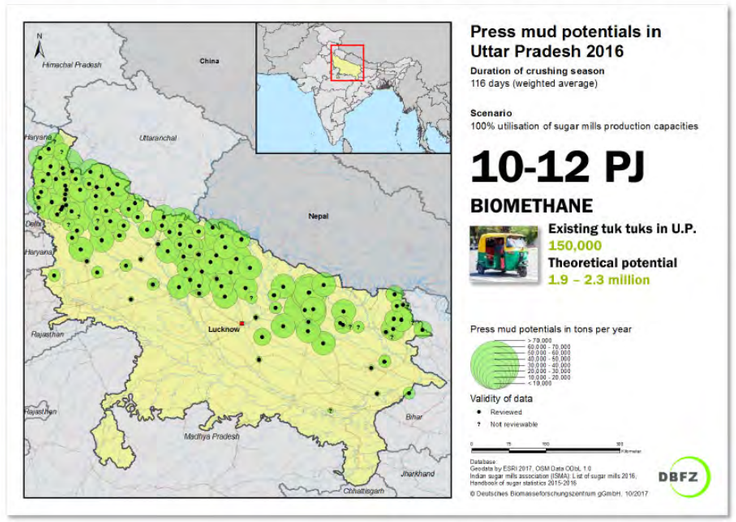
Sources:
Directorate of Economics and Statistics, Ministry of Agriculture, Indian Sugar Mills Association, Thrän et al., Global and regional spatial distribution of biomass potentials, Report 7, 2010.

Methane
yield.....**50 – 58 Nm³/t (fm)**
LHV.....**35.89 MJ/Nm³**
Sludge.....**85 %** (assumption)
Water.....**90 %** (assumption)

Sources: Janke 2015 (tests in laboratory), Kaltschmitt et al. 2016

Step 3: Resource Mapping

Allocation and quantification of biomass sources



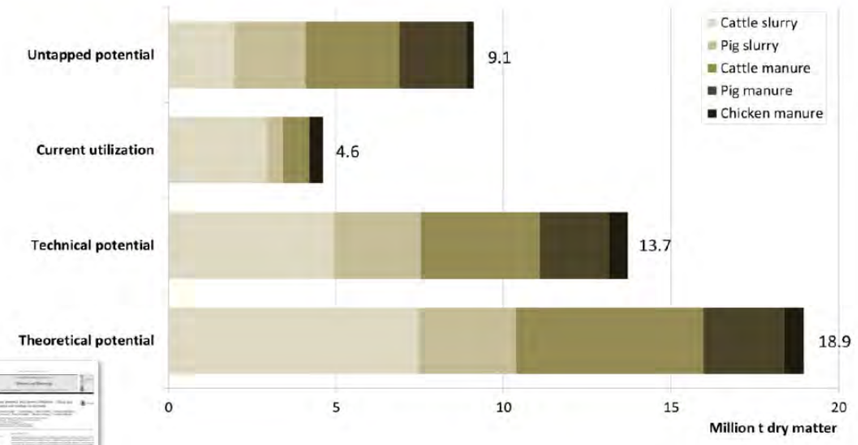
DBFZ

Waste and residues from animal farming

Slurry and manure from livestock in Germany

Resource potentials

DBFZ





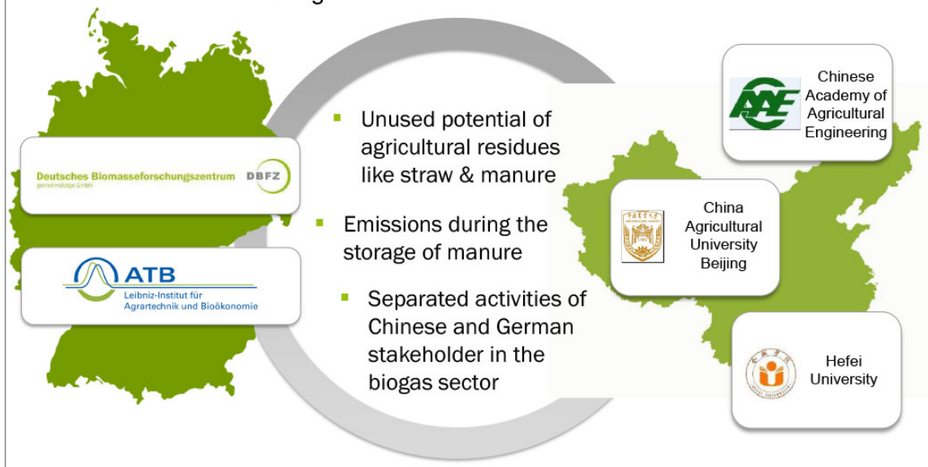
Brosowski, A., Thrän, D., Mantau, U., Mahro, B., Erdmann, G., Adler, P., Stinner, W., Reinhold, G, Hering, T., Blanke, C.: A review of biomass potential and current utilisation - Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany, Biomass and Bioenergy, 95, p. 257-272, DOI 10.1016/j.biombioe.2016.10.017

Challenges in China & Germany

With support from Federal Ministry of Food and Agriculture by decision of the German Bundestag

DBFZ

Scientists face the challenges



By chris 論 - Own work, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10765865

By Alanmak - Own work, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=575771

ChinaRes-project

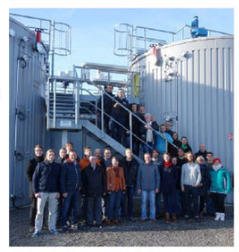
With support from Federal Ministry of Food and Agriculture by decision of the German Bundestag

DBFZ

Duration: November 2017 – October 2020

We are fostering the utilization of agricultural residues & emission reduction in the biogas sector in China & Germany via

- **Identification of best-case plant concepts (barn, manure management and biogas plant)**
- **Identification of barriers for the energetic use of agri-residues**
- **Development of technical concepts for a better design and a coordinated operation of barn and biogas plant**
- **Comparison of results of China - Germany**
- **Networking activities amongst Chinese and German stakeholder**



Other current projects

Rostock University & DBFZ

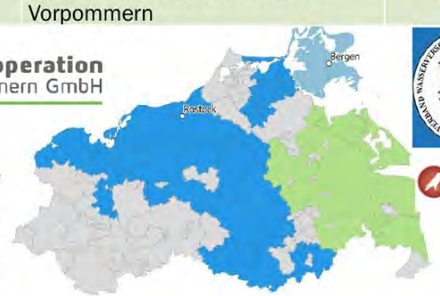
REPHOR-Initiative MV:
Utilization of Sewage Sludge in Mecklenburg-Vorpommern

Category	Disposal Route	Stakeholder	Sewage Sludge (kg DM/a)
K 1a K 1b	Incineration	a) Klärschlamm-Kooperation MV b) Zweckverband Wasserversorgung und Abwasserreinigung Rügen	25,000 2,000
K 2	Hydrothermal Carbonisation	HTCycle (Build & Operate) counties in Vorpommern	3,800
K 3	Others	Other counties in Mecklenburg-Vorpommern	10,200

Klärschlamm-Kooperation Mecklenburg-Vorpommern GmbH

Universität Rostock Traditio et Innovatio

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



ZWECKVERBAND WASSERVERSORGUNG UND ABWASSERBEHANDLUNG RÜGEN

HTCycle

SIAAP Syctom Innovation Partnership (2017 - 2026)

Combined energetic use of sewage sludge and bio waste in the City of Paris

Co-digestion of sludge and household waste (with fat and horse manure)

- Innovative treatment system is mandatory
- Energy recovery has to be maximised
- Waste and by-products to be minimised



Three-stage innovation partnership
- Lab → pilot stage → commercial plant
- First stage – scientifically led by DBFZ – characterises substrates and prepares pilot plant planning

tilia GICON francebiogaz Fraunhofer IGB

HYTORF
Production of peat substitutes by hydrothermal conversion of landscape conservation material

Duration: 11/2017 – 10/2018
Funding source: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, FKZ: 22009916

Objectives: Evaluation and assessment of the hydrothermal carbonization of landscape conservation material to produce high-quality peat substitutes

Methods: Definition of peat substitute product requirements; laboratory and large-scale carbonization experiments; mixing, storage and cultivation trials & hydrological investigations; techno-economic evaluation of the concept

Results:
- Carbonization and cultivation successfully completed
- Processing of experimental results and techno-economic evaluation ongoing



Peat substitute application for the cultivation of tomatoes and peppers

Partners:
- Gramoflor GmbH & Co. KG
- bioscape ökologische Produkte und Dienstleistungen GmbH

GRAMOFLOR Bioscape

Gefördert durch: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

HTC-liq

Reactor and process development for the combined recovery of valuable materials and waste water treatment by hydrothermal

Duration: 04/2017 – 03/2020

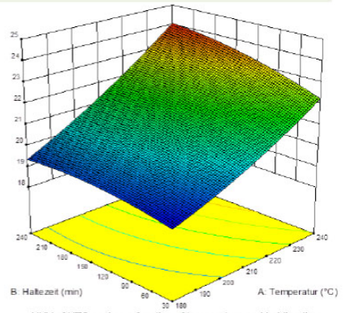
Funding source: Sächsische Aufbaubank (SAB) – EFRE Technologieförderung, FKZ: 100283030

Objectives: Production of valuable materials, e.g. carboxylic acids, HTC coal by hydrothermal carbonization of residual and waste materials from Saxony

Methods: Analysis of available raw materials, HTC of selected starting materials, variation of HTC parameters to improve product yield and quality, analysis of products (solid/liquid), techno-economic evaluation of the concept

Results:
- Successful screening of feedstock in Saxony
- Lab-scale HTC experiments and analyses completed

Partners:
- Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems IKTS, Dresde
- LTC – Lufttechnik Crimmitschau GmbH



HHV of HTC coal as a function of temperature and holding time during hydrothermal carbonization; Source: DBFZ

Europe funds Saxony. EFRE European Regional Development Fund

European Union

Solid residues to high quality fuels (RtF)



Florafuel AG Anlage



washing of biogenic residues and wastes like leaves, landscape cleaning grass, wood residues generates fuels comparable to wood

torrefaction increases durability, homogenity and heating value for future flexible operating systems





Quelle: Pusch AG







micro-scale gasifier CHP 0.55 kW_e

Quelle: Krüger, DBFZ 2014

Project - GASASH

Title:
Thermo-chemical conversion of agricultural residues in a gasification-CHP-plant with coupled ash utilization

DBFZ sub-project:
Investigations on the product gas quality, CHP emissions, emission abatement and the utilization of the ashes

