



Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

Optimierung der regionalen Bioethanolherstellung aus biogenen Reststoffen (RE₂ALKO) und Strategiepapier Bioethanol

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter

Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.

M.Eng.
Daniel Baumkötter

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



DIE BMU
KLIMASCHUTZ-
INITIATIVE

Gliederung

- 1 Einleitung
- 2 Inhalt und Ziele
- 3 Ergebnisse
- 4 Ausblick
- 5 Fazit
- 6 Strategiepapier



Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter

Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.

M.Eng.
Daniel Baumkötter

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt



1 Einleitung

„Optimierung der regionalen Bioalkoholherstellung aus biogenen Reststoffen – RE₂ALKO“

- Kooperationsprojekt mit der Goethe-Universität Frankfurt (Prof. Dr. Boles) und der Universität Hohenheim (PD Dr. Senn)
- Zusammenarbeit von Hefe-, Anlagen-, Verfahrens-, und Energietechnik in einem Projekt
- Ganzheitliche Betrachtung des Produktionsprozesses
- Umstellung Rohstoffbasis auf biogene Rest- und Abfallstoffe
- Erstellung eines belastbaren Konzeptes zur schrittweisen Umwandlung dezentraler Bioethanolanlagen in Anlagen zur Vergärung von regionalen Rest- und Abfallstoffen aus landwirtschaftlichen Betrieben
- Planung einer automatisierten Pilotanlage
- Evaluierung der Produktion von Biobutanol



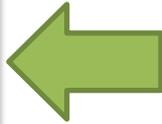
2 Arbeitspakete

Rohstoffbe-
reitstellung



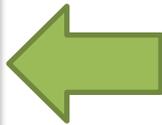
- Einsatz lignocellulosehaltiger Rohstoffe
- Mechanischer und thermischer Aufschluss

Vorbe-
handlung



- Anpassung und Optimierung der enzymatischen Hydrolyse

Fermen-
tation



- Erhöhung der Alkoholausbeute bei der Fermentation durch Nutzung der Pentosen mit Hilfe angepasster Hefen

Destillation

- Etablierung der Kreislaufführung
- Optimierung der Reststoffnutzung

Schlempe-
verwertung



- Bereitstellung CO₂-neutraler Prozessenergie



3 Ergebnisse

- Derzeit:
zucker- und stärkehaltige Rohstoffe
- Zukünftig:
lignocellulosehaltige Reststoffe (Stroh,
Gräser, Landschaftspflegematerial,
Zwischenfrüchte, etc.)
- In den Versuchen verwendete
Modellsubstrate:
Stroh, Heu, Grassilage, Maissilage,
Topinambur, Hanf, Mischungen mit Triticale,
Miscanthus, Blühpflanzensilage, Bambus

Rohstoffbe-
reitstellung

Vorbe-
handlung

Fermen-
tation

Destillation

Reststoff-
verwertung



3 Ergebnisse

- Veränderte Anforderungen an Vorbehandlung durch Umstellung auf lignocellulosehaltige Reststoffe
- 1. Schritt: Mechanische Zerkleinerung
 - Technologien: Prall- und Schneidmühlen
 - Beispiel Prallreaktor: Erhöhung der biologischen Abbaubarkeit bei Stroh und Heu um bis zu 10 %; keine Wirkung bei Gras- und Maissilage

Rohstoffbe-
reitstellung

Vorbe-
handlung

Fermen-
tation

Destillation

Reststoff-
verwertung



Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter

Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.

M.Eng.
Daniel Baumkötter

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt



- V
- V
- li
- 1

Rohstoffbe-
reitstellung

Vorbe-
handlung

Fermen-
tation

Destillation

Reststoff-
verwertung

hen
0 %;



3 Ergebnisse

Stroh: 2 mm Siebdurchmesser





3 Ergebnisse

- Veränderte Anforderungen an Vorbehandlung durch Umstellung auf lignocellulosehaltige Reststoffe
- 1. Schritt: Mechanische Zerkleinerung
 - Technologien: Prall- und Schneidmühlen
 - Beispiel Prallreaktor: Erhöhung der biologischen Abbaubarkeit bei Stroh und Heu um bis zu 10 %; keine Wirkung bei Gras- und Maissilage
- 2. Schritt: Dampfexplosion
 - Aufschluss der Lignocellulose durch Erhitzung mit Dampf auf 155°C für 45 Minuten sowie schlagartige Entspannung

Rohstoffbe-
reitstellung

Vorbe-
handlung

Fermen-
tation

Destillation

Reststoff-
verwertung

Rohstoffbe-
reitstellung

Vorbe-
handlung

Fermen-
tation

Destillation

Reststoff-
verwertung

-
-
-



Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter

Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.

