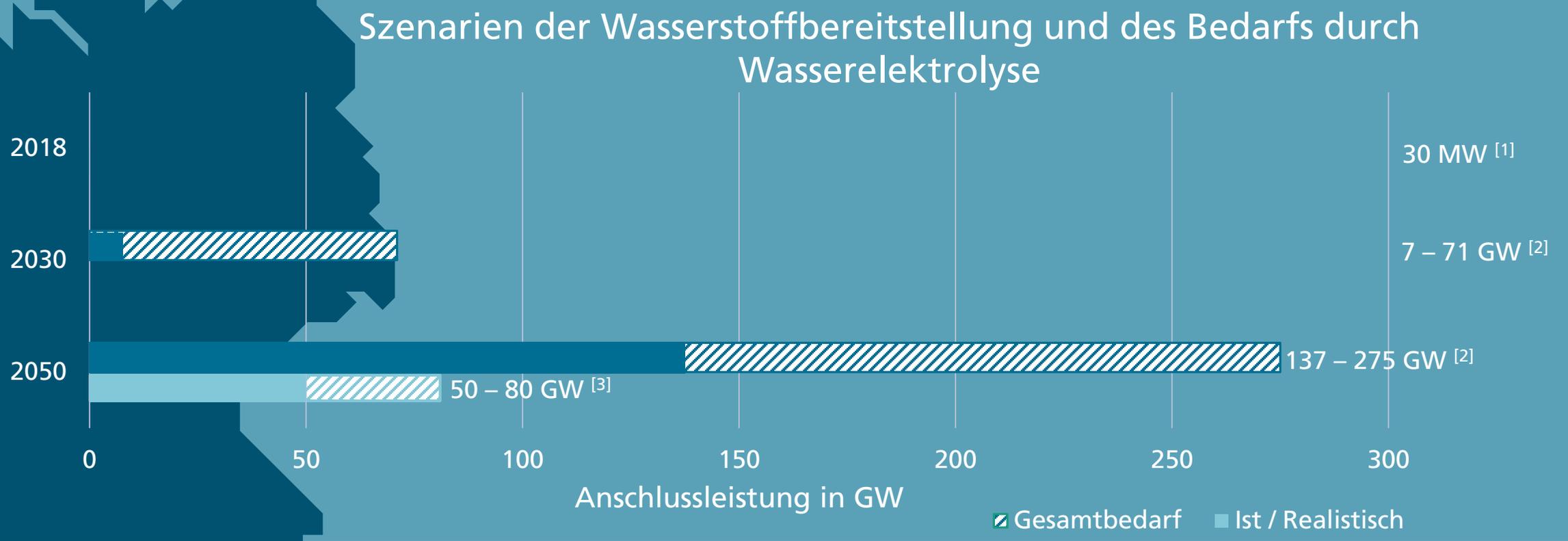


HyPerFerment

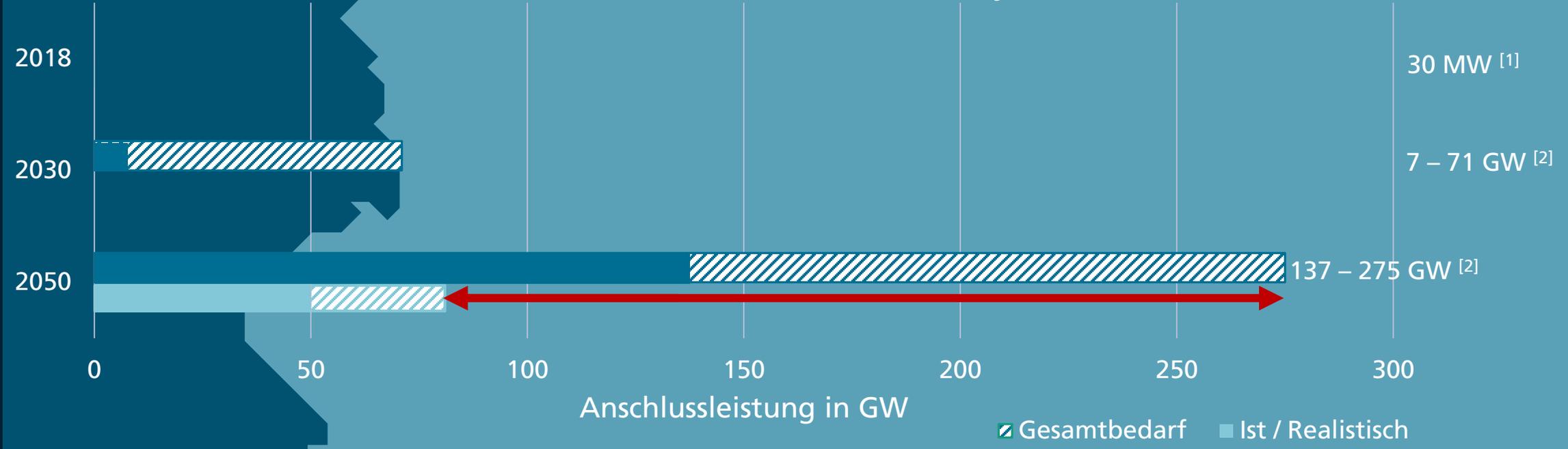
Wasserstoff durch Dunkelfermentation als AddOn für die Biogasanlage



