

22. März 2019 | Arbeitskreis Energie der DPG, Bad Honnef

Technologien für die Energiewende – systematische Bewertung von „Energiewende- Technologien“ als Grundlage für das 7. Energieforschungsprogramm

Frühjahrssitzung des Arbeitskreises Energie

Dr. Peter Viebahn

Abteilung Zukünftige Energie- und Industriesysteme

Wuppertal Institut

Gefördert durch:

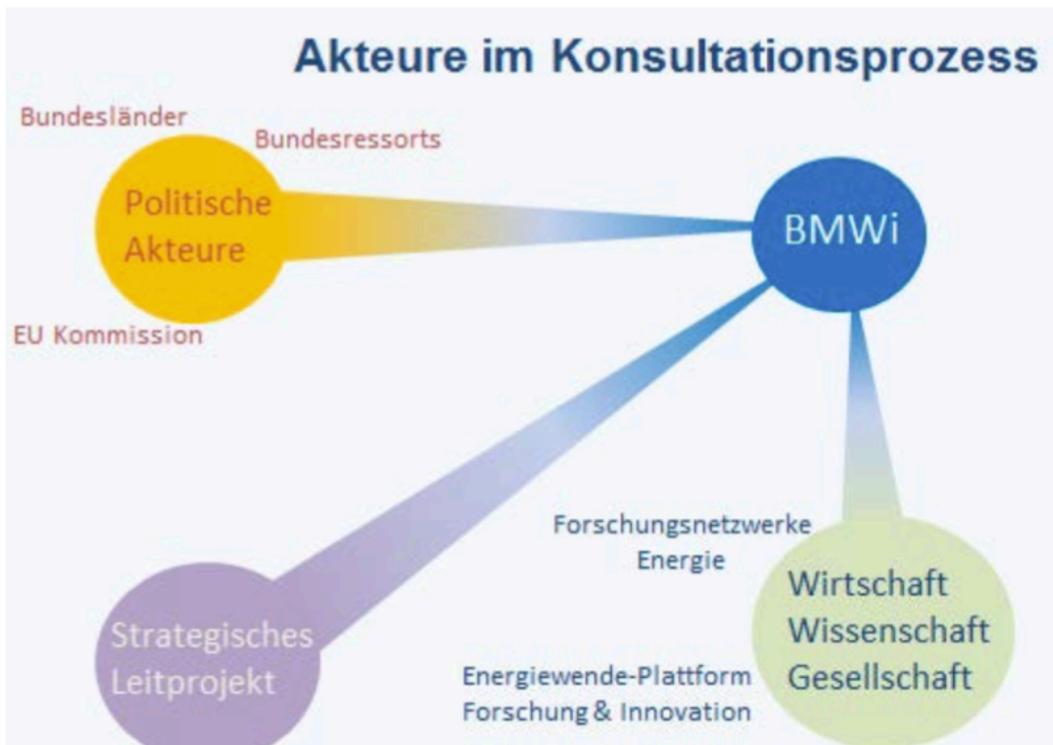


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

1. Beteiligungsprozess zur Entwicklung des 7. Energieforschungsprogramms
2. Das strategische Leitprojekt „Trends und Perspektiven der Energieforschung“
3. Ergebnisse ausgewählter, schon bisher stark beforschter Technologiefelder
 - Beispiel Photovoltaik
 - Beispiel Thermische Speicher und Stromspeicher
 - Beispiel CCS
4. Sektorenkopplung und Industrie als neue Förderbereiche
 - Einordnung
 - Ergebnisse für ausgewählte Technologiefelder
 - Beispiel Power-to-chemicals
 - Beispiel Power-to-liquids

1. Beteiligungsprozess zur Entwicklung des 7. Energie- forschungsprogramms

Laufender Konsultationsprozess (Federführung BMWi)



Ausrichtung des 7. Energieforschungsprogramms

Erste Ergebnisse

Energieforschung „klassisch“

- › Fortschreibung, Aktualisierung der Forschung zu Einzeltechnologien
- › Ausbau des Schwerpunkts Energiesystemanalyse

Neue Schwerpunkte für die Energieforschung aufgrund des Konsultationsprozesses

- › Förderung von Reallaboren (100 Mio. Euro/a insb. für Power-to-X Technologien)
- › stärkere internationale Perspektive
- › Sektorkopplung
- › Digitalisierung

Außerdem

- › Steuerliche Abschreibung von Forschungskosten für KMU

Ausrichtung des 7. Energieforschungsprogramms

Weitere Informationen



www.energieforschung.de

(Projektträger Jülich PTJ)

2. Das strategische Leitprojekt „Trends und Perspektiven der Energieforschung“

Teilprojekt A:

**TF-Energiewende – „Technologien für die Energiewende“
(Leitung Wuppertal Institut, Prof. Fishedick, Dr. Viebahn)**

Teilprojekt B:

EnFo-2030 – „Methodenentwicklung und –anwendung zur Priorisierung von Themen und Maßnahmen in der Energieforschung im Kontext der Energiewende“ (Leitung TU München, Prof. Wagner)

Teilprojekt A: „Technologien für die Energiewende“

Ausgangsbedingungen und Zielsetzung

- **Umsetzung der Energiewende erfordert Mix aus unterschiedlichen Technologien**
- **Energiewende erfordert aber darüber hinausgehende Beiträge – resultierende F&E(D)-Anforderungen in Bezug auf**
 - die Weiterentwicklung von Technologien
 - die Bereitstellung von komplementären Technologien (z. B. Speicher, Netze)
 - das Schließen von Technologielücken
- **Steigende Herausforderungen für Identifikation und Bewertung von Technologien**
 - Erhöhte Komplexität im Energiesystem (u. a. deutlich gestiegenes Maß an Wechselwirkungen im Energiesystem) ...
 - und Vielfalt an gesellschaftspolitischen Zielsetzungen ...
 - ... führt zu Bedarf an systematischer vergleichender Technologiebewertung

Teilprojekt A: „Technologien für die Energiewende“

Durchführung der Technologiebewertung



- 7 Technologiebereiche mit 31 Technologiefeldern
 1. Erneuerbare Energien
 2. Konventionelle Kraftwerke
 3. Infrastruktur (Netze, Speicher)
 4. Technologien für die Sektorkopplung (PtX)
 5. Energie- und Ressourceneffiziente Gebäude
 6. Energie- und Ressourceneffizienz in der Industrie
 7. Integrative Aspekte
- 12 Bewertungskriterien
- 2 Szenariowelten (minus 80%/95%)
- Abgleich der mit Energiewende verbundenen technologischen Herausforderungen mit Status und Perspektiven der F&E
- **Ableitung von F&E–Empfehlungen** und damit Bereitstellung von Orientierungswissen zur Weiterentwicklung des Energieforschungsprogramms



Übergeordnete Ziele der Energiepolitik

- Klimaschutz – CO₂-Reduktionsziele 2050 (minus 80 % - minus 95 %)
- Ausstieg aus der Kernenergie bis 2023

