

# Entwicklung eines LNG-Marktes für die Binnenschifffahrt

Transport, Verteilung, Treibstoff

CCNR Round Table „Supply and Transport of LNG in Inland Navigation“ 13.11.2012

**Prof. Dr.-Ing. Bettar el Moctar<sup>1</sup>**

**Dr.-Ing. Cornel Thill<sup>2</sup>**

**Universität Duisburg-Essen**

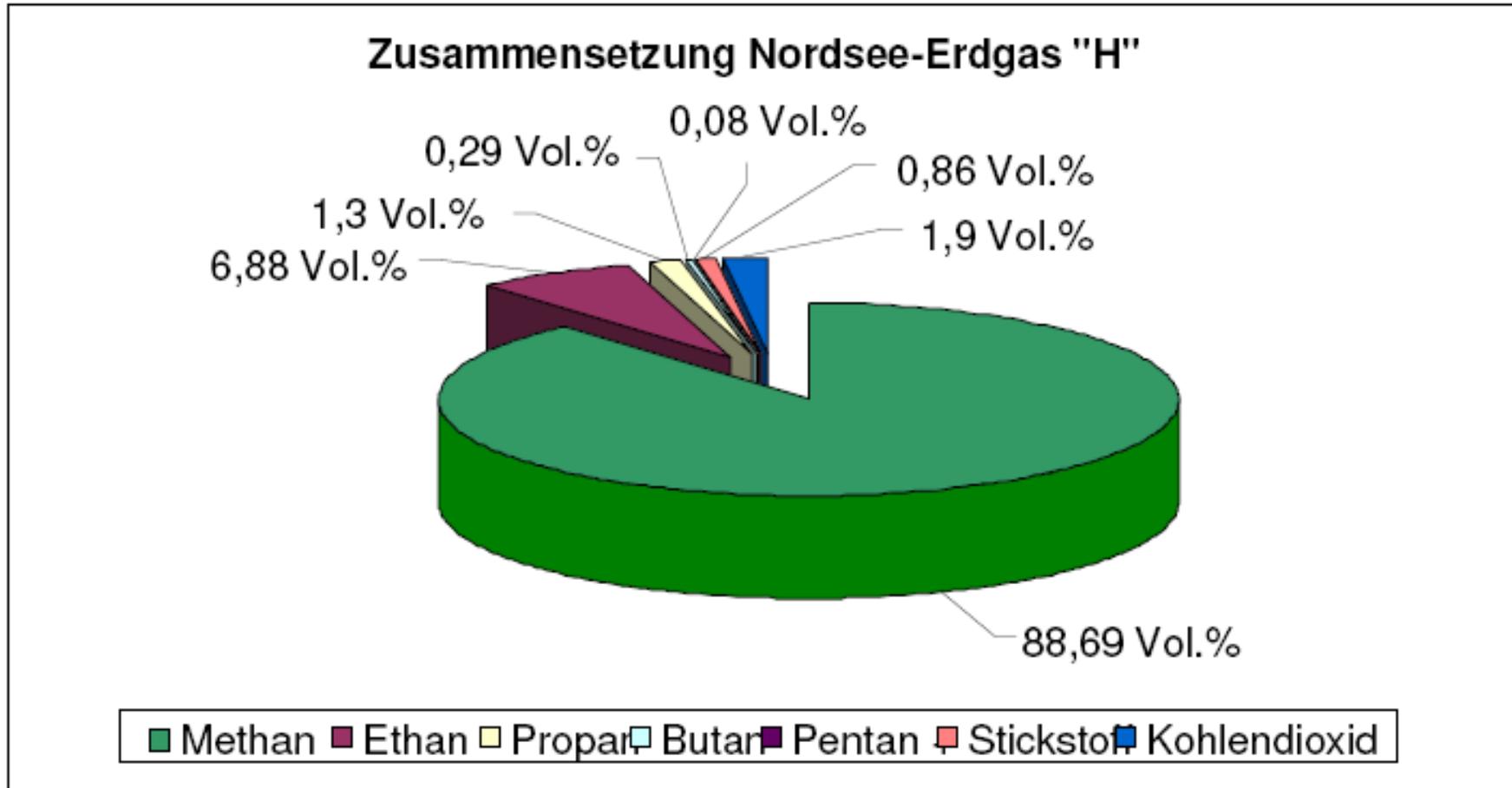
**<sup>1</sup>Institut für Schiffstechnik, Meerestechnik und  
Transportsysteme**

**<sup>2</sup>Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und  
Transportsysteme**



- **Einleitung**
- **Erdgasmarkt**
- **Marktperspektiven für das Binnenland**
- **LNG-Transport ins Binnenland**
- **Herausforderungen**
- **Vorschriften**
- **Zusammenfassung**

# Einleitung : Liquefied Natural Gas (LNG) (1/3)



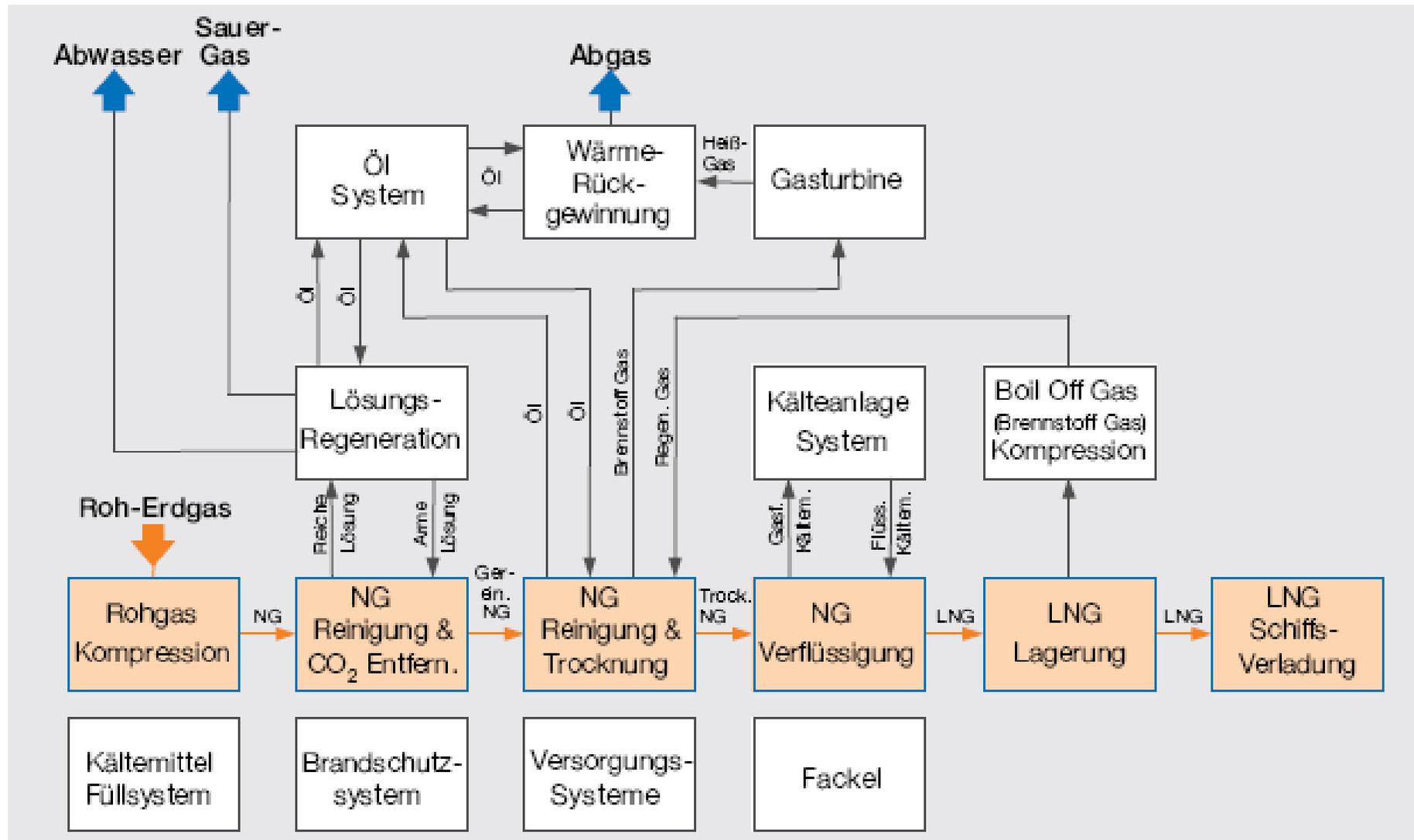
## Einleitung: Eigenschaften und Gefahren (2/3)

- Dichte = 450 kg/m<sup>3</sup>
- Volumenbedarf: 1/600 (im Vergleich zu Erdgas)
- Bei einem Druck von 1 bar beträgt die Temperatur -162°
- LNG ist ungiftig
- LNG ist farb- und geruchlos
- Flammpunkt: 55°
- Erdgas bildet eine zündfähige Gaswolke mit Luft im Bereich von 5-15% bei 20° Lufttemperatur



- Sprödbruch und Strukturversagen LNG ausgesetzter Materialien (z.B. Stahl)
- Bildung explosionsfähiger Atmosphäre
- Schnelle Phasenumwandlung
- Erfrierung und Verletzung
- Erstickung in geschlossenen Räumen

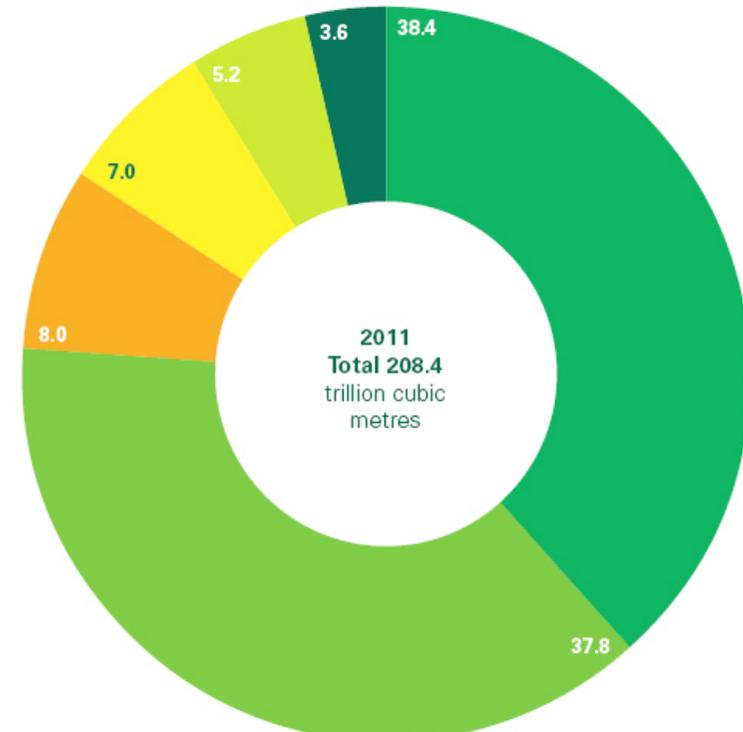
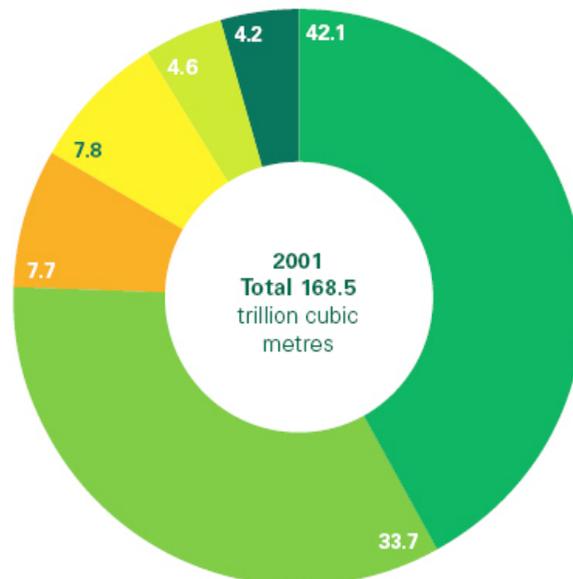
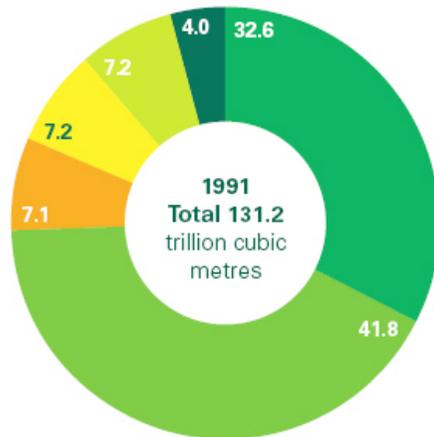
# Einleitung: Prozess vom Roh-Erdgas zu LNG (3/3)



Quelle: Machbarkeitsstudie zum Bunkern von Flüssiggasen in deutschen Häfen, GL, 2012

# Erdgasmarkt: Reserven (1/5)

- **Nachgewiesene Reserven: ca. 208.000 Milliarden Kubikmeter\* => Erdgasversorgung ist statistisch für 63,6 (76) Jahre gesichert.**



Quelle: British Petroleum (BP): Statistical Review of World Energy 2012

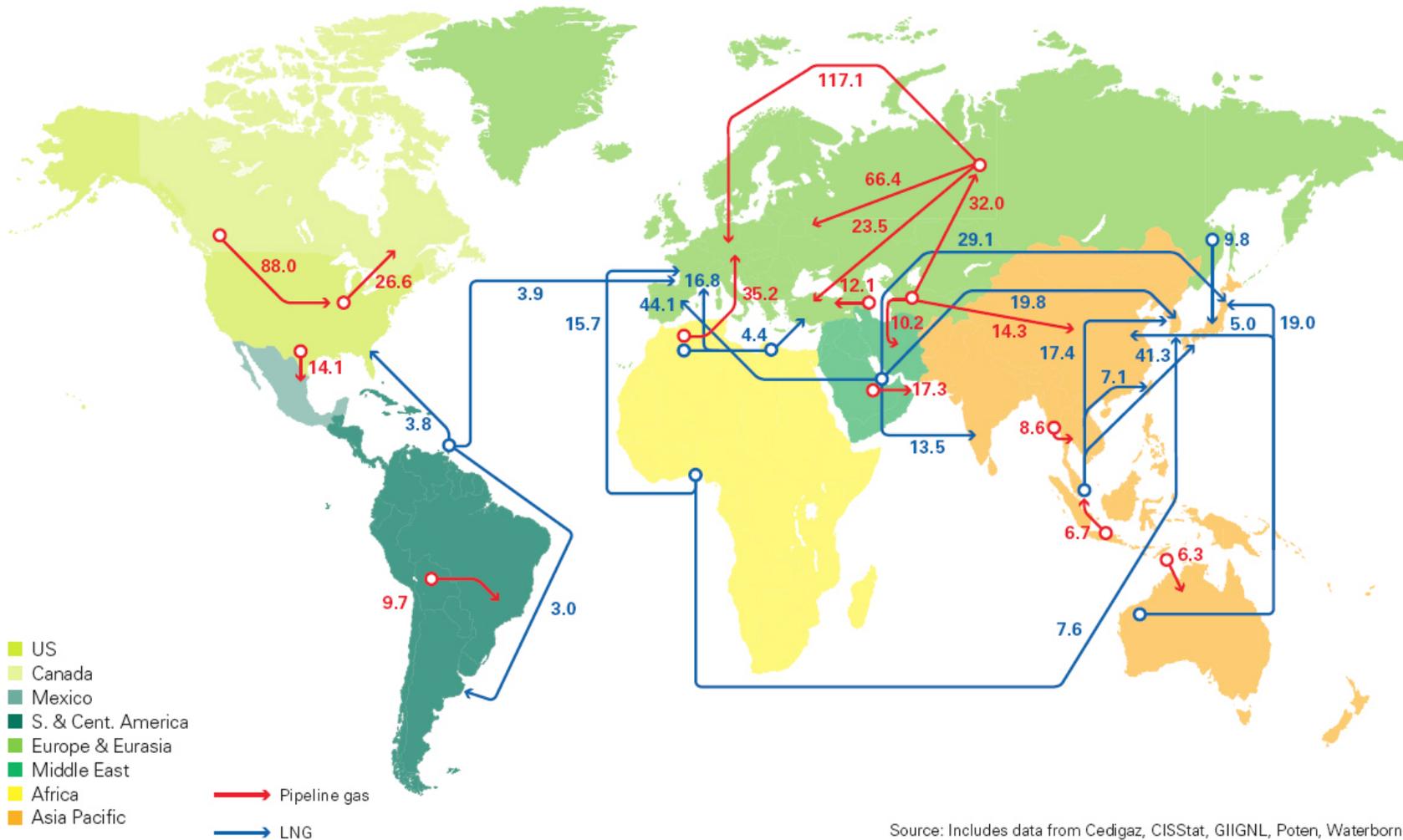
## Erdgasmarkt (2/5)

- Erdgasversorgung ist statistisch für weitere 80 Jahre gesichert (unwirtschaftliche Erdgasfelder) insgesamt 160 Jahre)
- Förderung weltweit ca. 3,2 Billionen m<sup>3</sup>/Jahr. Davon werden weniger als 10% als LNG per Seeschiff transportiert
- Abhängigkeit der EU vom Gasimport 60%

# Erdgasmarkt: internationale Handelswege (3/5)

## Major trade movements 2011

Trade flows worldwide (billion cubic metres)



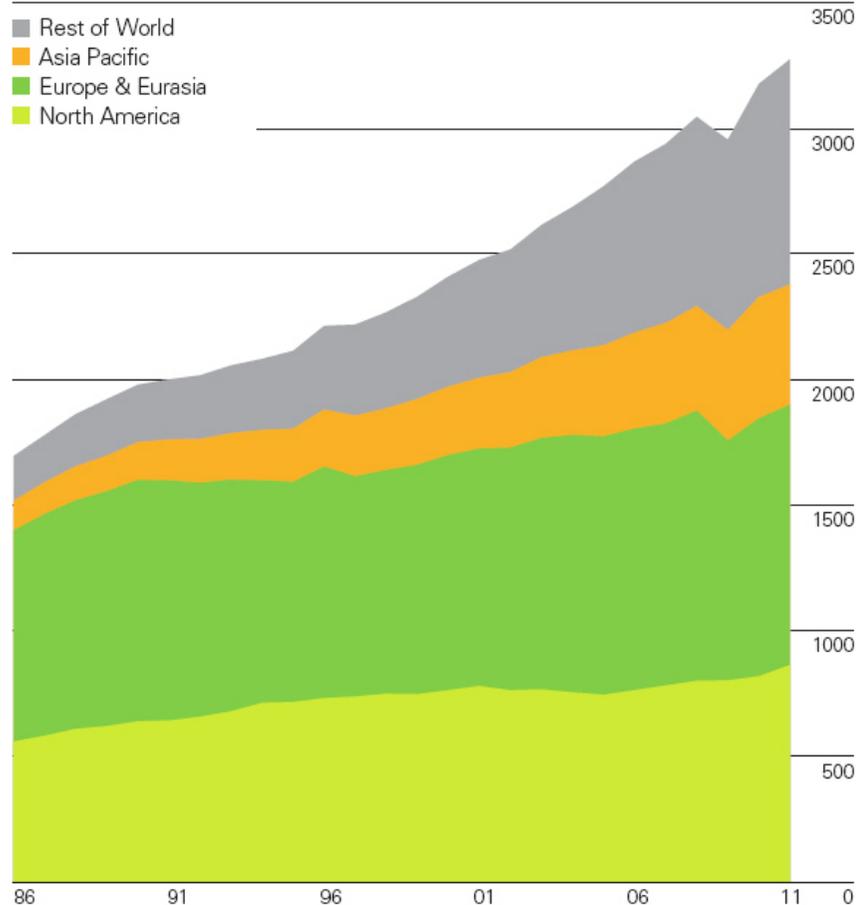
Source: Includes data from Cedigaz, CISStat, GIIGNL, Poten, Waterborne.

Quelle: British Petroleum (BP): Statistical Review of World Energy 2012

# Erdgasmarkt: Produktion und Verbrauch (4/5)

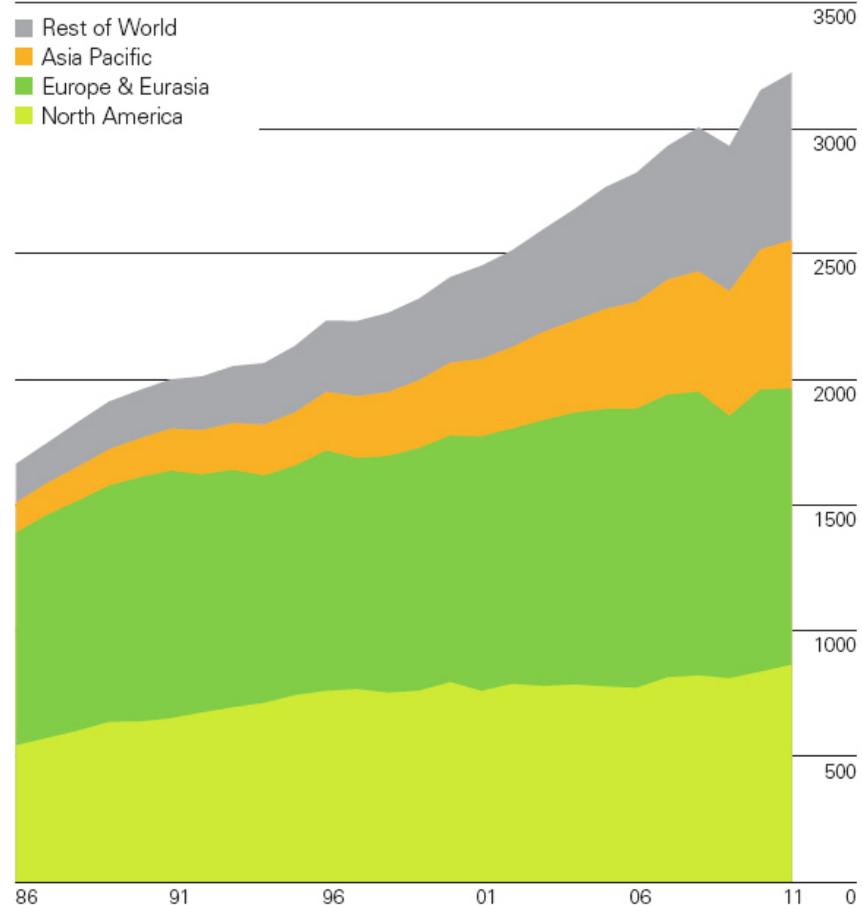
## Production by region

Billion cubic metres



## Consumption by region

Billion cubic metres



World natural gas production increased by 3.1% in 2011. While the US saw the largest national increase, the Middle East recorded the largest regional increment to production. Production growth in Russia and Turkmenistan was partly offset by a large decline in European production. Natural gas consumption increased by 2.2%, with below-average growth in all regions but North America. The European Union experienced the sharpest decline in natural gas consumption (-9.9%) on record.

# Erdgasmarkt: Verbrauch und Nutzung in Deutschland (5/5)

- **Verbrauch pro Jahr: 100 Milliarden m<sup>3</sup> (16% Eigenförderung)**
- **Russland: wichtigster Lieferant (ca. 33%)**
- **Großteil von Erdgas wird für Heizen von Gebäuden verwendet**
- **Anteil an Stromerzeugung: 13,6% (85 Milliarden KWh)**

Quelle: Sonderdruck RP <http://shop.rp-online.de/>

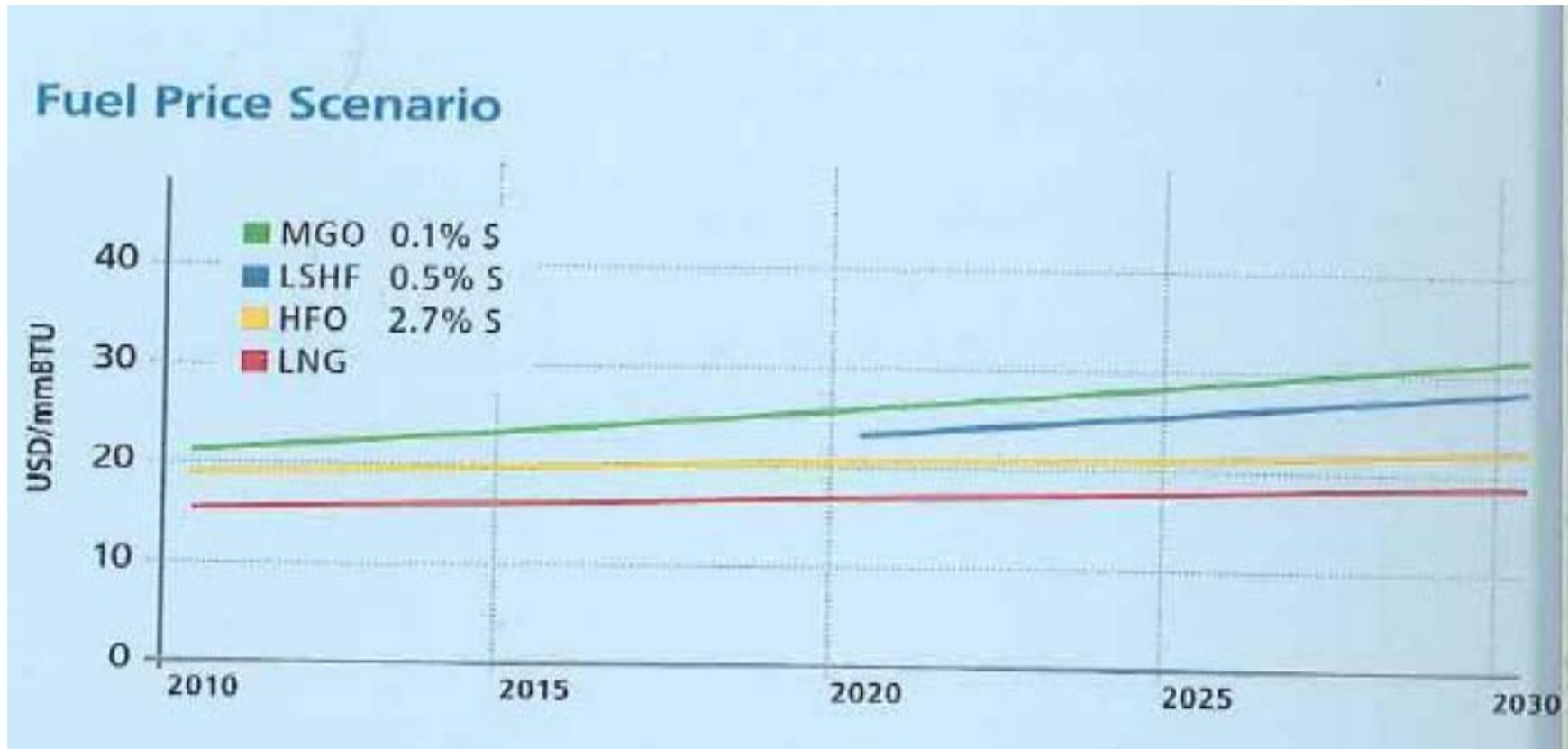
- **Nachfrage für LNG als Treibstoff für mobile Anwendungen (Straßenfahrzeuge, Schiffe) im Binnenland wird voraussichtlich steigen:**
  - **EU-Ziele: Treibhausgasemissionen für den gesamten Verkehrssektor um 60% reduzieren (Bezug 1990)**
  - **Zukünftige Emissionsgrenzwerte für die Binnenschiffe**
  - **Preisvorteil von LNG**
  - **Marktstudien gehen davon aus: 50 Binnenschiffe und 500 LKWs bis 2015 (Quelle: Binnenschifffahrt – ZfB – Nr. 8 – 2012)**
  - **Mehrere Tausend LKWs in USA und China, ca. 200 LKWs in Europa mit LNG**

## Marktperspektiven für das Binnenland (2/4)

- **Kraftwerksstandorte ohne Pipeline-Anschluss können mit Erdgas versorgt werden:**
  - Lloyd Fonds geht davon aus, dass moderne Gaskraftwerke die Kernkraft ersetzen.\*
  - Gas- und Dampfkraftwerke (GuD) haben einen Wirkungsgrad von über 60% (Kohlekraftwerke liegen bei 45%)\*
  - GuD-Kraftwerke stoßen im Vergleich zu Kohlekraftwerke nur halb soviel Co<sub>2</sub> aus\*
  - Ein typisches GuD-Kraftwerk kostet nur halb soviel wie ein Kohlekraftwerk\*
  - Bauzeit von GuD-Kraftwerke ist relativ gering (3 bis 4 Jahre)\*
  - GuD-Kraftwerke können schnell und flexibel an die erforderliche Leistung angepasst werden: in ½ Stunde von Null auf die Spitzenlast\*
  - Dienen zum Ausgleich von Schwankungen der Windenergie\*
  - Preis: 20 -30% höher als bei Kohlekraftwerken (Gaspreis)\*
  - Bis 2015 sind 14 GuD-Kraftwerke geplant. Es werden voraussichtlich noch mehr gebaut\*

Quelle: Sonderdruck RP <http://shop.rp-online.de/>

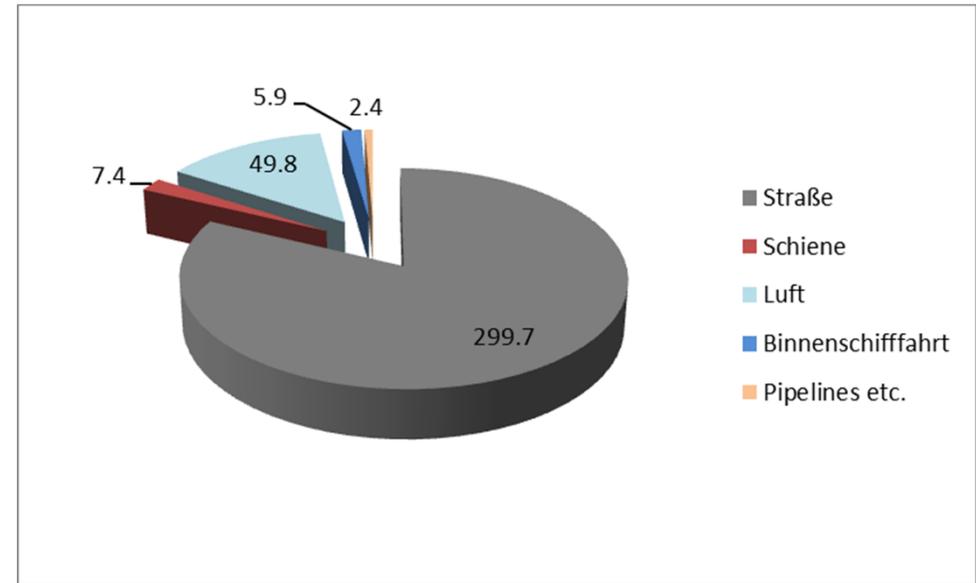
# Marktperspektiven für das Binnenland (3/4)



Quelle: Germanischer Lloyd: GL nonstop, 03-12 s. 16

# Marktperspektiven (4/4)

- Treibstoffmenge für Gesamttransport der wichtigsten „An-Rheiner“ (Fuel 2010 [ktoe] )
- **Gesamtenergieverbrauch verteilt auf Transportsektoren** (Final Energy Consumption 2010 [Mtoe]\* )
  - **Binnenschifffahrt: 68617 GWh**
- **Verbrauch eines 32000 GWh GuD-Kraftwerk: mehrere hundert tausend Tonnen LNG**



Quelle: Eurostat, April 2012

\* 1 Mtoe = 11630 GWh

**Wie kann LNG vom Seehafen ins Hinterland transportiert werden ?**

- **Pipeline (erfordert Rückvergasung)**
- **Geeignete Tanks, Tankwagen, Tankcontainer**
  - **Bahn, LKW und Binnenschiff kommen in Frage**
- **Nutzung von Erdgas als Kraftstoff in industriellen Anwendungen im Binnenland „nur“ als LNG oder CNG wirtschaftlich**
  - **Hohe Ladekapazität**
  - **Leistungsfähige Verkehrswege**
  - **Hohe Verkehrssicherheit**
  - **=> Binnenschiff könnten hier Vorteile aufweisen**

- **LNG-Transport mit Binnentankern stellt eine Alternative zu Pipeline dar (Brechen einer Quasi-Monopolstellung)**
- **Verbesserung der Wettbewerbssituation und Erhöhung der Krisensicherheit: Nutzung anderer Herkunftsquellen als heute dominante Erdgaslieferanten**

## LNG-Transport ins Binnenland: Binnenschiff (3/3)

- **Freie Kapazitäten auf den Wasserstraßen**
- **Relativ geringe Transportkosten**
- **Relativ hohe Sicherheit**
- **Optimierungspotenzial**
- **Versorgung der Industrie an einer Wasserstraße leichter realisierbar**

## Sicherheitsaspekte beim Transport:

- **Binnenschiffe verkehren in dicht besiedelten Gebieten bei begrenztem Fahrwasser und höherer Verkehrsdichte.**
- **Boil-Off-Gas**
  - **Das Verhältnis der Tankaußenfläche zu Tankvolumen ist groß, dadurch mehr Boil-Off-Gas (mehr als 0,1% pro Tag)**
  - **Häufig Zwischenhalte (vor Schleusen, unterschiedliche Fahrt- und Liegezeiten, dead ship condition) →  
Kontinuierlicher Bedarf an Gas ist nicht gegeben**
  - **Abblasen von Gas in kritischen Situationen kaum möglich**
  - **Drucktanks nehmen Raum und Gewicht in Anspruch: Durch Begrenzung des Tiefgangs und der Höhe kann unwirtschaftlich werden**

### Infrastruktur:

- **LNG Terminals sind räumlich kaum von Häfen oder Wasserstraßen der übrigen Schifffahrt abtrennbar.**
- **Im Falle einer Havarie austretendes LNG würde eine unmittelbare Gefährdung der übrigen Schifffahrt und des Umlandes darstellen: Sicherheitsanforderungen?**
- **Notfallpläne**

### **Motortechnologien:**

- **Variabler Leistungsbedarf bei Berg-, Tal- und Kanalfahrt: Wie effizient sind Gasmotoren im Teillastbereich?**
- **Gas- und Dual-Fuel-Motoren werden in der Regel nicht für Binnenschiffe entwickelt: Wie können existierende Dual-Fuel-Motoren für die Binnenschifffahrt adaptiert werden?**
- **Wie kann die fahrende Flotte effizient umgerüstet werden?**

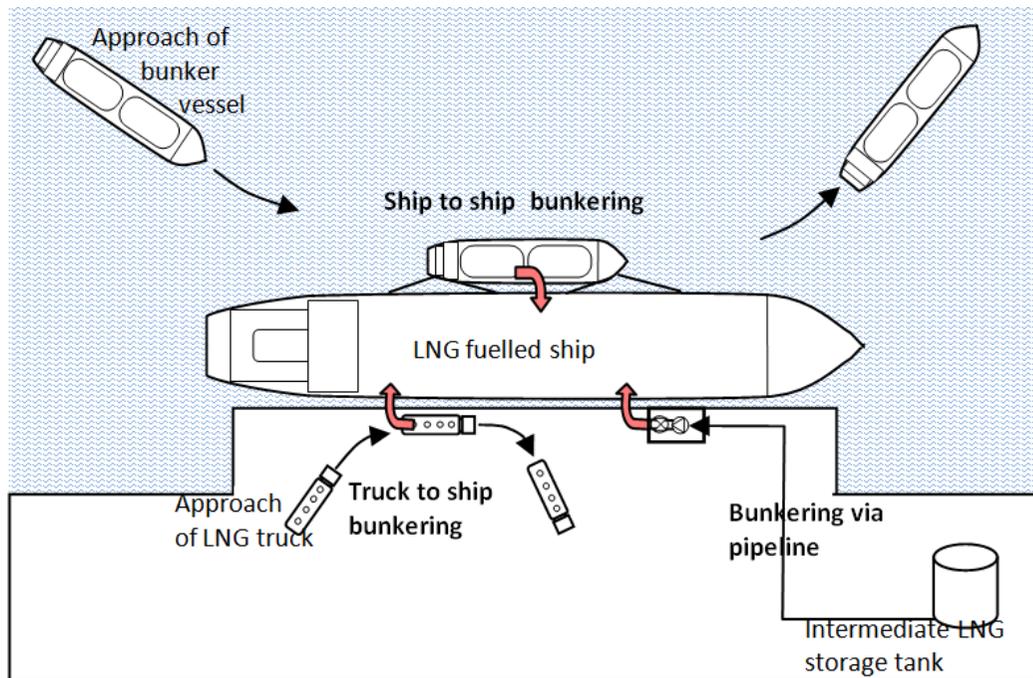
## Entwurf und Konstruktion:

- **Entwurf von geeigneten Tankschiffen unter Beachtung der sicherheitsrelevanten Anforderungen (Erreichen des Sicherheitsniveaus anderer Schiffe)**
- **Entwicklung von Tanksystemen zur Reduktion von Boil-Off-Gas und zur besseren Ausnutzung des Laderaums**
- **Müssen die Schiffslinien an die Tankform angepasst werden, oder umgekehrt?**
- **Neue Konzepte für einen effizienten Transport von LNG**

### Verschiedene Anforderungen:

- Einheitliche Prozeduren und Anweisungen am Bord
- Anpassung der Ausbildung für die Schiffsbesatzung, Schleusenbestimmungen, etc.
- Hohe Lebensdauer => ungünstig für den Einsatz neuer Technologien : einfache Umrüsttechnologien
- Qualitätsanforderungen für LNG (Motorenhersteller)
- Bunkervorgang wird als Hauptgefährdung gesehen
- Bedarf an Erstellung Vorschriften

## Herausforderungen (6/6)



Quelle: Machbarkeitsstudie zum Bunkern von Flüssiggasen in deutschen Häfen, GL, 2012

### Kritische Bereiche aus Behördensicht

- **Verkehrseinschränkung beim Bunkern (Bunkerzeiten)**
- **Auswirkungen von austretenden Gas**
- **Auswirkung einer Kollision, Beschädigung des LNG Lager/Speichertanks: Notfallpläne (Abstimmung zwischen Hafenbehörden, Wasserschutzpolizei und Feuerwehr)**

## Vorschriften (1/3)

- **Einzig international gültige Vorschrift: IGC-Code (ausschließlich Gastanker)**
- **Vorläufige Richtlinie MSC.285(86) für Gasbetriebene Schiffe: Wird durch IGF-Code in 2016 abgelöst: Entwurf, Bau gasbetriebener Schiffe: Behandelt das Bunkern nicht**
- **Binnenschiff: LNG-Transport und Betrieb bisher verboten: Nur über Sondergenehmigung**

## Vorschriften: Normen und Richtlinien für LNG (2/3)

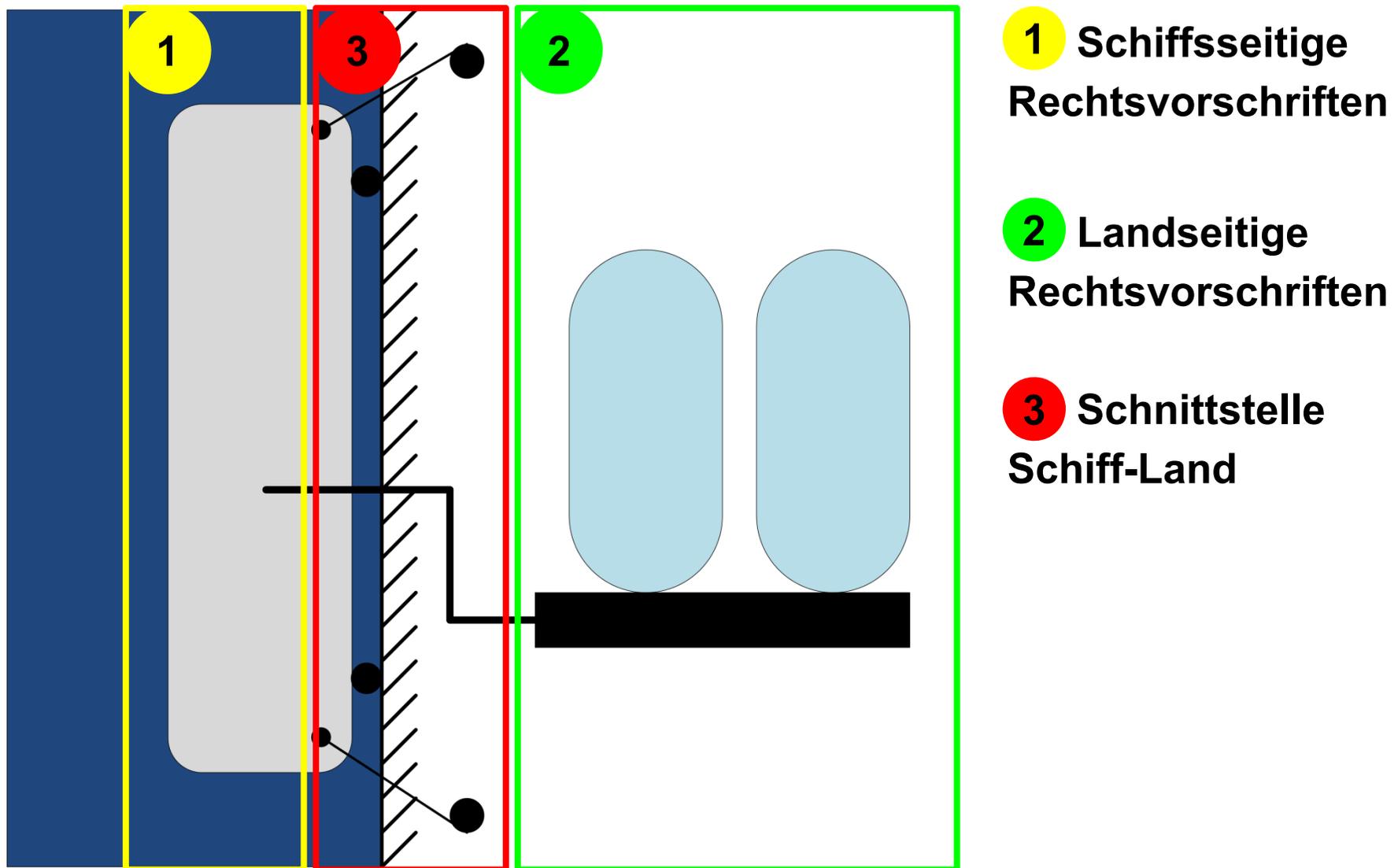
- ISO 28460 LNG Ship-shore interface and port operations
- IMO draft IGF Code
- SIGTTO LNG STS Transfer guide
- SIGTTO ESD Systems
- BS EN 1160 properties and materials for LNG
- IMO “Recommendations on the Safe Transport of Dangerous Cargoes and Related activities in Port Areas”.
- Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents - API Recommended Practice 2003, Sixth Edition
- IMO IGC Code
- EN 1474 part 1 LNG Transfer arms
- EN 1474 part 2 LNG Hoses
- EN 1473 design of Onshore LNG terminals
- NFPA 302 Fire protection standard for pleasure and commercial motor craft
- NFPA 59A Storage and Production of LNG

# Vorschriften: Normen und Richtlinien für LNG (3/3)

- BS EN 13645 Installations and equipment for LNG – Design of onshore installations with a storage
- capacity between 5 & 200 tonnes
- • BS 4089: 1999 BS 4089: 1999 Metallic Hose Assemblies for Liquefied Petroleum Gases and liquefied
- natural gases.
- • Seveso II Directive EU Directive 96/82/EC
- • SIGTTO/OCIMF Gas carrier manifold guidelines
- • OCIMF/IAPH/ICS International Oil Tanker Terminal Safety Guide (ISGOTT)
- • OCIMF Mooring Equipment Guidelines
- • IEC 60092 - 502 – Electrical installations in tankers –special features

Quelle: Machbarkeitsstudie zum Bunkern von Flüssiggasen in deutschen Häfen, GL, 2012

