IGF-Vorhaben 19742 N

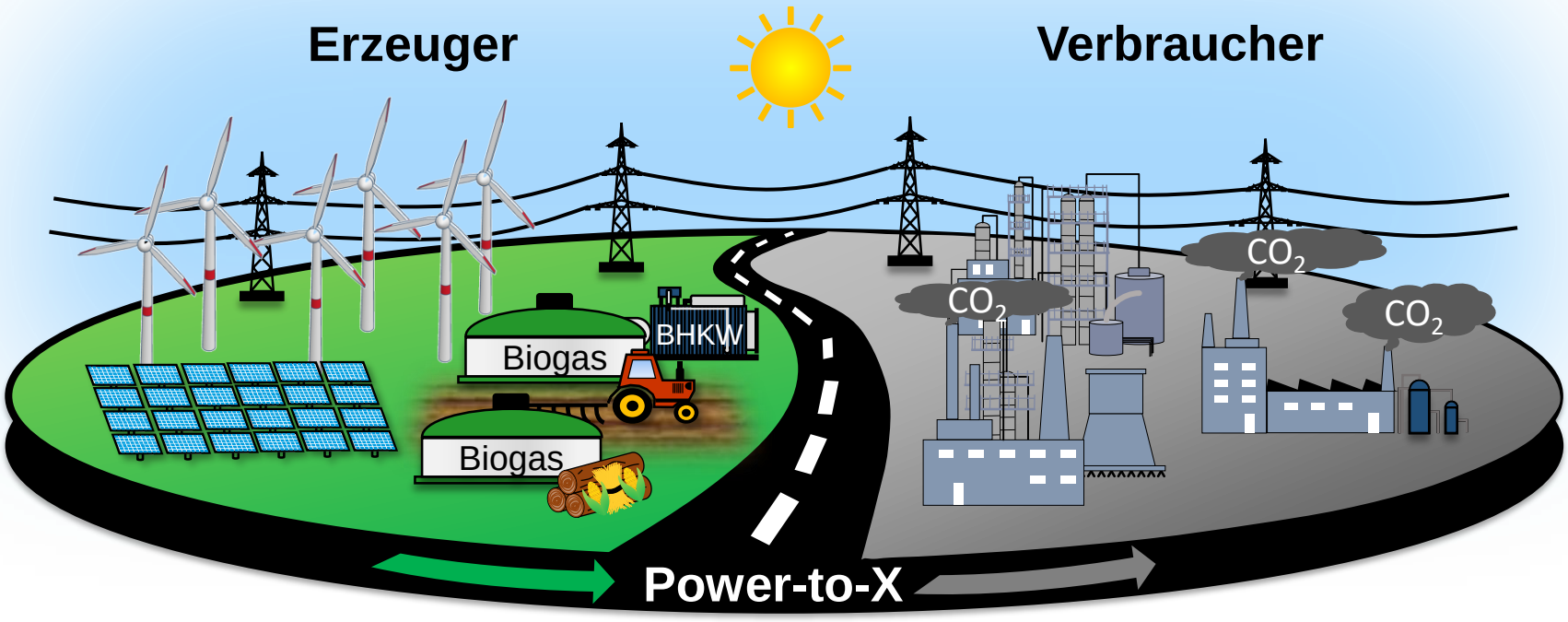
Integration von Power-to-X-Technologien in einem Unternehmensverbund

S. Meschede

Wissenschaftliches Kolloquium

IUTA

Power-to-X (PtX) im Verbund



Erneuerbare Energien
Photovoltaik
Windkraft
Biomasse + BHKW

Chemische Speicher

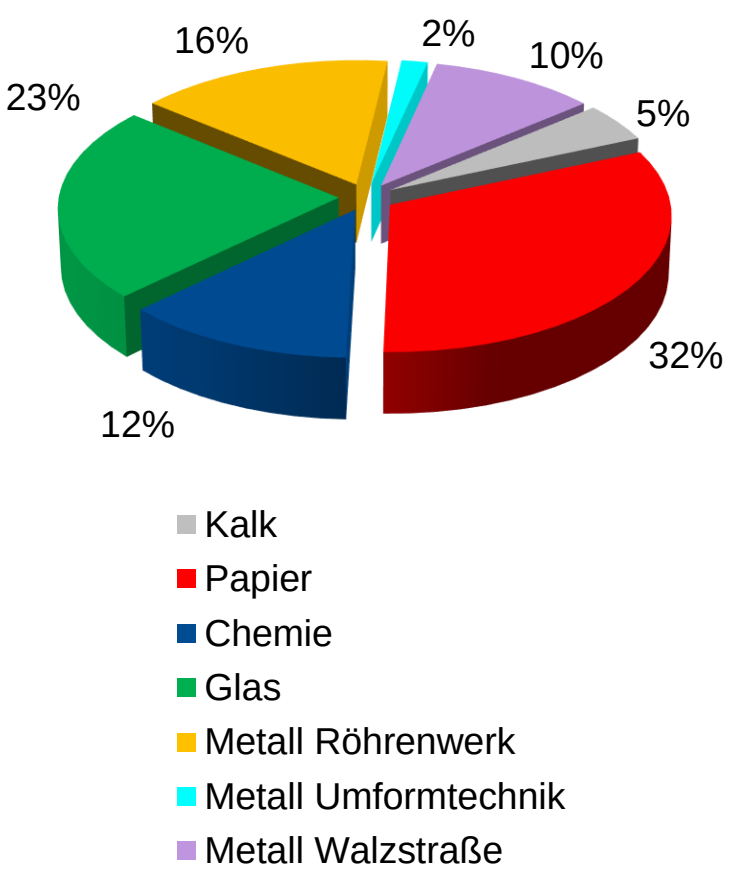
Industrie (KMU)
Chemie, Kalk, Glas,
Zement, Keramik, etc.

Gliederung

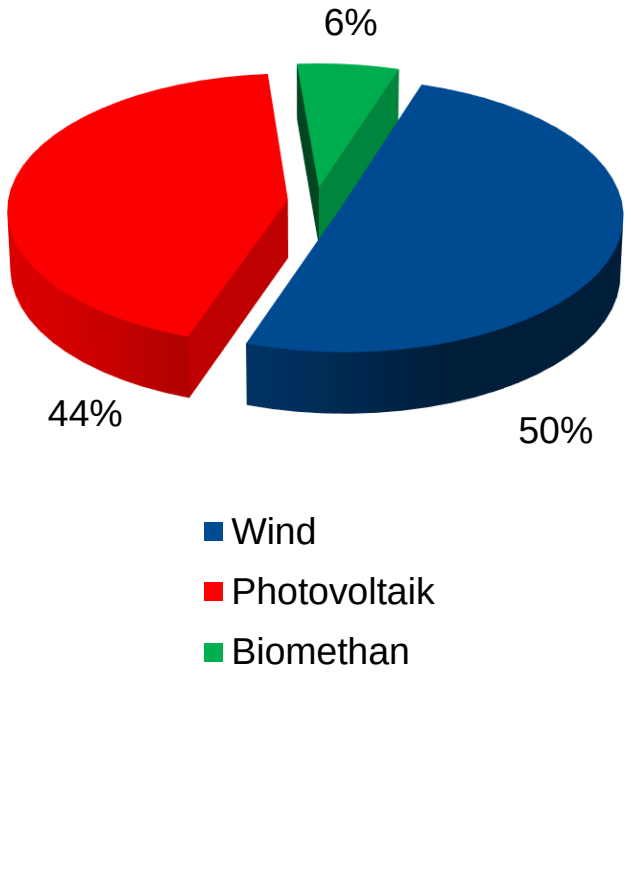
1. Datenakquise
2. Systemmodellierung
3. Prozesssimulation
4. Ergebnisse
5. Fazit / Ausblick

Zusammensetzung des Verbundes

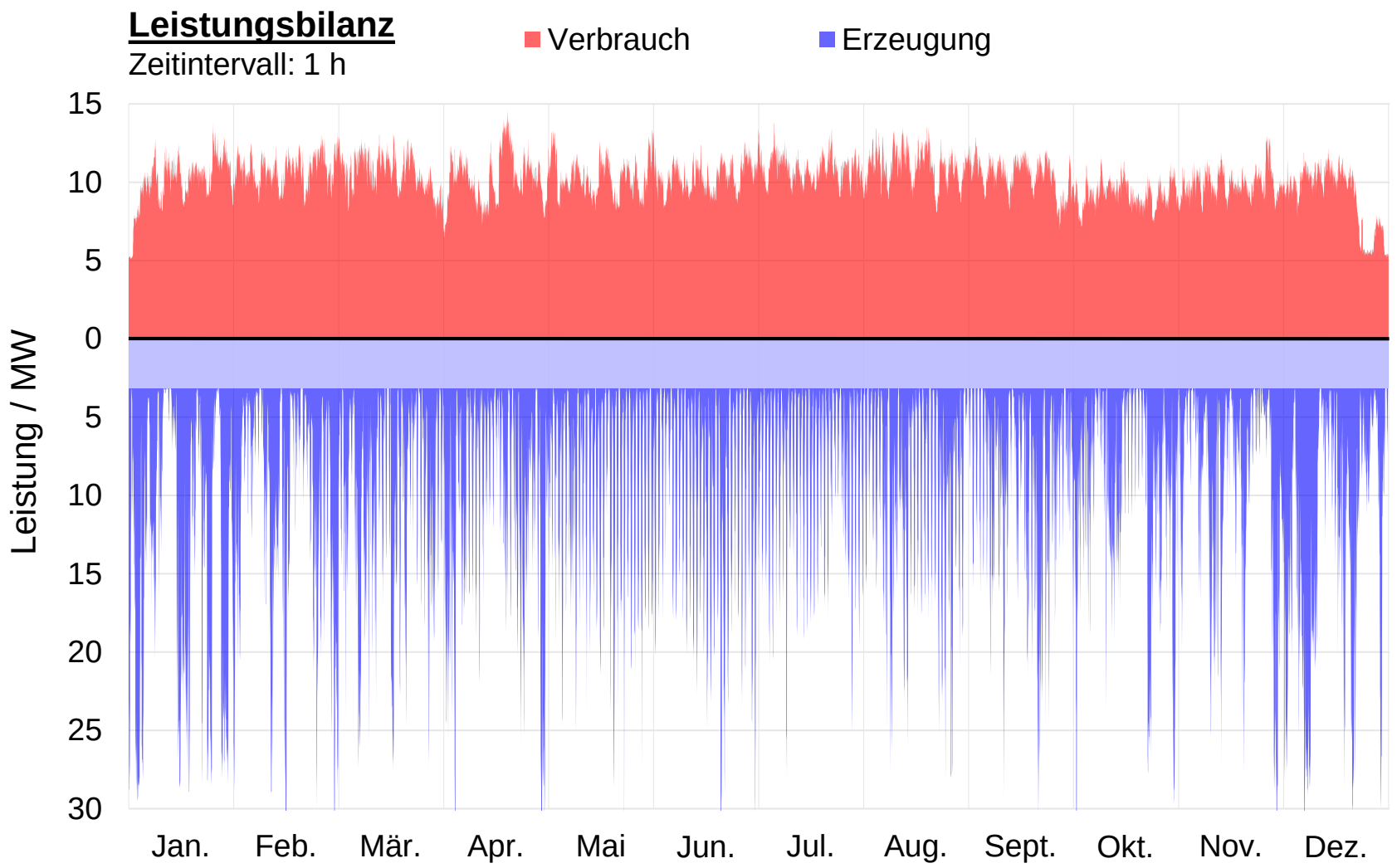
Strombedarf:
90 GWh/Jahr



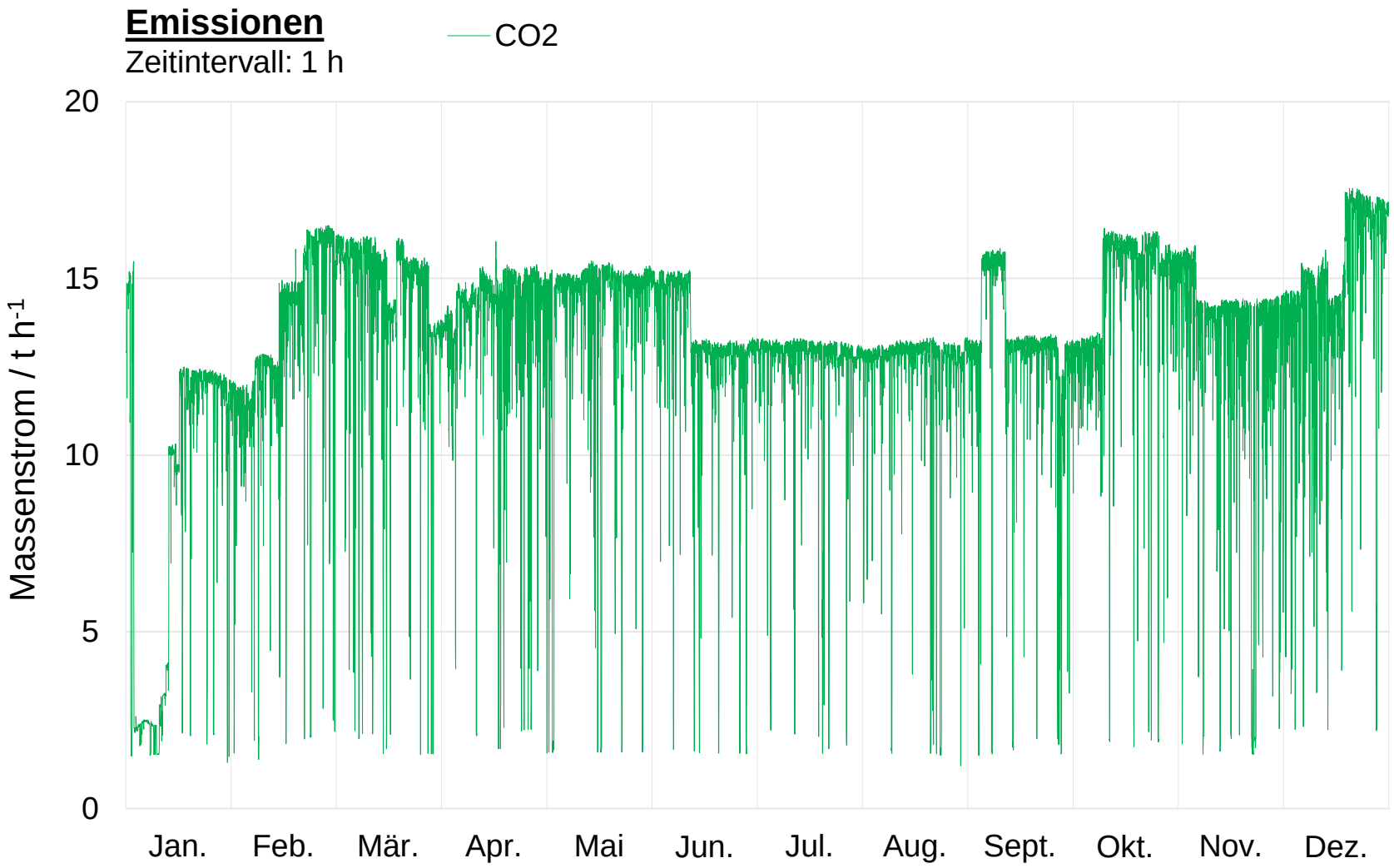
Installierte Leistung:
50 MW → 90 GWh/Jahr



Leistungsbilanz



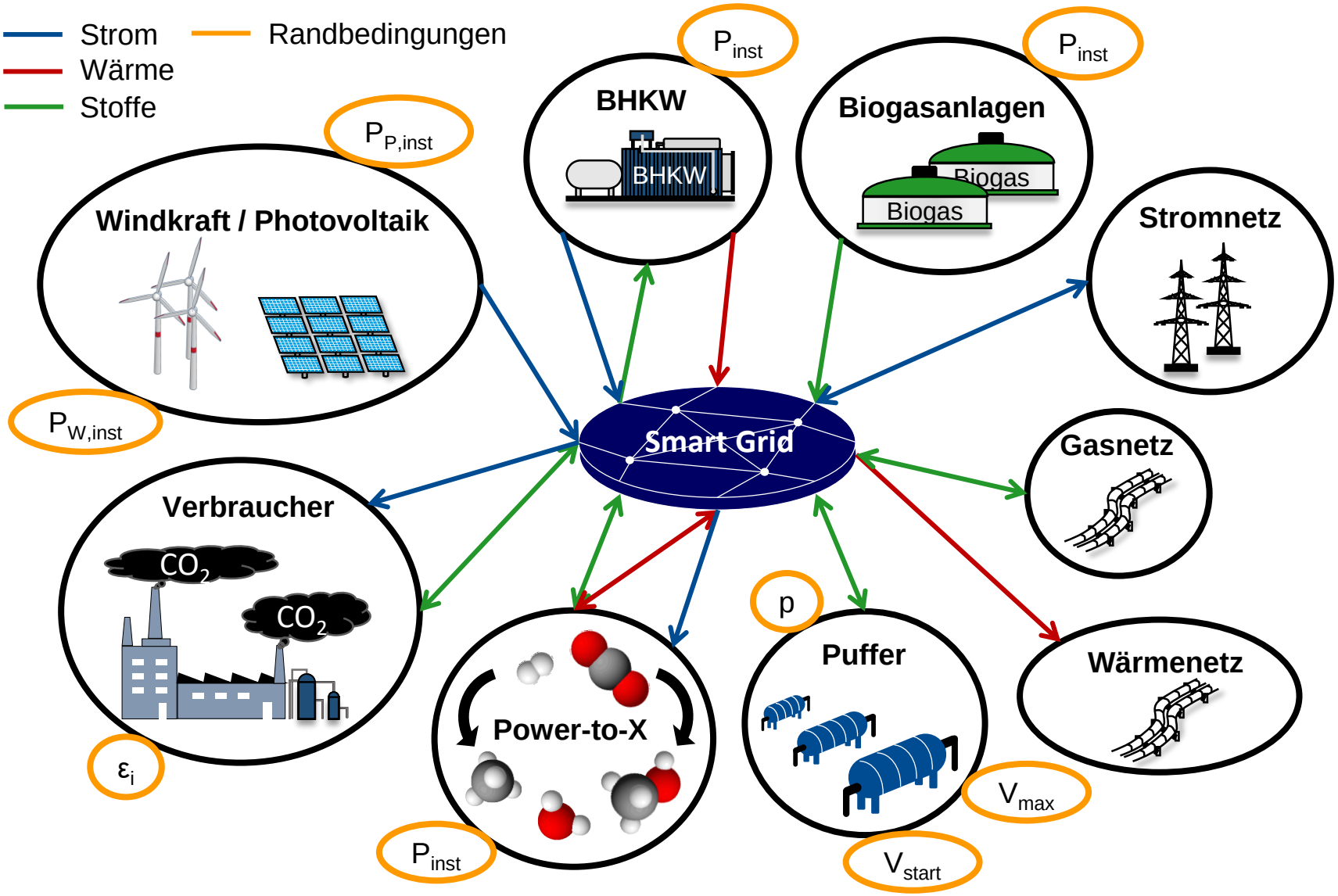
CO_2-Emissionen



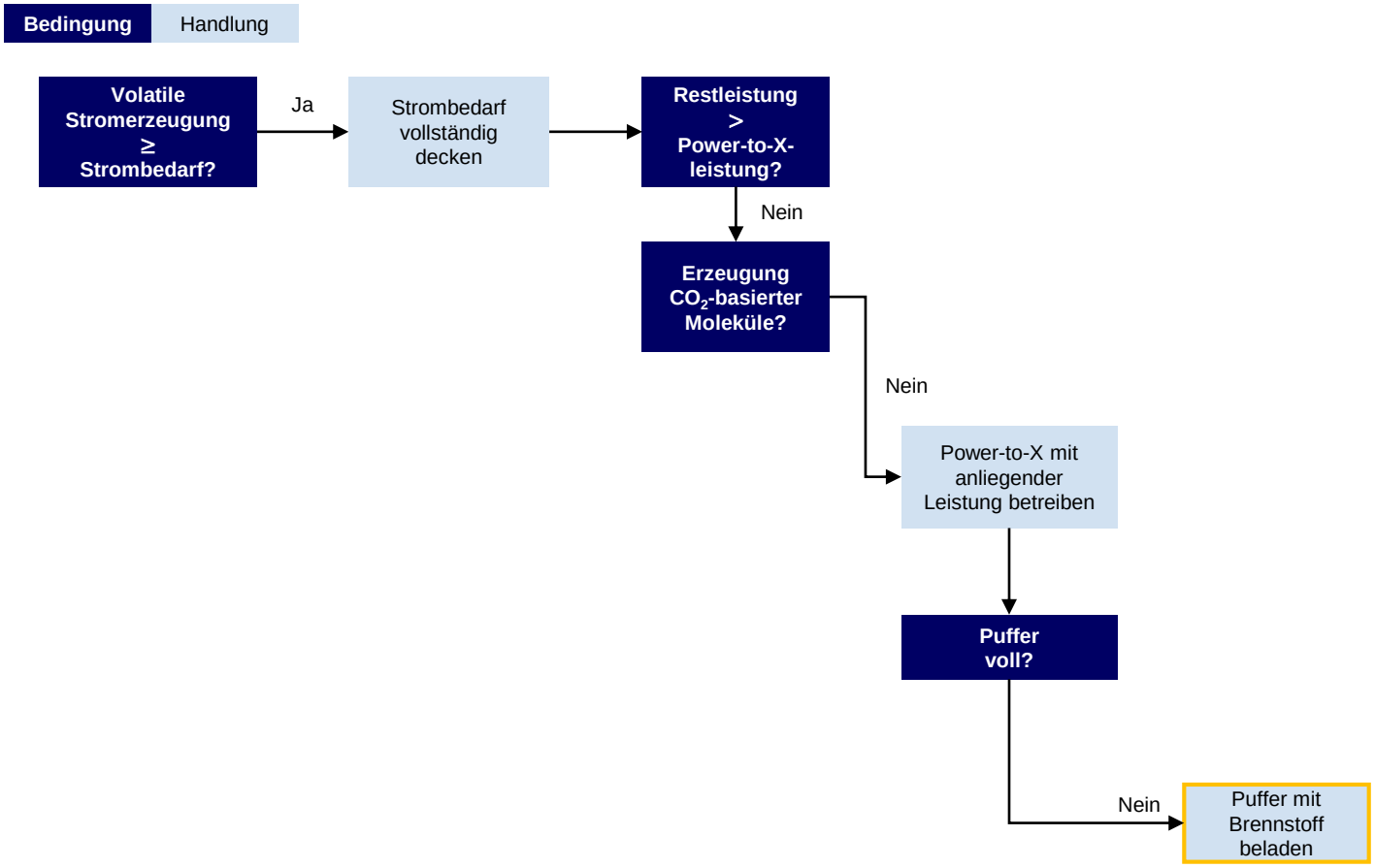
Gliederung

1. Datenakquise
2. Systemmodellierung
3. Prozesssimulation
4. Ergebnisse
5. Fazit / Ausblick

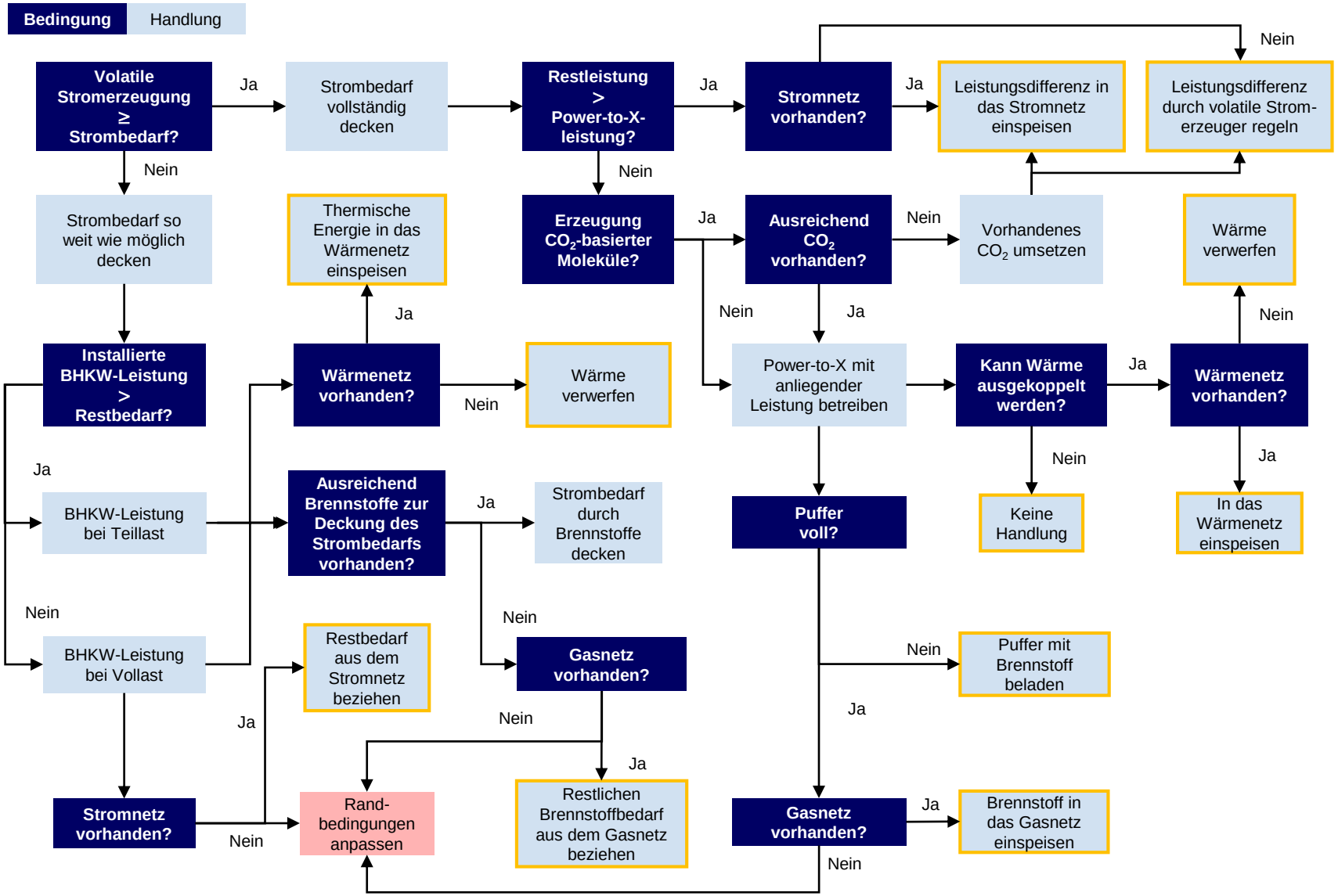
Power-to-X im Verbund



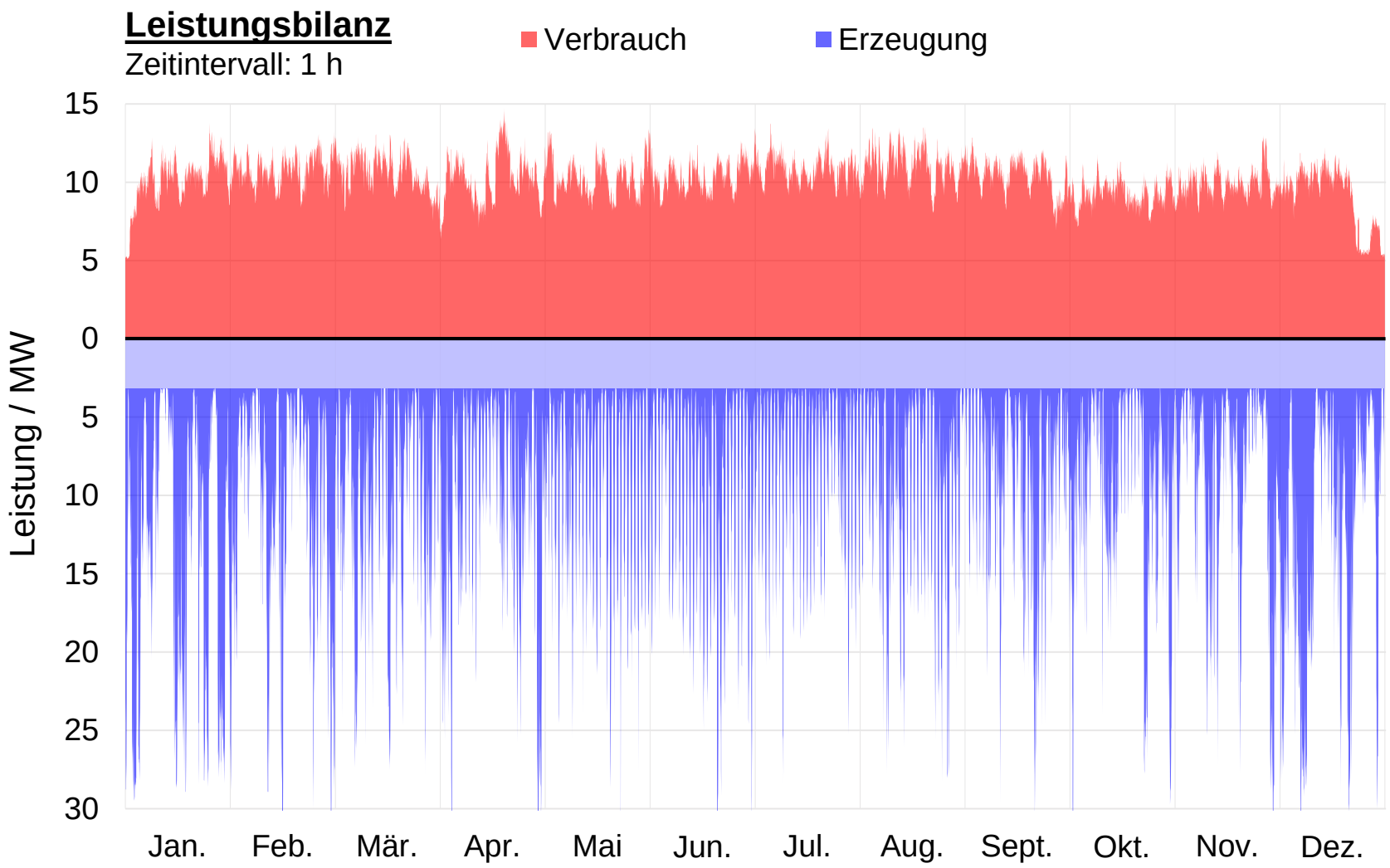
Smart Grid


Bedingung
Handlung
Volatile Stromerzeugung ≥ Strombedarf?
Ja
Strombedarf vollständig decken
Restleistung > Power-to-X-leistung?
Nein
Erzeugung CO_2-basierter Moleküle?
Nein
Power-to-X mit anliegender Leistung betreiben
Puffer voll?
Nein
Puffer mit Brennstoff beladen

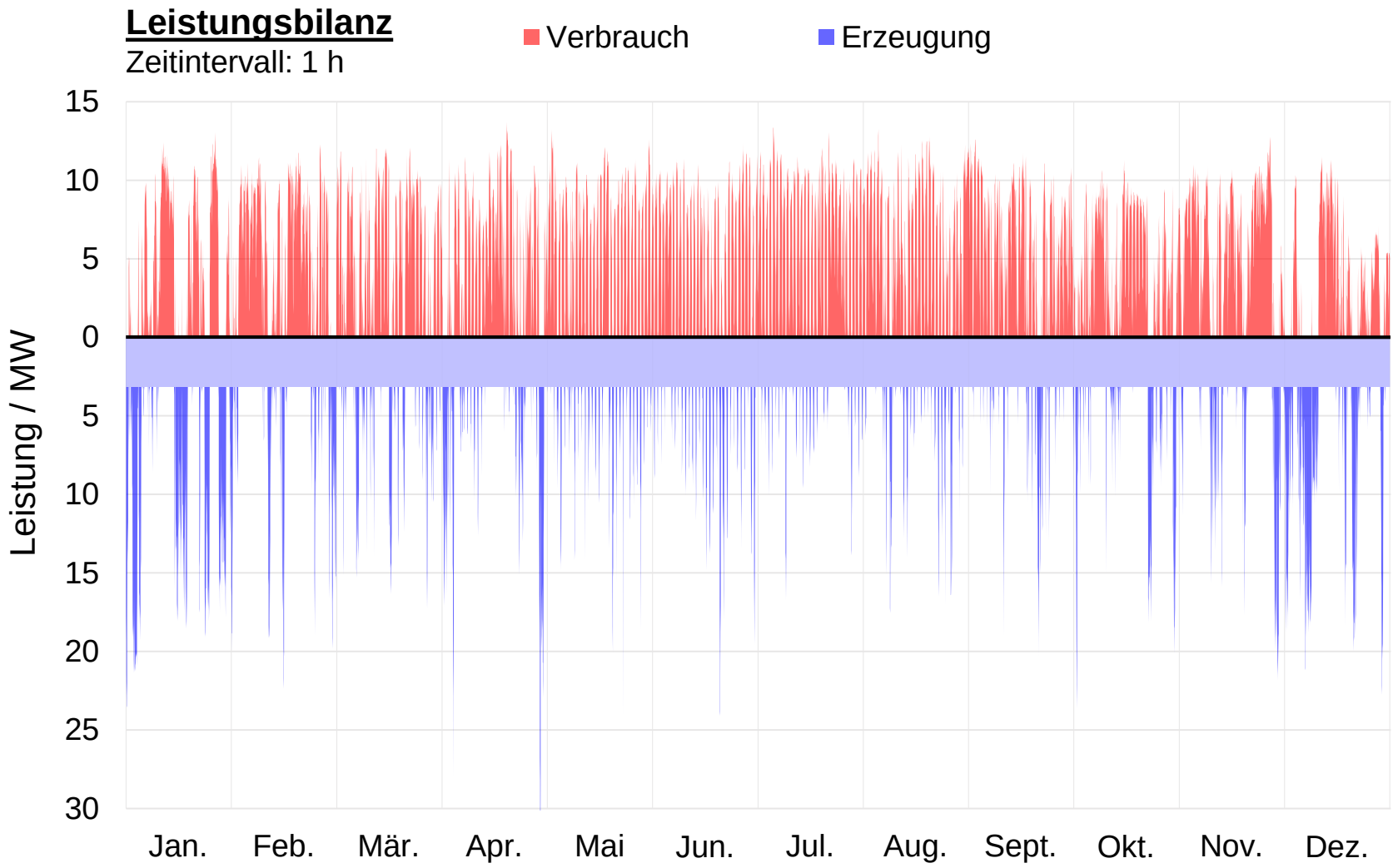
Smart Grid


Bedingung
Handlung
Volatile Stromerzeugung ≥ Strombedarf?
Ja
Strombedarf vollständig decken
Restleistung > Power-to-X-leistung?
Ja
Stromnetz vorhanden?
Ja
Leistungsdifferenz in das Stromnetz einspeisen
Nein
Leistungsdifferenz durch volatile Stromerzeuger regeln
Nein
Strombedarf so weit wie möglich decken
Thermische Energie in das Wärmenetz einspeisen
Erzeugung CO_2-basierter Moleküle?
Ja
Ausreichend CO_2 vorhanden?
Nein
Vorhandenes CO_2 umsetzen
Wärme verwerfen
Ja
Nein
Nein
Ja
Installierte BHKW-Leistung > Restbedarf?
Wärmenetz vorhanden?
Nein
Wärme verwerfen
Power-to-X mit anliegender Leistung betreiben
Kann Wärme ausgekoppelt werden?
Ja
Wärmenetz vorhanden?
Nein
Ja
Ja
BHKW-Leistung bei Teillast
Ausreichend Brennstoffe zur Deckung des Strombedarfs vorhanden?
Ja
Strombedarf durch Brennstoffe decken
Puffer voll?
Nein
Keine Handlung
Ja
In das Wärmenetz einspeisen
Nein
BHKW-Leistung bei Vollast
Restbedarf aus dem Stromnetz beziehen
Nein
Gasnetz vorhanden?
Nein
Puffer mit Brennstoff beladen
Ja
Nein
Ja
Ja
Stromnetz vorhanden?
Nein
Rand-bedingungen anpassen
Restlichen Brennstoffbedarf aus dem Gasnetz beziehen
Gasnetz vorhanden?
Ja
Brennstoff in das Gasnetz einspeisen
Nein

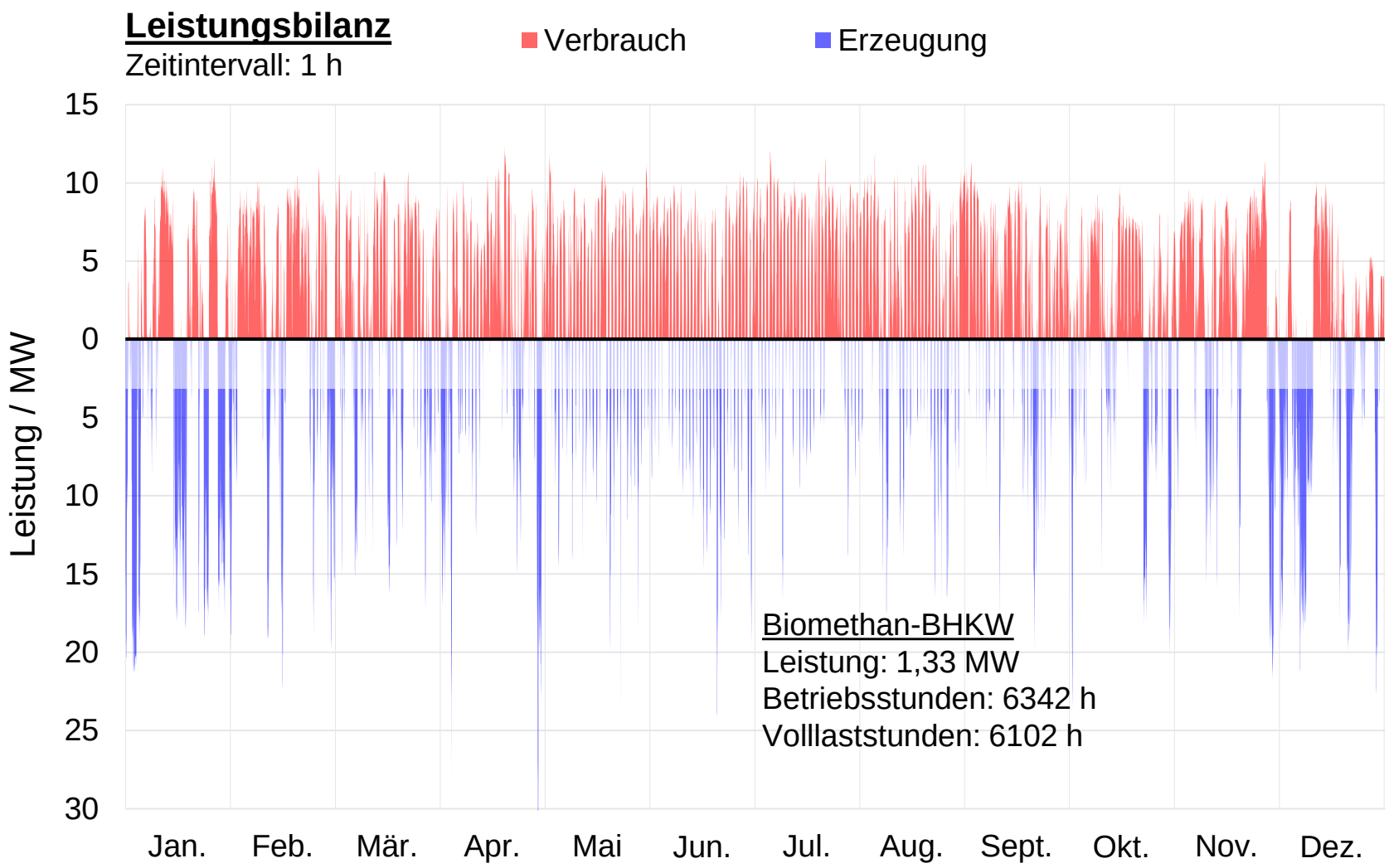
Leistungsbilanz



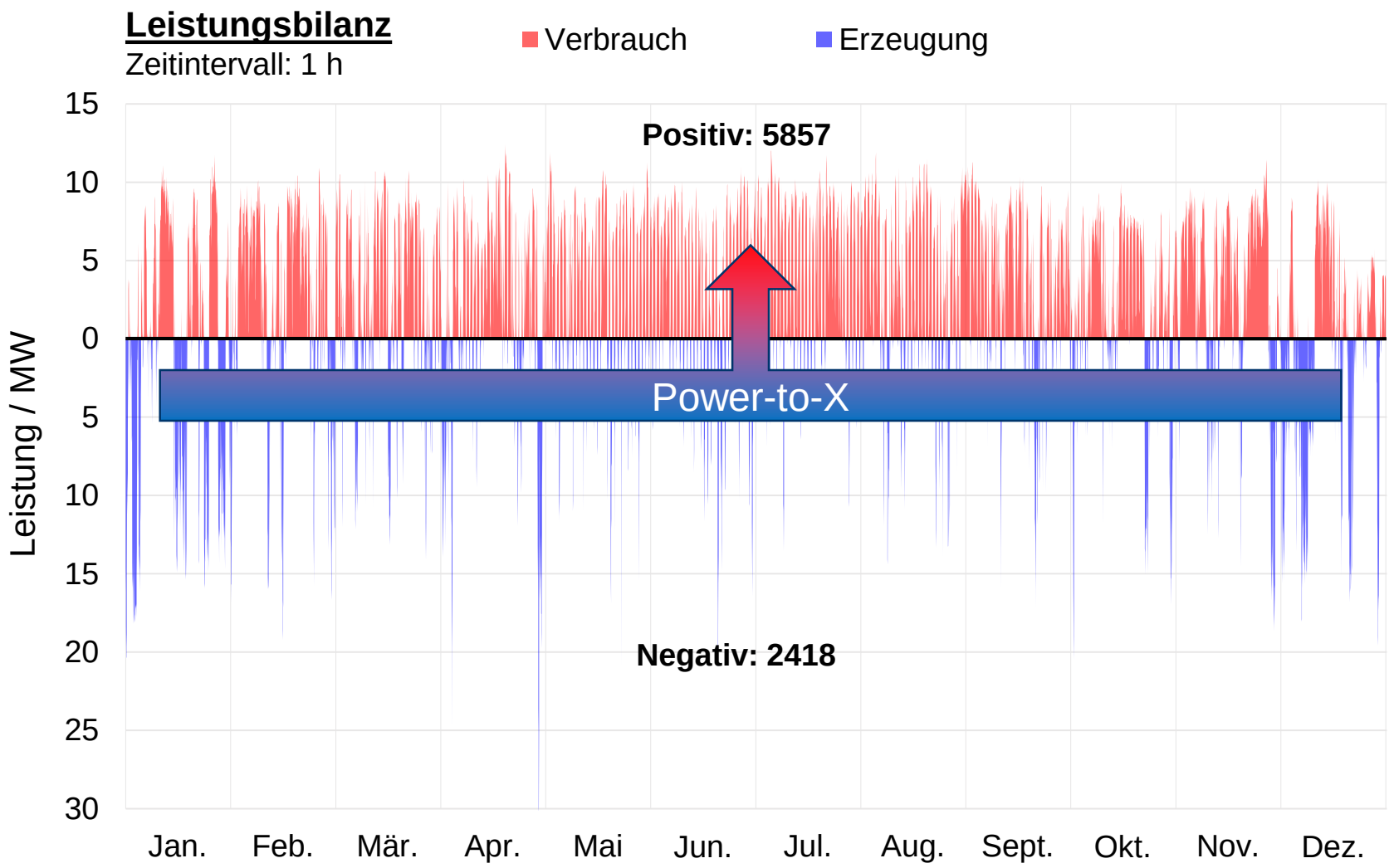
Residuallast



Biomethan-BHKW



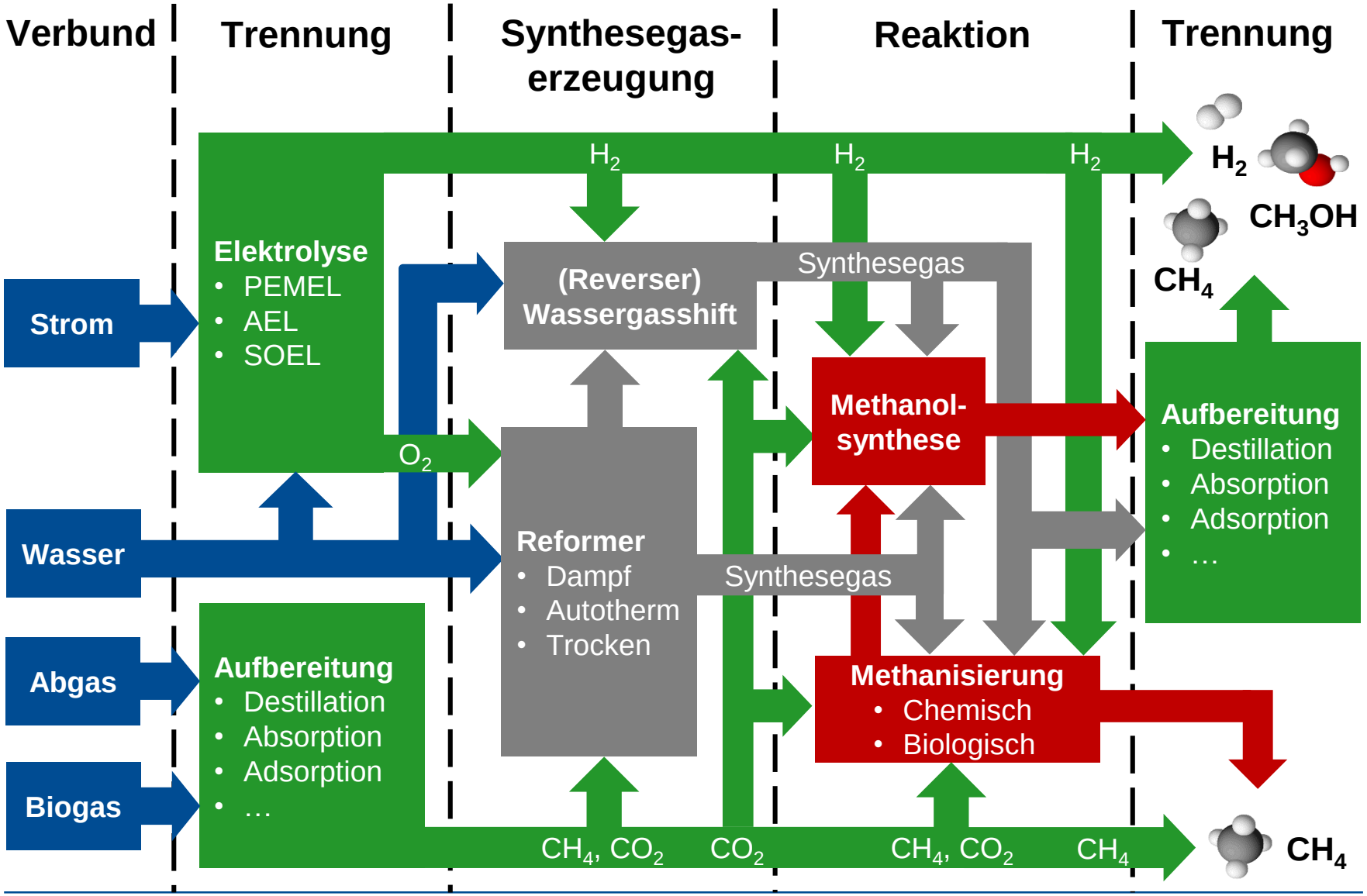
Power-to-X


Leistungsbilanz
Zeitintervall: 1 h
Verbrauch
Erzeugung
Positiv: 5857
Power-to-X
Negativ: 2418
Leistung / MW
15
10
5
0
5
10
15
20
25
30
Jan.
Feb.
Mär.
Apr.
Mai
Jun.
Jul.
Aug.
Sept.
Okt.
Nov.
Dez.

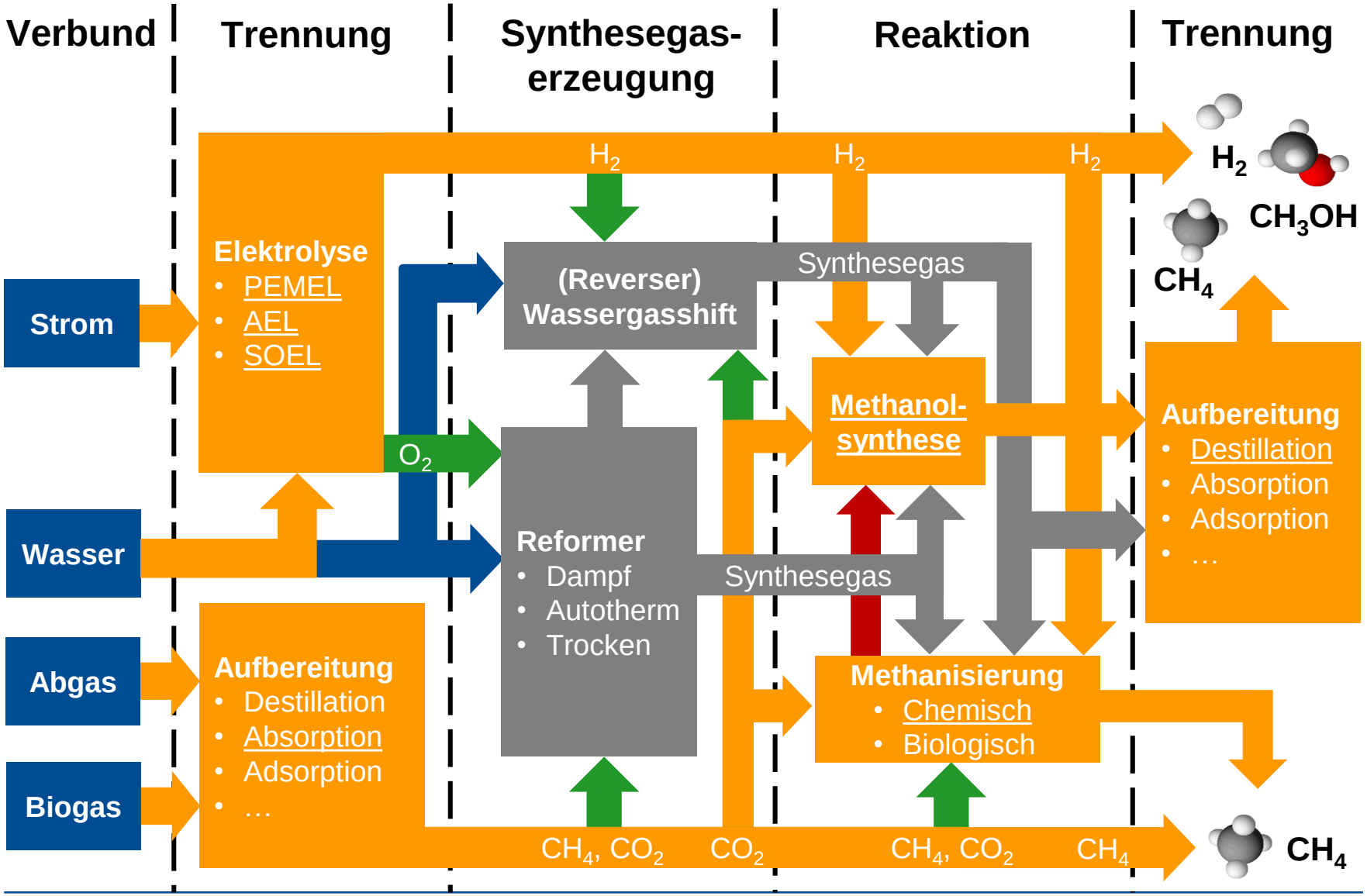
Gliederung

1. Datenakquise
2. Systemmodellierung
3. Prozesssimulation
4. Ergebnisse
5. Fazit / Ausblick

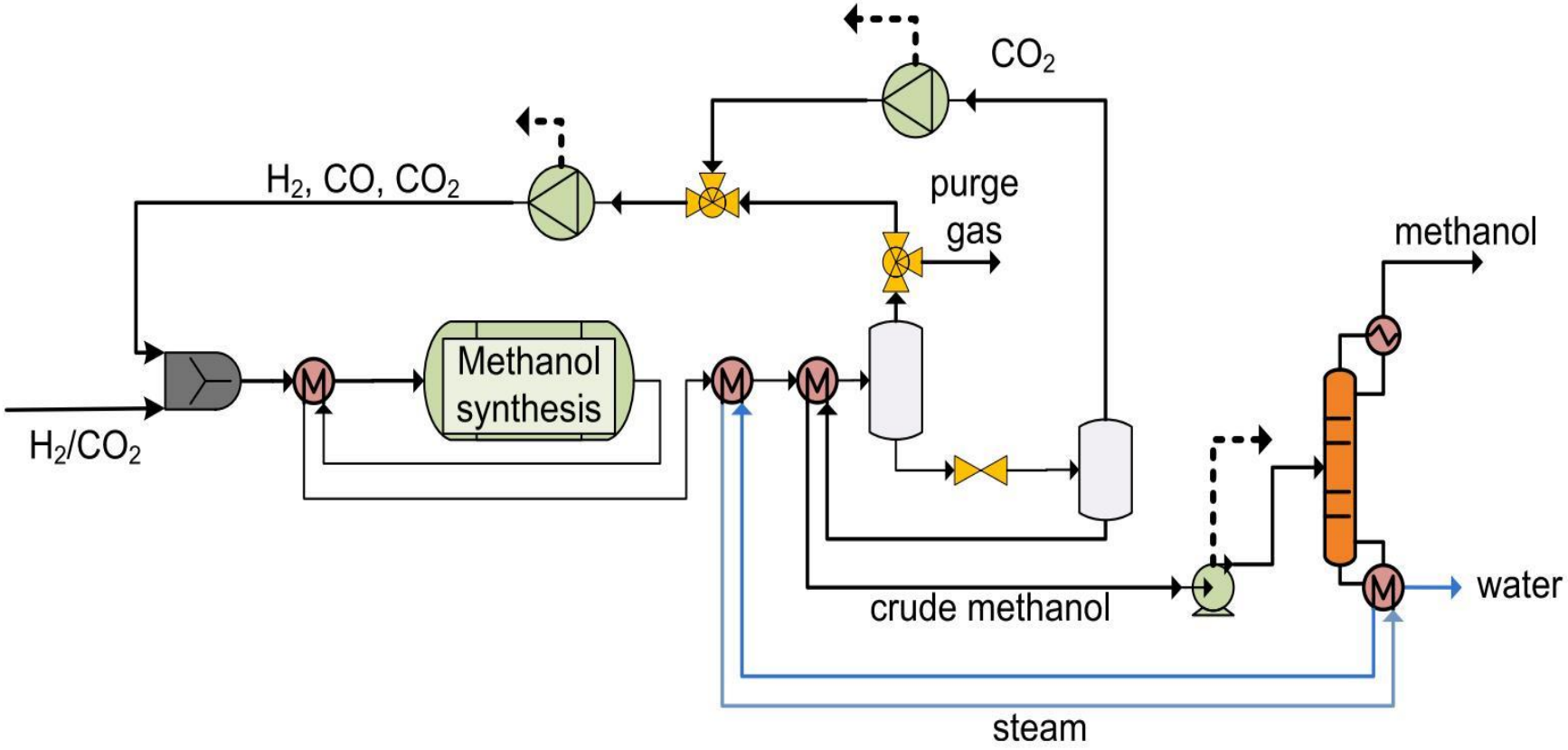
Technologieübersicht



Technologieübersicht

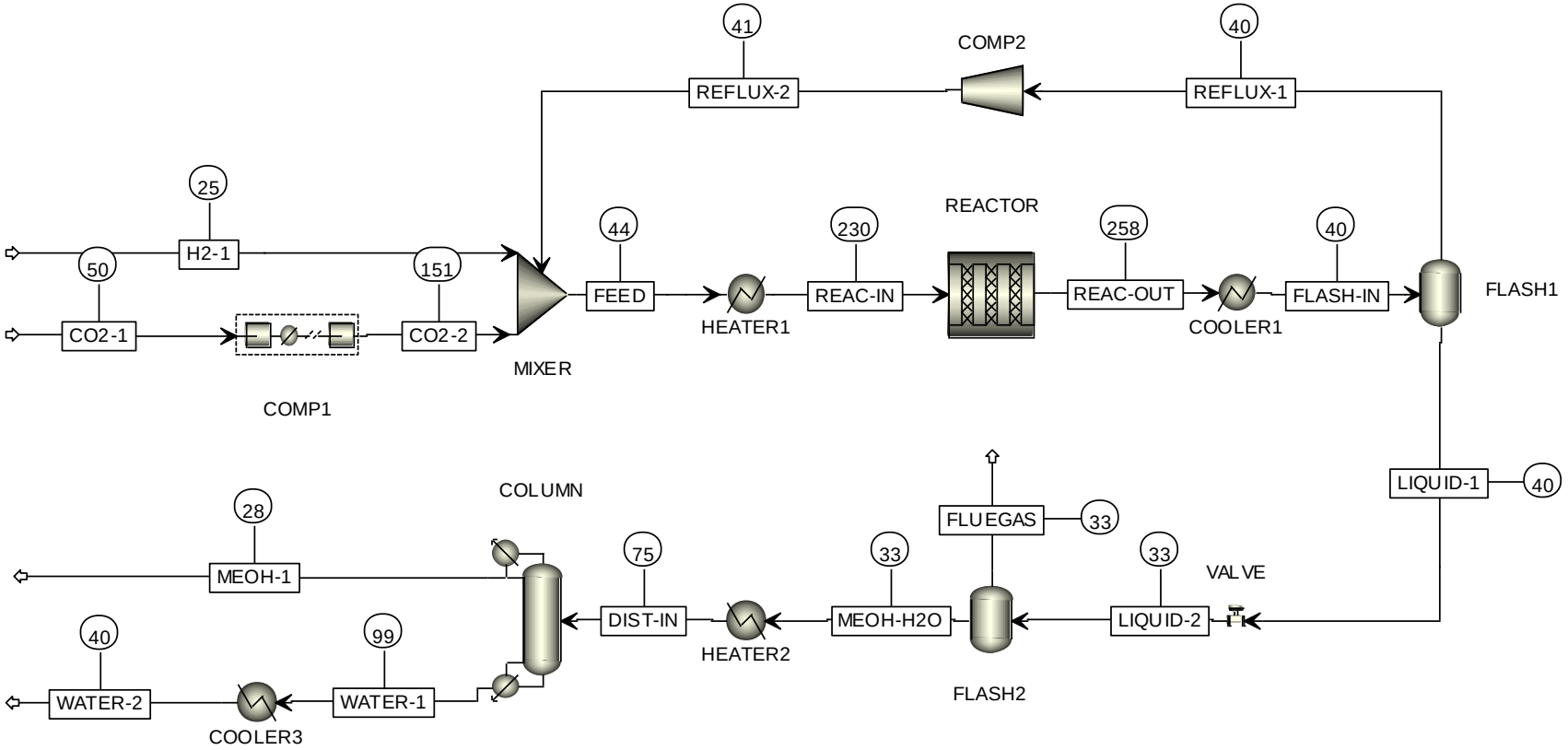


Beispiel Methanolsynthese



Atsonios, Konstantinos; Panopoulos, Kyriakos D.; Kakaras, Emmanuel (2016): Investigation of technical and economic aspects for methanol production through CO2 hydrogenation. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 41 (4), S. 2202–2214. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.12.074.

Simulation Methanolsynthese



Rücklauf/Feed:	80%	T:	230 – 270 °C
Katalysator:	$Cu/ZnO/Al_2O_3$	p:	70 bar
Wärmeerzeugung:	1,3 MJ/kg_{MEOH}	GHSV:	18000 h^{-1}
Stromverbrauch:	0,145 kWh/kg_{MEOH}		

Van-Dal, Éverton Simões; Bouallou, Chakib (2013): Design and simulation of a methanol production plant from CO2 hydrogenation. In: *Journal of Cleaner Production* 57, S. 38–45. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.06.008.

Spezifische Kennzahlen

Eigenschaft	AEL	PEM	SOFC
Druck / bar	1	1	1
Temperatur / °C	60	60	800
Stromdichte / A cm^{-2}	0,37	1,37	0,56
Spannung / V	2	2	1,29
Stromverbrauch / kWh $kg_{Produkt}^{-1}$	61,88	59,08	38,03
Wärmebedarf / kWh $kg_{Produkt}^{-1}$	1,02	0,25	7,18
Kühlbedarf / kWh $kg_{Produkt}^{-1}$	19,14	14,37	1,03
TRL	9	7-8	4-6

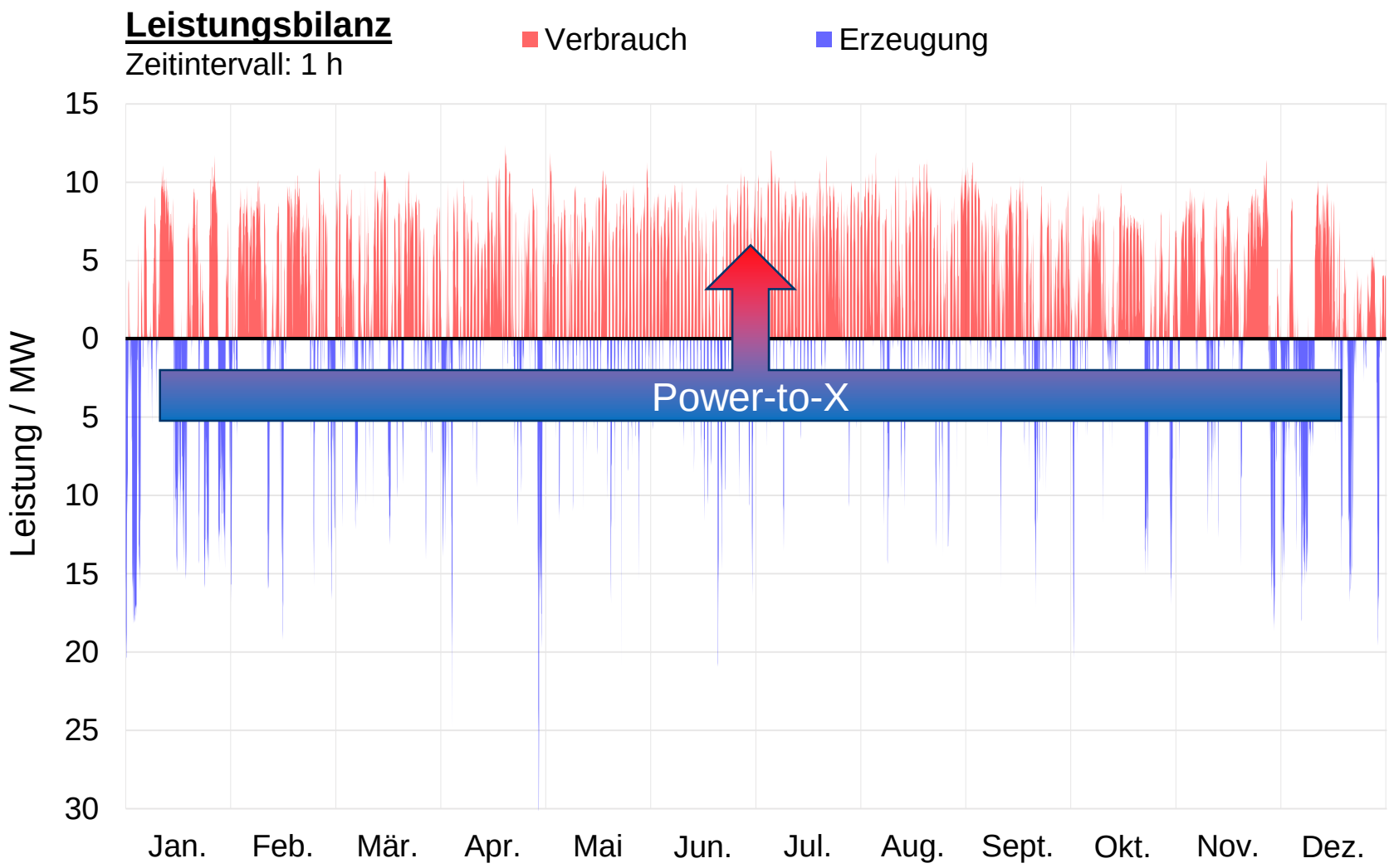
Spezifische Kennzahlen

Eigenschaft	Methanisierung	Methanolsynthese	CO_2-Absorption
Druck / bar	10	70	1 – 1,8
Temperatur / °C	300 – 725 °C	230 – 270 °C	30 – 120 ° C
Stromverbrauch / kWh $kg_{Produkt}^{-1}$	0,13	0,15	0,02
Wärmebedarf / kWh $kg_{Produkt}^{-1}$	0,04	0,50	0,0013 (≈ 4,8 MJ/kg)
Kühlmittelbedarf / kWh $kg_{Produkt}^{-1}$	4,15	0,94	-
H_2-Bedarf / kg $kg_{Produkt}^{-1}$	0,47	0,19	-
CO_2-Bedarf / kg $kg_{Produkt}^{-1}$	2,63	1,46	1
TRL	8-9	6-7	6-8

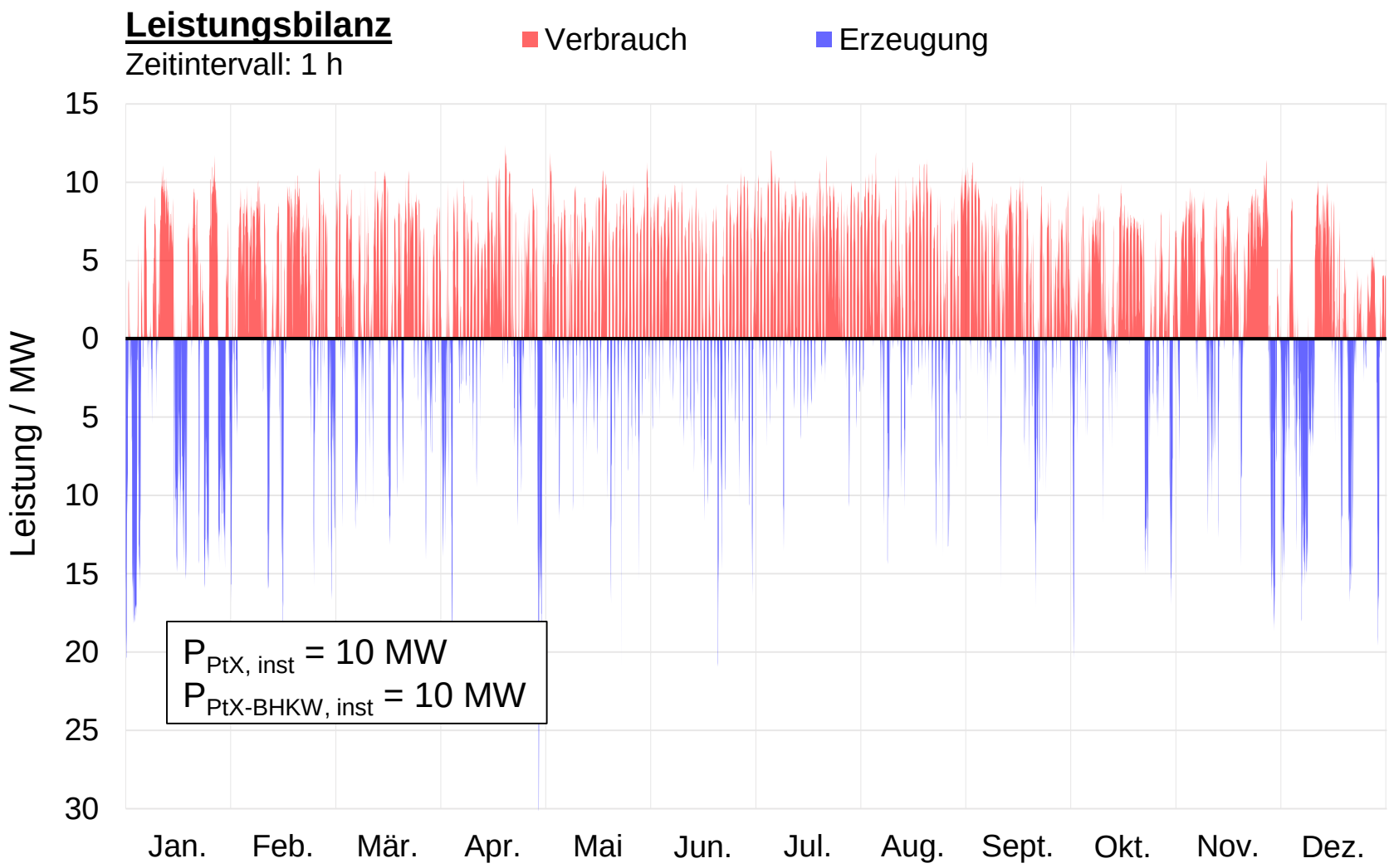
Gliederung

1. Datenakquise
2. Systemmodellierung
3. Prozesssimulation
4. Ergebnisse
5. Fazit / Ausblick

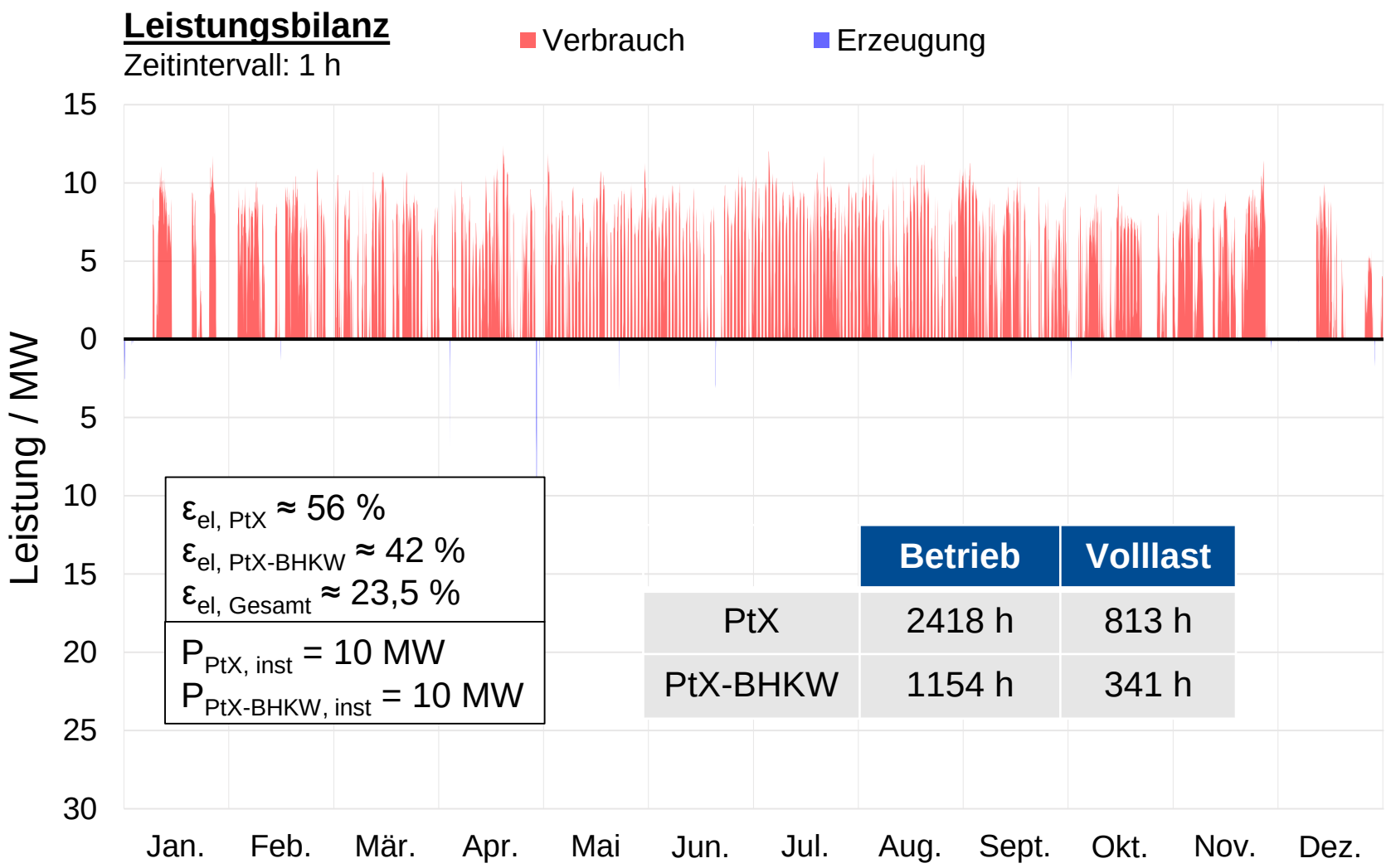
Power-to-X


Leistungsbilanz
Zeitintervall: 1 h
Verbrauch
Erzeugung
Leistung / MW
15
10
5
0
5
10
15
20
25
30
Power-to-X
Jan.
Feb.
Mär.
Apr.
Mai
Jun.
Jul.
Aug.
Sept.
Okt.
Nov.
Dez.

Power-to-X: PEM-Elektrolyse

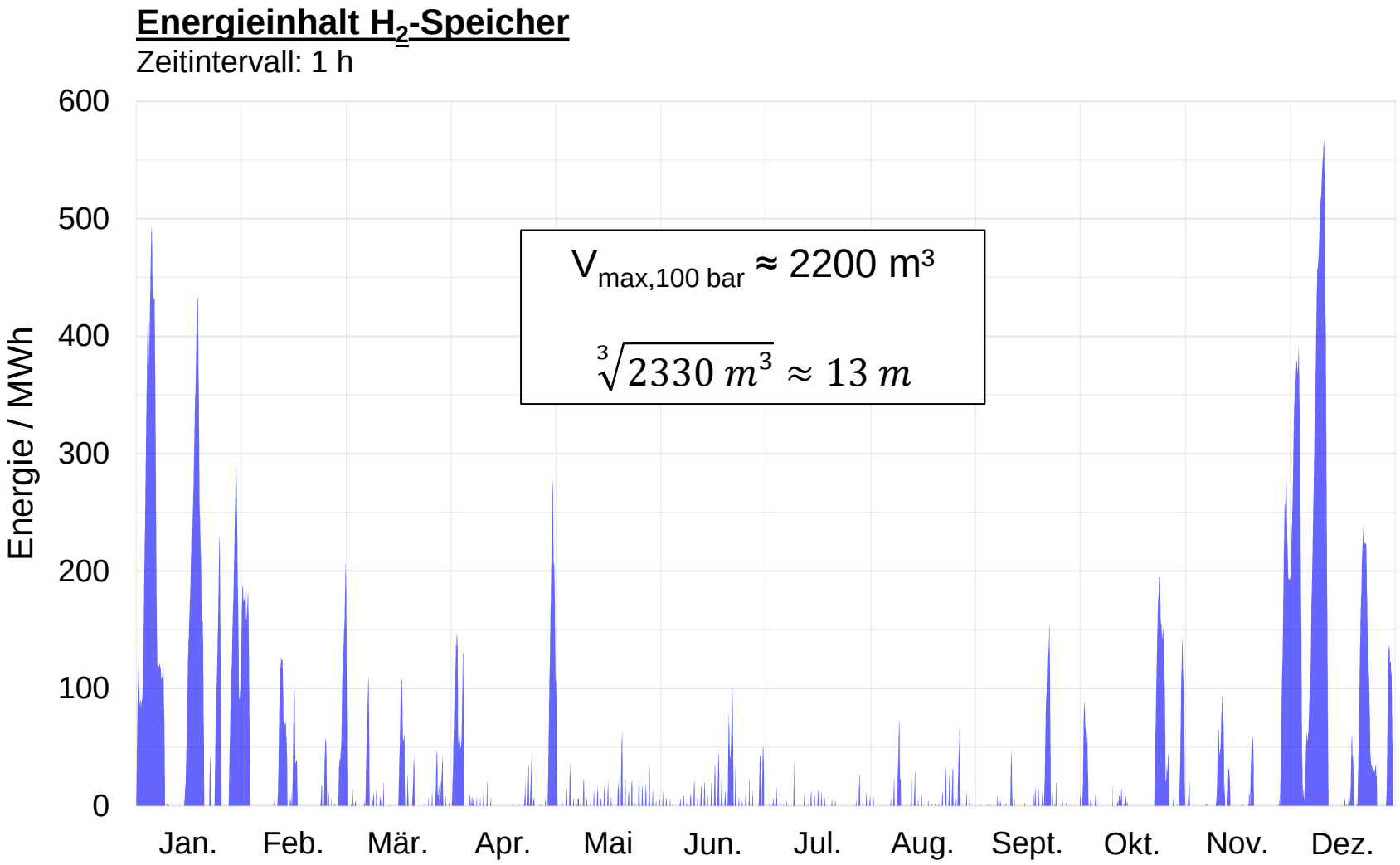


Power-to-X: PEM-Elektrolyse

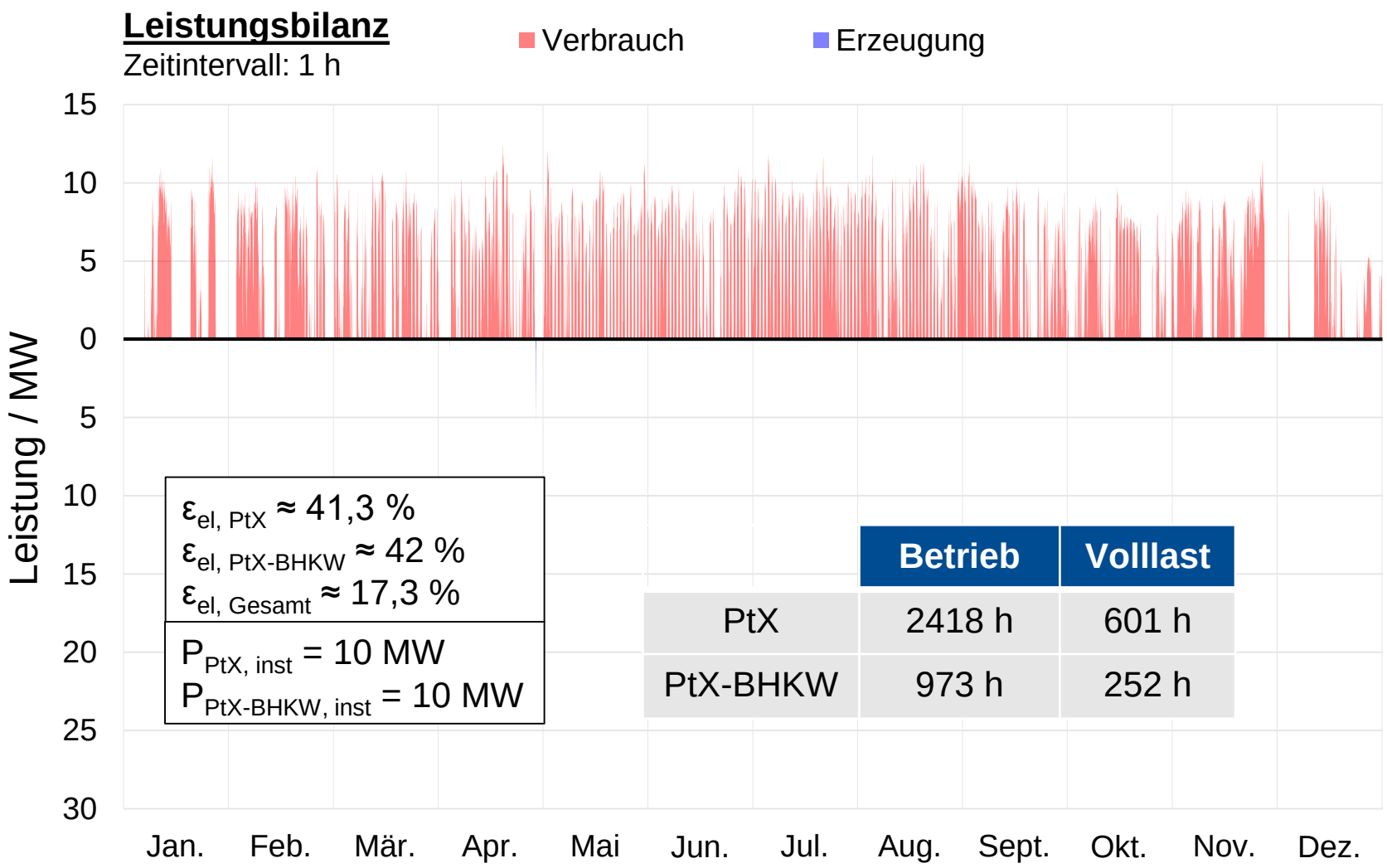


	Betrieb	Volllast
PtX	2418 h	813 h
PtX-BHKW	1154 h	341 h

H_2-Speicher

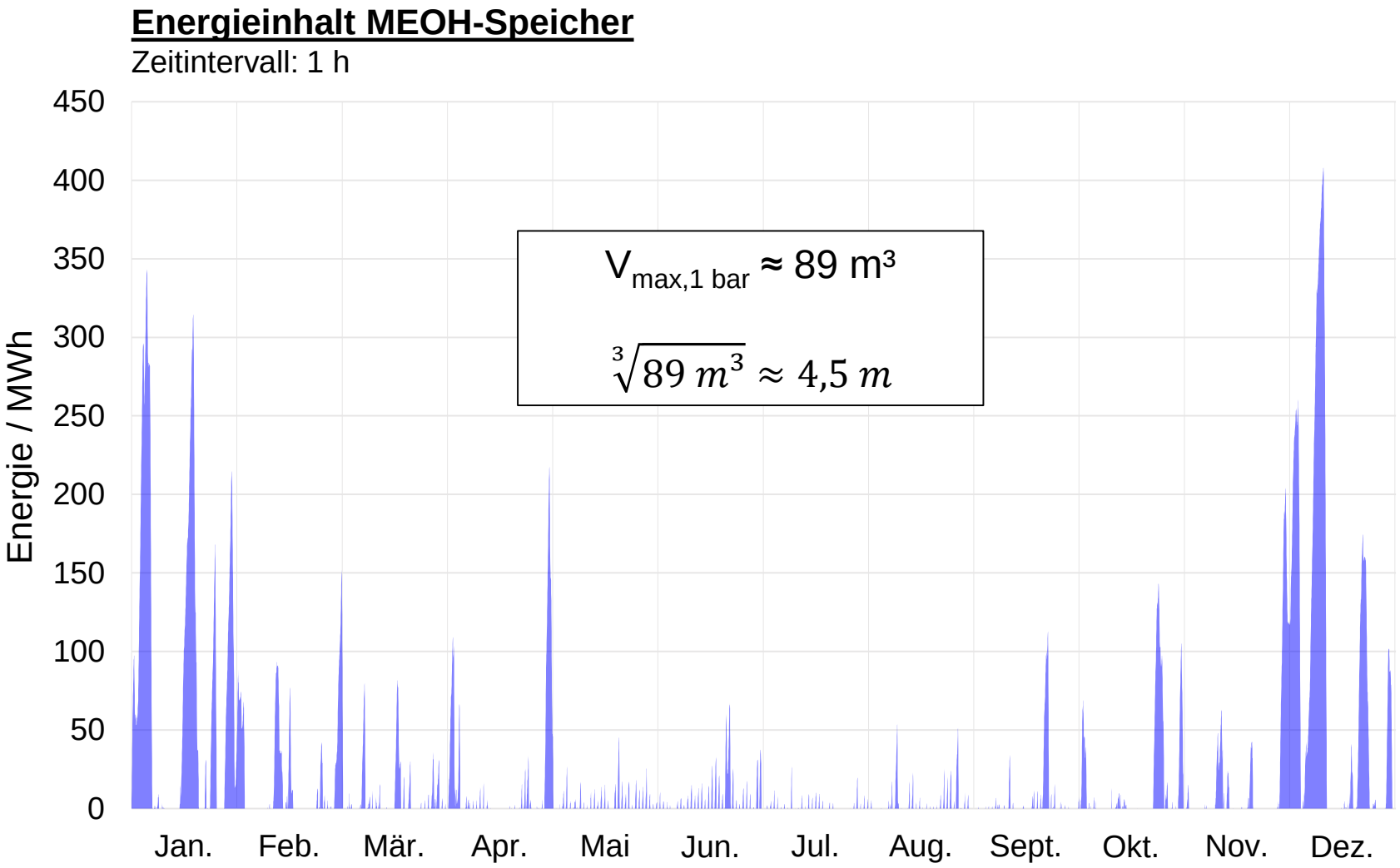

Energieinhalt H2-Speicher
Zeitintervall: 1 h
Energie / MWh
600
500
400
300
200
100
0
Jan.
Feb.
Mär.
Apr.
Mai
Jun.
Jul.
Aug.
Sept.
Okt.
Nov.
Dez.
V max,100 bar ≈ 2200 m³
∛2330 m³ ≈ 13 m

Power-to-X: Methanolsynthese

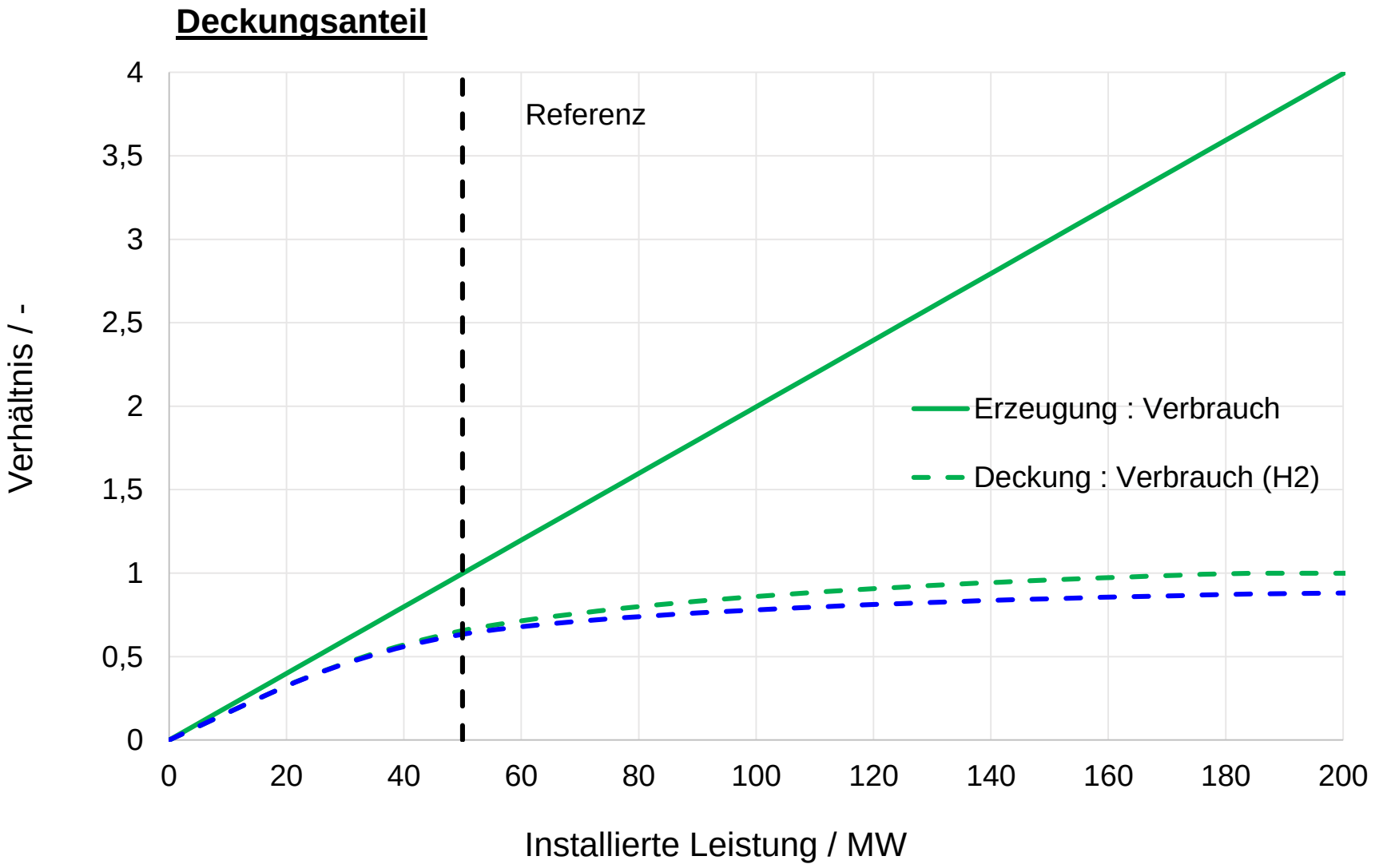


	Betrieb	Volllast
PtX	2418 h	601 h
PtX-BHKW	973 h	252 h

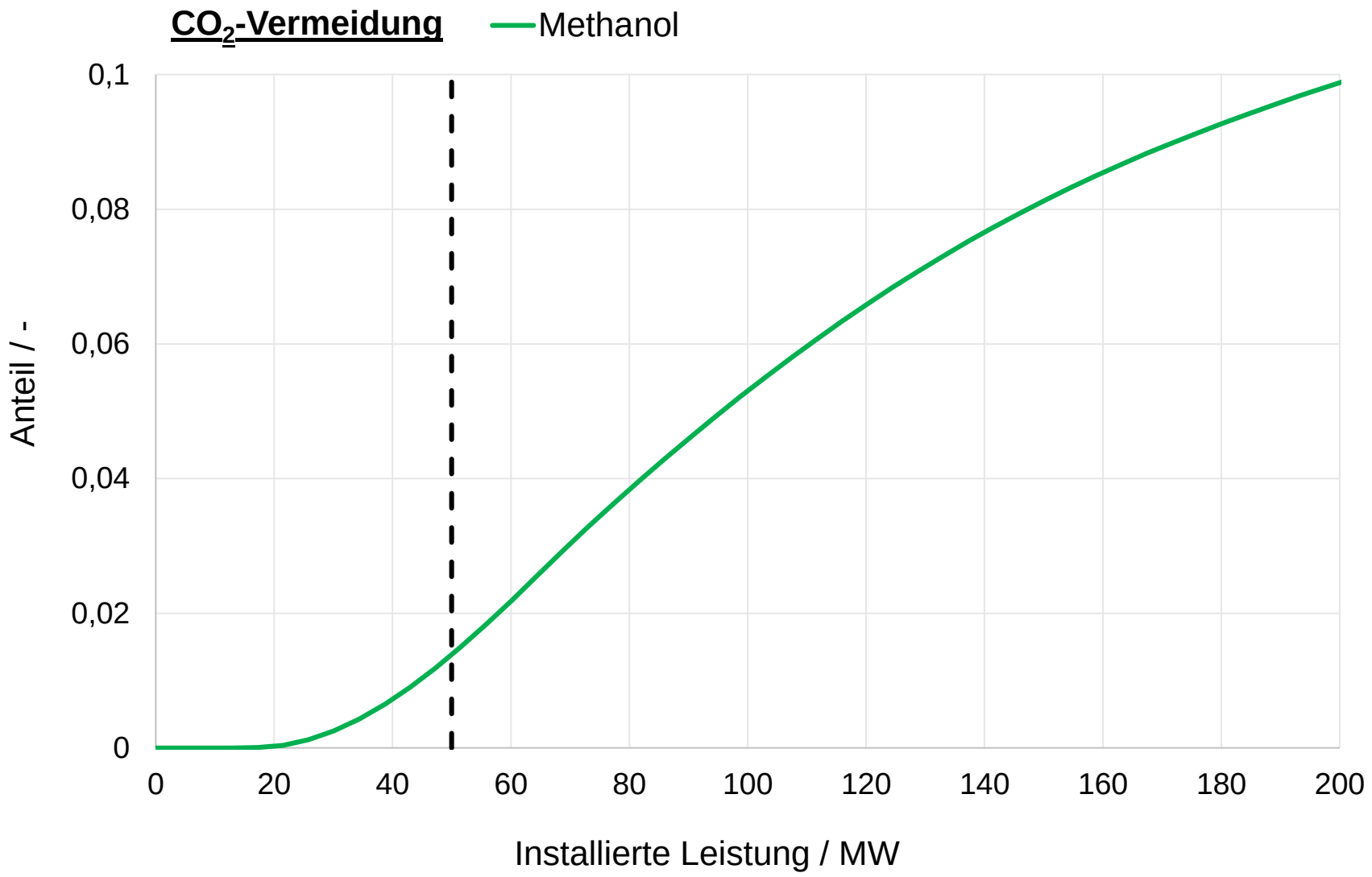
Methanol-Speicher



Sensitivitätsanalyse



Sensitivitätsanalyse



Gliederung

1. Datenakquise
2. Systemmodellierung
3. Prozesssimulation
4. Ergebnisse
5. Fazit / Ausblick

Fazit / Ausblick

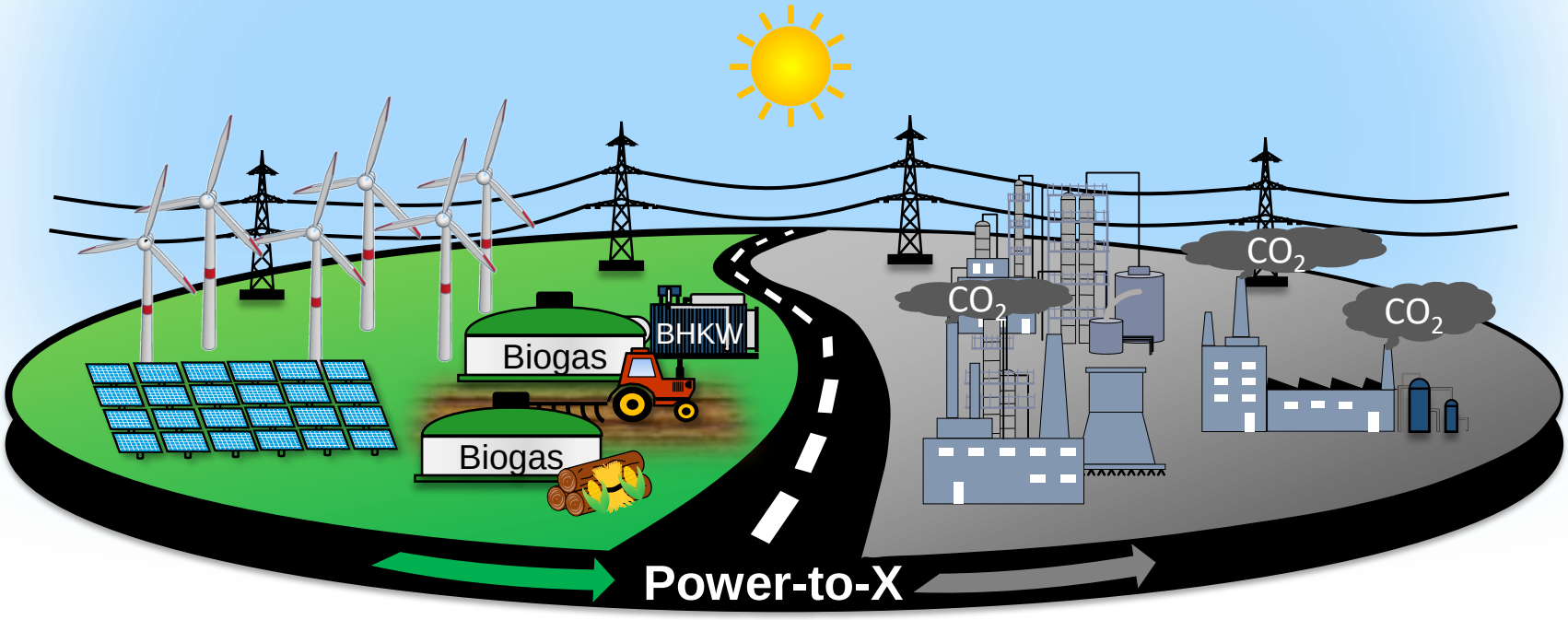
1. **Systemmodellierung ermöglicht Kopplung energieintensiver Industrie mit Betreibern von Stromerzeugungsanlagen**

2. **Prozesssimulation gibt Aufschluss über die Auslegung der Power-to-X-Verfahrensketten sowie spezifische Kennzahlen für die Systemmodellierung**

3. **Optimierung ist sehr aufwendig aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren→ Einsatz einer KI?**

4. **Diskussion von Verbundszenarien, darunter Inselnetze und Decarbonisierung**

5. **Berücksichtigung des thermischen Energiebedarfs**

6. **Lieferung der Ergebnisse an die TUM zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Vielen Dank !