

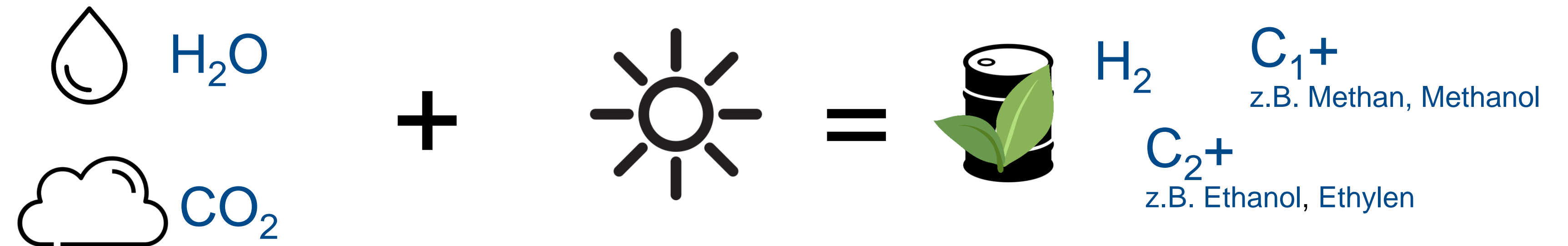
Gewinnung von grünen Treibstoffen durch direkte Nutzung der Sonne

Solar Fuels

Sarah Meitz
Wasser- und Prozesstechnologien

Grüne Treibstoffe aus der Sonnenenergie – Solar Fuels

- „Solar Fuels“ = Treibstoffe die mittels Sonnenenergie hergestellt werden, und eine nachhaltige Alternative zu fossile Brennstoffen darstellen



- Diverse Prozesse nutzen dabei Wärme, Elektrizität und Photonen (Licht) aus der Sonne zur Durchführung chemischer Prozesse

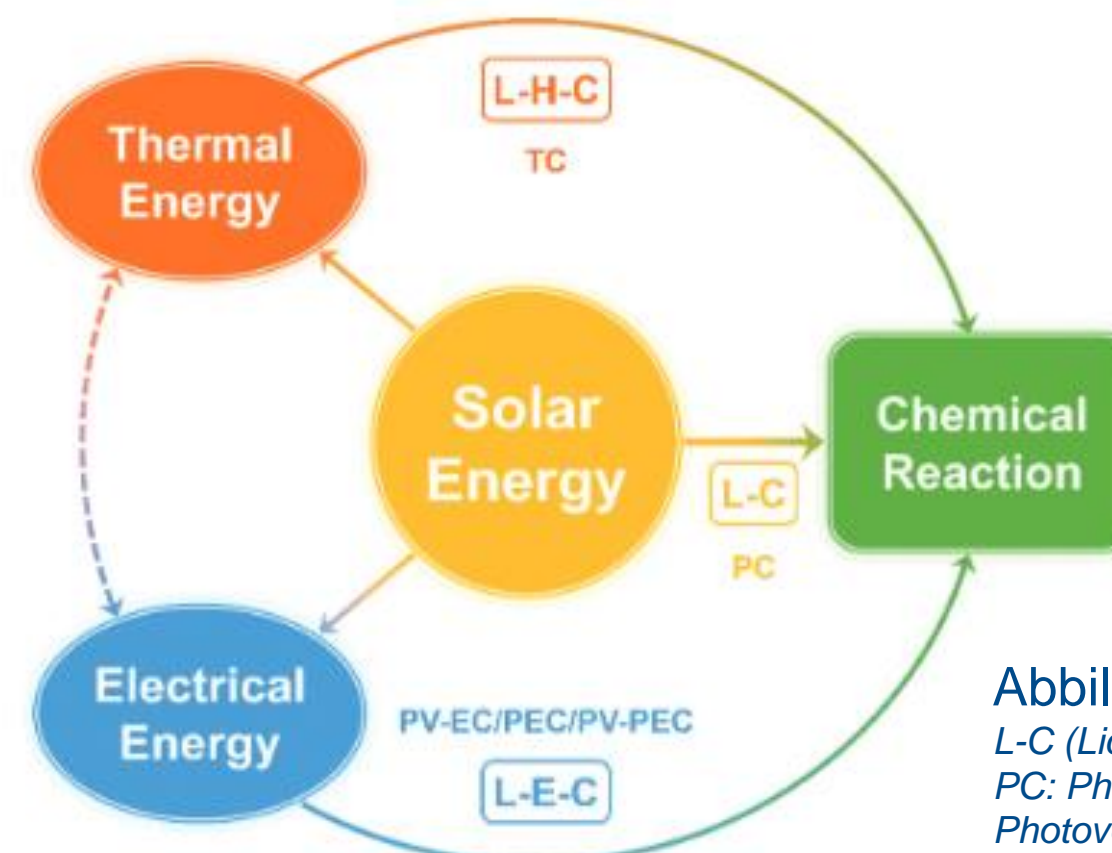


Abbildung: Prozesse zur Ausführung chemischer Reaktionen mittels Sonnenenergie
 L-C (Licht – Chemie), L-E-C (Licht-Elektrizität-Chemie), und L-H-C (Licht-Wärme-Chemie);
 PC: Photochemie, TC: Thermochemie, PV-EC: Photovoltaik-Elektrochemie, PEC: Photoelektrochemie, PV-PEC: Photovoltaik unterstützte Photoelektrochemie