M.Eng.
Daniel Baumkötter

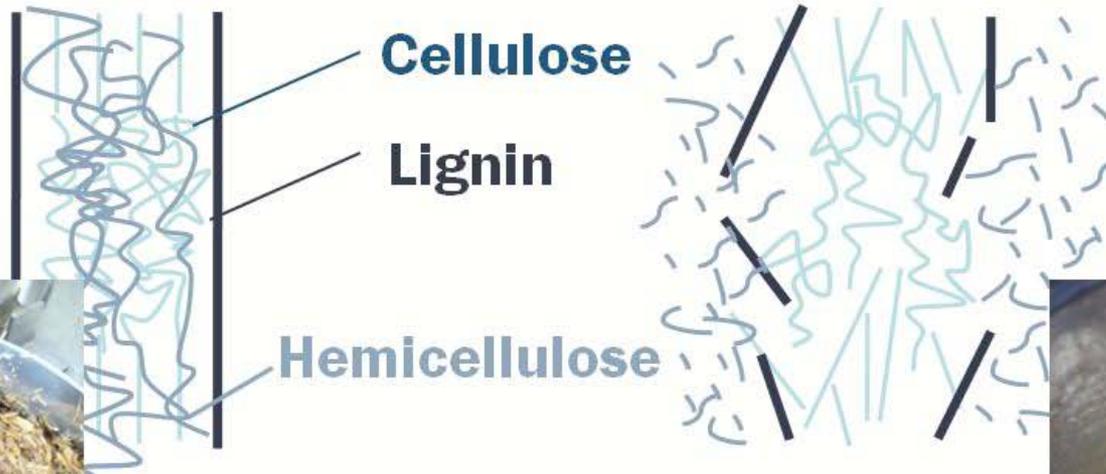
Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt



3 Ergebnisse

- 3. Schritt: Enzymatische Verzuckerung
 - Optimierung und Anpassung für lignocellulosehaltige Pflanzenteile
 - Dauer: 3 – 6 Tage, abhängig vom Substrat

