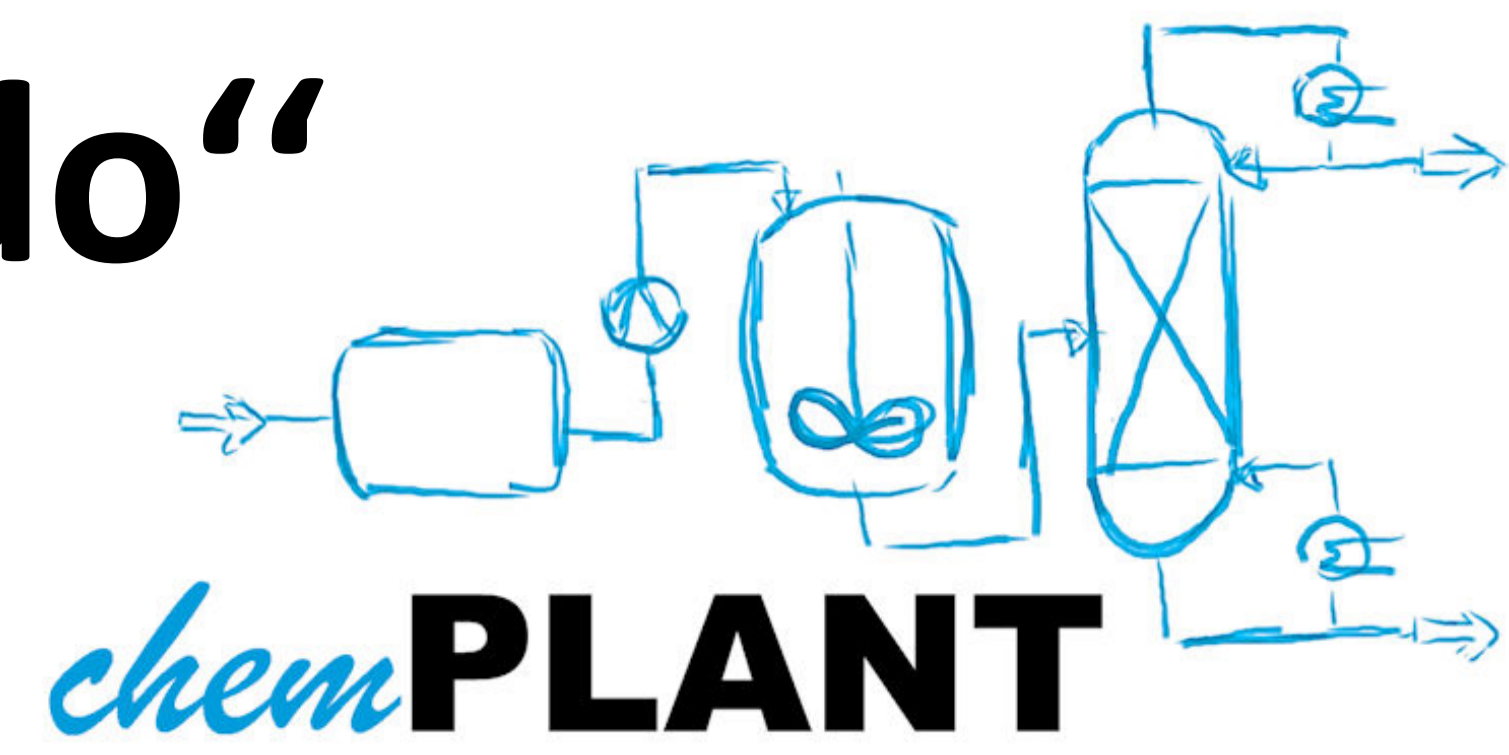




„Power to Chemicals – CO₂ can do“



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences

Mario Tümler, Mark Schellenberg, Kevin Meyer