Grünen Wasserstoff mit der Sonne produzieren

In Österreich werden über 40 Prozent des Energiebedarfs aus fossilen Energieträgern wie Kohle, Erdöl und Erdgas bereitgestellt. Die industrielle Nutzung dieser fossilen Energieträger für die Herstellung von Strom, Wärme und Chemikalien trägt maßgeblich zur Erreichung von Treibhausgasen bei und verantwortet etwa 34 Prozent der Treibhausgasemissionen. Trotz der zunehmenden Bemühungen für die Reduktion fossiler Ressourcen und der damit verbundenen Umweltauswirkungen wird weiterhin ein steigender Energieverbrauch prognostiziert. Diese Entwicklung geht einher mit einem verstärkten Bedarf an Wasserstoff, vor allem für industrielle Anwendungen. Angesichts dieser Herausforderungen wird die Erzeugung alternativer Energiequellen dringend erforderlich.

Nachhaltige Kraftstoffe aus Solarenergie

Der steigende Bedarf an Kraftstoffen, insbesondere an Wasserstoff in der Industrie, erfordert nachhaltige Lösungen. Aktuell wird Wasserstoff größtenteils als „grüner Wasserstoff“ aus fossilen Energieträgern produziert. Zukünftig soll vermehrt auf „grünen Wasserstoff“ gesetzt werden, wobei aktuelle Ansätze wie die Nutzung von erneuerbarem Strom angewandt sind. Dieser ist jedoch nicht beliebig anpassbar, daher sind nachhaltige Alternativen zur Wasserstoffherstellung notwendig.

In diesem Zusammenhang haben photoelektrochemische (PEC) und photoelektrolytische (PEL) Prozesse, die die Umwandlung von Lichtenergie in chemische Energie ermöglichen, in den letzten Jahren erhebliche Aufmerksamkeit gewonnen. Die Prozesse werden in sogenannten „Solarreaktoren“ eingesetzt, um durch die Nutzung von Photokatalysatoren erneuerbare Photonen aus dem Sonnenlicht zu absorbieren, und chemische Reaktionen auszulösen. Eine beispielhafte Reaktion ist die Umwandlung von Wasser (H₂O) in Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂).

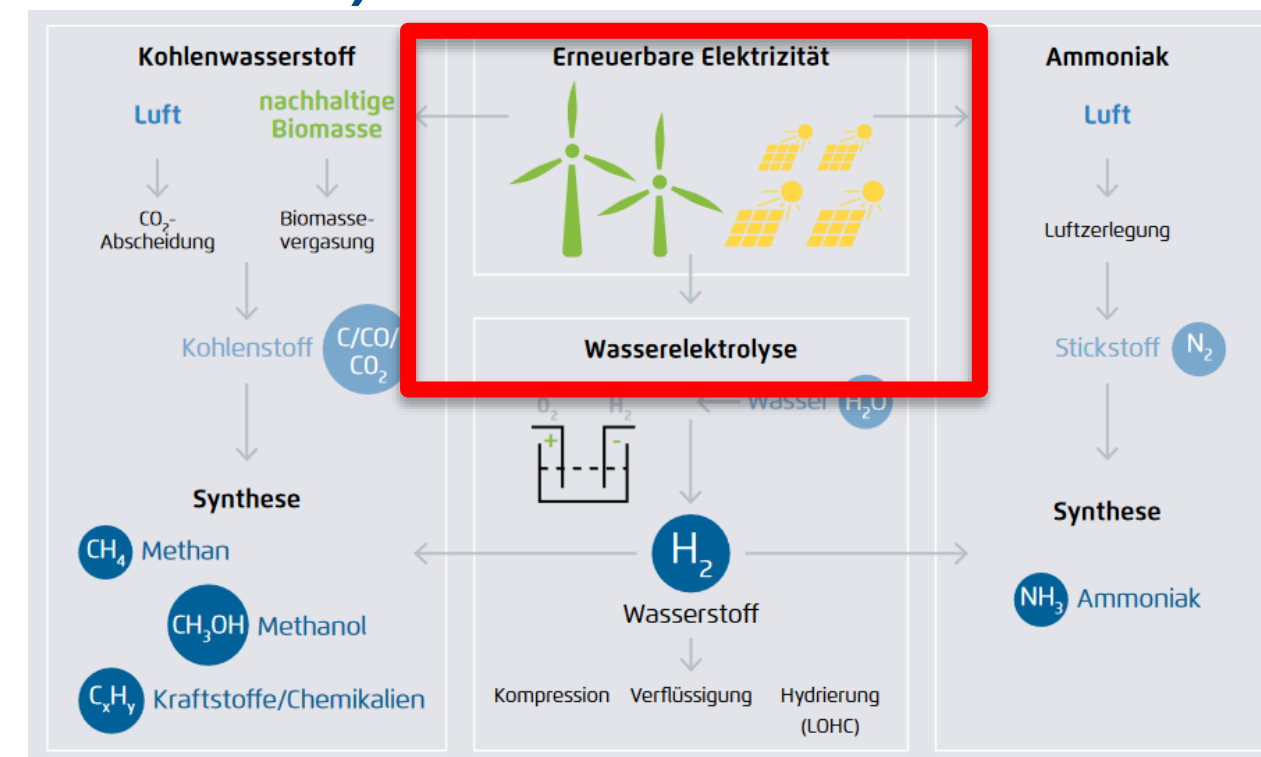
Die Effizienz dieser Prozesse kann deutlich durch die Gegenwart von weiteren Spezies in der Elektrolyse verbessert werden. Spezies wie CO₂ oder N₂ sind jedoch schwer in Wasser als gelöse Substanzen zu finden. Durch die Oxidation dieser Substanzen findet neben der Wasserstoff-Produktion auch die Erzeugung von Kohlenstoff (C) oder Stickstoff (N₂) statt.

Solarreaktor – Photoelektrochemische Gewinnung von H₂ aus Abwasser

- Gefördert im Rahmen der 7. Ausschreibung „Energieforschung“ durch den Klima- und Energiefonds (Projekt Nummer: FO999888459)



- H₂ mit Potential zur teilweisen Abdeckung des industriellen Energiebedarfs – und in Kombination mit CO₂ zur Produktion weiterer Energievektoren (Methan, Methanol, Ethanol) bzw. mit Stickstoff zu Ammoniak



- ... wobei H₂ aktuell zu 99%¹ aus nicht erneuerbaren Energiequellen produziert wird (!)

World's Energy Transition – Ausblick 2050

- Maßnahmen in Richtung „grüner H₂“ notwendig → vor allem bei Blick auf Zukunftsszenarien
- Bis 2050: 12% des Endenergiebedarfs über H₂ bereitgestellt
 - 1/3 des H₂ jedoch immer noch auf Basis fossiler Energieträger
 - Elektrifizierung auf Basis Erneuerbarer Energieträger ist begrenzt möglich

▪ **Es braucht ALTERNATIVE WEGE der Erzeugung von neuen ENERGIEVEKTOREN**

→ **Potential für neue Technologien!**

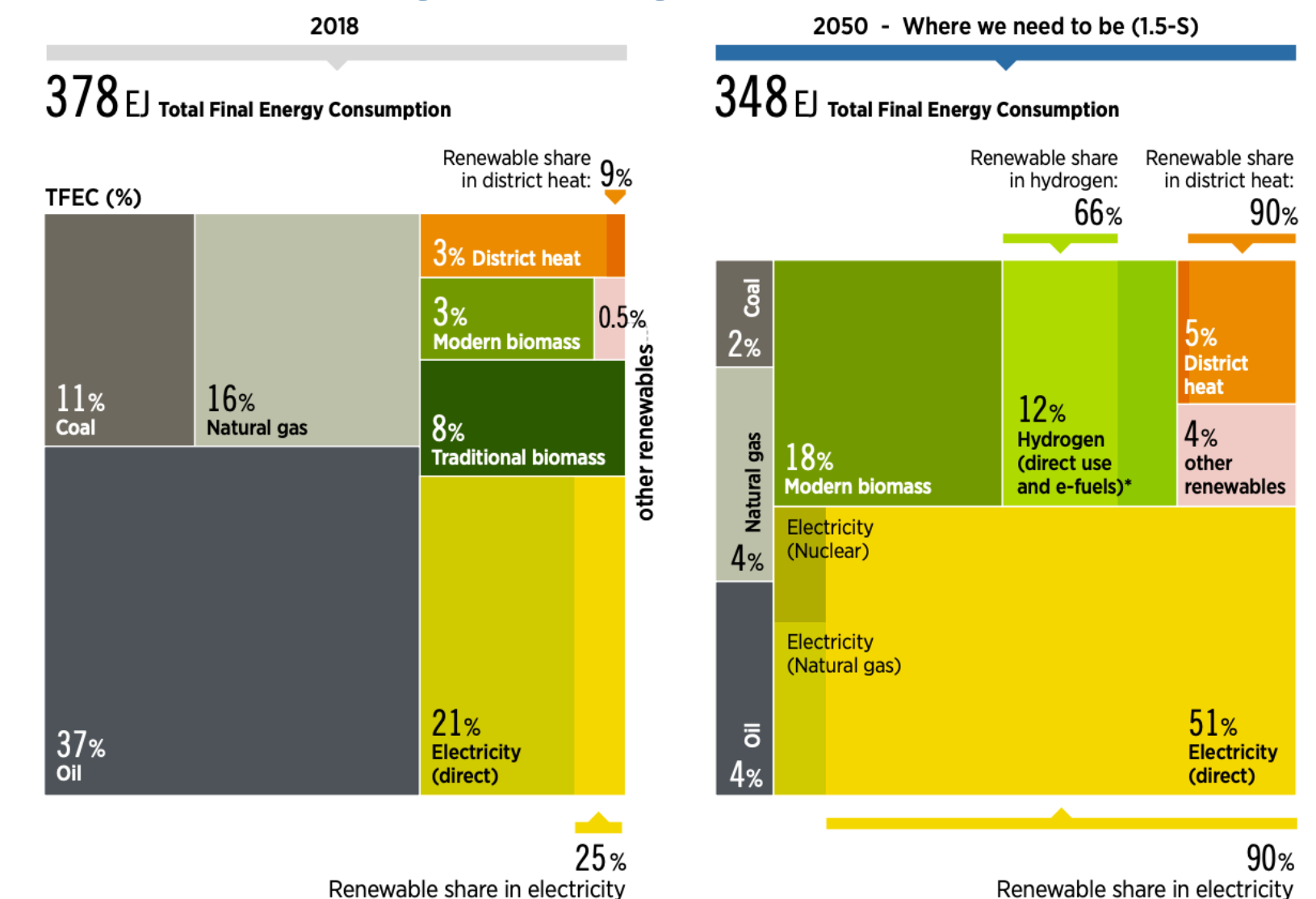


Abbildung: Aufteilung des Endenergiebedarfs nach Energieträger – 2018 vs. 2050¹

1: <https://www.weforum.org/agenda/2022/05/action-clean-hydrogen-net-zero-2050/>

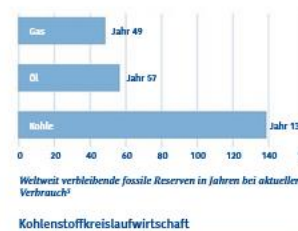
Themen & Projekte bei AEE INTEC

AEE INTEC



Solar Fuels - Recycling von Kohlenstoff durch CO₂-Umwandlung

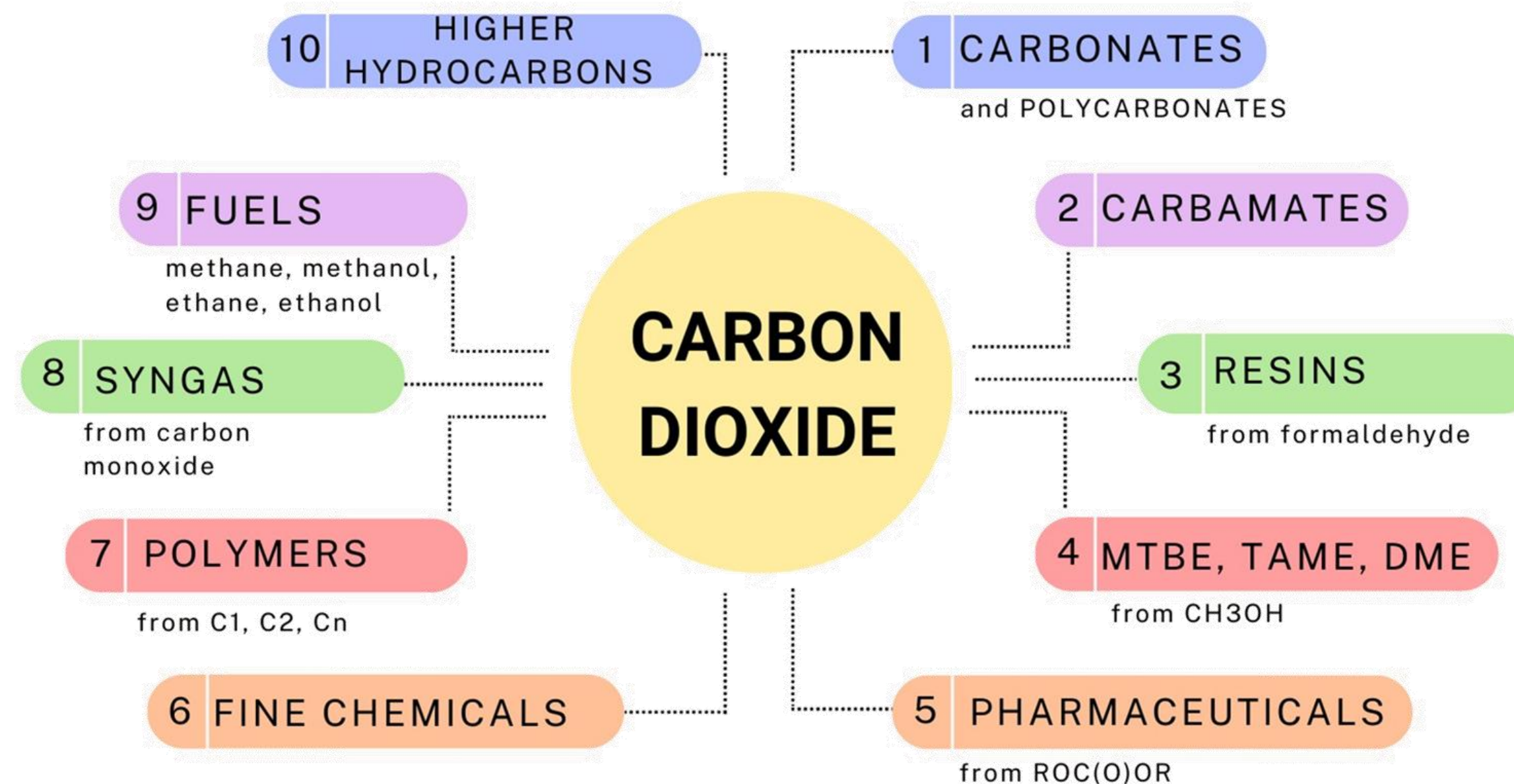
Auf der kürzlich abgeschlossenen COP27 stimmten 197 Länder und die Europäische Union einstimmig für die Notwendigkeit eines "Übergangs weg von fossilem Kohlenstoff" – also weg von Kohle, Erdöl und Erdgas. In den letzten zwei Jahrhunderten hat die menschliche Gesellschaft ihr Wachstum auf das Modell der "linearen Wirtschaft" gestützt. Dabei wurde angenommen, dass die natürlichen, auf Kohlenstoff basierenden Ressourcen, unendlich seien und ihre Nutzung sicher sei. Tatsächlich dominieren fossiler Kohlenstoff heute nicht nur die Energieerzeugung (über 82 Prozent), sondern auch Sektoren wie die chemische Industrie und die Stahlindustrie. Trotz des Aufrufs zur Verringerung des Einsatzes von fossilem Kohlenstoff vor etwa zwei Jahrzehnten und des zunehmenden Einsatzes alternativer Energiequellen (Sonne, Wind, Wasser, Erdwärme, Biomasse) seit Beginn dieses Jahrhunderts, hat der Einsatz von Kohle den neuen Höchstwert von 8,93 Gt, im Jahr 2022 erreicht. Dies deutet auf ein kontinuierliches Wachstum der Energienachfrage hin. Zusammen mit der Nutzung von Erdöl und Erdgas hat der CO₂-Ausstoß im selben Jahr einen Rekordwert von 36,8 Gt erreicht. Dieser Trend ist nicht so sehr im Hinblick auf die künftige Verfügbarkeit fossiler Ressourcen besorgniserregend (siehe Abbildung), sondern vor allem wegen der Auswirkungen der anhaltenden CO₂-Emissionen auf das Klima.



- Direct co-processing of CO₂ & water to sustainable multicarbon energy products in novel photocatalytic reactor

Stellt CO₂ ein Problem dar?

Oder ist es eine Ressource?



1 L Treibstoff =

~ 2400 g CO₂

<https://desired-project.eu>



"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them."

CO₂ als Baustein für Chemikalien und Materialien und Kohlenstoffquelle für Treibstoffe

© Michele Aresta (IC2R), Angela Dibenedetto (CIRCC)

Wie funktionieren Photokatalyse und Photoelektrochemie?

- Photokatalytische (PC) und Photoelektrochemische (PEC) Prozesse mit großem Potential zur Produktion von solaren Treibstoffen
- Vorteil: **direkte Nutzung** von Sonnenenergie (Photonen)
- Prozessablauf am Beispiel der Wasserspaltung zur Gewinnung von H₂:

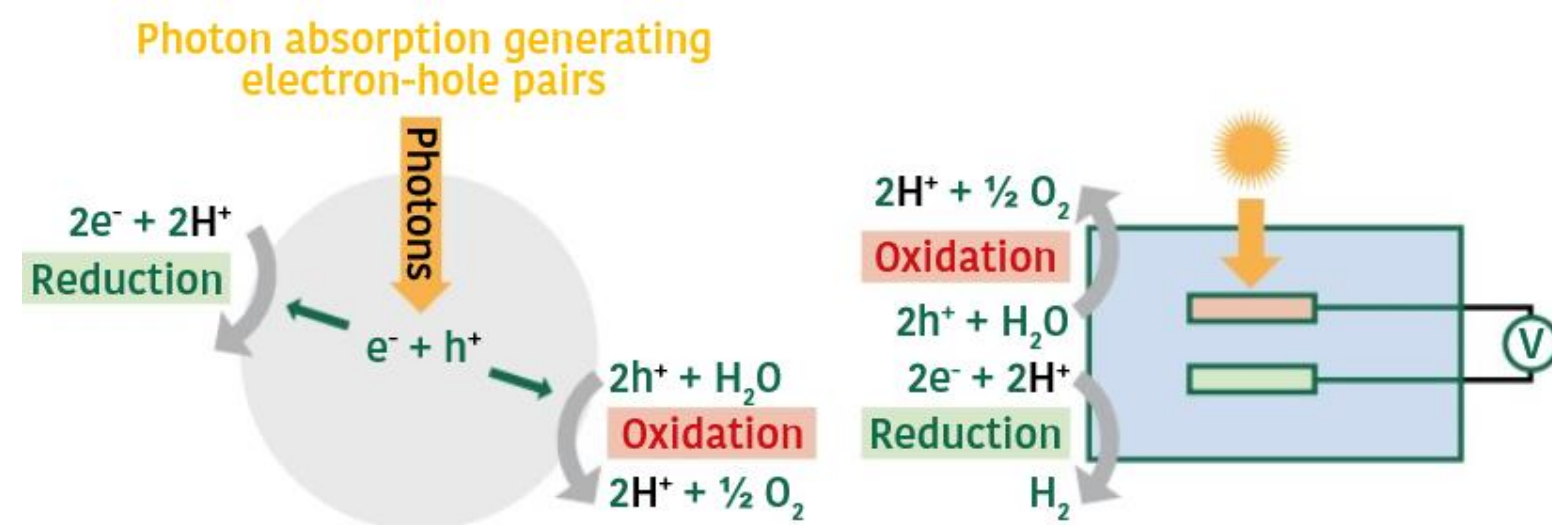


Abbildung: Funktionsweise PC/PEC am Beispiel der Wasserspaltung

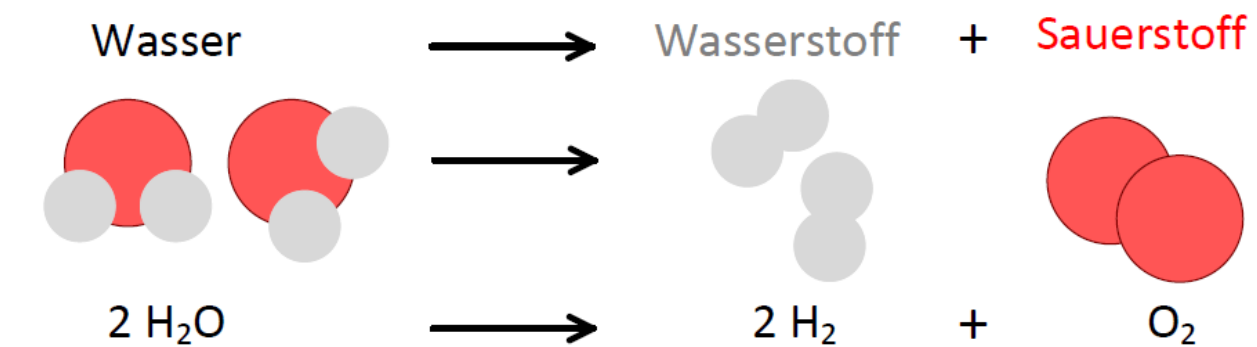


Abbildung: Reaktionsgleichung Wasserspaltung

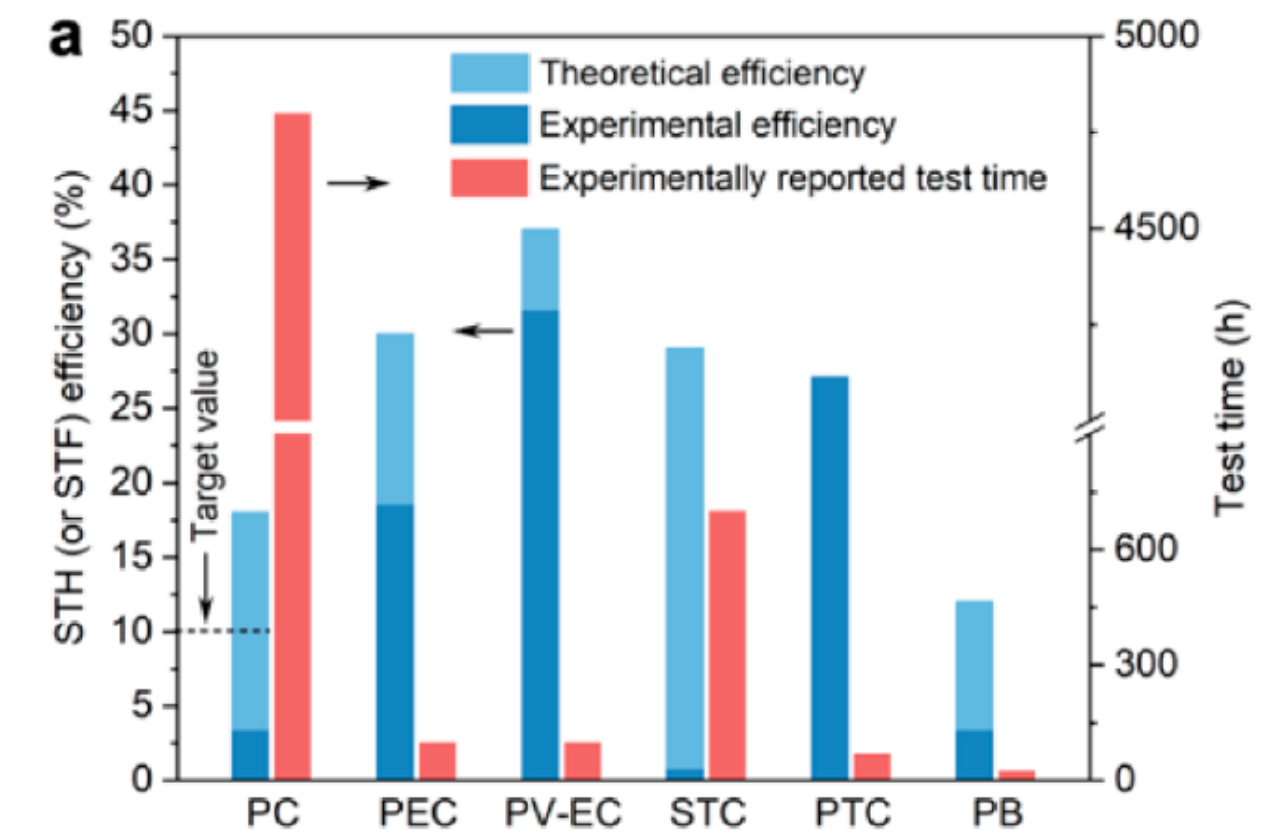
- Prozesse in unterschiedlichen Anwendungen noch in geringem TRL (Technology Readiness Level)
- **Optimierungen notwendig** aufgrund geringer Umwandlungseffizienzen und Skalierbarkeit

Effizienzen, Problemstellungen und Herausforderungen

- PC und PEC Prozesse bewertet basierend auf derer Solar-to-Hydrogen (STH) Effizienz

$$STH = \frac{\Delta G_{H_2}^0 * \Delta H_2}{Q_n} * 100 \%$$

- **Aktuelle Effizienzen am Beispiel H₂ Gewinnung:**
 - PEC Prozesse bei 3-4%¹, mit einem Maximum von ~ 19%²
 - PC Prozesse bei 1-3%²; vereinzelt > 6%³
- **Problemstellung:** Vergleichbarkeit von Ergebnissen
 - Versuche oftmals in kleinem, kontrolliertem Labormaßstab
 - Definierter Wellenlängenbereich bei künstlichem Licht (hohe „quantum efficiency“) → nicht vergleichbar mit realen Anwendungen
- **Herausforderungen:**
 - Umstellung der Prozesse auf reales Sonnenlicht (nutzbare Wellenlängen)
 - Katalysatorentwicklung (von UV-Anwendungen zu sichtbarem Licht; Alterung)
 - Skalierbarkeit von Systemen



ACS Energy Lett. 2022, 7, 3, 1043–1065 ; February 26, 2022

1: <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0373-7>
 2: <https://doi.org/10.1021/acseenergylett.1c02591>
 3: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05399-1>

Neue Forschungsansätze zur Effizienzsteigerung

Ansatz: Neue Reaktorsysteme zur Prozessintensivierung (unter Nutzung von bestehenden Solarkollektoren)

Deutliche Steigerungen von STH Effizienzen unter realer Anwendung durch kontinuierliche Prozessführung, gesteigerte Reaktionskinetik, optimierte Photonennutzung

- Loop Reaktoren: 17-fache Steigerung der „photon efficiency“ (artificial light)¹
- OFSR (AEE INTEC)

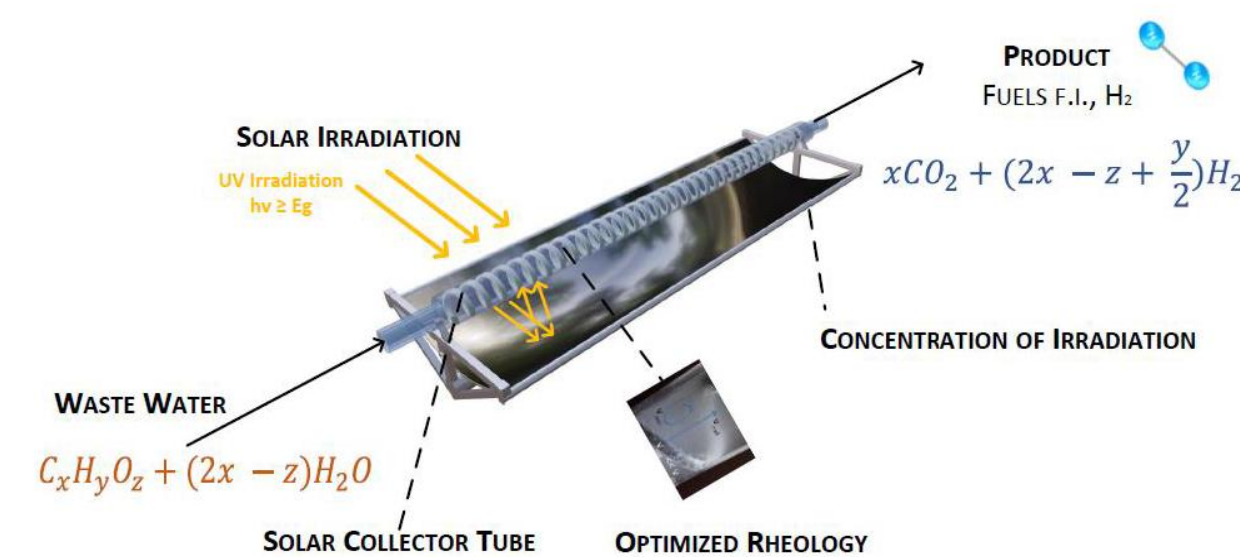
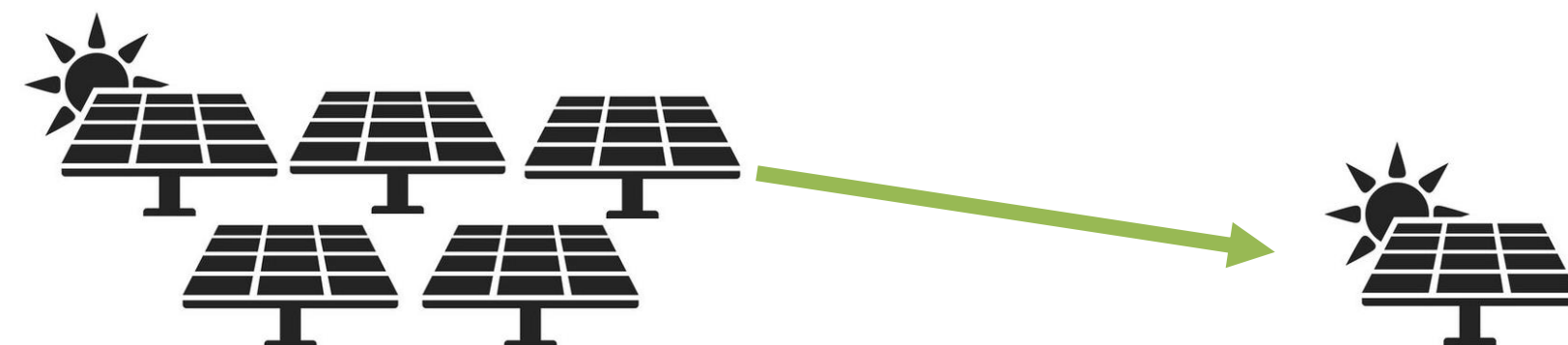


Abbildung: Konzept OFSR (links) und Teststandaufbau am Dach AEE INTEC in Gleisdorf (rechts)

Ziel: Steigerung der Systemeffizienz und somit Steigerung der t_{H_2} pro m^2 Kollektorfläche
 → optimierte Ausbeuten



Steigerung STH von 3 auf 15 → Reduktion der Kollektorfläche auf 1/5 zur Produktion von $1t_{H_2}$

¹ : doi 10.3762/bjoc.20.9

Zusammenfassung und Ausblick

- **Solar Fuels** sind Treibstoffe die mittels Sonnenenergie (Wärme, Elektrizität, Photonen) gewonnen werden
- Prozesse zur **direkten Nutzung von Solarenergie** sind **PC und PEC**
 - Beispielprojekte: H₂ Gewinnung (siehe Projekt Solarreaktor) und CO₂ Umwandlung (siehe Projekt DESIRED)
- **Herausforderungen PC und PEC:**
 - Geringe Wirkungsgrade (STH; STX)
 - Skalierbarkeit
 - Reaktorenkonzepte für Optimierung der Photonenausnutzung unter realem Sonnenlicht
- Interdisziplinäre Forschungsansätze für **Effizienzsteigerung** → Materialchemie, Nanotechnologie, Verfahrenstechnik und Solartechnik

IEA SHC Task „Energy Carriers from Solar Powered Photo-Reactors”



- Aufbau eines Netzwerks zur Förderung der interdisziplinären Forschungsaktivitäten
- Definition eines neuen Task im Rahmen des Technology Collaboration Programs (TCPs) „Solar Heating and Cooling“ (SHC)
- Task: „**Energy Carriers from Solar Powered Photo-Reactors**” (Task Management: Bettina Muster-Slawitsch, AEE INTEC)
 - **Subtask A: Materials and component development** (Subtask Leitung: Victor de la Peña, IMDEA Energy, Spanien)
 - **Subtask B: Reactor design** (Subtask Leitung: Sarah Meitz, AEE INTEC, Österreich)
 - **Subtask C: System integration** (Subtask Leitung: Sixto Malato Rodriguez, CIEMAT P.S.A, Spanien)





AEE INTEC

IDEA TO ACTION

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)
8200 Gleisdorf, Feldgasse 19, Österreich

Website: www.aee-intec.at
Twitter: @AEE_INTEC

Sarah Meitz

E-Mail: s.meitz@aee.at

Tel.: +43 (0)3112 5886-451