Rohstoffbe-
reitstellung



**Weizenstroh mit 10 %
Trockensubstanzgehalt
vor der Hydrolyse**



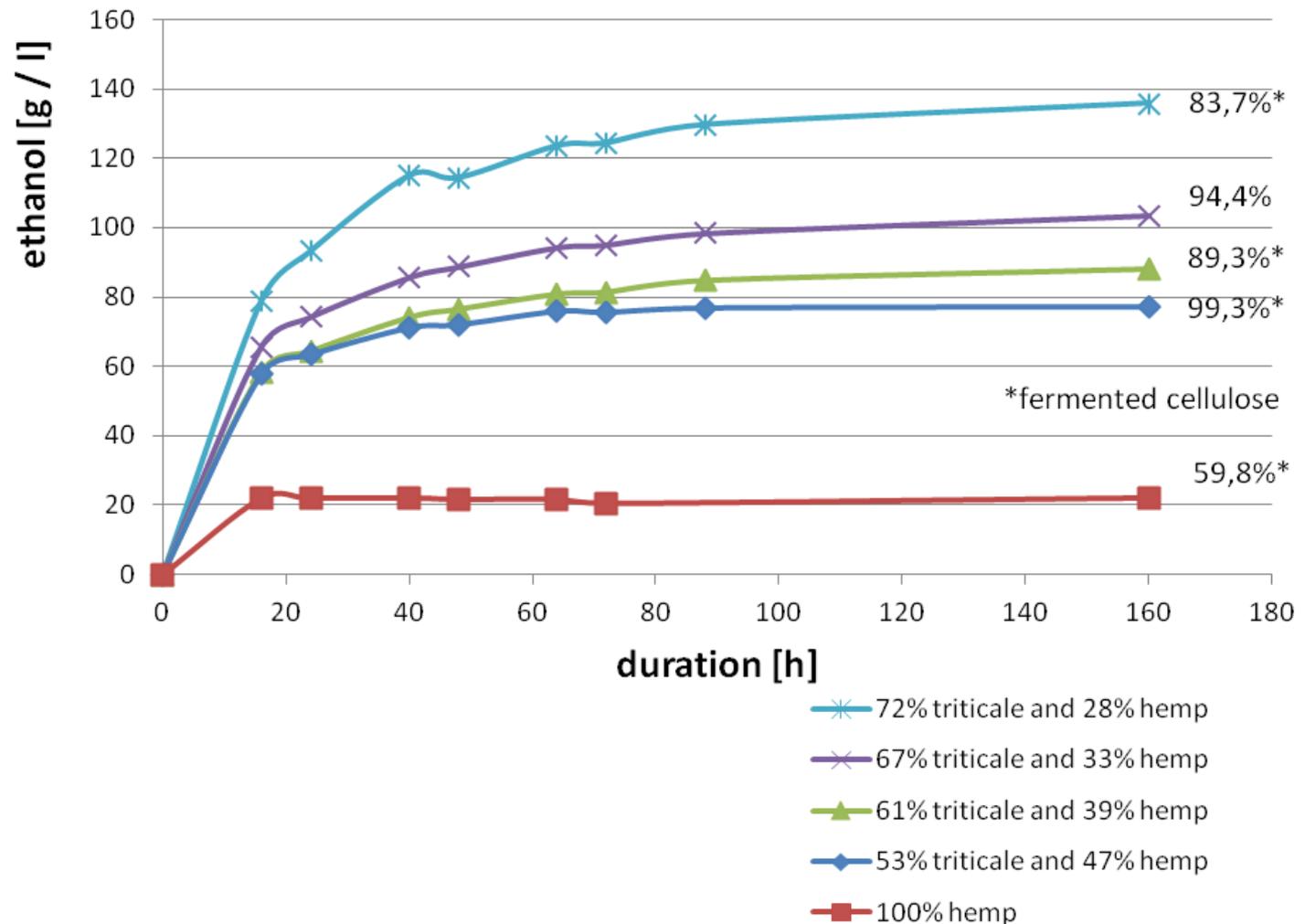
**Hydrolysiertes Stroh
im Fermenter nach
48 Stunden**



3 Ergebnisse



Produced ethanol in mash





3 Ergebnisse

- Ziel: Erhöhung der Ethanolausbeute durch Nutzung der Pentosen (C5-Zucker) mit Hilfe angepasster Hefen
- Stand: Konstruktion entsprechender Hefen bisher wissenschaftlich beschrieben, jedoch noch nicht im industriellen Einsatz erprobt worden
- Potenzial: bis zu 30 % mehr Ethanol
- Ergebnis: prozesstaugliche Hefezellen auf Basis eines industriellen Hefestammes zur Umsetzung von C5- und C6-Zuckern





3 Ergebnisse

- Gezielte Rückführung der flüssigen Phase in den Prozess
 - Separation der Schlempe
 - Beispiel Klass-Wendelfilter und Schwingsieb:
 - Substrate: Stroh-, Maissilage-, Hanf- und Topinamburschlempe
 - Schwingsieb besser geeignet
 - Ergebnis: ca. 30 % Feststoff im Filtrat
 - Allerdings: hohe elektrische Leitfähigkeit (bis 10 mS/cm) und niedriger pH-Wert (ca. 5,5) → zur Rückführung





3 Ergebnisse

- Einsatz der Schlempe als Substrat in einer Biogasanlage
 - Leicht verzögerter Abbau durch die hohen Gehalte an organischen Säuren
 - Beispiel Maissilage: ca. 70 % des Biogasertrages gegenüber der direkten Vergärung
 - Diauxie bei Hanf und Topinambur