HyPerFerment

Wasserstoff durch Dunkelfermentation als AddOn für die Biogasanlage

Szenarien der Wasserstoffbereitstellung und des Bedarfs durch Wasserelektrolyse



HyPerFerment

Wasserstoff durch Dunkelfermentation als AddOn für die Biogasanlage

Torsten Birth, Natascha Eggers, Fabian Giebner



01

Die Idee von HyPerFerment

Unser Konzept

02

Unser Team

Rund um das Projekt HyPerFerment

02

Messbare Vorteile

Anhand von Green Chemistry Metrics

03

Stand des Projektes

Aktuelle Herausforderungen und Ausblick

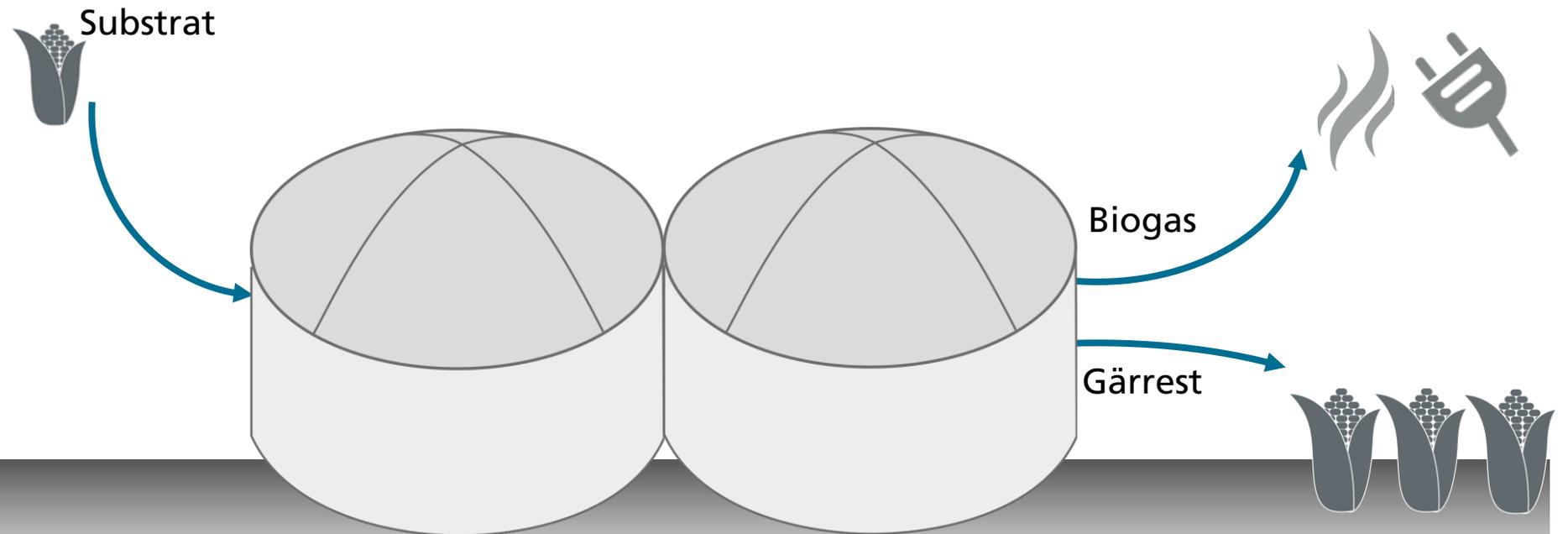
BtX – Aus Biomasse wird Wasserstoff

Hof, den 10. Oktober 2022

3

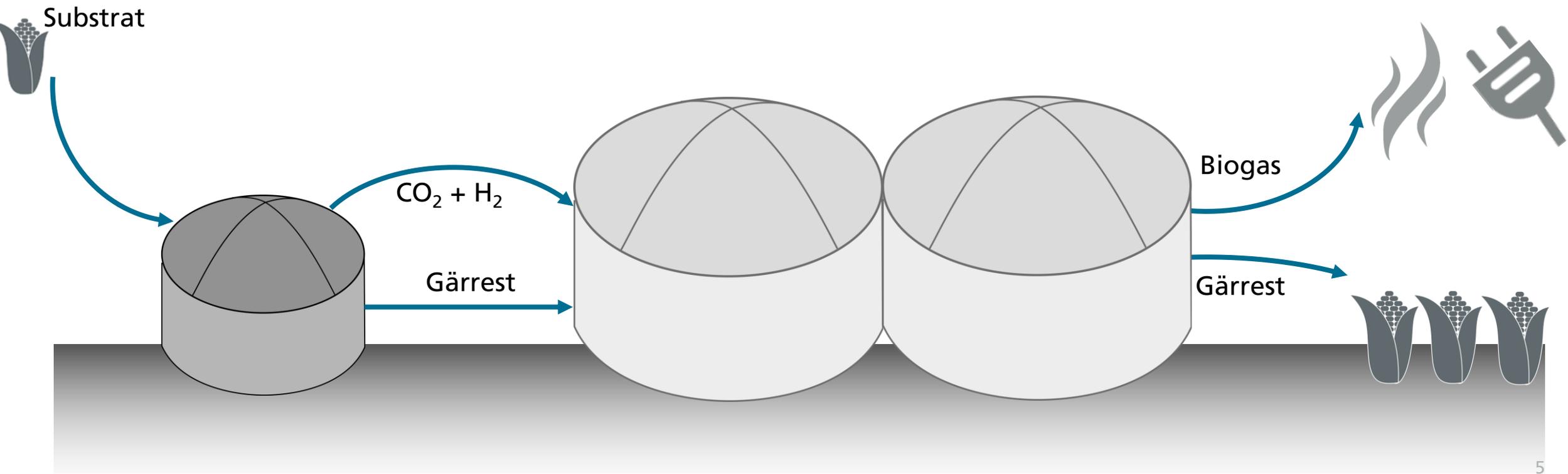
Die Idee von HyPerFerment

Unser Konzept



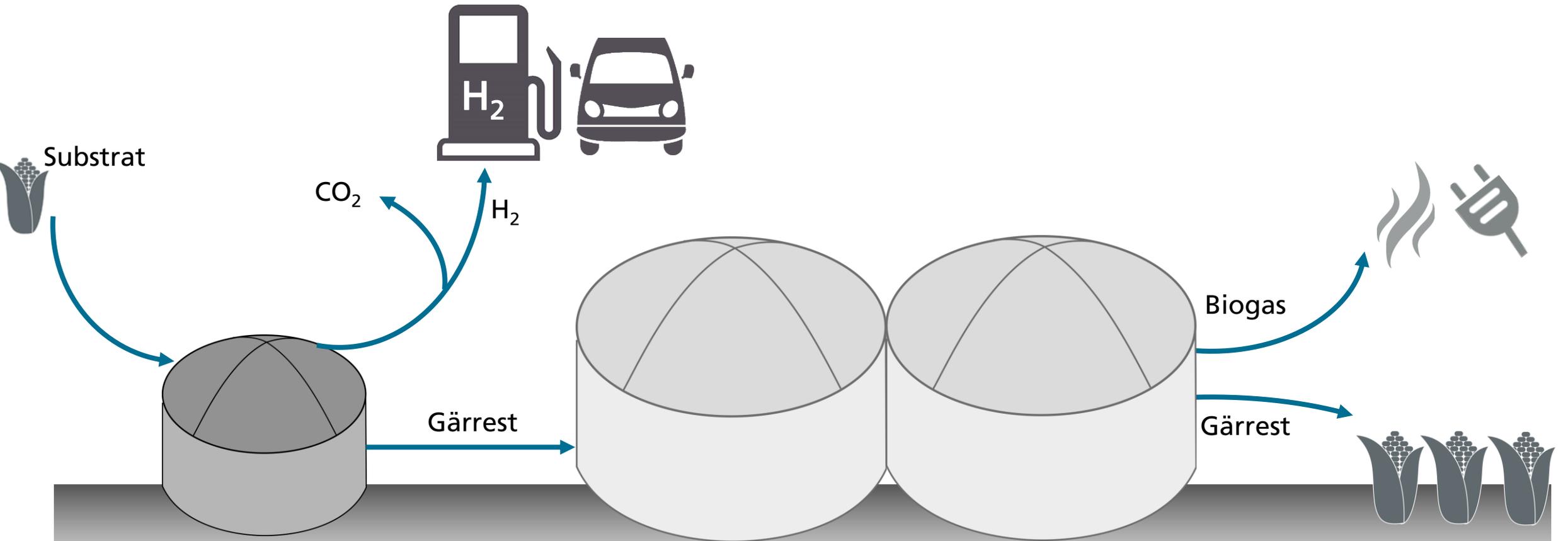
Die Idee von HyPerFerment

