

ISC

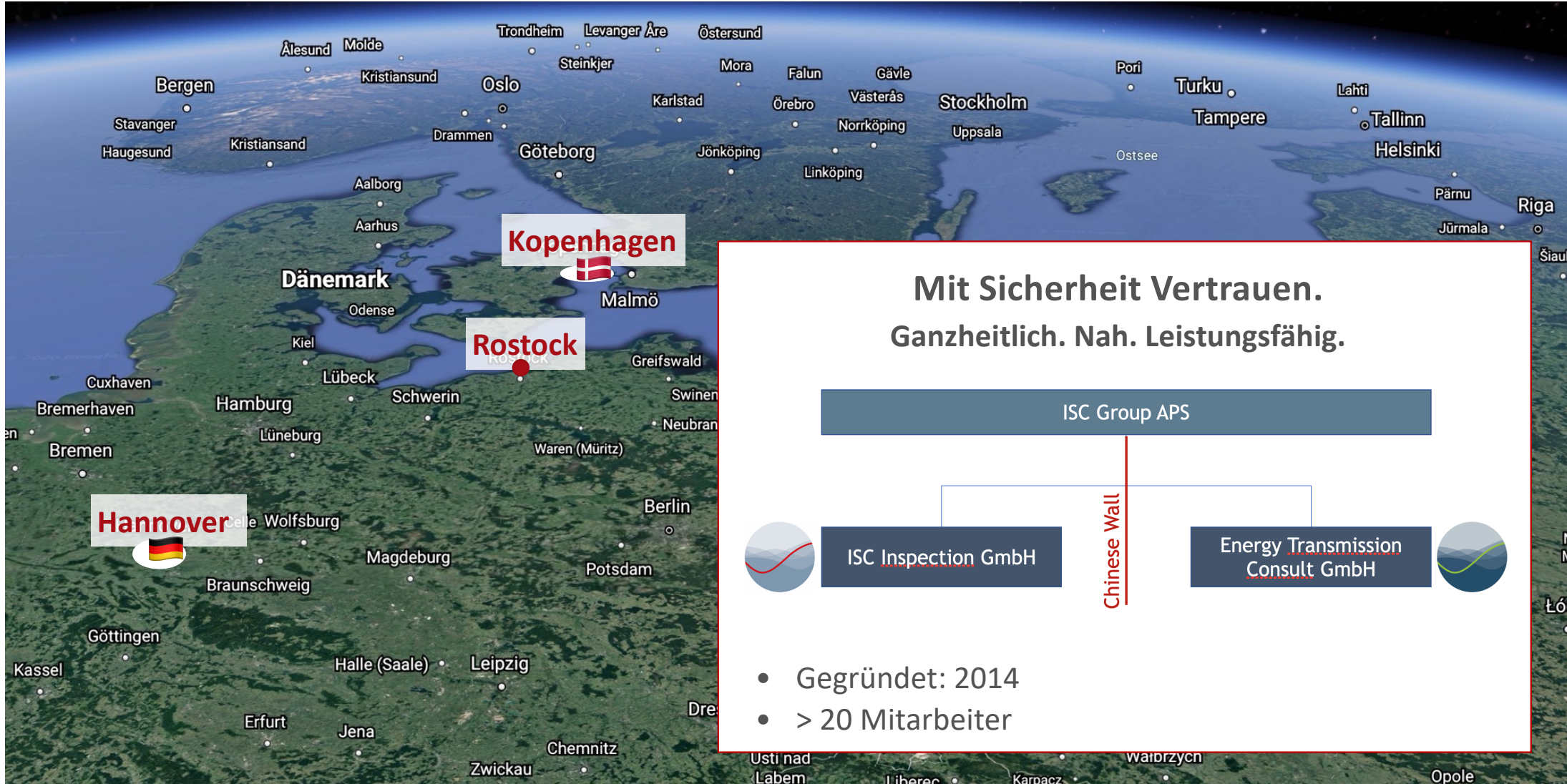
## **Besonderheiten und Herausforderungen beim Einsatz von Grundchemikalien wie Wasserstoff beim Einsatz in Energieversorgungssystemen und als Kraftstoff**

Branchentag Wasserstoff  
Wien, 08.04.2025

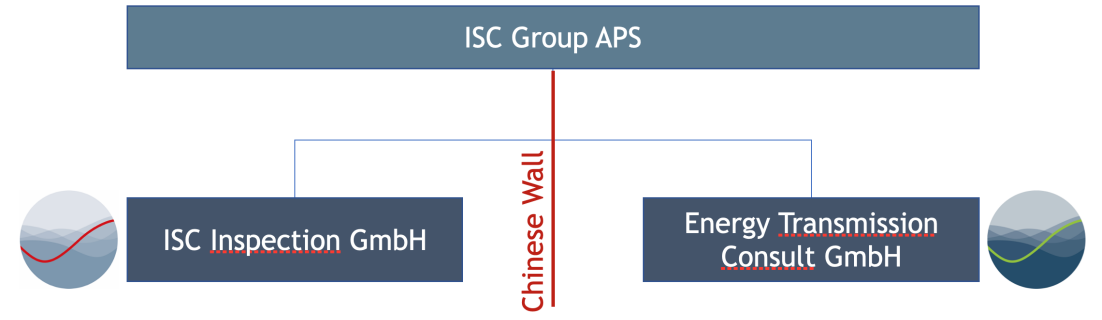
# Agenda



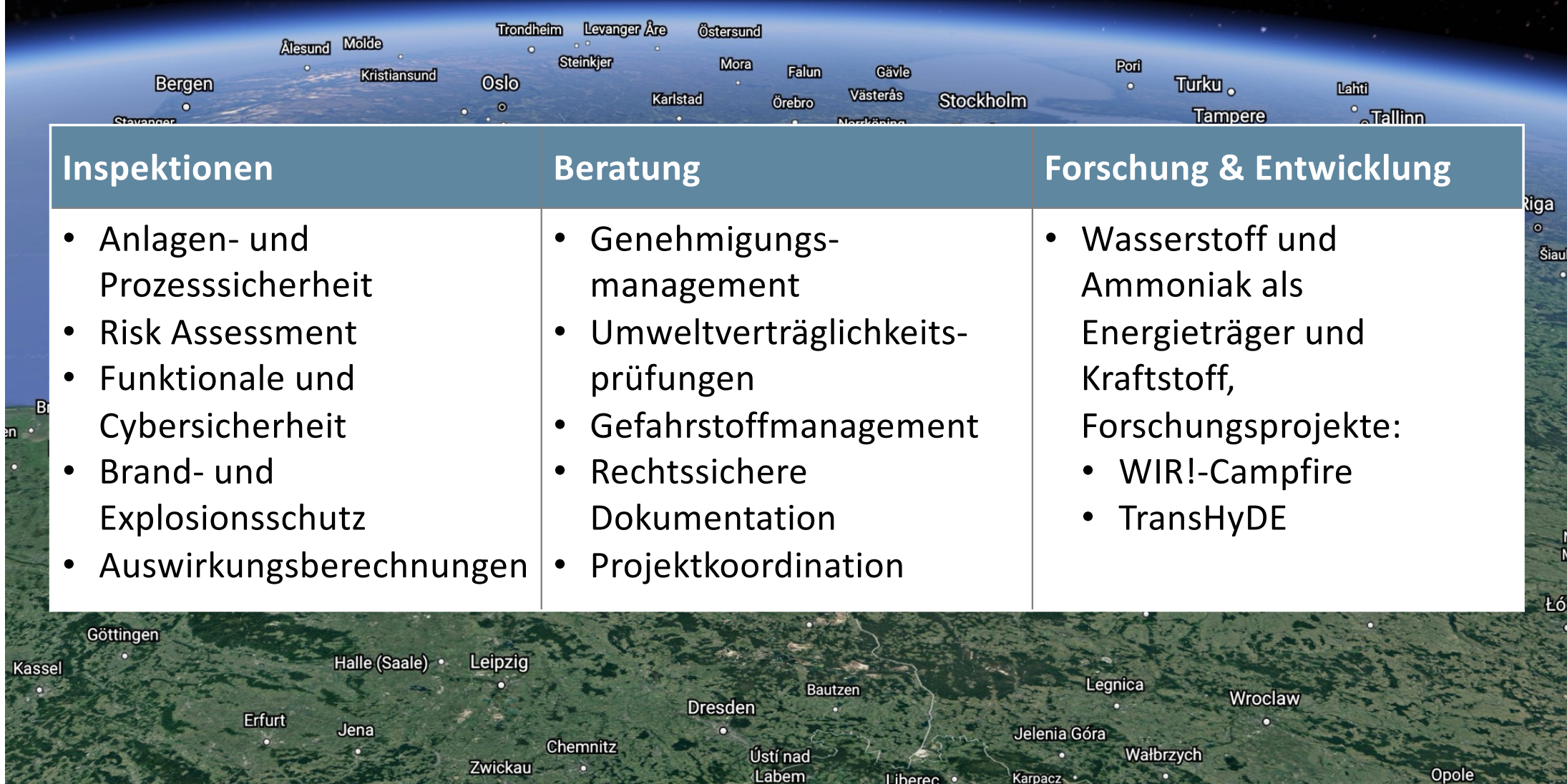
1. Vorstellung ISC Group
2. Hintergrund
3. Stoffliche Herausforderungen
4. Bisherige Erfahrungen
5. Zukünftige Nutzungen – Neue Anforderungen
6. Ausblick



Mit Sicherheit Vertrauen.  
Ganzheitlich. Nah. Leistungsfähig.



- Gegründet: 2014
- > 20 Mitarbeiter



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

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

Erstellung Machbarkeitsstudie, Energieträger: H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, 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 NH<sub>3</sub> betriebene Sportyacht

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

Entwicklung einer Normungsroadmap für H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>/LOHC, Akzeptanz von Ammoniak, Infrastruktur- und Logistikkonzepte für NH<sub>3</sub>, landseitige NH<sub>3</sub>-Umschlaganlage, Sicherheitskonzepte für NH<sub>3</sub>- H<sub>2</sub>-Tankstellen

## **Eisenerz-Direktreduktionsanlagen mit H<sub>2</sub> (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 (NH<sub>3</sub>-Importterminal der Oiltanking GmbH), seit 2023**

## **Hamburg - Green Energy Import Terminal der Air Products GmbH (NH<sub>3</sub>-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 %

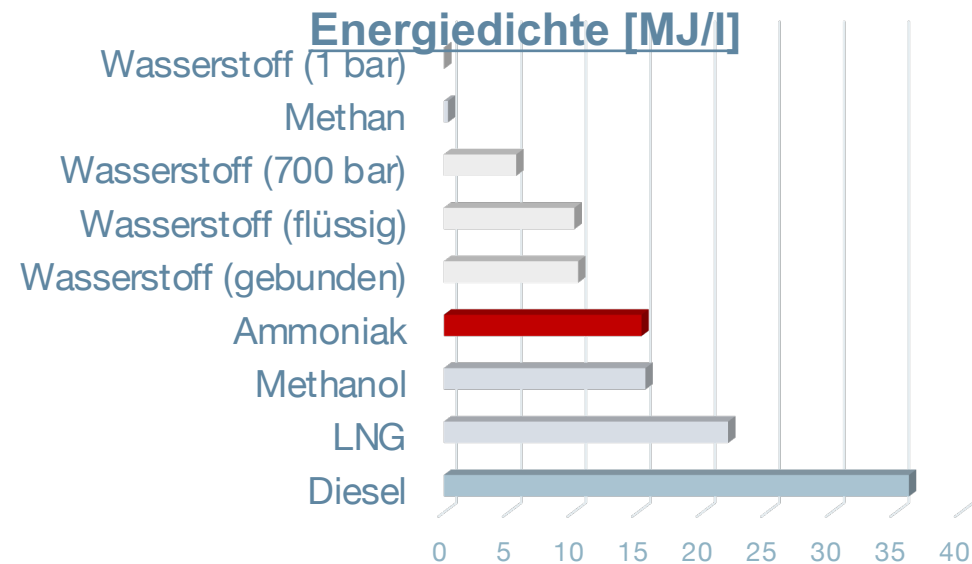
### Alternativen:

- 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 CO<sub>2</sub> 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-/Transporttemperatur	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 Flammgeschwindigkeit 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 Hitzeabstrahlung (keine glühenden Kohlenstoffpartikel), keine 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 kohlebefeueren 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 Explosionsereignisse von Ammoniak im Freien dokumentiert**
- **alle Brand- und Explosionsereignisse 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)



### 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, StörfallIV/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



EF nummer 231-635-3 CAS nummer 7664-41-7

**Farepilogrammer**

GHS04 GHS05 GHS06 GHS07

**Faresætninger**

H221 Brandfarlig gas.  
H280 Irriterende gas under tryk, kan eksplosivt ved opvarmning.  
H314 Forårsager svære forbrændinger af huden og øjenskader.  
H331 Giftig ved indånding.  
H400 Måske giftig for vandlevende organismer.

**Sikkerhedssetninger**

P210 Holdes væk fra varme overflader, gnister, åben ild og andre antændingskilder. Røgning forbudt.  
P280 Indhold ikke gas eller damp.  
P273 Uønsket udledning til miljøet.  
P280 Brug værflyg arbejdsdragt, egnet beskyttelseshandsker og briller eller ansigtsskærm.  
P281 Anvend de påkravede personlige værnemidler.

**VED KONTAKT MED HUDEN (eller håret):**  
P301 Alle berørte områder skal vaskes grundigt.  
P303 Skyl huden med vand. (sæd, vand, vand og efter vand)

**VED INDÅNDNING:**  
P340 Flyt personen til et sted med frisk luft og sørg for at vedkommende holder sin ånding, som bliver opmærksom.  
P310 Ring omkring til GIFTINFORMATIONEN eller læge.

**VED KONTAKT MED ØJNE:**  
P301 Flyt personen til et sted med frisk luft og sørg for at vedkommende holder sin ånding, som bliver opmærksom.  
P330 Fjern eventuelle kontaktlinser, hvis det kan gøres let. Fortsat skylning. (se sikkerhedssetning P361)  
P315 Sørg omkring lægehjælp.

**VED KONTAKT MED TØDT:**  
P301 Flyt personen til et sted med frisk luft og sørg for at vedkommende holder sin ånding.  
P360 Alle berørte områder skal vaskes inden genindånding.

**Andre tegn**  
Kontakt med flydende gas kan forårsage forfrysning.

**OMLÆSNING-AMMONIAK**

PERSONLIGT VÆRNEUDSTYR SKAL ANVENDES I AMMONIAKZONER

### 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“**

### **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

### Regelwerksentwicklung

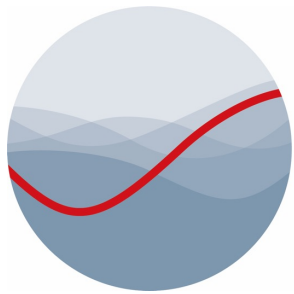
- Aktuell mehrere Projekte zur Identifizierung des Bedarfs (TransHyDE, DIN)
- Aktuell Anpassungen von Normen und Richtlinien (z.B. VDI)
- Zz. kaum/keine Regelwerke für neue Anlagentypen (z.B. Elektrolyseure)
- Bisher wird jede Anlage einzeln analysiert und bewertet:
  - Sehr individuelle Bewertungen
  - 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

The background features several overlapping, smooth, wavy lines. There are five thin blue lines and one prominent, thicker red line that curves across the lower half of the page. The lines are fluid and organic in shape, creating a modern, abstract aesthetic.

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](mailto:mb@isc.group)  
Web: [www.inherent-solutions.net](http://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](mailto:info@inherent-solutions.net)  
Web: [www.inherent-solutions.net](http://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