Rohstoffbe-
reitstellung

Vorbe-
handlung

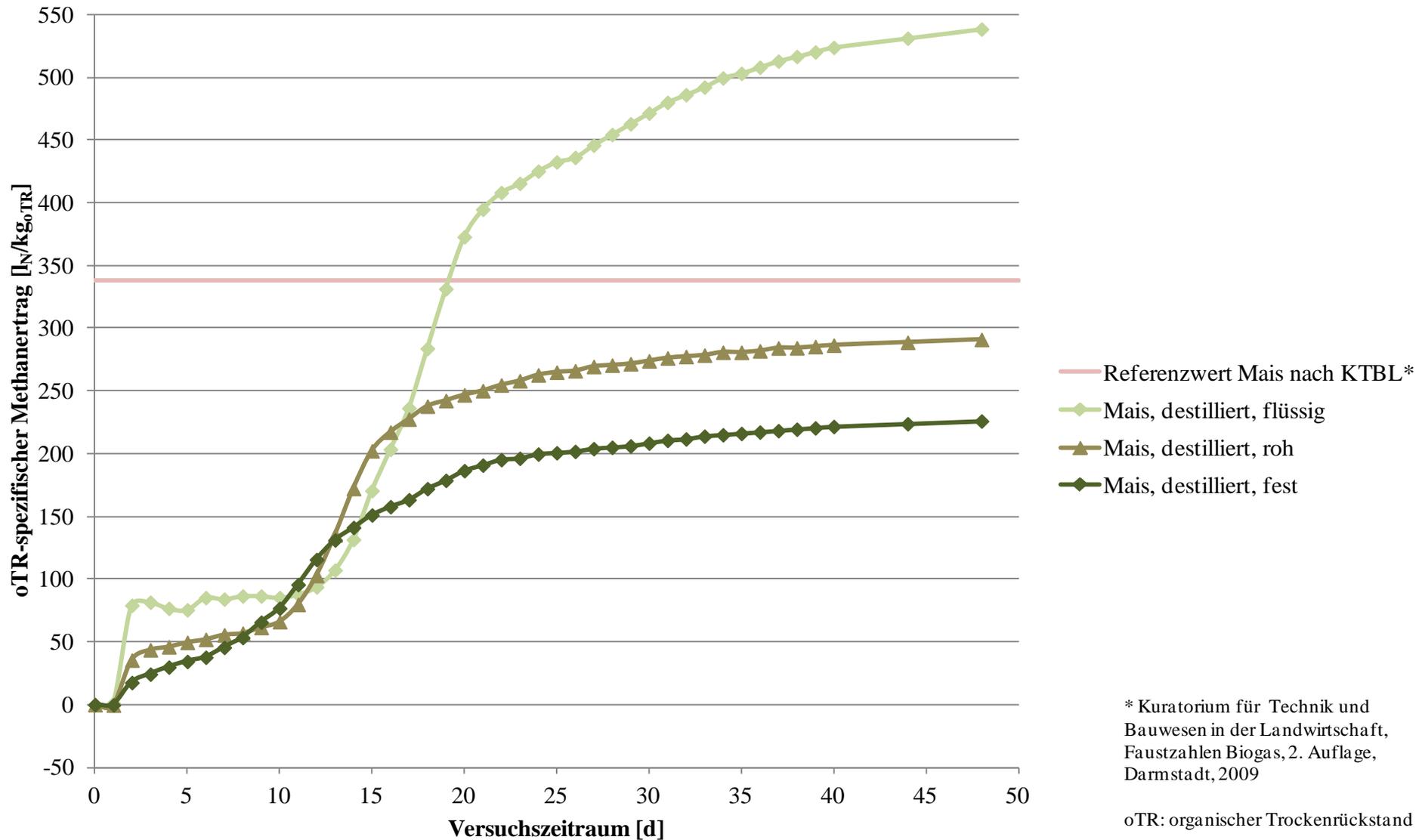
Fermen-
tation

Destillation

Reststoff-
verwertung

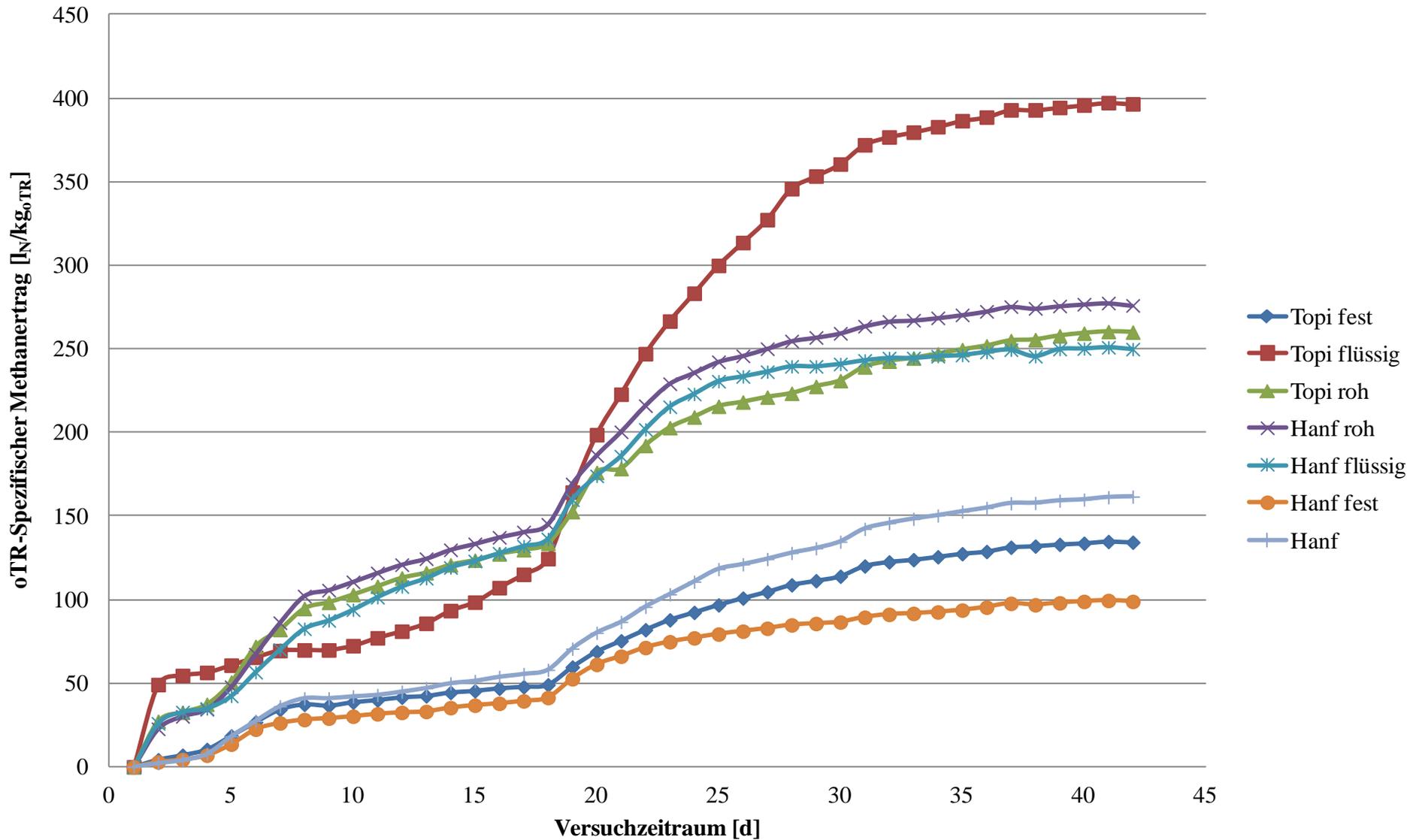
2 Ergebnisse

oTR-Spezifischer Methanertrag



2 Ergebnisse

oTR-Spezifischer Methanertrag





3 Ergebnisse

Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter

Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.

M.Eng.
Daniel Baumkötter

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

Bereitstellung CO₂-neutraler Prozessenergie

Rohstoffbe-
reitstellung

Vorbe-
handlung

Fermen-
tation

Destillation

Reststoff-
verwertung

Prozess-
energie

Dampf

Strom

Wärme

Schlempe





3 Ergebnisse

Beispielberechnung für eine Brennerei mit einer Produktionskapazität von 20.000 hl/a

Benötigte Biogasanlagenleistung: ca. 2,4 MW_{el}

Benötigte elektrische Leistung	
Gesamt	50 kW _{el}
Benötigte thermische Leistung	
Dämpfer	422 kW _{th}
Weitere Prozessschritte	60 kW _{th}
Gesamt	482 kW _{th}
Benötigte Dampfleistung	
Dämpfer	796 kW _{Dampf}
Destillation	395 kW _{Dampf}
Gesamt	1.191 kW _{Dampf}

Deckungsgrad des Energiebedarfs durch Maischlempe:

