

# Neuartige Katalysatoren für nachhaltige, wärmeintensive Industrieprozesse



**HZB**  
Dr. Steffi Hlawenka  
steffi.hlawenka  
@helmholtz-berlin.de

**DBFZ**  
Prof. Dr. Ingo Hartmann  
ingo.hartmann@dbfz.de

Eine Welt ohne Papier, Glas, Düngemittel, Beton, Stahl, Keramiken und Kunststoffe ist für den Großteil der Menschheit heutzutage nicht mehr vorstellbar. Diese Materialien sind Bausteine unserer modernen Gesellschaft, ihre Herstellung jedoch ist sehr energieaufwändig.

Energieintensive Industrieprozesse benötigen zwei verschiedene Arten von Energie:

- elektrische Energie, z. B. zum Antrieb von Anlagen
- thermische Energie, um Produktumwandlungen mittels Erhitzen, Trocknen, Schmelzen, Kalzinieren sowie thermochemische Umwandlungen zu ermöglichen

Diese grundlegenden Vorgänge werden bislang hauptsächlich durch Anlagen realisiert, die Energie aus einer Vielzahl von fossilen Brennstoffquellen wie Erdgas, Flüssiggas oder Kohle nutzen. Konventionelle brennstoffbasierte Prozesse ermöglichen es, Wärmeenergie durch Verbrennung von Feststoffen, Flüssigkeiten oder Gasen zu erzeugen und direkt oder indirekt auf das verarbeitete Material zu übertragen. Die durch diese Aktivitäten erzeugten Treibhausgase machen ein Viertel der weltweiten Emissionen aus, ohne indirekte Emissionen aus Strom, der für industrielle Prozesse verwendet wird [1].

Hinsichtlich der Transformation zu einem nachhaltigen Energiesystem stand der Fokus in den vergangenen Jahrzehnten hauptsächlich auf der Defossilisierung des Stromsektors durch die Erforschung und den Ausbau von erneuerbaren Energiequellen, wie Photovoltaik- und Windkraftanlagen.

Das Potenzial der Transformation des Wärmesektors ist allerdings enorm, denn laut Internationaler Energieagentur entfällt etwa die Hälfte des globalen Energiekonsums auf die Bereitstellung von Wärme [1]. Die Hälfte hiervon wiederum, also 25% des globalen Energiebedarfs, wird für die Versorgung der Industrie mit Prozesswärme benötigt.

Ein detaillierter Blick auf die Temperaturverteilung innerhalb des Wärmebedarfs legt offen, dass je die Hälfte für Prozesse bei hohen Temperaturen (höher als 400 °C), bzw. mittleren und niedrigen Temperaturen (150–400 °C) verwendet wird. (► *Abbildung 1*)

## Wie können energieintensive Industrieprozesse nachhaltig betrieben werden?

Für eine erfolgreiche Wärmewende werden Technologien benötigt, die einen fließenden Übergang von der fossilbasierten Industrieheizung zu elektrisch basierten Power-to-Heat-Prozessen ermöglichen, basierend auf der Nutzung von erneuerbar hergestelltem Strom. Der massive Ausbau erneuerbarer Energiequellen (vor allem aus Sonne und Wind), Smart-Grid-Technologien sowie die Entwicklung eines globalen Handels- und Verteilungssystems für erneuerbare Energien sind für einen erfolgreichen Übergang dringend erforderlich.

Hinsichtlich der Elektrizität-zu-Wärme-Technologien sind vor allem die industriellen Hochtemperaturprozesse sehr herausfordernd. Bis zu einem Wärmebedarf von etwa 350 °C sind elektrische Alternativen zu konventionellen Anlagen auf dem Markt vorhanden (► *Abbildung 2*). Elektroheizer, die industrielle Wärme bis zu etwa 350 °C erzeugen können, sind weit verbreitet. Auch Elektroöfen für den industriellen Wärmebedarf bis ca. 1.000 °C sind technisch realisierbar, jedoch noch nicht für alle Anwendungen kommerziell verfügbar.

Rein technologisch betrachtet wird erwartet, dass es möglich ist, die Hälfte des industriellen fossilen Brennstoffbedarfs zu elektrifizieren [3].

Die Elektrifizierung der Industrie über strombasierte Heiztechnologien bedeutet, dass mindestens die Hälfte des globalen Energiebedarfs in Form von nachhaltig erzeugtem Strom benötigt wird. Das ist mehr als doppelt so viel, als es unserem heutigen reinen Strombedarf entspricht.

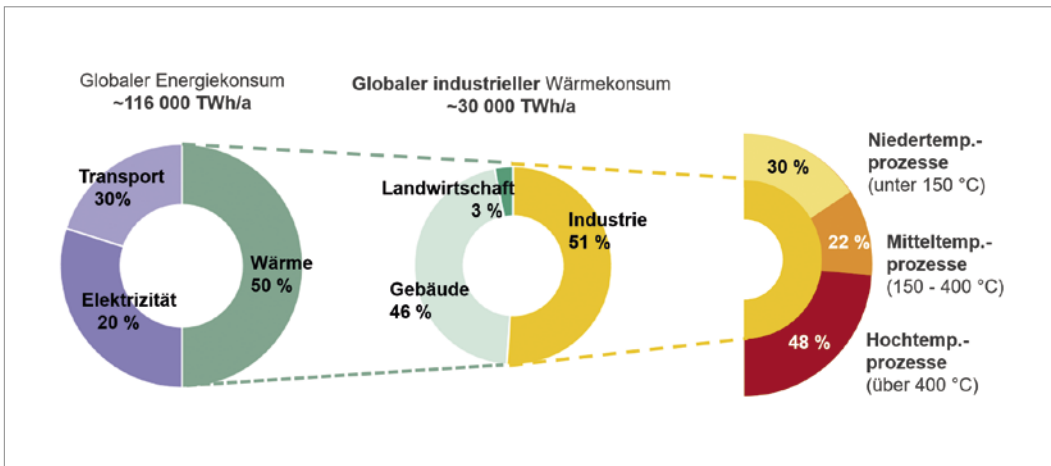


Abbildung 1  
**Anteil der Hochtemperaturprozesse am weltweiten Energiekonsum**  
 Auf Grundlage der IEA World Energy Balances Highlights 2021 [1].  
 (Quelle: HZB)

Aufgrund ihrer großen regionalen und zeitlichen Volatilität, muss der massive Ausbau erneuerbarer Energien intelligent mit Speicher- und Transportlösungen im globalen Maßstab einhergehen. Diese Dimension kann nach derzeitigem Stand der Technik nur durch chemische Energieumwandlung erreicht werden, welche als zentrales Element die Wandlung von Strom zu Wasserstoff besitzt [4]. Eine globale Industrie und Wirtschaft, die von erneuerbaren Energien angetrieben wird, wird somit auf die Nachhaltigkeit in Produktion, Transport und Handel mit wasserstoffbasierten synthetisierten Chemikalien und Kraftstoffen angewiesen sein.

Gleichzeitig nimmt Biomasse, als speicherfähiger und jederzeit abrufbarer Energieträger, hierbei eine wichtige Stellung als eine maßgeschneiderte Ergänzung zu Wind- und Sonnenenergie ein.

### Warum sind Katalysatoren für nachhaltige wärmeintensive Industrieprozesse nötig?

Um elektrische Energie aus nachhaltigen Quellen wie Sonne und Wind in chemischen Bindungen, zum Beispiel von wasserstoffbasierten Kraftstoffen zu speichern, sind zwingend Katalysatoren erforderlich. Auch bei der Verbrennung von Biomasse, als Puffermedium um die Volatilität erneuerbarer Energiequellen abzdämpfen, werden Katalysatoren benötigt, um z.B. die entstehenden Emissionen von Methan, einem noch schädlicherem Treibhausgas als CO<sub>2</sub>, zu verringern.

Abbildung 2  
**Erneuerbare Wärmequellen und die mit ihnen erzielbaren Temperaturen [2]**  
 (Quelle: DLR)

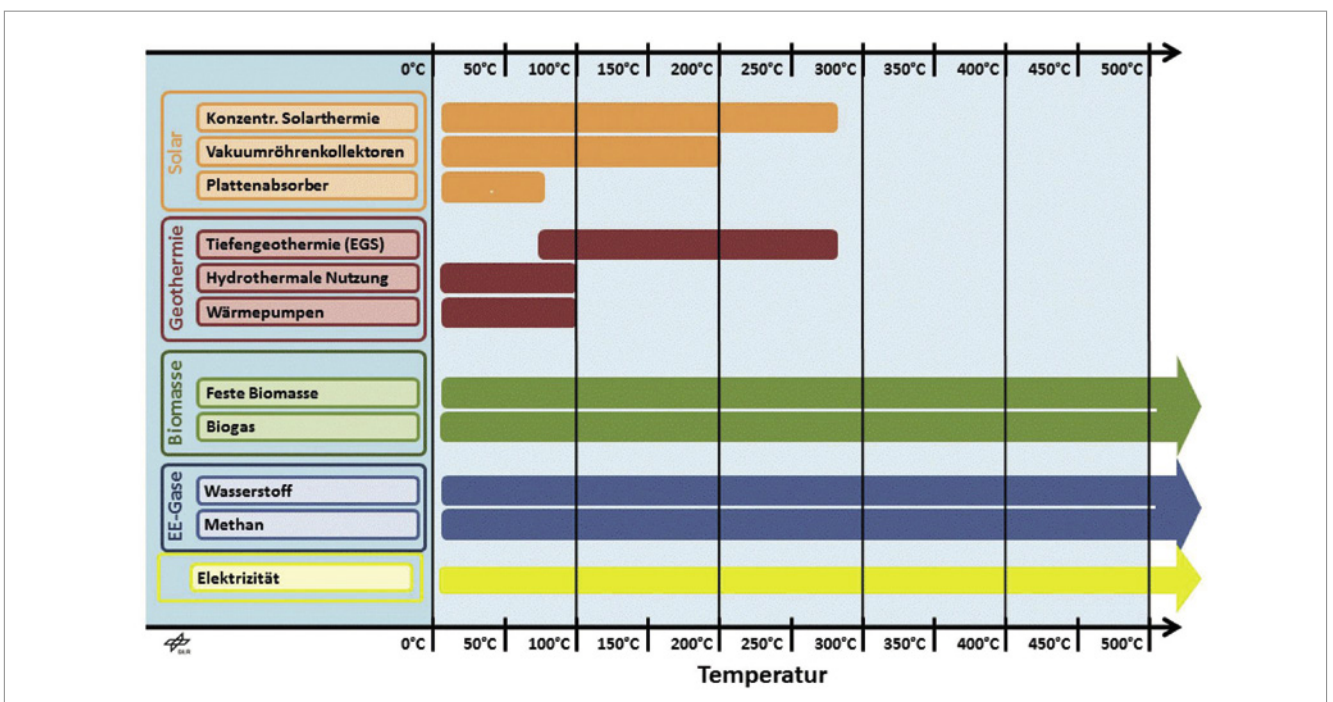
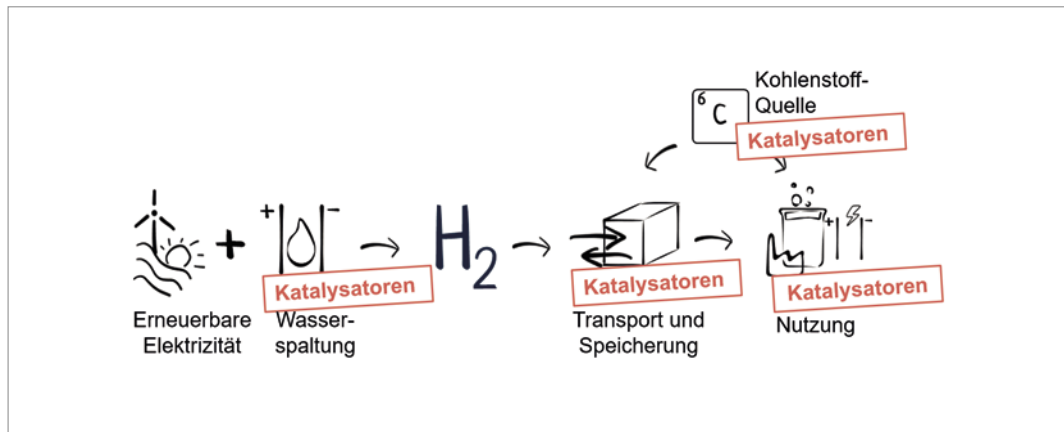


Abbildung 3

**Rolle von Katalysatoren:**

Vereinfachte Wertschöpfungskette von Wasserstoff und wasserstoffhaltigen Kraftstoffen zum Transport und zur Speicherung von freier elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen

(Quelle: HZB)



**Warum sind konventionelle Katalysatoren unzureichend?**

Konventionelle Katalysatoren sind zu Pellets gepresstes Pulver und basieren fast ausschließlich auf teuren und seltenen Materialien, wie Platin oder Palladium, oder teuren Trägersubstraten. Für die chemische Umsetzung werden Reaktoren, die durch Verbrennung fossiler Brennstoffe beheizt werden, verwendet. Katalysatoren senken die für bestimmte Reaktionen benötigte Energie, indem sie bestimmte Oberflächen als Reaktionsorte anbieten. Wie diese Wechselwirkungen von Reaktanden mit dem Katalysator genau funktionieren, ist bisher noch größtenteils unverstanden und das fehlende Wissen macht eine gezielte Anpassung und Optimierung an die jeweilige Reaktion sehr schwer bis unmöglich.

**Wie sehen alternative katalytische Systeme aus?**

Katalysatoren für die Totaloxidation von Methan in Abgasen sind bisher nicht verfügbar. Die bekannten Systeme verlieren nach kurzer Betriebszeit von wenigen Wochen die Aktivität. Desaktivierung durch thermische und chemische Vorgänge verlaufen schnell [5]. Im Falle der katalytischen Umsetzung von Methan aus Abgas der Verbrennung von Biomasse können katalytisch aktive Materialien konventionell auf porösem Glas (Controlled Porous Glass) genutzt werden [6]. Dieses Material weist einen hohen Energieaufwand bei der Herstellung auf, verursacht hohe Treibhausgas-Emissionen und ist sehr teuer. Eine Alternative stellt biogenes Silica, ein festes Verbrennungsprodukt biogener Rohstoffe wie Getreidespelzen, dar. Dieses ist günstiger in der Herstellung als das industrielle Basisprodukt. Grundlegende Untersuchungen zeigen bereits gute und vergleichbare Aktivität beider Systeme [7]. Da das Silica aus biogener Quelle über die Verbrennung von siliziumreichen biogenen Reststoffen gewonnen wird [8] und dabei Wärme erzeugt wird, kann bei einer wärmegeführten Herstellung die Wärme für Prozess- oder Heizanwendungen genutzt werden.

Abbildung 4

**Schematische Abbildung eines im CatLab entwickelten Dünnschichtkatalysators**

(Quelle: HZB)



**Die Forschungsplattform für Katalyse CatLab**

Um die Funktionsweise von Katalysatoren sichtbar und gezielt einstellbar zu machen, ist es notwendig, genau definierte Systeme zu entwickeln und diese unter Reaktionsbedingungen zu beobachten. Dünnschichtsysteme auf Trägern mit unterschiedlichen Funktionalitäten, die individuell und selektiv synthetisiert werden können, versprechen einen völlig neuen zielgerichteten Ansatz. Dank Fortschritten in der Dünnschichttechnologie, z.B. für die Produktion von hocheffizienten Dünnschichtszellensolarzellen ist auch

die Möglichkeit gegeben, Katalysatoren auf technologisch relevanten Großflächen kostengünstig herzustellen. Die Forschungsplattform CatLab, die am Berliner Wissenschaftsstandort Adlershof aufgebaut wird, verfolgt einen solchen völlig neuen Ansatz für innovative Katalysatoren und wird große Teile der Innovationskette abdecken.

Das Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) und zwei Max-Planck-Institute – das Fritz-Haber-Institut (FHI) und das Max-Planck-Institut für Chemische Energy-Conversion (MPI CEC) – bündeln ihre Expertise in der Dünnschicht- und Nanotechnologie sowie in der Katalyse, um Katalysatoren auf Basis maßgeschneiderter funktioneller Dünnschichten zu entwickeln. Diese können bedarfsgerecht an chemische Reaktionsprozesse angepasst und auf vorindustrielles Niveau skaliert werden.

CatLab zielt darauf ab, Innovationssprünge in der Katalyse zu realisieren und wird als Brücke zwischen Grundlagenforschung und Industrie dienen. Synthese und modernste Analysemethoden werden mit neuen Verfahren zur automatisierten Bewertung durch maschinelles Lernen gekoppelt, um das rationale Materialdesign mittels digitaler Katalyse zu beschleunigen. Gleichzeitig werden disruptive Konzepte und Technologien in Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen für die industrielle Anwendung skaliert. Die Schwerpunkte von CatLab sind die Erzeugung von grünem Wasserstoff und dessen selektive Umwandlung in leicht transportierbare Chemikalien und synthetische Kraftstoffe, wie beispielsweise verschiedene Alkohole und Ammoniak.

## Quellen:

- [1] World Energy Balances Highlights 2021, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances-highlights>, abgerufen am 19.09.2022
- [2] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., [https://www.dlr.de/content/de/bilder/2016/1/mit-erneuerbaren-waermequellen-erzielbare-temperaturen\\_22268.html](https://www.dlr.de/content/de/bilder/2016/1/mit-erneuerbaren-waermequellen-erzielbare-temperaturen_22268.html), abgerufen am 19.09.2022
- [3] Plugging in: What electrification can do for industry, May 28, 2020, McKinsey, <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/plugging-in-what-electrification-can-do-for-industry>, abgerufen am 08.10.2020
- [4] R. Schlögl, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2015, 54, 4436–4439; *Angew. Chem.* 2015, 127, 512–4516.
- [5] Bindig, R., Hartmann, I., Liebetrau, J., Barchmann, T., Baas, H., Kiemel, R., Breuer, C., Casu, S., 2017. REMISBIO: Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen von Biogasanlagen: Katalysator-test, in: Focus on Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt: Projektergebnisse 2015–2016, Fokusheft Energetische Biomassenutzung. DBFZ, Leipzig, pp. 60–65.
- [6] Hoffmann, M.; Kreft, S.; Georgi, G.; Fulda, G.; Pohl, M.-M.; Seeburg, D.; Berger-Karin, C.; Kondratenko, E.V.; Wohlrab, S. Improved catalytic methane combustion of Pd/CeO<sub>2</sub> catalysts via porous glass integration. *Appl. Catal. B Environ.* 2015, 179, 313–320
- [7] Liu, D.; Seeburg, D.; Kreft, S.; Bindig, R.; Hartmann, I.; Schneider, D.; Enke, D.; Wohlrab, S. Rice Husk Derived Porous Silica as Support for Pd and CeO<sub>2</sub> for Low Temperature Catalytic Methane Combustion. *Catalysts* 2019, 9(1), 26; <https://doi.org/10.3390/catal9010026>
- [8] Schliermann, T., Hartmann, I., Dizaji, H.B., Zeng, T., Schneider, D., Wassersleben, S., Enke, D., Jobst, T., Lange, A., Roelofs, F., Fellner, A., Schneider, P., 2018. High quality biogenic silica from combined energetic and material utilization of agricultural residues. Venice 2018.