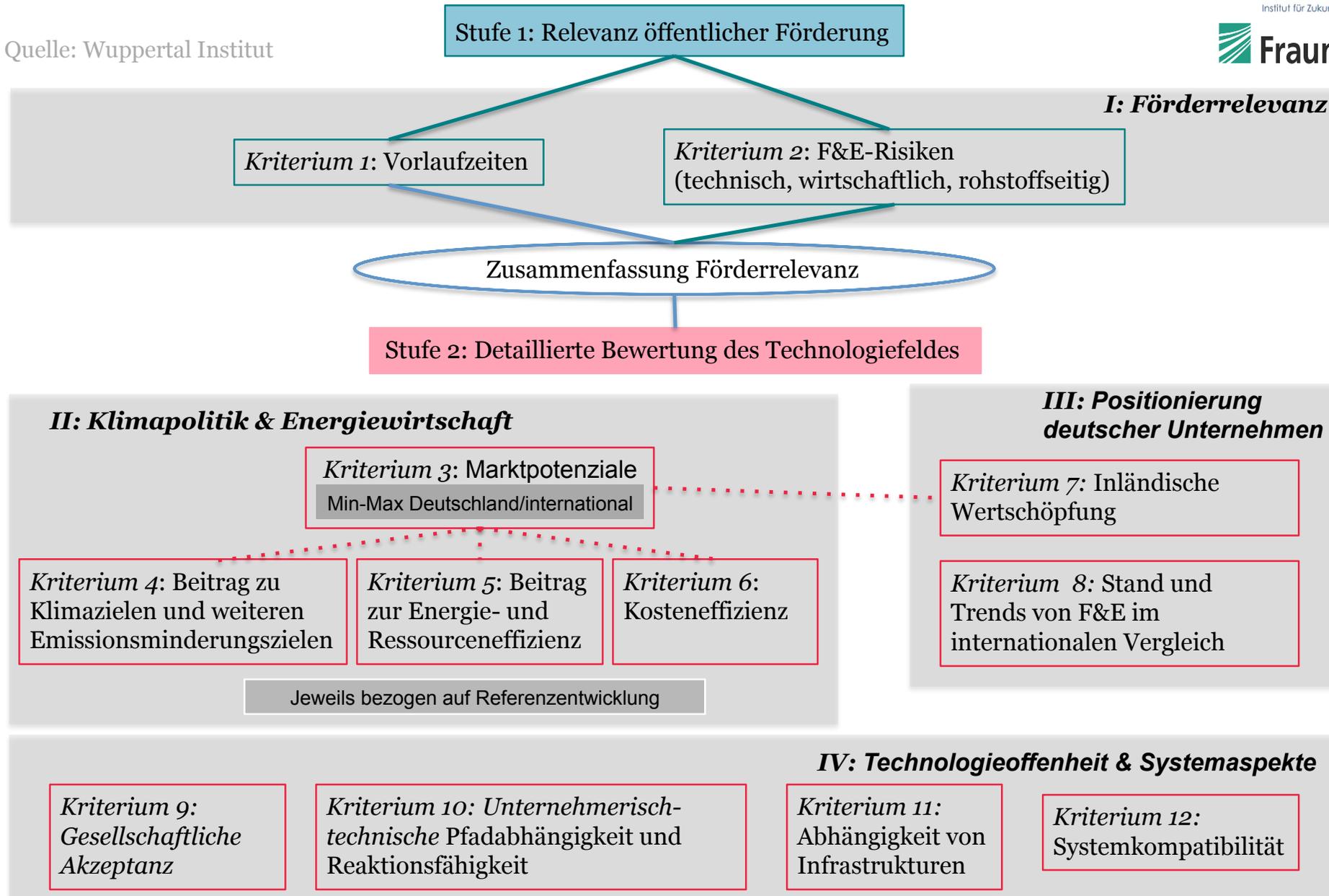
Übergeordnete politische Zielsetzungen für Forschung und Entwicklung von Energietechnologien

- Beitrag zur Erfüllung der energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Vorgaben
- Ausbau der führenden Position deutscher Unternehmen
- Sicherung und Erweiterung technologischer Optionen

Technologiebewertung im Projekt TF-Energiewende

Kriterienraster

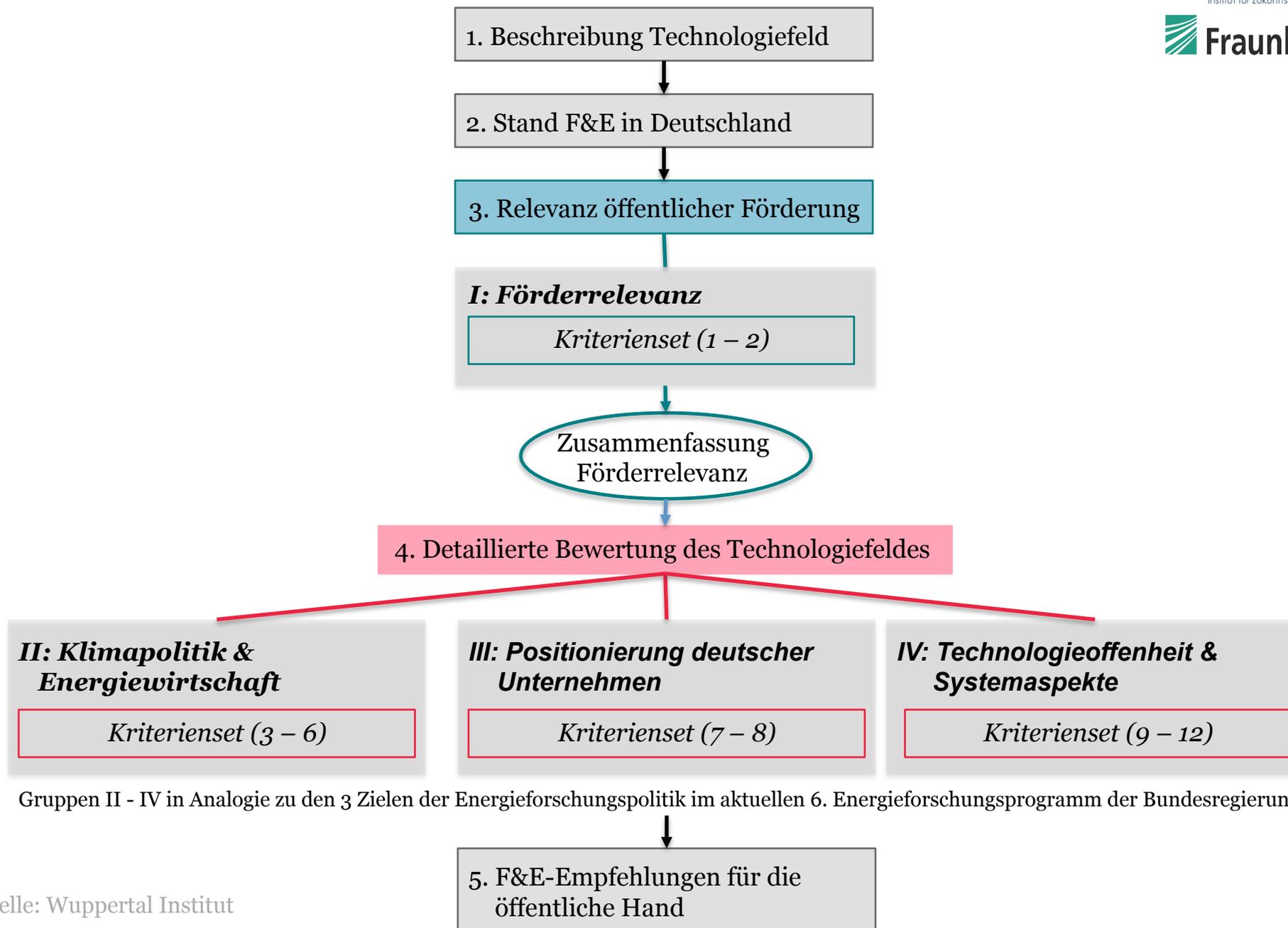
Quelle: Wuppertal Institut



Gruppen II - IV in Analogie zu den 3 Zielen der Energieforschungspolitik im aktuellen 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Technologiebewertung im Projekt TF-Energiewende

Aufbau der Technologieberichte



Quelle: Wuppertal Institut

Technologiebewertung im Projekt TF-Energiewende

Technologieberichte

13.1_Wuppertal Report | April 2018

Technologien für die Energiewende Technologiebericht – Band 1



Teilbericht 2 zum Teilprojekt A im Rahmen des strategischen BMWi-Leitprojekts „Trends und Perspektiven der Energieforschung“

Peter Viebahn
 Ole Zelt
 Manfred Fishedick
 Martin Wietschel
 Simon Hirzel
 Juri Horst
 (Herausgeber)

Wuppertal Report | April 2018

Technologien für die Energiewende Technologiebericht – Band 2



Teilbericht 2 zum Teilprojekt A im Rahmen des strategischen BMWi-Leitprojekts „Trends und Perspektiven der Energieforschung“

Peter Viebahn
 Ole Zelt
 Manfred Fishedick
 Martin Wietschel
 Simon Hirzel
 Juri Horst
 (Herausgeber)

Wuppertal Report | April 2018

Technologien für die Energiewende Technologiebericht – Band 3



Teilbericht 1 zum Teilprojekt A im Rahmen des strategischen BMWi-Leitprojekts „Trends und Perspektiven der Energieforschung“

Peter Viebahn
 Georg Kobiela
 Ole Zelt
 Martin Wietschel
 Simon Hirzel
 Juri Horst
 Jan Hildebrand

Innovationsforschung ISI
 Offstromsysteme
 Energie

Analyse Energieerzeugungsprojekte

Rahmen des strategischen Leitprojekts „Trends und Perspektiven der Energieforschung“

Fraunhofer ISI
 Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme

3. Ergebnisse ausgewählter schon bisher stark beforschter Technologiefelder

Beispiel Erneuerbare Energien: Photovoltaik

F&E-Erfolge und F&E-Bedarf

Kristalline Silizium-Technologie

- › *Laborwirkungsgrade* von 21,9 (multi-c-Si) bis 26,3 (mono-c-Si) Prozent.
- › *Energierücklaufzeit* von 3,4 (1990) auf 1,3 Jahre gesunken.
- › *Modulwirkungsgrade* in 10 Jahren von 12 – 17 % auf 16 – 22 % erhöht.
- › *Lebensdauer* von 20 auf 30 Jahre ausgedehnt.
- › Drei- und Mehrfachsolarzellen aus III-V-Halbleitern Labor 46 %, Modul 39 %.