	Einheit	Bedarf	Roh		Feststoff	
			Absolut	Anteil	Absolut	Anteil
Elektrische Leistung	kW _{el}	50	460	919%	178	355%
Thermische Leistung	kW _{th}	482	287	60%	111	23%
Dampfleistung	kW _{Dampf}	1.191	230	19%	89	7%

Rohstoffbe-
reitstellung

Vorbe-
handlung

Fermen-
tation

Destillation

Reststoff-
verwertung



3 Ergebnisse

Butanol

- Vorteile:
 - höhere Energiedichte, niedrigeren Dampfdruck, höheren Flammpunkt
 - Schlechter mit Wasser mischbar und weniger korrosiv
- Bisher: Fermentation von Zuckern mit anaeroben Bakterien
→ kompliziert und nicht rentabel
- Zukünftig: Hefen, die neben Ethanol vor allem Butanol produzieren
- Stand: Butanolproduktionsrate wurde erhöht, jedoch noch nicht im relevanten Bereich

Rohstoffbe-
reitstellung

Vorbe-
handlung

Fermen-
tation

Destillation

Reststoff-
verwertung



Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter

Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.

M.Eng.
Daniel Baumkötter

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

4 Ausblick

- Optimierte Produktion von Lignocellulose-Ethanol/Butanol aus Rest- und Abfallstoffen
- Für Nachweis der nachhaltigen und klimafreundlichen Produktion wird zur Zeit eine Energie- und Ökobilanz erstellt
- Ebenso eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Implementierung der gewonnenen Erkenntnisse in eine bestehende dezentrale gekoppelte Bioethanol-/Biogasanlage
- Weitere Schließung regionaler Stoff-, Energie- und Finanzströme



Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter

Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.

M.Eng.
Daniel Baumkötter

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

5 Fazit

- Bislang wurde keine einzige Großanlage errichtet, die im kommerziellen Maßstab produzieren könnte
- Die Produktion von nachhaltigem Bioethanol aus Lignocellulose ist technisch machbar
- Noch viele Herausforderungen und Optimierungsmöglichkeiten
- Biokraftstoffe bleiben unverzichtbar; dieses Projekt leistet einen wichtigen Beitrag für die weitere Zukunft

6 Strategiepapier zur Substitution von Superbenzin durch Bioethanol



Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

- Autoren: PD Dr. Thomas Senn (Uni Hohenheim) und Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter (FH Münster)
- Ziel: Erhöhung Anteil Bioethanol in Deutschland und EU
- Wege zur Zielerreichung:
 1. Erhöhung des Ethanolanteiles im Superbenzin von 10 % (E 10) auf 20 % (E 20)
 2. Ausbau und Stärkung des E 85-Anteiles
 3. Stärkung der dezentralen Bioethanolproduktion
- Unterstützung durch Informations- und Aufklärungskampagne
- Download unter:
www.fh-muenster.de/egu/bioethanol

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter

Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.

M.Eng.
Daniel Baumkötter

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt



Kontaktdaten

Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



Prof. Dr. C. Wetter
(Projektkoordinator)
Dipl.-Ing. E. Brüggling M.Sc.
D. Baumkötter M.Eng.
Fachhochschule Münster
Stegerwaldstr. 39
48565 Steinfurt
Tel.: +49 (0) 2551 9-62725
Fax : +49 (0) 2551 9-62717
E-Mail: wetter@fh-
muenster.de



Prof. Dr. E. Boles
Dipl.-Ing. H. Dietz
Goethe-Universität
Frankfurt
Max-von-Laue-Str. 9
60438 Frankfurt
Tel.: +49 (0) 69 798-29513
E-Mail: e.boles@bio.uni-
frankfurt.de

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



PD Dr. T. Senn
Dipl.-Agr. Biol. M. Buck
Universität Hohenheim
Garbenstr. 23
70599 Stuttgart
Tel.: +49 (0) 711 459-23353
Fax : +49 (0) 711 459-23638
E-Mail: thomas.senn@uni-
hohenheim.de

Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter
Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.
M.Eng.
Daniel Baumkötter
Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

www.re2alko.de



Fachbereich



Energie
Gebäude
Umwelt

Prof. Dr.-Ing.
Christof Wetter

Dipl.-Ing.
Elmar Brüggling, M.Sc.

M.Eng.
Daniel Baumkötter

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt