

**Thomas Herlitzius**

Professur für Agrarsystemtechnik

# Grüner Wasserstoff für Traktoren !?

Dresden Montag 27.06.2022

6. DS (16:40) MER/02/H



**PROCESSING  
FUTURE**

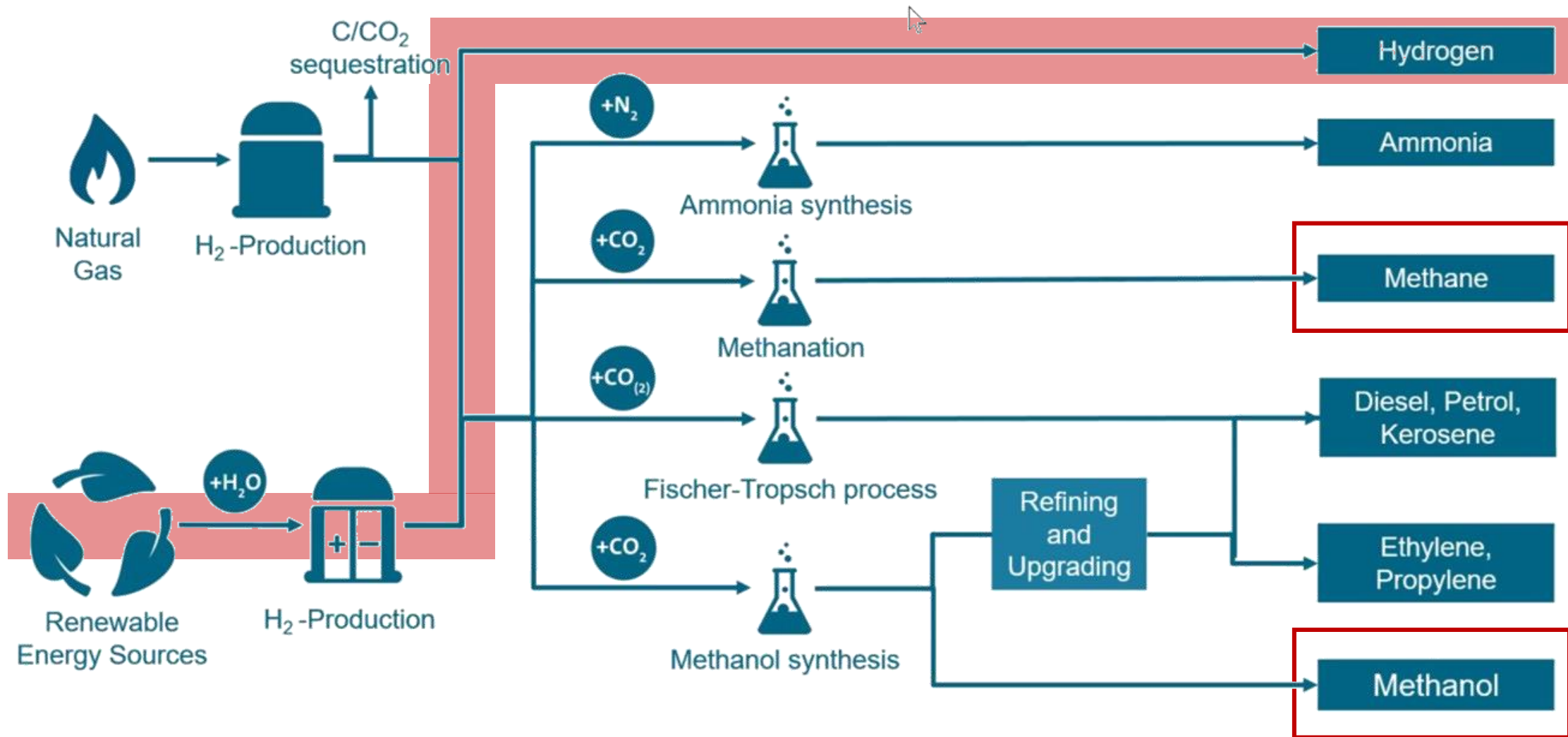
**Verfahrenstechnik  
gestaltet  
Zukunft.**

Vortragsreihe der Institute für  
Verfahrenstechnik und Umwelttechnik (IVU) und  
Naturstofftechnik (INT)

Themenschwerpunkt „Verfahrenstechnik und H<sub>2</sub>“

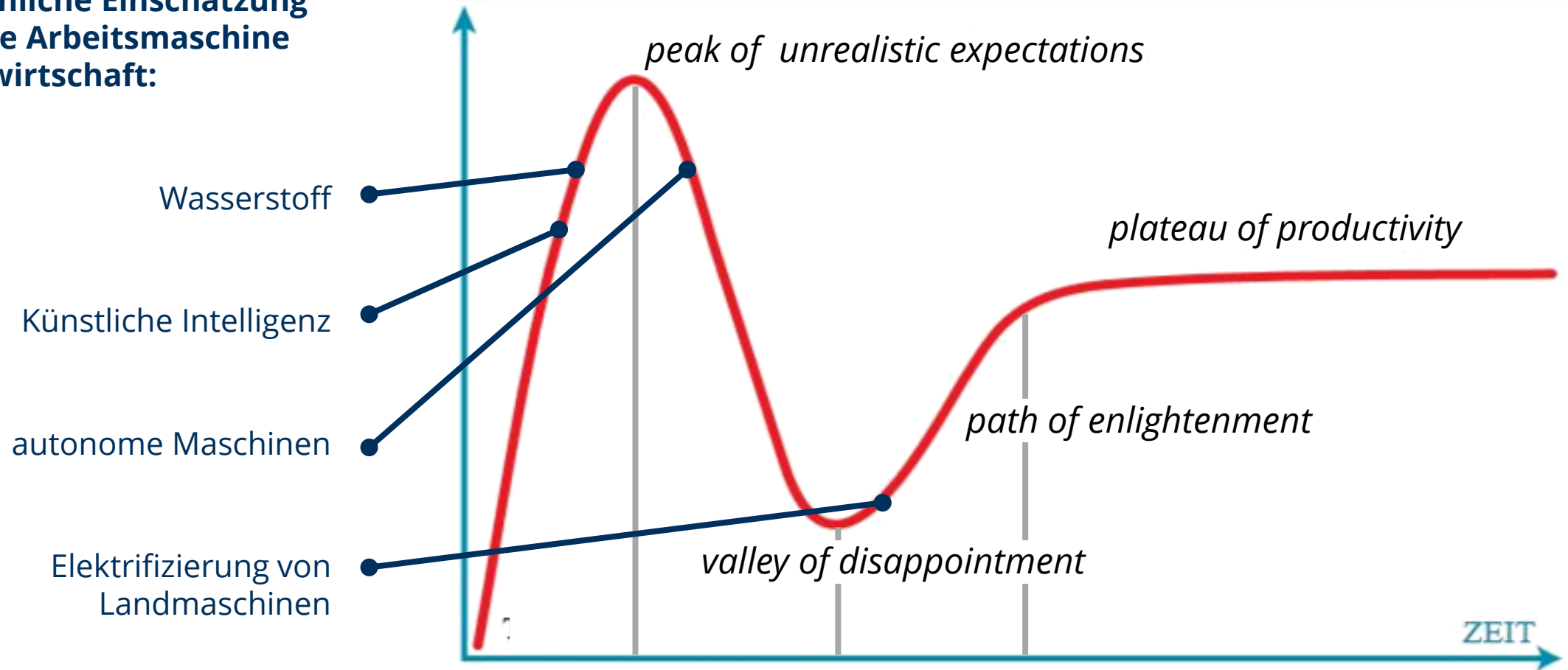
- **Professur Agrarsystemtechnik:**  
Grüner Wasserstoff für Traktoren !?
- **Abschlussgrillen**
- **Vereinssitzung**