Dünnschicht-Technologie

- › *CdTe und CIGS* große wirtschaftliche Potenziale mit 21 % bzw. 22,6 % Laborwirkungsgrad → interessant als potenzielle Konkurrenz von multi-c-Si.
- › *Alternative Dünnschichttechnologien* in Erforschung: dünne Siliziumschichten auf Glas und Verwendung von hocheffizienten GaAs-Solarzellen.

Organische Solarzellen

- › *Wirkungsgrade* derzeit etwa 12 %.
- › Großes *Wirkungsgradpotenzial* und großes wirtschaftliches Potenzial erwartet.

Beispiel Erneuerbare Energien: Photovoltaik

Neue F&E-Themen

Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV):

- › Z. B. Kombination aus energieerzeugendem Solarmodul und Funktionselement der Gebäudehülle sowie von geeigneten Designkonzepten.

Anlagenbau:

- › Innovationen auf Zell- und Modulebene müssen in Produktion gebracht werden.

Rolle von PV-Wechselrichtern:

- › Beitrag zur Spannungsstabilisierung im Stromnetz und zur Erhöhung der Übertragungskapazität (Netzeinbindung).

Präzisere Leistungs- und Ertragsprognosen von PV-Kraftwerken

- › zur Optimierung des Erzeugungs-, Speicher-, und Lastmanagements im Verteilnetz.

Recycling von Modulen und Wertstoffen:

- › Reduktion von Material- und Energieeinträgen bei der Herstellung in der gesamten Wertschöpfungskette und zur Wiederverwertbarkeit der photovoltaischen Elemente und Materialien.

Beispiel Infrastruktur: Zentrale Stromspeicher

F&E-Erfolge und F&E-Bedarf (Auswahl)

Nichtkonventionelle PSW (unterirdisch)

- Derzeit Machbarkeitsstudien

Adiabate Druckluftspeicherkraftwerke (ACAES)

- Gegenstand von Entwicklungsprojekten, stehen vor der Demonstrationsreife. Erhebliche Fortschritte: Verdichterstrang und Wärmespeicher
- Erfahrungen zum Gesamtsystem stehen noch aus, Experimentalbetrieb nötig.

Adiabate Flüssiglufspeicherkraftwerke

- Derzeit Demonstrationsphase; erfordern F&E-Anstrengungen zu Komponenten (Turbomaschinen, Wärmespeicher, Kältespeicher für ALAES) und Systemebene

Schwungradspeicher

- Kommerziell verfügbar (z. B. 600 kW Speicher in D)
- F&E-Bedarf zur weiteren Senkung der Kosten, zur Verbesserung der Energiedichte und zur Erhöhung der Lebensdauer

Strom-Wärme-Strom-Speicher (SWS)

(Thermopotenzialspeicher und Elektrowärmekraftwerke)

- Als Gesamtsystem in einem frühen Konzeptstadium

Beispiel Infrastruktur: Thermische Energiespeicher

F&E-Erfolge und F&E-Bedarf (Auswahl)

Hochtemperatur-Feststoffspeicher

- › Vereinzelt (z. B. Stahl- oder Glasindustrie) kommerzieller Einsatz.
- › Einsatz in Kraftwerksprozessen im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium.
- › F&E-Bedarf hinsichtlich kostengünstigerer Speichermaterialien.

Hochtemperaturflüssigspeicher (Basis Nitralsalze)

- › Seit einigen Jahren kommerzieller Einsatz in solarthermischen Kraftwerken.
- › F&E-Bedarf in Bezug auf die langfristige Stabilität der Salzmischungen, an der Erweiterung des Temperaturbereichs, an neuartigen Speicherkonzepten und an der optimalen Einbindung der Speicher in den Betrieb solarthermischer Kraftwerke.

Niedertemperatur-Latentwärmespeicher

- › Breites Spektrum an Phasenwechselmaterialien am Markt
- › F&E-Bedarf auf dem Gebiet der Materialverkapselung und der Erhöhung der Leistungsdichte.

Beispiel Infrastruktur: Thermische Energiespeicher

Übergreifende F&E-Themen

Wärmenetze:

- Anteil erneuerbarer Energien durch den Einsatz von Niedertemperaturspeichern erhöhen → Entwicklung *smarter Systemkonfigurationen* zur *Kopplung des Stromsektors mit dem Wärmesektor*.

Flexibilisierung von Kraftwerksprozessen

- durch Einsatz thermischer Energiespeicher wichtiges Bindeglied zwischen Strom- und Wärmemarkt. *Systemdienlichkeit* der Anlagen weiter verbessern.

Effizienzsteigerung und Flexibilisierung energieintensiver industrieller Prozesse durch Integration thermischer Energiespeicher:

- Systematische Analyse und Erfassung der realisierbaren Potenziale; Entwicklung standardisierter, branchenübergreifender Lösungen.

Speichergestützte Power-to-Heat-Anwendungen:

- Anwendungen für den Niedertemperatur-, aber insb. Hochtemperaturbereich (Bereitstellung von Prozesswärme oder Prozessdampf) entwickeln.

Beispiel Fossile Energien/Industrie: CCS

F&E-Erfolge und F&E-Bedarf

CO₂-Abscheidung

- *Kraftwerke*: Demonstration (TRL=7)
 - viele kleinere Versuchsanlagen
 - 1 größere Anlage: Kohlekraftwerk Boundary Dam, Kanada, 139 MW
- *Industrieprozesse*: Technologieentwicklung (TRL=2-4)
 - Einsatz hauptsächlich in der Düngemittelherstellung und Erdgasaufbereitung
 - je eine Demoanlage in der Stahl- und Eisenherstellung sowie Raffineriebereich

CO₂-Transport

- Kommerzieller Einsatz (TRL=9), keine signifikanten F&E Aktivitäten

CO₂-Speicherung

- Deutschland: Demonstration (TRL=6) (1 abgeschlossenes Projekt: Ketzin)
- Weltweit: Demonstration (TRL=8) (mehrere Großprojekte Sleipner, In Salah etc.)

Generell

Öffentliche F&E Aufwendungen für CCS in Deutschland im Ländervergleich sehr niedrig. Hauptakteure der letzten Jahre: USA, Norwegen, Kanada, Australien und Japan (mit Hauptfokus auf CCS für Kraftwerke und Speicherung).

Kohlegefeuerte Kraftwerke (international):

- Post-combustion Konzepte (Neubau und Bestand) – Absorber, Desorber, REA, Prozessintegration
- Oxyfuel (Brenner, Feuerungsraum, Prozessintegration)
- Flexibilitätseigenschaften derzeit unbekannt

Industrieprozesse:

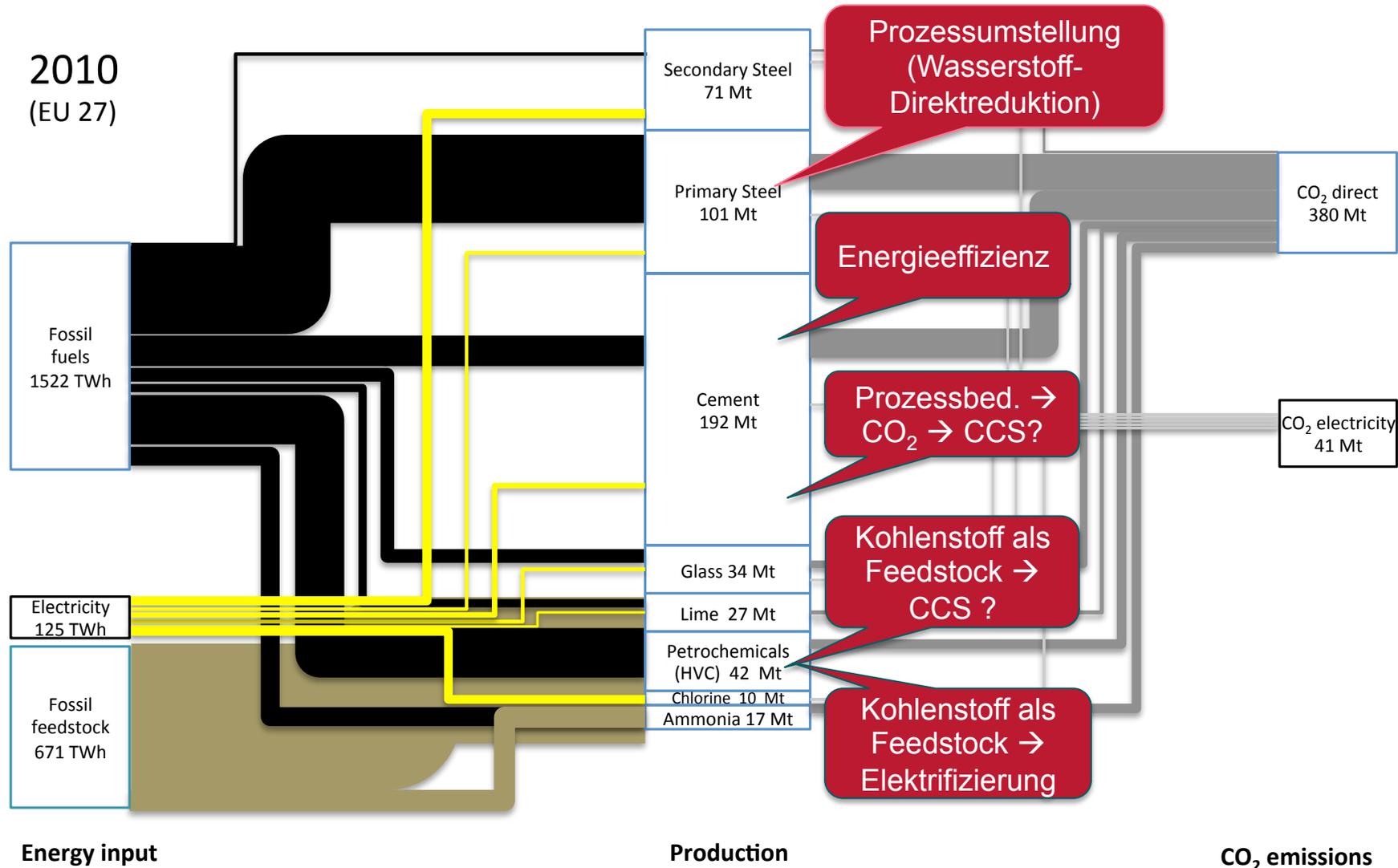
- Systematische und konzeptionelle Aufarbeitung möglicher Abscheideverfahren
- Konzepte für die Nachrüstung von Bestandsanlagen
- Bewertung konkurrierender Optionen (Neuanlagen) im Vergleich zur Abscheidung
- Analyse von Abgasströmen (z. B. CO₂-Reinheiten), CO₂-Aufbereitung
- Entwicklung möglicher Transport- und Versorgungskonzepte vor dem Hintergrund einer CO₂-Nutzung
- Akzeptanzuntersuchungen zum Einsatz von CO₂-Abscheidung/Speicherung
- Speichererkundungsmethoden, Verfahren zur Speicherüberwachung etc.

