

"EFFICIENCY FIRST" AM BEISPIEL DER RESSOURCENEFFIZIENZ

Bewertung der Effizienz von Power-to-X-Verfahren mittels VDI 4663

Dr.-Ing. Torsten Birth
Natascha Eggers (M. Eng.)

Digitaler Sommer der Energiewende
Magdeburg, den 04. Juli 2020

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF

Konvergente Infrastrukturen (KIS)

Leiter: Professor Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki

**Energie- und Ressourcen-
effiziente Systeme (ERS)**

Dr.-Ing. Torsten Birth



**Energiesysteme
und -anlagen (ESA)**

Dr.-Ing. André Naumann



**Raum- und Struktur-
entwicklung (RSE)**

Dipl.-Ing. (FH)
Andreas Höpfner M. Sc.



**Prozessindustrie 4.0
(PI 4.0)**

Dr.-Ing. Andreas Lehwald*,
Dipl.-Ing. Frank Mewes*



"EFFICIENCY FIRST" AM BEISPIEL DER RESSOURCENEFFIZIENZ

Bewertung der Effizienz von Power-to-X-Verfahren mittels VDI 4663

Dr.-Ing. Torsten Birth
Natascha Eggers (M. Eng.)

Digitaler Sommer der Energiewende
Magdeburg, den 04. Juli 2020

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF

Energie- und Ressourceneffiziente Systeme (ERS)

Leiter: Dr.-Ing. Torsten Birth

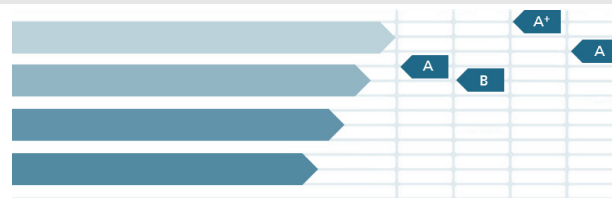


Power-to-X (PtX)

Umwandlung, Speicherung und sektorübergreifende Nutzung regenerativer Energien

Ressourceneffizienz und-Rückgewinnung (REf)

Nachhaltige Reststoffverwertung und Ressourcenrückgewinnung



Physikalisches Optimum (PhO)

Grenzwertorientierte Effizienz-bewertung von Anlagen und Prozessen mittels Kennzahlen

"EFFICIENCY FIRST" AM BEISPIEL DER RESSOURCENEFFIZIENZ

Bewertung der Effizienz von Power-to-X-Verfahren mittels VDI 4663

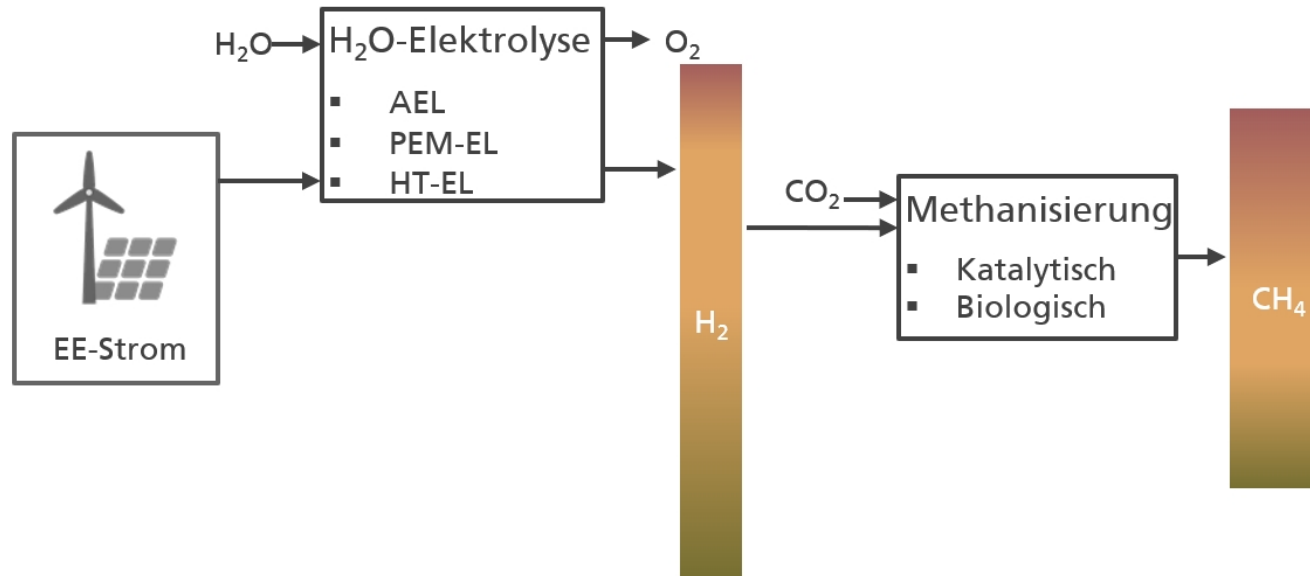
Dr.-Ing. Torsten Birth
Natascha Eggers (M. Eng.)