# Power to X - Übersicht der Prozesse und Produkte (Quelle: VDMA)

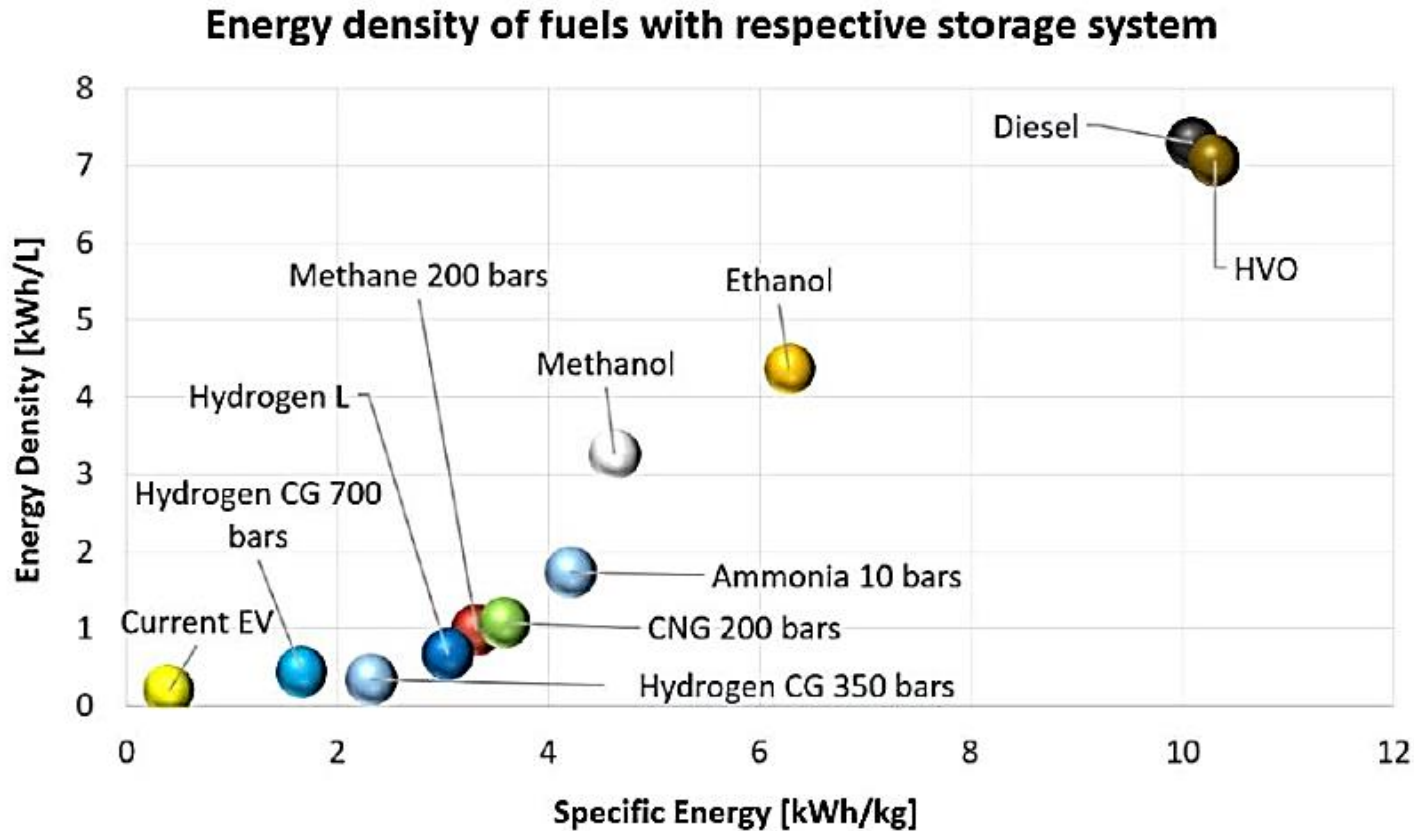


# Der (Wasserstoff) Hype Cycle

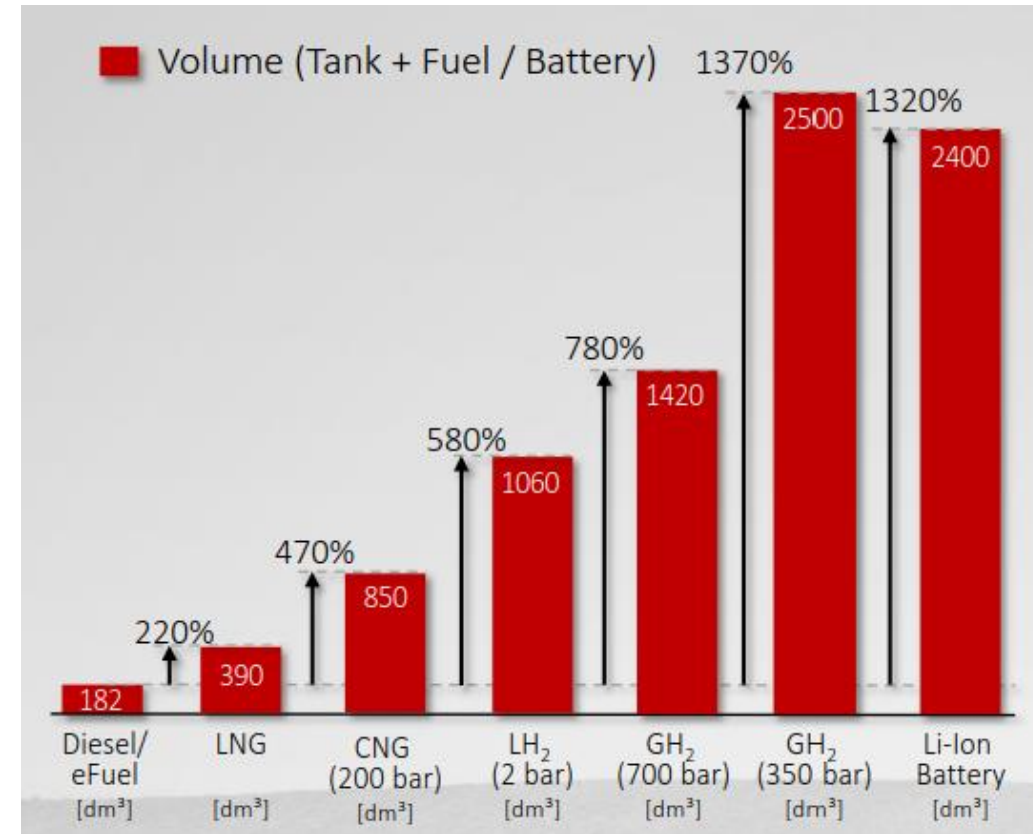
persönliche Einschätzung  
mobile Arbeitsmaschine  
Landwirtschaft:



# Leistungsdichte und -volumen – eine der wichtigsten Anforderungen bei mobile Arbeitsmaschinen



(Quelle: Weiss, The Off-highway Sector in the field of tension. Motorenkongress Baden Baden 2022)



(Quelle: Deutz-Fahr)

# Anforderungen Landwirtschaft

- **Leistung unter allen Umständen abrufbar (Schlüsselbegriff: Verfügbarkeit)**  
**Betrieb auch nach längeren Standzeiten problemlos möglich**
- **Schnelles Tanken/Laden für lange Einsatzdauer, Tankinfrastruktur**
- **Hohe Drehmomentanforderung, hohe Varianz der Lastkollektive**
- **Kosten/Aufwand für Kraftstoff-/Energilagerung wettbewerbsfähig**
- **Off-Road Tauglichkeit (Bodenfreiheit, Gewicht, Schwingungen, Staub, Temperatur))**

## Wasserstoff Vorteile

- emissionsfrei
- keine Motorengeräusche wenn Brennstoffzelle
- unendlich verfügbar
- besser als Batterie
- schnelle Betankung

## Wasserstoff Nachteile

- geringer Wirkungsgrad
- hoch entzündlich
- schlechte Infrastruktur
- hohe Kosten

# Deutscher Markt Bau- und Landmaschinen

## Mobile Baumaschinen in Deutschland

- ca. 600.000 Stück im Jahr 2014  
Annahme 8 l/h bei 30-iger Auslastung  
→ ca. 3.800 t CO<sub>2</sub> pro Betriebsstunde
- Anteil im Verkehrssektor
  - 6 % Nox
  - 10 % Partikelemissionen

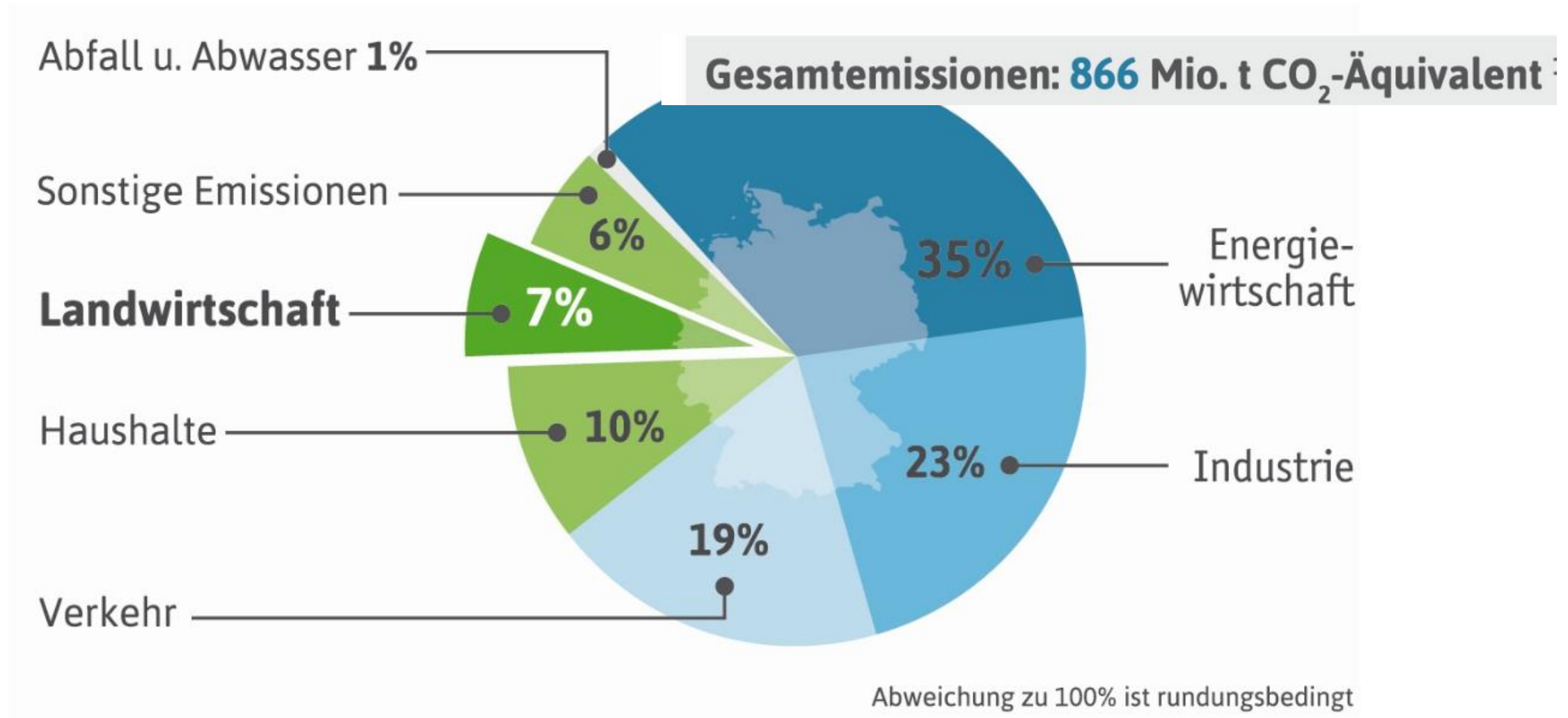
## Landmaschinen in Deutschland

- ca. 1,5 Mio. Bestands-Traktoren und 300.000 Selbstfahrer im Jahr 2018, Annahme 100l/ha  
→ ca. 4,5 Mio t CO<sub>2</sub>
- Anteil für mobile Maschinen
  - 10 % Nox
  - 34 % Partikelemissionen



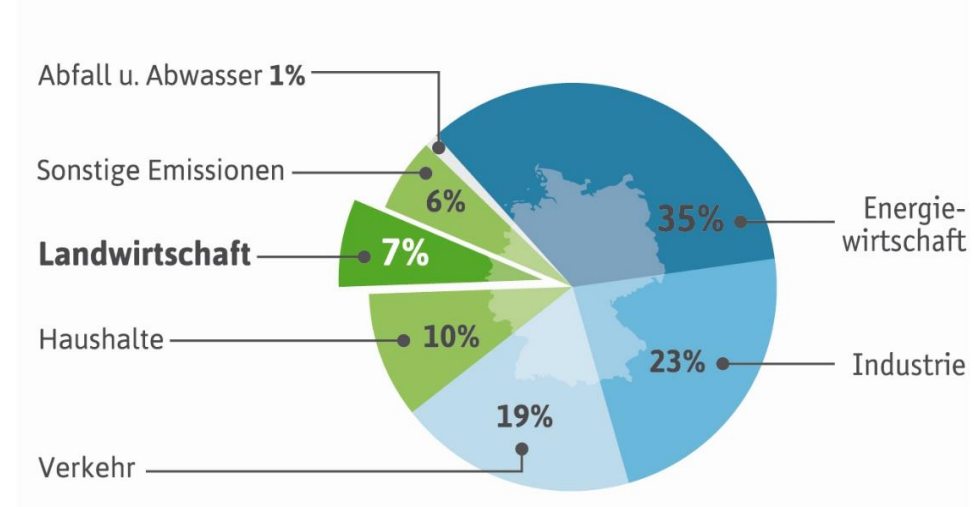
# Deutsche Treibhausgasemissionen gesamt und Landwirtschaft

(2018, Quelle UBA)



# Landwirtschaft als Emittent - CO<sub>2</sub> ist der geringste Anteil der THG

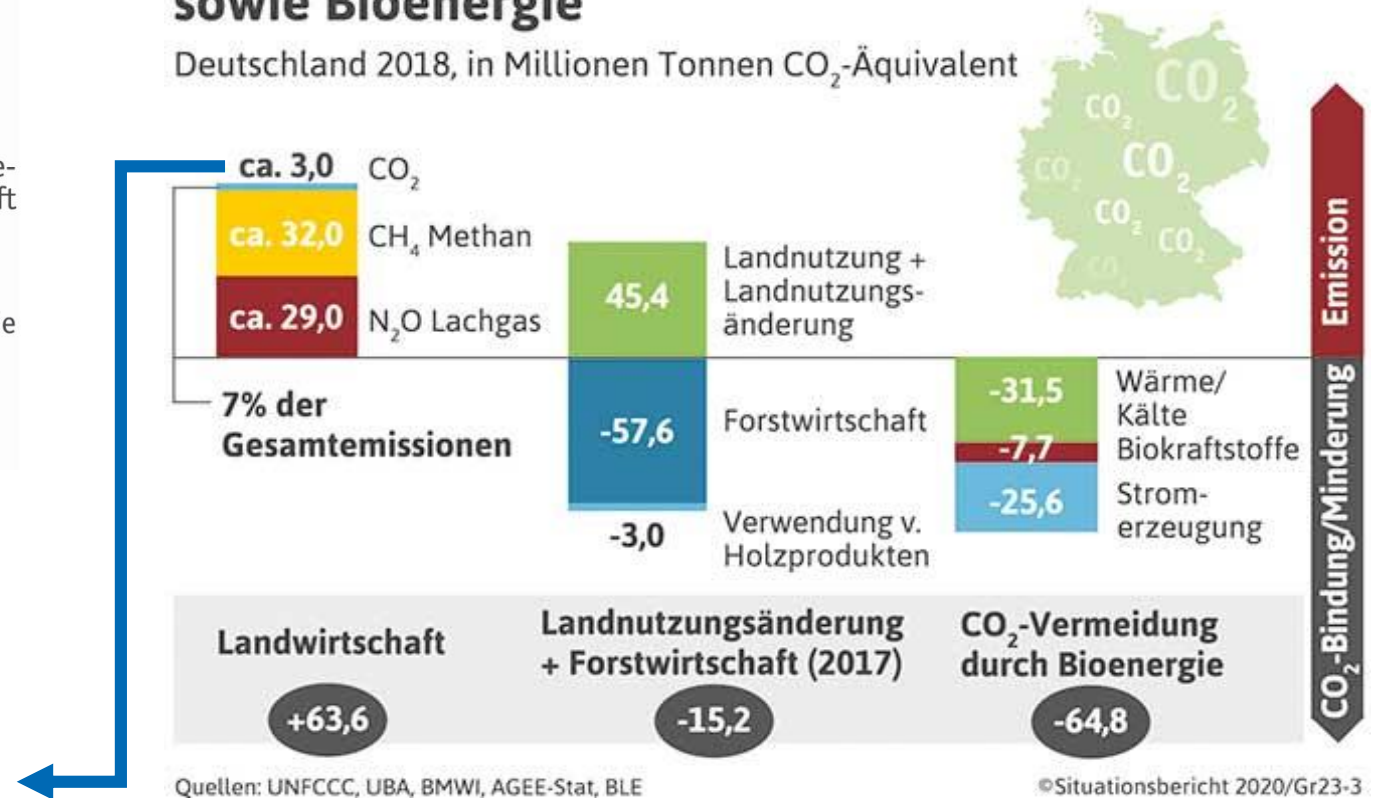
Deutsche Treibhausgasemissionen nach Sektoren 2018



→ CO<sub>2</sub> Anteil Landw. 4,7% der 7%  
 → 0,33% der deutschen CO<sub>2</sub> Emissionen

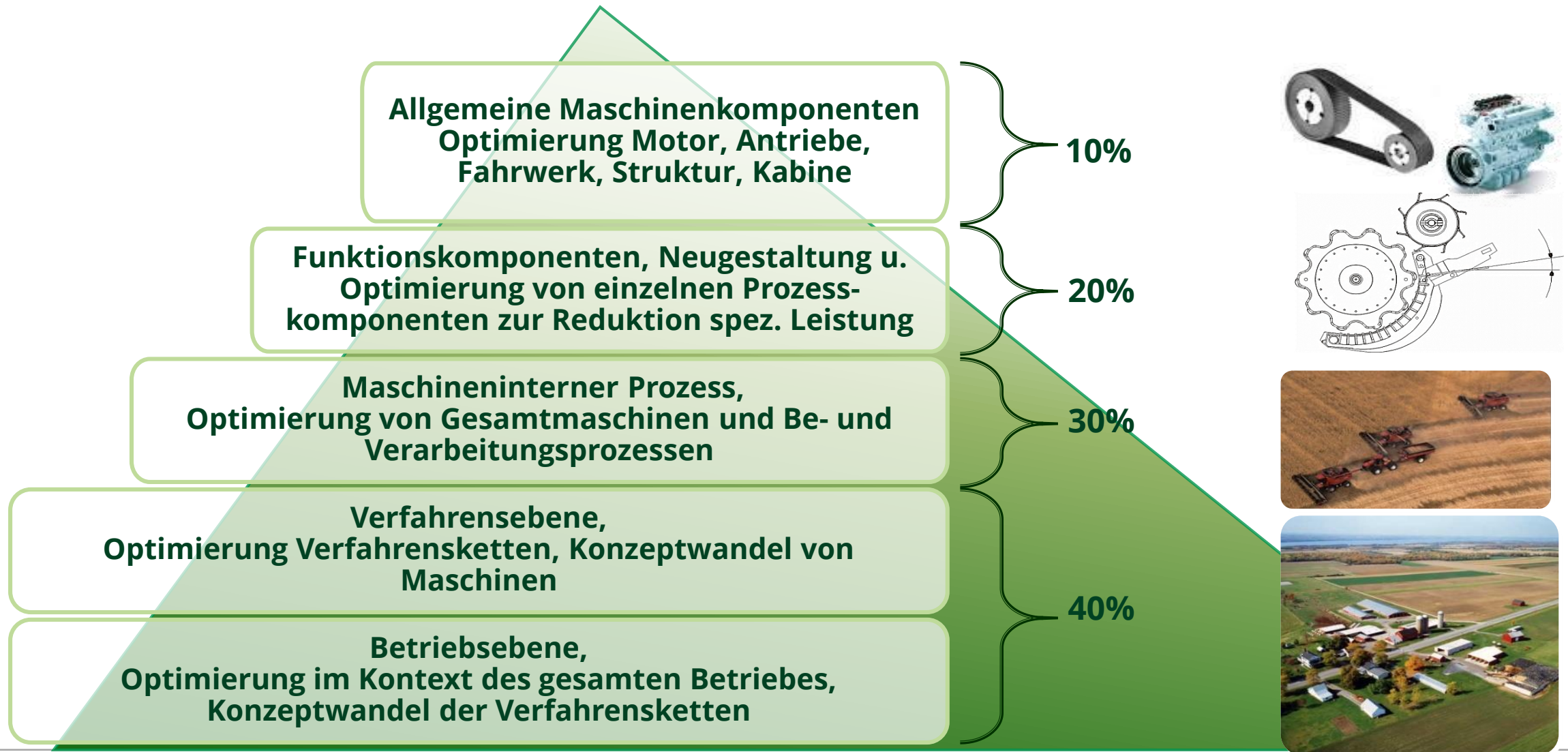
## Klimagase der Land- und Forstwirtschaft sowie Bioenergie

Deutschland 2018, in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent

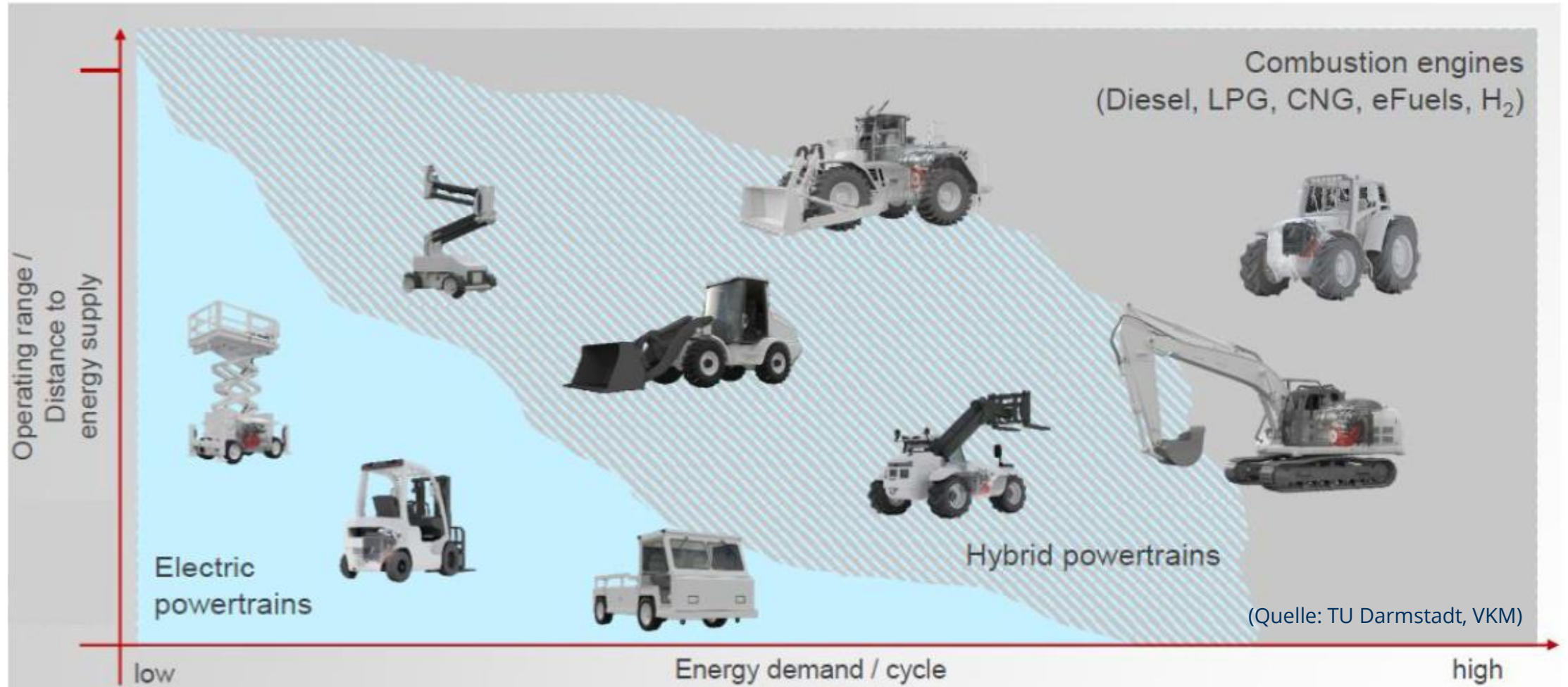




# Potenzial CO<sub>2</sub>-Reduktion durch Reduktion Kraftstoffverbrauch



# Moderne Antriebstechnologien heute

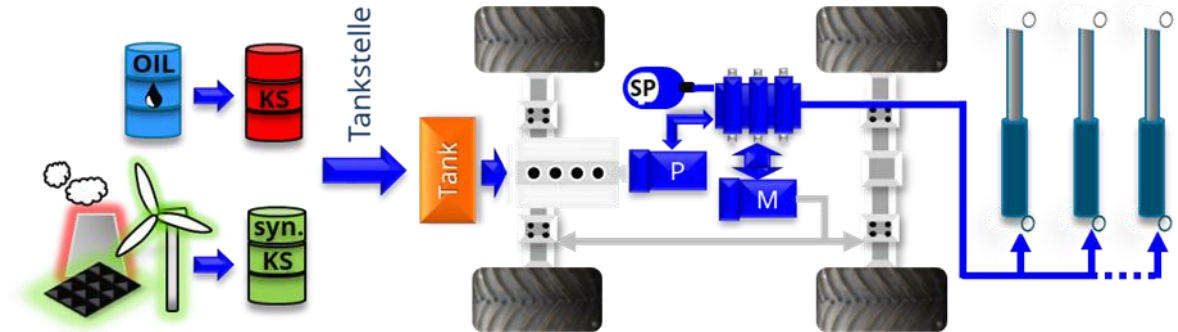


# Motivation und Zielsetzung GHG Reduktion bei mobilen Arbeitsmaschinen – wenn Einschränkung auf Antriebstechnologie

Übertragbarkeit von nachhaltigen und umweltfreundlichen Antriebstechnologien in Abhängigkeit des Maschinentyps, der Maschinengröße und des Prozesses, Referenz: dieselbetriebene Arbeitsmaschinen (konventionelles Fahrzeug)

## Analyse der Antriebskonzepte

- mechanisch
- hydraulisch
- dieselektisch
- kabelgebunden elektrisch
- batterieelektrisch
- leistungsverzweigt
- Wasserstoffbetrieben
  - Brennstoffzelle
  - Verbrenner

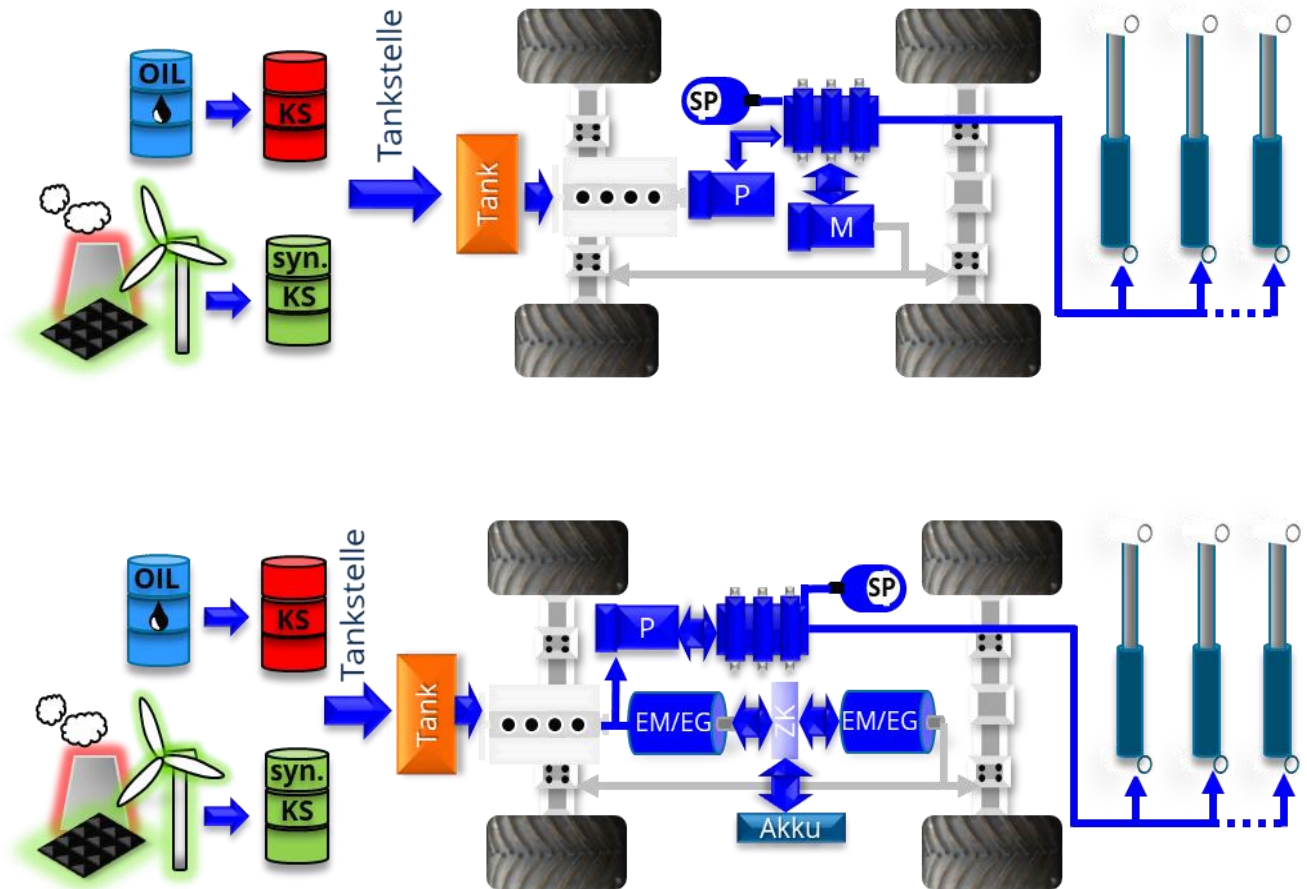
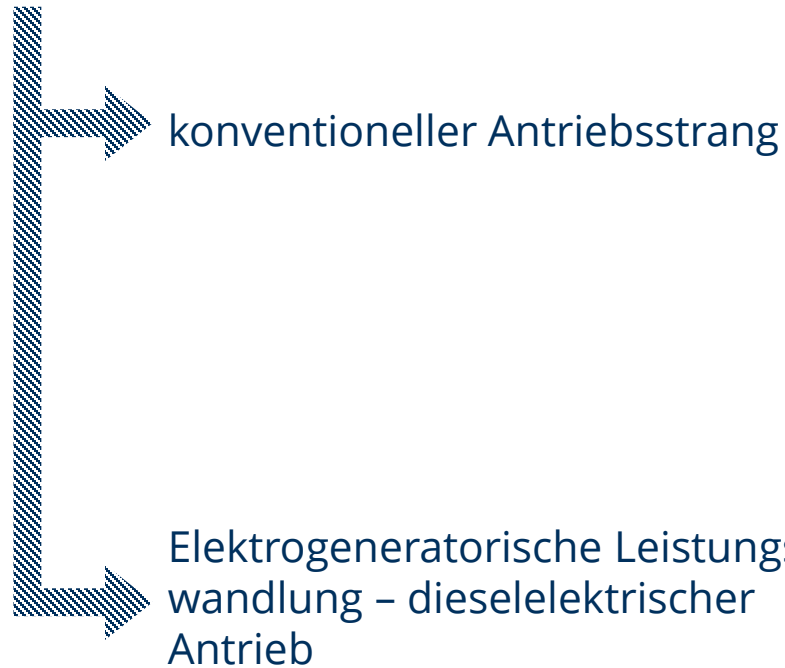


→ **Betrachtung verschiedener Energiequellen: Diesel, E-Fuel, Strom, CNG, LPG, H<sub>2</sub>**

→ **Eruierung sinnvoller Anwendungen für die Elektrifizierung im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen**

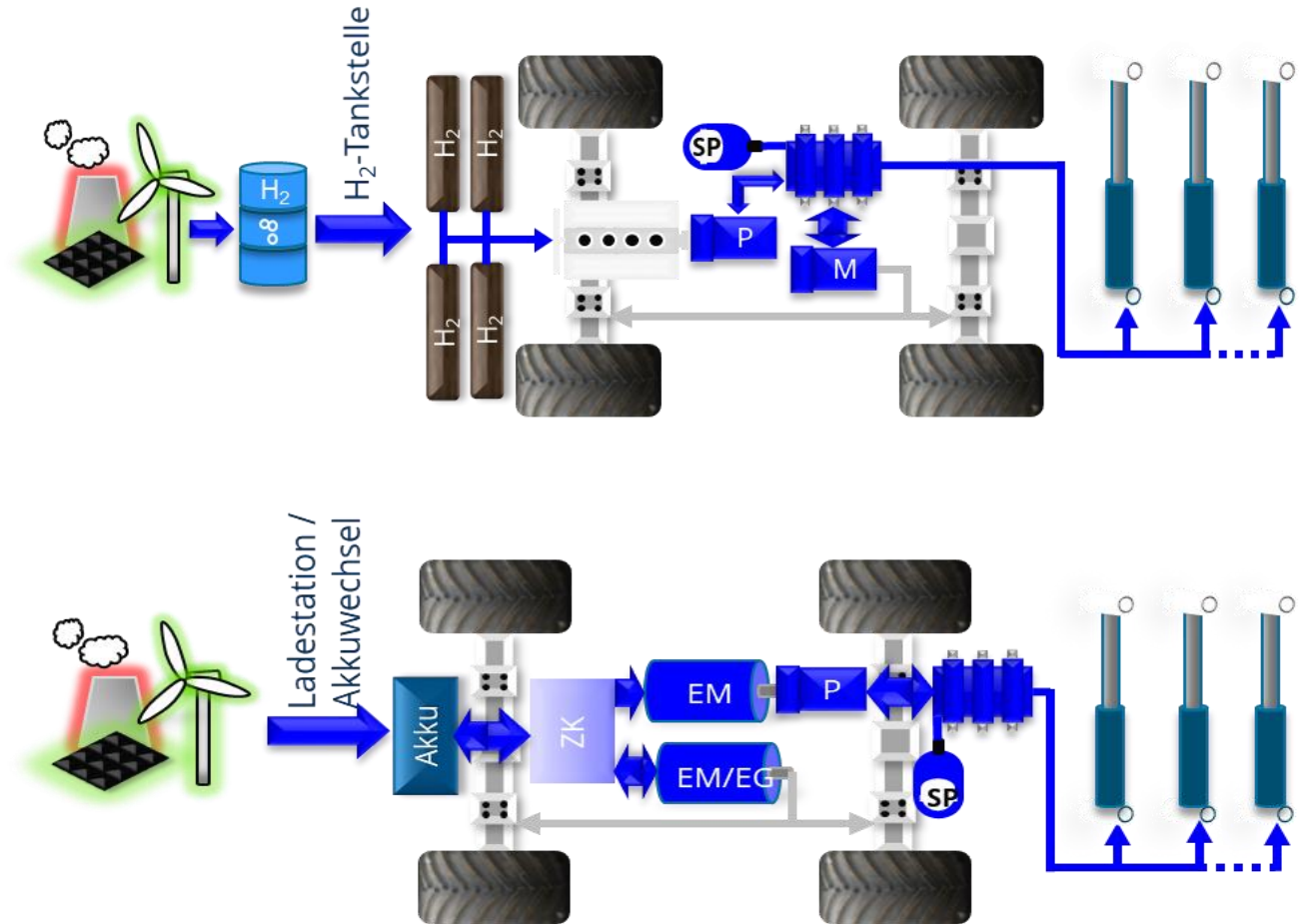
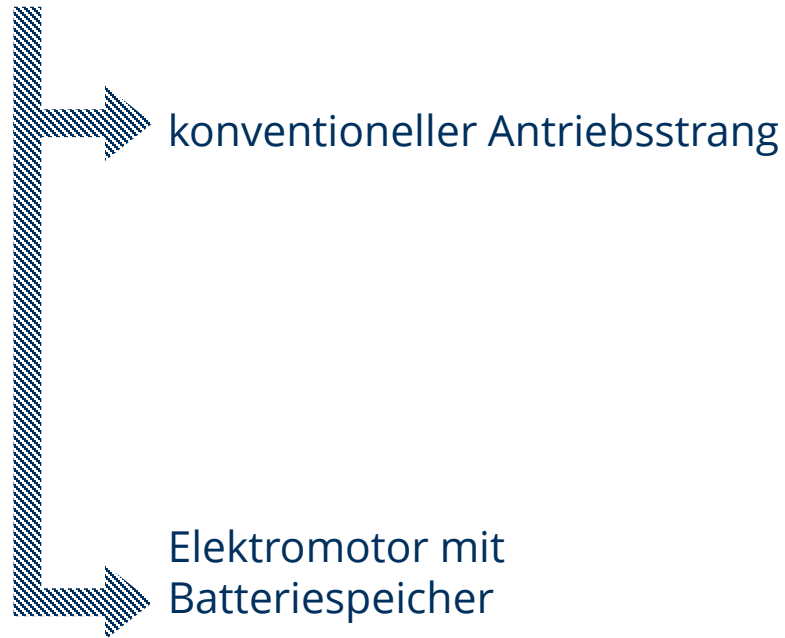
# Antriebstechnologien in mobile Arbeitsmaschinen

## Verbrennungsmotor mit konventionellen oder synthetischen Flüssig-Kraftstoffen



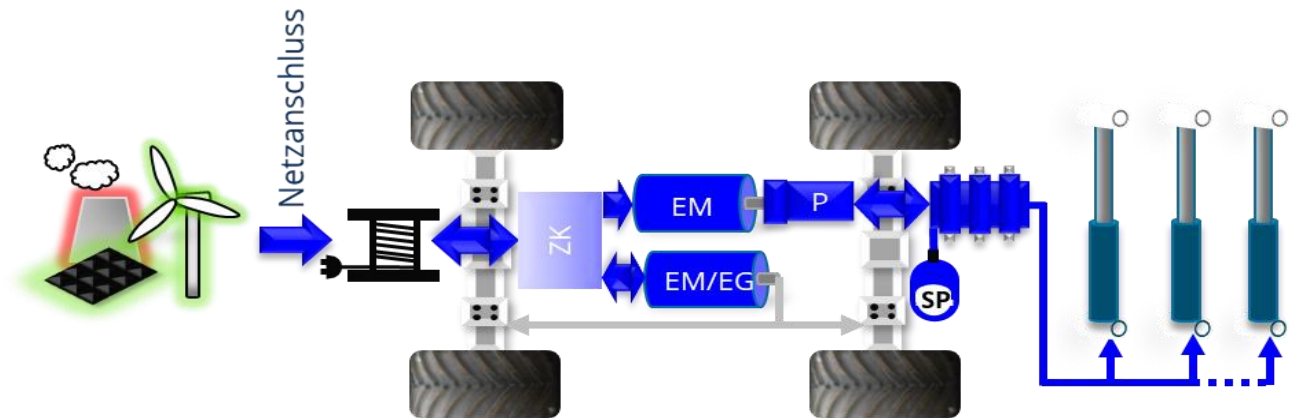
# Antriebstechnologien in mobile Arbeitsmaschinen

## Gas-Verbrennungsmotor mit gasförmigem Wasserstoff

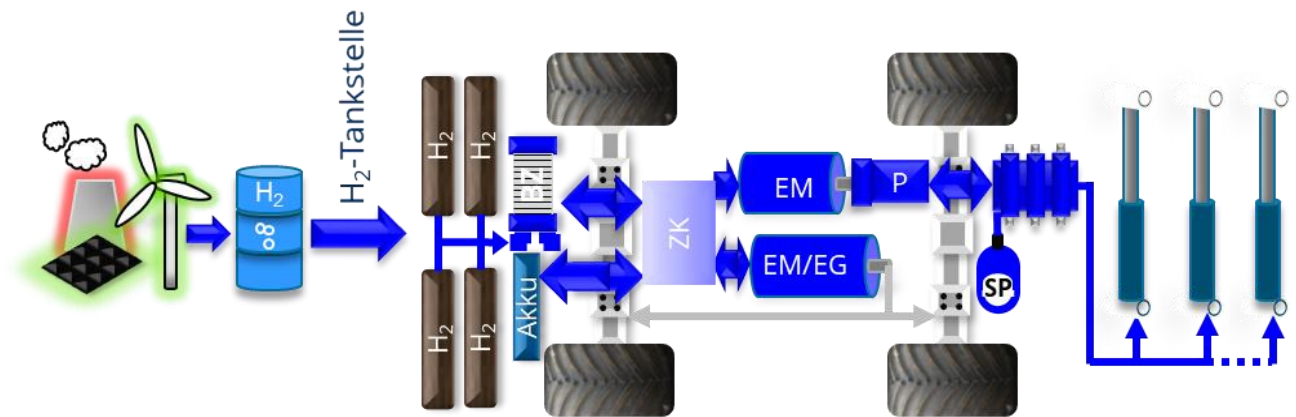


# Antriebstechnologien in mobile Arbeitsmaschinen

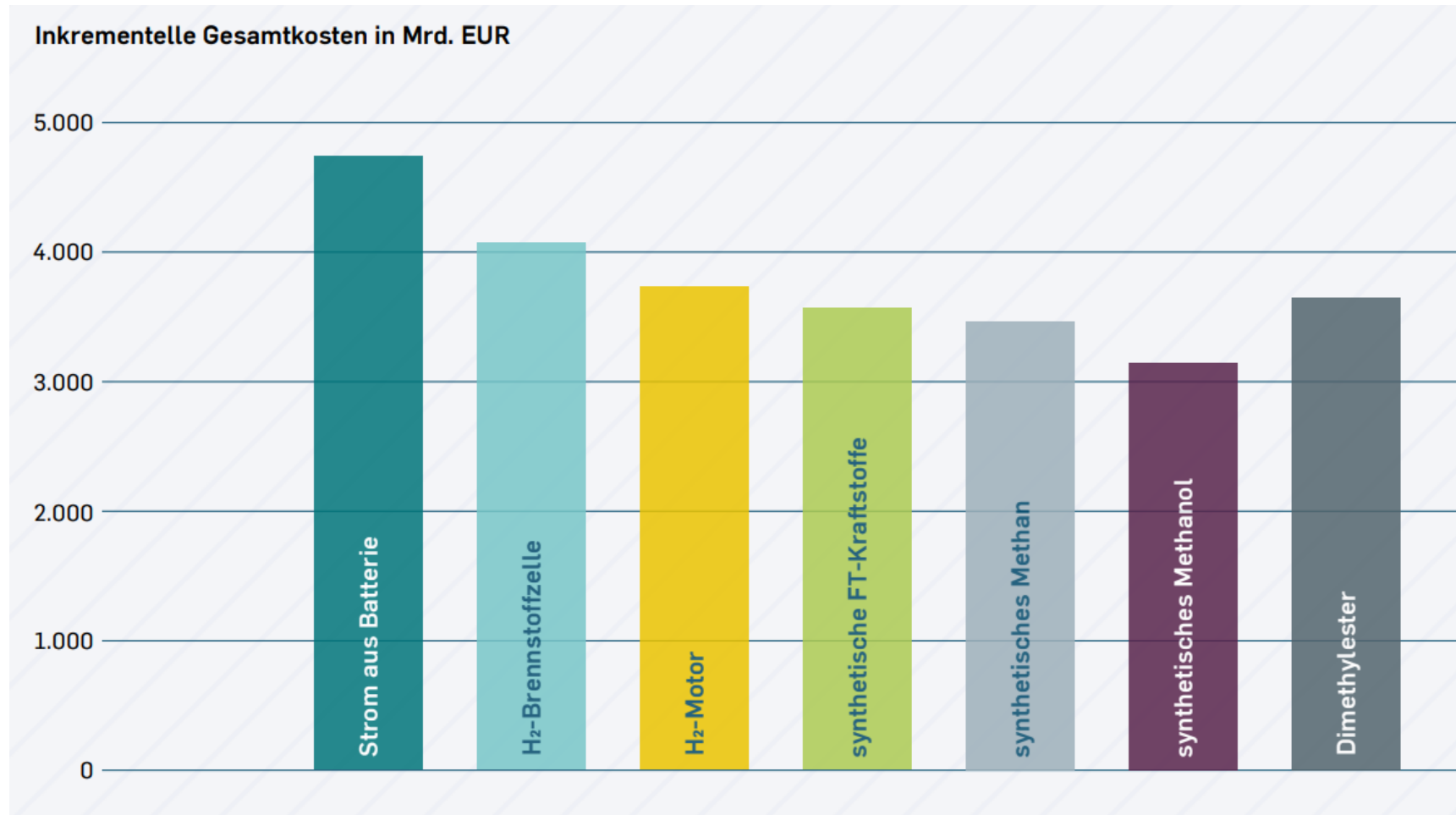
Konzept E) Elektromotor mit leitungsgebundener Versorgung (Kabel)



Elektromotor mit gasförmigem Wasserstoff und Brennstoffzelle



# Mehrkosten für Umstellung auf klimaneutrale Energieträger und zugehörige Antriebe im Straßenverkehr



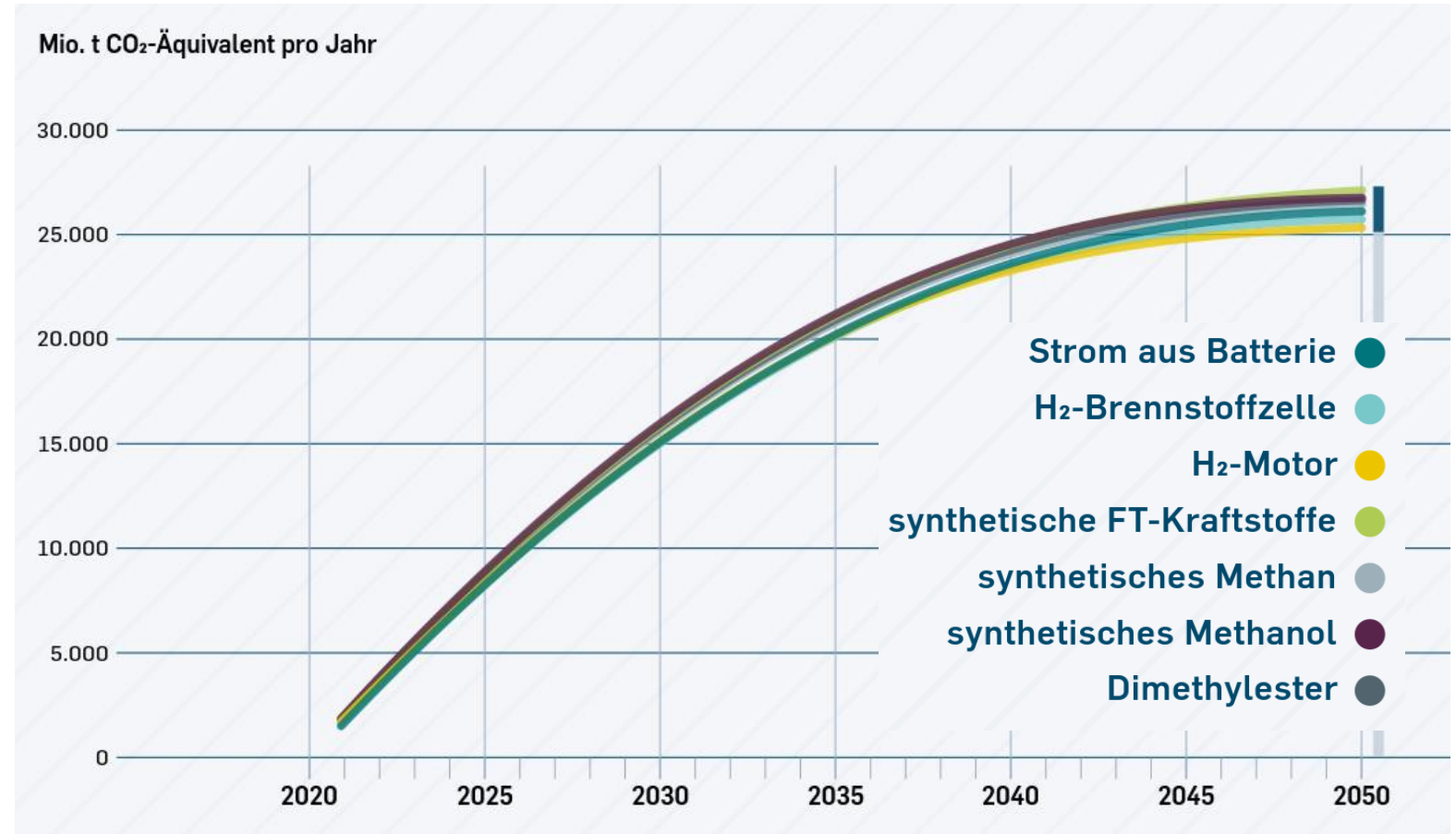
(Quelle: FV-Studie Transformation of mobility to the GHG-neutral post-fossil age)

# Zeit ist der entscheidende Faktor: Kumulierte Emissionen - Vergleich Energieträger- Antriebskombinationen

Bei identischer Geschwindigkeit der Implementierung im Markt unterscheiden sich die kumulierten Emissionen verschiedener Energieträger-Antriebskombinationen kaum.

**Wichtiger als die Technologie ist das Tempo der Einführung in den Markt**

(Quelle: FVV-Studie Transformation of mobility to the GHG-neutral post-fossil age)

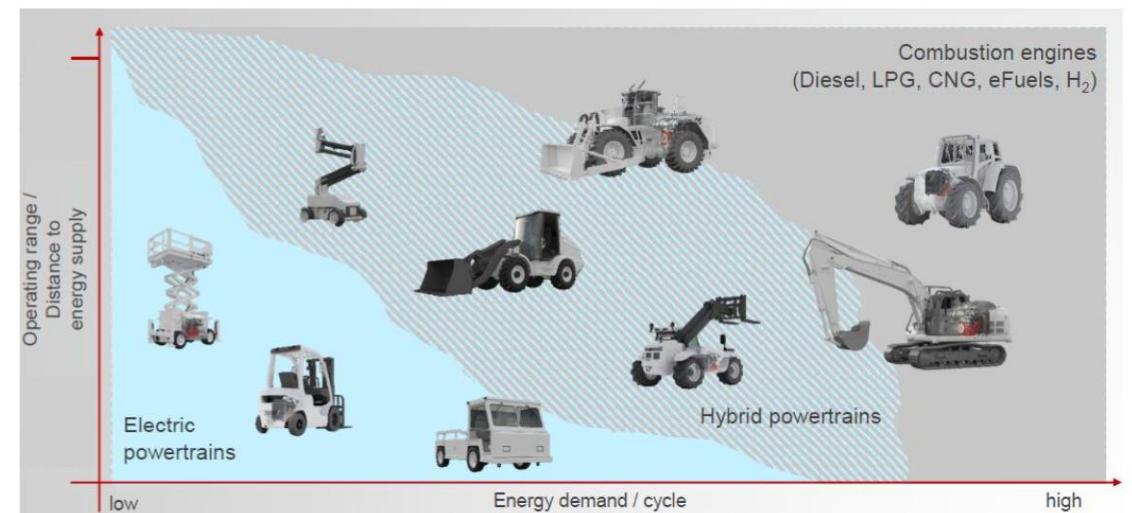




# Wissenschaftlich-technischer Ansatz zur Technologiebewertung

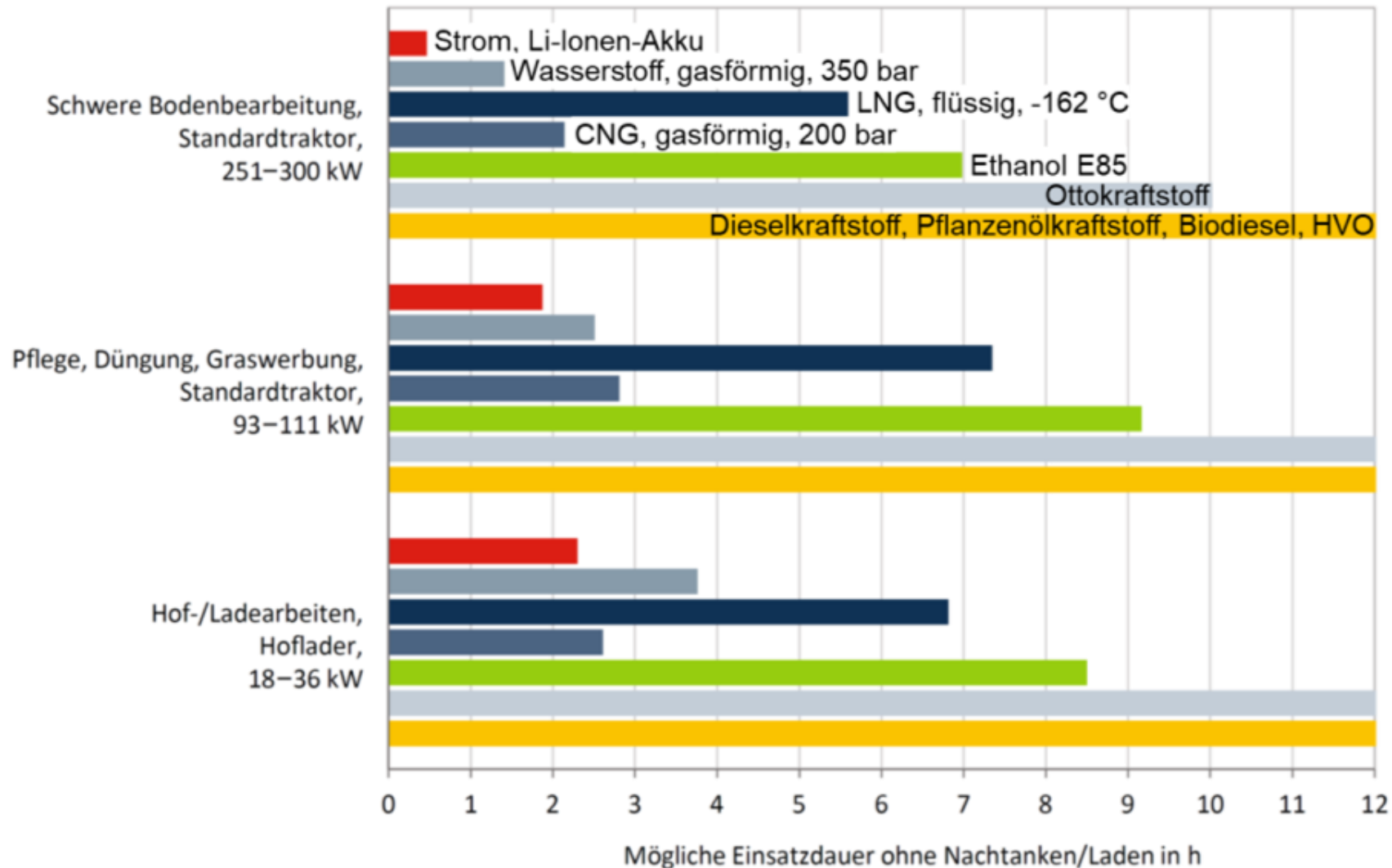
## Simulation und Vergleich verschiedener Antriebskonzepte in Abhängigkeit des Maschinentyps, der Maschinengröße und des Prozesses

- Energiedichte des Energieträgers → Volumen/Masse der Energiequelle
  - Gesamtenergiebilanzen (Tank-to-wheel; well-to-wheel) auf Basis vorhandenen Studien
  - Notwendige Infrastruktur für die jeweiligen Antriebskonzepte
  - Auswirkungen auf den Betrieb
- **Aussagen zum (Prozess)Wirkungsgrad**
  - **Notwendige Kapazität der Energiequelle**
  - **Quantifizierung der Emissionsreduktion**
  - **Agilität der Arbeitsmaschine (Produktivitätssteigerung, Steigerung der Sicherheit)**
  - **Notwendige Ladezeiten, Versorgungssicherheit**
  - **Investitions- und Betriebskosten**



# Beispiel Vergleichende Bewertung der Energiespeicherkapazität

(Quelle: Eckel, KTBL)



# Demonstrationsprojekt H2-Agrar

- Entwicklung und Demonstration einer grünen Wasserstoffinfrastruktur für die Landwirtschaft
- Potenzialanalyse: Grüner Wasserstoff für die Mobilität in der niedersächsischen Landwirtschaft
- Entwicklung von Wasserstoff-Traktoren und Erprobungen in der Modellregion Entwicklung von Wasserstoff-Traktoren und Erprobungen in der Modellregion
- Verfahrenssimulation und Mobilitätsmodell für den Einsatz von Wasserstofftraktoren
- Entwicklung innovativer Transporteinheiten für Wasserstoff



# Beispiel Wasserstoff-Verbrennungsmotor

## Solutions for CO<sub>2</sub>-free Powertrains for Mobile Machinery

DEUTZ Hydrogen Engine

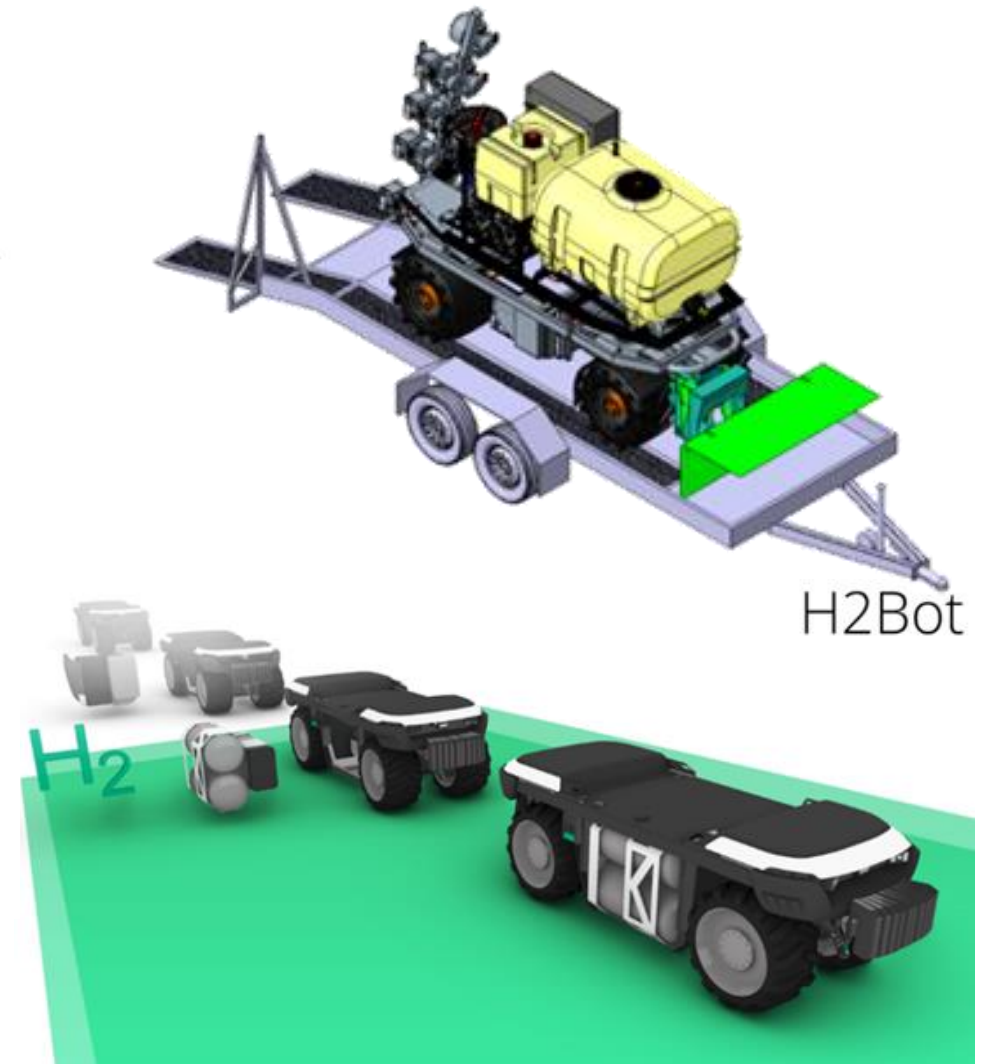
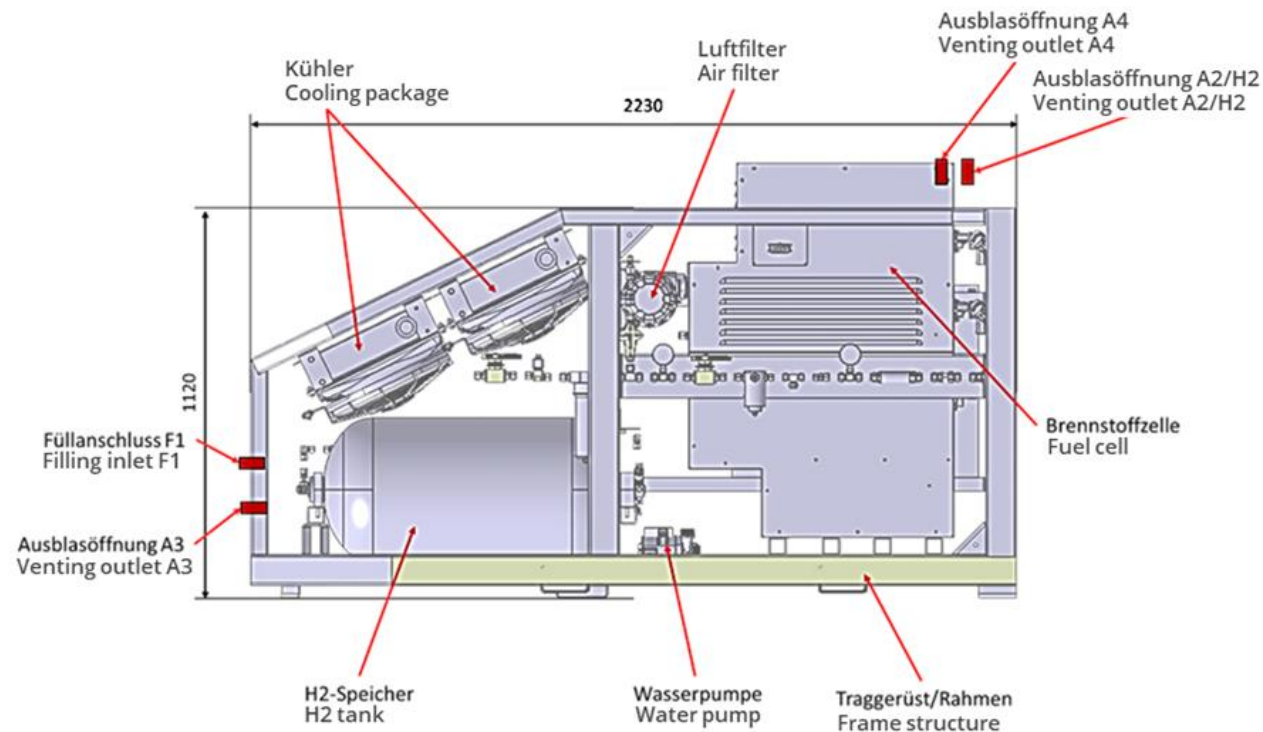


DEUTZ TCG 7.8 H2

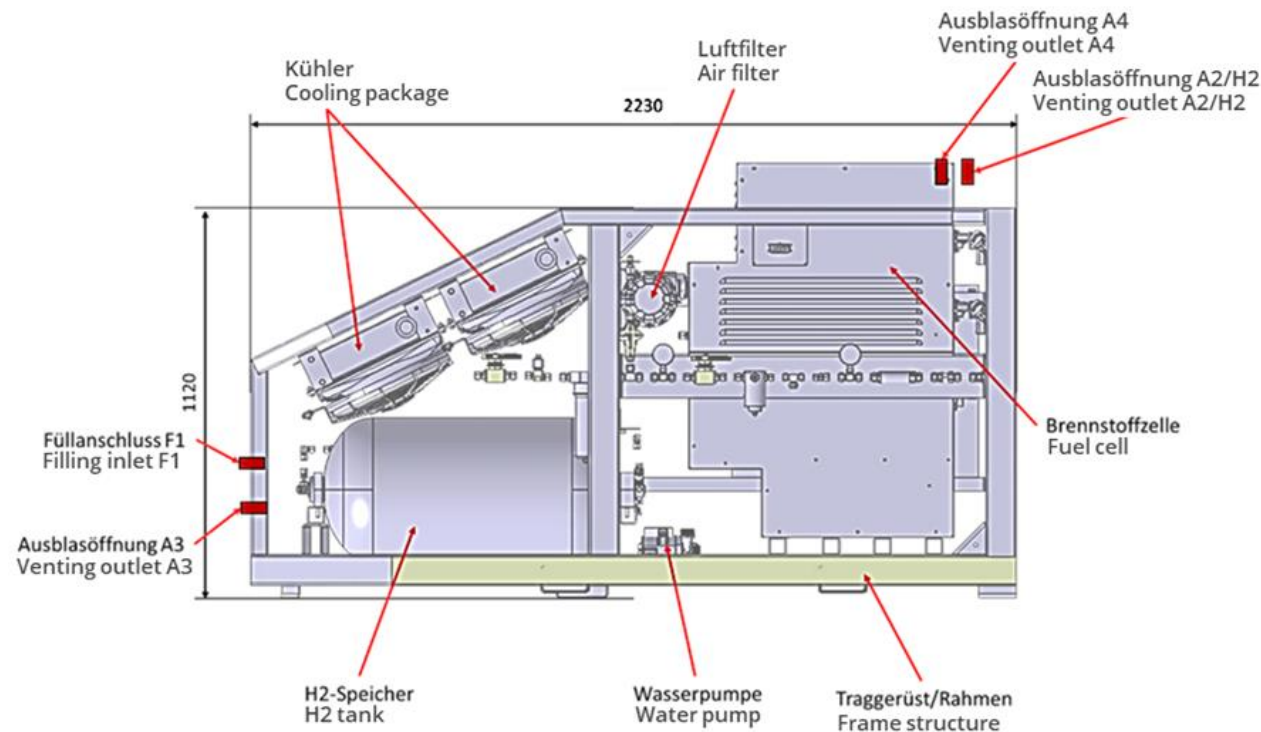
- **CO<sub>2</sub>-free technology** ( $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ ) fulfills EU “Zero Emission” standards\*)
- **Economical alternative** compared to other emission-free technologies
  - Attractive overall cost perspective (initial invest is significantly lower compared to Fuel Cell drivetrains)
  - Upgrade of existing fleet is in principle possible (same drivetrain, additional H<sub>2</sub>-supply/tank plus safety required)
- **High reliability** based on well-known base-engine technology
- **Can be industrialized quickly** with established supplier infrastructure and existing production capacities
- Also **suitable for low H<sub>2</sub> gas qualities** (lower costs, less effort for processing than with fuel cells)
- Increasing H<sub>2</sub>-infrastructure, available **service network** for combustion engine

\*) < 1 g CO<sub>2</sub>/kWh

# Beispiel Obstroboter mit Brennstoffzelle



# Beispiel Obstroboter mit Brennstoffzelle



- Brennstoffzelle (45 kW elektrisch) PM 400 Stack Modul der Fa. Proton Motors.
- Das Stack arbeitet mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 37 bis 52%, was eine Kühlleistung von 60 kW erfordert.
- Die Kühlmitteltemperatur am Einlass des Stacks soll 45°C nicht übersteigen !!!
- deshalb für den Prototyp nur bis 35°C Umgebungstemperatur ausgelegt
- Wasserstoff-Tanksystem besteht aus zwei Tanks mit je 78 l Fassungsvermögen bei 350 bar und speichert 3,8 kg Wasserstoff, was bei Vollast für 2 h Betrieb reicht.

# Beispiel Eko-Tech Ergebnisse – Potenziale der Kraftstoffeinsparung

## Höhere Leistungen

=> verbessert spezifischen Verbrauch

## Niederdrehzahlkonzept

=> verbessert spezifischen Verbrauch

## Lastschaltung / Stufenlos-Getriebe

=> optimiert Getriebe-Wirkungsgrad

## Thermostat (Viskosität Getriebeöl)

=> optimiert Getriebe-Wirkungsgrad

## Visko-Lüfter

=> Drehzahlabenkung bei Teillast

## RTK-Lenksysteme [2-3 cm]

=> Überlappung kleiner / reduzierte Feldüberfahrten

## Hydraulik: Pressure-Flow-Control / Load-Sensing

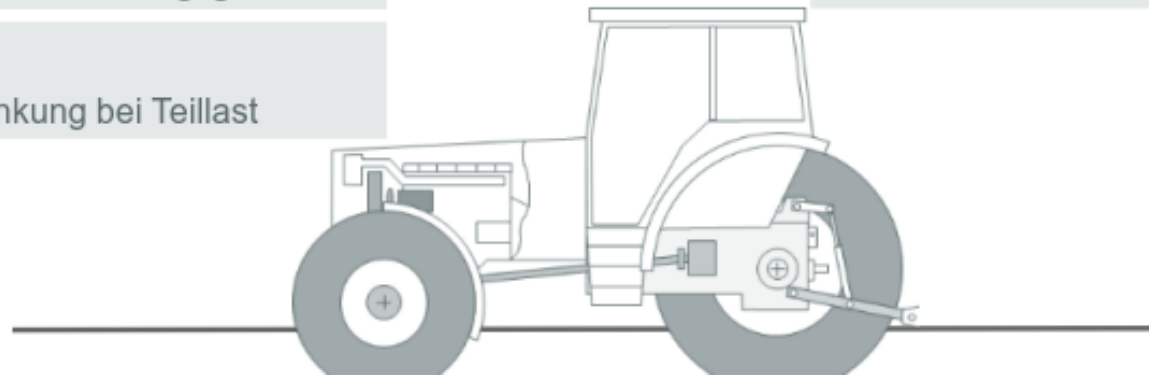
=> Gesamtwirkungsgradsteigerung des Hydrauliksystems

## Flexreifen / Niederdruckreifen / von Diagonal auf Radial

=> reduziert Schlupf / verbessert Traktion

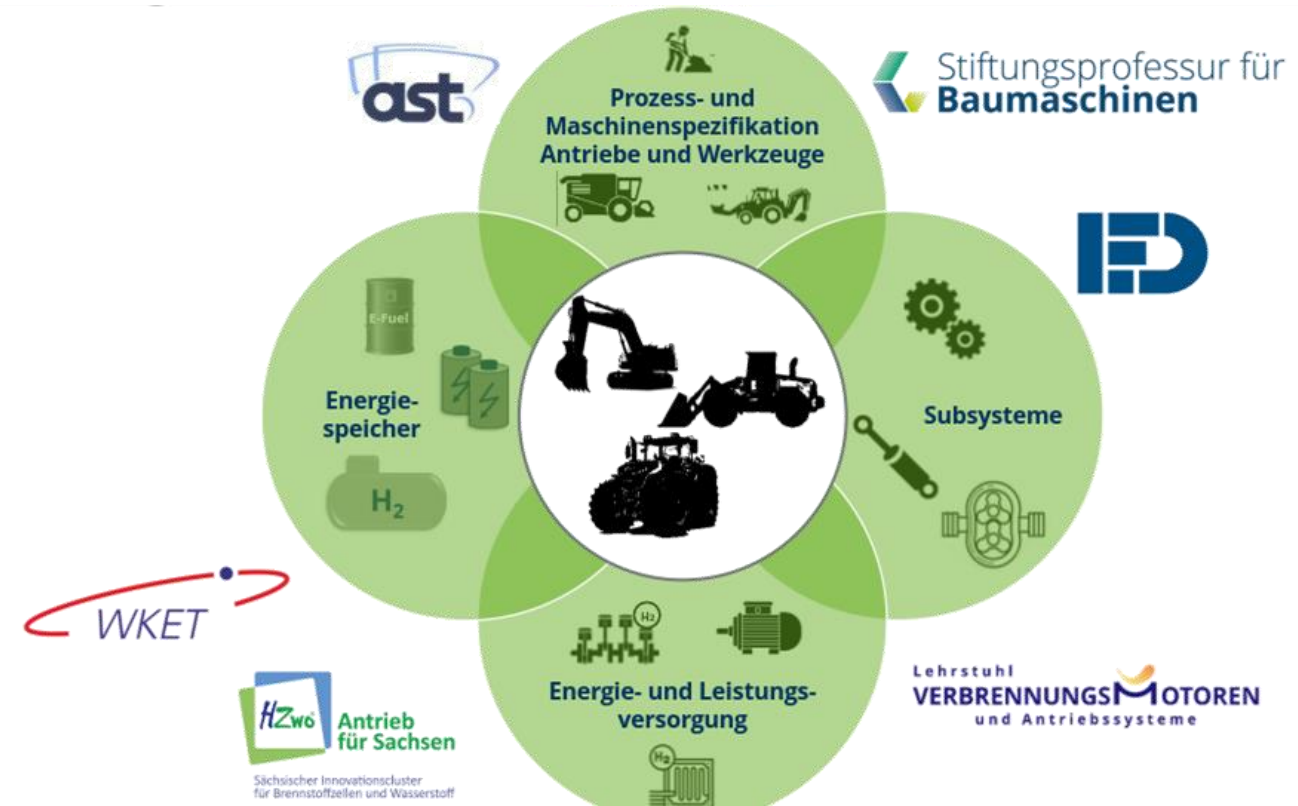
## Raupenlaufwerke / Reifendruckregelanlage

=> reduziert Schlupf / verbessert Traktion



# Zusammenfassung

- **Wir brauchen einen breiten Mix aller Optionen – auch unter Einbeziehung der Bestandsflotte**
- **Keine eindeutig überlegene einzelne Antriebs/Kraftstoff-Technologie**
- **Dringlichkeit von Maßnahmen spricht für Lösungen, die auch in der Bestandsflotte bzw. schnell einsetzbar sind**



Forschungsverbund H<sub>2</sub>-mobile Arbeitsmaschine  
Kernteam



# Zusammenfassung II

## Geschwindigkeit ist am wichtigsten nicht wettbewerbsfähige Kosten sind immer Hindernisse