4. Sektorenkopplung und Industrie als „neue“ Förderbereiche

- *Sektorenkopplung* zunehmend relevant zum Erreichen der Klimaziele
- *Industriesektor* erfordert weit mehr „Dekarbonisierungsmaßnahmen“ als bisher angedacht
- Bisherige Maßnahmen in der Industrie umfassen
 - (I) Energieeffizienz
 - (II) Brennstoffwechsel (z. B. direkter Einsatz von Strom)
 - (III) Material- und Produkteffizienz
- Energieintensive Prozesstechnologien lassen sich schwerer dekarbonisieren als viele andere Bereiche (aber > 20% der globalen THG)
- Realität könnte liegen zwischen
 - BDI-Ansatz („Klimapfade“, BDI 2018) beruhend auf herkömmlichen Tech.
 - UBA-Ansatz („THGND“, UBA 2014) mit extremer „Elektronenwirtschaft“

Grobe Massen-, Energie und CO₂-Bilanz der europäischen energieintensiven Industrie

Weitergehende Maßnahmen



Schneider et al. (2017)

Dargestellte Flüsse nicht maßstabsgerecht

Identifizierte zentrale Technologiebereiche für eine Low-Carbon Industrie

Sektorenkopplung unter Einbeziehung der Industrie

- Low-carbon Industrie Teil zukünftiger Sektorenkopplung
- Co-Evolution von low-carbon Kraftstoffproduktion und chemischer Industrie
- Erheblicher Bedarf an erneuerbaren Energien

Schwerpunkte in TF_Energiewende

➤ **Power-to-liquids/-chemicals**

- Bereitstellung synthetischer Kraftstoffe
- Bereitstellung (organischer) Plattformchemikalien
- [Verfahren der CO₂-Abtrennung aus Faulgasen und Umgebungsluft]

➤ **Energieeffiziente Prozesstechnologien**

- [Stahlerzeugung]
- [Zement- und Kalkproduktion]

➤ **Low-carbon und ressourceneffiziente Industrie**

- [Steam-cracker mit CCS]
- [Gasifizierung von (kohlenstoffhaltigen) Reststoffen]
- [Power-to-Heat (industrielle Prozesswärme)]

Power-to-liquids / -chemicals

Betrachtete Technologiepfade

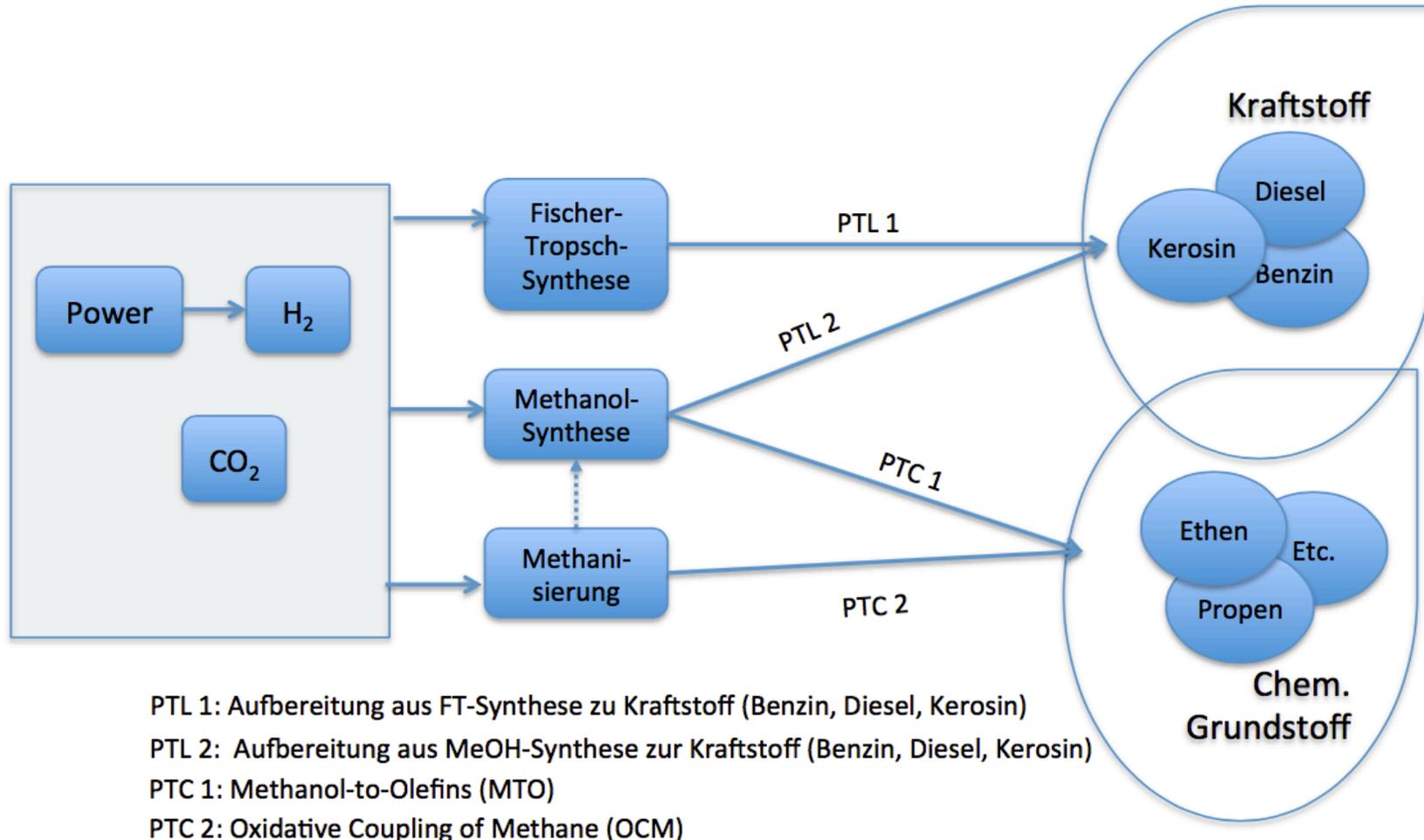


Abb. 1-1 Schematische Darstellung der im vorliegenden Bericht betrachteten Technologiepfade

