Hochschule
Bonn-Rhein-Sieg
University of Applied Sciences

Leitprojekt
TransHyDE

TransHyDE-Projekt Systemanalyse

Systemanalyse zu Transportlösungen für grünen Wasserstoff – Teilvorhaben der H-BRS: MechaMod - Modellierung und Analyse mechatronischer Komponenten für gekoppelte Wasserstoffnetze

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil I: Kurzbericht

Stand:	22.12.2025
Einreichungsdatum (TIB):	31.01.2026
Partnerin/Partner:	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (H-BRS)
Autorin/Autor:	Tanja Clees
Fördertitel:	Verbundvorhaben TransHyDE_FP1: Systemanalyse zu Transportlösungen für grünen Wasserstoff
Förderkennzeichen:	03HY201N
Disclaimer:	*Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor/den Autoren.*

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:
Leitprojekt TransHyDE
Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Inhaltsverzeichnis

I. Ursprüngliche Aufgabenstellung 3
II. Vormaliger Stand des Wissens 3
III. Ablauf des Vorhabens 3
IV. Wesentliche Ergebnisse 4
Literaturverzeichnis 5

I. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Das vorliegende Teilvorhaben entwickelt im Schwerpunkt physikalisch-chemische Detail-Modellierungen für alle relevanten mechatronischen Komponenten, und zwar sowohl für die Kopplung von Gasnetzen mit Stromnetzen als auch für relevante Netzbetriebsmittel, zur Nutzung auf dem hier eingesetzten Simulationslevel und für die eingesetzten Simulatoren.

Im Ergebnis sollen Detail-Komponentenmodelle zur Analyse möglicher Transformationspfade der Erdgas- auf eine Wasserstofftransport-Infrastruktur entstehen, und zwar mit Ankopplung von Stromnetzen und unter Analyse technischer Grenzen und Ausfallsicherheit. Entsprechende Beiträge zu Modellvergleichsmethoden und Modellvergleichen, zur Life Cycle Analysis sowie dem Roadmapping (AP 7) werden erarbeitet. Ein weiteres Arbeitsziel besteht in der Gestaltung der Kooperation mit dem Netzwerk HyCologne Wasserstoff Rheinland e.V.

II. Vormaliger Stand des Wissens

In den nachfolgend genannten Publikationen vor Projektstart [1-25] sowie den im Rahmen des Projekts erarbeiteten Publikationen [26-43] ist der Stand der Wissenschaft und Technik in allen für das Projekt relevanten Bereichen erörtert und regelmäßig auf den neuesten Stand gebracht worden. Hier wird nur der vormalige Stand des Wissens der Arbeitsgruppe Clees der H-BRS im Folgenden zusammengefasst.

Das Institut TREE der H-BRS, und dort insbesondere die Arbeitsgruppe der antragstellenden Prof.‘in Clees, erarbeitet (nach wie vor) unter anderem Verfahren zur Modellierung, Simulation und Analyse von Energienetzen mit einem Schwerpunkt auf Power-to-Gas-to-X-Kreisläufen. Im Fokus stehen Systeme, welche bis zu 100% Wasserstoff erzeugen, speichern und verbrauchen können.

In den Vorarbeiten der Abteilung von Prof.‘in Clees am Fraunhofer SCAI wurden seit 2010 vorwiegend Erdgasnetze betrachtet. Siehe auch [14-18]. Die dafür genutzten Methoden wurden schon früh erweitert auf sektorübergreifende Fragestellungen. Beispiele sind Flexibilisierungsoptionen durch Sektorkopplung in städtischen Netzen für Strom, Gas und Wärme (Projekt ES-FLEX-INFRA), Hot-Liquid-Cooling-Kreisläufe in Rechenzentren (Projekt SIMOPEK) bzw. Dampf- und Stromkreisläufe in der chemischen Industrie (Projekt ENCOMOS). Siehe auch [19-25]. Seit 2015 beschäftigt sich die Arbeitsgruppe auch mit Brennstoffzellen, siehe auch [5-13]. Seit 2018 (an der H-BRS) betrachtet die Arbeitsgruppe der Antragstellerin verstärkt Systeme mit hohen Wasserstoffqualitäten bis zu 100%. Dort handelt es sich hier um Power-to-Gas-to-Power-Systeme für Häuser oder einzelne Industriestandorte sowie um Auswirkungen hoher Wasserstoffanteile in für Erdgas ausgelegten Netzen, allerdings hinsichtlich der Verteilung des Wasserstoffs aus Bundesland-scharf modellierten Power-to-Gas-Anlagen und Auswirkungen auf den Brennwert, nicht jedoch die Komponentenmodellierung, wie sie in TransHyDE dann erarbeitet wurde. Siehe auch [1-4].

III. Ablauf des Vorhabens

Die H-BRS leistete wesentliche wissenschaftliche Beiträge im Arbeitspaket (AP) 3 und kleinere Beiträge in den APs 4 bis 7. Die geplanten Arbeiten wurden weitgehend umgesetzt; eine wesentliche inhaltliche Anpassung bestand in der stärkeren Fokussierung auf den Retrofit bestehender Erdgas-GuD-KWK-Kraftwerke anstelle von Brennstoffzellen.

Der Schwerpunkt lag in AP 3.3 „Transportnetze“. Hier wurden detaillierte, differentialgleichungs-basierte Modelle für Netzbetriebsmittel entwickelt und erweitert. Dazu zählen gaszusammen-

setzungsabhängige Modelle für Netzbetriebsmittel, große Elektrolyseure und ihre Abwärme sowie Kraftwerke mit schrittweiser Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff. Besondere Aufmerksamkeit galt der Abbildung von Kennfeldern, Betriebsgrenzen und sicherheitsrelevanten Aspekten wasserstoffreicher Gasgemische. Ergänzend brachte die H-BRS Beiträge zu Zukunftsszenarien, Transformationspfaden der Verdichterumrüstung sowie zur Ausfallsicherheit kritischer Komponenten ein. Die Modelle wurden prototypisch für die Nutzung z.B. im Simulator MYNTS vorbereitet.

IV. Wesentliche Ergebnisse

Auf systemischer Ebene trug die H-BRS zum Gesamtansatz von TransHyDE-Sys bei, der die Transformation des Gasinfrastruktursystems ganzheitlich analysiert. Die entsprechenden Publikationen [26-27] fassen die im Projekt entwickelten Szenarien, Modellkopplungen und Bewertungsansätze zusammen und ordnen die Arbeiten der H-BRS dort ein.

Ein zentraler Arbeitsschwerpunkt lag auf Komponenten zur Kopplung von Gas- und Stromsystemen. Hier wurde mit dem neu entwickelten multiphysikalischen Simulator MEgy ein Werkzeug geschaffen, das die gekoppelte Simulation elektrochemischer und thermodynamischer Prozesse in Power-to-Gas-to-X-Systemen ermöglicht. MEgy schließt eine Lücke zwischen detaillierten physikalischen Modellen und systemorientierten Energiesimulatoren. Anhand eines realen PtGtX-Hybridenergiesystems der H-BRS konnten u. a. starke Druck- und Temperaturabhängigkeiten von Elektrolyseuren, relevante thermische Effekte von Metallhydridspeichern sowie das dynamische Verhalten von Brennstoffzellen quantitativ analysiert werden. Ergänzt wurde dies durch metamodellbasierte Optimierungsansätze, die eine drastische Beschleunigung der Größen- und Systemoptimierung erlauben.

Darauf aufbauend wurden PEM-Elektrolyseure im Megawattmaßstab schrittweise modelliert: zunächst der Stack, anschließend wesentliche Balance-of-Plant-Komponenten und schließlich die Leistungselektronik. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abwärme großskaliger Elektrolyseanlagen bislang deutlich unterschätzt wird und dass insbesondere die Stromversorgung (Gleichrichter) einen erheblichen Anteil an der nutzbaren Wärmeleistung hat. Damit liefern die Arbeiten eine wichtige Grundlage für die systematische Einbindung von Elektrolyseuren in Wärme- und Fernwärmesysteme.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Modellierung wasserstoffbasierter Kraftwerke, insbesondere der Retrofit bestehender GuD-KWK-Anlagen. Die Analysen zeigen, dass Wasserstoffbeimischungen von etwa 20–40 Vol.-% häufig ohne grundlegende Umbauten realisierbar sind, während höhere Anteile anlagenspezifische Anpassungen erfordern. Als limitierende Komponenten wurden insbesondere Gasturbine und Abhitzedampferzeuger identifiziert, wobei sich Unterschiede zwischen strom- und wärmegeführtem Betrieb ergeben.

Im Bereich der gaszusammensetzungsabhängigen Modellierung von Netzbetriebsmitteln und Sicherheitsbetrachtungen wurden Methoden zur Contingency-Analyse von Gastransportnetzen mit Wasserstoff weiterentwickelt. Durch topologische Reduktion und die Einführung effizienter Multi-Element-Analysen lassen sich kritische Komponenten und Engpässe systematisch identifizieren. Ergänzend wurden Verdichterstationen und Wasserstoffrohrleitungen detaillierter untersucht, einschließlich transienter Effekte und Druckstöße auf Basis der Navier-Stokes-Gleichungen. Diese Arbeiten zeigen die Grenzen vereinfachter Netzmodelle auf und liefern Ansätze für realistischere Sicherheits- und Betriebsanalysen zukünftiger Wasserstoffnetze.

Insgesamt leisten die Arbeiten der H-BRS einen substanziellen Beitrag zur physikalisch fundierten Modellierung, zur Sicherheitsbewertung und zur systemischen Einordnung wasserstoffbasierter Energieinfrastrukturen.

Literaturverzeichnis

Publikationen vor Start des Projekts

Fokus Wasserstoff:

[1] Clees, Tanja: Contingency Analysis for Gas Networks with Hydrogen Injection. Vortrag auf der ICIAM 2019 in Valencia, Spanien.

[2] Clees, Tanja; Baldin, Anton; Klaassen, Bernhard; Nikitina, Lialia; Nikitin, Igor; Spelten, Philipp: Efficient method for simulation of long distance gas transport networks with large amounts of hydrogen injection. Energy Conv. and Manag. 2021, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113984

[3] Clees, Tanja ; Baldin, Anton ; Klaassen, Bernhard ; Nikitina, Lialia ; Nikitin, Igor ; Spelten, Philipp: Efficient Modeling and Simulation of Long-Distance Gas Transport Networks with Large Amounts of Hydrogen Injection. In: Procs. 15th SDEWES Conference, (online) Sep 1-5 2020, Cologne, Germany.

[4] Clees, T., Baldin, A., Benner, P., Grundel, S., Himpe, C., Klaassen, B., Küsters, F., Marheineke, N., Nikitina, L., Nikitin, I., Pade, J., Stahl, N., Strohm, C., Tischendorf, C. and Wirsen, A., MathEnergy – Mathematical Key Technologies for Evolving Energy Grids. In: S. Goettlich, M. Herty and A. Milde, Eds., Mathematical Modeling, Simulation and Optimization for Power Engineering and Management, Mathematics in Industry 34, Springer, Heidelberg, ISBN 978-3-03062731-7

Fokus Brennstoffzellen:

[5] Theresa Haisch, T. Kubannek, F., Nikitina, L., Nikitin, L., Pott, S., Clees, T., Krewer, U.: The origin of the hysteresis in cyclic voltammetric response of alkaline methanol electrooxidation. Phys. Chem. Chem. Phys. 22, 2020, 16648

[6] Clees, Tanja ; Klaassen, Bernhard ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia ; Pott, Sabine ; Krewer, Ulrike ; Haisch, Theresa: Model Reduction in the Design of Alkaline Methanol Fuel Cells. In: Rückemann, Claus-Peter ; International Academy, Research, and Industry Association -IARIA-: INFOCOMP 2019, the Ninth International Conference on Advanced Communications and Computation : July 28-August 2, 2019, Nice, France. Nice: IARIA, 2019, S.21-22, URL: http://thinkmind.org/download.php?articleid=infocomp_2019_2_20_68002

[7] Clees, Tanja ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia ; Pott, Sabine ; Krewer, Ulrike ; Haisch, Theresa: Mathematical Modeling of Alkaline Methanol Oxidation for Design of Efficient Fuel Cells. In: Obaidat, M.S.: Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications. 8th International Conference, SIMULTECH 2018 : Porto, Portugal, July 29-31, 2018, Revised Selected Papers. Advances in Intelligent Systems and Computing 947, Springer Nature, Cham, 2020, pp. 181-195, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-35944-7_9

[8] Haisch, T. ; Kubannek, F. ; Nikitina, L. ; Nikitin, I. ; Clees, T. ; Krewer, U.: Identification of the kinetics of the alkaline methanol electro-oxidation reaction by dynamic methods. In: Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie -DECHEMA-; Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie -DECHEMA-, ProcessNet Initiative: Jahrestreffen Reaktionstechnik 2018 - Annual Meeting on Reaction Engineering. Book of abstracts : 7-9 May 2018, Festung Marienberg, Würzburg/Germany. Frankfurt/Main: DECHEMA, 2018, S.137-138

[9] Nikitin, Igor ; Clees, Tanja ; Nikitina, Lialia ; Pott, Sabine ; Krewer, Ulrike ; Windorfer, Theresa: Mathematical modeling of electrochemical kinetics of alkaline methanol oxidation. In: Chemical sciences journal : CSJ 9 (2018), S.45, DOI: http://dx.doi.org/10.4172/2150-3494-C2-021

[10] Haisch, T. ; Kubannek, F. ; Nikitina, L. ; Nikitin, I. ; Pott, S. ; Clees, T. ; Krewer, U.: Origin of the hysteresis between forward and reverse peak in cyclic voltammograms of the alkaline methanol electrooxidation. In: Berg, E.J. ; Paul Scherrer Institut -PSI-: 15th Symposium on Modeling and Experimental Validation of Electrochemical Energy Devices, ModVal 2018. Book of Abstracts : April

12-13, 2018, Aarau, Switzerland. Villingen: PSI, 2018, S.57-58, URL: https://www.psi.ch/lec/LECFilesEN/modval2018.pdf

[11] Clees, T. ; Nikitin, I. ; Nikitina, L. ; Pott, S. ; Krewer, U. ; Haisch, T.: Parameter identification in cyclic voltammetry of alkaline methanol oxidation. In: Rango, F. de ; Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication -INSTICC-, Setubal: 8th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, SIMULTECH 2018. Proceedings : July 29-31, 2018, Porto, Portugal. SciTePress, 2018, S.279-288, DOI: http://dx.doi.org/10.5220/0006832002790288

[12] Clees, Tanja ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia ; Pott, Sabine: Parameter identification in electrochemical kinetics of alkaline methanol oxidation. In: Chemical sciences journal : CSJ 9 (2018), S.46, DOI: http://dx.doi.org/10.4172/2150-3494-C2-020

[13] Clees, Tanja ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia ; Steffes-lai, Daniela ; Pott, Sabine ; Krewer, Ulrike ; Windorfer, Theresa: Electrochemical impedance spectroscopy of alkaline methanol oxidation. In: International Academy, Research, and Industry Association -IARIA-: Seventh International Conference on Advanced Communications and Computation, INFOCOMP 2017 : June 25 - 29, 2017, Venice, Italy, IARIA, 2017, S.46-51

Fokus effiziente Simulation von Erdgasnetzen:

[14] Baldin, Anton ; Clees, Tanja ; Fuchs, Barbara ; Klaassen, Bernhard ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia ; Torgovitskaia, Inna: Topological Reduction of Gas Transport Networks. In: Rückemann, Claus-Peter ; International Academy, Research, and Industry Association -IARIA-: INFOCOMP 2019, the Ninth International Conference on Advanced Communications and Computation : July 28-August 2, 2019, Nice, France. Nice: IARIA, 2019, S.15-20, URL: http://www.thinkmind.org/download.php?articleid=infocomp_2019_2_10_68001

[15] Clees, Tanja ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia ; Segiet, Lukasz: Modeling of gas compressors and hierarchical reduction for globally convergent stationary network solvers. In: International journal on advances in systems and measurements 11 (2018), Nr.1-2, S.61-71, URL: https://www.thinkmind.org/download.php?articleid=sysmea_v11_n12_2018_6

[16] Clees, Tanja ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia: Advanced modeling of gas compressors for globally convergent stationary network solvers. In: International Academy, Research, and Industry Association -IARIA-: Seventh International Conference on Advanced Communications and Computation, INFOCOMP 2017 : June 25 - 29, 2017, Venice, Italy, IARIA, 2017, S.52-57

[17] Clees, T. ; Hornung, N. ; Nikitin, I. ; Nikitina, L.: A globally convergent method for generalized resistive systems and its application to stationary problems in gas transport networks. In: Merkuryev, Yuri: SIMULTECH 2016, 6th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications. Proceedings : July 29 - 31, 2016, Lisbon, Portugal. Setúbal: SciTePress, 2016, S.64-70

[18] Clees, T.: Parameter studies for energy networks with examples from gas transport. In: Koziel, Slawomir: Simulation-Driven Modeling and Optimization : ASDOM, Reykjavik, August 2014. Cham: Springer International Publishing, 2016, S.29-54, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 153, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-27517-8_2

Fokus effiziente Simulation von sektorübergreifenden Energienetzen:

[19] Baldin, A. ; Cassirer, K. ; Clees, T. ; Klaassen, B. ; Nikitin, I. ; Nikitina, L. ; Torgovitskaia, I.: Universal translation algorithm for formulation of transport network problems. In: Rango, F. de ; Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication -INSTICC-, Setubal: 8th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, SIMULTECH 2018. Proceedings : July 29-31, 2018, Porto, Portugal. SciTePress, 2018, S.315-322, DOI: http://dx.doi.org/10.5220/0006831903150322

[20] Doetsch, Christian ; Clees, Tanja: Systemansätze und -komponenten für cross-sektorale Netze. In: Doleski, Oliver D.: Herausforderung Utility 4.0 : Wie sich die Energiewirtschaft im Zeitalter der

Digitalisierung verändert. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017, S.311-340, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-15737-1_17

[21] Clees, Tanja ; Hornung, Nils ; Lluch, Eric ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia ; Torgovitskaia, Inna: Cooling Circuit Simulation I: Modeling. In: Griebel, Michael; Schüller, Anton; Schweitzer, Marc Alexander: Scientific Computing and Algorithms in Industrial Simulations : Projects and Products of Fraunhofer SCAI. Cham: Springer International Publishing, 2017, S.61-79, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-62458-7_4

[22] Clees, Tanja ; Hornung, Nils ; Labrenz, Detlef ; Schnell, Michael ; Schwichtenberg, Horst ; Shoukourian, Hayk ; Torgovitskaia, Inna ; Wilde, Torsten: Cooling Circuit Simulation II: A Numerical Example. In: Griebel, Michael; Schüller, Anton; Schweitzer, Marc Alexander: Scientific Computing and Algorithms in Industrial Simulations : Projects and Products of Fraunhofer SCAI. Cham: Springer International Publishing, 2017, S.153-180, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-62458-7_8

[23] Clees, Tanja ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia: Making network solvers globally convergent. In: Obaidat, Mohammad S.: Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications. International Conference, SIMULTECH 2016 : Lisbon, Portugal, July 29-31, 2016; Revised Selected Papers. Cham: Springer International Publishing, 2018, S.140-153. Advances in Intelligent Systems and Computing 676, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-69832-8_9

[24] Clees, Tanja ; Cassirer, Kläre ; Hornung, Nils ; Klaassen, Bernhard ; Nikitin, Igor ; Nikitina, Lialia ; Suter, Robin ; Torgovitskaia, Inna: MYNTS: Multi-phYsics NeTwork Simulator. In: Merkuryev, Yuri: SIMULTECH 2016, 6th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications. Proceedings : July 29 - 31, 2016, Lisbon, Portugal. Setúbal: SciTePress, 2016, S.179-186, DOI: http://dx.doi.org/10.5220/0005961001790186

[25] Wilde, Torsten ; Clees, Tanja ; Shoukourian, Hayk ; Hornung, Nils ; Schnell, Michael ; Torgovitskaia, Inna ; Lluch Alvarez, Eric ; Labrenz, Detlef ; Schwichtenberg, Horst: Increasing data center energy efficiency via simulation and optimization of cooling circuits - a practical approach. In: Gottwalt, S.: Energy Informatics. 4th D-A-CH Conference, EI 2015 : Karlsruhe, Germany, November 12-13, 2015, Proceedings, Cham: Springer International Publishing, 2015, S.208-221, Lecture Notes in Computer Science 9424, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-25876-8_18

Publikationen der H-BRS zum Projekt TransHyDE-Projekt Systemanalyse

Systemischer Ansatz und Beiträge zum Gesamtprojekt:

[26] Journal Paper 2024: TransHyDE-Sys: An Integrated Systemic Approach for Analysing and Supporting the Transformation of Energy Systems and Hydrogen Infrastructure Development. Stephan Kigle, Stephan Mohr, Tanja Kneiske, Tanja Clees, Michael Ebner, Ryan Harper, Matthias Jahn , Bernhard Klaassen, Wolfgang Köppel, Florian Ausfelder, Anika Neitz-Regett, Mario Ragwitz. https://doi.org/10.1002/ente.202300828

[27] Flagship Publikation 2025: European Hydrogen Infrastructure Planning – Insights from the TransHyDE Project System Analysis. Autor:innen: Mario Ragwitz et al. … incl. Tanja Clees, Malte Pfennig. Siehe https://www.transhyde.de/publikationen

Komponenten zur Kopplung Gas-Strom – Software MEgy zur Simulation für Anlagen und Systeme:

[28] Konferenzbeitrag SDEWES 2023: Analysis of PtGtX Systems with Metal Hydride Storage Based on Coupled Electrochemical and Thermodynamic Simulation M. Bareev-Rudy, S. Meiswinkel, M. Pfennig, S. Schedler, B. Schiffer, G. Steinebach, and T. Clees. Siehe researchgate.

[29] Journal Paper 2024: Analysis of Power-to-gas-to-X systems with metal hydride storage based on coupled electrochemical and thermodynamic simulation M. Bareev-Rudy, S. Meiswinkel, M. Pfennig, S. Schedler, B. Schiffer, G. Steinebach, and T. Clees. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118694

Komponenten zur Kopplung Gas-Strom – Modellbildung und Simulation von Elektrolyseuren:

[30] Konferenzbeitrag SDEWES 2023: Thermodynamical and Electrical Model of a PEM Electrolyzer Plant in the Megawatt Range. M. Pfennig, B. Schiffer, T. Clees. Siehe researchgate.

[31] Journal Paper 2024: Thermodynamical and electrochemical model of a PEM electrolyzer plant in the megawatt range with a literature analysis of the fitting parameters. M. Pfennig, B. Schiffer, T. Clees. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.335

[32] Konferenzbeitrag SDEWES 2024: Thermodynamic and Electrochemical Model of a PEM Electrolyzer Plant in the Megawatt Range with its BoP. Malte Pfennig, Barbara Schiffer, Tanja Clees. Siehe researchgate.

[33] Konferenzbeitrag IEEE ICDCM 2025: Identifying the Potential of the Heat Generation of the Power Supply for a PEM Electrolyzer Plant in the Megawatt Range. Malte Pfennig, Barbara Schiffer, Tanja Clees. https://doi.org/10.1109/ICDCM63994.2025.11144728

Komponenten zur Kopplung Gas-Strom – Modellbildung und Simulation von Kraftwerken:

[34] Konferenzbeitrag SDEWES 2023: Comparison of Hydrogen-Based Power Plant Technologies with a Focus on District Heating in Germany. B. Schiffer, M. Pfennig, T. Clees. Siehe researchgate.

[35] Konferenzbeitrag: SDEWES 2024: Retrofit of a Combined Heat and Power Plant to Hydrogen with Special Consideration of the Balance of Plant. Barbara Schiffer, Malte Pfennig, Tanja Clees. Siehe researchgate.

[36] Journal Paper 2025: Retrofit of a combined heat and power plant with gas and steam turbines to hydrogen with special consideration of the balance of plant. B. Schiffer, M. Pfennig, T. Clees. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.160

Gaszusammensetzungsabhängige Modellierung von Netzbetriebsmitteln inklusive Sicherheitsbetrachtungen:

[37] Konferenzbeitrag SIMULTECH 2022: Principal component analysis in gas transport simulation Anton Baldin, Kläre Cassirer, Tanja Clees, Bernhard Klaassen, Igor Nikitin, Lialia Nikitina, and Sabine Pott. https://doi.org/10.5220/0011123000003274

[38] Journal Paper 2022: Contingency analysis for gas transport networks with hydrogen injection. Tanja Clees. https://doi.org/10.1007/s00186-022-00785-x

[39] Konferenzbeitrag SIMULTECH 2021: On Advanced Modeling of Compressors and Weighted Mix Iteration for Simulation of Gas Transport Networks Anton Baldin, Kläre Cassirer, Tanja Clees, Bernhard Klaassen, Igor Nikitin, Lialia Nikitina, and Sabine Pott. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23149-0_8

[40] Konferenzbeitrag INFOCOMP 2022: Solving Stationary Gas Transport Problems with Compressors of Piston and Generic Type Anton Baldin, Kläre Cassirer, Tanja Clees, Bernhard Klaassen, Igor Nikitin, Lialia Nikitina, and Sabine Pott. https://www.thinkmind.org/articles/infocomp_2022_1_10_60004.pdf

[41] Joshua Neff. Allgemeine Betrachtung von Verdichterstationen für den Wasserstofftransport, Bericht zum Masterprojekt 2, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 2025

[42] Joshua Neff. Modellierung von Wasserstoffrohrleitungen, Bericht zum Masterprojekt 1, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 2022

[43] Joshua Neff. Simulation und Analyse von Erdgas- und Wasserstoffströmungen in einer Rohrleitung auf Basis der Navier-Stokes-Gleichungen, Masterarbeit, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 2025