Digitaler Sommer der Energiewende
Magdeburg, den 04. Juli 2020

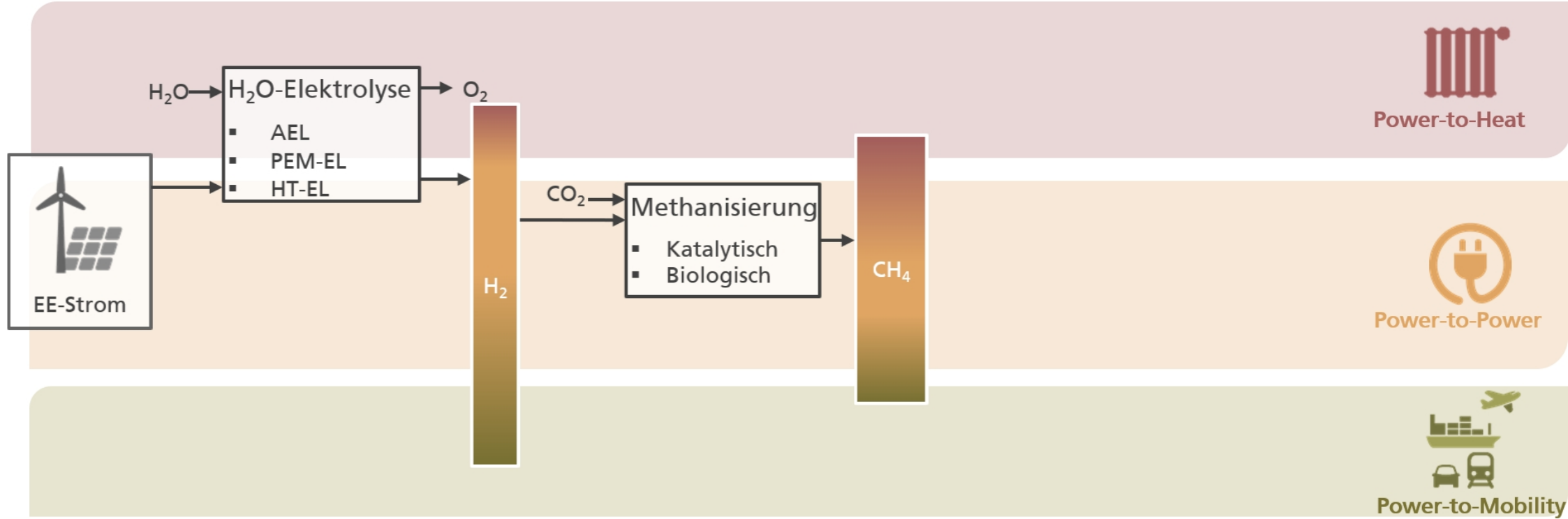


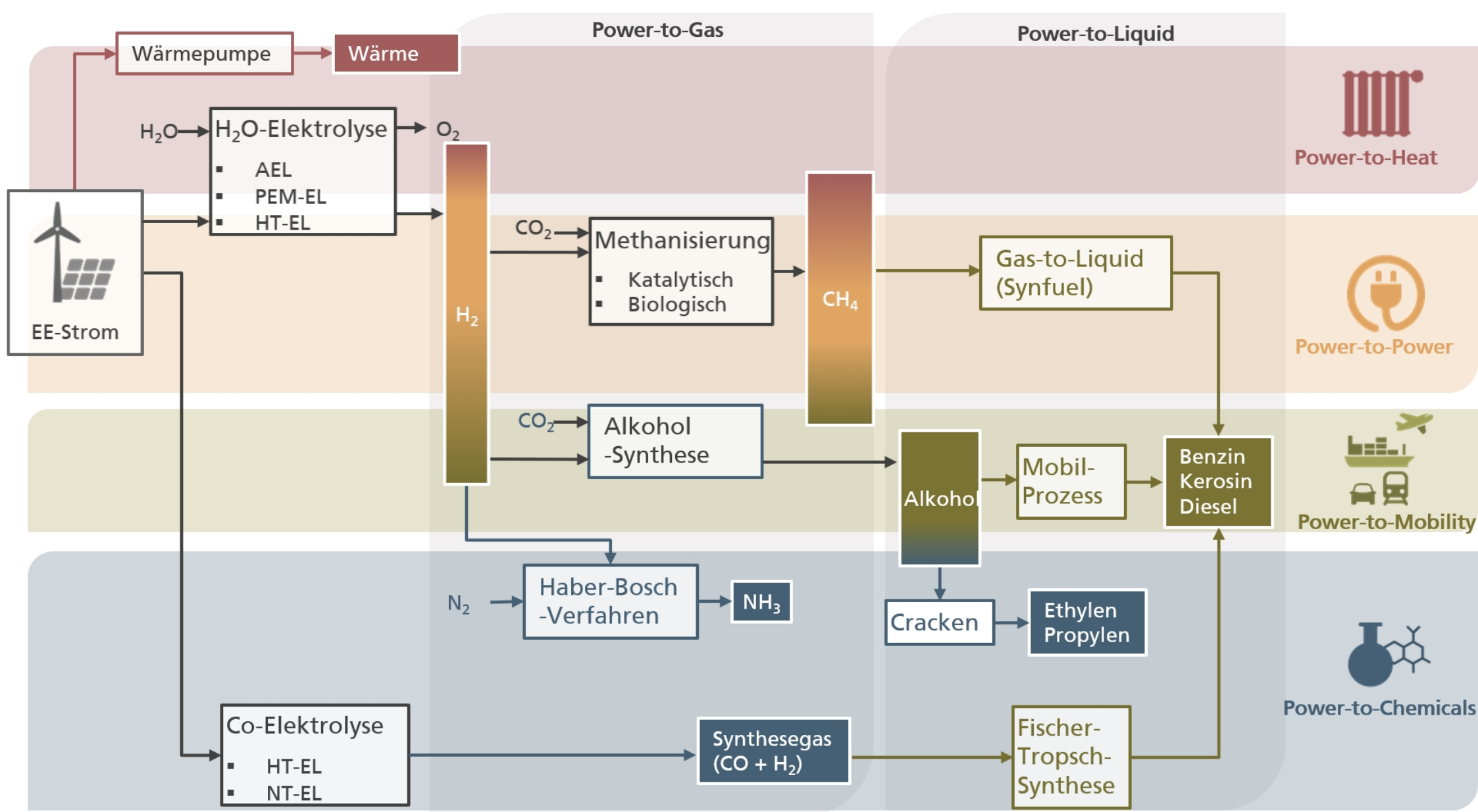
Sektorenkopplung und Effizienzbewertung

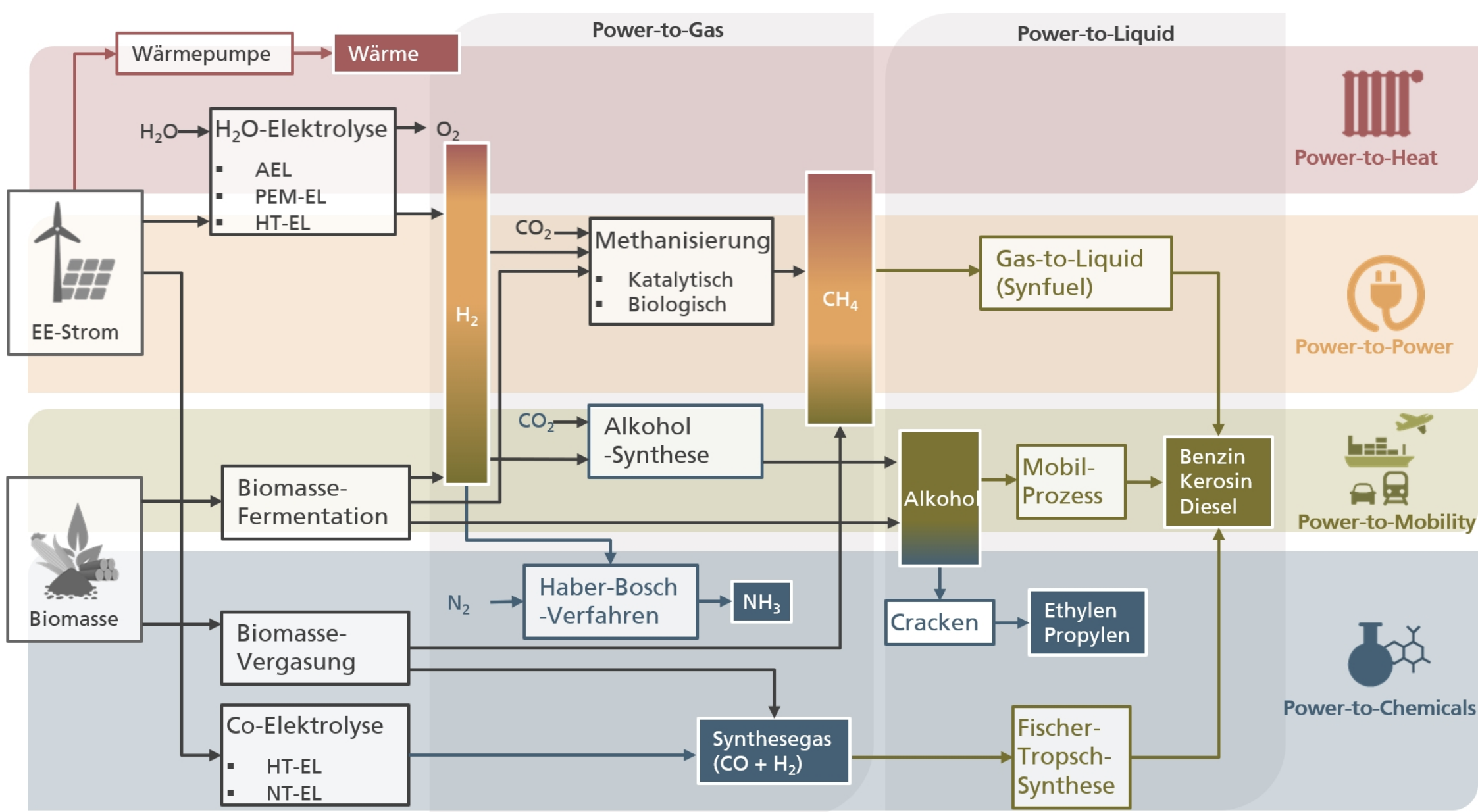
Nutzungspfade von Power-to-X



Power-to-Gas







Sektorenkopplung und Effizienzbewertung

Methoden der Effizienzbewertung auf Basis von Kennzahlen

Wirkungsgrad

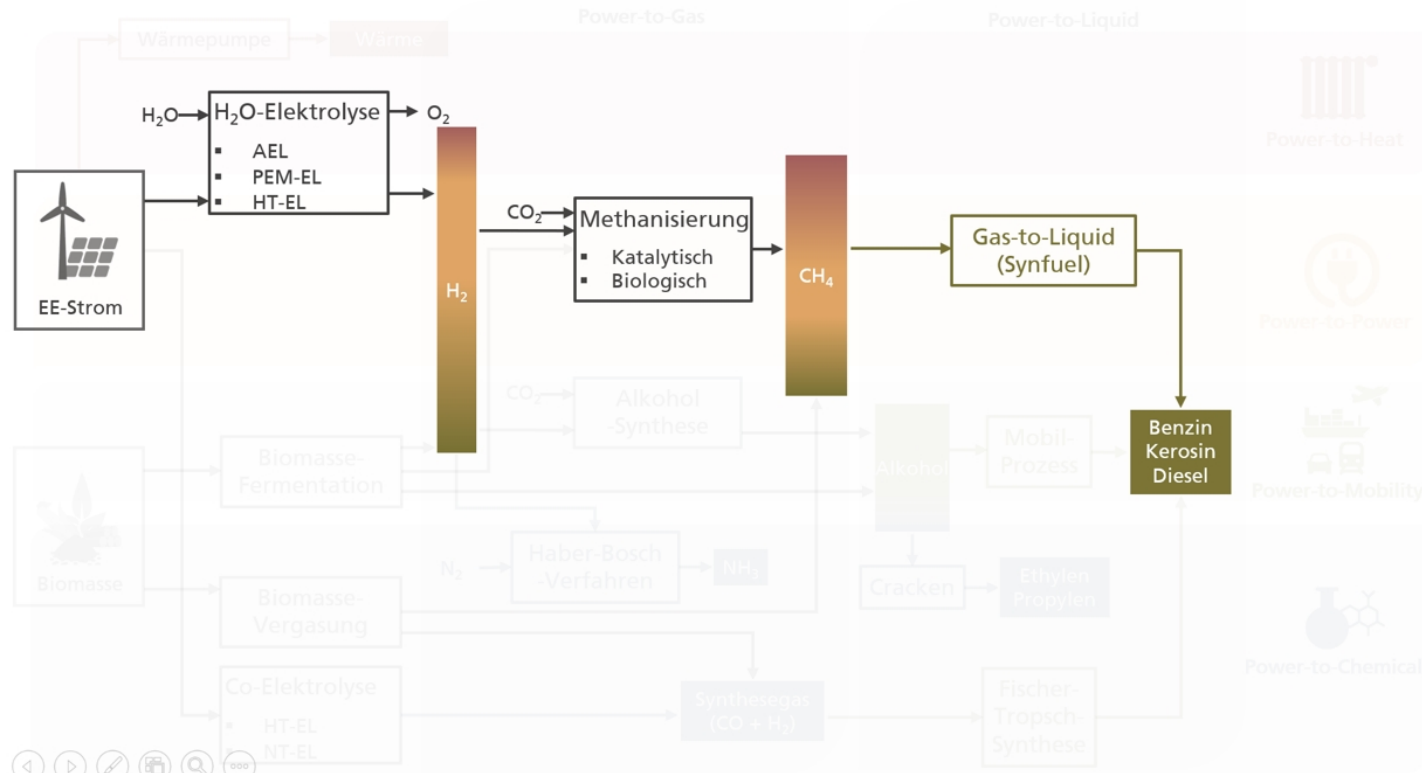
Sektorenkopplung und Effizienzbewertung

Methoden der Effizienzbewertung auf Basis von Kennzahlen



Sektorenkopplung und Effizienzbewertung

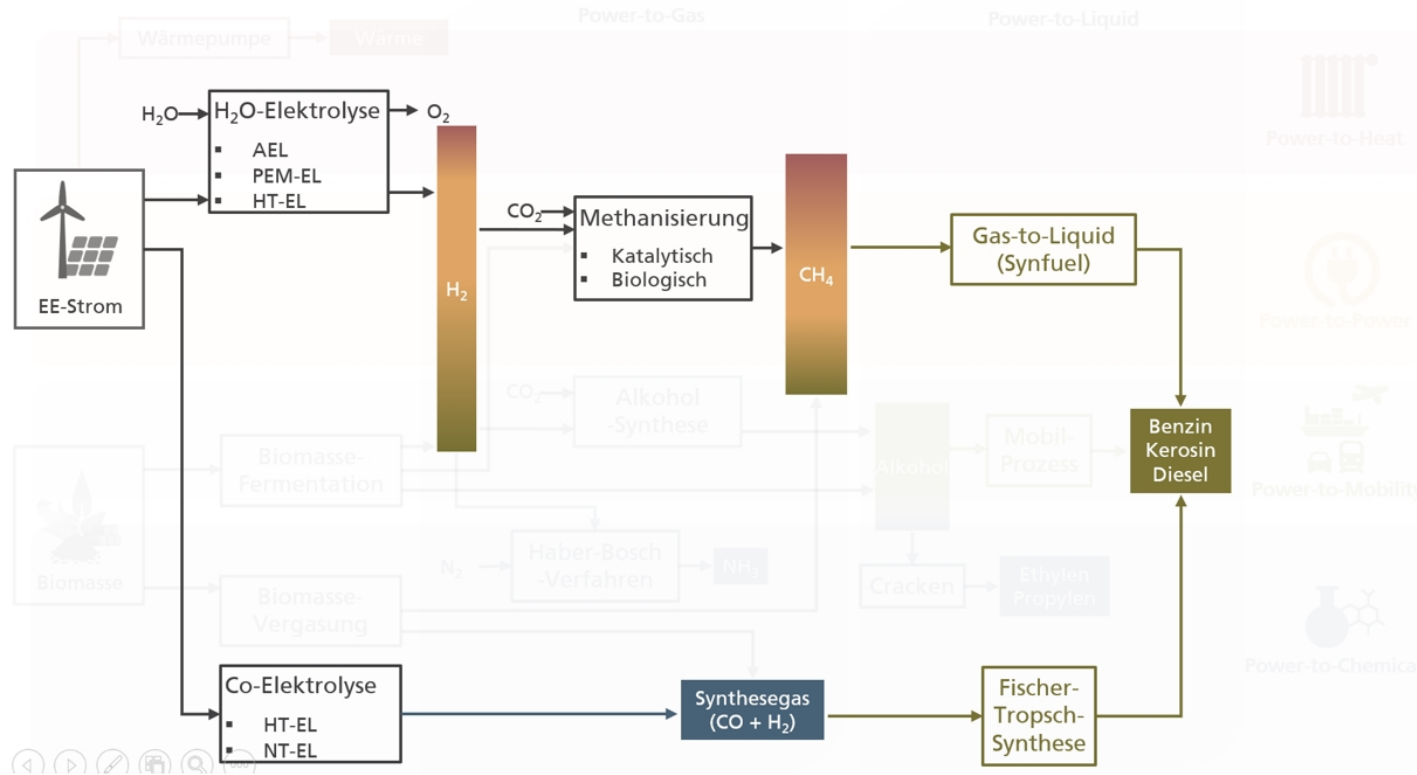
Herausforderungen der Bewertung von Power-to-X-Prozessen



Übertragbarkeit. Es kommen vor allem spezifische Bewertungsmethoden für bestimmte Prozesse/Sektoren zum Einsatz.^[1]

Sektorenkopplung und Effizienzbewertung

Herausforderungen der Bewertung von Power-to-X-Prozessen

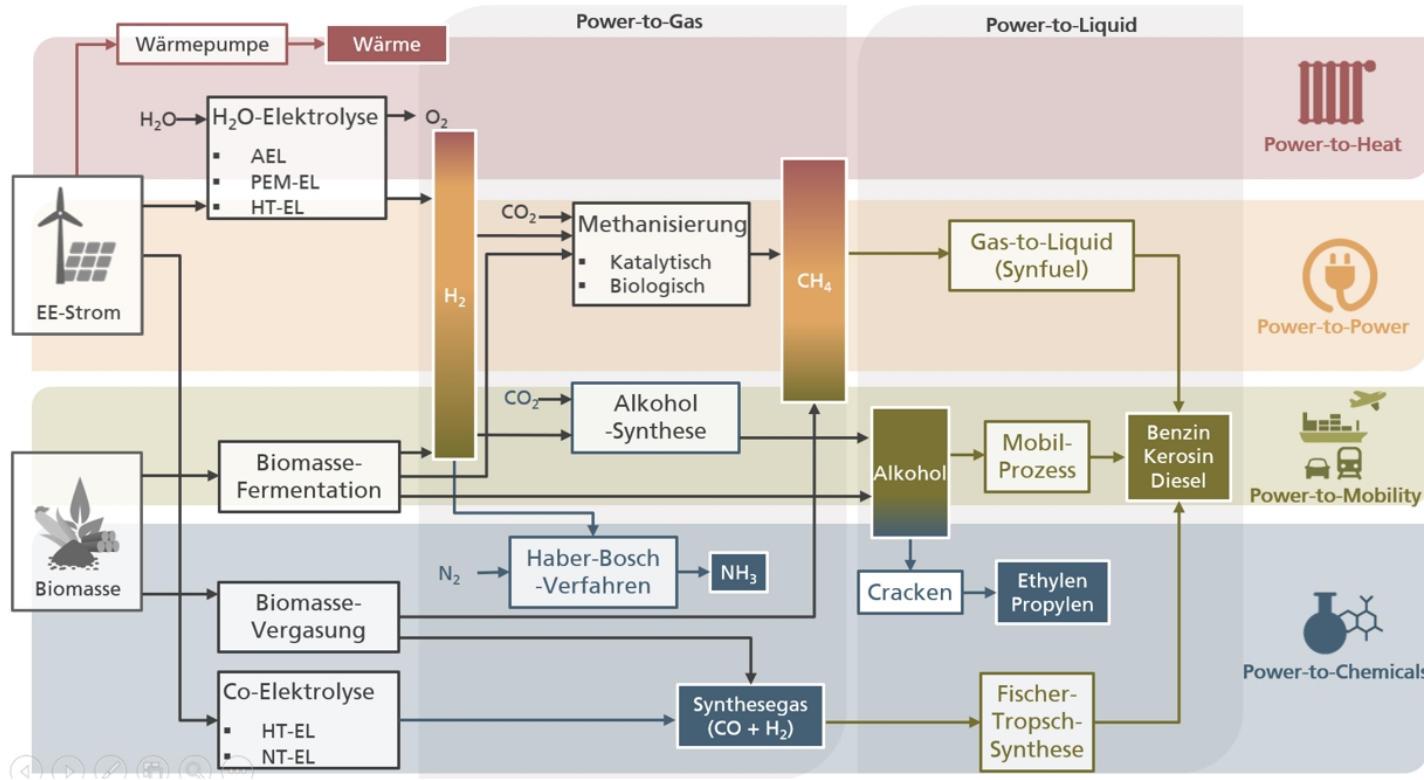


Übertragbarkeit. Es kommen vor allem spezifische Bewertungsmethoden für bestimmte Prozesse/Sektoren zum Einsatz.^[1]

Vergleichbarkeit. In Folge der Anwendung unterschiedlicher Methoden sind selbst Prozesse, die zum gleichen Produkt führen nicht miteinander vergleichbar.^[1]

Sektorenkopplung und Effizienzbewertung

Herausforderungen der Bewertung von Power-to-X-Prozessen



Übertragbarkeit. Es kommen vor allem spezifische Bewertungsmethoden für bestimmte Prozesse/Sektoren zum Einsatz.^[1]

Vergleichbarkeit. In Folge der Anwendung unterschiedlicher Methoden sind selbst Prozesse, die zum gleichen Produkt führen nicht miteinander vergleichbar.^[1]

Abhängigkeit vom Stand der Technik. Bei Weiterentwicklung durch Forschung verändert sich die Kennzahl eines bestehenden Prozesses.^[2]

Sektorenkopplung und Effizienzbewertung

Notwendigkeit einer grenzwertorientierten Kennzahl

Das Physikalische Optimum. Basiert auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten zur Beschreibung eines physikalisch optimalen Referenzprozesses zum zu bewertenden realen Prozess.^[1,2]

Unabhängigkeit vom Stand der Technik. Das Physikalische Optimum ist ultimativ für den Prozess.^[1,2]

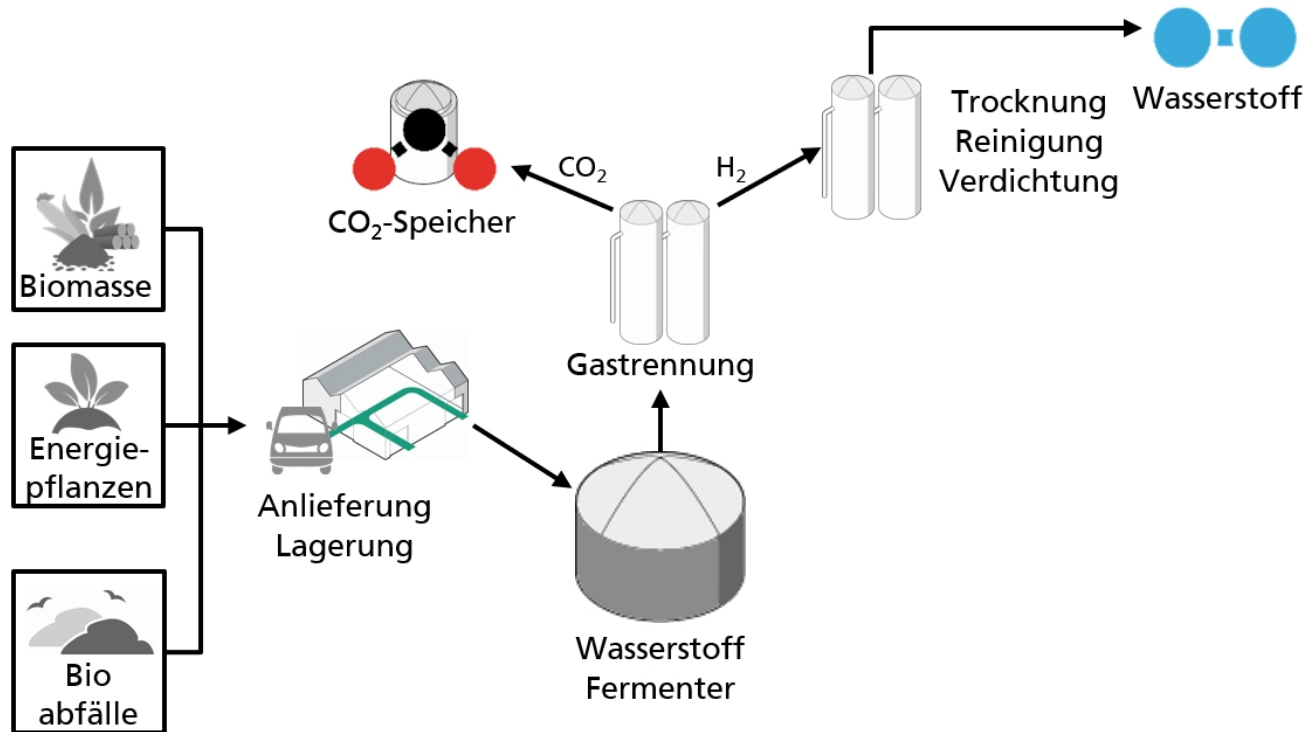
Übertragbarkeit. Einheitliche Anwendung über Sektoren hinaus; die resultierende Kennzahl ist vergleichbar.^[1,2]

Optimierungspotenzial. Durch Modellierung der physikalischen Grenze der Optimierbarkeit kann das Optimierungspotenzial abgeschätzt werden.^[1,2]



Projekt HyPerFerment

Motivation und Ziele des Projektes



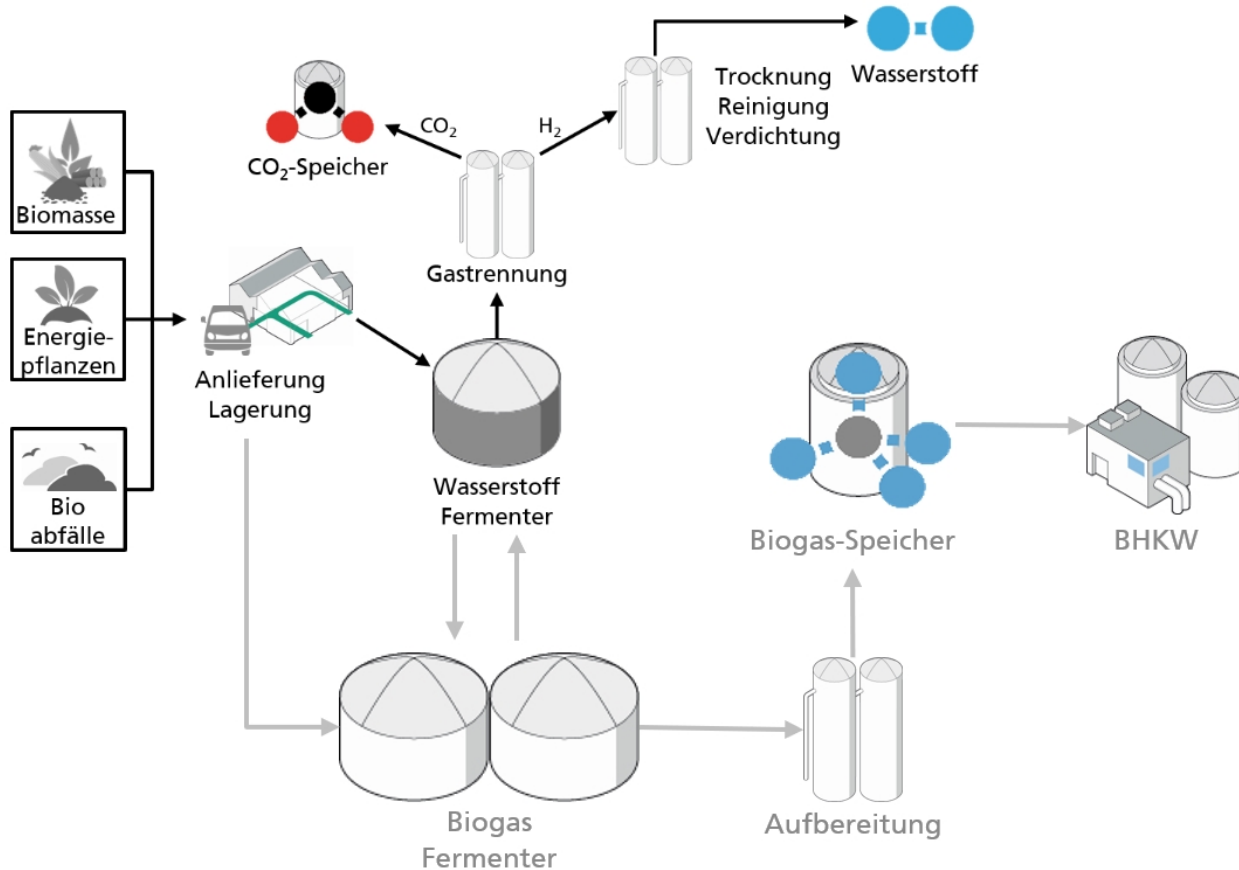
Dunkelfermentation.
Biologischer Prozess zur Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse.

Ziele des Projektes. Durch die Integration der Dunkelfermentation soll die Effizienz einer bestehenden Biogasanlage gesteigert werden.

PhO. Bewertung der Effizienz der Anlage mit Hilfe der Methode des Physikalischen Optimums.

Projekt HyPerFerment

Motivation und Ziele des Projektes



Dunkelfermentation.

Biologischer Prozess zur Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse.

Ziele des Projektes. Durch die Integration der Dunkelfermentation soll die Effizienz einer bestehenden Biogasanlage gesteigert werden.

PhO. Bewertung der Effizienz der Anlage mit Hilfe der Methode des Physikalischen Optimums.

Projekt HyPerFerment

Projektpartner



MICROPRO GmbH
Magdeburger Str. 26b
39245 Gommern



STREICHER Anlagenbau GmbH & Co. KG
Magdeburger Chaussee 21
39245 Gommern



FRAUNHOFER-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF
Konvergente Infrastrukturen
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Projekt HyPerFerment

Projektpartner



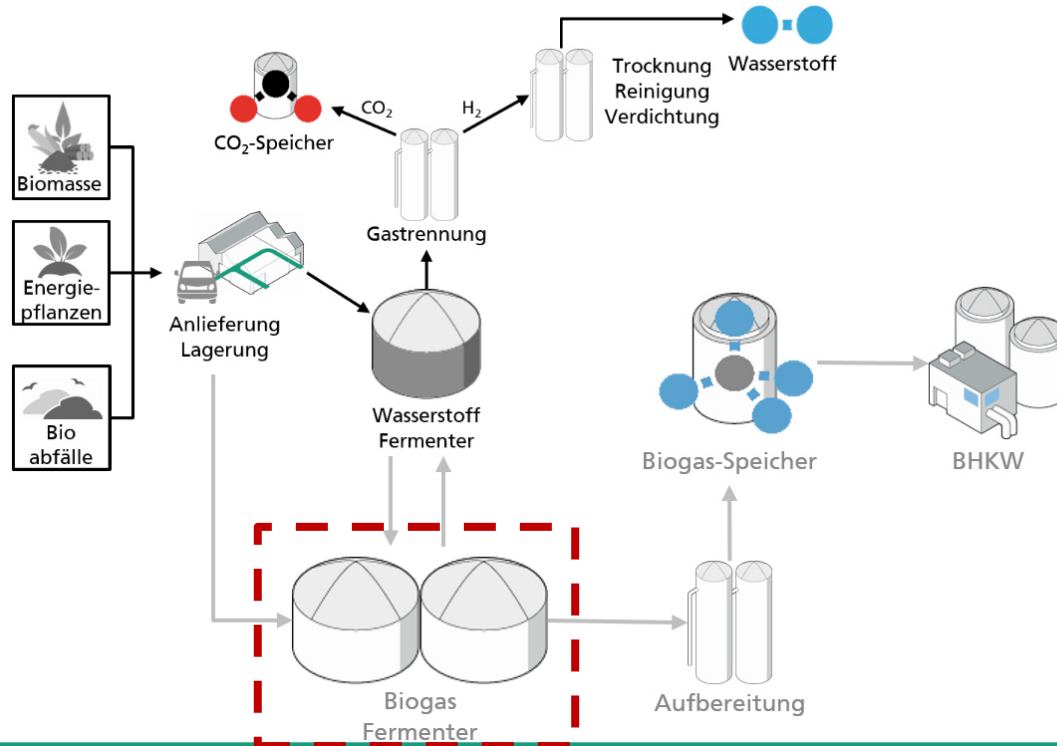
STREICHER
Anlagenbau
GmbH & Co. KG



- Projektkoordination
- Ausgestaltung und Optimierung des biotechnologischen Prozesses
 - Selektion, Testung und Optimierung projektspezifischer Bakterienstämme
 - Untersuchung unterschiedlicher Substrate auf mögliche Wasserstoffbildungsraten
- Konzeptionierung und Auslegung des technischen Verfahrens
 - Forschungsorientierte Untersuchung zur Optimierung der einzelnen Anlagenteile
- Entwicklung und Testung der technischen und mechanischen Parts
- Wissenschaftlich-technische Begleitung des Projektes
 - Unterstützen der Entwicklung einer innovativen Prozessführung
 - Auswertung und Qualitätssicherung
- Optimierung des Prozesses anhand physikalisch-optimaler Beziehungen

Beispiel: Biologische Stoffumwandlung

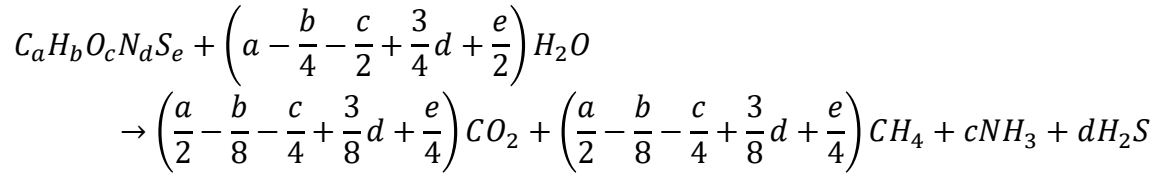
Systemmodell – Festlegen der Bilanzgrenze



Beispiel: Biologische Stoffumwandlung

Bewertung des biologischen Vorganges im Fermenter einer Biogasanlage

Stöchiometrie nach Buswell und Boyle.^[3]



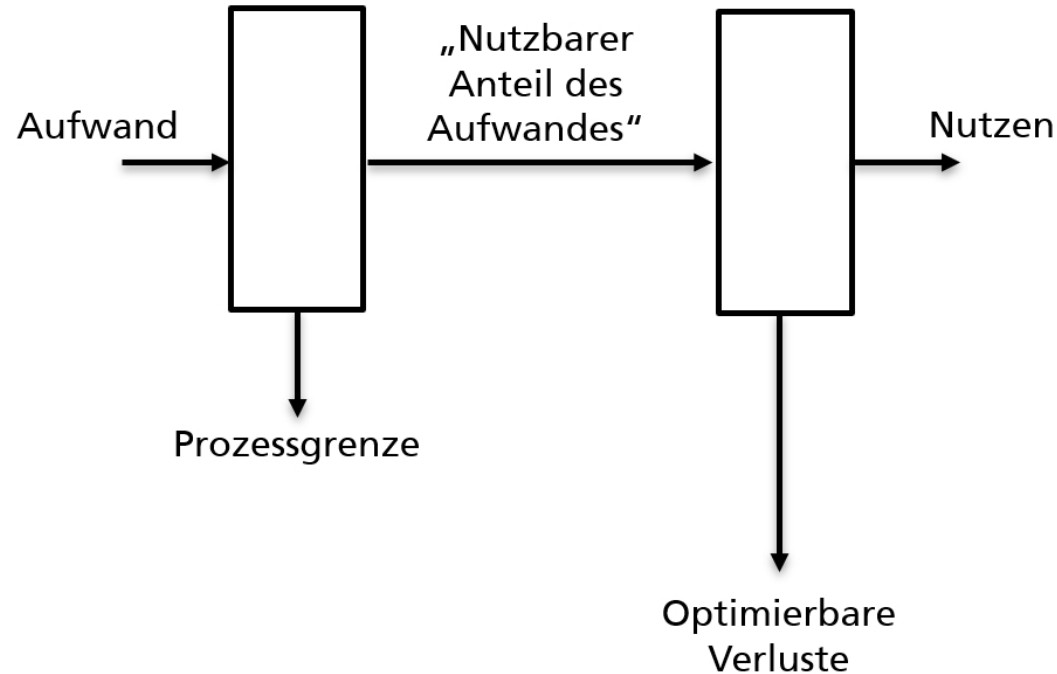
Umsatz. Die Bewertung des Fermentationsvorganges innerhalb einer Biogasanlage kann beispielsweise anhand des Stoffumsatzes erfolgen.^[3]

Kein Rückschluss auf Optimierungspotenzial. Ein 100%-iger Umsatz kann in der Realität nicht erreicht werden.



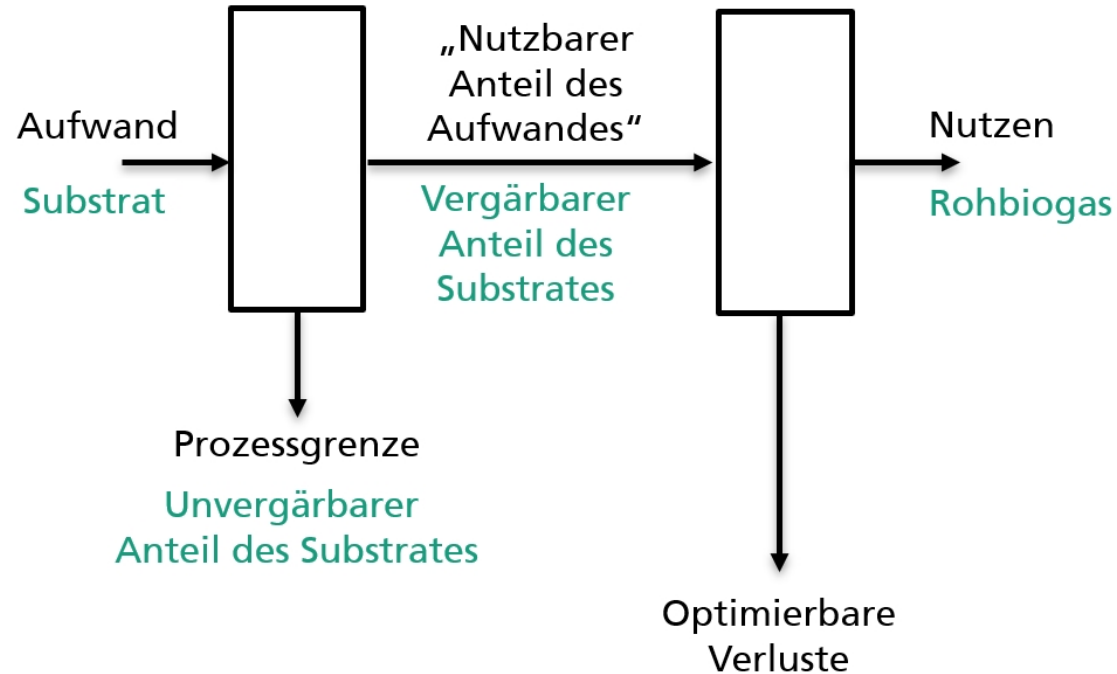
Beispiel: Biologische Stoffumwandlung

Berücksichtigung unvergärbarer Substanzen im Substrat



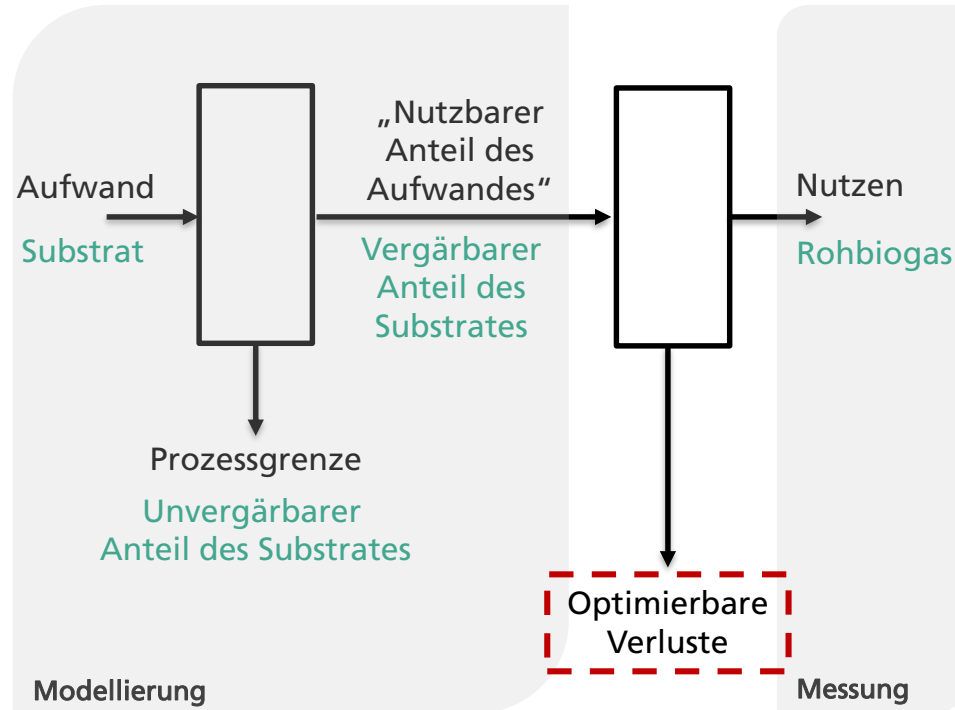
Beispiel: Biologische Stoffumwandlung

Berücksichtigung unvergärbare Substanzen im Substrat



Beispiel: Biologische Stoffumwandlung

Berücksichtigung unvergärbarer Substanzen im Substrat



Beispiel: Biologische Stoffumwandlung

Beispielszenario für Weizenstroh

Substrat. Als Substrat wird Weizenstroh mit der Summenformel $C_{3.71}H_{6.47}O_{2.75}N_{0.044}S_{0.005}$ und einem Lignin-Anteil von 13,19 Mol-% eingesetzt.

100%-iger Umsatz. Unter der Annahme eines vollständigen Umsatzes des Weizenstrohs zu Methan würden aus einem Mol Substrat 1,96 Mol Methan entstehen.

$$\frac{n_{CH_4}}{n_{Substrat}} (U_{100\%}) = \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{8} - \frac{c}{4} - \frac{3}{8}d - \frac{e}{4} \right) \left[\frac{mol_{CH_4}}{mol_{Substrat}} \right] = \left(\frac{3,71}{2} + \frac{6,47}{8} - \frac{2,75}{4} - \frac{3}{8}0,044 - \frac{0,005}{4} \right) \left[\frac{mol_{CH_4}}{mol_{Substrat}} \right] = 1,9585 \frac{mol_{CH_4}}{mol_{Substrat}}$$

Physikalisch optimaler Umsatz. In der Realität können auch unter physikalisch optimalen Bedingungen keine unvergärbaren Stoffe umgesetzt werden. Diese sind daher im Physikalischen Optimum von der Betrachtung auszuschließen.

$$\frac{n_{CH_4}}{n_{Substrat}} (U_{PhO}) = \frac{n_{CH_4}}{n_{Substrat}} (U_{100\%}) - \frac{n_{CH_4}}{n_{Lignin}} (U_{100\%}) * x_{Lignin} = 1,2314 \frac{mol_{CH_4}}{mol_{Substrat}}$$

Aktueller Stand und Ziele der Effizienzbewertung

Effizienzbewertung mit Hilfe des PhO-Faktors

PhO-Faktor. Gegenüberstellung des realen Prozesses und des Physikalischen Optimums.

Optimierungspotenzial. Die ultimative durch Verbesserungsmaßnahmen zu erreichende Grenze der Optimierbarkeit liegt bei einem PhO-Faktor von 1.

Fermentation. Für das Beispiel der biologischen Stoffumwandlung im Fermenter einer Biogasanlage ergibt sich der PhO-Faktor aus dem Quotienten des realen und des unter physikalisch optimal generierbaren Methans je Mol eingesetztem Substrat.

Validierung anhand von Labordaten der HAW-Hamburg.

$$F_{PhO} = \frac{n_{CH_4,real}}{n_{CH_4,PhO}} = \frac{1,1847 \frac{mol_{CH_4}}{mol_{Substrat}}}{1,2314 \frac{mol_{CH_4}}{mol_{Substrat}}} = 0,9621$$

Aktueller Stand und Ziele der Effizienzbewertung

Ausblick

Einbezug weiterer Vorgänge im Fermenter. Betrachtung der Wärme-, Wasser- und Co-Substrat-Zufuhr.

Gesamtprozess. Bestimmung des Physikalischen Optimums sämtlicher Einzelprozesse der geplanten Anlage. Bewertung des Gesamtprozesses unter Berücksichtigung von Einflüssen der Prozesskopplung.

Validierung. Überprüfen des Modells für den physikalisch optimalen Zustand der betrachteten Einzelprozesse auf Basis von Messwerten.

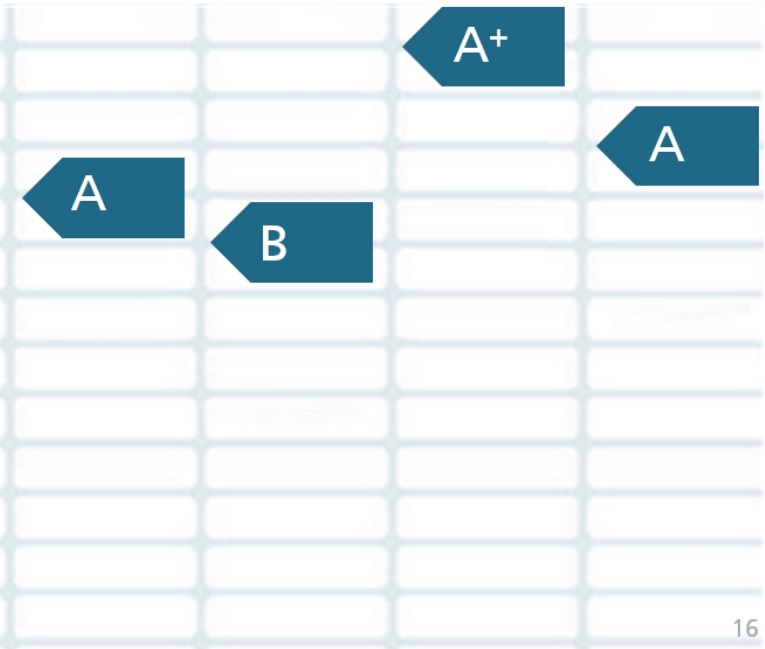
Übertragung auf chemische Prozesse. Bewertung von chemischen Prozessen auf Basis des Physikalischen Optimums.

Bewertung der Effizienz von Power-to-X-Verfahren mittels VDI 4663

Dr.-Ing. Torsten Birth
Natascha Eggers (M. Eng.)

Digitaler Sommer der Energiewende
Magdeburg, den 04. Juli 2020

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!



16

Bewertung der Effizienz von Power-to-X-Verfahren mittels VDI 4663

Dr.-Ing. Torsten Birth
Natascha Eggers (M. Eng.)

Digitaler Sommer der Energiewende
Magdeburg, den 04. Juli 2020

Literaturangaben

- [1] C. Keichel: Methode der grenzwertorientierten Bewertung. Dissertationsschrift. Technische Universität Clausthal (2017)
- [2] D. Volta: Das Physikalische Optimum als Basis von Systematiken zur Steigerung der Energie- und Stoffeffizienz von Produktionsprozessen. Dissertationsschrift. Technische Universität Clausthal (2014)
- [3] S. Ohl: Ermittlung der Biogas- und Methanausbeute ausgewählter Nawaro. Dissertationsschrift. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (2011)

Bewertung der Effizienz von Power-to-X-Verfahren mittels VDI 4663

Dr.-Ing. Torsten Birth
Natascha Eggers (M. Eng.)

Digitaler Sommer der Energiewende
Magdeburg, den 04. Juli 2020

Dr.-Ing. Torsten Birth

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF
Leiter der Arbeitsgruppe Energie- und Ressourceneffiziente Systeme
Telefon +49 391 40 90 355
Mobil +49 172 84 05 771
torsten.birth@iff.fraunhofer.de

Natascha Eggers (M.Eng.)

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF
Energie- und Ressourceneffiziente Systeme
Telefon +49 391 40 90 381
Mobil +49 160 66 29 845
natascha.eggers@iff.fraunhofer.de