- Naphta bisher als Basis für kohlenwasserstoffbasierte Grundstoffchemikalien
- Häufigste Produkte, i. d. R. im Steam Cracker gewonnen
 - Ethen C_2H_4 – Basis für 30% aller weltweit produzierten Petrochemikalien
 - High-Value Chemicals (HVCs) weitere universelle Basisstoffe
 - Basis für Ethylen und HVC: Methan, Methanol, H_2 , CO, CO_2 , O_2
- **Ausgewählte Pfade (als Beispiele!)**
 - **PTC-1: Olefin-Herstellung aus Methanol (MtO-Pfad) –fortgeschritten**
 - **PTC-2: Oxidative Coupling of Methane (OCM-Pfad) – Stand 90er**
- Stand von F&E
 - Einzelne Prozessschritte in China und Südafrika weiter entwickelt
 - OCM-Pfade in 80er/90er Jahre konzentriert und wieder eingestellt
- F&E-Bedarf:
 - Generell erheblicher Aufholbedarf im Vergleich zu anderen Ländern
 - F&E langfristig notwendig zur Erhalt der heimischen Basischemie
 - Technologieoffenheit der Förderung notwendig (viele verschiedene Pfade)

➤ Betrachtete Prozesse

- **PTL-1: Fischer-Tropsch-Synthese** aus H_2 und CO
- **PTL-2: Methanol-Synthese** ($MeOH = CH_3OH$) aus H_2 und CO_2

➤ Stand von F&E

- PtL im Vergleich zu Biokraftstoffen und PtG wenig bearbeitet
 - Sunfire (Dresden) in Kooperation mit ClimeWorks
 - Carbon Recycling International (Island) mit zwei Anlagen zu Methanolherstellung (Island und in Lünen [Hydrogenics, STEAG])
 - Sasol Germany , andere internat. Konzerne

➤ Beitrag zum Klimaschutz

- Emissionsfreier Strom und klimaneutrales CO_2
- Jedoch keine Kreislaufführung des CO_2

➤ F&E-Bedarf:

- Großmaßstäbliche Umsetzung der Fischer-Tropsch-Synthese bis hin zur Kommerzialisierung und Markteinführung
- Teillastbetrieb, schneller Regelbarkeit, Kopplung mit anderen Prozessen

Allgemein

- Grundlagenforschung und Demonstrationsprojekte der einzelnen Verfahren
 - Entwicklung energie-/ressourcen- und kosteneffizienten Kombinationen von Katalysatoren und deren Trägermaterialien
 - Effizientere Katalysatoren ermöglichen bessere Ausbeute der Syntheseverfahren (geringere Drücke und Temperaturen)
 - Gleichzeitig innovatives, die Prozesse optimierendes Anlagensetup
- Großmaßstäbliche Anlagen bis hin zur Kommerzialisierung und Markteinführung
- Demonstration der erfolgreichen Sektorenkopplung
- Entwicklung von Kooperationen zwischen Energiewirtschaft, Verkehr und chemischer Industrie
- Systemanalytische Betrachtungen (Szenarien) zur Elektrifizierung der Industrie und zur Kopplung von Verkehrs-/Industrie-/Stromsektor

Peter Viebahn | peter.viebahn@wupperinst.org

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Weitere Informationen finden Sie auf unseren Websites

www.isi.fraunhofer.de

www.izes.de

www.wupperinst.org

Backup-Folien

Technologiebewertung im Projekt TF-Energiewende

Betrachtete Technologiefelder

Systematische Technologiebewertung

➤ 6 Technologiebereiche mit 27 Technologiefeldern

1. Erneuerbare Energien
2. Konventionelle Kraftwerke
3. Infrastruktur (Netze, Speicher)
4. Technologien für die Sektorkopplung (PtX)
5. Energie- und Ressourceneffiziente Gebäude
6. Energie- und Ressourceneffizienz in der Industrie
7. Integrative Aspekte

- 1.1 Biomasse
- 1.2 Tiefengeothermie
- 1.3 Photovoltaik
- 1.4 Solare Wärme und Kälte
- 1.5 Solarthermische Kraftwerke
- 1.6 Windenergie mit Exkurs Meeresenergie
- 1.7 Umweltwärme

Systematische Technologiebewertung

› 6 Technologiebereiche mit 27 Technologiefeldern

1. Erneuerbare Energien
 2. Konventionelle Kraftwerke
 3. Infrastruktur (Netze, Speicher)
 4. Technologien für die Sektoren
 5. Energie- und Ressourceneffiziente Gebäude
 6. Energie- und Ressourceneffizienz in der Industrie
 7. Integrative Aspekte
- 2.1 Zentrale Großkraftwerke
 - 2.2 a Dezentrale Kraftwerke (Brennstoffzellen)
 - 2.2 b Dezentrale Kraftwerke (Motoren und Turbinen)
 - 2.3 CO₂-Abscheidung und Lagerung (CCS)
 - 2.4 CO₂-Nutzung

Systematische Technologiebewertung

➤ 6 Technologiebereiche mit 27 Technologiefeldern

1. Erneuerbare Energien
2. Konventionelle Kraftwerke
3. Infrastruktur (Netze, Speicher)
4. ~~Technologien für die Sektorkopplung (D+V)~~
 - 3.1 Stromtransport und -verteilung
 - 3.2 Wärmetransport und -verteilung
 - 3.3 a Energiespeicher (elektrisch & elektro-chemisch)
 - 3.3 b Energiespeicher (thermisch, thermo-chemisch & mechanisch)
 - 3.4 Nutzung von Erdgas- und Erdölinfrastruktur und Raffinerien für strombasierte Brennstoffe
5. Energie- und
6. Energie- und
7. Integrative A

Systematische Technologiebewertung

➤ 6 Technologiebereiche mit 27 Technologiefeldern

1. Erneuerbare Energien
2. Konventionelle Kraftwerke
3. Infrastruktur (Netze, Speicher)
4. Technologien für die Sektorkopplung (PtX)
5. Energie 4.1 Power-to-gas (Wasserstoff)
6. Energie 4.2 a Power-to-gas (Methanisierung chemisch-katalytisch)
7. Integra 4.2 b Power-to-gas (Methanisierung biologisch)
4.3 Power-to-liquids/chemicals
4.4 Verfahren der CO₂-Abtrennung aus Faulgasen und Umgebungsluft

Technologiebewertung im Projekt TF-Energiewende

Betrachtete Technologiefelder

Systematische Technologiebewertung

➤ 6 Technologiebereiche mit 27 Technologiefeldern

1. Erneuerbare Energien
2. Konventionelle Kraftwerke
3. Infrastruktur (Netze, Speicher)
4. Technologien für die Sektorkopplung (PtX)
5. Energie- und Ressourceneffiziente Gebäude
6. Energie- und Ressourceneffizienz in de
7. Integrative Aspekte

5.1 Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik

Technologiebewertung im Projekt TF-Energiewende

Betrachtete Technologiefelder

Systematische Technologiebewertung

➤ 6 Technologiebereiche mit 27 Technologiefeldern

1. Erneuerbare Energien
2. Konventionelle Kraftwerke
3. Infrastruktur (Netze, Speicher)
4. Technologien für die Sektorkopplung (PtX)
5. Energie- und Ressourceneffiziente Gebäude
6. Energie- und Ressourceneffizienz in der Industrie
7. Integrative Aspekte

- 6.1 Energieeffiziente Prozesstechnologien
- 6.2 Energieeffiziente Querschnittstechnologien
- 6.3 Technologien zur Abwärmenutzung
- 6.4 Low-carbon und ressourceneffiziente Industrie

Technologiebewertung im Projekt TF-Energiewende

Betrachtete Technologiefelder

Systematische Technologiebewertung

- 6 Technologiebereiche mit 27 Technologiefeldern
 1. Erneuerbare Energien
 2. Konventionelle Kraftwerke
 3. Infrastruktur (Netze, Speicher)
 4. Technologien für die Sektorkopplung (PtX)
 5. Energie- und Ressourceneffiziente Gebäude
 6. Energie- und Ressourceneffizienz in der Industrie
 7. Integrative Aspekte

- 7.1 Elektromobilität – PKW und leichte Nutzfahrzeuge)
- 7.2 Elektromobilität – Hybrid-Oberleitungs-LKW
- 7.3 Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK)
- 7.4 Systemintegration, –transformation und –innovation

I Förderrelevanz

- Kriterium 1: Vorlaufzeiten
- Kriterium 2: F&E-Risiken (technisch, wirtschaftlich, rohstoffseitig)

II Klimapolitik und Energiewirtschaft

- Kriterium 3: Marktpotenziale
- Kriterium 4: Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionszielen
- Kriterium 5: Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz
- Kriterium 6: Kosteneffizienz

III Positionierung deutscher Unternehmen

- Kriterium 7: Inländische Wertschöpfung
- Kriterium 8: Stand und Trends von F&E im internationalen Vergleich

IV Technologieoffenheit & Systemaspekte

- Kriterium 9: Gesellschaftliche Akzeptanz
- Kriterium 10: Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit, Reaktionsfähigkeit
- Kriterium 11: Abhängigkeit von Infrastrukturen
- Kriterium 12: Systemkompatibilität

3. Übergreifende Darstellung des Forschungsbedarfs

Technology Readiness Level (TRL)

Überblick auf Ebene der Technologiebereiche

Grobklassifizierung

Feinklassifizierung

Grundlagenforschung

TRL 1 – Grundlegende Prinzipien beobachtet und beschrieben, potenzielle Anwendungen denkbar

Technologieentwicklung

TRL 2 – Beschreibung eines Technologiekonzepts und/oder einer Anwendung

**Forschungs-
förderung**

TRL 3 – Grundsätzlicher Funktionsnachweis einzelner Elemente einer Anwendung/Technologie

TRL 4 – Grundsätzlicher Funktionsnachweis Technologie/Anwendung im Labor

Demonstration

TRL 5 – Funktionsnachweis in anwendungsrelevanter Umgebung

TRL 6 – Verifikation mittels Demonstrator in anwendungsrelevanter Umgebung

TRL 7 – Prototypentest in Betriebsumgebung

TRL 8 – Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit in Betriebsumgebung

**Förderlücke
Weg von der Forschung in den Markt!?**

TRL 9 – Erfolgreicher kommerzieller Systemeinsatz

Technology Readiness Level (TRL)

Beispiel für Auswertung eines Technologiefeldes:

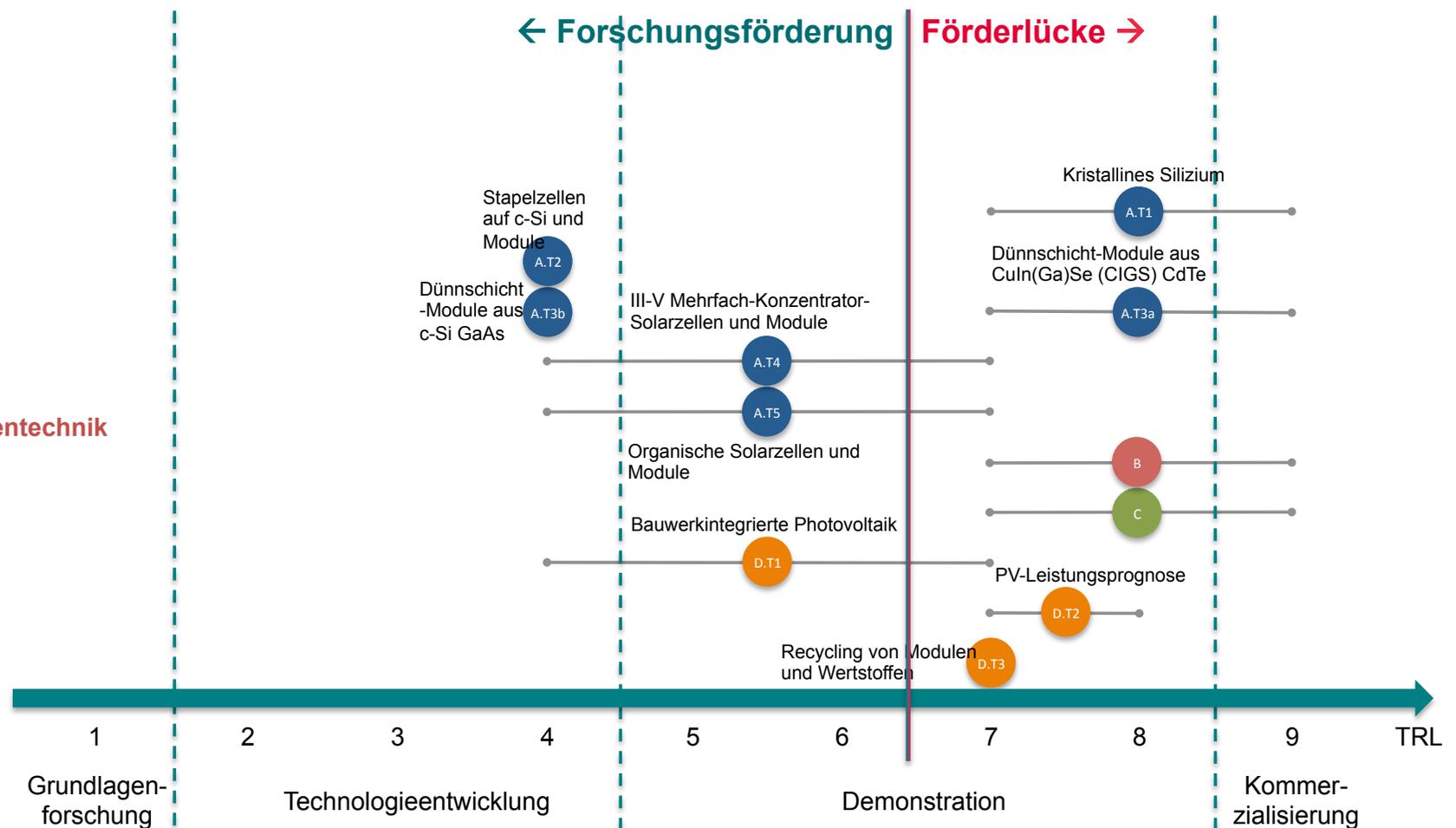
Photovoltaik

A: Solarzellen und Module

B: PV-Fertigungs-, Anlagentechnik und Produktionsmittel

C: Systemtechnik

D: Angrenzende Technologien



Technology Readiness Level (TRL)

Überblick auf Ebene der Technologiebereiche

Technologien für die Energiewende – Übersicht Technology Readiness Level

TB 1 Erneuerbare Energien

TF 1.1 Bioenergie

- A: Biochemische Konversion
- B: Thermochemische Konversion
- C: Physikochemische Konversion

TF 1.2 Tiefengeothermie

- A: Hydrothermale Systeme
- B: EGS
- C: Aquiferspeicherung

TF 1.3 Photovoltaik

- A: Solarzellen und Module
- B: PV-Fertigungs-, Anlagentechnik und Produktionsmittel
- C: Systemtechnik
- D: Angrenzende Technologien

TF 1.4 Solare Wärme und Kälte

- A: Kollektoren
- B: Wärme- und Kältespeicher
- C: Systemtechnik

TF 1.5 Solarthermische Kraftwerke

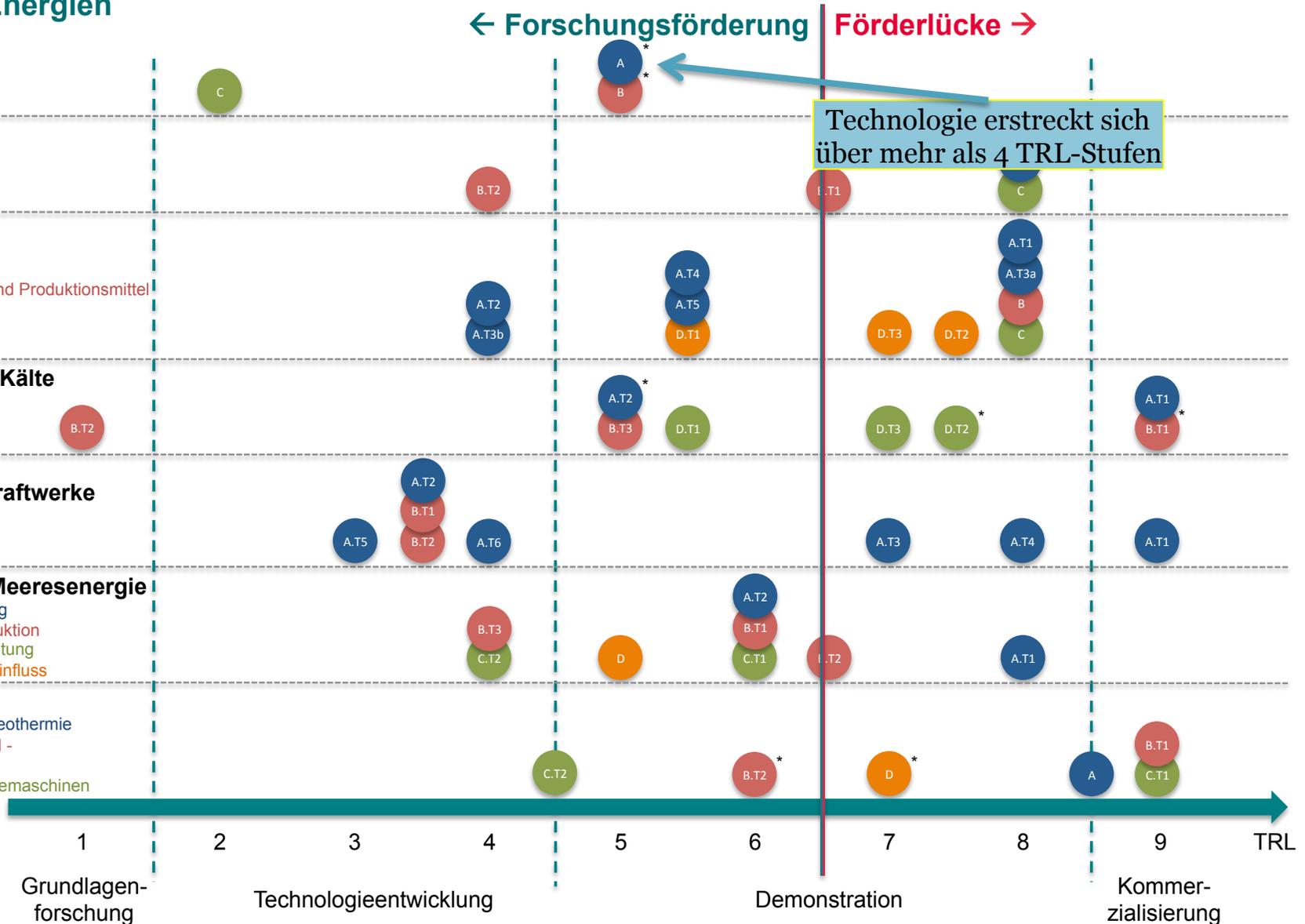
- A: Parabolrinne und Tower
- B: Hybride Biomasse-Heizkraftwerke

TF 1.6 Windenergie inkl. Meeresenergie

- A: Windpotenzial und Standortfindung
- B: Anlagentechnik, Design und Produktion
- C: Errichtung, Betrieb und Instandhaltung
- D: Vorhersagewerkzeug für Umwelteinfluss

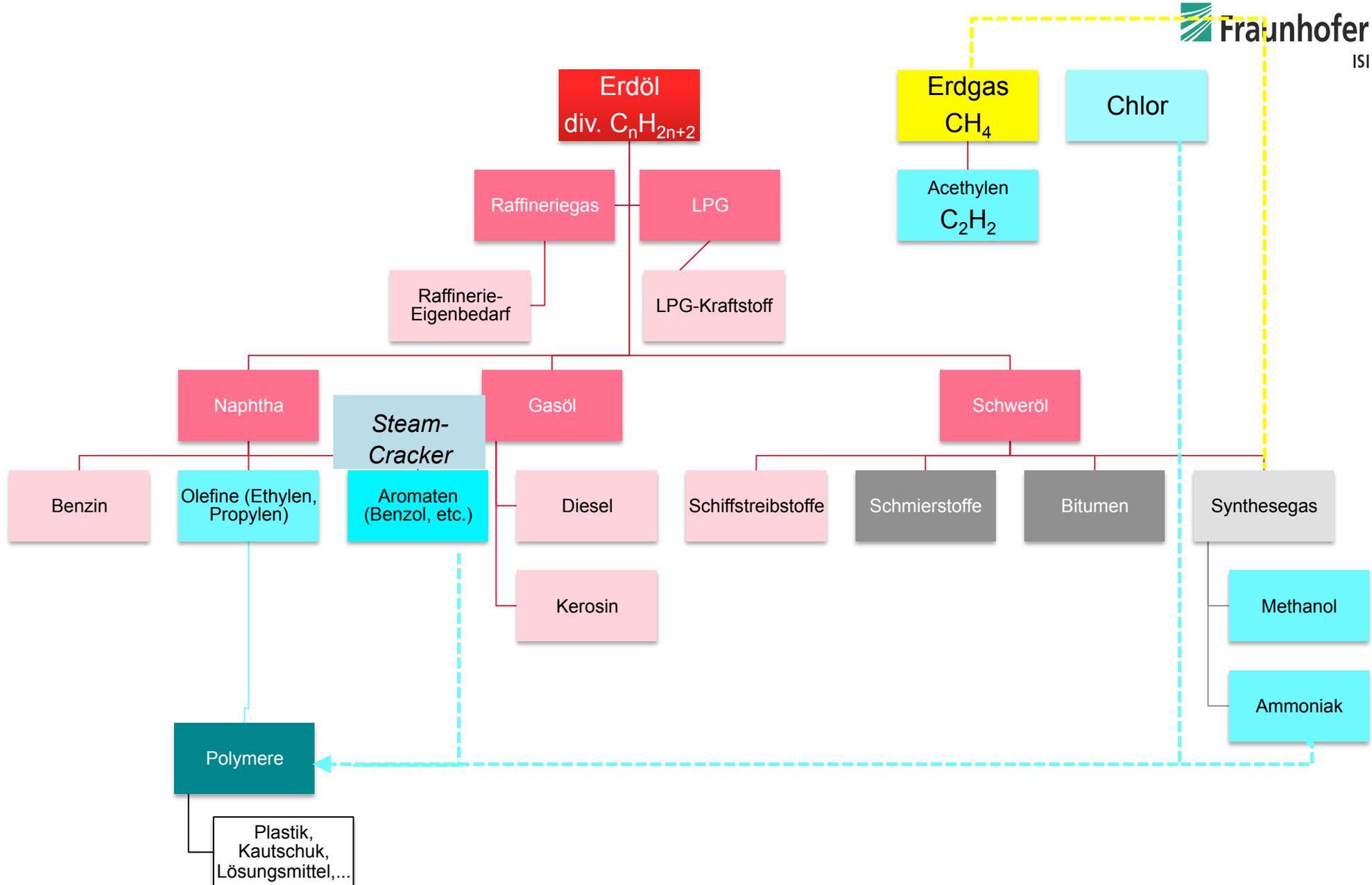
TF 1.7 Umweltwärme

- A: Erschließung, oberflächennahe Geothermie
- B: Kompressionswärmepumpen und -kältemaschinen
- C: Sorptionswärmepumpen und -kältemaschinen
- D: Systemintegration



*: Technologien, die sich über mehr als 4 TRL-Stufen erstrecken

Die Erdöl-Wertschöpfungskette in der EU



Technologiefeldbeschreibung

- Ethen (Ethylen) und Propen (Propylen): Zentrale Basischemikalien für die Kunststoffherstellung, i. d. R. im Steam Cracker gewonnen, Weiterverarbeitung u. a. zu Polyethylen und Polypropylen
- Steam Cracker spalten Naphtha (Rohbenzin) unter Einsatz von Brenngasen, die als Nebenprodukt des Steam Cracking entstehen

Stand F&E

- *Neuartige Ofenwand-Beschichtung*: Bisher Niederschlag von Koks an Rohrwänden, behinderter Wärmetransfer. Neuartige Beschichtungen aus Keramik in Entwicklung, sollen die Verkokung vermindern.
- *Katalytisches Cracken*: Senkung der Betriebstemperatur durch Katalysatoren. Grundlagen durch Experimente und Prozessmodellierungen erforscht, aber großtechnisch noch nicht angewendet.
- *Alternative Prozesstechnologien*: Pyrolyse und Gasifizierung von Kunststoffabfällen (Teil des TF 6.4, aber hier nicht betrachtet)

Ausgewählte Kriterien

- *Abhängigkeit von Infrastrukturen:* bei CCS/CCU: Infrastrukturen für Transport/ Speicherung von CO₂. Ansonsten Nutzung bestehender Infrastrukturen an bisherigen Standorten (Rohstoffe, Produkte, Wärme)
- *Systemkompatibilität:* Steamcracker essenzieller Bestandteil der heutigen Petrochemie; von Naphta aus Raffinerien abhängig, aber ggfs. zukünftig auch Verarbeitung v. Naphtha oder Wachsen aus Fischer-Tropsch-Anlagen; mit CCS auch Einbindung in Kohlenstoffkreisläufe möglich

F&E-Bedarf

- *Verbesserung der Selektivität* (verminderte Koksbildung) im katalytischen Cracker
- Entwicklung *haltbarer und kostengünstiger Keramik* zur Auskleidung der Rohröfen
- *Systemanalytisch:* Einbindung in kohlenstoffarme Industriecluster

Technologiefeldbeschreibung

- Umwandlungstechnologie zur Kopplung der Sektoren Strom und Wärme
- Technisch sehr unterschiedliche Querschnittsanwendungen
- Art der Umwandlung:
 - Rein elektrisch: Strom als Hauptenergiequelle (z. B. Elektrodenkessel)
 - Strom als Hilfsenergie: Anhebung von Wärme auf techn. nutzbares Niveau (z.B. Wärmepumpe)
- Hier nur industrielle PtH-Anwendungen. Relevante Branchen für Prozesswärme-Elektrifizierung: Papier, Raffinerien, Grundstoffchemie, Glas/Keramik, Zement, Eisen/Stahl, NE-Metalle

Stand F&E

- Bereits zahlreiche Forschungsprojekte und –plattformen zu PtH, aber vorrangig im Bereich Haushalte und Fernwärme
- Keine systematischen Analysen zu PtH-Potenzialen über versch. Industriebranchen und Technologien, insb. Elektrifizierungspotenziale industrieller Prozesswärme

➤ **Infrastruktur-Abhängigkeiten:**

- bestehende Stromleitungen benötigt
- ggfs. Ausbau von Anschluss- und Übertragungskapazitäten
- bei monovalenter Betriebsweise zusätzlich: REG-Ausbau (für Klimavorteil)
- ggfs. Aus- oder Neubau von Speichern und Backup-Systemen

