

Wasserstoff in der Landtechnik

Was tanken wir morgen in unseren heute
noch dieselgetriebenen mobilen
Arbeitsmaschinen?

Prof. Dr. Hans-Jürgen Pfisterer



HOCHSCHULE OSNABRÜCK
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

KEA - Factsheet



Gründung



Forschung

Technologie/Entwicklung

Auftragseingang 2021

Mitarbeiter

Branchen



Jan. 2010

> 30 Projekte

> 200 Projekte

6,3 Mio. Euro

ca. 20

Automotive

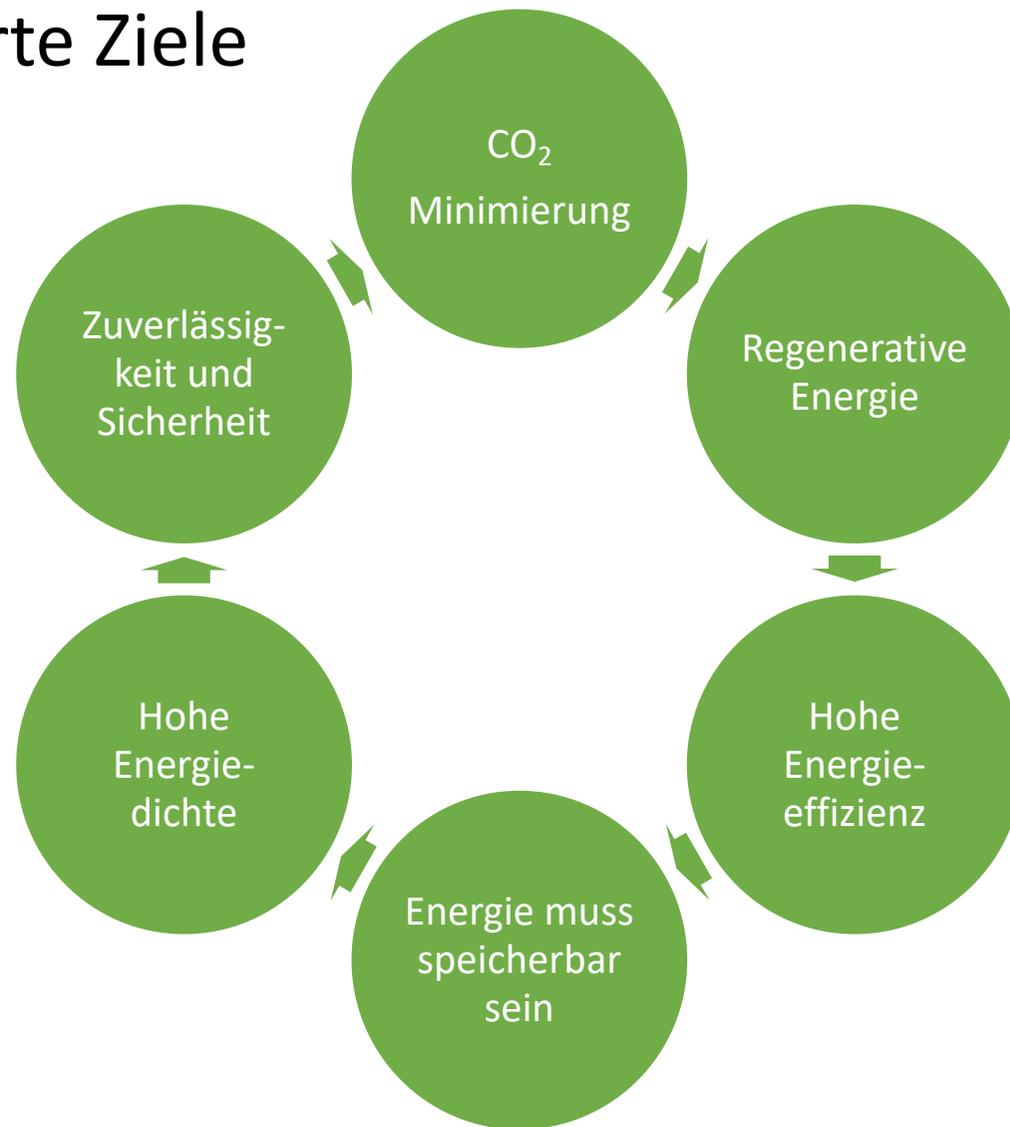
Landtechnik

Industrie

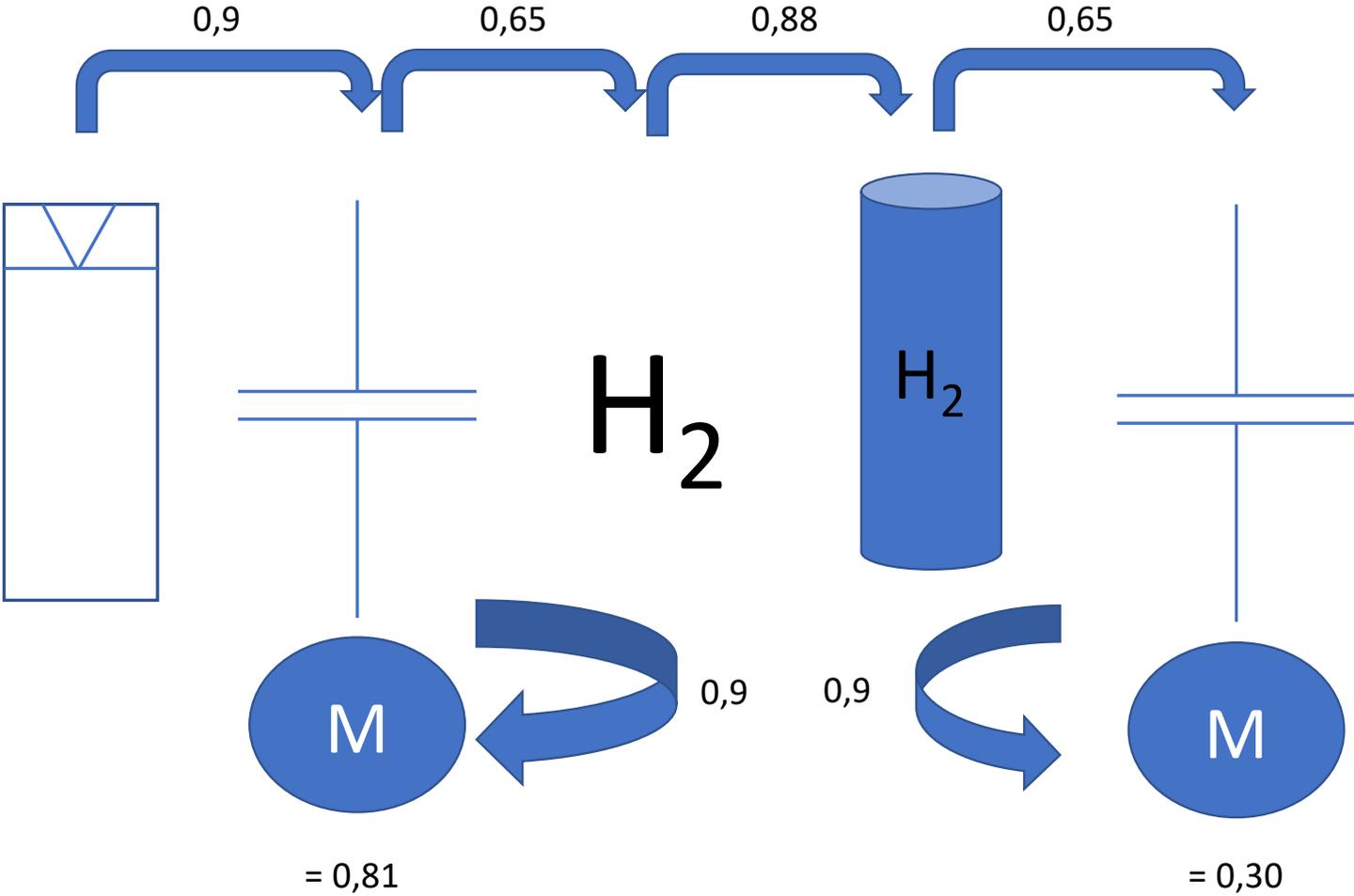
Weiß/Braune Ware



Wünschenswerte Ziele



Elektrische Energie vs. Wasserstoff

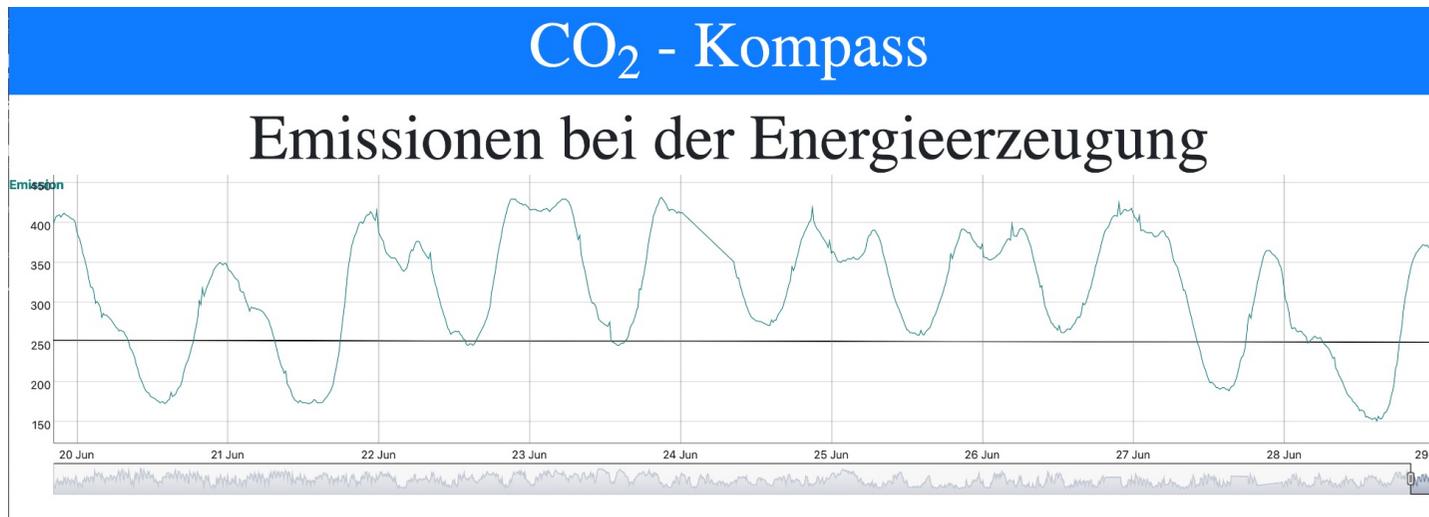


Elektrische Energie als Energiebasis

Im Gegensatz zu chemisch gebundener Energie (z.B. Diesel) sind bei elektrischer Energie die CO₂-Emissionen zeitabhängig!

1l Diesel (Energieinhalt ca. 10kWh) → 2,65 kg CO₂

35% Wirkungsgrad → 7,6 kg CO₂



10 kWh el. Energie → 1,2kg ... 7,5kg CO₂

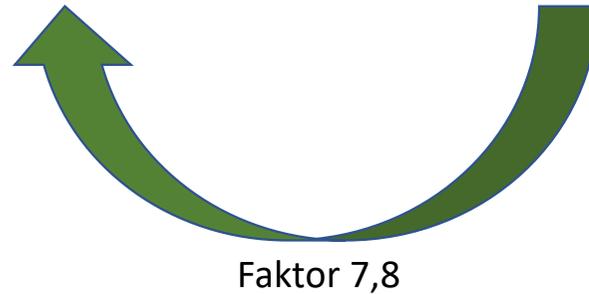
81% Wirkungsgrad → 1,5kg ... 9,3kg CO₂

30% Wirkungsgrad → 4,0kg ... 25kg CO₂

Speicherung von Wasserstoff

Physikalische und energetische Eigenschaften von H₂

	Diesel	H ₂ 350 bar	H ₂ 700bar
Dichte	830 kg/m ³	24 kg/m ³	40 kg/m ³
Energiegehalt	12,6 kWh/kg	33,33 kWh/kg	33,33 kWh/kg
Energiegehalt	10,4 kWh/l	0,79 kWh/l	1,33 kWh/l



- Sehr hohe gravimetrische Energiedichte (33,3 kWh/kg)
- Jedoch sehr geringe Dichte bei atmosphärischen Verhältnissen
- Folgend ist die Speicherung des Wasserstoffs mit moderaten Energiedichten ein großes Problem der Brennstoffzellenantriebe



[1]

Energieaufwand für die Speicherung bezogen auf enthaltene Energie



[2],[3]

Beispiel Ackerschlepper der 100kW Klasse

Dieselantriebsstrang

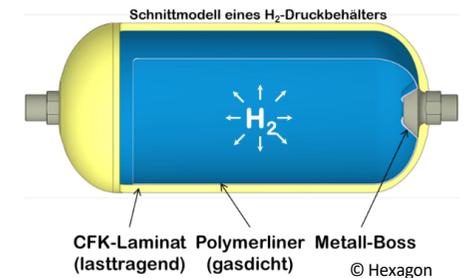
- Kraftstoffverbrauch bei 60kW angeforderten Leistung 16-19l/h [4]
- Notwendiges Kraftstoffspeicher für 8h Schicht $\approx 160\text{l} \approx \text{ca. } 132\text{kg}$

Wasserstoffantriebsstrang

- Angenommen Wirkungsgrad Brennstoffzelle $\eta_{\text{BZ}} \approx 0,5$
- Notwendige Energiemenge für eine Betriebsstunde $120\text{kWh} \triangleq 3,6\text{kgH}_2/\text{h}$
- Für eine 8h Schicht $\approx \text{ca. } 29\text{kg H}_2$ für eine Schicht



Ackerschlepper [5]



Schnittmodell eines Wasserstoff-Druckbehälters aus faserverstärktem Kunststoff [6]

	Diesel	H ₂ 350bar	H ₂ 700bar
Kraftstoffvolumen	ca. 160l	ca. 1200l	ca. 720l
Anzahlbehälter			
Abmaße eines Behälter	Unbekannt	0,5m x 2,3m	0,5x2,15m
Außenvolumen	Ca. 0,2m ³	ca. 4x 0,47m ³	ca. 3x 0,47m ³
Gesamtgewicht	ca. 150-160kg	ca. 477kg	ca. 593kg

Vergleich der Kraftstoffbehälter für Diesel- und Wasserstoffspeicherung am Beispiel eines Ackerschleppers [7], [8]

Beispiel Mähdrescher der 12m-Klasse

Dieselantriebsstrang

- Kraftstoffverbrauch bei 350kW angeforderten Leistung 80-100l/h
- Notwendiges Kraftstoffspeicher für 8h Schicht $\approx 640-1000l \approx \text{ca. } 830\text{kg}$

Wasserstoffantriebsstrang

- Angenommen Wirkungsgrad Brennstoffzelle $\eta_{BZ} \approx 0,5$
- Notwendige Energiemenge für eine Betriebsstunde $700\text{kWh} \triangleq 21\text{kgH}_2/\text{h}$
- Für eine 8h Schicht $\approx \text{ca. } 170\text{kg H}_2$ für eine Schicht



Mähdrescher [9]

	Diesel	H ₂ 350bar	H ₂ 700bar
Kraftstoffvolumen	ca. 1000l	ca. 7000l	ca. 4200l
Anzahlbehälter		20 	17 
Abmaße eines Behälter	Unbekannt	0,5m x 2,3m	0,5x2,15m
Außenvolumen	Ca. 1 - 1,2m ³	ca. 20x 0,47m ³ \approx ca. 9,4m ³	ca. 17x 0,47m ³ \approx ca. 8m ³
Gesamtgewicht	ca. 1000-1500kg	ca. 2400kg	ca. 3400kg

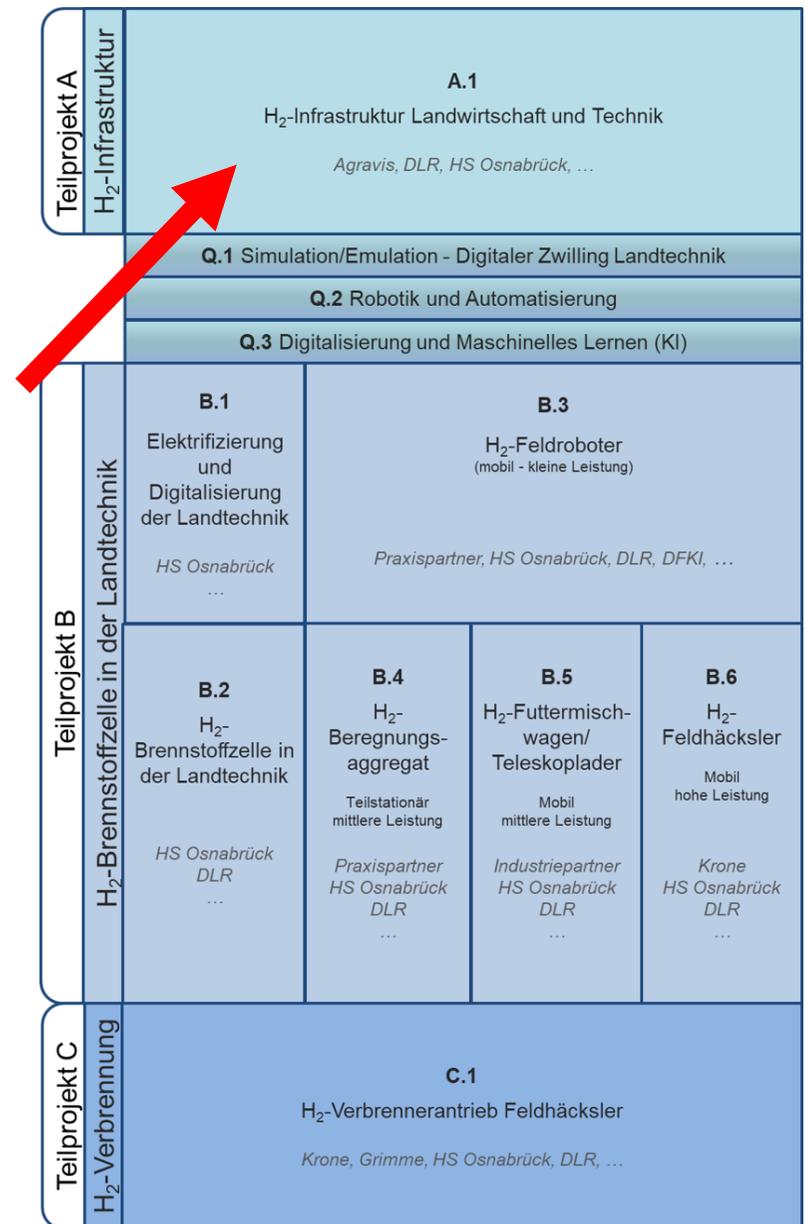
Vergleich der Kraftstoffbehälter für Diesel- und Wasserstoffspeicherung am Beispiel eines Mähdreschers [7], [8]

Gesamtkonzept H₂LT

Ziele der Initiative:

Aufbau einer Treibhausgas (THG) freien und auf Wasserstoff basierenden Versorgungs- und Antriebstechnologie für die Landtechnik und landwirtschaftliche Betriebe.

- I. Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur mit Kopplung der Sektoren Agrartechnik und Energie (Strom, Wärme, H₂) durch intelligente Integration von Erzeugern und Verbrauchern
- II. Schrittweise Umstellung von fossilen Antrieben und Energieerzeugung bis 2030 durch Erprobung verschiedener H₂-Technologiepfade mit dem Ziel der Elektrifizierung sämtlicher mobiler Arbeitsmaschinen
- III. Intensivierung der Themen Digitalisierung und Agrarrobotik für die automatisierte ressourcenschonende Landbewirtschaftung, sowie mobiler H₂-Versorgungslogistik im ländlichem Raum



Wasserstoff in der Landtechnik

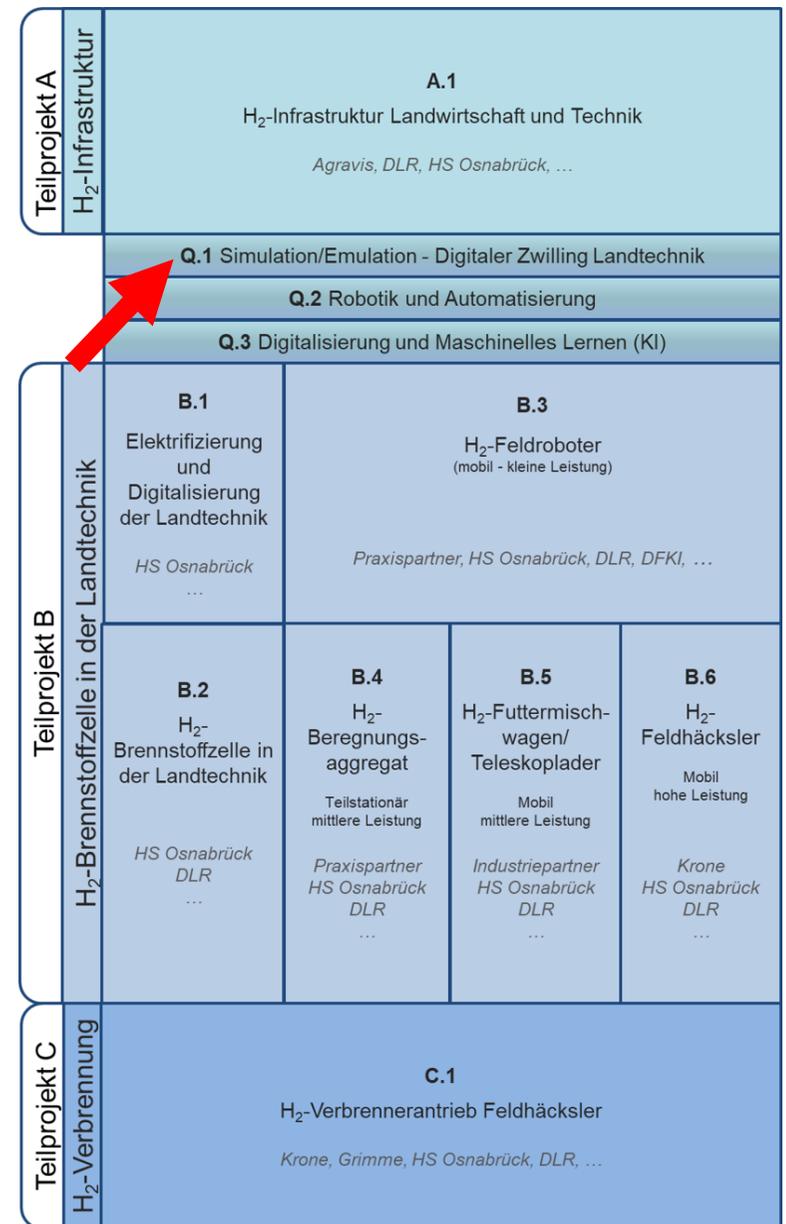


Gesamtkonzept H₂LT

Ziele der Initiative:

Aufbau einer Treibhausgas (THG) freien und auf Wasserstoff basierenden Versorgungs- und Antriebstechnologie für die Landtechnik und landwirtschaftliche Betriebe.

- I. Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur mit Kopplung der Sektoren Agrartechnik und Energie (Strom, Wärme, H₂) durch intelligente Integration von Erzeugern und Verbrauchern
- II. Schrittweise Umstellung von fossilen Antrieben und Energieerzeugung bis 2030 durch Erprobung verschiedener H₂-Technologiepfade mit dem Ziel der Elektrifizierung sämtlicher mobiler Arbeitsmaschinen
- III. Intensivierung der Themen Digitalisierung und Agrarrobotik für die automatisierte ressourcenschonende Landbewirtschaftung, sowie mobiler H₂-Versorgungslogistik im ländlichem Raum



Control

Enable Emulator On

Enable Inverter On

Shorten Off

Init press

Force Enable Emulator On

Enable Outputs On

Interconnection

Star

Overrun I_d Overrun L_q Overrun w

Enable_Controller_Task On

Inverter_Config

PWM_Gen/Inverter Model

Choose Decoder

Bus-Comm. (Logical)

Filter Speed Off

Consider Friction On

Consider Core-Loss On

Filter P_v F_e On

Mechanical

Fix Speed

Torque Load [Nm]

Speed Offset [1/min]

Alpha Offset [°]

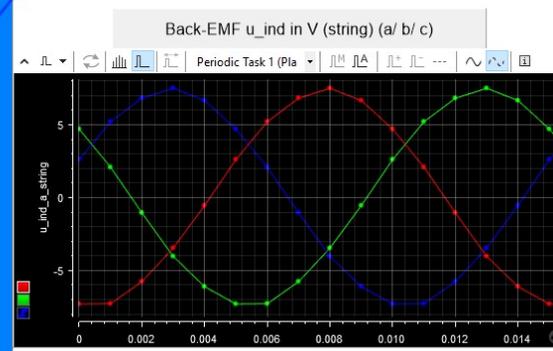
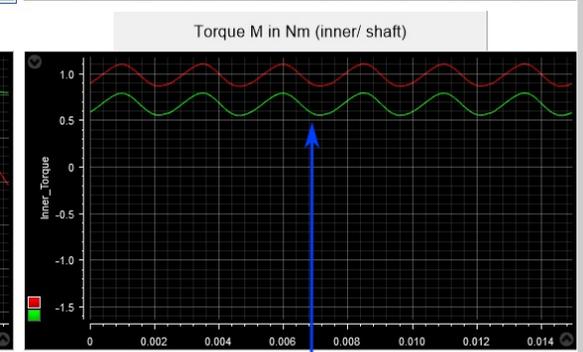
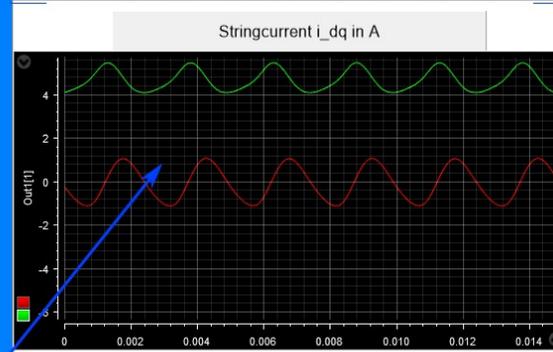
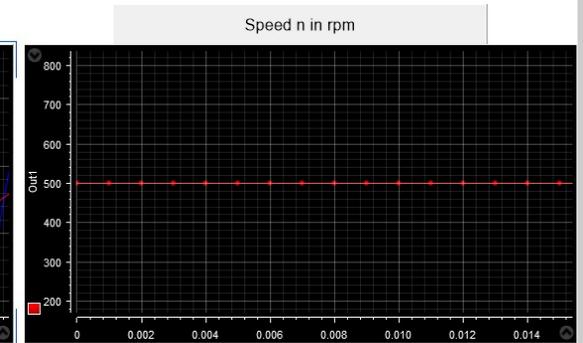
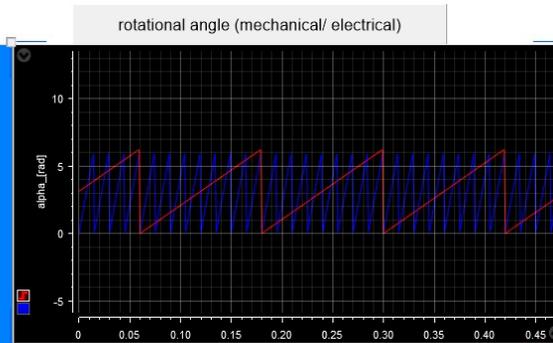
Motor-Controller

Type of Control: Torquecontrol

Reference Speed [1/min]

Reference q-Current [A]

Reference Torque [Nm]



In den dq-Strömen ist die 6. harmonische Oberwelle zu erkennen. Diese resultiert aus der Motorgeometrie. Die Winkelabhängigkeiten sind eine der drei Nichtlinearitäten, die in dem Motormodell berücksichtigt werden.

Das innere Drehmoment (ideales Drehmoment) und das Wellenmoment (ideales abzüglich der Verluste) zeigen ebenfalls die 6. harmonische Oberwelle. Das implementierte Motormodell rechnet sehr zeitkritische Effekte in Echtzeit mit einem maximalen Fehler von 0,2% zur FEM.

FPGA Multiscope Settings

Trigger Mode: Stop, Run, Single, Video, Manual Trigger

Read Process: Stopped, 0%

Downsampling[1_131071]: 10

Visualization_Length[s]: 10.00E+000

Trigger Source: theta

Recording_Length[s]: 1.00E-003

Visualized Scope Depth: 100%

Resolution [m]: 100.00E-009

Trig. [Buttons]

Threshold [-]: 1

Pulse Length[s]: 0

Trigger Delay[s]: -100.00E-003

Host Service Creation: Multiscope, Create XY Plotter

dOrq/Value: 3

Y_Axis_0[-]/Gain: 100

Y_Axis_1[-]/Gain: 100

Y_Axis_2[-]/Gain: 18.9093

Y_Axis_3[-]/Gain: 18.9093

Y_Axis_4[-]/Gain: 384

Y_Axis_5[-]/Gain: 384

Y_Axis_6[-]/Gain: 0.0014

Y_Axis_7[-]/Gain: 0.0014

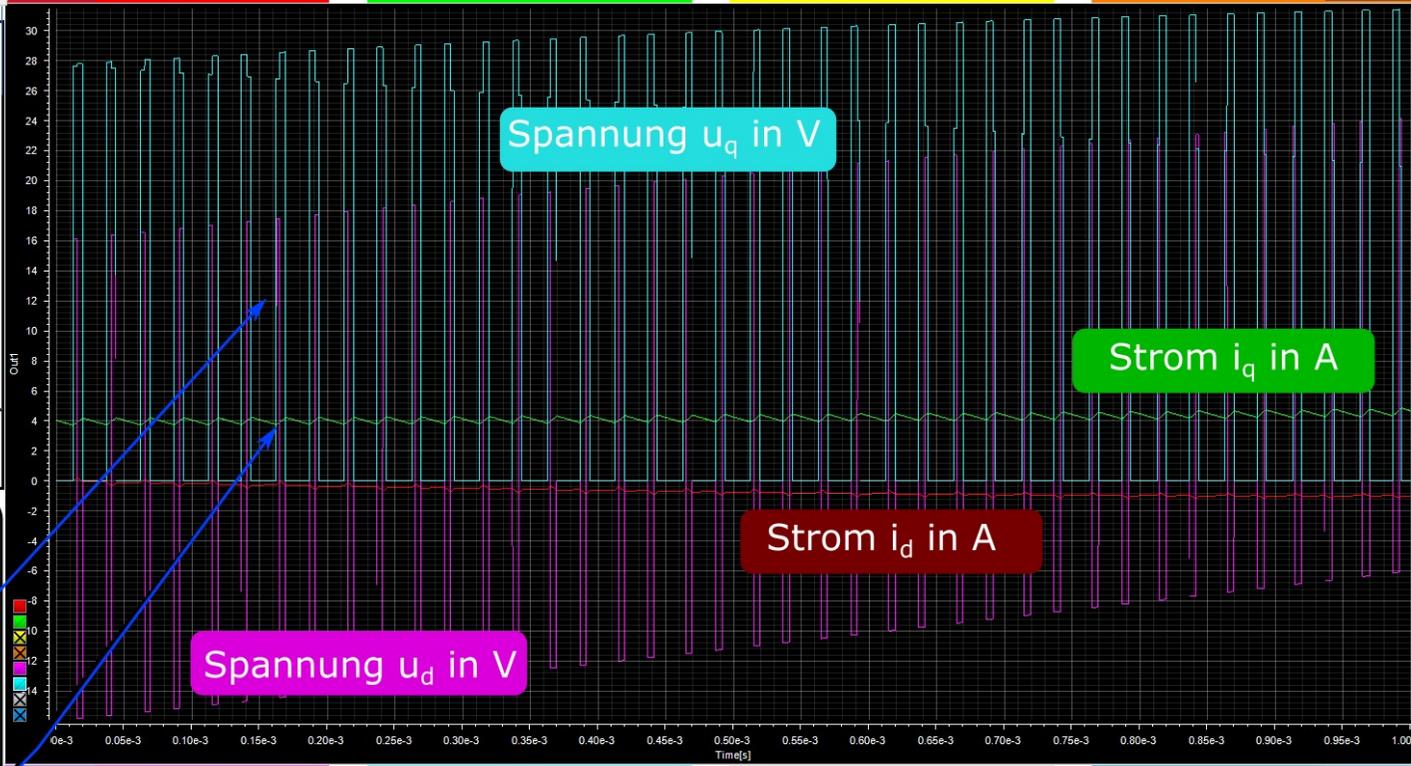
Durch die sehr schnelle Berechnung können die diskreten Spannungszustände berücksichtigt werden. Diese Spannungsformen entstehen durch die PWM der Regelungselektronik. Im Strom ist die PWM anhand des Rippels zu erkennen. (War im vorherigen Bild nicht zu erkennen, da dieser Prozess zu schnell ist.)

Signal_Channel_0[0_15]: i_string_d

Signal_Channel_1[0_15]: i_string_q

Signal_Channel_2[0_15]: inner_Torque

Signal_Channel_3[0_15]: shaft_Torque



Signal_Channel_4[0_15]: u_invert/w_sqrt/ud

Signal_Channel_5[0_15]: I*PR/res_LUT_a/uq

Signal_Channel_6[0_15]: theta

Signal_Channel_7[0_15]: theta

FPGA Multiscope Settings

Trigger Mode: Stop, Run, Single, Video, Manual Trigger

Read Process: Stopped, 0 %

Downsampling[1_131071]: 10

Visualization_Length [s]: 10.00E+000

Trigger Source: theta

Recording_Length [s]: 1.00E-003

Visualized Scope Depth: 100 %

Resolution [s]: 100.00E-009

Trig. [Icons]

Threshold [-]: 1

Pulse Length[s]: 0

Trigger Delay[s]: -100.00E-0...

Host Service Creation: Multiscope + Create XY Plotter

- dOrg/Value: 3
- Y_Axis_0[-]/Gain: 100
- Y_Axis_1[-]/Gain: 100
- Y_Axis_2[-]/Gain: 18.9093
- Y_Axis_3[-]/Gain: 18.9093
- Y_Axis_4[-]/Gain: 384
- Y_Axis_5[-]/Gain: 384
- Y_Axis_6[-]/Gain: 0.0014
- Y_Axis_7[-]/Gain: 0.0014

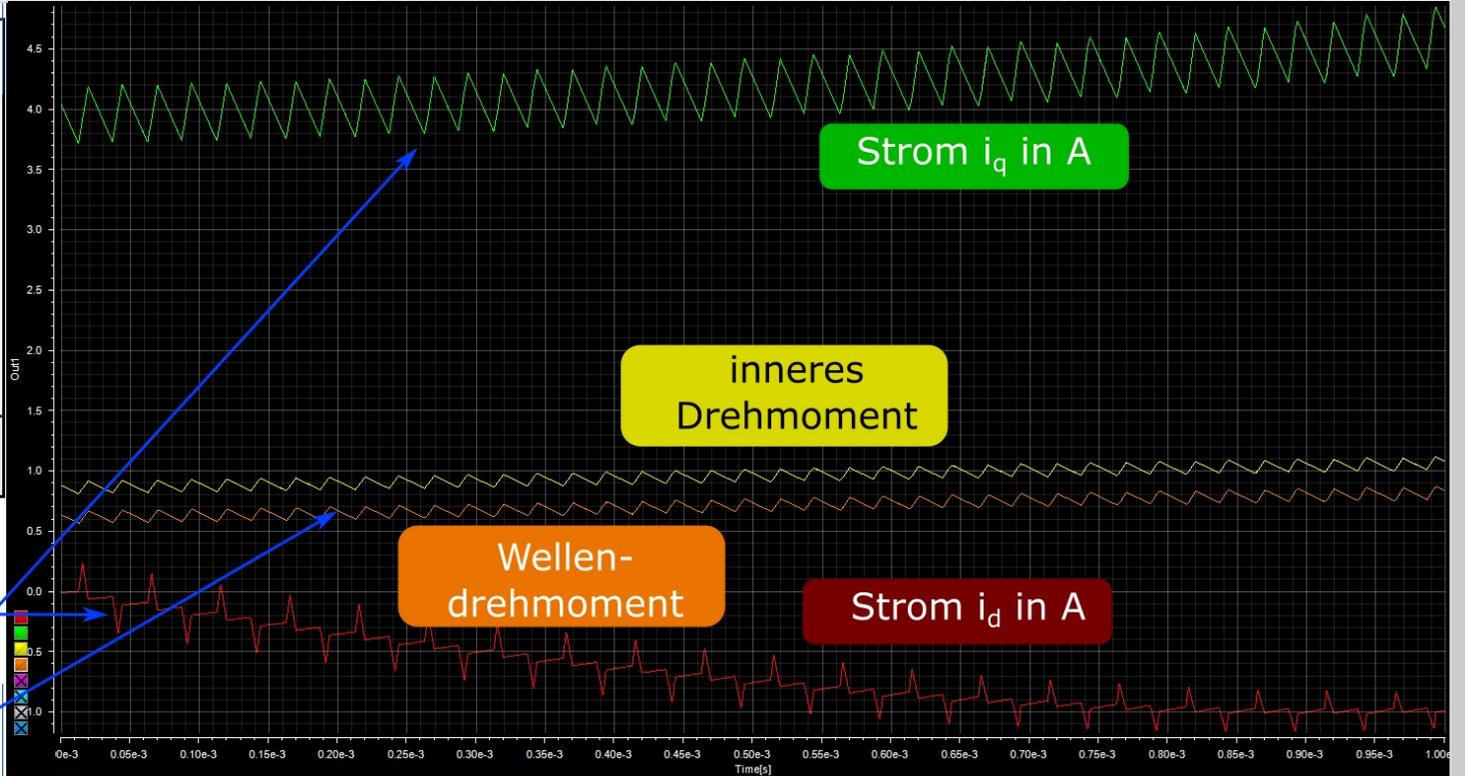
Der durch die PWM erzeugte Stromrippel überträgt sich auf das Drehmoment und erzeugt folgend Geräusche. Zudem hat der Stromrippel einen negativen Einfluss auf die Eisenverluste.

Signal_Channel_0[0_15]
i_string_d

Signal_Channel_1[0_15]
i_string_q

Signal_Channel_2[0_15]
inner_Torque

Signal_Channel_3[0_15]
shaft_Torque



Strom i_q in A

inneres Drehmoment

Wellen-drehmoment

Strom i_d in A

Signal_Channel_4[0_15]
u_invert/w_sqrtlud

Signal_Channel_5[0_15]
i*PR/res_LUT_aluq

Signal_Channel_6[0_15]
theta

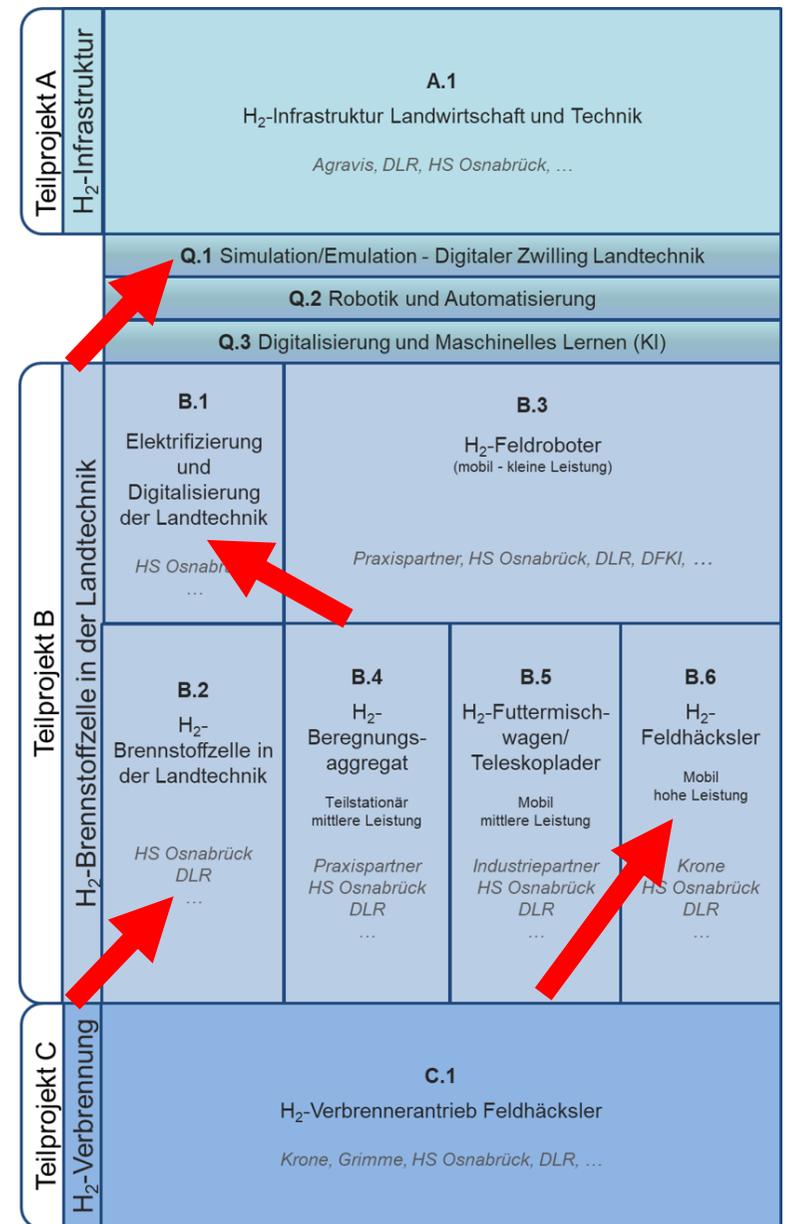
Signal_Channel_7[0_15]
theta

Gesamtkonzept H₂LT

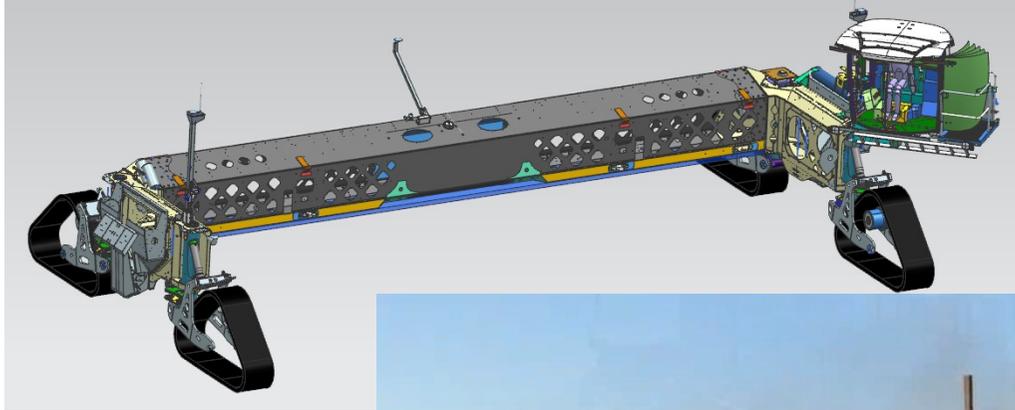
Ziele der Initiative:

Aufbau einer Treibhausgas (THG) freien und auf Wasserstoff basierenden Versorgungs- und Antriebstechnologie für die Landtechnik und landwirtschaftliche Betriebe.

- I. Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur mit Kopplung der Sektoren Agrartechnik und Energie (Strom, Wärme, H₂) durch intelligente Integration von Erzeugern und Verbrauchern
- II. Schrittweise Umstellung von fossilen Antrieben und Energieerzeugung bis 2030 durch Erprobung verschiedener H₂-Technologiepfade mit dem Ziel der Elektrifizierung sämtlicher mobiler Arbeitsmaschinen
- III. Intensivierung der Themen Digitalisierung und Agrarrobotik für die automatisierte ressourcenschonende Landbewirtschaftung, sowie mobiler H₂-Versorgungslogistik im ländlichem Raum



NeXaT2H2



Prof. Dr.-Ing.
Hans-Jürgen Pfisterer



HOCHSCHULE OSNABRÜCK
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



KEA

Kompetenzzentrum
Elektronik & Antriebstechnik

Hochschule Osnabrück
Prof. Dr. Hans-Jürgen Pfisterer
Albrechtstraße 30
49076 Osnabrück

0541 969-3664
j.pfisterer@hs-osnabrueck.de

Literatur / Online-Quellen

- [1] <https://www.fluessiggas1.de/wasserstoffspeicher/>, zuletzt geprüft am 17.01.2022
- [2] Kurzweil; Dietlmeier (2018): Elektrochemischer Speicher. Superkondensatoren, Batterien, Elektrolyse-Wasserstoff, Rechtliche Rahmenbedingungen. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (ATZ/MTZ-Fachbuch).
- [3] Klell; Eichlseder; Trattner (2018): Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Erzeugung, Speicherung, Anwendung. 4., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (ATZ/MTZ-Fachbuch).
- [4] Handler; Nadlinger (2013): Praxistipps zum Treibstoff sparen in Ackerbau- und Grünlandbetrieb. <https://www.lko.at/mmedia/download/2013.01.24/1359042833959755.pdf>, zuletzt geprüft am 17.01.2022
- [5] https://www.pflanzenforschung.de/application/files/7615/6088/2842/Pflug_feld_32425192_S_Jos_16-Fotolia.com.jpg, zuletzt geprüft am 17.01.2022
- [6] <https://www.imws.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/wasserstoff-hochdrucktank-1000bar-leichtbau.html>, zuletzt geprüft am 17.01.2022
- [7] https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/hexagonpurus-website/HexagonPurus_HydrogenType4_DataSheet.pdf, zuletzt geprüft am 17.01.2022
- [8] <https://www.nproxx.com/de/neuer-wasserstofftank-verfuegbar/>, zuletzt geprüft am 17.01.2022
- [9] https://www.agrarheute.com/media/2018-07/Ma%CC%88hdrescher_1.jpg, zuletzt geprüft am 17.01.2022