

ISC

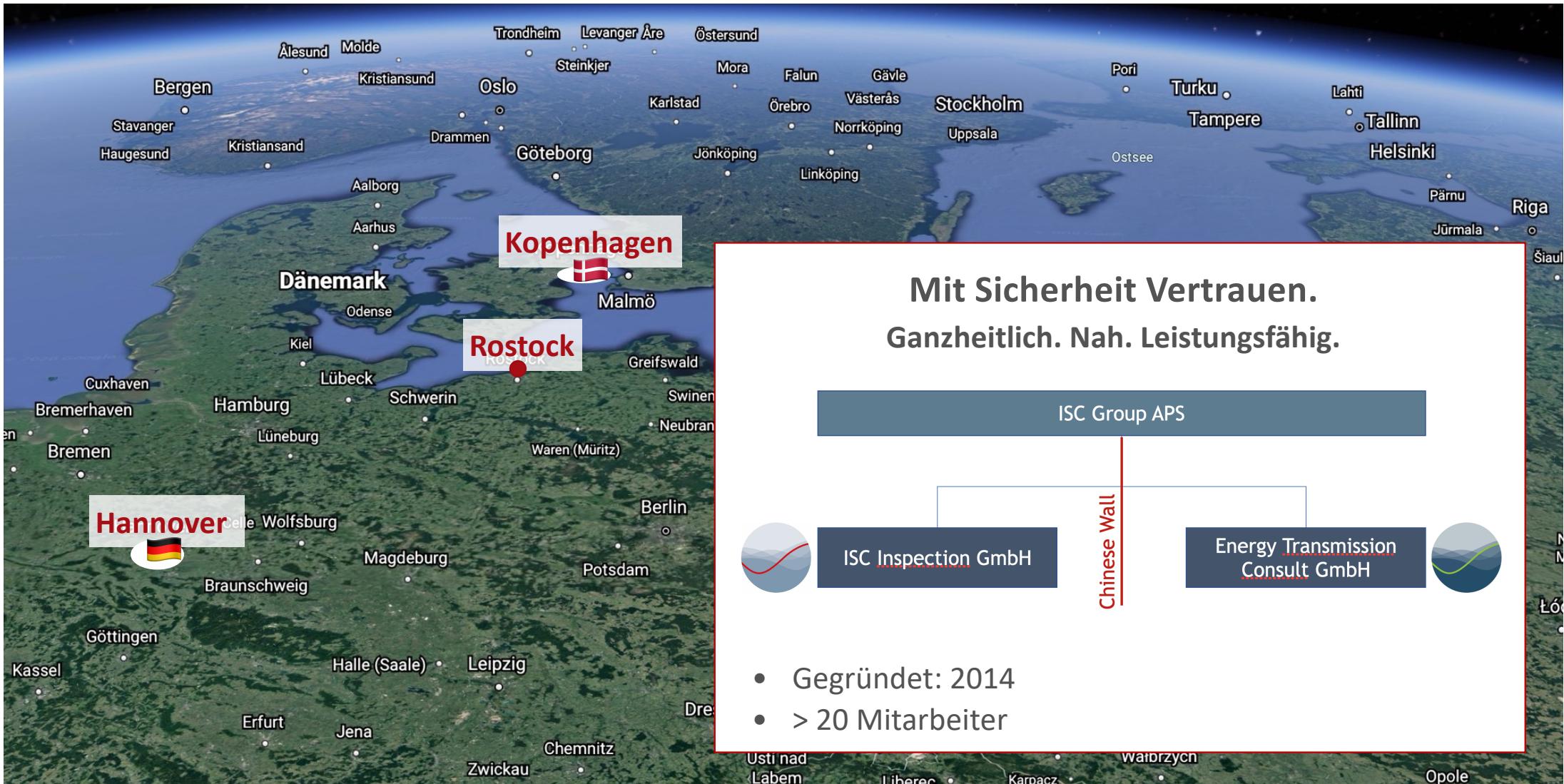
Besonderheiten und Herausforderungen beim Einsatz von Grundchemikalien wie Wasserstoff beim Einsatz in Energieversorgungssystemen und als Kraftstoff

Branchentag Wasserstoff
Wien, 08.04.2025

Agenda

1. Vorstellung ISC Group
2. Hintergrund
3. Stoffliche Herausforderungen
4. Bisherige Erfahrungen
5. Zukünftige Nutzungen – Neue Anforderungen
6. Ausblick







Inspektionen	Beratung	Forschung & Entwicklung
<ul style="list-style-type: none"> • Anlagen- und Prozesssicherheit • Risk Assessment • Funktionale und Cybersicherheit • Brand- und Explosionsschutz • Auswirkungsberechnungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Genehmigungsmanagement • Umweltverträglichkeitsprüfungen • Gefahrstoffmanagement • Rechtssichere Dokumentation • Projektkoordination 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserstoff und Ammoniak als Energieträger und Kraftstoff, • Forschungsprojekte: <ul style="list-style-type: none"> • WIR!-Campfire • TransHyDE



ISC Group – Auszug Referenzen Wasserstoff und Ammoniak



Forschungsfabrik MV (Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V.), 2021

Erstellung Machbarkeitsstudie, Energieträger: H₂, NH₃, MeOH, E-Crude

WIR!-CAMPFIRE - Wind und Wasser zu Ammoniak (3 Projekte gefördert vom BMBF), 2020 - 2024

Ammoniaksicherheit auf Gewässern, Entwicklung eines Tanksystems für eine NH₃ betriebene Sportyacht

TransHyDE – Wasserstoff-Transport-Infrastruktur (5 Projekte gefördert vom BMBF), seit 2021

Entwicklung einer Normungsroadmap für H₂/NH₃/LOHC, Akzeptanz von Ammoniak, Infrastruktur- und Logistikkonzepte für NH₃, landseitige NH₃-Umschlaganlage, Sicherheitskonzepte für NH₃- H₂-Tankstellen

Eisenerz-Direktreduktionsanlagen mit H₂ (Salzgitter Flachstahl GmbH)

Mitarbeit Machbarkeitsstudie für Direktreduktionsanlage (DRI) am Standort Wilhelmshaven, 2020

Genehmigungsmanagement für Transformation am Standort Salzgitter (DRI, EAF, Elektrolyseanlage, UW), seit 2021

Wasserstoff-Demonstrationsanlage (APEX Energy Teterow GmbH in Laage), seit 2020

Wasserstoffanlage HyBit der swb AG/EWE am Standort ArcelorMittal Bremen, 2023

Wasserstoffanlage der Chemitas am Standort Goslar, 2024

Ammoniakanlagen der YARA in Brunsbüttel und Rostock (Peez, Poppendorf), seit 1995

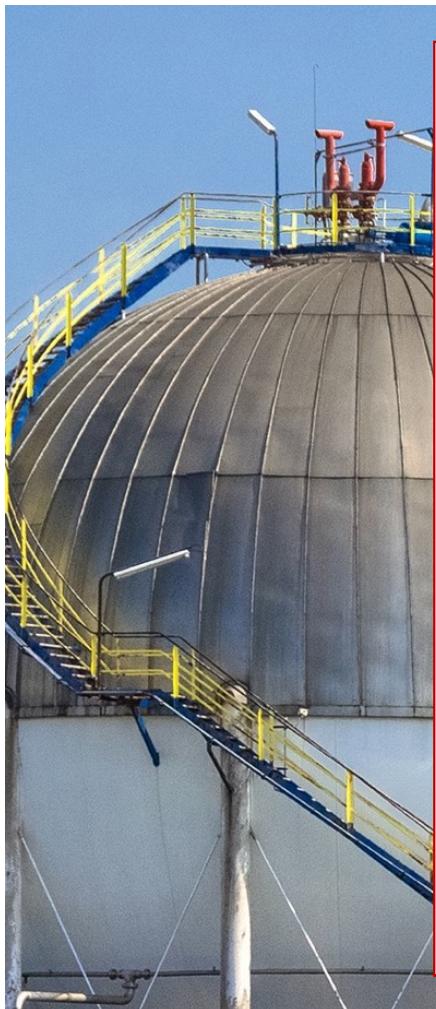
New Energy Gate Hamburg (NH₃-Importterminal der Oiltanking GmbH), seit 2023

Hamburg - Green Energy Import Terminal der Air Products GmbH (NH₃-Crackeranlage), 2023

Machbarkeitsstudie EcoPort813, Ammoniakumschlag im Rhein-Lippe-Hafen, 2024

Gremienarbeit –VDI 4635 Power-to-X, Mitglied im Richtlinienausschuss, seit 2022

2. Hintergrund – Energiebedarf



	2018	2030	2050
Bruttostrombedarf (TWh)	595	698	910
Bedarf an Powerfuels (TWh)	0	69	657
Heimisch produziert	0	9,5	60
Aus Europa importiert	0	56	214
Von außerhalb Europas importiert	0	3,7	383

Quelle: Abschlussbericht dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ (2021)

Fazit:

- Bedarf kann nicht durch nationale Produktion gedeckt werden
- Importe in erheblichen Umfang erforderlich
- Neue Importterminals für grüne oder blaue Energieträger erforderlich
- Neue verbrauchernahe Speicherkapazitäten erforderlich
- Unterschiedliche Transportlösungen in Abhängigkeit der Verbraucher und Anwendungen
- Zz. keine klare Präferenz für eine Energieträgerlösung (Marktentwicklung unklar)

2. Hintergrund – Speicherung von Wasserstoff

- 
- **Druckspeicherung:**
 - ca. 12 % des Energieinhalts (bis 800 bar) von Wasserstoff zur Kompression erforderlich
 - **Flüssigspeicherung:**
 - ca. 28...46 % des Energieinhalts für die Verflüssigung
 - bis zu 6 % des Energieinhalts für Transport zwischen Verflüssigungsstation und Tankstelle
 - bis zu 3 % des Energieinhalts je Tag durch Boil-off Verluste
 - Verdampfungsverluste beim Umfüllen
 - **zum Vergleich**
 - für Diesel- und Ottokraftstoffe beträgt der Energieaufwand etwa 0,2 %

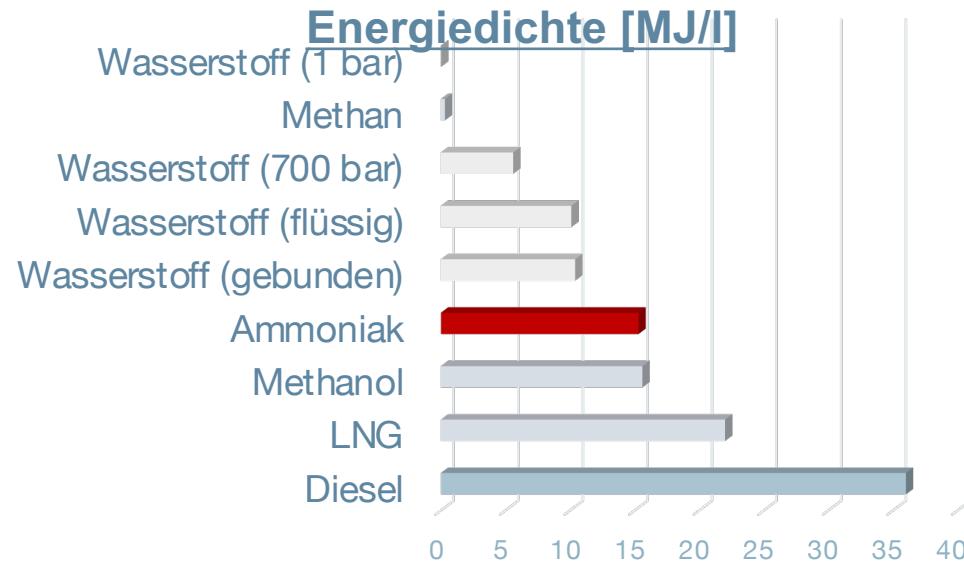
Alternativen:

- Absorptive Speicherung (Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC))
- Speicherung als chemisch gebundener Wasserstoff
 - z. B. Methanol, Methan, Dimethylether, ...
Achtung: Alle diese Stoffe setzen bei der Verwertung CO₂ frei
 - Ammoniak: einziger C-freier Speicher

2. Hintergrund – Energiedichten

Wasserstoff hat von allen Brenn- und Treibstoffen die höchste massebezogene Energiedichte

- Energiedichte von 1 kg Wasserstoff entspricht:
 - 2,1 kg Erdgas
 - 2,8 kg Benzin
- ABER: Für Transport und Lagerung ist volumenbezogene Energiedichte relevant



Erheblich größere Speicherkapazitäten oder zusätzliche Lieferungen erforderlich!

3. Stoffliche Herausforderungen

	H2	LH2	NH3	CH3OH	CH4	LNG	LOHC (je nach Träger)
Zustand	gasförmig	verflüssigt	verflüssigt	flüssig	gasförmig	verflüssigt	flüssig
Lager-/Transport-temperatur	Umgebung	-253°C	-33°C / Umgebung	Umgebung	Umgebung	-162°C	Umgebung
Relative Gasdichte	0,0695	0,0695	0,6	1,1	0,56	>1 (unter - 110°C)	>1
UEG – OEG (Vol%)	4 – 77	4 – 77	14 – 32,5	6 – 50	4,4 – 17	4,4 – 17	
Eigenschaften	Extrem entzündlich	Extrem entzündlich	Akut toxisch, entzündbar	Leicht entzündbar	Extrem entzündlich	Extrem entzündlich	Leicht entzündbar
H-Sätze	220, 280	220, 281	221, 280, 331, 314, 410	225, 301, 311, 331, 370	220, 280	220, 281	z.B. 225, 304, 315, 336, 410
Beurteilungswerte (AEGL, 60 min)	-	-	25 / 160 / 1.100 ppm	530 / 2.100 7.200	-	-	Toluol: 67 / 560 / 3.700

3. Stoffliche Herausforderungen

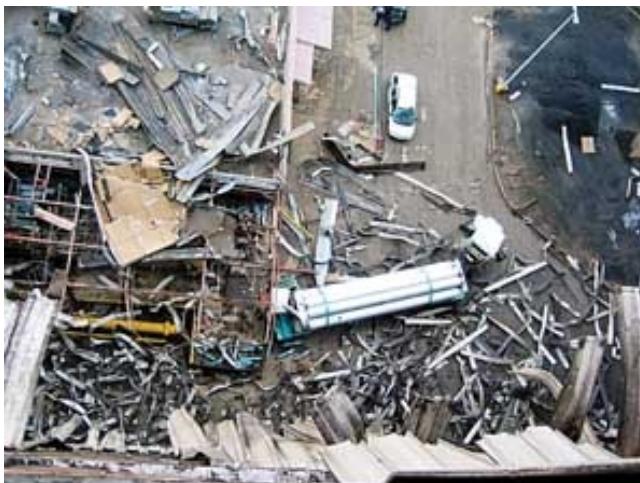
Sicherheitstechnische Herausforderungen von Wasserstoff

- Zündeigenschaften und Abbrandverhalten:
 - sehr hohe laminare Flammengeschwindigkeit von 346 cm/s
 - großer Explosionsbereich (4 – 77 Vol.-%)
 - Zündtemperatur (560 °C)
 - Mindestzündenergie: 0,016 mJ (Methan: 0,28 mJ, Methanol: 0,2 mJ)
 - max. Explosionsüberdruck: 8,3 bar (ü)
 - Flammen kaum sichtbar (ultra-violetter Bereich)
 - geringe Hitzeausstrahlung (keine glühenden Kohlenstoffpartikel), kein Rauchbildung (ohne Zusatzsubstanzen)
- Wasserstoffversprödung:
 - großes Diffusionsvermögen in vielen Materialien, insbesondere Stahl, ausgenommen austenitische Stähle
- Ausbreitungsverhalten:
 - sehr viel geringere Dichte als Luft
 - dennoch unter bestimmten Bedingungen Schwergasverhalten möglich

3. Stoffliche Herausforderungen

Störfälle mit Wasserstoff

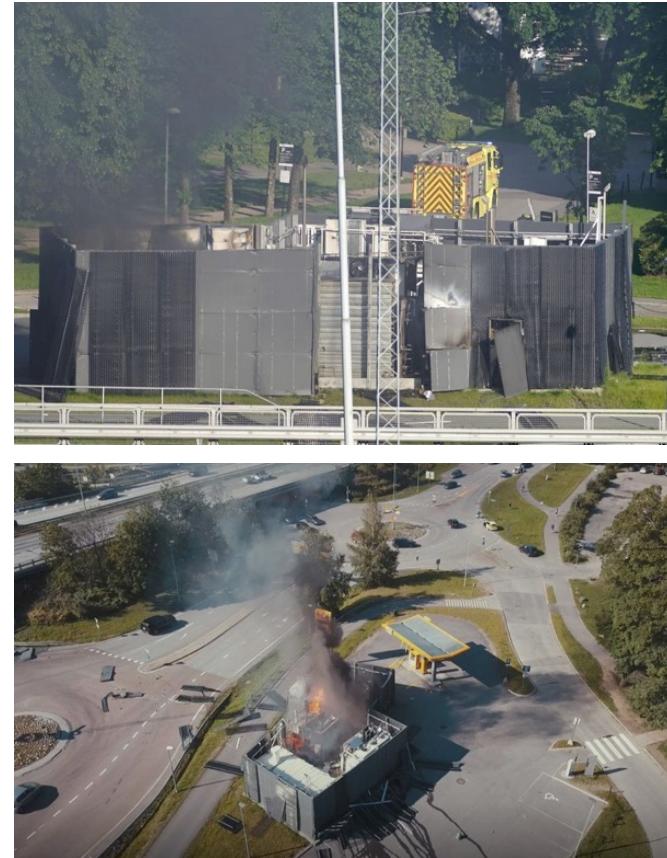
- ZEMA-Ereignisdatenbank: ca. 15 Ereignisse mit Wasserstoff
- 08.01.2007: Wasserstoffexplosion im kohlebefeuerten Kraftwerk Muskingum River der Ohio Power Co. :
 - Nutzung von Wasserstoff innerhalb des Kraftwerks zur Kühlung der Blockgeneratoren
 - eine **Wasserstoffentlastungsvorrichtung versagte** während einer Routineanlieferung
 - Inhalt des Wasserstoffs konnte entweichen und wurde durch unbekannte Quelle entzündet
 - 1 Toter, 10 Verletzte



3. Stoffliche Herausforderungen

06.2016: Explosion einer Wasserstofftankstelle in Sandvika, Norwegen

- Eröffnung der Tankstelle 2016
- erste Gesamtsystemlösung des Betreibers Nel mit **Erzeugung und Befüllung von Wasserstoff** an derselben Stelle
- zudem Nutzung überschüssiger Energie von Solarzellen auf dem Nachbargebäude zur Wasserstoffproduktion
- Grund für den Störfall: Leck an der Rohrverschraubung eines der separat gelagerten Hochdrucktanks, Bildung und Entzündung einer Wasserstoff-Gaswolke
- 2 Verletzte



3. Stoffliche Herausforderungen

Brand- und Explosionsgefahren von Ammoniak

- Explosionsgrenzen: 14 bis 32 Vol%
- Mindestzündenergie: 15 mJ
- Mindestzündtemperatur: 630°C
- Flammpunkt: 110°C
- Gefahrensatz: H221 (entzündbares Gas)

Aber:

- keine Brand- und Explosionereignisse von Ammoniak im Freien dokumentiert
- alle Brand- und Explosionereignisse nur unter Beteiligung anderer Stoffe und mit Stützflamme

Problem:

- Art und Bestimmung der Kennzahlen -> Forschungsbedarf

3. Stoffliche Herausforderungen

Störfälle mit Ammoniak

- ZEMA Ereignisdatenbank: ca. 73 Ereignisse mit Ammoniak (nicht alle sind relevant)



Auswirkungen auf Pflanzen (5 Tage und 2 Monate nach Ereignis)



4. Bisherige Erfahrungen

Anwendungen

1. Wasserstoff – Grundstoff in der chemischen Industrie
2. Ammoniak – Grundstoff in der Düngemittelindustrie, Kältemittel
3. Methanol – Grundstoff in der chemischen Industrie
4. Methan – Energieträger, z.B. als Erdgas, keine (onshore) LNG-Terminals in Deutschland
5. LOHC – bisher keine nennenswerten Anwendungen

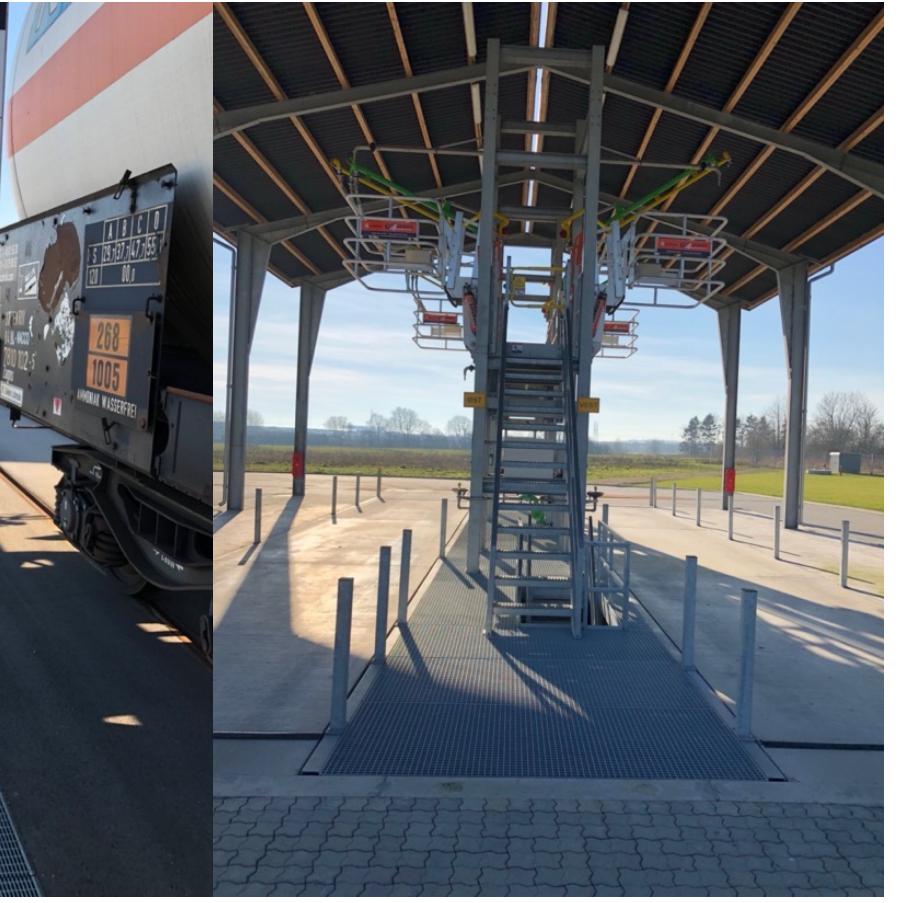
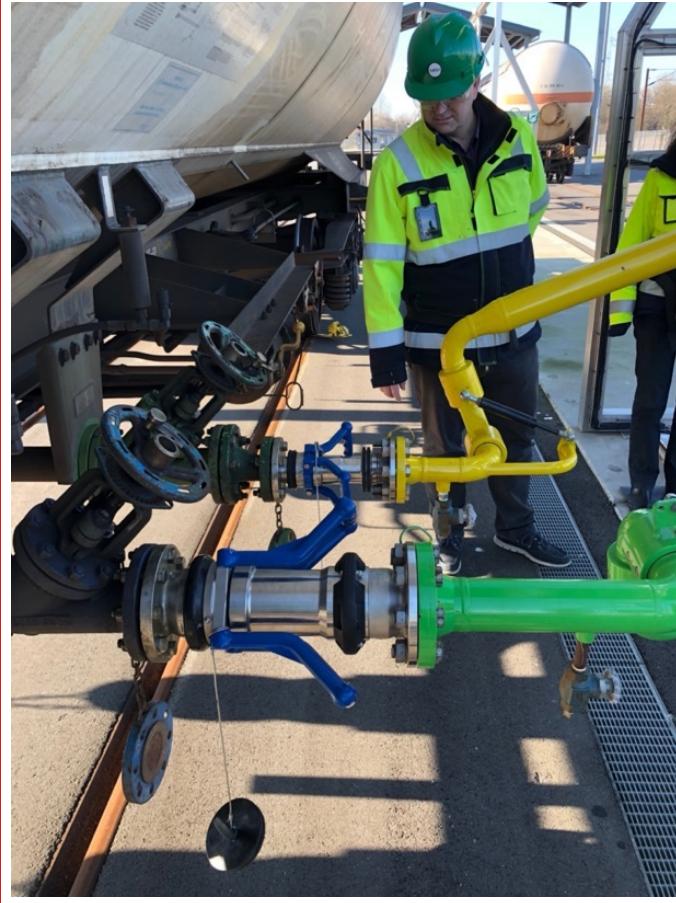
Rechtlicher Rahmen, Regelwerke, Stand der Sicherheitstechnik

- Für 1 bis 4 umfassend entwickelt, für 5 noch nicht erforderlich
- Z.B. GefStoffV/TRGS, BetrSichV/TRBS, DGUV/BGI, StörfallV/TRAS/KAS ...
- Sicherheitstechnische Ausrüstung der Anlagen hat Betriebsbewährung nachgewiesen
- Betreiber sehr erfahren, qualifiziertes Personal, umfassende Managementsysteme vorhanden, umfassende PSA
- Großanlagen tendenziell mit Abstand zu Schutzobjekten

4. Bisherige Erfahrungen – Transportmöglichkeiten Ammoniak



4. Bisherige Erfahrungen – Umschlaganlagen für Ammoniak



5. Zukünftige Nutzungen – Neue Anforderungen

Neue Risiken

- Neue Nutzergruppen und Anwendungsfälle außerhalb der chemischen Industrie (Wasserstoff, Ammoniak)
 - z.B. Umschlag von Ammoniak über Seehäfen, dezentrale Lageranlagen, Wasserstoff/Ammoniak-BHKW, lokale Crackersysteme, Carbon Capture and Storage-Systeme
 - Logistiker statt Chemiefacharbeiter
- Neue Transport, Lager und Umschlaganforderungen
 - Umschlag großer Mengen in üblichen Seehäfen
 - Erhöhung der Transportkapazitäten über Eisenbahnkesselwagen und Straßentankwagen (rechtlicher Rahmen für Ammoniak muss geschaffen werden)
 - Umnutzung von LNG-Terminals – muss bei der Genehmigung berücksichtigt werden
 - **Verlademöglichkeiten für „Jedermann“**

5. Zukünftige Nutzungen – Neue Anforderungen

Viele Technologien noch im Entwicklungsstadium

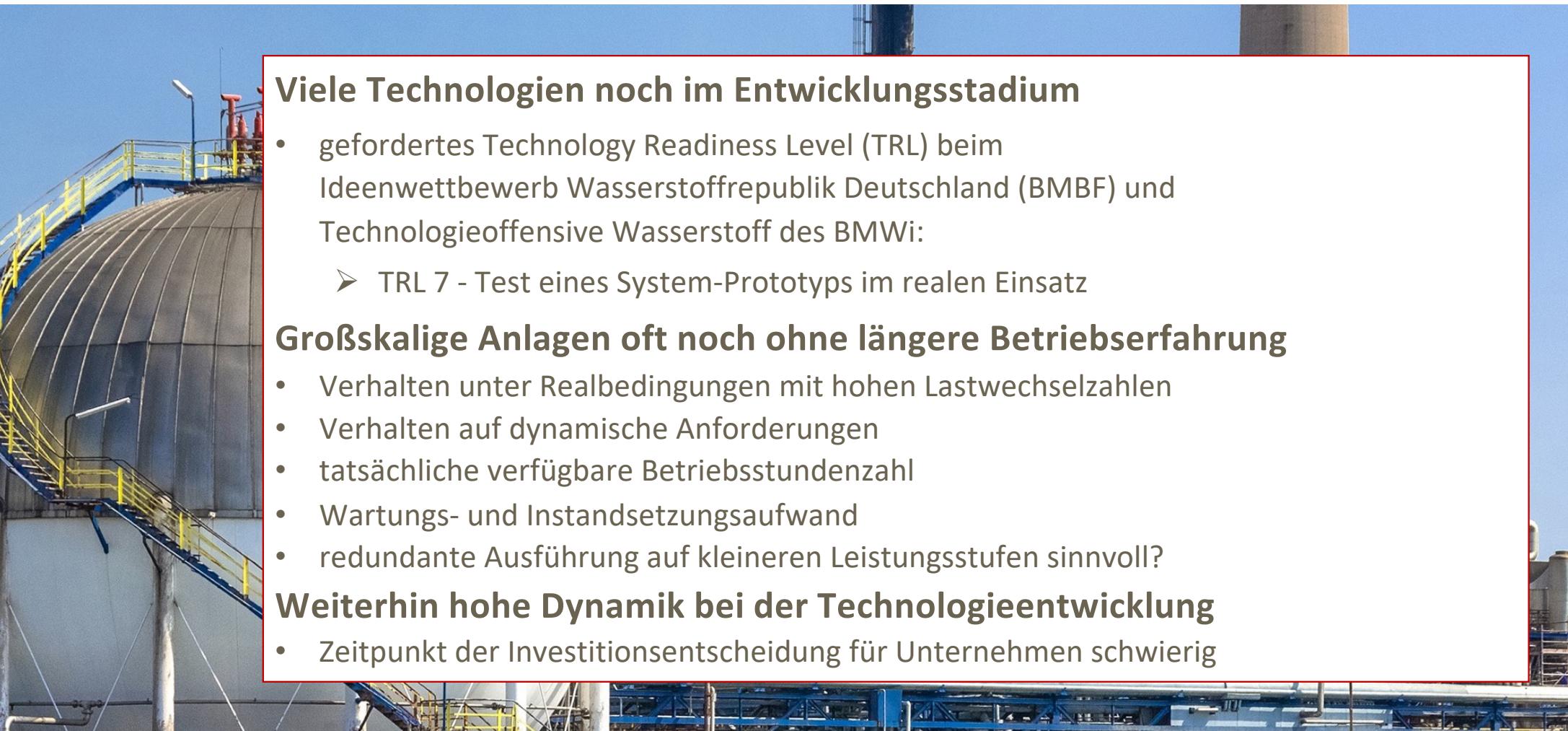
- gefordertes Technology Readiness Level (TRL) beim Ideenwettbewerb Wasserstoffrepublik Deutschland (BMBF) und Technologieoffensive Wasserstoff des BMWi:
 - TRL 7 - Test eines System-Prototyps im realen Einsatz

Großskalige Anlagen oft noch ohne längere Betriebserfahrung

- Verhalten unter Realbedingungen mit hohen Lastwechselzahlen
- Verhalten auf dynamische Anforderungen
- tatsächliche verfügbare Betriebsstundenzahl
- Wartungs- und Instandsetzungsaufwand
- redundante Ausführung auf kleineren Leistungsstufen sinnvoll?

Weiterhin hohe Dynamik bei der Technologieentwicklung

- Zeitpunkt der Investitionsentscheidung für Unternehmen schwierig



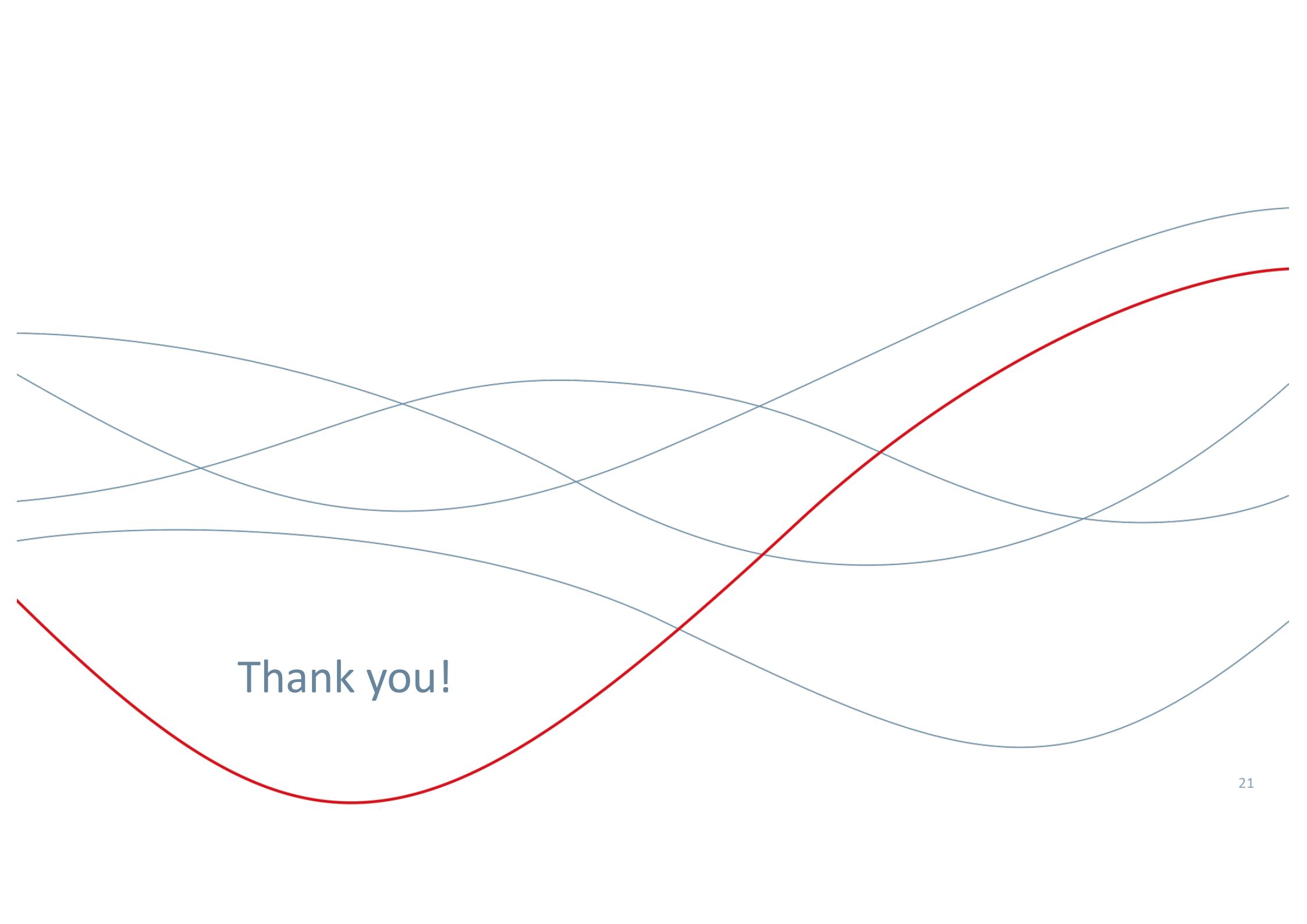
6. Ausblick

Regelwerksentwicklung

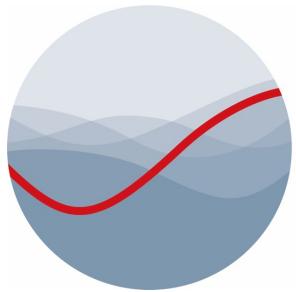
- Aktuell mehrere Projekte zur Identifizierung des Bedarfs (TransHyDE, DIN)
- Aktuell Anpassungen von Normen und Richtlinien (z.B. VDI)
- Zz. kaum/keine Regelwerke für neue Anlagetypen (z.B. Elektrolyseuere)
- Bisher wird jede Anlage einzeln analysiert und bewertet:
 - Sehr individuelle Bewertungen
 - Eingeschränkte Vergleichbarkeit
 - Kaum Erfahrungsaustausch
 - Risiko von überzogenen Anforderungen oder Bewertungslücken

Akzeptanz

- Muss für Stoffe wie Ammoniak entwickelt werden
- Internetrecherchen führen unmittelbar/sehr schnell auf Störfälle/Ereignisse



Thank you!



ISC

ISC Group ApS
c/o Dansk-Tysk Handelskammer
Kongens Nytorv 26, 3. sal,
DK-1050 København
Denmark

Tel.: +49 171 298 1975
E-Mail: mb@isc.group
Web: www.inherent-solutions.net

Inherent Solutions Consult
GmbH & Co. KG
Bemeroder Straße 71
D-30559 Hannover
Niedersachsen, Germany

Tel.: +49 511 807659 0
E-Mail: info@inherent-solutions.net
Web: www.inherent-solutions.net

Quellennachweis: Hintergrund Folien 2, 9 - 14: ISC, Folienhintergrund 3 - 5: Google Maps, Hintergrund Folien 6-8, 15-20: Adobe Stockfoto, Bilder Folien 11 – 13, 16: Google Search und ISC, Bilder Folie 16: ISC