Fachbereich Chemieingenieurwesen, Fachhochschule Münster, 48565 Steinfurt

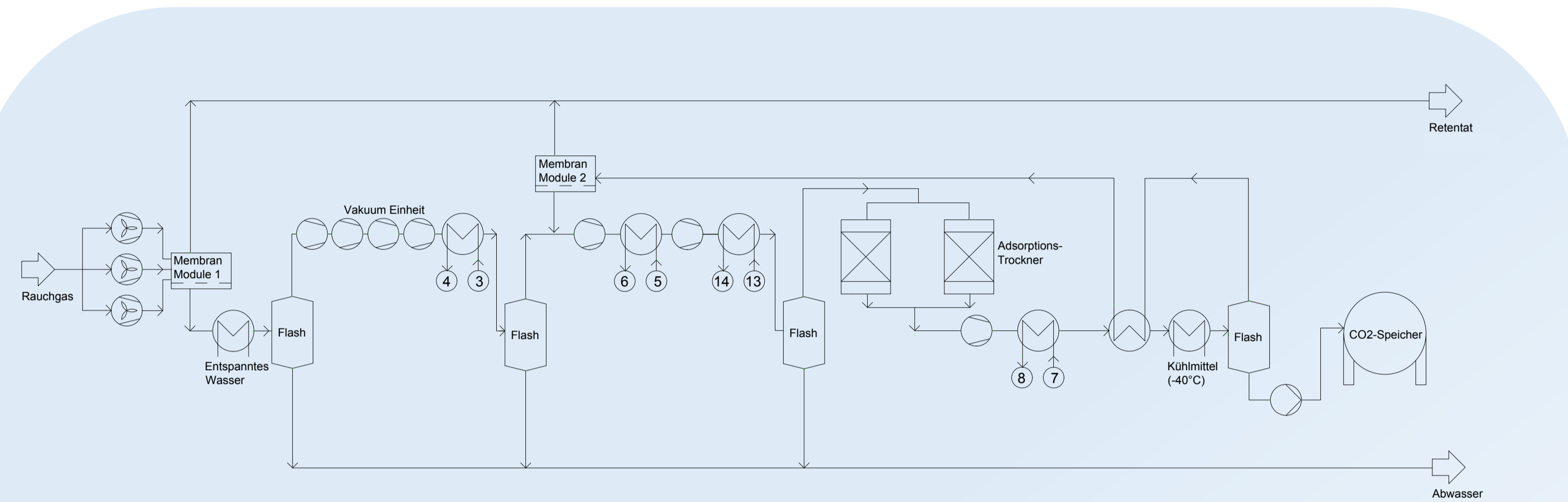
Email: m.tuemler@fh-muenster.de, mark.schellenberg@fh-muenster.de, kevin.meyer@fh-muenster.de

Hintergrund und Anlagenkonzept

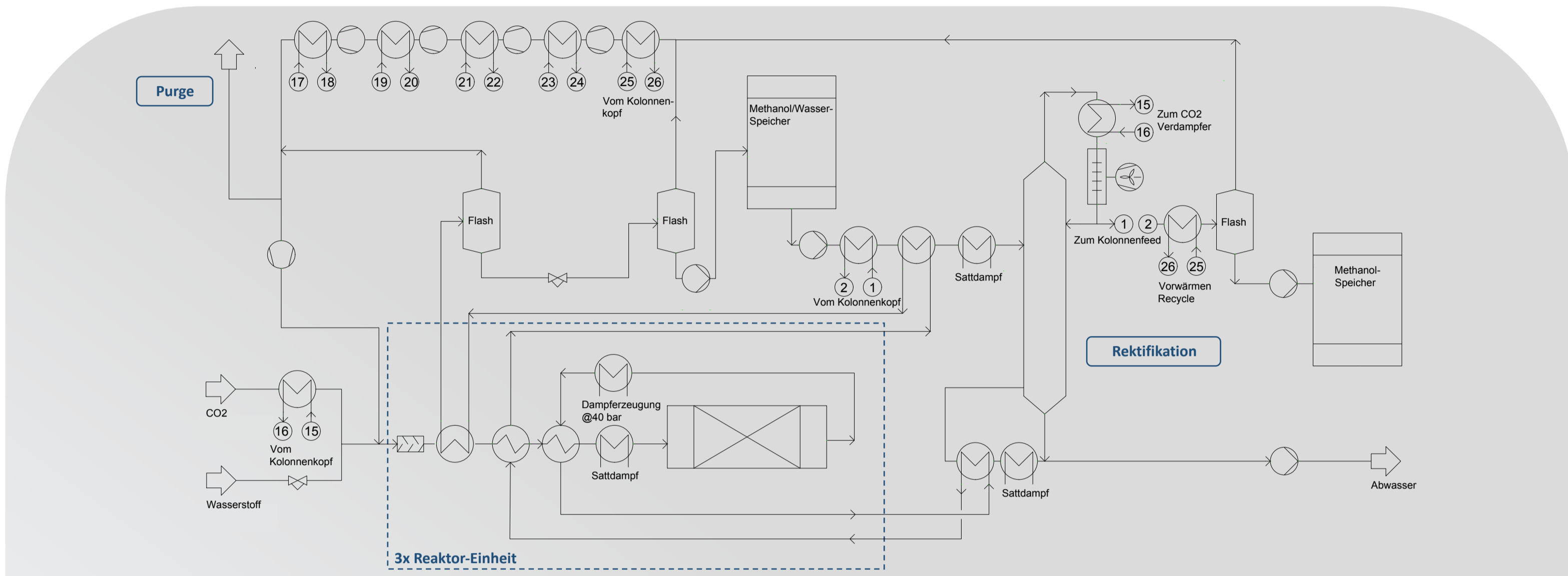
Erneuerbare Energien gewinnen zunehmend an Bedeutung. Dabei stellt vor allem deren Speicherung eine entscheidende Herausforderung dar. Dies liegt insbesondere an der schwankenden Verfügbarkeit der erneuerbaren Energiequellen. Eine flexible Speicherung ist zwingend erforderlich. In diesem Konzept wird eine Möglichkeit aufgezeigt, überschüssige elektrische Energie in Form von Methanol chemisch zu speichern. Dazu wird

Wasserstoff per Elektrolyse gewonnen, welcher in einem zweiten Schritt mit CO₂ zu Methanol und Wasser umgesetzt wird. Das erforderliche CO₂ wird per Membranverfahren aus dem Abgasstrom eines bestehenden Verbrennungsprozesses isoliert.

Produktionskonzept

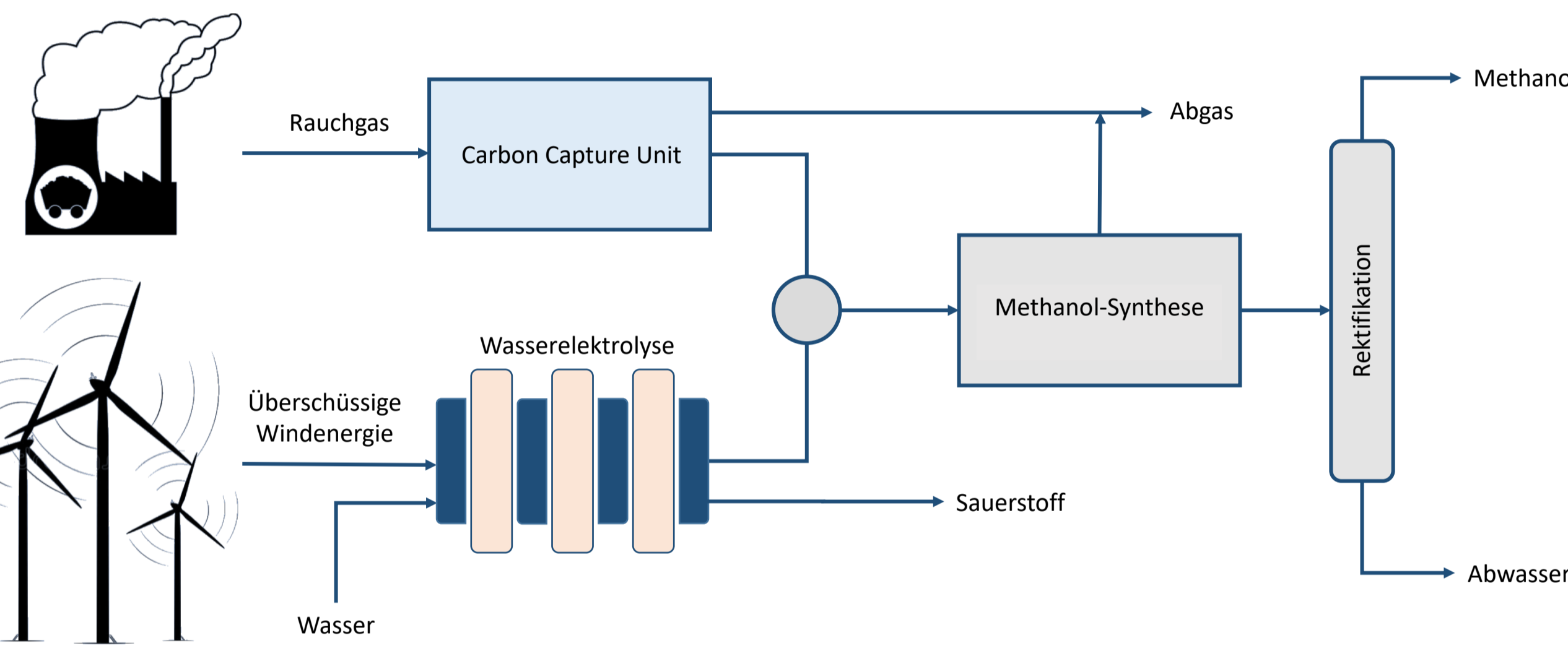


- CO₂-Isolierung durch ein zweistufiges Polymer-Membranverfahren (mit ChemCAD: 87,8% Ausbeute und 99,8% Reinheit)
- Der modulare Aufbau begünstigt den flexiblen Betrieb
- Erforderliche Membranfläche: 1,5 Mio. m² (vergleichbare Anlagenkapazitäten existieren bereits)
- Vermeidung von gefährlichen Chemikalien
- Der zentrale Aufbau ermöglicht eine flexible Wärmerückgewinnung
- Überschüssige Windenergie kann zusätzlich zur Elektrolyse für Kompressionsarbeiten eingesetzt werden



- CO₂ wird katalytisch (Cu/Zn/Al/Zr) mit H₂ zu Methanol und Wasser umgesetzt (mit AspenPlus: 94,5% CO₂-Umsatz, 100% H₂-Umsatz und 89,6% Methanol-Ausbeute)
- Drei Plug-Flow-Reaktoren (PFR) ermöglichen eine flexible Betriebsweise
- Um die Anreicherung von Inerten zu vermeiden, wird ein Purge-Strom aus dem Kreislauf entfernt und mit Luftsauerstoff thermisch verwertet
- Die Rektifikation erfolgt kontinuierlich aus einem Zwischenprodukt-Behälter (30,66 t/h Methanol als Kopfprodukt)

Carbon Capture Unit (Membranverfahren)



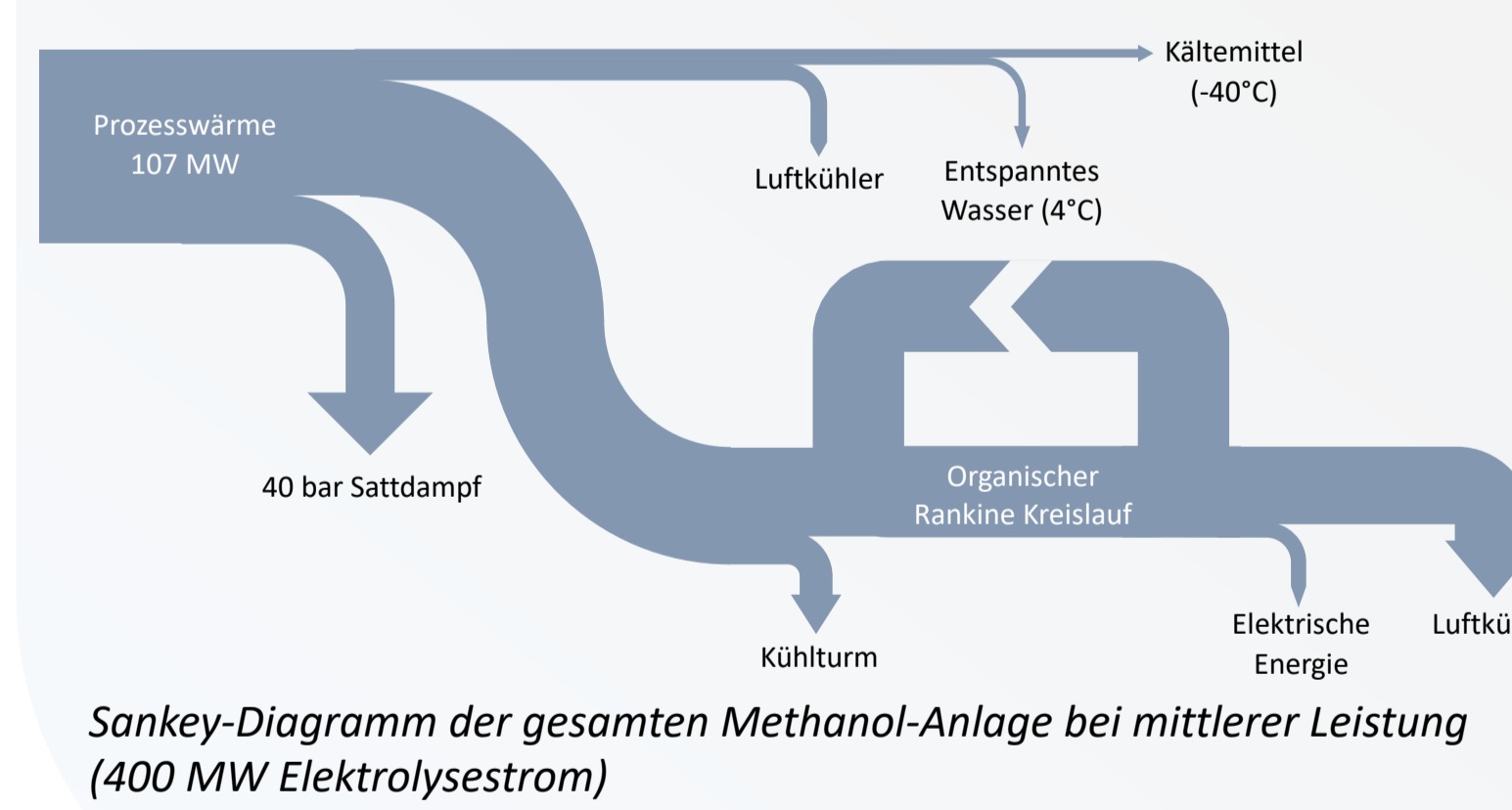
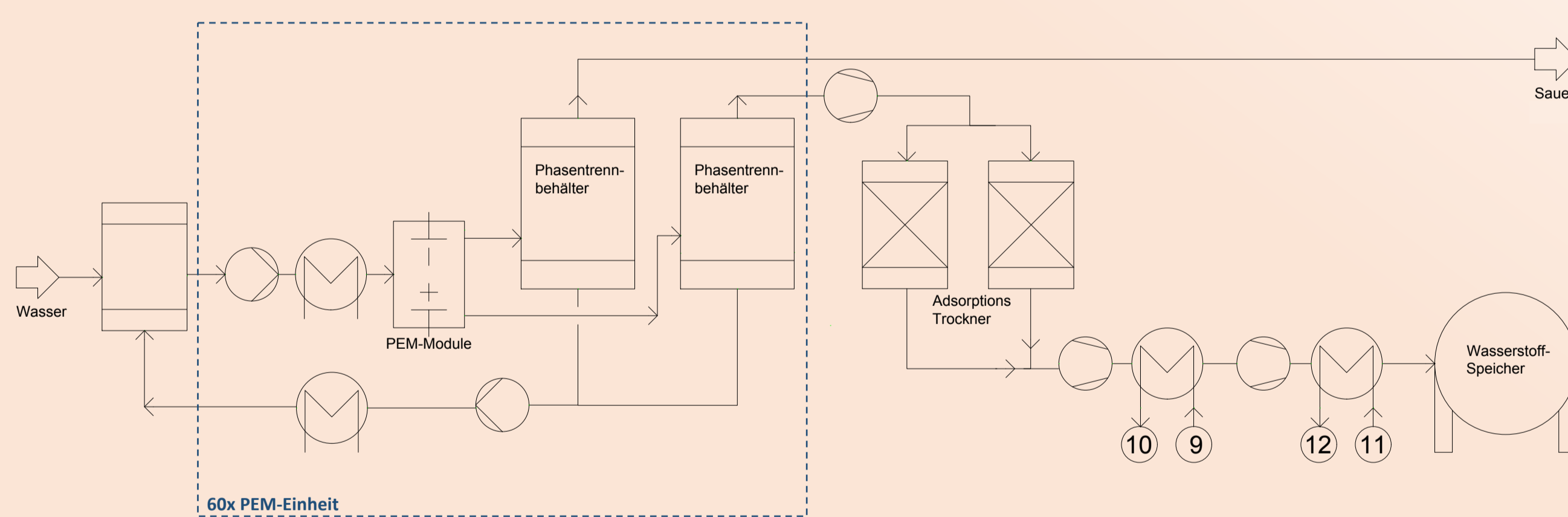
Methanol-Synthese und Aufreinigung (Plug-Flow-Reaktoren)

PEM-Elektrolyse (Proton-Exchange-Membrane)

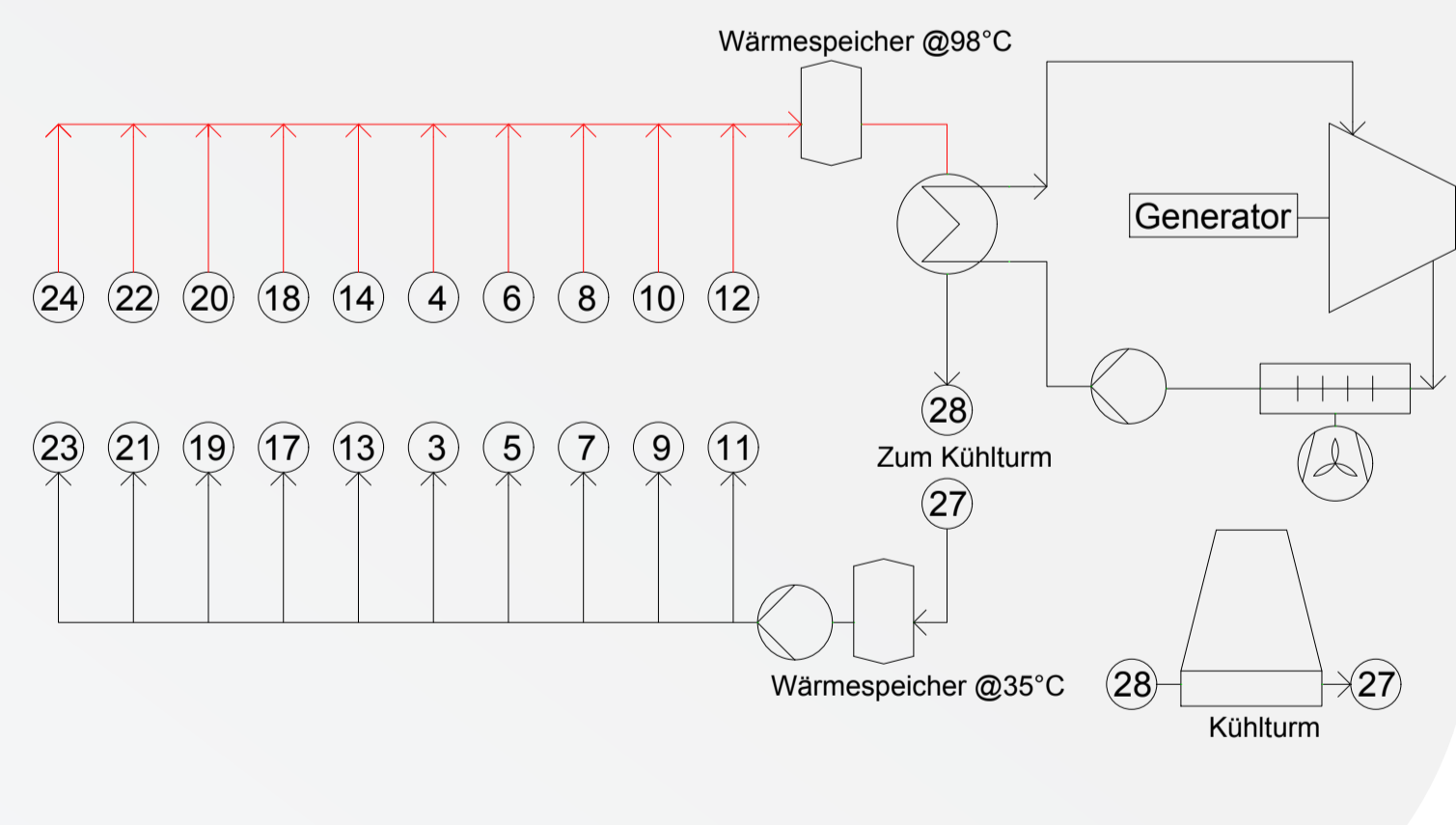
- Wasserstoffherzeugung durch membran-unterstützte Elektrolyseure
- Modularer Aufbau mit 60 Modulen à 10 MW
- Produktionskapazität wird flexibel an die verfügbare Windenergie angepasst
- Vermeidung von gefährlichen Rohstoffen
- Der dezentrale Aufbau ermöglicht die Einsparung von Wechsel- und Gleichrichtern (Gleichstrom kann direkt umgesetzt werden)

Energiemanagement (Wärmespeicher und ORC-Kreislauf)

- Die Anlage benötigt keine zusätzliche Wärme – ausschließlich Kühlleistung
- Ein Teil der Prozesswärme wird genutzt um einen Organischen Rankine Kreisprozess (ORC) zu betreiben
- Der schwankende Energieüberschuss (Resultat des flexiblen Betriebs) wird durch einen Wasserkreislauf mit zwei Wärmespeicherbehältern kompensiert
- Zudem wird Prozesswärme genutzt um Satttdampf zu erzeugen

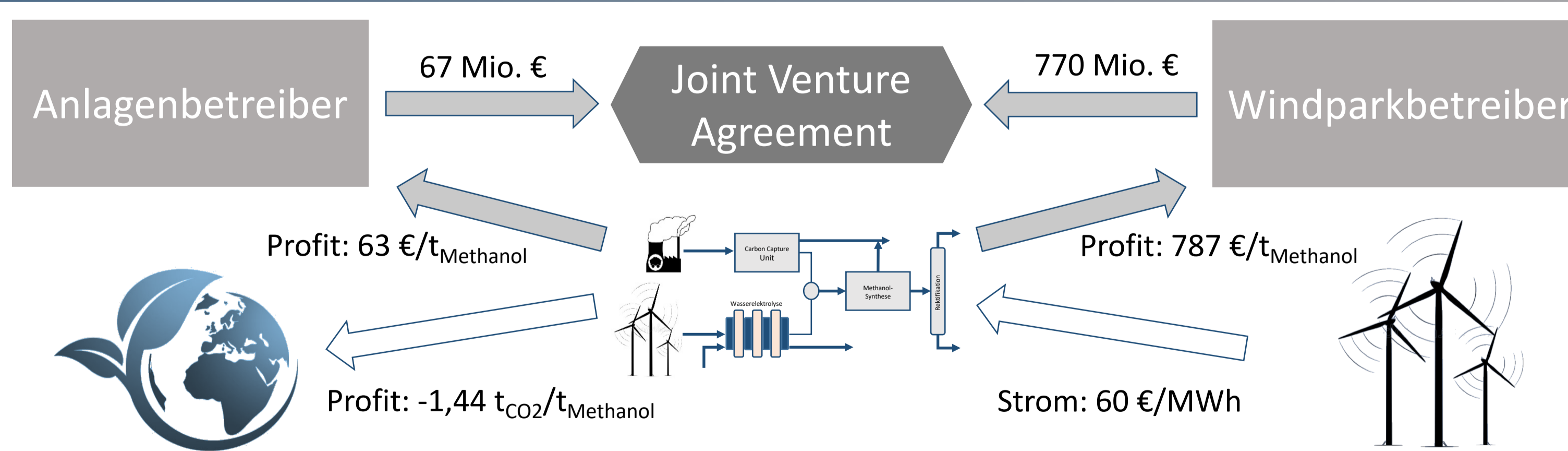


Sankey-Diagramm der gesamten Methanol-Anlage bei mittlerer Leistung (400 MW Elektrolysestrom)



Finanzierung

Das Konzept sieht ein Joint-Venture-Agreement zwischen dem Anlagen- und dem Windparkbetreiber vor, da beide Seiten von der Unternehmung profitieren: Letztere beteiligt sich an den Investitionskosten und erhält dafür einen sicheren Stromabnehmer ihres überschüssigen Stroms. Im Gegenzug wird dem Anlagenbetreiber vergünstigter Strom (60 €/MWh) zur Verfügung gestellt. Beide Parteien übernehmen ihren prozentualen Anteil des Deckungsbeitrags (in der Abbildung als Profit bezeichnet) von den Gesamtinvestitionskosten. Diese wurden auf 837 Mio. € abgeschätzt,



wovon 72% auf die Elektrolyseure und 9% auf die Membranmodule zurückfallen. Da 92% der Energiekosten (210 Mio. €/a) für Elektrolysestrom anfallen, erzielt der Windparkbetreiber einen Deckungsbeitrag von 850 €/t_{Methanol}. Der Anlagenbetreiber erzielt inklusiv des Verkaufs des anfallenden Sauerstoffs (Preis: 85 €/t) einen Wert von 63 €/t_{Methanol}. Dennoch amortisiert sich das Vorhaben für beide Parteien nach rund vier Jahren und auch die Umwelt profitiert: Jährlich werden die CO₂-Emissionen am Standort um 350.000 Tonnen reduziert.

Ausblick

Den chemPLANT-Wettbewerb 2018 kennzeichnet vor allem die Kombination der drei gegensätzlichen Säulen: Kreativität, Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit. Eine weitere Herausforderung ist die Einführung von Flexibilität in chemischen Großanlagen. Das Konzept „Power to Chemicals – CO₂ can do“ behandelt diese Probleme und stellt

einen innovativen Lösungsansatz dar. Dabei ist aus wirtschaftlicher Sicht besonders der teure Elektrolyse-Wasserstoff zu beachten. Zum Vergleich: Würde die Anlage mit Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen (Preis: 1.050 €/t) betrieben werden, erhöht sich der Deckungsbeitrag für den Anlagenbetreiber von 63 auf 558 €/t_{Methanol}.

Referenzen

- [1] A. Kiss, J. Pragt, H. Vos, G. Bargeman und M. de Groot, Novel efficient process for methanol synthesis by CO₂ hydrogenation, Chemical Engineering Journal 284 (2016) S. 260-269
- [2] T. Merkel, H. Lin, X. Wei und R. Baker, Power plant post-combustion carbon dioxide capture: An opportunity for membranes, Journal of Membrane Science 359 (2010) S. 126-139
- [3] M. Pérez-Fortes, J. Schöneberger, A. Boulamanti und E. Tzimas, Methanol synthesis using captured CO₂ as raw material: Techno-economic and environmental assessment, Applied Energy 161 (2016) S. 718-732
- [4] N. Desai und S. Bandyopadhyay, Process integration of organic Rankine cycle, Energy 34 (2009) S. 1674-1686

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Andreas Wäsche und Herrn Prof. Dr.-Ing. Volkmar Jordan, die uns bei der Erarbeitung des Konzeptes als Ansprechpartner der FH Münster unterstützt und zur Seite gestanden haben.