➤ **Systemkompatibilität:**

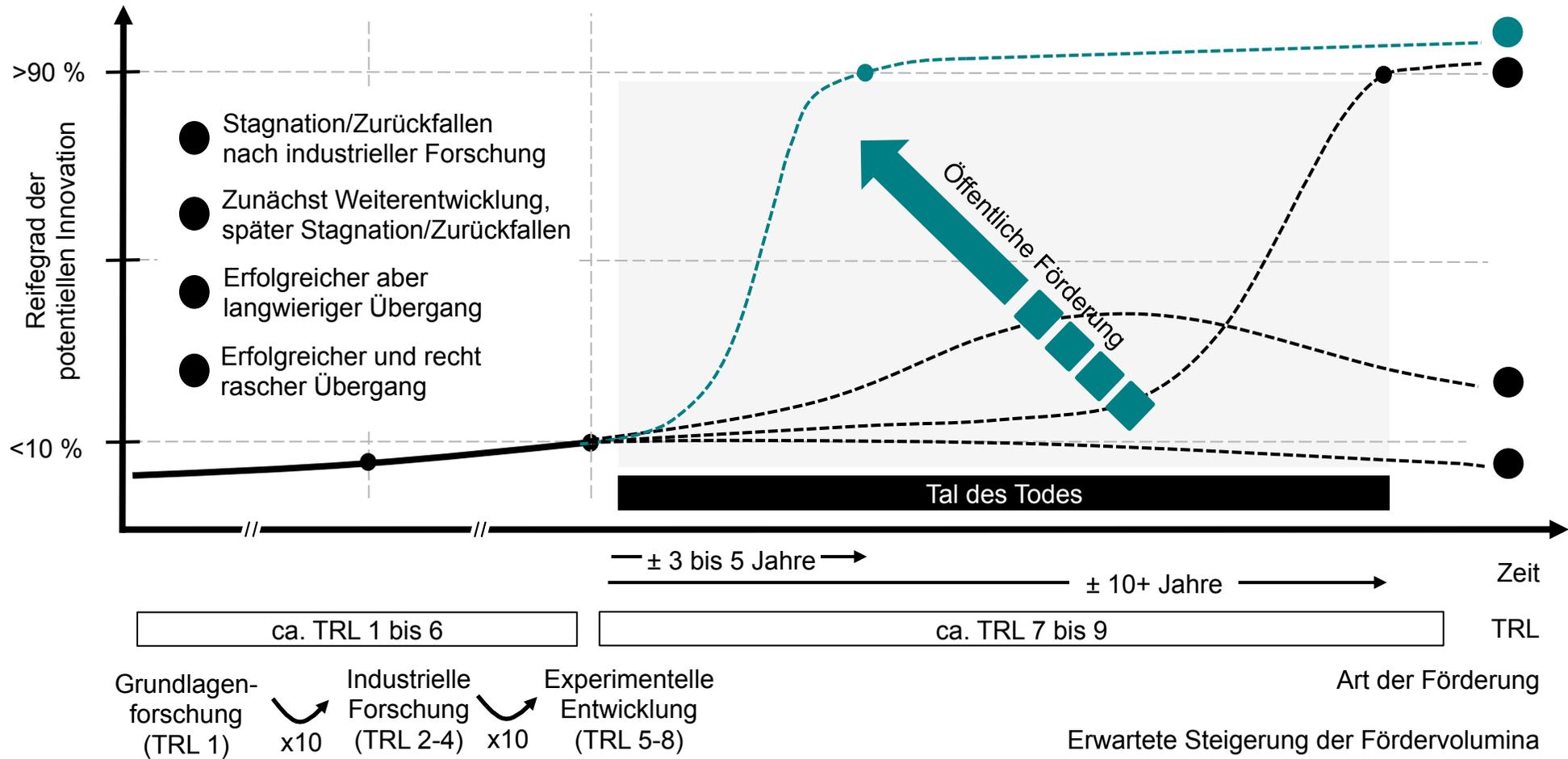
- System-Rückwirkungen (Spannungsänderung, Phasenverschiebung, ...) auf gesamtes Stromnetz (über lokale Ebene hinaus) nur bei großem Anlagenbestand (größeres Ausmaß bei monovalenter Fahrweise)
- im Einzelfall: flexible industrielle PtH zur Reduzierung der Netzbelastung, aber auch Konkurrenz zu anderen DSM-/Speicher-/PtH-Lösungen (z. B. Wärmepumpen)
- großer PtH-Bestand in geregelter DSM-Einsatz: Reduktion von Netzbelastung und REG-Curtailment
- Monovalente Fahrweise: bei Engpass REG-Strom Mehrverbrauch fossiler Brennstoffe in konventionellen Kraftwerken

F&E gesamtes Technologiefeld

- Analyse einer vollständigen Elektrifizierung industrieller Prozesswärme: Technisches, wirtschaftliches und Umsetzungs- bzw. Marktpotenzial
- Flexibilisierung von Prozessen (DSM) durch PtH und Auswirkungen
- Anpassung Strommarktdesign (flexible Strompreisbestandteile)
- Thermische Speicher zur Flexibilisierung / Sektorkopplung, Schwerpunkt Hochtemperaturbereich
- Vorrang der effizienteren Wärmepumpen vor direkter Elektrifizierung: F&E von ind. HT-Wärmepumpen in Kombination mit Abwärmenutzung
- Elektrifizierung und EE-Ausbau als gemeinsame Strategie: Begleitung durch systemische Forschung und Monitoring

Ein Vorschlag zum Überwinden des „Tal des Todes“ bei der Forschungsförderung

Motivation für einen Ansatz zur Entscheidungsunterstützung



Grundmotivation: Überwindung des „Tal des Todes“ zwischen Forschungsförderung und wirtschaftlicher Verwertung

Herausforderungen staatlicher Förderung von anwendungsnahen Forschungsvorhaben

- **Vielfältige Fördermöglichkeiten und hoher Mittelbedarf**
 - Angesichts limitierter Fördermittel: Auswahl nach Notwendigkeit und Erfolgchancen
- **Höherer Transparenzbedarf**
 - Notwendigkeit einer objektiven, transparenten und nachvollziehbaren Entscheidung
- **Abhängigkeit vom Marktumfeld**
 - Erfolg wird auch durch Rahmenbedingungen des Marktes determiniert
- **Festlegung des Förderengagements**
 - Entsprechende Förderhöhe um Erfolg zu sichern vs. wirtschaftlichen und sparsamen Mitteleinsatz
 - Rechtlicher Rahmen (nationales Haushaltsgrundsätzegesetz, europäisches Beihilferecht)

Zielsetzung und Teilarbeiten innerhalb des strategischen Leitprojekts

Ziel des Teilprojekts

Entwicklung eines Vorschlags für einen operativ nutzbaren Ansatz zur Entscheidungsunterstützung für staatliche Förderentscheidungen von anwendungsnahen Forschungsmaßnahmen

Anforderungspapier

Zusammenstellung von Anforderungen ausgehend von einer Rahmenanalyse und einem Austausch mit Projektträgern

Bewertungsleitfaden

Entwicklung eines praxisorientierten Leitfadenvorschlags und Überarbeitung im Austausch mit dem PTJ

Evaluation

Überprüfung der Praktikabilität des Leitfadens anhand realitätsnaher Förderfälle durch IZES und Anpassungen

*Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
IZES – Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
| 31. Januar 2018*

Teilbericht 4 **des Forschungsprojekts** **TF_Energiewende –** **Entscheidungsunterstützung** **für die staatliche Förderung** **anwendungsnaher** **Forschungsvorhaben –** **Teil A: Anforderungen**

Teilprojekt A im Rahmen des strategischen
BMW – Leitprojekts „Trends für die
Energieforschung“

Dr. Simon Hirzel

Dr. Tim Hettesheimer

(Fraunhofer-Institut für System- und
Innovationsforschung ISI)

Kriterienkatalog der 2. Bewertungsstufe



Konsequenzen für Einreichung von Anträgen

- Strenger Auswahlprozess (wenige, große Modell- und Demovorhaben)
- Nachweis einer hohen Wahrscheinlichkeit für den erfolgreichen Markteintritt
- Klare Herausstellung des Mehrwerts des Vorhabens
- Hervorhebung des Förderbedarfs (Existenz von technischen und wirtschaftlichen Risiken, die aber überwindbar erscheinen)
- Sicherstellung von hoher Sichtbarkeit
- Gestaltung des Konsortiums sollte spezielle Anforderungen widerspiegeln (Industrie, Wissenschaft, Städte und Kommunen, Kommunikationsexpertise, ...)
- Darstellung eines signifikanten Beitrag zu den drei Kernzielen der Energieforschung