Unser Konzept



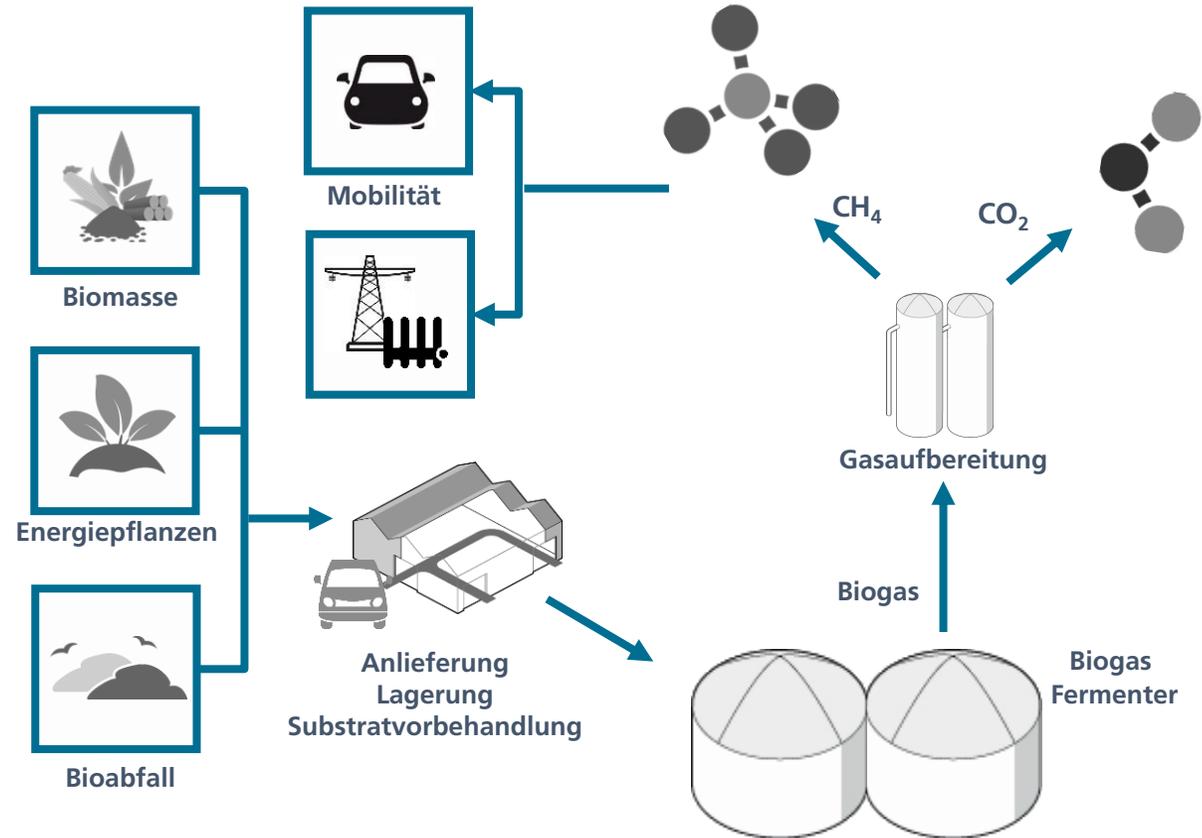
Die Idee von HyPerFerment

Unser Konzept



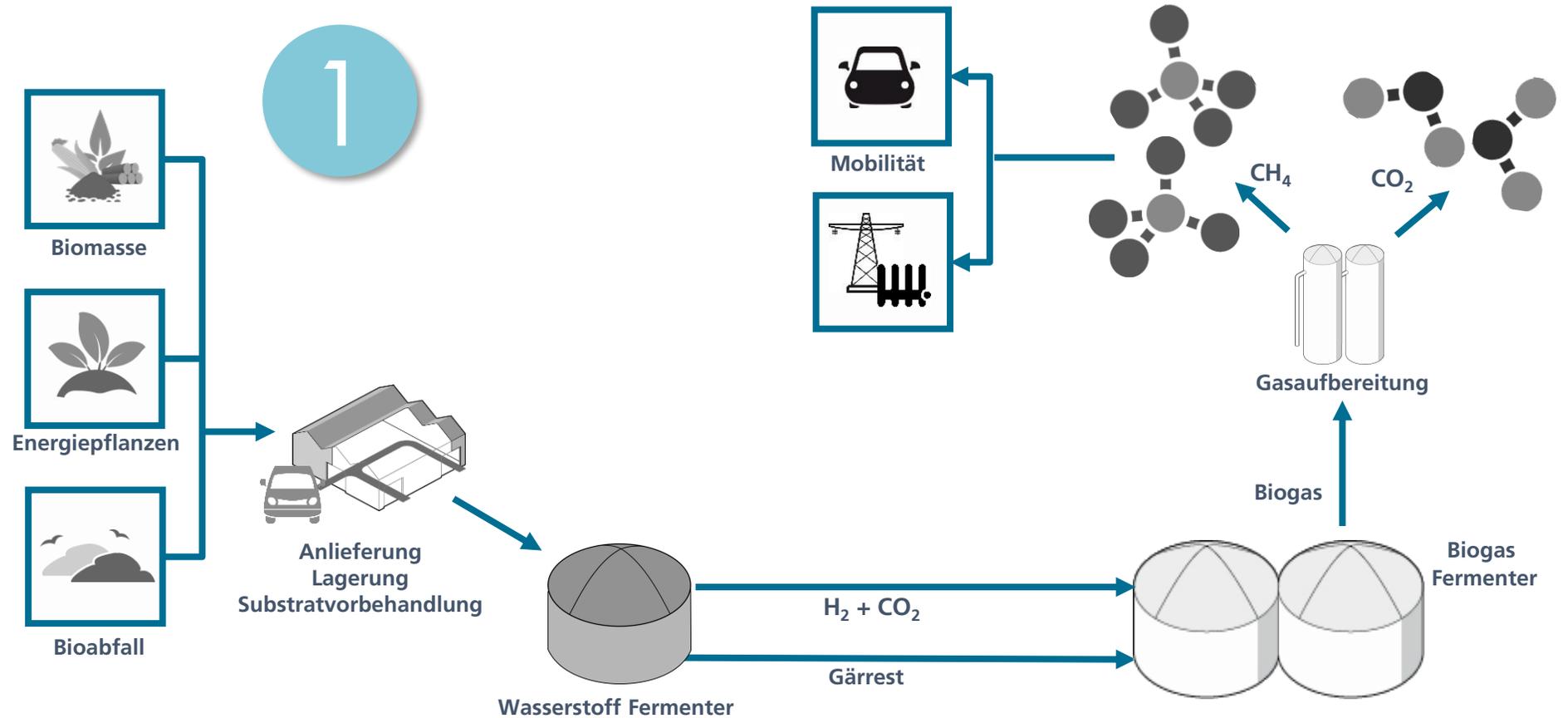
Die Idee von HyPerFerment

Zwei unterschiedliche Verwertungspfade



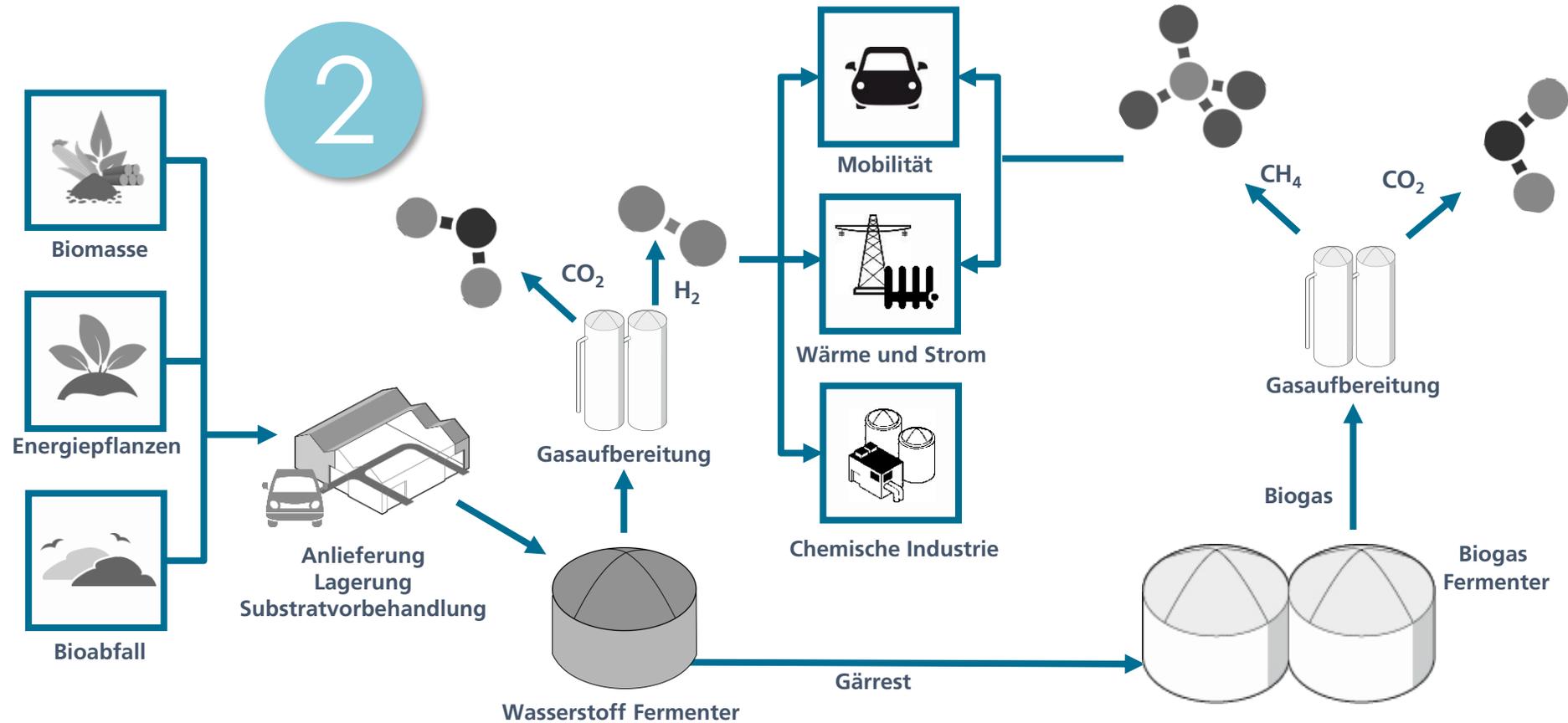
Die Idee von HyPerFerment

Zwei unterschiedliche Verwertungspfade



Die Idee von HyPerFerment

Zwei unterschiedliche Verwertungspfade



Unser Team rund um das HyPerFerment-Projekt

Wissenschaftliche Ansprechpartner

Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und –
automatisierung IFF

MicroPro GmbH
Microbiological Laboratories

Streicher Anlagenbau GmbH &
Co. KG



Prof. Dr.-Ing. Torsten Birth

Leiter Energie- und
Ressourceneffiziente Systeme



Dr. Fabian Giebner

Research Scientist bei MicroPro



Dustin Heinemann | M.Sc.

Projektingenieur



Natascha Eggers | M.Eng.

Energieeffizienz und
-optimierung in Power-to-X



Unser Team rund um das HyPerFerment-Projekt

Aufgaben des Fraunhofer IFF im Rahmen des Projektes

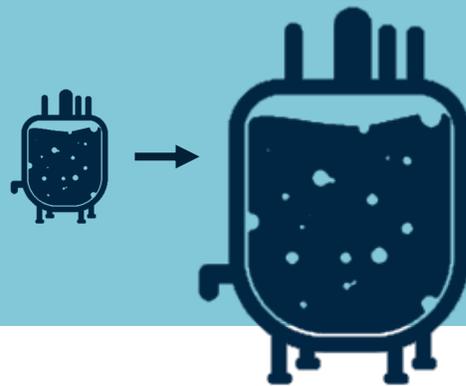
Energie- und Ressourceneffiziente Systeme (ERS)

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Torsten Birth



Scale-Up

Modellierung und Simulation von Scale-Up Szenarien für den Demonstrationsbetrieb und darüber hinaus



Energieeffizienzbewertung und -optimierung (EEO)

Effizienzbewertung und -optimierung des HyPerFerment-Prozesses mittels Kennzahlen und Simulation



Standortanalyse

Potentialanalyse für Deutschland auf Basis verschiedener Datenbanken

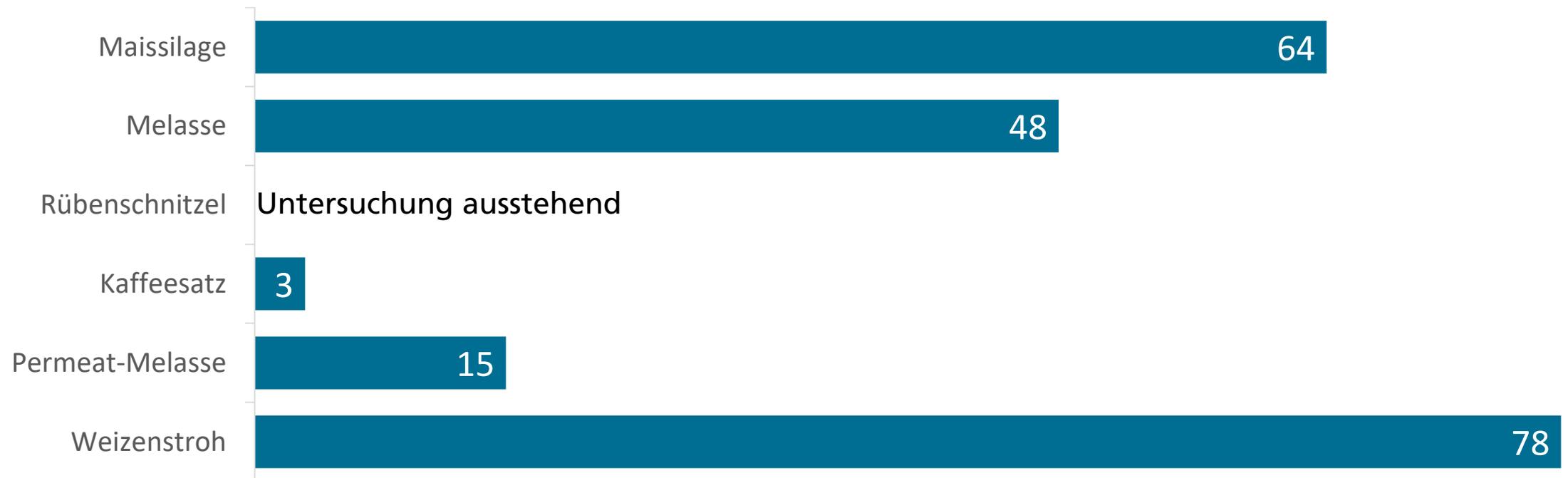


Messbare Vorteile anhand von Green Chemistry Metrics

Wasserstoffausbeute in Abhängigkeit vom Substrat

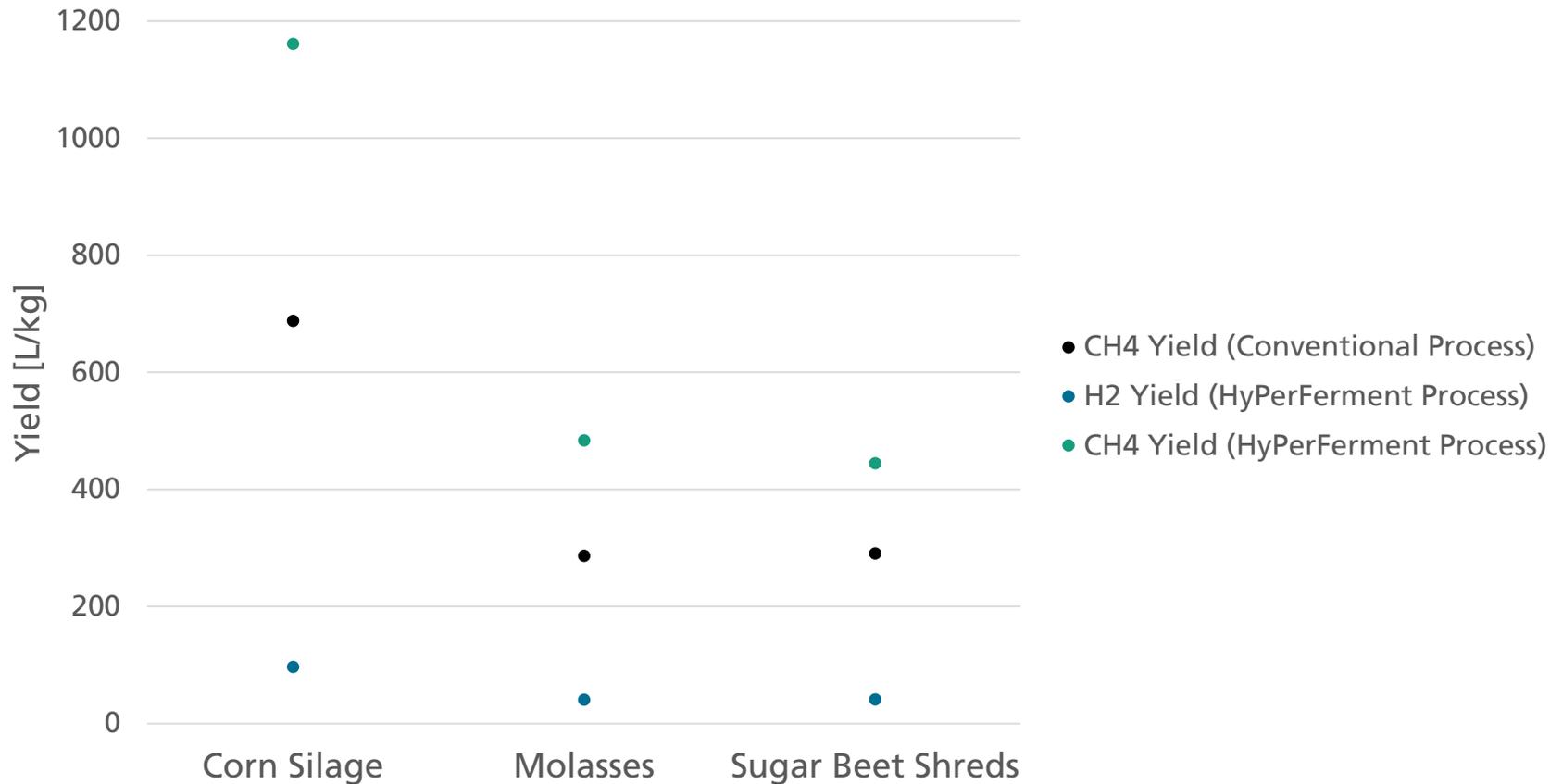
Wasserstoffproduktionsrate [$\text{m}^3 \text{t}^{-1}_{\text{Substrat}} \text{d}^{-1}$]

Die Wasserstoffproduktionsrate wurde von MicroPro im Rahmen von Laborversuchen für verschiedene Substrate ermittelt.



Messbare Vorteile anhand von Green Chemistry Metrics

Substance Efficiency - Yield



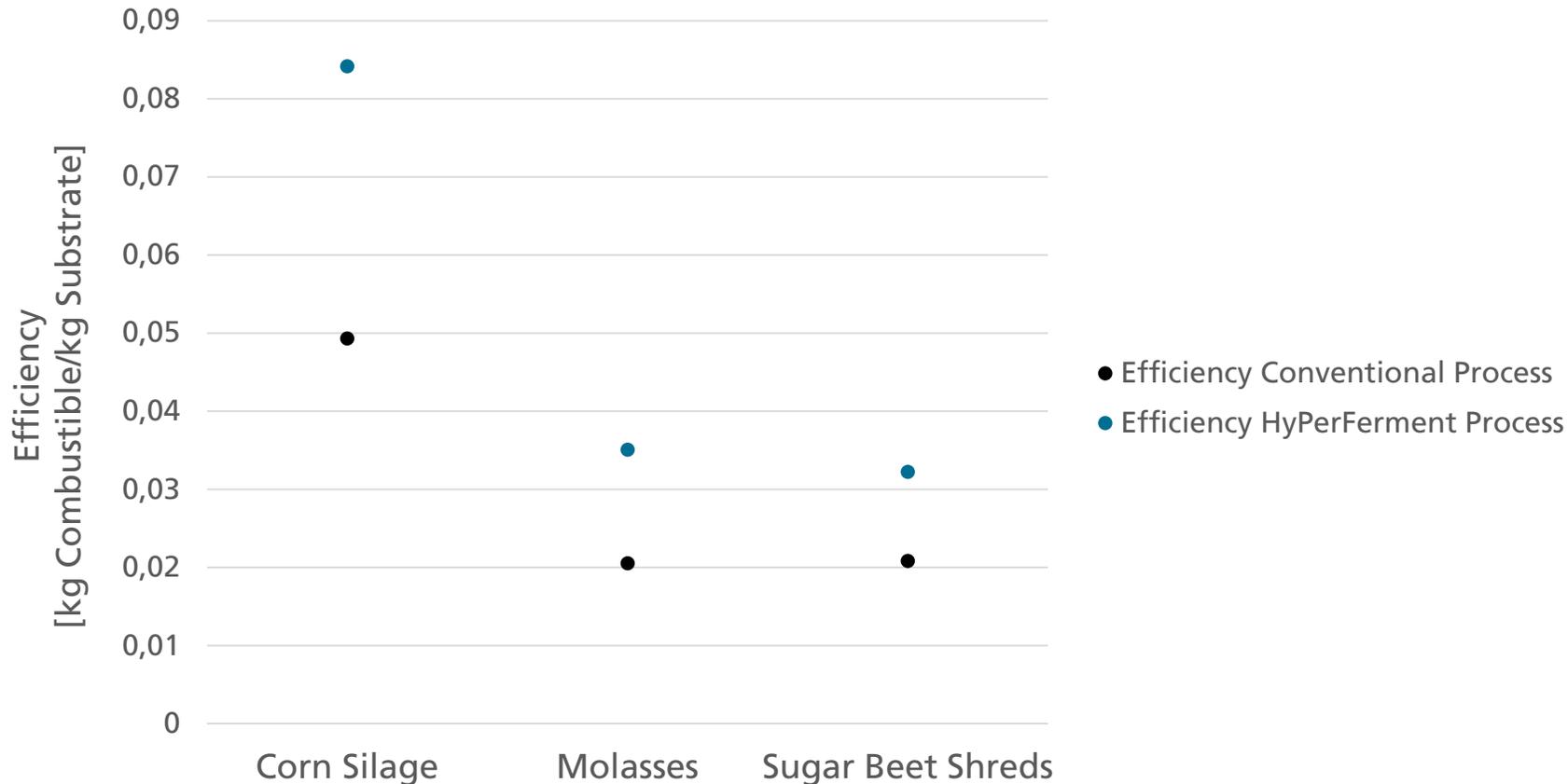
Die Berechnungen basieren auf experimentellen Daten der MicroPro GmbH.

Bisher wurden zwei Versuchsreihen mit 10 parallelen Untersuchungen durchgeführt.

Die Ergebnisse werden derzeit in neuen Versuchen validiert.

Messbare Vorteile anhand von Green Chemistry Metrics

Substance Efficiency - Substrate Utilization Rate



Die Berechnungen basieren auf experimentellen Daten der MicroPro GmbH.

Bisher wurden zwei Versuchsreihen mit 10 parallelen Untersuchungen durchgeführt.

Die Ergebnisse werden derzeit in neuen Versuchen validiert.

Messbare Vorteile anhand von Green Chemistry Metrics

Physikalisches Optimum als Grenze der Optimierbarkeit

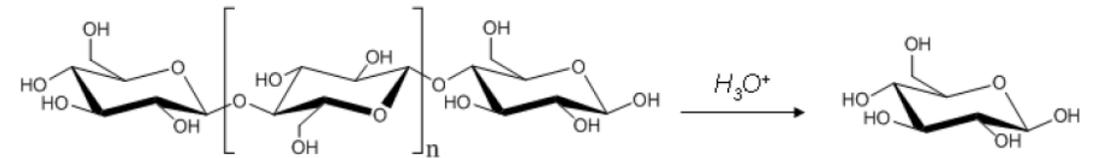
Physikalisches Optimum (PhO). Auf Basis physikalischer Gesetzmäßigkeiten definierte Grenze der Optimierbarkeit eines Prozesses. Basiert für biologische Prozesse auf der Stöchiometrie der Reaktion.

Realer Prozess. In der Realität läuft eine Vielzahl von Reaktionen ab. Welche Reaktion bevorzugt wird hängt von den Bedingungen ab.

Prozessgrenze. In Folge des Metabolismus der beteiligten Mikroorganismen ergibt sich eine maximale Wasserstoffausbeute. ^[4]

PhO. Berücksichtigung von drei wichtigen Prozessschritten. Anpassbar in Abhängigkeit vom Substrat.

- ❑ Enzymatische Verzuckerung
- ❑ Fermentation der Glucose
- ❑ Fermentation von Fetten (falls vorhanden)



Messbare Vorteile anhand von Green Chemistry Metrics

Physikalisches Optimum als Grenze der Optimierbarkeit

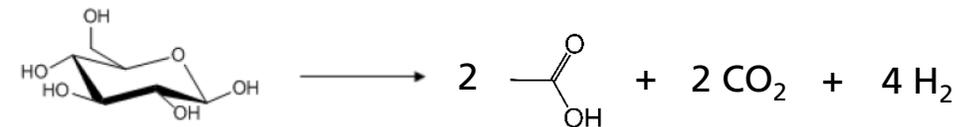
Physikalisches Optimum (PhO). Auf Basis physikalischer Gesetzmäßigkeiten definierte Grenze der Optimierbarkeit eines Prozesses. Basiert für biologische Prozesse auf der Stöchiometrie der Reaktion.

Realer Prozess. In der Realität läuft eine Vielzahl von Reaktionen ab. Welche Reaktion bevorzugt wird hängt von den Bedingungen ab.

Prozessgrenze. In Folge des Metabolismus der beteiligten Mikroorganismen ergibt sich eine maximale Wasserstoffausbeute. ^[4]

PhO. Berücksichtigung von drei wichtigen Prozessschritten. Anpassbar in Abhängigkeit vom Substrat.

- ❑ Enzymatische Verzuckerung
- ❑ Fermentation der Glucose
- ❑ Fermentation von Fetten (falls vorhanden)



Messbare Vorteile anhand von Green Chemistry Metrics

Physikalisches Optimum als Grenze der Optimierbarkeit

Physikalisches Optimum (PhO). Auf Basis physikalischer Gesetzmäßigkeiten definierte Grenze der Optimierbarkeit eines Prozesses. Basiert für biologische Prozesse auf der Stöchiometrie der Reaktion.

Realer Prozess. In der Realität läuft eine Vielzahl von Reaktionen ab. Welche Reaktion bevorzugt wird hängt von den Bedingungen ab.

Prozessgrenze. In Folge des Metabolismus der beteiligten Mikroorganismen ergibt sich eine maximale Wasserstoffausbeute. ^[4]

PhO. Berücksichtigung von drei wichtigen Prozessschritten. Anpassbar in Abhängigkeit vom Substrat.

- ❑ Enzymatische Verzuckerung
- ❑ Fermentation der Glucose
- ❑ Fermentation von Fetten (falls vorhanden)



Messbare Vorteile anhand von Green Chemistry Metrics

Physikalisches Optimum der Dunkelfermentation

Am Beispiel von 4 g Maissilage.

Bestandteil	Anteil [5]	Masse	Abbauvorgang	Ausbeute
Stärke	30 %	1,20 g	Verzuckerung	0,66 g Glucose
Glucose	8 %	0,16 g + Verzuckerung = 0,99 g	Fermentation	0,024 g H ₂
Fette	6 %	0,12 g	Fermentation	0,002 g H ₂

Physikalisches Optimum. Aus 4 g Maissilage können unter optimalen Betriebsbedingungen 0,026 g Wasserstoff bereitgestellt werden.

PhO-Faktor. Der PhO-Faktor vergleicht den realen Prozess mit dem PhO und ist damit ein Maß für die Optimierbarkeit des Prozesses.

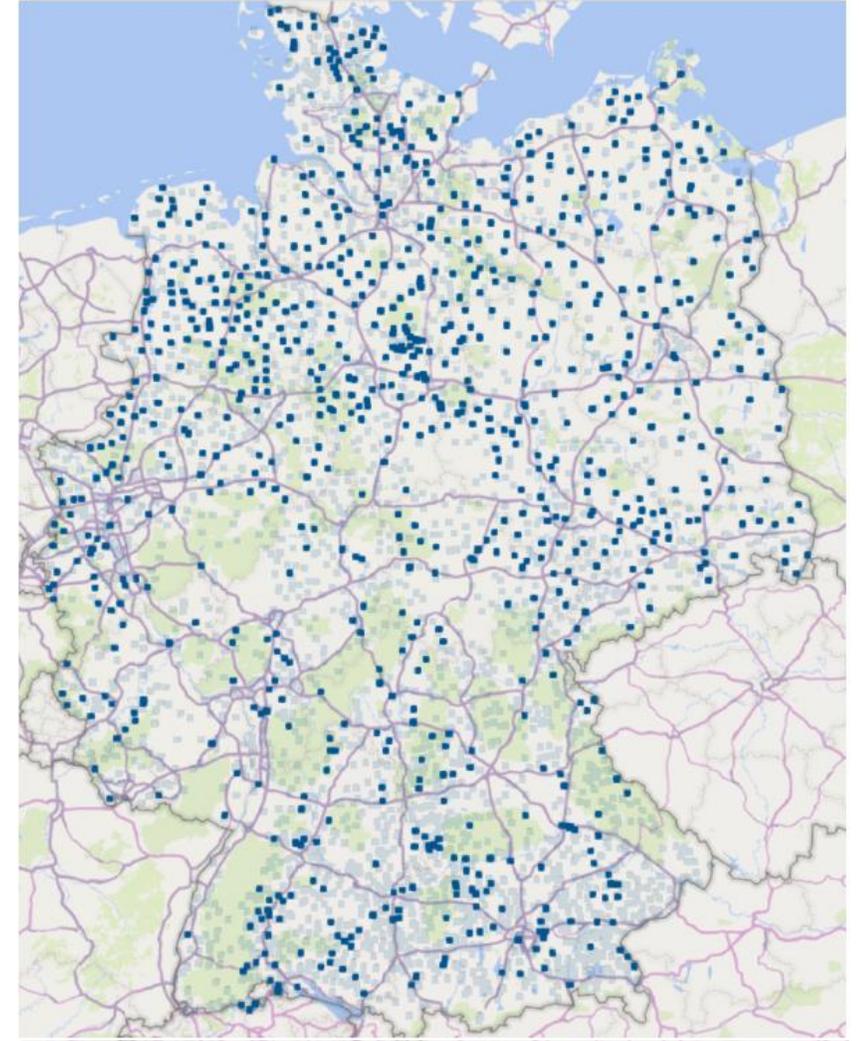
$$F_{PhO} = \frac{m_{H_2,real}}{m_{H_2,PhO}} = \frac{0,02247g}{0,026g} = 0,864$$

Messbare Vorteile anhand von Green Chemistry Metrics

Potentiale der Dunkelfermentation in Deutschland

Standortanalyse unter Berücksichtigung unterschiedlicher Datenbanken für Biogasanlagen in Deutschland

- 10 103 Anlagen untersucht
- Umsetzung bei 1 469 Biogas- und 50 Biomethananlagen in Deutschland nach 5 Jahren wirtschaftlich rentabel
- Wasserstoffpotential von 50 000 t/a (3 % des momentanen Bedarfes in Deutschland)



Aktueller Stand des Projektes und Ausblick

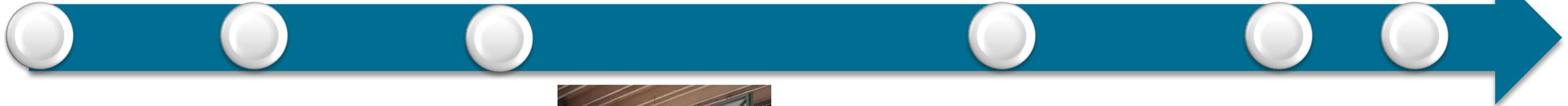
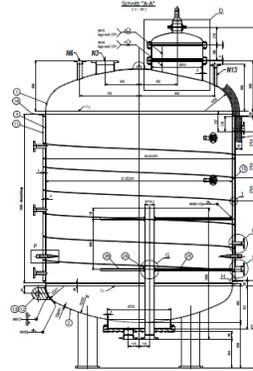
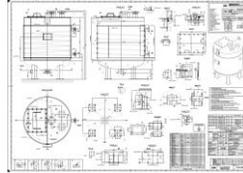
Demonstrationsanlage