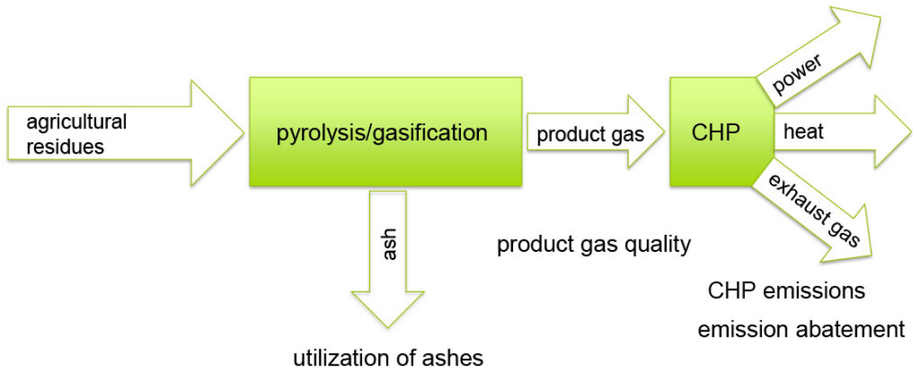
Residues
Rice husk, fermentation residues

Funding: BMWi/PtJ, Energetische Biomassenutzung

Project duration: 1.09.2018 – 31.08.2020 (2 years)

Project partners: DBFZ, LiPRO Energy, Fachhochschule Südwestfalen

GASASH – process route



Conclusion and Outlook

- The development and implementation of an efficient **Waste Management System** is one important part of **Environmental Protection**
- High amount of **organic waste and residues in Germany** available for energetic and material use, but better utilization efficiency and cascading necessary
- The sustainable utilization of organic waste an residues are key elements in the **Energy System & Circular Economy** of the future and an important contribution for **Climate Protection**

Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

Smart Bioenergy – Innovations for a sustainable future!

Contact:

Prof. Dr. mont. Michael Nelles
Daniel Mayer
Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän
Dr.-Ing. Jan Liebetrau
Dr.-Ing. Volker Lenz
Dr.-Ing. Franziska Müller-Langer

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116
D-04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434 – 112
E-Mail: info@dbfz.de
www.dbfz.de

Prof. Dr. Daniela Thrän, UFZ/DBFZ/Universität Leipzig

Bioenergy in a CO_2 Economy

Prof. Dr. Daniela Thrän[123], Dr. Eric Billig, Maria Braune, Alena Hahn, Christiane Hennig, Dr. Marco Klemm, Dr. Volker Lenz, Dr. Nora Szarka
[1] Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Bioenergie (BEN), Permoser Straße 15, 04318 Leipzig
E-Mail: daniela.thraen@dbfz.de
[2] DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig
[3] Universität Leipzig, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, IIRM - Isnstitut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement - Lehrstuhl Bioenergiesysteme, Grimmaische Straße 12, 04109 Leipzig

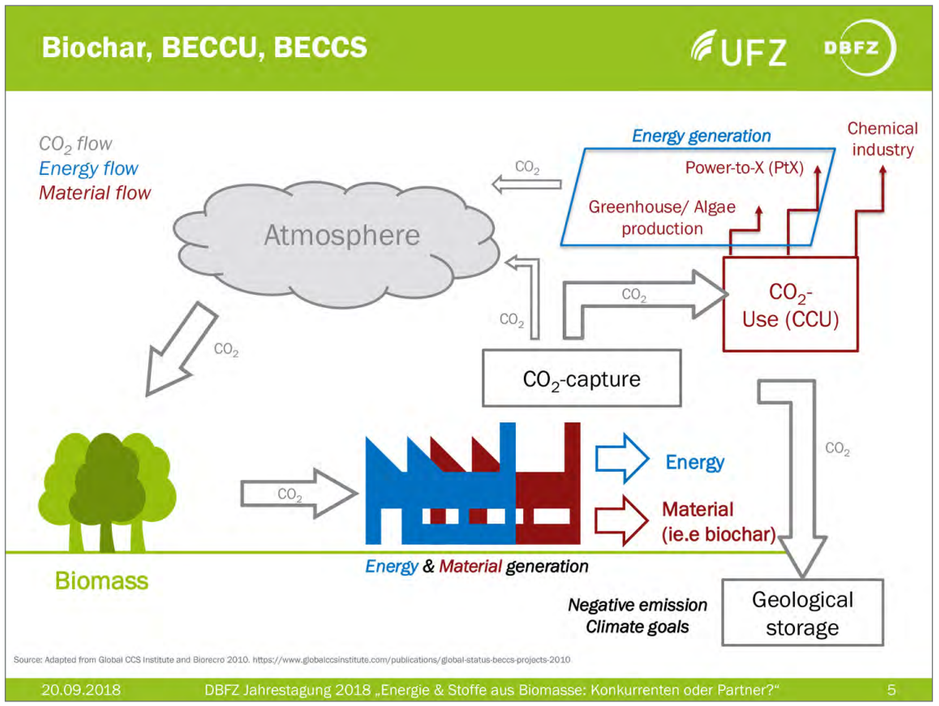
Die Einhaltung der Klimaschutzvereinbarungen von Paris erfordern nicht nur eine schnellen und umfassende Reduktion der Klimagasemissionen in allen Sektoren, sie Bedarf mit hoher Wahrscheinlichkeit auch der Entnahme von CO_2 aus der Atmosphäre. Neben dem Klimaschutzbeitrag durch die Substitution von fossilen Energien, der in den vergangenen Jahren in der Größenordnung von über 60 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalent jährlich lag, ließe sich bei CO_2-Abscheidung bei der Bioenergiebereitstellung der Beitrag weiter erhöhen. Voraussetzung dafür wäre, dass das abgeschiedene CO_2 dauerhaft eingelagert werden kann (sogenannte CCS-Konzepte).

Das abgeschiedene CO_2 kann alternativ auch dem Markt zur Verfügung gestellt werden und in Produkte integriert werden, die dauerhaft nutzbar sind (sogenannte CCU-Konzepte). Eine weitere Option zur dauerhaften Nutzung von biogenem Kohlenstoff ist die Nutzung von Biomasse in langlebigen Baumaterialen oder die Bodenverbesserung mit Biokohlen; bei diesen Verfahren ist die Bedeutung von Bioenergie allerdings eher gering. Für alle diese Konzepte gilt, dass es neben Entwicklungsbedarf bei Prozessen und Komponenten vor allem der Markterprobung bedarf, um ihr techno-ökonomisches Potenzial einzuordnen.

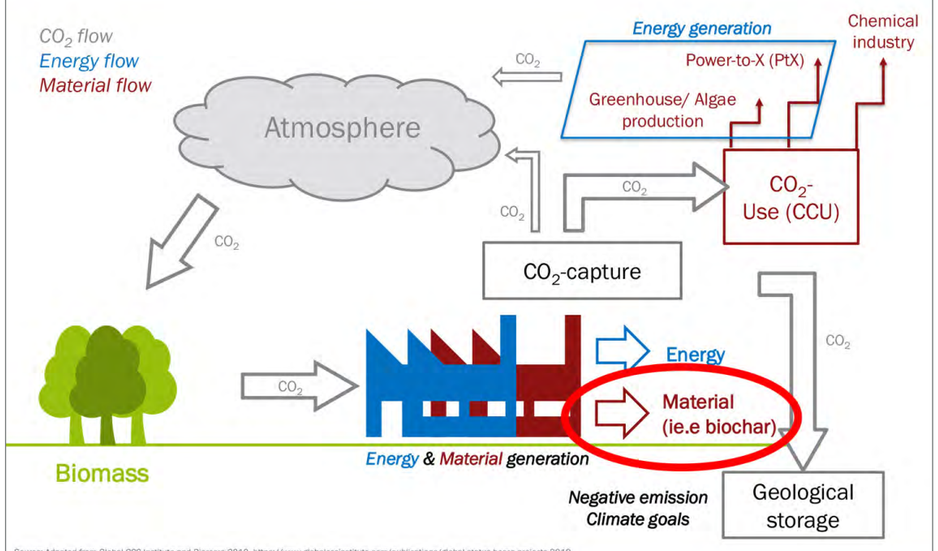
Es sind aber nicht nur die technischen Aspekte: Entscheidend ist die Akzeptanz der Technologiesysteme, sowohl für Bioenergie als auch für CCS. Die gesellschaftliche Debatte um CCS steckt noch in den Kinderschuhen und ihr Ausgang ist offen. Je nach Ausgang wird Bioenergie eher in kleinen oder großen Einheiten bereitgestellt werden, denn CO_2-Abscheidung ist aufwändig und günstiger in großen Anlagen erreichbar. Aber auch andere Ungewissheiten der Rolle er Bioenergie in einer CO_2-Wirtschaft liegen noch vor uns: Flüssige Biokraftstoffe aus Ligonzellulose könnten fossile Kraftstoffe ab morgen auch in langlebigen Transportsystemen wie Flugzeugen oder Schiffen in nennenswertem Umfang ersetzen. Allerdings müssen dafür der Biomasseaufschluss, die Aufreinigung zu defi nierten Zwischenprodukten und die Erzeugung von einsatzfähigen Kraftstoffen sicher gestellt sein. Hier sind vor allem technische Entwicklungsfortschritte notwendig. Schließlich wird sich auch die Frage der Wärmeversorgungsinfrastrukturen (Ausbau von Wärmenetzen) auf die künftige Bioenergienutzung wirken.

Die künftige Bioenergienutzung hängt damit von verschiedenen künftigen Entscheidungen ab. Bis dahin sollte Bioenergie in den bekannten Anwendungen fossile Energieträger substituieren und die damit verbundenen Klimaschutzpotenziale nutzen – und das Systemverständnis mit besseren Bioenergiemodellen erhöhen.



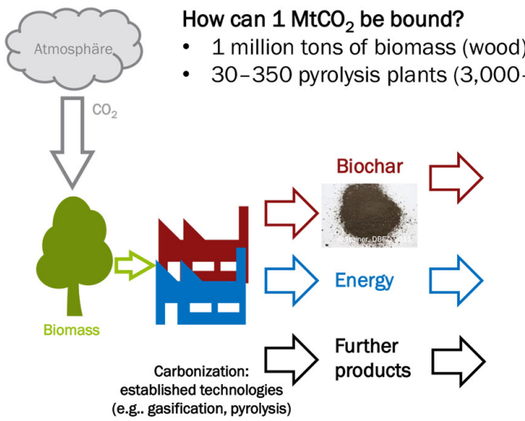


Biochar from biomass



Source: Adapted from Global CCS Institute and Biorecro 2010. https://www.globalccsinstitute.com/publications/global-status-beccs-projects-2010

Biochar from biomass



How can 1 MtCO_2 be bound?

- 1 million tons of biomass (wood)
- 30–350 pyrolysis plants (3,000–30,000 t/a)

Long term carbon storage: biochar contains 30–60 % of the energy (15–40 % of the weight of the wood)

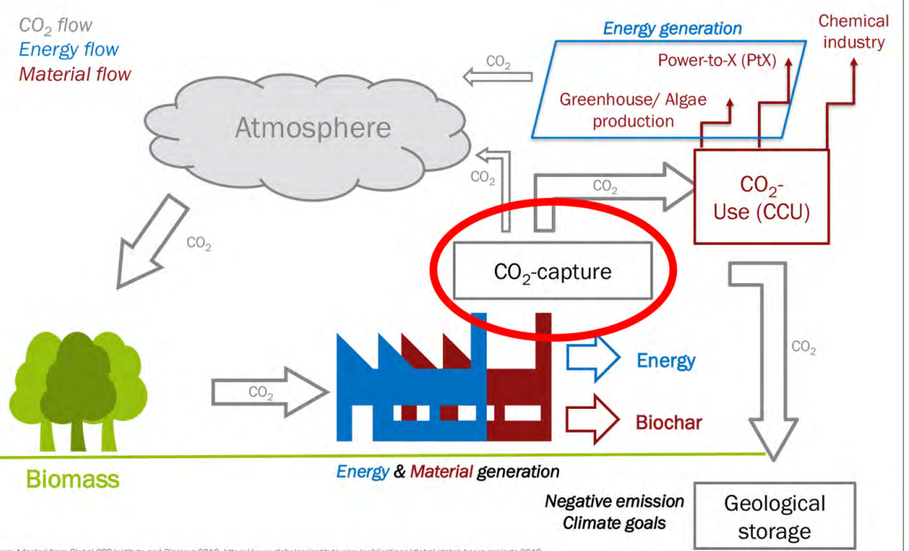
Pyrolysis oil and (or) gases

Trace substances can be extracted, i.e. fertilizer (but state of the art)

- Possibility to use energy plants on degraded lands or residues
- Very cost effective solution among NETs
- Technology is available

- Several positive side effects when using as soil amadement: lower emissions, higher yield, better soil water balance
- Larger scale production still missing!

CO_2 removal from bioenergy plants



Source: Adapted from Global CCS Institute and Biorecro 2010. https://www.globalccsinstitute.com/publications/global-status-beccs-projects-2010

CO_2 removal from bioenergy plants

Type of plant	Number of plant s (Status 2016; Heat 2014)	Typical CO_2-availibilty per plant	Theoretical CO_2 potential of the running plants
BtL- plant	0	up to 900 kt/a (?)	none
Bioethanol	5	48–271 kt/a	665 kt/a
Biomethane	200	7.5–8.5 kt/a	1,500 kt/a
Biomass heating power plant	300	5–30 kt/a	6,380 kt/a
Biogas (on-site conversion in to electricity)	9.000	2.5–3.5 kt/a	27,000 kt/a
Biomass combustions plants /boilers	11,123,300	0.0005–1.5 kt/a	40,000 kt/a

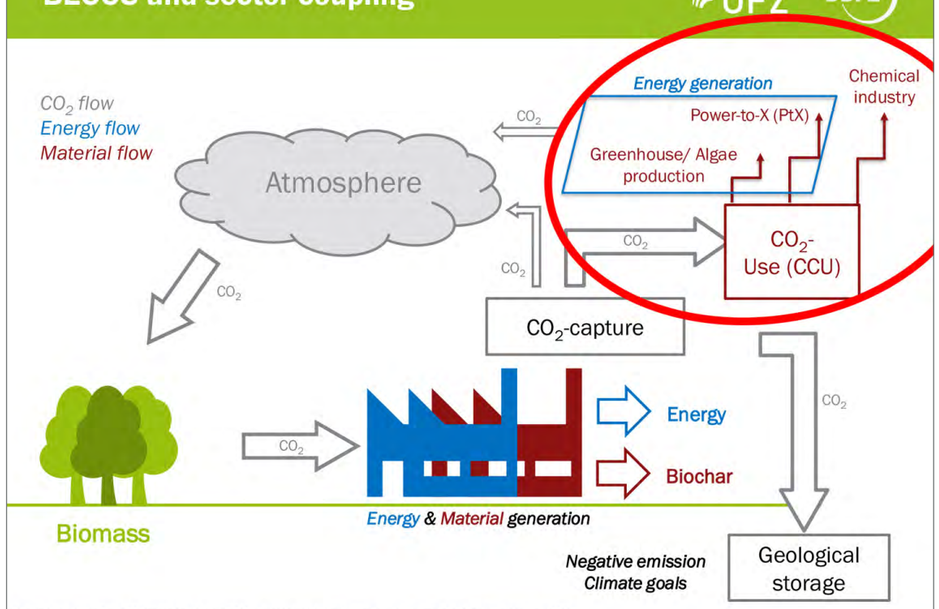
How can 1 mio tons of bio-CO_2 be delivered?

- 8–20 bioethanol plants
- or 130 biomethane plants
- or 60 biomass heating power plants

Costs: 100–200 US$/t$CO_2$
(Fuss et al. 2018)

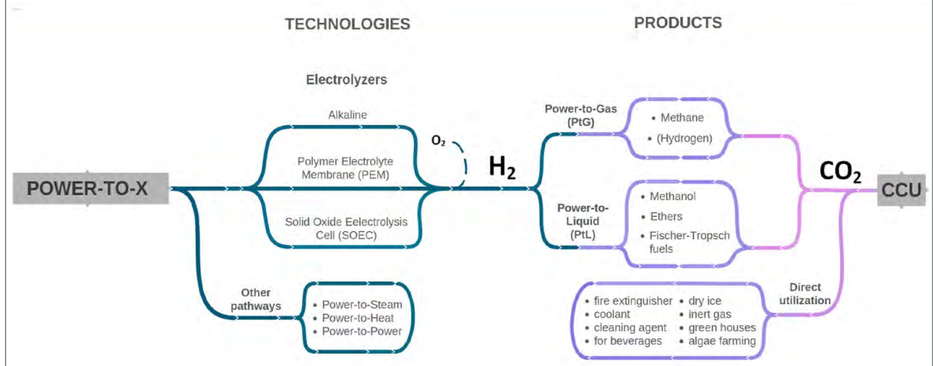
Own calulation; data based on DBFZ-Report 11 2016; DBFZ-Report 22 2016, Trost et al 2012, BMUB 2012, NABU 2009, VDZ 2014, VDEh 2014, SMUL 2014

BECCU and sector coupling



Source: Adapted from Global CCS Institute and Biorecro 2010. https://www.globalccsinstitute.com/publications/global-status-beccs-projects-2010

BECCU and sector coupling

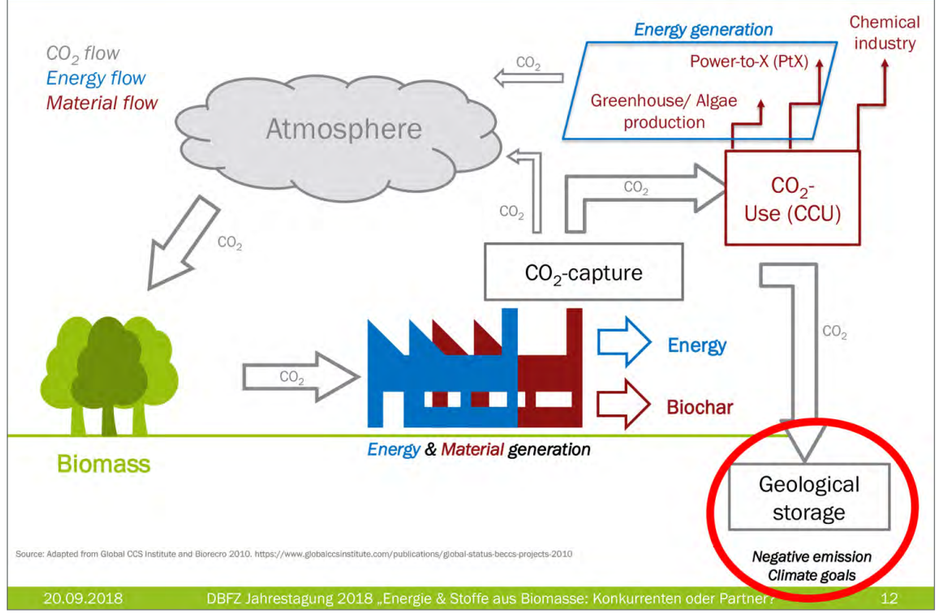


Where can 1 $MtCO_2$ be bound?

- 0,37 Mt biomethane
- or 0,73 Mt methanol
- or 0,24 Mt Fischer-Tropsch fuels

Source: Billig et. al 2019, Non-fossil CO2 recycling – The technical potential for present and future utilization for chemicals in Germany. in submission.

BECCS



Source: Adapted from Global CCS Institute and Biorecro 2010. https://www.globalccsinstitute.com/publications/global-status-beccs-projects-2010

Summary

Bioenergy has a crucial role to achieve the Paris Agreement and can support CO_2 removal in different ways

But:

- The system will become more complex
- Bioenergy technologies with CCU provide many options with a limited potential
- Bioenergy technologies with BECCS will look very different from today (from decentral to central)
- Implementation of CCS is much more than only forcing another technology

➢ **The decision on CCS is one of the (at least) three substantial decisions for long term transformation of the actual bioenergy use**

Conclusion

To decide on the role of bioenergy in a CO_2 economy we need:

1. Pilots for BECCU (biochar)
2. Discussion on BECCS (BE potential, CCS acceptance, political setting)
3. further development of wood-based biorefineries for the provision of biofuels (potentially in combination with CCS)
4. System understanding (from regional to global, including all sustainability dimensions, coupling material, energy and CO_2-emoval aspects)
5. Roadmap for transformation

Contact

Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän

- Head of Department Bioenergie (BEN)
  Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ
- Head of Bioenergiesysteme (Bereich BS)
  Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH – DBFZ

- Torgauer Straße 116, D-04347 Leipzig
  www.dbfz.de / www.ufz.de
  Tel.: +49 (0)341 2434 – 435
  Fax: +49 3412434-133

Prof. Dr. Dirk Enke, Universität Leipzig

Potenziale der biogenen Silika - ein Rohstoff für die Zukunft?

Prof. Dr. Dirk Enke, Denise Schneider
Universität Leipzig
Linnéstraße 3,
04103 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 9736304
E-Mail: **dirk.enke@uni-leipzig.de**

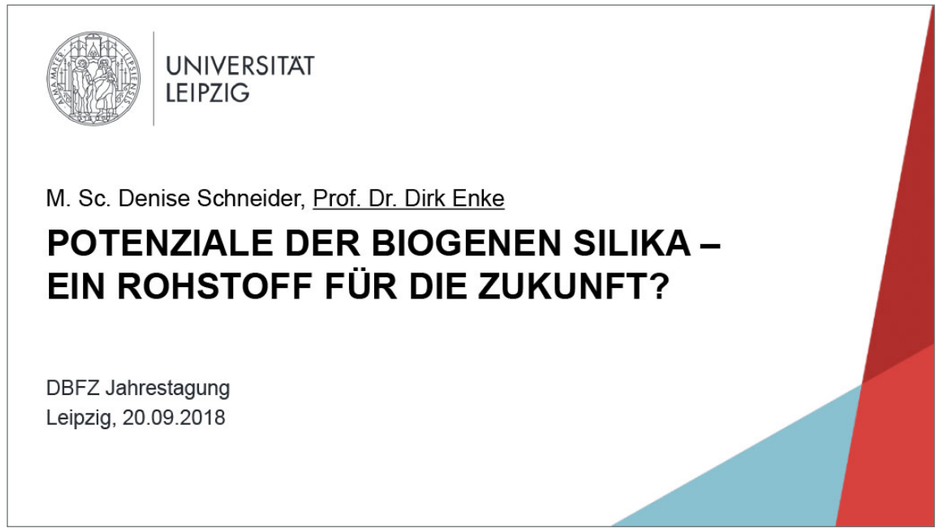
Schlagwörter: biogenes Silika, poröse Materialien, "Green Chemistry"

Biogenes Silika, also biologischem Ursprungs, wird u. a. aus Diatomeen (Kieselalgen) oder Si-reichen Pflanzen gewonnen. Aus ökonomischen, ökologischen und nachhaltigen Gründen ist es vorteilhaft, nachwachsende Rohstoffe für die Herstellung von porösem Silika einzusetzen. Daher ist biogenes Silika eine “grüne” Alternative zu anderen Silika-Produkten wie Fällungskieselsäuren, Kieselgel und pyrogenes Silika, die in sehr energieintensiven Prozessen hergestellt werden.

Die Herstellung von biogenem Silika kann z.B. aus Agrarreststoffen wie Reisspelzen erfolgen. Bei der Reisproduktion fallen bis zu 20 Ma.-% Reisspelzen als Reststoff an.

Über die Aufreinigung von geeigneten Si-reichen Biomassen mit organischen oder anorganischen Säuren sowie anschließender Kalzinierung lässt sich eine weiße Asche (bei Reisspelzen bis zu 20 Ma.-%) mit SiO_2-Anteilen von über 99 Ma.-% erhalten. Die Verbrennung kann als weitgehend CO_2-neutral angesehen werden, da die Pflanzen während ihres Wachstums CO_2 aufnehmen, das während des Verbrennungsprozesses freigesetzt wird. Durch den hohen Heizwert der Spelzen von 13 16 MJ/kg kann die sich selbst erhaltende Verbrennung mit der Generation von Energie gekoppelt werden, um eine kombinierte stoffliche und energetische Nutzung zu ermöglichen.

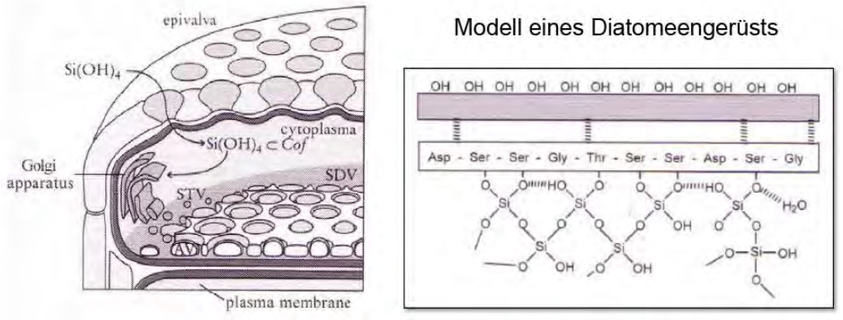
Das nach der Kalzinierung verbleibende biogene Silika besitzt eine hohe Porosität, eine große spezifische Oberfläche und eine niedrige Wärmeleitfähigkeit. Es findet daher Anwendung z. B. in der Isolation von flüssigem Stahl gegen Temperaturverluste, als Flammschutzmittel, als Pigment in Spezialfarben, als Adsorptionsmittel bei der Wasseraufbereitung sowie als Katalysatorträgermaterial. Außerdem kann es zur Herstellung von Siliciumcarbid (SiC), Siliciumnitrid (Si3N4), Siliciumtetrachlorid (SiCl4), Tetraethylorthosilicat (Si(OEt)4) und für die Produktion von hochreinem Silizium für Solaranlagen eingesetzt werden. Darüber hinaus kann es zur milden Synthese von Wasserglas (Alkali-Silikat) und als Zusatzstoff in Zement oder in Beton verwendet werden und damit einen Beitrag zur weltweiten Sandkrise leisten. Biogenes Silika ist daher auf vielfältige Weise als Rohstoff der Zukunft zu sehen.





Biogenes Silika | Diatomeen

SI METABOLISMUS VON KIESELALGEN

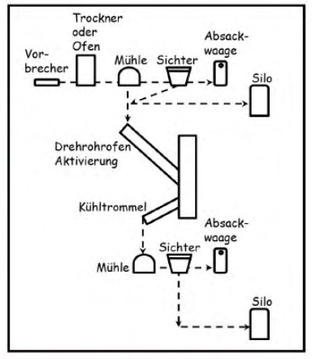


Modell eines Diatomeengerüsts

Biogenes Silika | Diatomeenerde

ABBAU UND AUFBEREITUNG

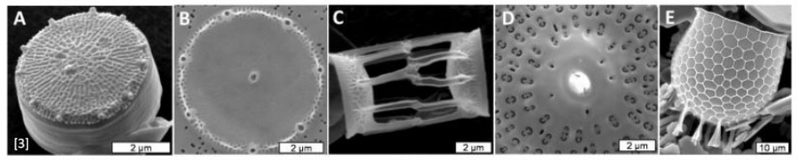




Biogenes Silika | Diatomeneerde

EIGENSCHAFTEN UND VERWENDUNG VON KIESELGUR

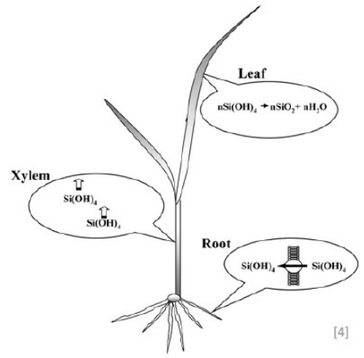
- Eigenschaften:
  - 85 - 91% SiO_2-Gehalt
  - Hohes Wasseraufnahmevermögen
  - Spezifische Oberfläche: 3 - 30 m^2/g
  - Gute Filtereigenschaften
  - Geringes spezifisches Gewicht
- Verwendungen:
  - Schleif- und Poliermittel
  - Trocknungs- und Fließmittel
  - Füllstoff in Wärmedämmungen
  - Filtermedium für z. B. Bier
  - Einstreu



Biogenes Silika | SiO_2-Akkumulation

SiO_2-AKKUMULATION VON PFLANZEN

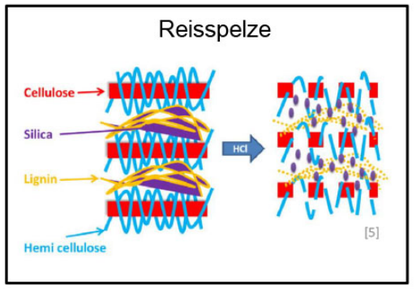
- Akkumulation abhängig von Standort, Bodenart, Düngung, Klima, Pflanzenart, …
- SiO_2 dient der Beständigkeit gegen:
  - Biotische Faktoren (Pilze, Bakterien, Schädlinge)
  - Abiotische Faktoren (extreme Temperaturen, Nährstoffungleichgewicht)



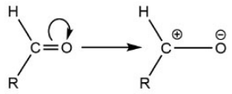
[4]

Biogenes Silika | Struktur in Pflanzen

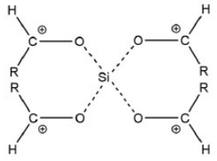
SiO_2 IN PFLANZEN



– Bindungssituation in Hemicellulose:



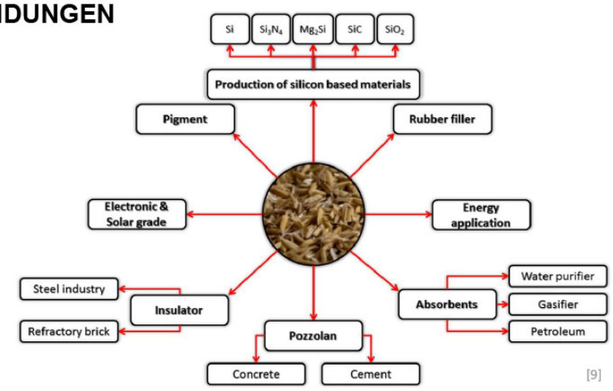
„electromeric effect“



+ SiO_2-Partikel

Biogenes Silika | Anwendungen von Reisspelzenasche

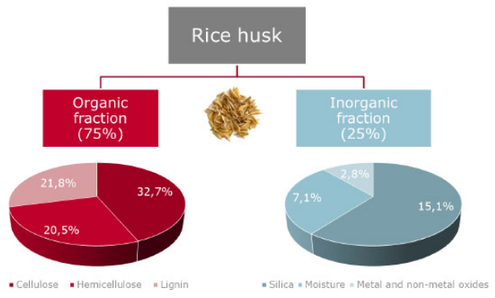
ANWENDUNGEN



Biogenes Silika | Beispiel Reisspelzen

BIOGENES SILIKA AUS REISSPELZEN

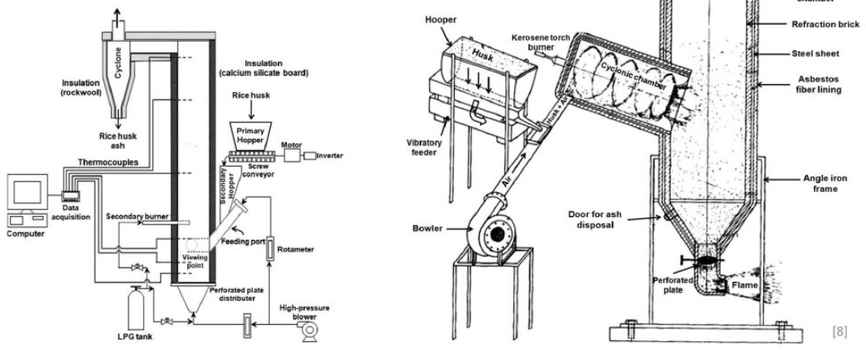
- Jährliche Reisproduktion: 741.000.000 t weltweit [6]
- 20 Ma.-% davon: Reisspelzen
- Heizwert Spelzen: 13-16 MJ/kg



[7]

Biogenes Silika | Verbrennungstechniken für Reisspelzen

VERBRENNUNGSTECHNOLOGIEN



Projekt „AGRARSIL“ | Übersicht

Gefördert durch:
Forschungsnetzwerk Mittelstand
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

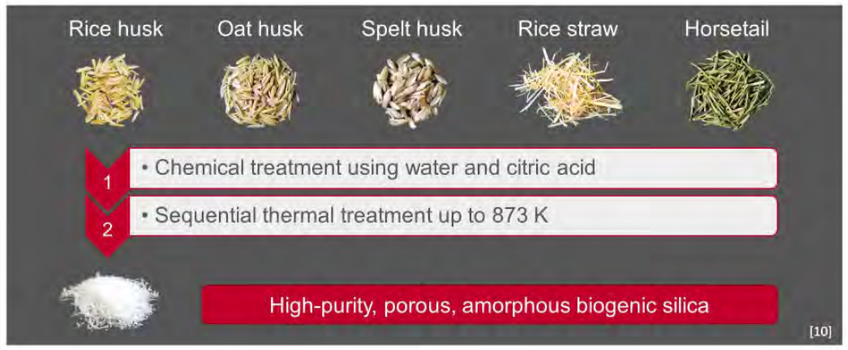
PROJEKT „AGRARSIL“

- Herstellung hochwertiger poröser Silikate und Wassergläser durch kombinierte stoffliche und energetische Verwertung verschiedener SiO_2-angereicherter Agrarreststoffe
  - bevorzugt regionale (bzw. EU-weite) Reststoffe
  - keine Konkurrenz zu Nahrungs-/Futtermittelproduktion

UNIVERSITÄT LEIPZIG · CWK BAD KÖSTRITZ · DBFZ · ÖKO THERM · UGT 2000

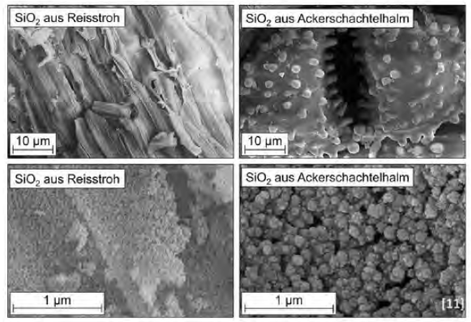
Biogenes Silika | Schema zur Herstellung von hochreinem SiO_2

HERSTELLUNG VON HOCHREINEM SiO_2



Biogenes Silika | Struktur

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE AUFNAHMEN



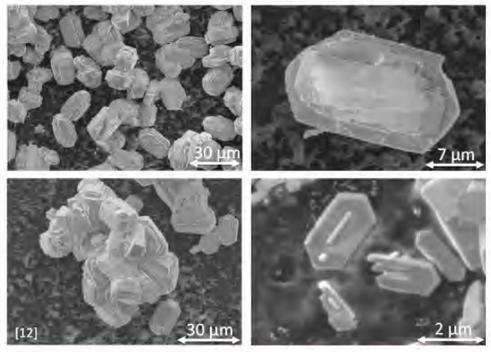
Biogenes Silika | Eigenschaften

VERGLEICH DER EIGENSCHAFTEN VON BIOGENEM SiO_2 MIT KOMMERZIELLEN PRODUKTEN

Characteristics	Natural biogenic silica sources		Silica made by dry method [1, 2, 129]	Silica made by wet methods [1, 2, 127]	
	RHA[1)]	Kieselguhr [18, 130, 131]	Aerosil	Precipitated silica	Xerogel
Specific surface area [$m^2 g^{-1}$]	170 – 358	20 – 195	50 – 600	30 – 800	250 – 1000
Size of primary particles	3 – 46 [µm]	2 – 63 [µm]	3 – 30 [nm]	5 – 100 [nm]	3 – 20 [nm]
Mean pore diameter [nm]	3 – 700	5 – 1500	nonporous	> 30	2 – 20
Pore size distribution	very broad	very broad	not specified	very broad	narrow
SiO_2 [wt. %]	97.7 – 99.8	> 96	≤ 99.9	> 98	≤ 99.5

Biogenes Silika | Herstellung von Zeolithen

HERSTELLUNG VON ZEOLITHEN AUS BIOGENEM SiO_2

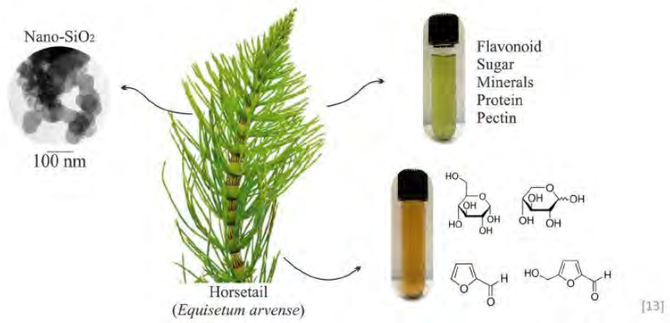


- Spezifische Mikroporen-Oberfläche: 205 m^2/g
- Spezifische äußere Oberfläche: 154 m^2/g
- Porenvolumen: 0.19 cm^3/g

UNIVERSITÄT LEIPZIG [12] Alyosef et al., Molecules (2018) 15

Biogenes Silika | Bioraffinerie

BIOGENES SILIKA – BIORAFFINERIE-KONZEPTE



[13]

UNIVERSITÄT LEIPZIG [13] Mattos et al., Waste Biomass Valor. (2017) 16

Biogenes Silika | Fatiz

BIOGENES SILIKA – ROHSTOFF FÜR DIE ZUKUNFT?

- Erneuerbare Ressourcen ohne Konkurrenz zu Nahrungsmitteln
- CO_2-neutral
- Kopplung der Verbrennung mit Dampf-/Stromerzeugung
- Herstellung von Wasserglas unter milderen Bedingungen als konventionell → Lösung für weltweite Sandkrise

UNIVERSITÄT LEIPZIG 17

UNIVERSITÄT LEIPZIG

VIELEN DANK!



Referentenprofile



Brookman, Heiner

HAWK Göttingen - Fachgebiet NEUTec
Rudolf-Diesel-Str. 12
37075 Göttingen
Tel.: +49 (0)551 50 32 269
E-Mail: **heiner.brookman@hawk.de**

Wichtigste berufliche Stationen:

- Diplom-Biologe Mikrobiologe
- M. Eng. NaWaRo und erneuerbare Energien
- Wissenschaftlicher Mitarbeiter in verschiedenen Projekten im Bereich Bioenergie
- seit 2013: Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei NEUTec

Aktuelle Position:

- Wissenschaftlicher Mitarbeiter



Chiaramonti, Prof. Dr. David

University of Florence and RE-CORD
Stanz 326, Dipartimento Ingegneria Industriale
Viale Morgagni 40, Firenze
Tel.: +39 055 2758690
E-Mail: **david.chiaramonti@unifi.it**

Most important career stations:

- 2008-2009: Temporary researcher at the Department of Energy "Sergio Stecco", Faculty of Mechanical Engineering, University of Florence.
- 2002-2008: Contract professor course "Renewable Energy at the Department of Energetica "Sergio Stecco", Faculty of Mechanical Engineering, University of Florence.
- 1995-2002: Project Manager at ETA S.r.L.

Actual position:

- Since 2010: President of the Research Consortium RE-CORD (Renewable Energy Consortium for Research and Demonstration).
- Since 2010: Contract professor at the course "Renewable Energies" at the Department of Energy "Sergio Stecco", Faculty of Mechanical Engineering, University of Florence.



Dahmen, Prof. Dr. Nicolaus

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel.: +49 (0)721 608 22596
E-Mail: nicolaus.dahmen@kit.edu

Wichtigste berufliche Stationen:

- Studium der Chemie an der Ruhr Universität Bochum
- 1992: Promotion an der Ruhr-Universität Bochum
- 1992: Eintritt ins damalige Forschungszentrum Karlsruhe
- Gruppenleiter Stofftrennung mit überkritischem CO_2
- Abteilungsleiter Hochdruckprozesstechnik (bis 2005)
- Projektleitung zum Aufbau der bioliq-Pilotanlage

Aktuelle Position:

- Abteilungsleiter Thermochemische Biomasseverflüssigung
- Wissenschaftlicher Koordinator des bioliq-Projekts

Gremientätigkeit:

- DGMK Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.
- ProcessNet AAK
- IEA Bioenergy Task 34 und 39



Enke, Prof. Dr. Dirk

Universität Leipzig
Linnéstraße 3,
04103 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 9736304
E-Mail: dirk.enke@uni-Leipzig.de

Wichtigste berufliche Stationen:

- 1989-1994: Chemiestudium, Technische Hochschule Merseburg und Universität Halle-Wittenberg
- 1998: Promotion zum Dr. rer. nat. am (Chemie), Universität Halle
- 1999-2005: Wissenschaftlicher Assistent (C1), Institut für Technische Chemie und Makromolekulare Chemie, Universität Halle
- 2005: Habilitation zum Dr. rer. nat. habil. an der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät, Universität Halle
- 2002-2009: Geschäftsführender Assistent, Institut für Technische Chemie und Makromolekulare Chemie, Universität Halle
- 2005-2009: Privatdozent am Institut für Chemie, Universität Halle, Bereich Technische Chemie

Aktuelle Position:

- Seit 2009: Professor für Chemische Reaktionstechnik, Universität Leipzig



Fehrenbach, Horst

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
Im Weiher 10, 69121 Heidelberg
Tel.: +49 (0)6221 4767 16
E-Mail: horst.fehrenbach@ifeu.de

Wichtigste berufliche Stationen:

- seit 1992: Mitarbeiter am ifeu
- seit 2017: Fachbereichsleiter (Scientific Director) des Fachbereichs "Ressourcen"

Aktuelle Position:
Fachbereichsleiter

Gremientätigkeit:

- Obmann im DIN NAGUS Ausschuss "Nachhaltigkeitskriterien für Biomasse",
- Obmann im DIN NAGUS Arbeitskreis "Product carbon footprint"



Hoffmann, Viola

Universität Hohenheim
Garbenstr. 9
70599 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 459 23933
E-Mail: viola.hoffmann@uni-hohenheim.de

Wichtigste berufliche Stationen:

- Studium in Heidelberg, Bogota und Weimar
- Promotion im Graduiertenkolleg BBW ForWerts an der Universität Hohenheim am Fg. Konversionstechnologien nachwachsender Rohstoffe (aktuell)

Aktuelle Position:

- Doktorandin



Hokamp, Frank

Fraunhofer UMSICHT
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen
Tel.: +49 (0)208 8598-1392
E-Mail: frank.hokamp@umsicht.fraunhofer.de

Aktuelle Position:

- wissenschaftlicher Mitarbeiter



Junghans, Ulrike

Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-
Biotechnologische Prozesse CBP
Am Haupttor Bau 1251, 06237 Leuna
Tel.: +49 3461 439128
E-Mail: ulrike.junghans@igb.fraunhofer.de

Wichtigste berufliche Stationen:

- 2008 - 2013: Studium der Chemie an der Universität Leipzig und der Dublin City University, Irland
- 2013 - 2017: wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Technische Chemie an der Universität Leipzig
- seit 05.2017: Projektleiterin am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP in Leuna

Aktuelle Position:

- Projektleiterin Chemische Verfahren



Köchermann, Jakob

Deutsches Biomasseforschungszentrum
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-359
E-Mail: jakob.koechermann@dbfz.de

Wichtigste berufliche Stationen:

- Studium Chemieingenieurwesen am KIT und an der TU Dresden

Aktuelle Position:

- Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Bioraffinerien am DBFZ
- Seit 2016: Doktorand am DBFZ



Kruse, Prof. Dr. Andrea

Universität Hohenheim
Garbenstrasse
970599 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 459 24700
E-Mail: Andrea_Kruse@kit.edu

Wichtigste berufliche Stationen:

- Gruppenleiterin KIT
- Nachwuchsgruppenleiterin Forschungszentrum Karlsruhe

Aktuelle Position heute:

- Seit 2012: Fachgebietsleiterin/ ord. Professorin Universität Hohenheim (seit 2012)

Gremientätigkeit:

- ProcessNet-Fachausschuss „Hochdruckverfahrenstechnik“,
- Editorial-Board „Journal of super critical Fluids“,
- VDI-Richtlinienausschuss zur Emissionsminderung – Erzeugung von Biomassecarbonisaten,
- Beirat Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.



Kusche, Stepan

HTCycle GmbH
Libnower Landstraße 1–3,
17390 Murchin, OT Relzow
Tel.: +49 (0)3971 87690-24
E-Mail: s.kusche@ipi.ag

Berufliche Stationen:
- Seaborne ERL Environmental Research Laboratory GmbH, Owschlag
- Ader Abwasser Anlagen AG, Bruchsal
- CWG/PNT, Mannheim/Heckenheim
- VESCON Systems AG, Frankenthal
- AVA – CO_2 – Forschung, Karlsruhe
- HTCycle GmbH

Aktuelle Position:
Geschäftsführer HTCycle GmbH

Gremientätigkeit:
- Vorsitzender Bundesverband Hydrothermale Carbonisierung e.V.
- VDI-Richtlinien/Normungausschuss



Müller-Langer, Dr. Franziska

Deutsches Biomasseforschungszentrum
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-423
E-Mail: franzsika.mueller-langer@dbfz.de

Wichtigste berufliche Stationen:
- Studium Maschinenbau mit Schwerpunkt Energietechnik an der TU Bergakademie Freiberg,
- Promotion an der TU Hamburg (Thema Biokraftstoffe); tätig u.a. bei Siemens AG und Aristoteles Universität Thessaloniki
- Projektleiterin und später Arbeitsgruppenleiterin am Institut für Energetik und Umwelt gGmbH
- Leiterin des Geschäftsbereichs Bioraffinerien mit dem Forschungsschwerpunkt Verfahren für chemische Bioenergieträger und Kraftstoffe

Aktuelle Position:
- Seit 2008: Bereichsleiterin Bioraffinerien

Gremientätigkeit (Auswahl):
- Beiratsmitglied Förderkreis Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren e.V. (FAD e.V.)
- Wissenschaftlicher Beirat (Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim ATB, APECS e.V.)
- Independent Scientific Advisory Board (BioFuelNet Canada Inc.)



Nelles, Prof. Dr. Michael

Deutsches Biomasseforschungszentrum
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-112
E-Mail: Michael.Nelles@dbfz.de

Wichtigste berufliche Stationen:
- Promotion zum Dr. mont., Fachbereich Industrieller Umweltschutz (Universität Leoben/Österreich)
- Professor und Leiter des Fachbereichs Technischer Umweltschutz (Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen; Fakultät Ressourcenmanagement, Göttingen)

Aktuelle Position:
- Seit 2012: Wissenschaftlicher Geschäftsführer des DBFZ
- Seit 2006: Professor, Inhaber des Lehrstuhls für Abfall- und Stoffstromwirtschaft an der Universität Rostock

Gremientätigkeit (Auswahl):
- Gastprofessuren in China, u.a. am Institut für Erneuerbare Energien an der Petroleum Universität Peking
- Mitglied im Vorstand Bioeconomy e.V., BMBF-Exzellenz-Cluster Bioökonomie, Leuna,
- Mitglied der Leitungsgruppe Forschung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)



Reißmann, Daniel

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
Torgauer Str. 116
04347 Leipzig
E-Mail: daniel.reissmann@ufz.de

Wichtigste berufliche Stationen:
- 2013: Master of Science in Betriebswirtschaftslehre mit Schwerpunkt Nachhaltigkeitsmanagement
- 2013 - 2015: Geschäftsstellenleiter im Cluster Energie & Umwelttechnik der Stadt Leipzig
- 2013 - 2016: Projektmitarbeiter am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung in Dresden
- seit 2016: Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Umweltbundesamt im Fachgebiet "Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen" in Dessau-Roßlau/Berlin
- seit 2016: Externer Doktorand am Department Bioenergie des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Aktuelle Position:
- Doktorand/Wissenschaftlicher Mitarbeiter



Roth, Dr. Arne

Bauhaus Luftfahrt e.V.
Willy-Messerschmitt-Str. 1
82024 Taufkirchen
Tel.: +49 (0)89 307 4849-46
E-Mail: arne.roth@bauhaus-luftfahrt.net

Wichtigste berufliche Stationen:
- Studium der Chemie an der Universität Bielefeld
- Dissertation an der Friedrich-Schiller-Universität Jena
- Postdoc am Karlruher Institut für Technologie (KIT) zum Thema chemische Wasserstoff-speicherung

Aktuelle Position:
- Leiter des Forschungsschwerpunktes "Alternative Kraftstoffe"

Gremientätigkeit:
- aireg e.V. (Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany)
- ACARE (Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe); aktiv in Working Group 3 (Environment & Energy)



Schröter, Frank

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Institut für Chemie, Technische Chemie 1
Carl-von-Ossietzky-Str. 9-11, 26129 Oldenburg
Tel.: +49 (0)441 798 3561
E-Mail: frank.schroeter@uni-oldenburg.de

Wichtigste berufliche Stationen:
- Bachelor of Science / Ingenieur in Chemie-technik, Hochschule Emden/Leer
- Master of Science in Chemie, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Aktuelle Position:
- Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand in der Technischen Chemie (AG Wark, Uni Oldenburg)



Schwarz, Björn

Fraunhofer IKTS
Winterbergstr. 28
01277 Dresden
Tel.: +49 (0)351 2553-7745
E-Mail: bjoern.schwarz@ikts.fraunhofer.de

Wichtigste berufliche Stationen:
- Studium der Siedlungs- und Industriewasser-wirtschaft an der TU Dresden
- Seit 2001: Mitarbeiter am Fraunhofer IKTS

Aktuelle Position:
- Projektleiter



Siemon, Dominik

SunCoal Industries GmbH
Rudolf-Diesel-Straße 15
14974 Ludwigsfelde
Tel.: +49 (0)3378 88 122 11
E-Mail: siemon@suncoal.com

Aktuelle Position:
- Director of Marketing and Administration / Prokurist



Thrän, Prof. Dr. Daniela

Deutsches Biomasseforschungszentrum
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-435
E-Mail: daniela.thraen@dbfz.de

Wichtigste berufliche Stationen:
- Studium an der TU Berlin
- Promotion an der Bauhausuniversität Weimar
- Lehrstuhl Bioenergiesysteme an der Universität Leipzig

Aktuelle Position:
- Bereichsleiterin Bioenergiesysteme

Gremientätigkeit (Auswahl):
- Bioökonomierat
- IEA bioenergy task 40,
- ISO ###
- Energiebeirat Sachsen u.a.



Unkelbach, Gerd

Fraunhofer CBP
Am Haupttor (Tor 12, Bau 1251),
06237 Leuna
Tel.: +49 (0)3461 43-9101
E-Mail: Gerd.Unkelbach@cbp.fraunhofer.de

Wichtigste berufliche Stationen:
- Seit 01/12: Leiter des Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP
- 09/10 – 12/11: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP
- 05/08 – 09/11: Dozent für Organische Chemie an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg
- 04/05 – 08/10: Technischer Angestellter in der Abteilung „Umweltengineering“ am Fraunhofer Institut für chemische Technologie ICT
- 10/00 - 10/04: Chemiestudium an der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg

Aktuelle Position:
- Leitung des Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP

Gremientätigkeit:
- Mitglied versch. Arbeitskreise bei DECHEMA und ProcessNet
- Mitglied der American Chemical



Yalcin, Erkan

TerraNova Energy GmbH
Königsberger Straße 100
40231 Düsseldorf
Tel.: +49 (0)211 544-130 96
E-Mail: erkan.yalcin@terranova-energy.com

Wichtigste berufliche Stationen:
- Dipl.-Ing. Chemieingenieurwesen (KIT/ Technische Universität Karlsruhe)
- Prozessentwicklung Biotechnologie, Bioverfahrenstechnik und regenerative Energien bei verschiedenen Klein- und Mittelständischen Unternehmen

Aktuelle Position:
- Projektingenieur, verantwortlich für Prozessentwicklung und Etablierung neuer Technologien

Anhang

Veranstalter

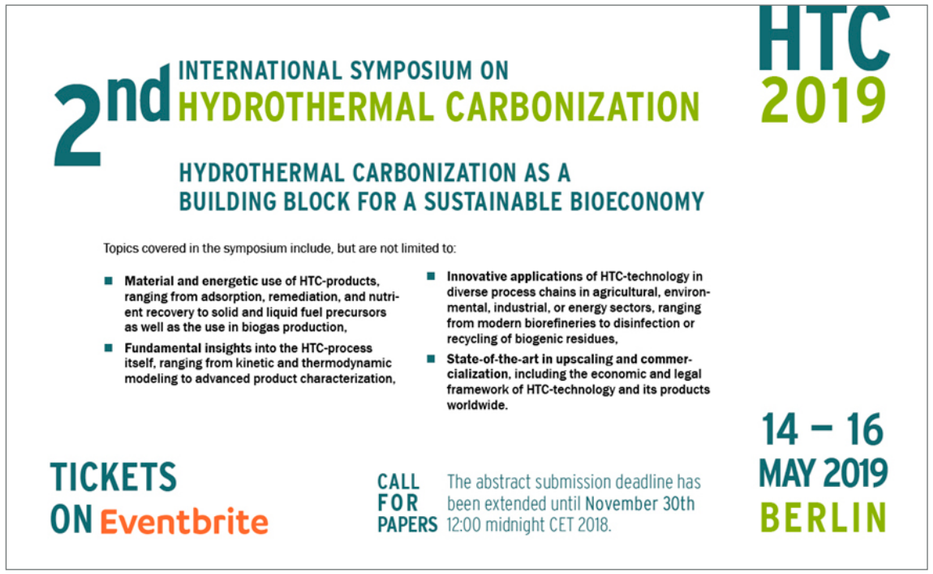
Veranstalter des HTP-Fachforums ist die DBFZ
Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH.

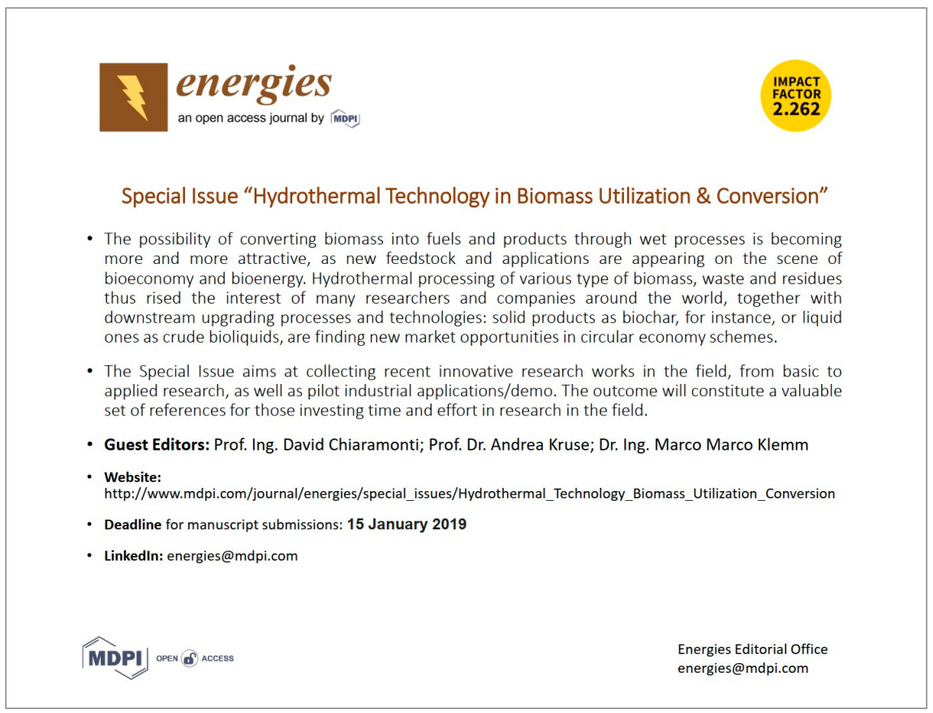
Unser Auftrag

Das DBFZ wurde 2008 durch das ehemalige Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) mit dem Ziel gegründet, eine zentrale Forschungseinrichtung für alle relevanten Forschungsfelder der Bioenergie einzurichten und die Ergebnisse der sehr vielschichtigen deutschen Forschungslandschaft in diesem Sektor zu vernetzen. Der wissenschaftliche Auftrag des DBFZ ist es, die effiziente Integration von Biomasse als eine wertvolle Ressource für eine nachhaltige Energiebereitstellung wissenschaftlich im Rahmen angewandter Forschung umfassend zu unterstützen. Dieser Auftrag umfasst technische, ökologische, ökonomische, soziale sowie energiewirtschaftliche Aspekte entlang der gesamten Prozesskette (von der Produktion über die Bereitstellung bis zur Nutzung). Die Entwicklung neuer Prozesse, Verfahren und Konzepte wird durch das DBFZ in enger Zusammenarbeit mit industriellen Partnern begleitet und unterstützt. Gleichzeitig erfolgt eine enge Vernetzung mit der öffentlichen deutschen Forschung im Agrar-, Forst- und Umweltbereich wie auch mit den europäischen und internationalen Institutionen. Gestützt auf diesen breiten Forschungshintergrund soll das DBFZ darüber hinaus wissenschaftlich fundierte Entscheidungshilfen für die Politik erarbeiten.



Save the Date





Teilnehmerliste

Nr.	Name	Vorname	Institution
1	Abdelkafi	Nizar	Fraunhofer IMW
2	Adam	Roman	Deutsches Biomasseforschungszentrum
3	Al-Addous	Dr. Mohammad	German Jordanien University
4	Aleysa	Dr. Mohammed	Fraunhofer IBP
5	Andenmatten	Mario	ARA Gürbetal Specon AG
6	Andert	Dr. David	AgritechScience
7	Angelova	Dr. Elena	Deutsches Biomasseforschungszentrum
8	Antwi	Edward	Universität Rostock
9	Appelt	Dr. Jörn	Thünen-Institut für Holzforschung
10	Armbruster	Dr. Udo	Leibniz-Insitut für Katalyse e. V.
11	Balling	Nadine	Rückert NatUrgas GmbH
12	Barchmann	Tino	Deutsches Biomasseforschungszentrum
13	Barnbeck	Johanna	Artistic Researcher & Creative Consultant
14	Bartsch	Christian	Fraunhofer CBP
15	Bassel	Ibrahim	Universität Rostock
16	Bdour	Dr. Mathhar	German Jordanien University
17	Beck	Anne-Karen	BioEconomy e.V.
18	Beidaghy Dizaji	Hossein	Deutsches Biomasseforschungszentrum
19	Bergmann	Ralf	Agrarland eG Lüttewitz
20	Betuch	Helene-Olesja	Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
21	Beuel	Patrick	Technische Hochschule Köln
22	Bezama	Dr. Alberto	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
23	Bienert	Kathrin	Deutsches Biomasseforschungszentrum
24	Billig	Dr. Eric	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
25	Bödeker-Halfmann	Dr. Inga	Forschungszentrum Jülich GmbH
26	Bonaldo	MinR Frank	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
27	Bonk	Fabian	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
28	Braune	Maria	Deutsches Biomasseforschungszentrum
29	Brönniman	Beat	ARA Gürbetal Specon AG
30	Brookman	Heiner	HAWK Göttingen
31	Brosowski	André	Deutsches Biomasseforschungszentrum
32	Brückner	Dr. Claudia	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
33	Büchner	Daniel	Deutsches Biomasseforschungszentrum
34	Centler	Dr. Florian	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
35	Champenier	Cecile	Tilia GmbH
36	Chiaramonti	Prof. Dr. David	University of Florence

Nr.	Name	Vorname	Institution
37	Chkolnikov	Marina	SpinLab Leipzig
38	Christmann	Dr. Ralf	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
39	Clauß	Tina	Deutsches Biomasseforschungszentrum
40	Credner	Martin	BayWa r.e. Clean Energy Sourcing GmbH
41	Dach	Prof. Dr. Jacek	Institute of Biosystems Engineering
42	Dahmen	Prof. Dr. Nicolaus	Institut für Katalyseforschung und -technologie (IKTF)
43.	Daniel-Gromke	Jaqueline	Deutsches Biomasseforschungszentrum
44	Dernbecher	Andrea	Deutsches Biomasseforschungszentrum
45	Dietrich	Sebastian	Deutsches Biomasseforschungszentrum
46	Dong	Prof. Renjie	China Agricultural University Beijing
47	Dotzauer	Martin	Deutsches Biomasseforschungszentrum
48	Eickhoff	Isabell	Universität Rostock
49	Enke	Prof. Dr. Dirk	Universität Leipzig
50	Erb	Lisa	Laboratorium Erb
51	Etzold	Hendrik	Deutsches Biomasseforschungszentrum
52	Fan	Yujie	Karlsruhe Institut für Technologie
53	Farcke	Bernt	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
54	Fehrenbach	Horst	Ifeu - Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH
55	Feist	Dr. Thomas	LeipzigConsult
56	Ferchau	Erik	Verein zur Förderung von Biomasse und NAWARO Freiberg
57	Fichter	Prof. Dr. Klaus	Universität Oldenburg
58	Fischer	Erik	Deutsches Biomasseforschungszentrum
59	Francik	Henning	Universität Leipzig IIRM
60	Fritzsch	Matthias	S+B Service und Betrieb GmbH
61	Gallardo	Luis Miguel	Deutsches Biomasseforschungszentrum
62	Gellner	Daniel	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
63	Gersthahn	Dennis	Technische Hochschule Köln
64	Godron	Heide	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
65	Goeke	MinDirig Berthold	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
66	Gökgöz	Fatih	Deutsches Biomasseforschungszentrum
67	Görsch	Dr. Kati	Deutsches Biomasseforschungszentrum
68	Gouya	Samah	Universität Stuttgart
69	Grimm	Alexander	Deutsches Biomasseforschungszentrum

Nr.	Name	Vorname	Institution
70	Haase	Timo	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
71	Hadulla	Adam	Technische Hochschule Köln
72	Häfner	Peter	Engage AG
73	Hahn	Alena	Deutsches Biomasseforschungszentrum
74	Hansen	Lynn Johanna	Technische Universität München
75	Härdtlein	Dr. Marlies	Universität Stuttgart
76	Hartmann	Dr. Ingo	Deutsches Biomasseforschungszentrum
77	Hartmann	Dr. Hans	Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
78	Hartmann-Schüler	Martin	Deutsches Biomasseforschungszentrum
79	Haufe	Henryk	Deutsches Biomasseforschungszentrum
80	Haugk	Dr. Sebastian	Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie
81	Hennig	Christiane	Deutsches Biomasseforschungszentrum
82	Hildebrandt	Jakob	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
83	Hoffmann	Viola	Universität Hohenheim
84	Hoffstede	Uwe	Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik
85	Hohenschurz-Schmidt	Ralf	Abfallwirtschaft Rendsburg-Eckernförde
86	Hokamp	Frank	Fraunhofer UMSICHT
87	Hommel	Dr. Rolf	Ifn FTZ GmbH
88	Hönemann	Martin	Heidequell Handels und Produktions GmbH
89	Horschig	Thomas	Deutsches Biomasseforschungszentrum
90	Hugo	Dr. Joachim	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
91	Jäckel	Heinz-Dieter	Heinz-Dieter Jäckel GmbH
92	Jahr	Dr. Peter	Europäisches Parlament
93	Janke	Dr. Leandro	Deutsches Biomasseforschungszentrum
94	Junghans	Ulrike	Fraunhofer CBP
95	Junne	Dr. Stefan	Technische Universität Berlin
96	Kaiser	Felix	
97	Kar	Indrani	Deutsches Biomasseforschungszentrum
98	Katz	Heinrich	Hermetia Baruth GmbH
99	Khalsa	Dr. Jan Hari Arti	Deutsches Biomasseforschungszentrum
100	Kirstein	Niels	Deutsches Biomasseforschungszentrum
101	Kittler	Ronny	FutureSax
102	Klapp	Waldemar	3R Systems UG
103	Knuth	Anne	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
104	Koblenz	Dr. Barbara	Deutsches Biomasseforschungszentrum

Nr.	Name	Vorname	Institution
105	Köchermann	Jakob	Deutsches Biomasseforschungszentrum
106	König	Mario	Deutsches Biomasseforschungszentrum
107	Könning	Carolin	3N Kompetenzzentrum e.V.
108	Kopinke	Prof. Dr. Frank-Dieter	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
109	Kornatz	Dr. Peter	Deutsches Biomasseforschungszentrum
110	Kosslers	Sebastian	DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
111	Krautz	Alexander	Next Kraftwerke GmbH
112	Kretzschmar	Dr. Jörg	Deutsches Biomasseforschungszentrum
113	Kröger	Michael	Deutsches Biomasseforschungszentrum
114	Kruse	Prof. Dr. Andrea	Universität Hohenheim
115	Kurth	Matthis	Deutsches Biomasseforschungszentrum
116	Kusche	Stepan	HTCycle GmbH
117	Lange	Nora	Deutsches Biomasseforschungszentrum
118	Lemekhova	Anastasiia	
119	Lemke	Babett	Techsim UG
120	Lenk	Thomas	Technische Universität Chemnitz
121	Lenz	Dr. Volker	Deutsches Biomasseforschungszentrum
122	Lenz	Dr. Klaus	SYNCOM GmbH
123	Leuchtweis	Christian	C.A.R.M.E.N. e.V.
124	Li	Yixing	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
125	Libra	Dr. Judy	Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
126	Liebetrau	Dr. Jan	Deutsches Biomasseforschungszentrum
127	Lilliestråle	Malte	Biokol Sverige AB
128	Loewen	Prof. Dr. Achim	HAWK Göttingen
129	Lorenz	Franziska	Burson-Marsteller GmbH
130	Luderschmid	Alfred	
131	Lühmann	Taina	Deutsches Biomasseforschungszentrum
132	Marzban	Nader	Leibniz Institute of Agricultural Engineering and Bioeconomy e.V. (ATB)
133	Mast	Tanja	Technische Hochschule Ingolstadt (THI)
134	Matschoss	Dr. Patrick	IZES gGmbH
135	Matura	Sven	Forschungszentrum Jülich GmbH
136	Meisel	Dr. Kathleen	Deutsches Biomasseforschungszentrum
137	Meiss	Dr. Karl-Michael	ASG e.V.
138	Mesecke	Anne	Deutsches Biomasseforschungszentrum
139	Metthes	Janis	Flexperten
140	Moloeznik Paniagua	Daniela	TU Berlin

Nr.	Name	Vorname	Institution
141	Moreira	Prof. Dr. José Roberto	University of São Paulo
142	Morling	Stig	Sweco Environment AB
143	Müller	Liane	Deutsches Biomasseforschungszentrum
144	Müller	Dominik	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
145	Müller-Langer	Dr. Franziska	Deutsches Biomasseforschungszentrum
146	Naumann	Karin	Deutsches Biomasseforschungszentrum
147	Nelles	Prof. Dr. Michael	Deutsches Biomasseforschungszentrum
148	Neumann	Dr. Paul	Eufex Deutschland GmbH
149	Neumann	Heike	Projektträger Jülich
150	Nitzsche	Roy	Deutsches Biomasseforschungszentrum
151	Nowotny	Manuel	Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
152	Oehmichen	Katja	Deutsches Biomasseforschungszentrum
153	Panning	Lena	Projektträger Jülich
154	Papendieck	Jelto	Agro Trading & Solutions GmbH
155	Pertagnol	Dr. Joachim	IZES gGmbH
156	Peters	Dr. Christina	PIC - Pi Innovation Culture GmbH
157	Pfeffer	Christian	Comagis GmbH
158	Pfeiffer	Alexandra	Deutsches Biomasseforschungszentrum
159	Pfeiffer	Diana	Deutsches Biomasseforschungszentrum
160	Pfeufer	Dominic	Rückert NatUrgas GmbH
161	Pohl	Marcel	Deutsches Biomasseforschungszentrum
162	Pomsel	Daniela	Deutsches Biomasseforschungszentrum
163	Prill	Friedrich	Universität Paderborn
164	Pröter	Dr. Jürgen	Deutsches Biomasseforschungszentrum
165	Pufky-Heinrich	Dr. Daniela	Fraunhofer CBP
166	Radermacher	Janosch	
167	Raith	Hendrik	Ingenieurbüro Raith
168	Reiche	Annemarie	PNO Consultant GmbH
169	Reißmann	Daniel	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
170	Reuter	Malte	Umweltbundesamt
171	Rizzo	PhD Andrea Maria	Renewable Energy Consortium for R&D (RE-CORD)
172	Röder	Prof. Dr. Hubert	HSWT - Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
173	Rohleder	Lukas	Energy Saxony e.V.
174	Rosendahl	Prof. Lasse	Aalborg University
175	Rößiger	Björn	Fraunhofer CBP
176	Roth	Dr. Arne	Bauhaus Luftfahrt e.V.
177	Rückert	Claus	Rückert NatUrgas GmbH
178	Rüschen	Philipp	3N Kompetenzzentrum e.V.

Nr.	Name	Vorname	Institution
179	Saalschmidt	Dr. Siglinde	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
180	Sauf	Manfred	Bi.En GmbH
181	Schaller	Dr. Sven	Deutsches Biomasseforschungszentrum
182	Schauß	Thorsten	Justus-von-Liebig-Universität Gießen
183	Schlegel	Dr. Mathias	Universität Rostock
184	Schlüter	Dr. Michael	Modis GmbH
185	Schmid	Christopher	Deutsches Biomasseforschungszentrum
186	Schmidt	Staatsminister Thomas	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
187	Schmidt-Baum	Dr. Torsten	Deutsches Biomasseforschungszentrum
188	Schmoock	Karsten	Landwirtschaftliches Verarbeitungszentrum Markranstädt GmbH
189	Schneider	David	AGRIZERT Zertifizierungs GmbH
190	Schneider	Dr. Jens	Deutsches Biomasseforschungszentrum
191	Schneider	Tanja	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
192	Schrägle	Dr. Rainer	Bundesgütegemeinschaft Holzasche e.V.
193	Schröter	Frank	Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
194	Schumacher	Dr. Britt	Deutsches Biomasseforschungszentrum
195	Schüsseler	Dr. Petra	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
196	Schwarz	Björn	Fraunhofer IKTS
197	Seehawer	Robert	EEX AG
198	Shettigondahalli Ekanthalu	Vicky	Universität Rostock
199	Siemon	Dominik	SunCoal Industries GmbH
200	Silze	Steffen	Biogasanlage Steffen Silze
201	Sprafke	Jan	Universität Rostock
202	Stäubner	Madeleine	Ifn FTZ GmbH
203	Steffen	Ullmann	BioEconomy e.V.
204	Stelzer	Manuel	Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik
205	Stinner	Dr. Walter	Deutsches Biomasseforschungszentrum
206	Stolze	Dr. Bettina	Deutsches Biomasseforschungszentrum
207	Sträuber	Dr. Heike	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
208	Stur	Mathias	Deutsches Biomasseforschungszentrum
209	Stur	Bianca	Deutsches Biomasseforschungszentrum
210	Sumfleth	Beike	Deutsches Biomasseforschungszentrum
211	Szarka	Dr. Nora	Deutsches Biomasseforschungszentrum
212	Thiffault	Evelyne	Université Laval

Nr.	Name	Vorname	Institution
213	Thomas	Daniela	Deutsches Biomasseforschungszentrum
214	Thrän	Prof. Dr. Daniela	Deutsches Biomasseforschungszentrum
215	Traxel	Wolf Christian	Nevisio GmbH
216	Unkelbach	Gerd	Fraunhofer CBP
217	Urbanski	Frank	EnWi Po
218	Vashev	Dr. Boris	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
219	Verges	Marlen	Fraunhofer CBP
220	Völklein	Michael	Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG
221	von Bredow	Dr. Hartwig	Von Bredow Valentin Herz, Partnerschaft von Rechtsanwälten mbB
222	Von Stenglin	Marcus-Heinrich	Umwelt&Projekte
223	Vopel	Herwig	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
224	Walther	Prof. Dr. Grit	RWTH Aachen
225	Wedwitschka	Harald	Deutsches Biomasseforschungszentrum
226	Weidemann	Torsten	Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V.
227	Weiser	Christian	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
228	Wellerdt	Jürgen	Verein zur Förderung von Biomasse und NAWARO Freiberg
229	Welteke-Fabricius	Uwe	Flexperten
230	Weng	Rainer	Biogas Alerheim OHG
231	Wern	Bernhard	IZES gGmbH
232	Winkler	Manuel	Deutsches Biomasseforschungszentrum
233	Wirth	Benjamin	Deutsches Biomasseforschungszentrum
234	Wittum	Prof. Gabriel	Goethe Universität Frankfurt am Main / Techsim UG
235	Woriescheck	Tim	Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
236	Yalcin	Erkan	TerraNova energy GmbH
237	Zhou	Ying	Universität Rostock
238	Zich	Andreas	Planungsbüro SolarHLKS
239	Ziegler	David	Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie
240	Zielonka	Dr. Simon	Universität Hohenheim
241	Zier	Dr. Patrick	Agriwatt Regenerative Technologien GmbH
242	Zschoche	Eveline	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Das nächste HTP-Fachforum findet am 25./26. September 2019 statt.
Weitere Informationen unter: www.dbfz.de/htp

Veranstalter:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Telefon: +49 (0) 341 2434-112
Telefax: +49 (0) 341 2434-133
E-Mail: info@dbfz.de
www.dbfz.de

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages