

Seminar im Wintersemester 2025/2026

Seminar Energiewirtschaft VI: Industrielle Dekarbonisierung und Energiesystemtransformation – Technologien, Infrastrukturen und globale Perspektiven

Dr. Viktor Slednev, M. Sc. Alexander Plarre, M. Sc. Amin Salimi

Kurzbeschreibung:

Das Seminar „*Industrielle Dekarbonisierung und Energiesystemtransformation – Technologien, Infrastrukturen und globale Perspektiven*“ beleuchtet zentrale Technologien, Strategien und systemische Ansätze zur Reduktion von Treibhausgasemissionen in Industrie und Energiesystemen. Im Fokus stehen sowohl sektorübergreifende Themen wie *Resource Adequacy*, *Sektorkopplung* und das *Energy Trilemma* als auch detaillierte Analysen energieintensiver Industrien – Metallurgie, Chemie, Baustoffe und Stahl – in Europa und weltweit.

Die Seminararbeiten untersuchen technologische Pfade (z. B. Elektrifizierung, Wasserstoff, CCUS, Kreislaufstrategien), bewerten Energie- und Emissionsbilanzen und quantifizieren langfristige Kostenentwicklungen. Besonderes Augenmerk gilt der Transformation industrieller Prozesse, der Integration erneuerbarer Energien sowie den Wechselwirkungen zwischen Technologie, Wirtschaftlichkeit und politisch-regulatorischen Rahmenbedingungen.

Studierende erwerben vertiefte Kompetenzen in techno-ökonomischer Analyse, Datenaufbereitung, Modellierung und wissenschaftlicher Ergebnisaufbereitung. Das Seminar bietet damit eine forschungsnahe Auseinandersetzung mit aktuellen Fragen der industriellen Dekarbonisierung und der Planung zukünftiger Energiesysteme. Darüber hinaus bietet das Seminar die Möglichkeit, die wissenschaftliche Arbeitsweise der Studierenden weiterzuentwickeln.

Folgende Seminarthemen stehen zur individuellen Bearbeitung zur Verfügung:

Thema 1: Metallurgie in Europa: Prozessrouten, Strombedarf und Emissionsbilanzen in der Stahl- und NE-Metallerzeugung

Die globale Erwärmung verschärft den Transformationsdruck auf die Primär- und Sekundärmetallurgie. Insbesondere in Europa bestimmen Klima- und Industriepolitik, Stromsysteme und Rohstoffverfügbarkeit die Wahl der Prozessrouten und damit Kosten, Lastprofile und Emissionen auf Länderebene (EU27+UK+NO+CH). Vor diesem Hintergrund vergleicht die Arbeit wesentliche Prozessrouten der Stahlerzeugung (Hochofen-Konverter, Schrott-EAF, DRI-EAF auf Erdgas/H₂) sowie der Nichteisenmetalle, insbesondere Aluminium (Bayer-Prozess + Hall-Héroult-Verfahren vs.

Recycling). Analysiert werden Strom- und Wärmebedarfe, charakteristische Lastprofile (z. B. EAF-Peaks), anoden- und prozessbedingte Emissionen sowie länderspezifische Routenmixe und Marktnachfrage. Für Studierende bietet die Arbeit die Möglichkeit, fundierte Kompetenzen in Datenaufbereitung, techno-ökonomischer Bewertung und anschaulicher Visualisierung aufzubauen.

Ziel der Arbeit ist eine länderscharfe, vergleichende Analyse der europäischen Metallurgie (EU27+UK+NO+CH). Untersucht werden Strom- und Gesamtenergiebedarfe, zentrale Prozessrouten und deren Emissionsbilanzen sowie die Nachfrage nach Gütern und die Verfügbarkeit von Rohstoffen/Schrotten. Erarbeitet werden belastbare, zwischen Ländern und Routen vergleichbare Kennzahlen (kWh/t, GJ/t, tCO₂e/t Produkt) und Lastprofile. Darauf aufbauend werden realistische Dekarbonisierungspfade (Elektrifizierung, H₂-gestützte Direktreduktion, Inertanoden, Kreislaufwirtschaft) bewertet.

Thema 2: Molekülindustrien in Europa: Grundchemikalien, Kunststoffe sowie Papier/Zellstoff – Energieeinsatz, Prozessrouten und Emissionsintensitäten

Die globalen Klimaziele erfordern tiefgreifende Anpassungen in energie- und rohstoffintensiven Molekülindustrien. In Europa prägen Strom- und Dampfbereitstellung, Feedstockpfade (fossil, biobasiert, H₂) und Kreislaufstrategien die Emissionsintensitäten und die Wettbewerbsfähigkeit auf Länderebene (EU27+UK+NO+CH). Vor diesem Hintergrund werden u. a. Steamcracking (Naphtha/Ethan), Ammoniak (Haber-Bosch), Methanol und Polymerisation sowie – auf der Papierseite – mechanische (TMP/CTMP) und chemische Aufschlussverfahren (Kraft/Sulfit) und die Papiermaschine betrachtet. Die Arbeit integriert Kreislaufpfade (mechanisches/chemisches Kunststoffrecycling, Faserrecycling), analysiert Stoff- und Energieströme inkl. H₂-/O₂-Bedarfen und entwickelt länderspezifische Profile zu Produktion, Routenmix und Produktnachfrage (z. B. Verpackung, Chemiezwischenprodukte, Textilien). Ergebnisse sind robuste Benchmarks und Szenarien für Elektrifizierungs- und Effizienzhebel. Studierende vertiefen Methoden der Prozess- und Energiesystemanalyse, Datensatzkonstruktion und Ergebnisaufbereitung.

Ziel ist eine länderscharfe Analyse zentraler Molekülindustrien in Europa (EU27+UK+NO+CH), die Energieeinsatz (Strom/Dampf/Brennstoffe), Prozessrouten und Emissionsintensitäten entlang petrochemischer Wertschöpfungsketten und der Papier-/Zellstoffindustrie quantifiziert. Es werden vergleichbare Kennzahlen (kWh/t, GJ/t, tCO₂e/t) erarbeitet und Optionen der Dekarbonisierung (E-Cracker, Wärmepumpen/Wärmeintegration, H₂-Einsatz, Biomasse, Kreislaufpfade) systematisch bewertet.

Thema 3: Silikat- und Baustoffindustrien in Europa: Glas/Keramik und Zement – Hochtemperaturprozesse, Energiebedarfe und prozessbedingte Emissionen

Angesichts der Erderwärmung stehen silikatische Hochtemperaturprozesse und kalzinierende Bindemittel im Zentrum der industriellen Transformation. In Europa variieren Energieinfrastrukturen, Brennstoffmixe, Klinkerfaktoren und Recyclingströme erheblich zwischen den Ländern (EU27+UK+NO+CH) und bestimmen Emissionsquellen sowie Dekarbonisierungsoptionen. Vor diesem Hintergrund werden Float-, Hohl-, Faser- und Spezialglas sowie keramische Sinterprozesse untersucht; auf der Baustoffseite die Klinkerherstellung (inkl. Vorcalcinator) und Mahlprozesse. Die Arbeit bewertet den Einsatz von Sekundärrohstoffen (Scherben, Puzzolane/SCMs), die Wirkung des Klinkerfaktors auf Emissionen und die potenzielle Flexibilität elektrischer Ofentechnologien. Zusätzlich werden Anforderungen an CO₂-Transport und -Speicherung sowie an Strom- und Wärmeinfrastrukturen betrachtet. Studierende erwerben vertiefte Kenntnisse in der Analyse prozessbedingter Emissionen, in LCA-abgeleiteten Kennzahlen und in der Szenarioentwicklung.

Ziel ist eine länderscharfe Untersuchung der Glas-/Keramik- sowie Zement- und Bindemittelproduktion in Europa (EU27+UK+NO+CH). Quantifiziert werden Hochtemperatur-Energiebedarfe, Lastprofile und die Aufteilung der Emissionen in brennstoff- versus prozessbedingte Anteile (Kalzinierung/Entsäuerung). Es werden vergleichbare Kennzahlen (kWh/t, GJ/t, tCO₂e/t) erstellt und

Dekarbonisierungspfade (elektrische Schmelzen/Öfen, Brennstoffwechsel, Klinkerfaktorsenkung, alternative Binder, Recycling, CCUS) bewertet.

Thema 4: Resource Adequacy (RA) assessment methodologies

As one component of energy system reliability, RA evaluates whether the system has sufficient resources (capacity, flexibility, and primary energy sources) to meet the demand at all times with a desired probability. In this context, it is desired for this seminar topic to:

- a. Trace the **historical evolution** of the RA methodologies
- b. Analyze **state-of-the-art** RA assessment **methodologies** for a highly renewable energy system
- c. Critically discuss the **limitations** and **potential improvements**

While the focus of the seminar lies on the review and critical discussion of the existing literature, additional effort for using/designing a benchmark case study, implementing it in an open-source tool (e.g., PyPSA, calliope), and showcasing the reviewed concepts/methodologies will be remunerated.

Thema 5: Sector coupling: opportunities and challenges in the system planning and operation

One key strategy to reduce greenhouse gas emissions is to electrify sectors with high emissions, like transportation and heating, and use clean, renewable electricity to meet their demand. Electric-driven gas compressors, electric vehicles, and heat pumps are examples of coupling technologies that link gas, transportation, and heating sectors to electricity. This more tightly interconnected energy system brings opportunities and challenges in the overall system planning and operation, which is going to be investigated by this seminar topic as follows:

- a. Summarize the current developments and outlook for the sector coupling between electricity, gas, heating, transport, and industry (by providing and analyzing more examples of sector coupling technologies)
- b. Explore the synergies and opportunities provided
- c. Investigate the potential challenges of sector coupling for the operation and planning of the system, particularly in terms of system reliability
- d. Identify suitable methods to address those challenges for the evolving energy system

While the focus of the seminar lies on the review and critical discussion of the existing literature, additional effort for using/designing a benchmark case study, implementing it in an open-source tool (e.g., PyPSA, calliope), and showcasing the reviewed concepts/methodologies will be remunerated.

Thema 6: Energy trilemma: trade-offs in integrated energy systems planning

When it comes to design and planning for future energy systems to meet climate targets, there are multiple trade-offs that need to be taken into account, known as the energy trilemma. This seminar topic would:

- a. Investigate the trade-offs between **reliability**, **affordability**, and **sustainability** of the evolving energy system
- b. Identify and explain the **existing methodologies** to quantify these trade-offs
- c. Elaborate on **methodological gaps** and propose ideas for their potential **improvements**

While the focus of the seminar lies on the review and critical discussion of the existing literature, additional effort for using/designing a benchmark case study, implementing it in an open-source tool (e.g., PyPSA, calliope), and showcasing the reviewed concepts/methodologies will be remunerated

Thema 8: Schätzung der langfristigen globalen Versorgungskosten für kohlenstoffarmen bzw. grünen Stahl - Schwerpunkt auf lokaler erneuerbarer Energieversorgung

Die Herstellung von kohlenstoffarmem bzw. grünem Stahl sowie seiner Vorprodukte (z. B. Eisenschwamm) spielt eine zentrale Rolle bei der Reduktion industrieller Treibhausgasemissionen und der Erreichung globaler Netto-Null-Ziele. Aufbauend auf bestehenden Open-Source-Tools zur Analyse langfristiger globaler Versorgungskosten für kohlenstoffarmen Wasserstoff (z. B. *Global H₂ Cost Tool* des EWI) sowie auf standortscharfen Datensätzen zur Stahlproduktion (z. B. *Global Iron and Steel Tracker – GIST* – des GEM) soll im Rahmen der Seminararbeit ein Modell bzw. Tool entwickelt werden, das die langfristigen globalen Versorgungskosten für kohlenstoffarmen bzw. grünen Stahl abschätzt.

Der Schwerpunkt dieses Themas liegt auf der Untersuchung der Potenziale und Kosten einer lokalen, erneuerbaren Energieversorgung für verschiedene Stahlproduktionsrouten. Dabei kann auf technologisch, zeitlich und räumlich hochaufgelöste Stromerzeugungspotenziale und -zeitreihen des IIP-KIT zurückgegriffen werden.

Synergien mit den Seminarthemen 1, 9 und 10 bestehen und können im Rahmen der Bearbeitung genutzt werden.

.

Thema 9: Schätzung der langfristigen globalen Versorgungskosten für kohlenstoffarmen/grünen Stahl - Schwerpunkt auf lokaler Transformation bestehender Stahlerzeugungsrouten

Die Herstellung von kohlenstoffarmem bzw. grünem Stahl sowie seiner Vorprodukte (z. B. Eisenschwamm) spielt eine zentrale Rolle bei der Reduktion industrieller Treibhausgasemissionen und der Erreichung globaler Netto-Null-Ziele. Aufbauend auf bestehenden Open-Source-Tools zur Analyse langfristiger globaler Versorgungskosten für kohlenstoffarmen Wasserstoff (z. B. *Global H₂ Cost Tool* des EWI) sowie auf standortscharfen Datensätzen zur Stahlproduktion (z. B. *Global Iron and Steel Tracker – GIST* – des GEM) soll im Rahmen der Seminararbeit ein Modell bzw. Tool entwickelt werden, das die langfristigen globalen Versorgungskosten für kohlenstoffarmen bzw. grünen Stahl abschätzt.

Der Schwerpunkt dieses Themas liegt auf der standortscharfen Untersuchung der Potenziale und Kosten einer Umstellung bestehender Stahlwerke auf nachhaltige Produktionsrouten. In diesem Kontext sollen auch die Kosten der bisherigen Stahlproduktion abgeschätzt werden.

Synergien mit den Seminarthemen 1, 8 und 10 bestehen und können im Rahmen der Bearbeitung genutzt werden.

.

Thema 10: Schätzung der langfristigen globalen Versorgungskosten für kohlenstoffarmen/grünen Stahl - Fokus auf Transport von kohlenstoffarmem Stahl und Eisenschwamm

Die Herstellung von kohlenstoffarmem bzw. grünem Stahl sowie seiner Vorprodukte (z. B. Eisenschwamm) spielt eine zentrale Rolle bei der Reduktion industrieller Treibhausgasemissionen und der Erreichung globaler Netto-Null-Ziele. Aufbauend auf bestehenden Open-Source-Tools zur

Analyse langfristiger globaler Versorgungskosten für kohlenstoffarmen Wasserstoff (z. B. *Global H₂ Cost Tool* des EWI) sowie auf standortscharfen Datensätzen zur Stahlproduktion (z. B. *Global Iron and Steel Tracker – GIST* – des GEM) soll im Rahmen der Seminararbeit ein Modell bzw. Tool entwickelt werden, das die langfristigen globalen Versorgungskosten für kohlenstoffarmen bzw. grünen Stahl abschätzt.

Der Schwerpunkt dieses Themas liegt auf der Untersuchung der globalen Transportrouten und Kosten für den Transport von Stahl bzw. dessen Vorprodukten von und zu bestehenden Stahlwerken. Dabei kann auf Daten des IIP-KIT zu möglichen Transportrouten per Schiff oder Bahn zurückgegriffen werden.

Synergien mit den Seminarthemen 1, 8 und 9 bestehen und können im Rahmen der Bearbeitung genutzt werden.

.

Termine:

Seminarauftritt: Di., 28.10.2025, 11:00 bis 12:00 Uhr (vor Ort: Seminarraum 017, IIP)

Zwischenpräsentation: **Do., 26.11.2025** ~~Mi., 25.11.2025~~, 10:00 bis 12:00 Uhr (vor Ort: Seminarraum 017, IIP)

Abschlusspräsentation: Di., 27.01.2025, 09:00 bis 12:00 Uhr (vor Ort: Seminarraum 017, IIP)

Die Teilnahme an allen Terminen ist obligatorisch.

Die Online-Anmeldung muss vor dem **13.10.2025, 00.00 Uhr** auf der Seite <https://portal.wiwi.kit.edu> erfolgen.

Die Bestätigung des Seminarplatzes ist erst durch die verbindliche Anmeldung im Studierendenportal erfolgt (<https://campus.studium.kit.edu/exams/registration.php>).

WICHTIG: Bitte überprüfen Sie nach Ihrer Bewerbung regelmäßig Ihre E-Mails, um schnellstmöglich auf ein Seminarplatzangebot zu reagieren! Bei nicht fristgerechter Rückmeldung werden die Seminarplätze im Nachrückverfahren weitervergeben.

Bewerbungsunterlagen

- Aktueller Notenauszug (Bachelor **und** ggf. Master)
- Kurz-CV inkl. relevanter Vorkenntnisse (bitte kein Motivationsschreiben)

Ansprechpartner:

Viktor Slednev (viktor.slednev@kit.edu)

Amin Salimi (amin.salimi@kit.edu)

Alexander Plarre (alexander.plarre@kit.edu)