HyPerFerment

KickOff
Okt 2020

Preconstruction
Apr - Okt 2022

Start Fermentation
Jan 2023



Nov 2021
Langzeitversuche

30 L Reaktor: 100 L/d
Pilot Anlage: 250 km/d 



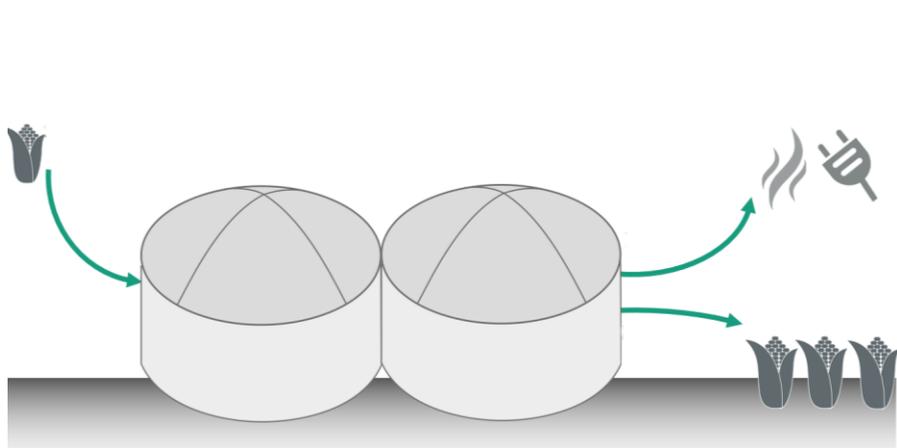
Okt - Jan 2022
On-Site Construction



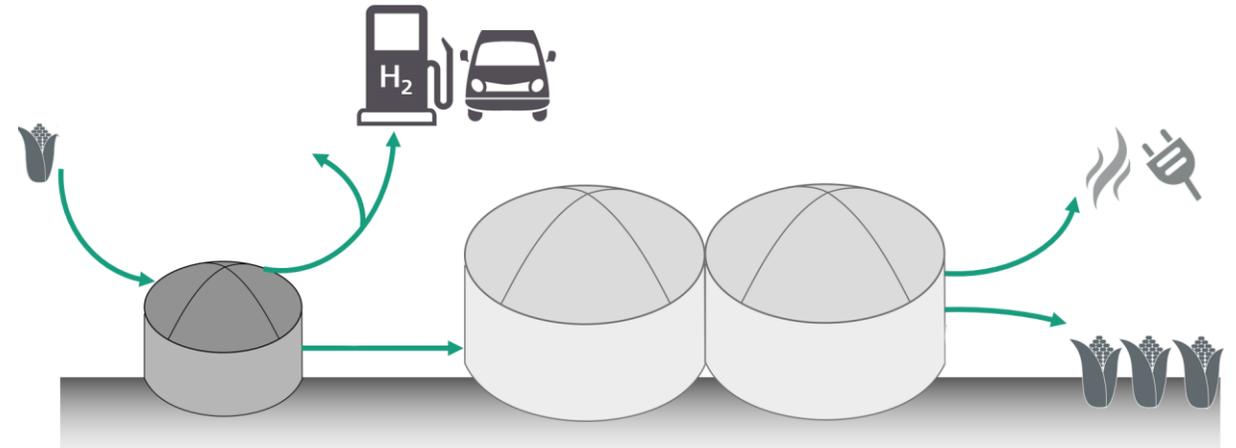
Mrz 2023
Ergebnisse

Aktueller Stand des Projektes und Ausblick

Herausforderungen der Effizienzbewertung

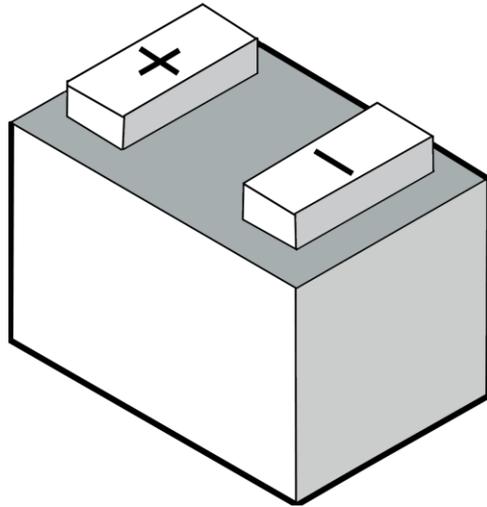


VS.

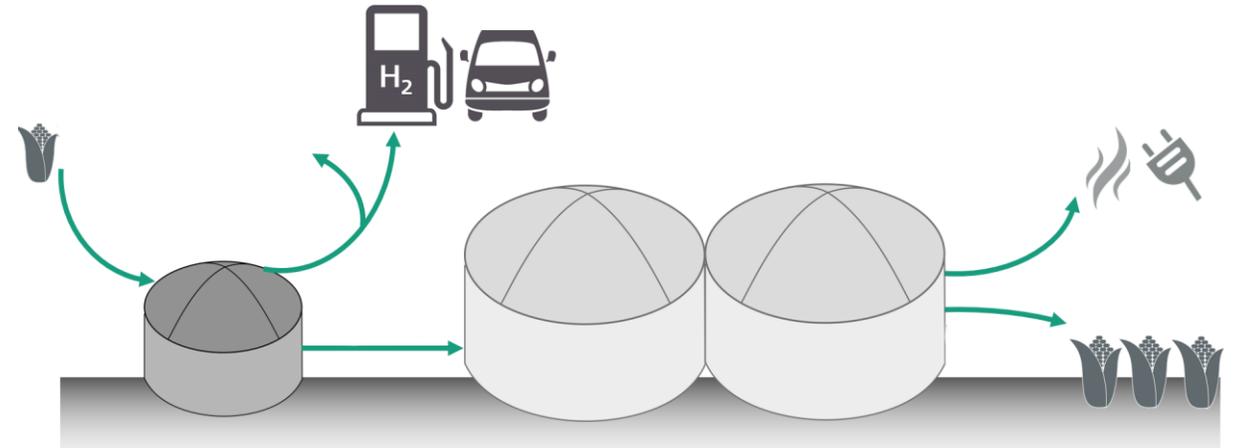


Aktueller Stand des Projektes und Ausblick

Herausforderungen der Effizienzbewertung



VS.



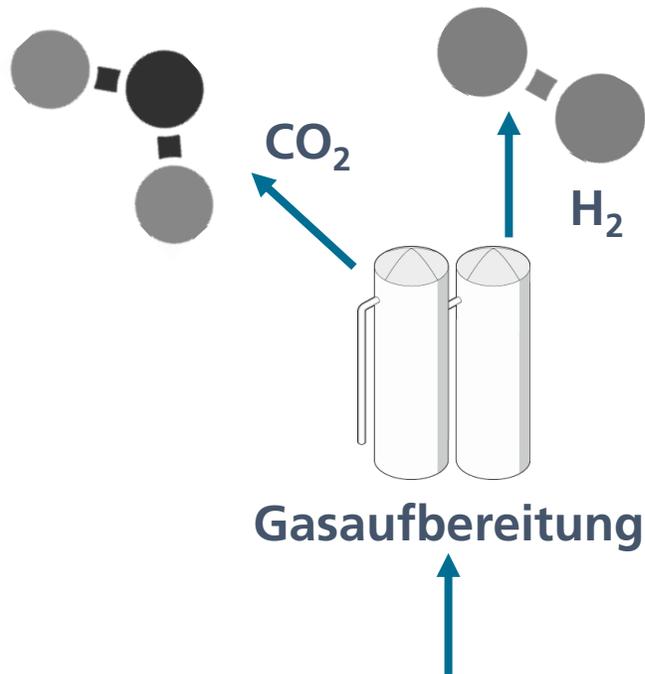
Effizienzbewertung auf Basis von Simulation

Das Physikalische Optimum definiert die Grenze der Optimierbarkeit einer Technologie und erlaubt damit einen Vergleich unterschiedlicher Wasserstoffbereitstellungsverfahren.

Aktueller Stand des Projektes und Ausblick

Herausforderung der Gasaufbereitung für den Direktverbrauch

Bekannte Technologien der CO₂-H₂-Trennung



Druckwechseladsorption
kryogene Abtrennung
Membrantrennverfahren
Etc.

Bekannte Verfahren sind im kleinen Maßstab nicht wirtschaftlich oder können nicht die für Brennstoffzellen erforderliche Reinheit gewährleisten.

HyPerFerment

Wasserstoff durch Dunkelfermentation als AddOn für die Biogasanlage

Torsten Birth, Natascha Eggers, Fabian Giebner



TORSTEN BIRTH
PROF. DR.-ING.

