

Thomas Herlitzius

Professur für Agrarsystemtechnik

Grüner Wasserstoff für Traktoren !?

Dresden Montag 27.06.2022

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



**PROCESSING
FUTURE**

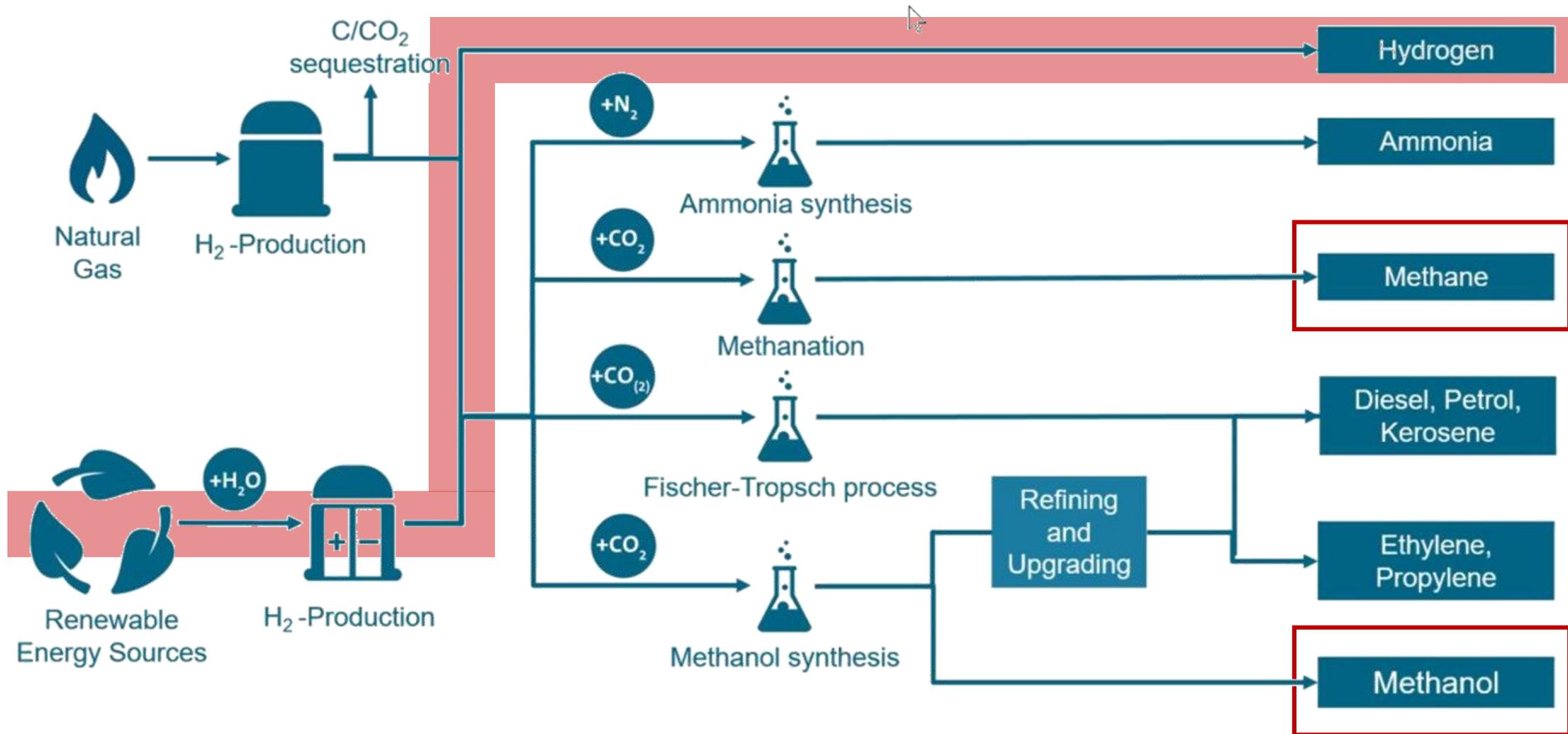
**Verfahrenstechnik
gestaltet
Zukunft.**

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

Themenschwerpunkt „Verfahrenstechnik und H₂“

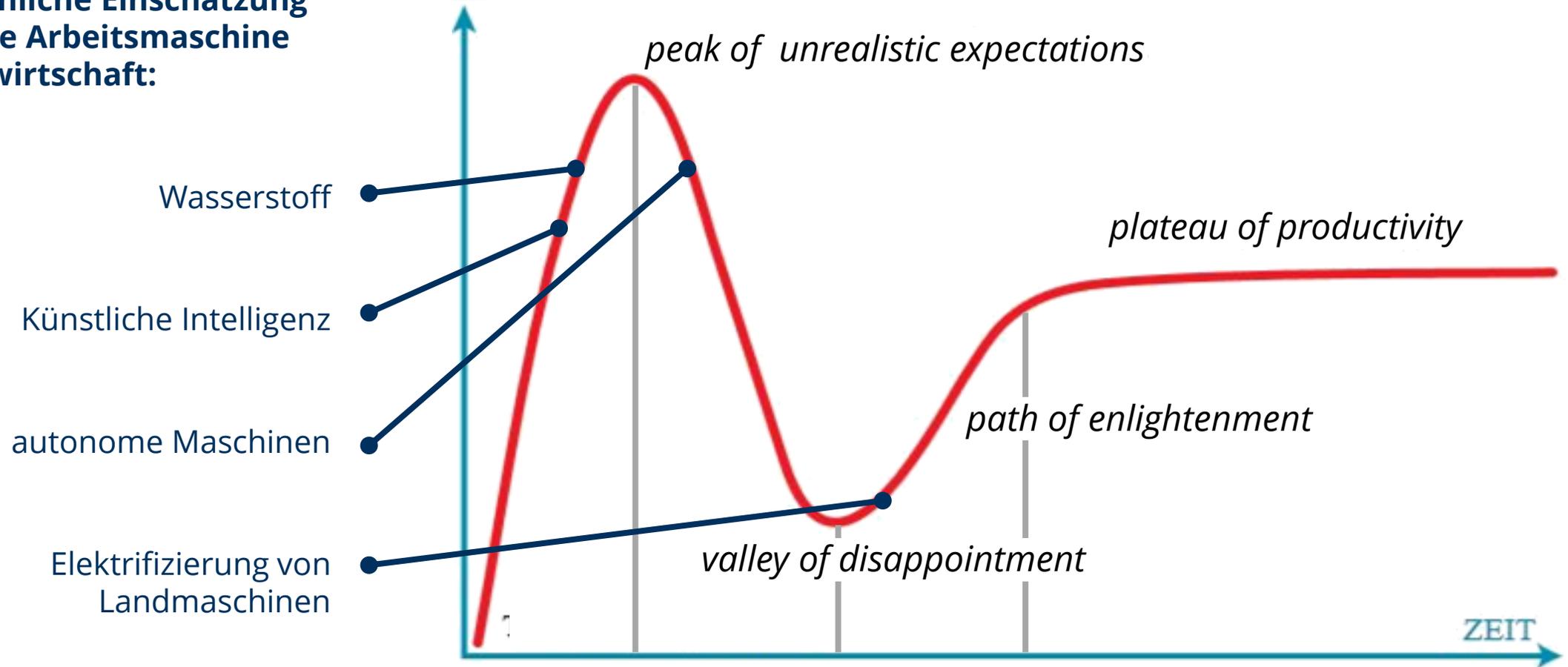
- **Professur Agrarsystemtechnik:**
Grüner Wasserstoff für Traktoren !?
- **Abschlussgrillen**
- **Vereinssitzung**

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

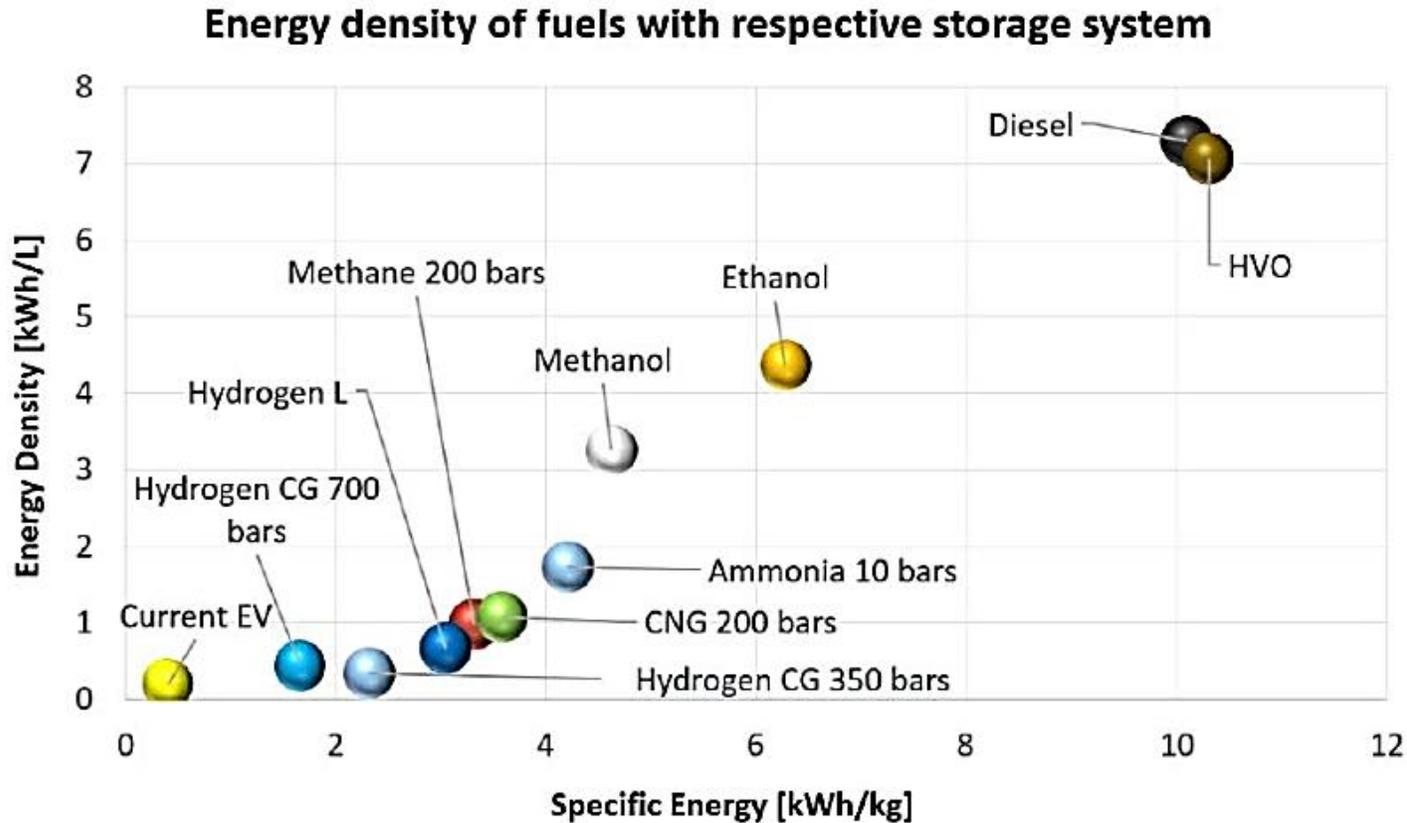


Der (Wasserstoff) Hype Cycle

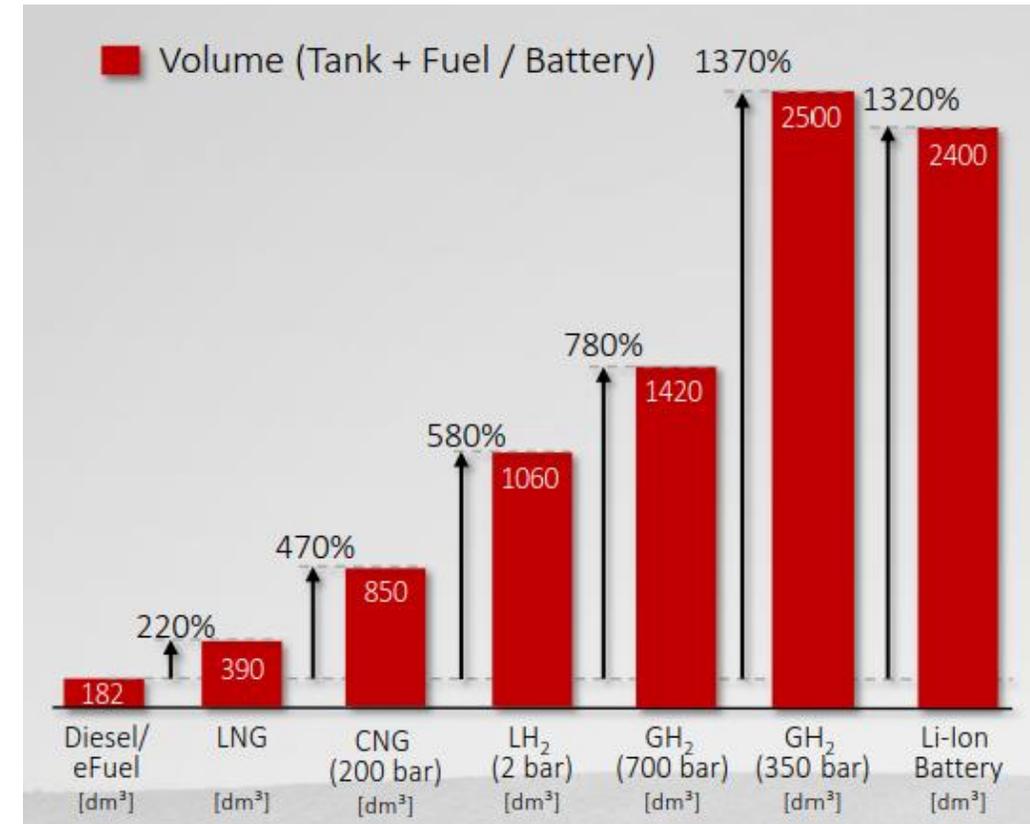
persönliche Einschätzung
mobile Arbeitsmaschine
Landwirtschaft:



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-/Energielagerung wettbewerbsfähig**
- **Off-Road Tauglichkeit (Bodenfreiheit, Gewicht, Schwingungen, Staub, Temperatur))**

Wasserstoff Vorteile	Wasserstoff Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• emissionsfrei• keine Motorengeräusche wenn Brennstoffzelle• unendlich verfügbar• besser als Batterie• schnelle Betankung	<ul style="list-style-type: none">• 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 CO₂ pro Betriebsstunde
- Anteil im Verkehrssektor
 - 6 % Nox
 - 10 % Partikelemissionen

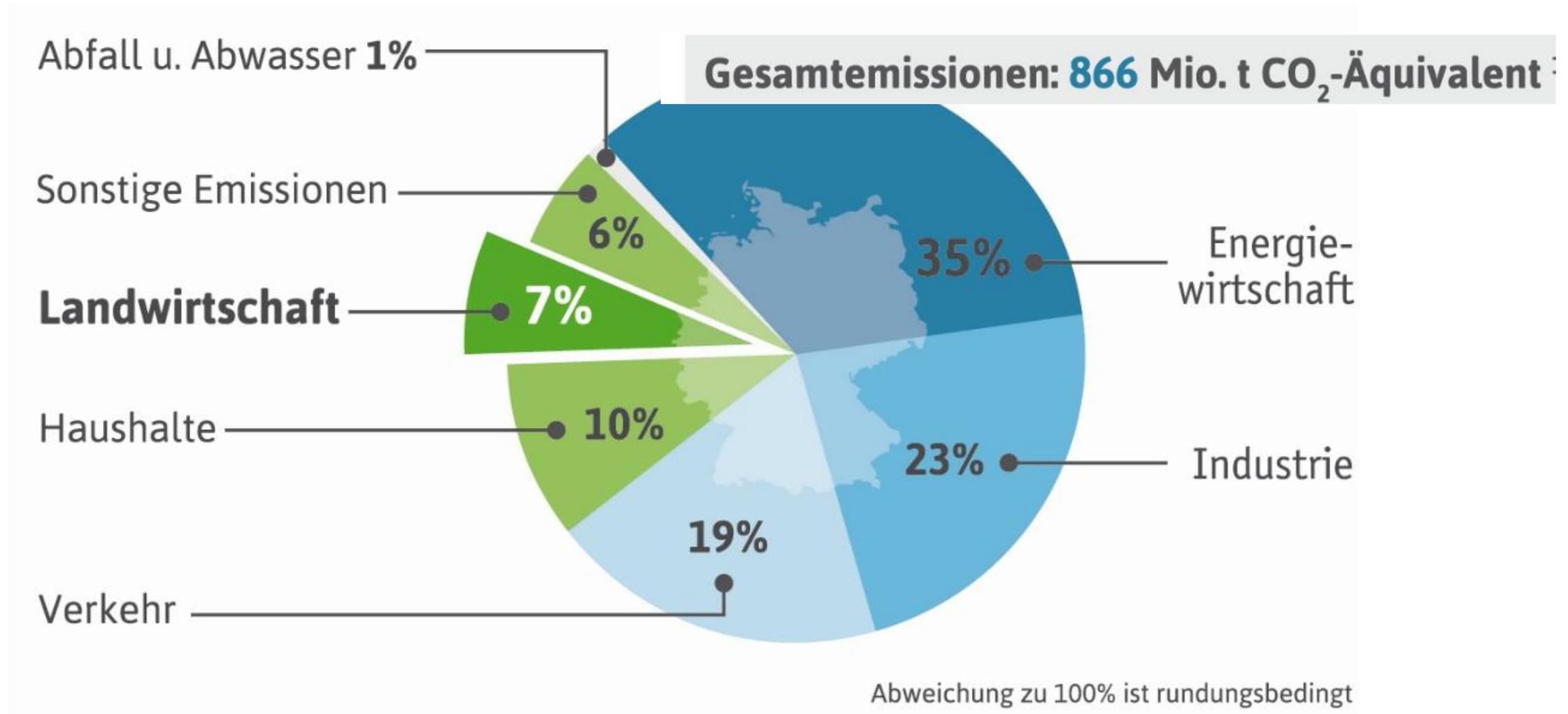
Landmaschinen in Deutschland

- ca. 1,5 Mio. Bestands-Traktoren und 300.000 Selbstfahrer im Jahr 2018, Annahme 100l/ha
→ ca. 4,5 Mio t CO₂
- Anteil für mobile Maschinen
 - 10 % Nox
 - 34 % Partikelemissionen



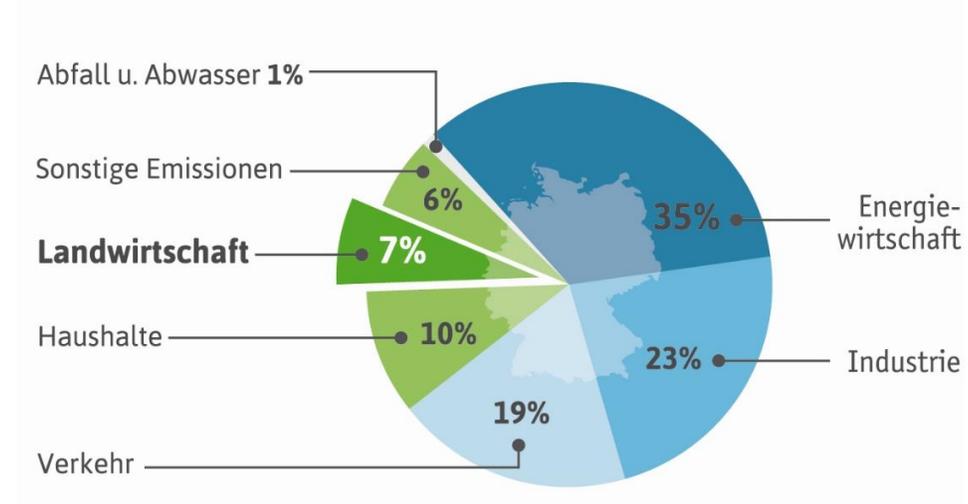
Deutsche Treibhausgasemissionen gesamt und Landwirtschaft

(2018, Quelle UBA)



Landwirtschaft als Emittent - CO₂ ist der geringste Anteil der THG

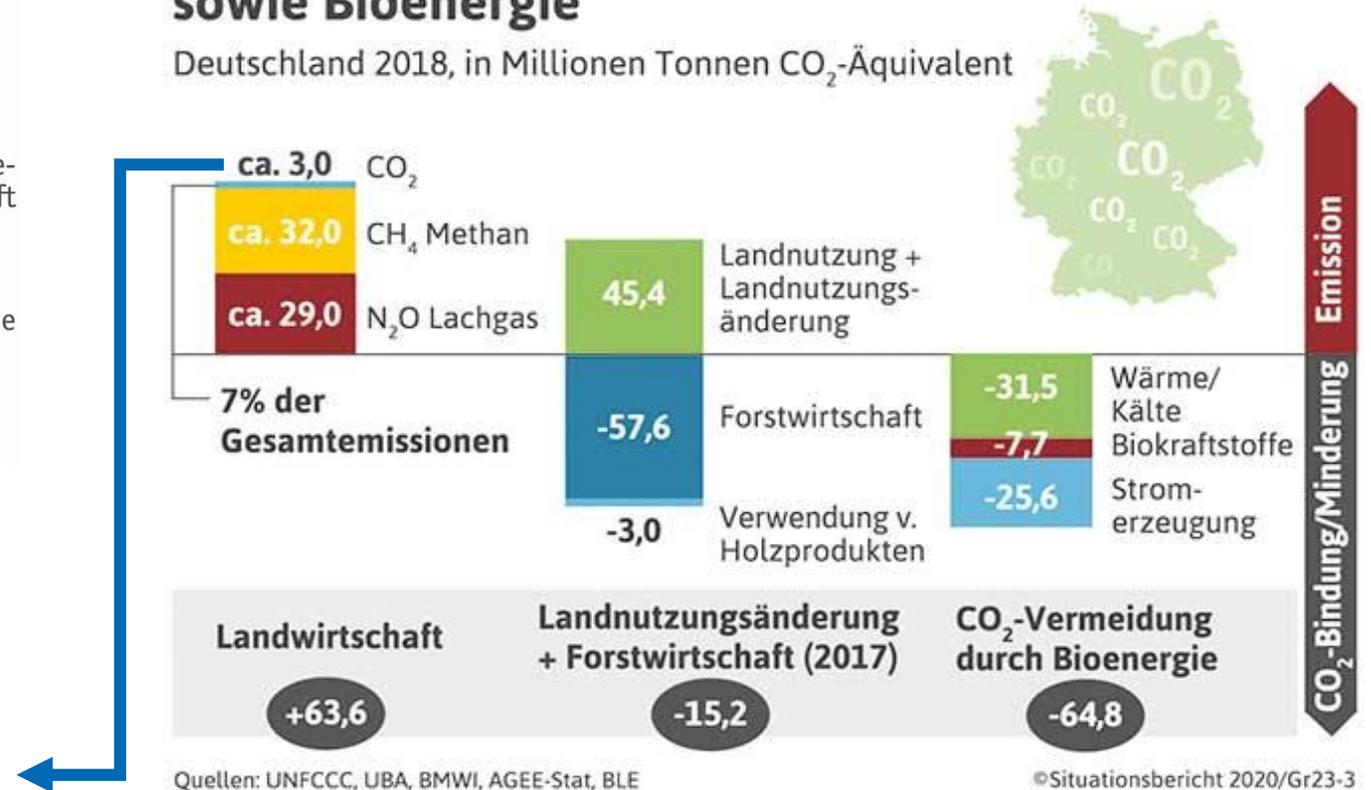
Deutsche Treibhausgasemissionen nach Sektoren 2018



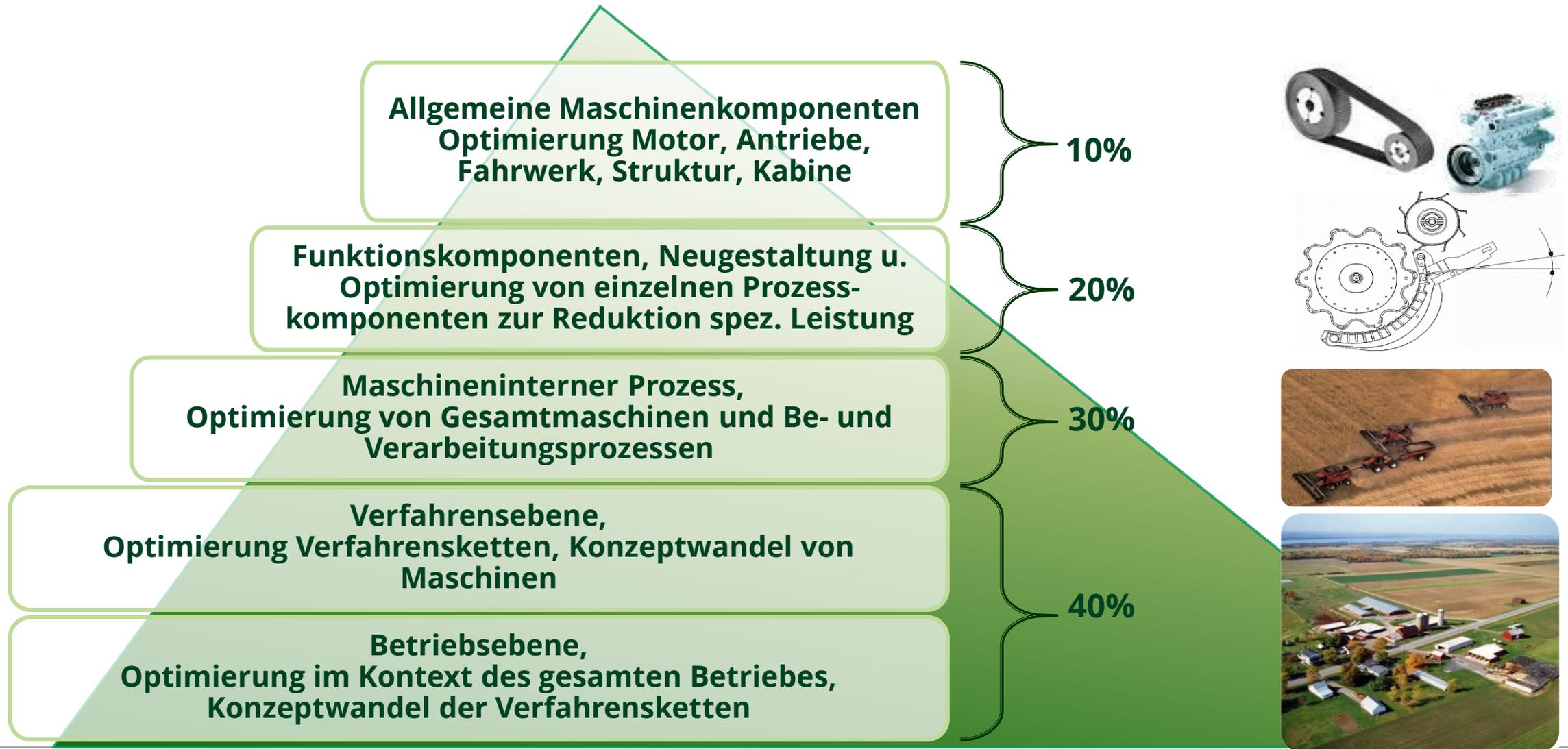
→ CO₂ Anteil Landw. 4,7% der 7%
 → 0,33% der deutschen CO₂ Emissionen

Klimagas der Land- und Forstwirtschaft sowie Bioenergie

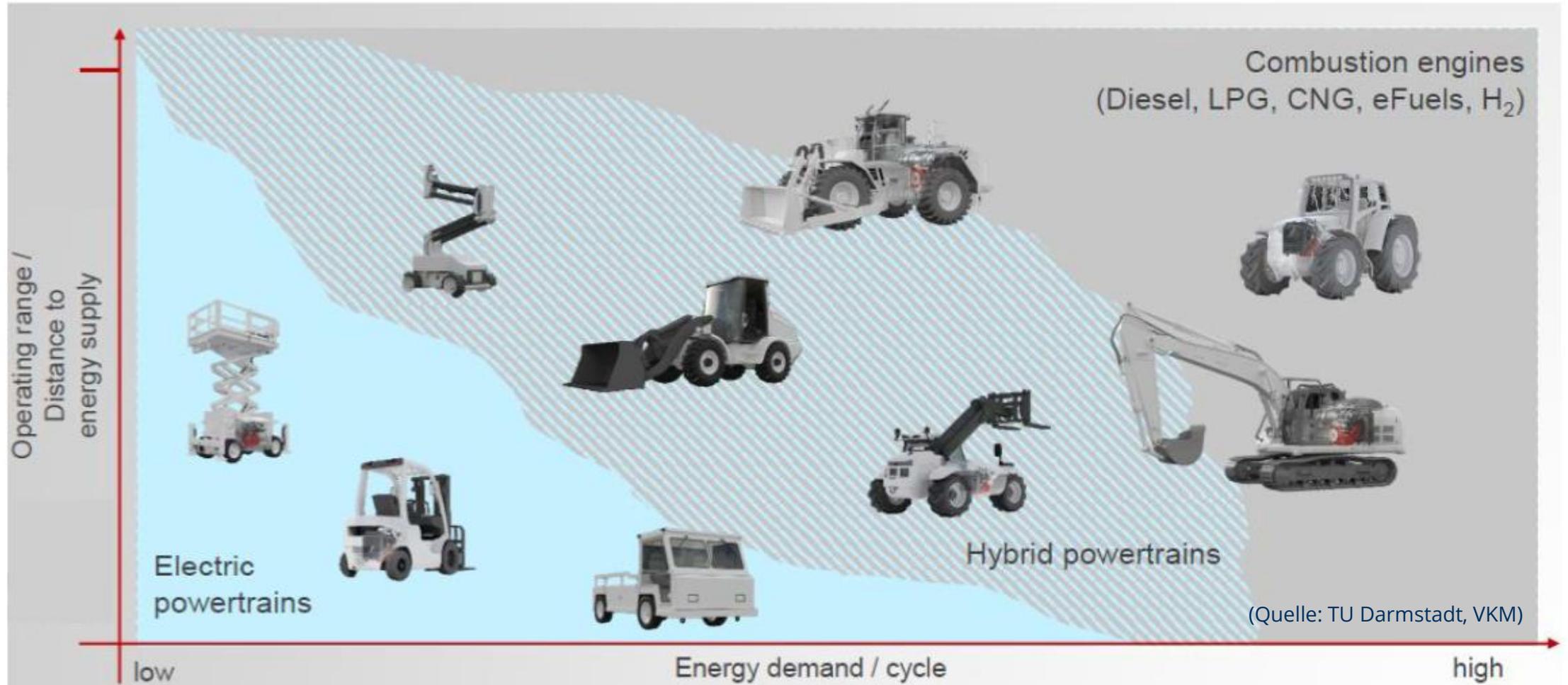
Deutschland 2018, in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent



Potenzial CO₂-Reduktion durch Reduktion Kraftstoffverbrauch



Moderne Antriebstechnologien heute

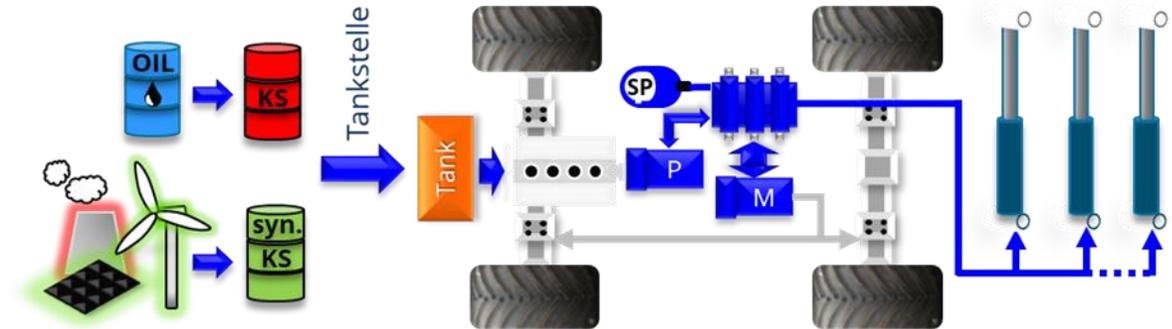


Motivation und Zielsetzung GHG Reduktion bei mobilen Arbeitsmaschinen – wenn Einschränkung auf Antriebstechnologie

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
- dieselektrisch
- kabelgebunden elektrisch
- batterieelektrisch
- leistungsverzweigt
- Wasserstoffbetrieben
 - Brennstoffzelle
 - Verbrenner

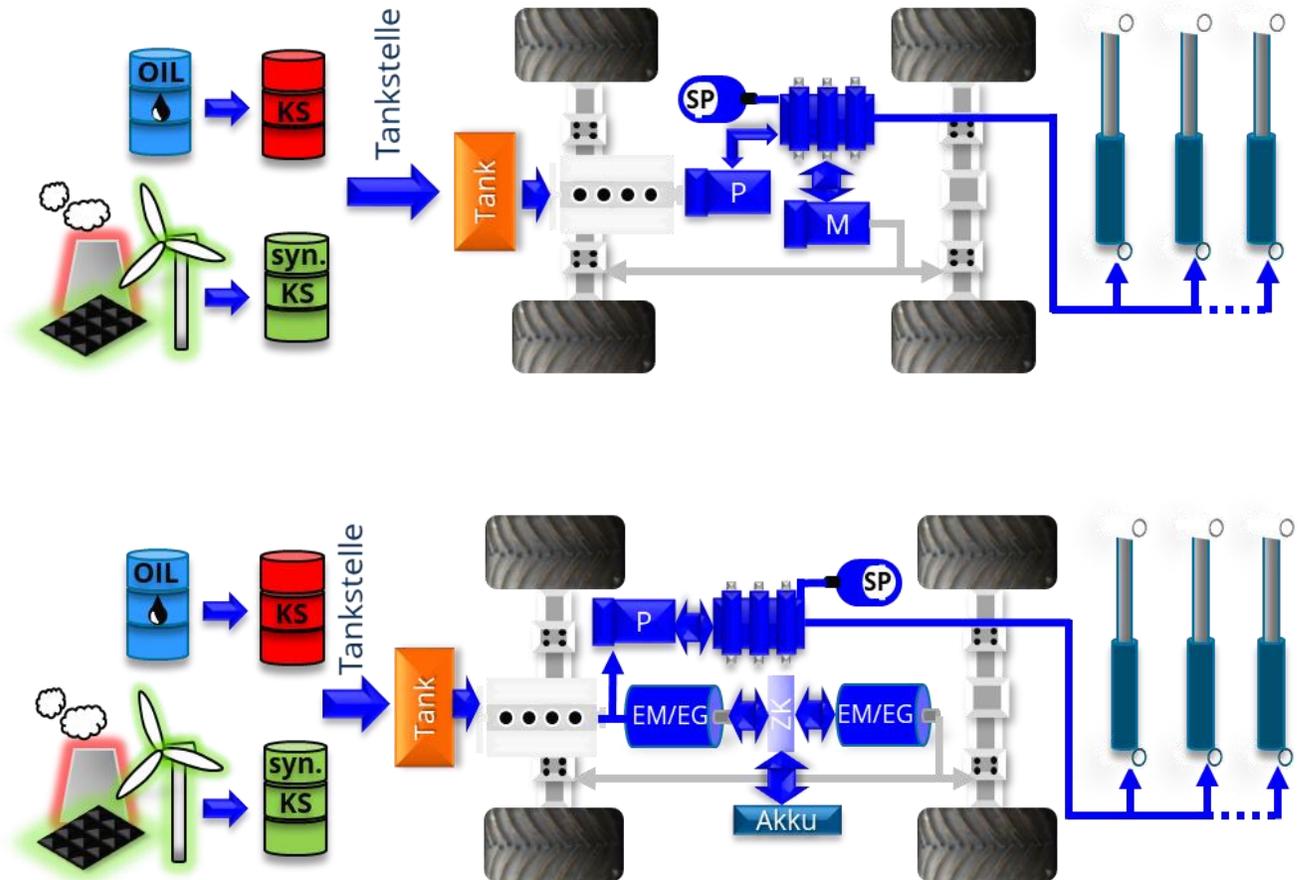
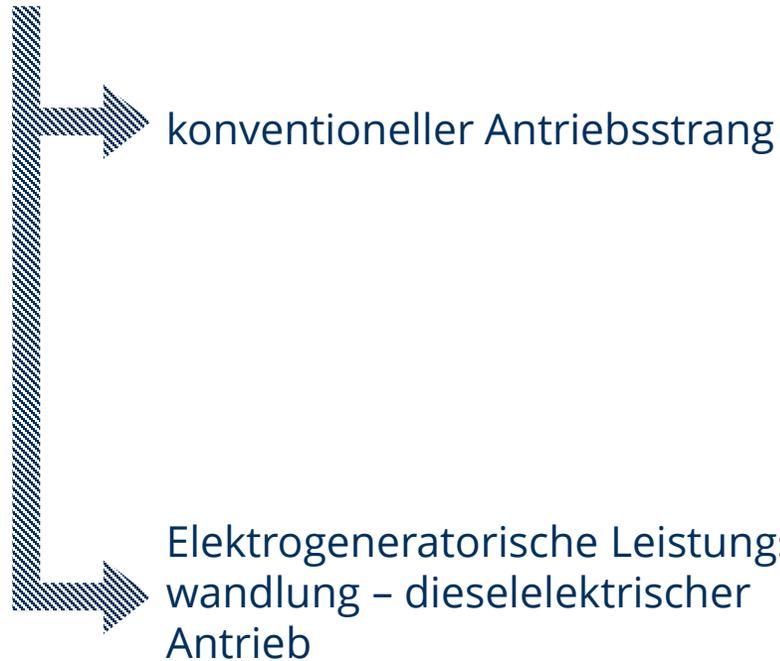


→ **Betrachtung verschiedener Energiequellen: Diesel, E-Fuel, Strom, CNG, LPG, H₂**

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

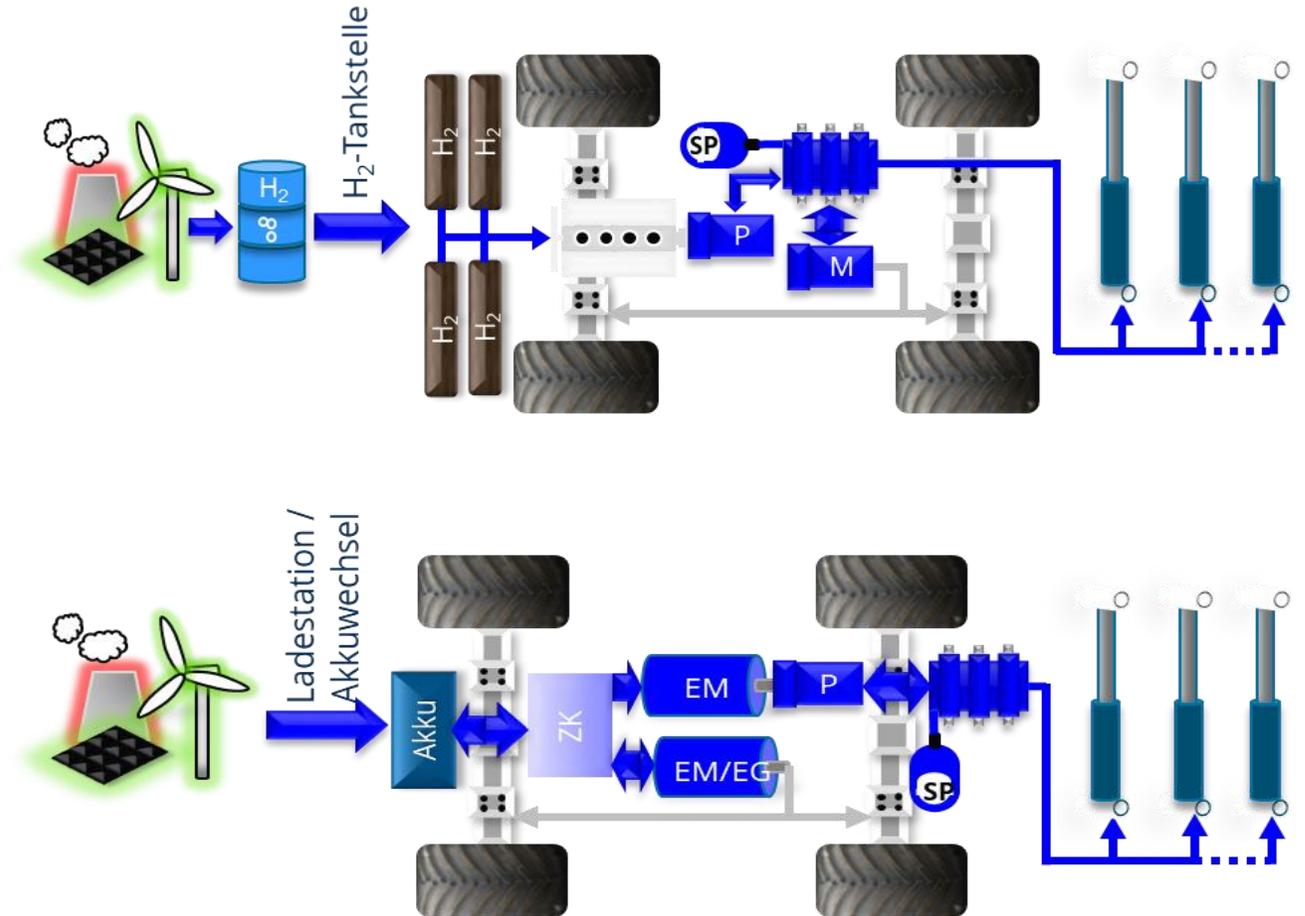
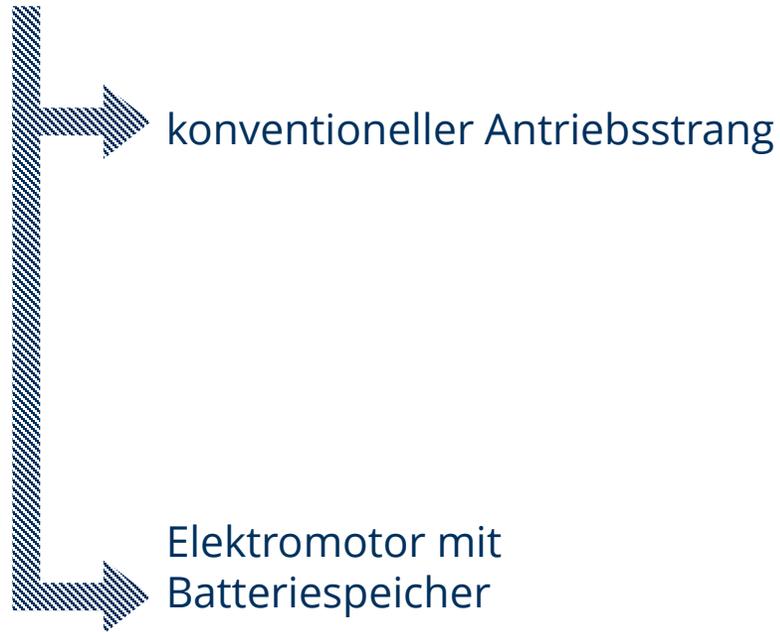
Antriebstechnologien in mobile Arbeitsmaschinen

Verbrennungsmotor mit konventionellen oder synthetischen Flüssig-Kraftstoffen



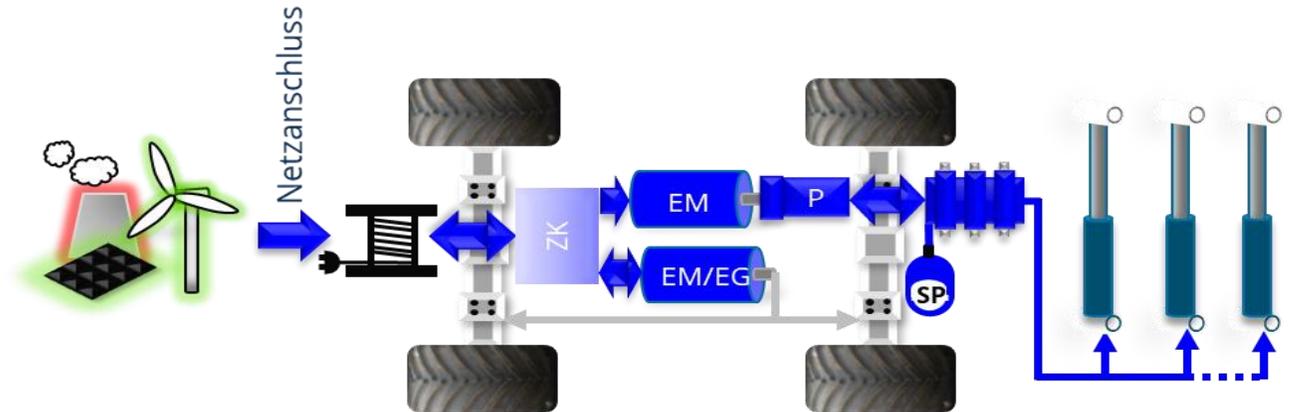
Antriebstechnologien in mobile Arbeitsmaschinen

Gas-Verbrennungsmotor mit gasförmigem Wasserstoff

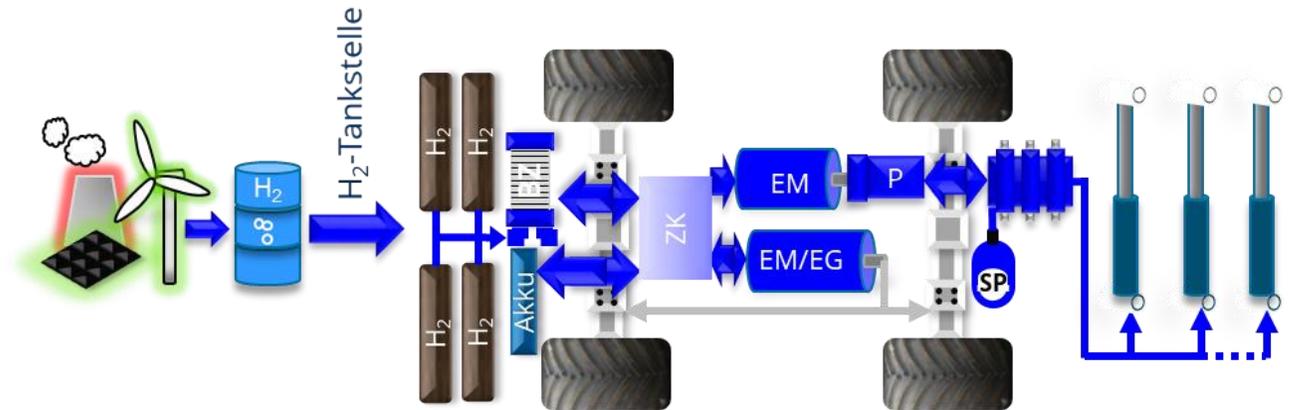


Antriebstechnologien in mobile Arbeitsmaschinen

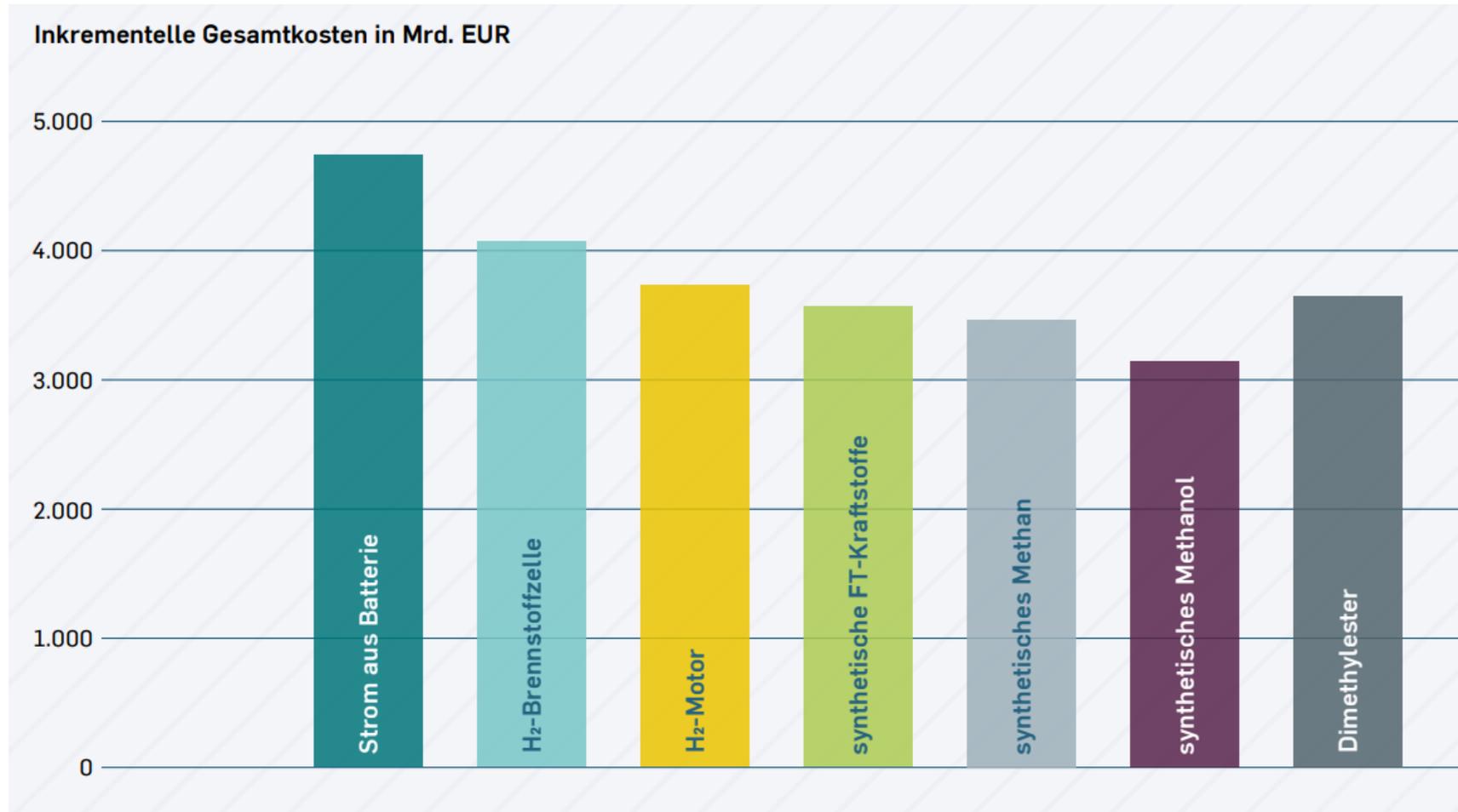
Konzept E) Elektromotor mit leitungsgebundener Versorgung (Kabel)



Elektromotor mit gasförmigem Wasserstoff und Brennstoffzelle



Mehrkosten für Umstellung auf klimaneutrale Energieträger und zugehörige Antriebe im Straßenverkehr



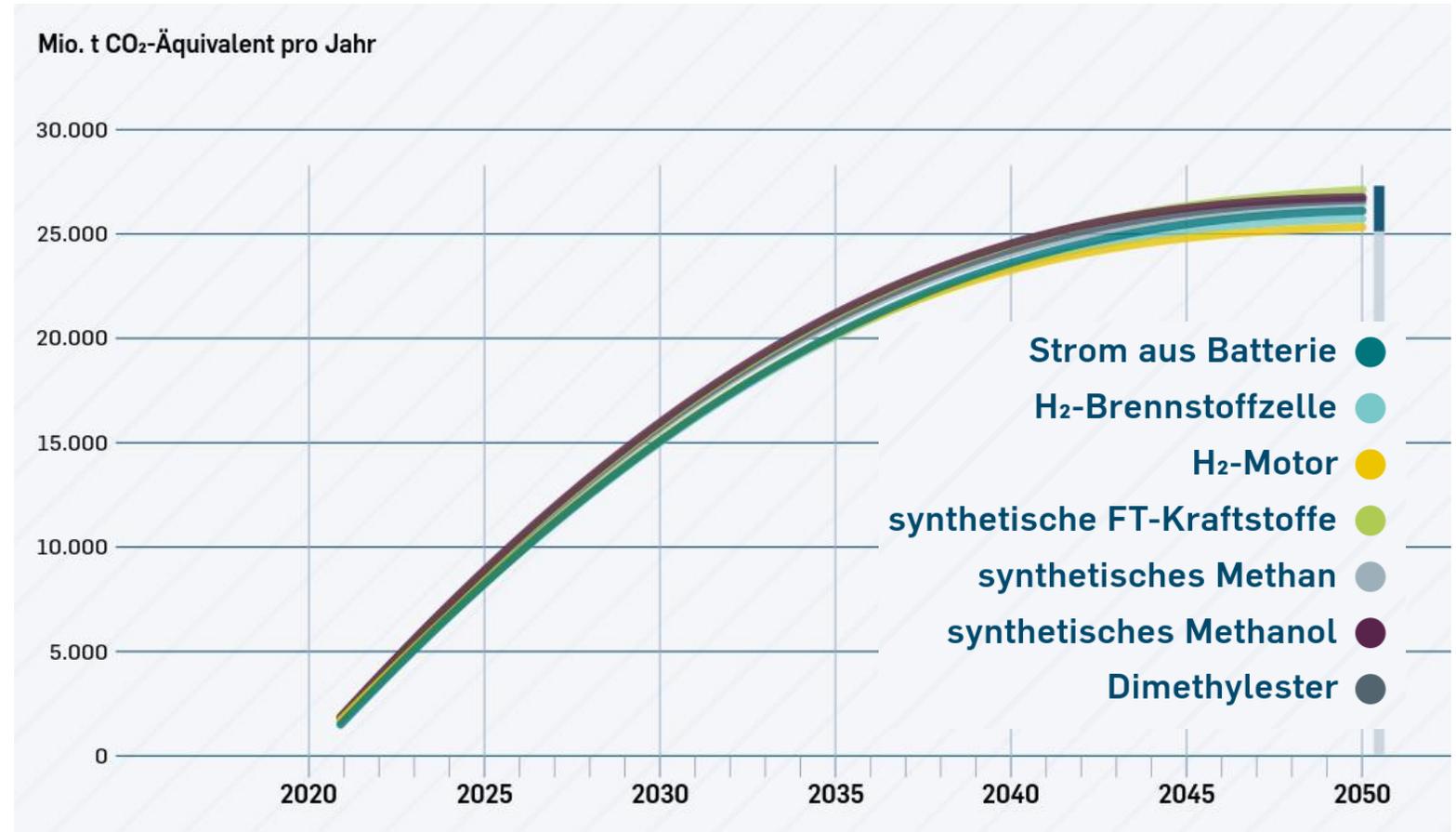
(Quelle: FV-Studie Transformation of mobility to the GHG-neutral post-fossil age)

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

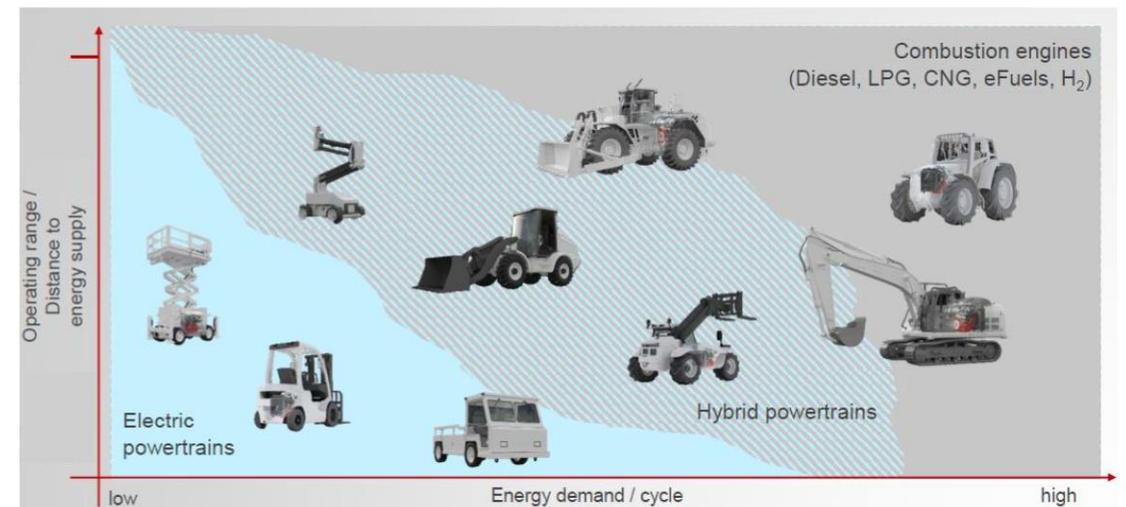
(Quelle: FVV-Studie Transformation of mobility to the GHG-neutral post-fossil age)



Wissenschaftlich-technischer Ansatz zur Technologiebewertung

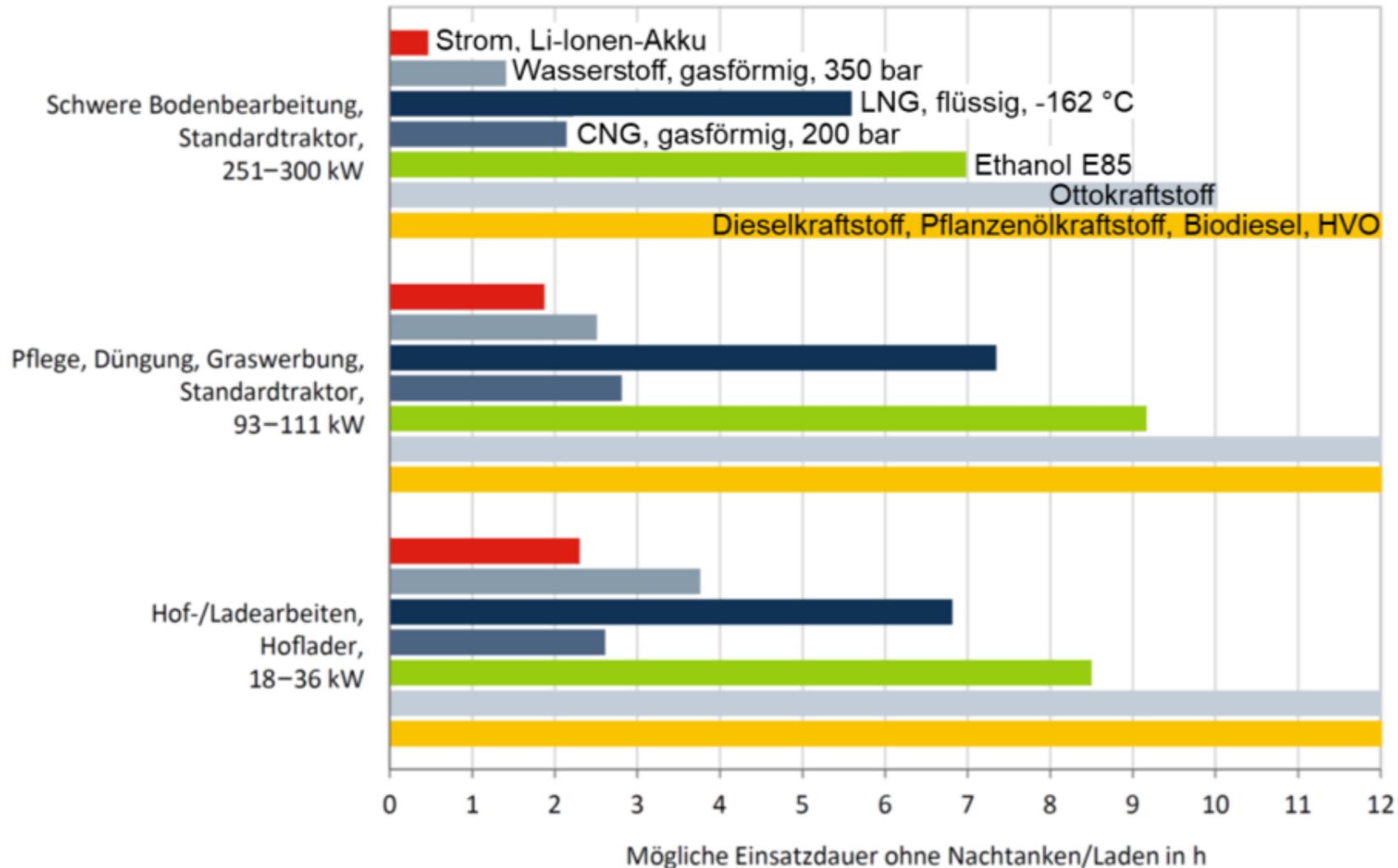
Simulation und Vergleich verschiedener Antriebskonzepte in Abhängigkeit des Maschinentyps, der Maschinengröße und des Prozesses

- 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 CO₂-free Powertrains for Mobile Machinery

DEUTZ Hydrogen Engine

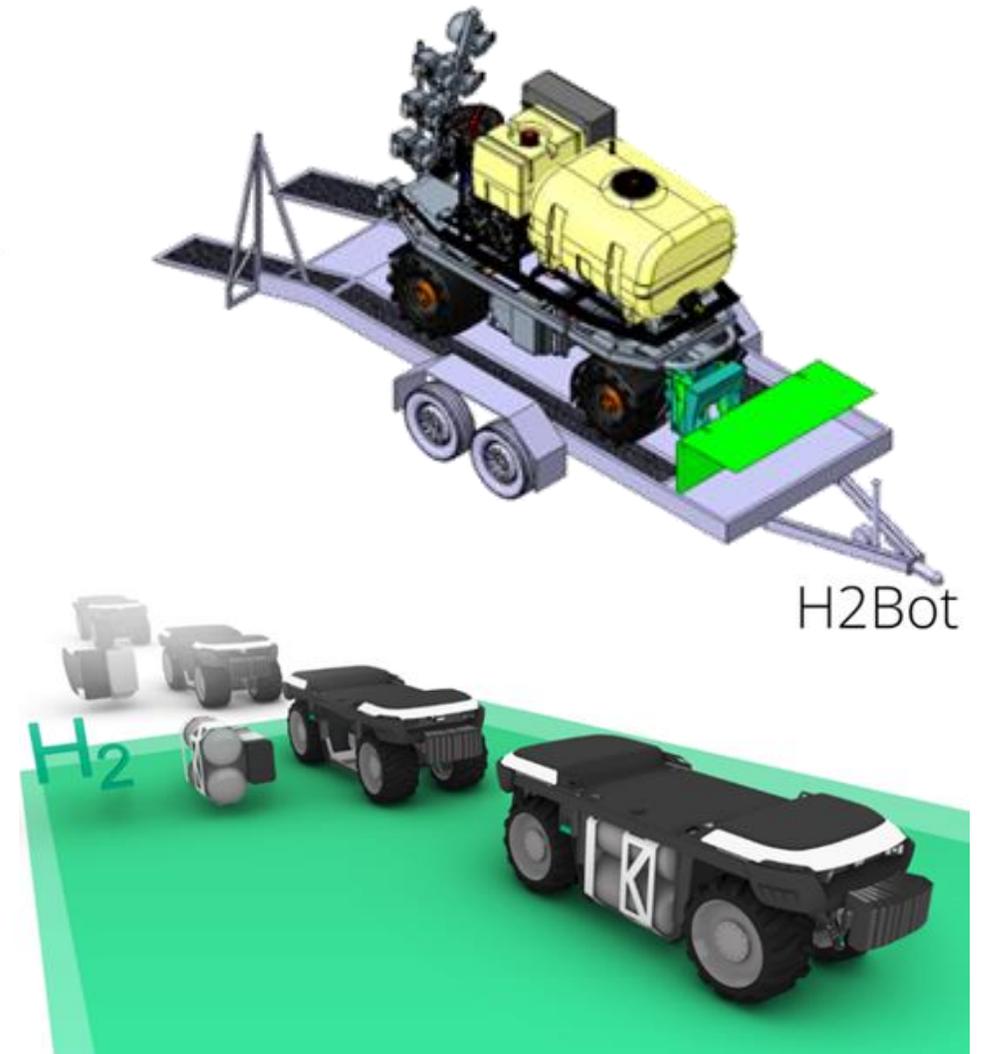
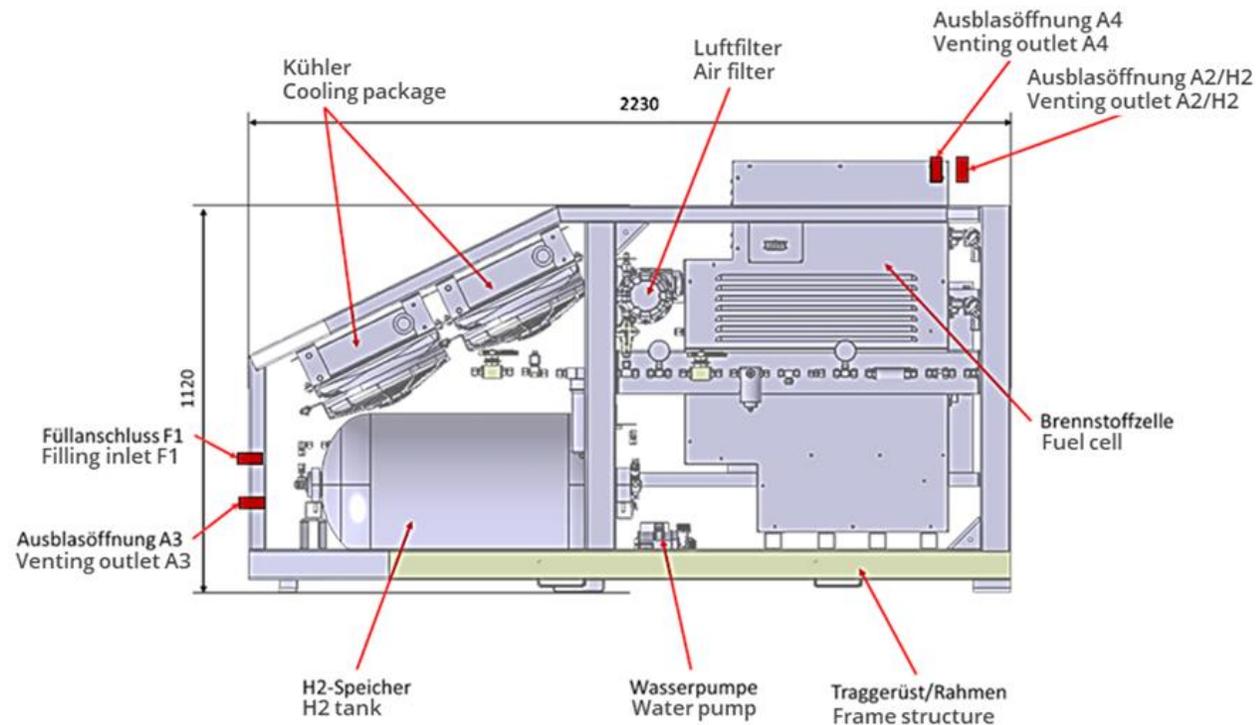


DEUTZ TCG 7.8 H2

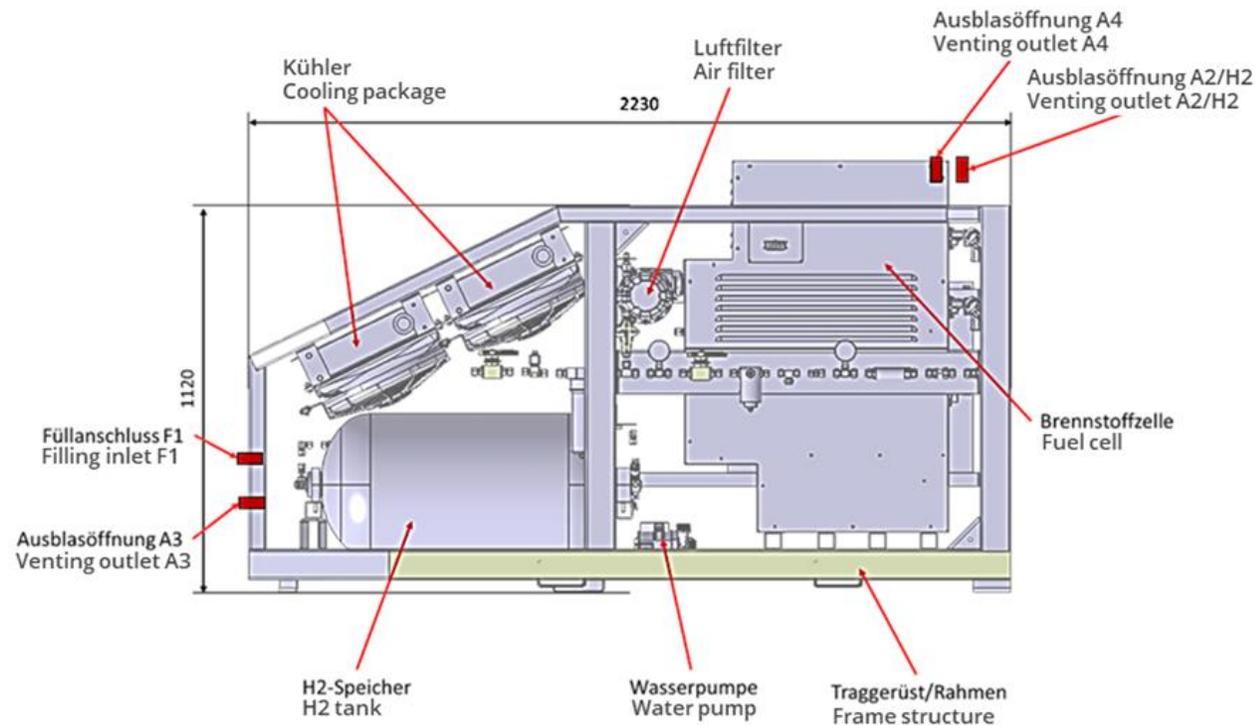
- **CO₂-free technology** ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$) fulfills EU “Zero Emission” standards*)
- **Economical alternative** compared to other emission-free technologies
 - Attractive overall cost perspective (initial invest is significantly lower compared to Fuel Cell drivetrains)
 - Upgrade of existing fleet is in principle possible (same drivetrain, additional H₂-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 H₂ gas qualities** (lower costs, less effort for processing than with fuel cells)
- Increasing H₂-infrastructure, available **service network** for combustion engine

*) < 1 g CO₂/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

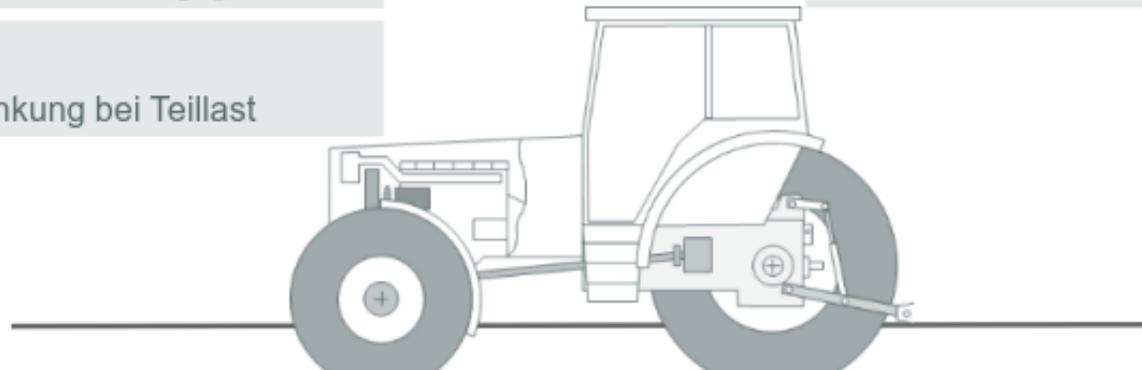
=> Gesamtwirkungsgradsteigerung des Hydrauliksystems

Flexreifen / Niederdruckreifen / von Diagonal auf Radial

=> reduziert Schlupf / verbessert Traktion

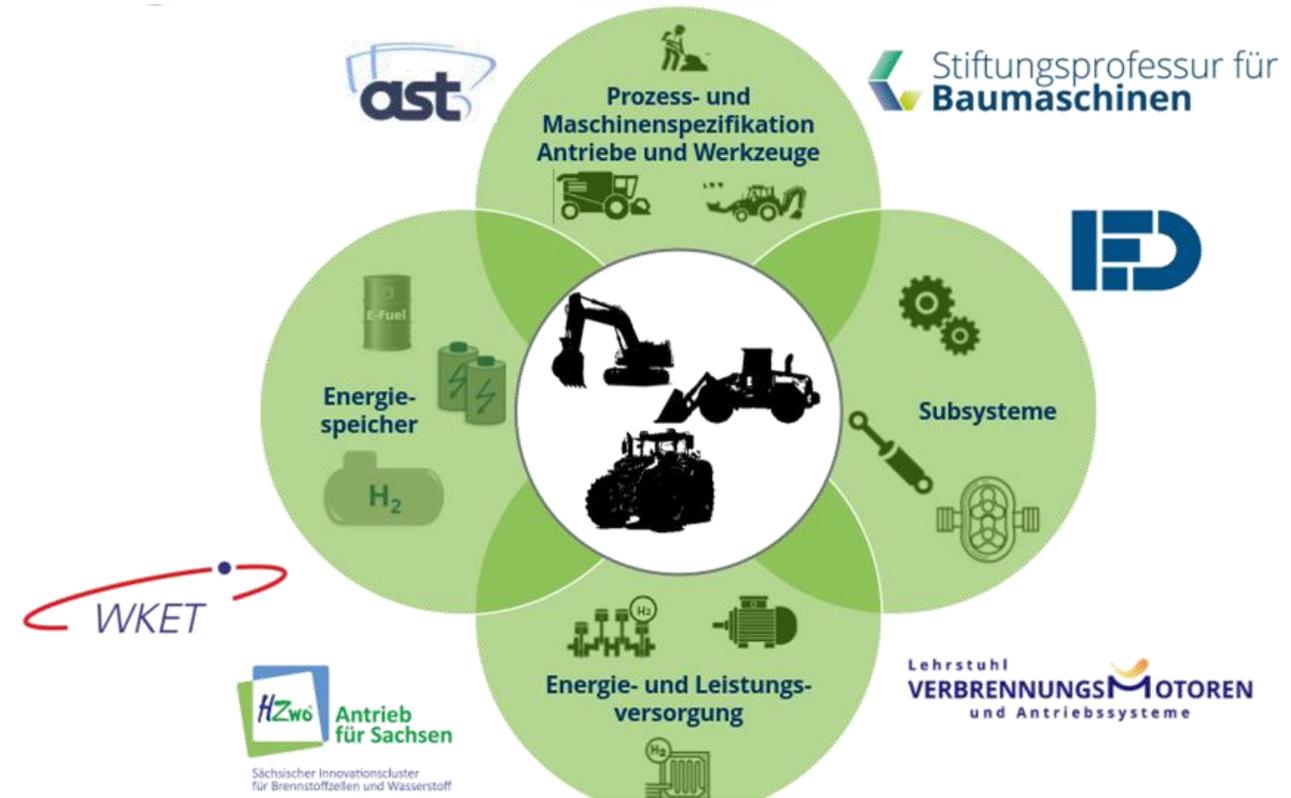
Raupenlaufwerke / Reifendruckregelanlage

=> 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 H2-mobile Arbeitsmaschine
Kernteam

Zusammenfassung II

Geschwindigkeit ist am wichtigsten nicht wettbewerbsfähige Kosten sind immer Hindernisse