Leiter Energie- und Ressourcen-
effiziente Systeme

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
Abteilung Energiesysteme und Infrastrukturen
Energie- und Ressourceneffiziente Systeme

Sandtorstraße 22, 39106 Magdeburg, Germany
Telefon +49 (0) 391/4090-355
torsten.birth@iff.fraunhofer.de
<http://www.iff.fraunhofer.de>

BtX – Aus Biomasse wird Wasserstoff

Hof, den 10. Oktober 2022

24

Professur für Anlagenbau und Prozesssimulation in der Energietechnik

Focus: Energie- und Ressourceneffiziente Anlagen und Systeme

Prof. Dr.-Ing. Torsten Birth | torsten.birth@haw-hamburg.de | +49 (0) 40 428 75 8704



Power-to-X

Planung und Betrieb von bedarfsorientierten Power-to-X-Anlagen und Energiesystemen



Apparatebau und
Anlagenbau (Bachelor)



Energieeffizienzbewertung und -optimierung

Effizienzbewertung und -optimierung von Anlagen und Prozessen mittels Kennzahlen und Simulation



Energieeffiziente
Anlagensysteme (Master)



Ressourceneffizienz und -rückgewinnung

Entwicklung von Energiesystemen & Produktionsprozessen inkl. Ressourcenrückgewinnung



Kältetechnik
(Bachelor)

Wasserstofftechnik – Planung und Methodik für die Systemintegration (Master)

HyPerFerment

Wasserstoff durch Dunkelfermentation als AddOn für die Biogasanlage

Torsten Birth, Natascha Eggers, Fabian Giebner



NATASCHA EGGERS
M.ENG.

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
Abteilung Energiesysteme und Infrastrukturen
Energie- und Ressourceneffiziente Systeme

Telefon +49 (0) 391/4090-381
natascha.eggers@iff.fraunhofer.de



FABIAN GIEBNER
DR.

MicroPro GmbH
Magdeburger Straße 26 b
39245 Gommern

Telefon +49 (0) 39200 703 15
giebner@micropro.de

www.micropro.de

BtX – Aus Biomasse wird Wasserstoff

Hof, den 10. Oktober 2022

26

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

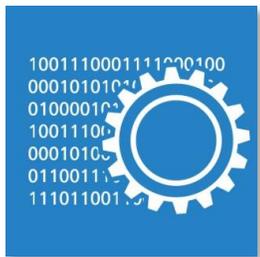
Über das Institut

Gründung des Fraunhofer IFF

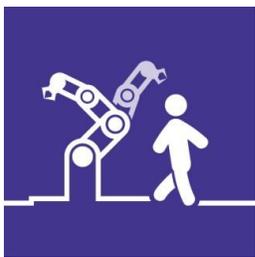
Im Jahr 1992, Fertigstellung des VDTCs im Jahr 2006.

Technologie- und Forschungspartner IFF

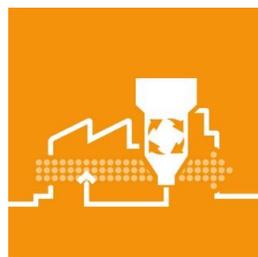
Gemeinsam gestalten wir die Zeitenwende hin zu Digitalisierung und Automatisierung. Unser Ziel: Forschung für nachhaltige Entwicklungen im Sinne ökologisch intakter, ökonomisch erfolgreicher und sozial ausgewogener Wertschöpfungsketten.



Fertigungsmess-
technik und digitale
Assistenzsysteme



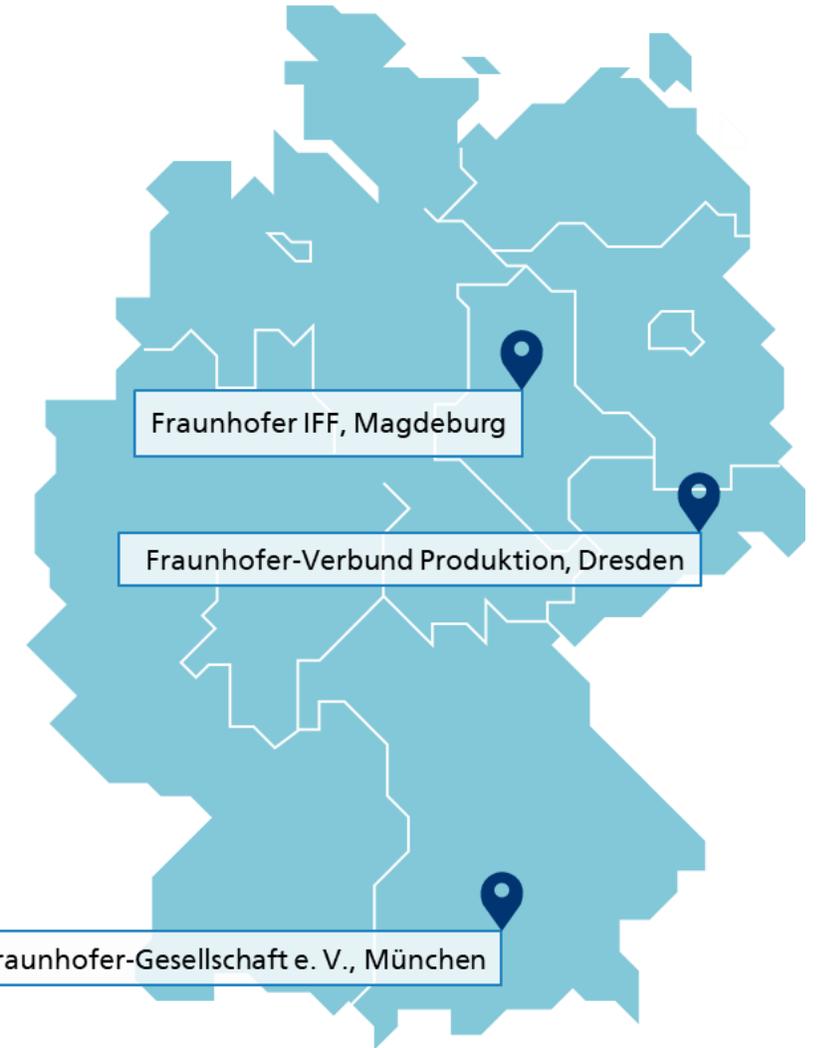
Robotersysteme



Logistik- und
Fabriksysteme



Energiesysteme
und Infrastrukturen



Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Geschäftsfeld Energiesysteme und Infrastrukturen

Energiesysteme und Infrastrukturen (ESI)

Sprecher: Prof. Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki



Digitale Werkzeuge für
integrierte Infrastrukturen
(DWI²)



Energie- und Ressourcen-
effiziente Systeme
(ERS)



Digitale Systeme für
industrielle Prozesse und
Anlagen (DIPA)



Unser Team rund um das HyPerFerment-Projekt

Fraunhofer IFF - Energie- und Ressourceneffiziente Systeme

Energie- und Ressourceneffiziente Systeme (ERS)

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Torsten Birth



Power-to-X (PtX)

Umwandlung, Speicherung und sektorenübergreifende Nutzung regenerativer Energien



Energieeffizienzbewertung und -optimierung (EEO)

Effizienzbewertung und -optimierung von Anlagen und Prozessen mittels Kennzahlen und Simulation



Ressourceneffizienz und -rückgewinnung (REf)

Nachhaltige Reststoffverwertung und Ressourcenrückgewinnung



HyPerFerment

Wasserstoff durch Dunkelfermentation als AddOn für die Biogasanlage

Literaturangaben

- [1] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: "Erzeugung von Wasserstoff: Elektrolyse und solare Verfahren", 2019
- [2] C. Helebling et al.: "Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland", Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE. Karlsruhe, Freiberg, Oktober 2019
- [3] Studie IndWEde: „Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme“ Hg. v. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie – NOW GmbH für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin, September 2018
- [4] Tapia-Venegas, E., Ramirez-Morales, J. and Silva-Illanes, F. (2015). Biohydrogen production by dark fermentation: scaling-up and technologies integration for a sustainable system. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(4), pp.761-785.
- [5] https://www.schaumann.at/statics/www_schaumann_at/downloads/Prospekte_Flyer/fib_hws_maissilage_fibel_191212.pdf