# Studie der Uni. Duisburg-Essen: Gliederung von Vorschriften



## Zugrundeliegende Vorschriften:

- **Lloyd's Register Rules and Regulations for the Classification of Inland Waterways Ships (November 2008)**
- **Lloyd's Register Rules and Regulations for the Classification of Ships (July 2010)**
- **Lloyd's Register Provisional Rules for the Classification of Methane Gas Fuelled Ships (January 2007)**
- **International Code for Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC-Code) and amendments.**
- **IMO Resolution MSC.285(86) Interim Guidelines for Natural Gas-Fuelled Engine Installations in Ships (IGF-Code)**
- **DIN EN 13458-2 Kryo-Behälter - Ortsfeste, vakuum-isolierte Behälter - Teil 2: Bemessung, Herstellung und Prüfung**
- **IEC 60092 Electrical Installations in Ships - Part 502: Tankers - Special Features**
- **IEC 60079-1 Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 10: Classification of Hazardous areas**

**Benennung von Normen im ADN unter bisherigen Annahmen:**

**Persönliche Schutzausrüstung:**

**EN 136, EN 166, EN 340, EN 345 (EN ISO 20345), EN 346 (EN ISO 20346),  
EN 371, EN 372 (EN 14387), EN 374-1, EN 374-2, EN 374-3**

**Flammendurchschlagsicherung , Hochgeschwindigkeitsventil:**

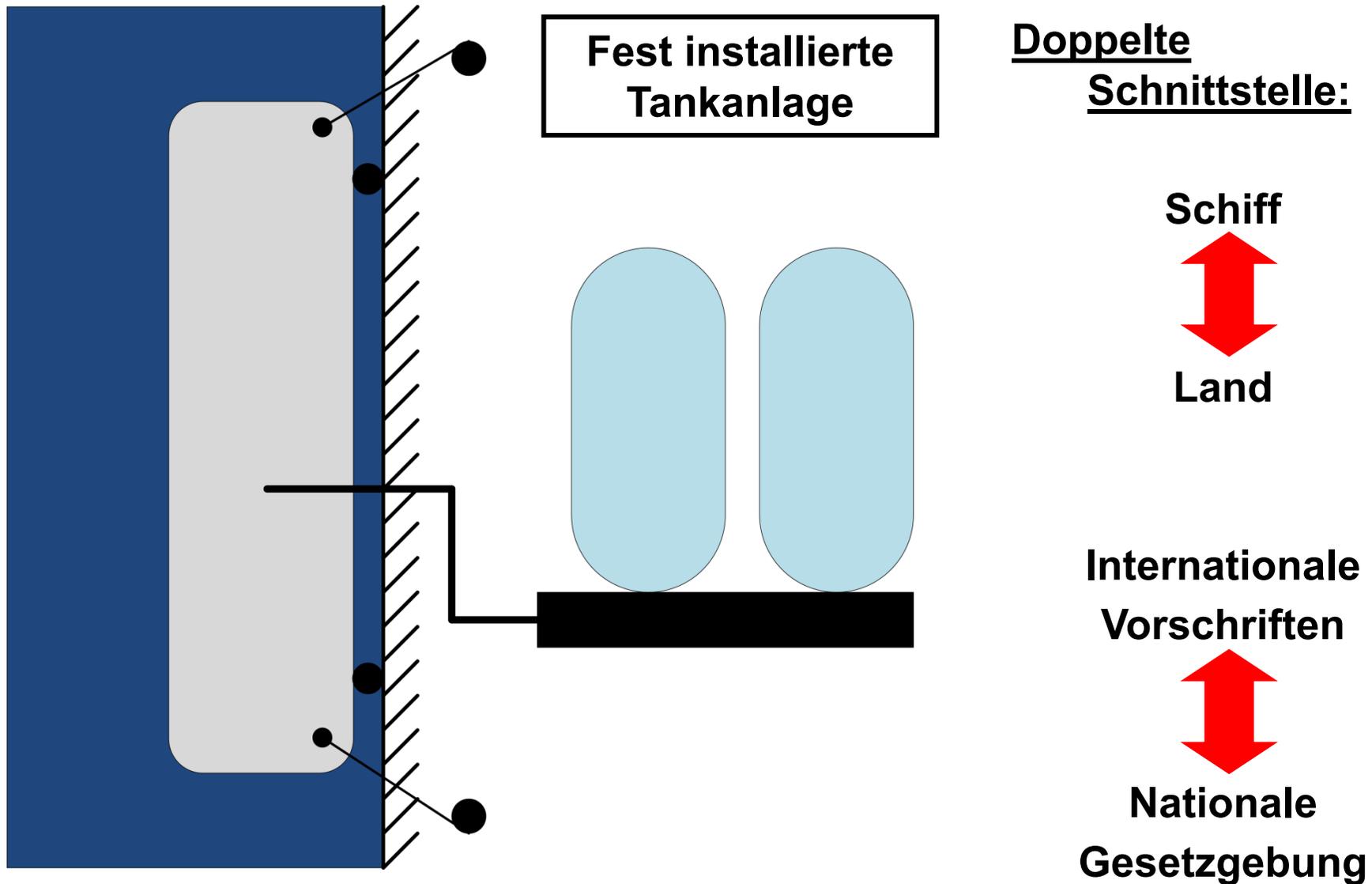
**EN 12874 (EN ISO 16852)**

**Elektrische Leitungen, Signalleitungen:**

**EN 60309-2, IEC 60331-21, IEC 60245-4**

**Konformitätsbewertung (Durchführung von Inspektionen):**

**EN ISO/IEC 17020**



## Errichtung von Anlagen zum Bunkern von LNG in Binnenhäfen mit entsprechendem Fassungsvermögen

Vorschrift*	Organisation
Baugesetzbuch (BauGB) → Umweltverträglichkeitsprüfung (?) Mögl. Grundlage: Wasserhaushaltsgesetz (WHG), §75 Risikomanagementpläne (Hochwasser)	Bund
Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) → Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) (?) → Verordnung über das Genehmigungsverfahren (9. BImSchV) (?) → Verordnung über Emissionserklärungen (11. BImSchV) (?)	Bund

## Errichtung von Anlagen zum Bunkern von LNG in Binnenhäfen mit entsprechendem Fassungsvermögen

Vorschrift*	Organisation
→ Störfall-Verordnung (12. BImSchV) (?)	Bund
Landesbauordnung (BauO) → Sonderbaurichtlinien (?)	Bauaufsichtsbehörden der Bundesländer, Bezirksregierungen und Kommunen

**(?) je nach Größe der Anlage**

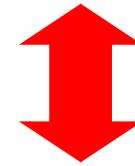
**\*keine Gewähr für Vollständigkeit der Baugesetzgebung**



## Schnittstelle

n:

Schiff



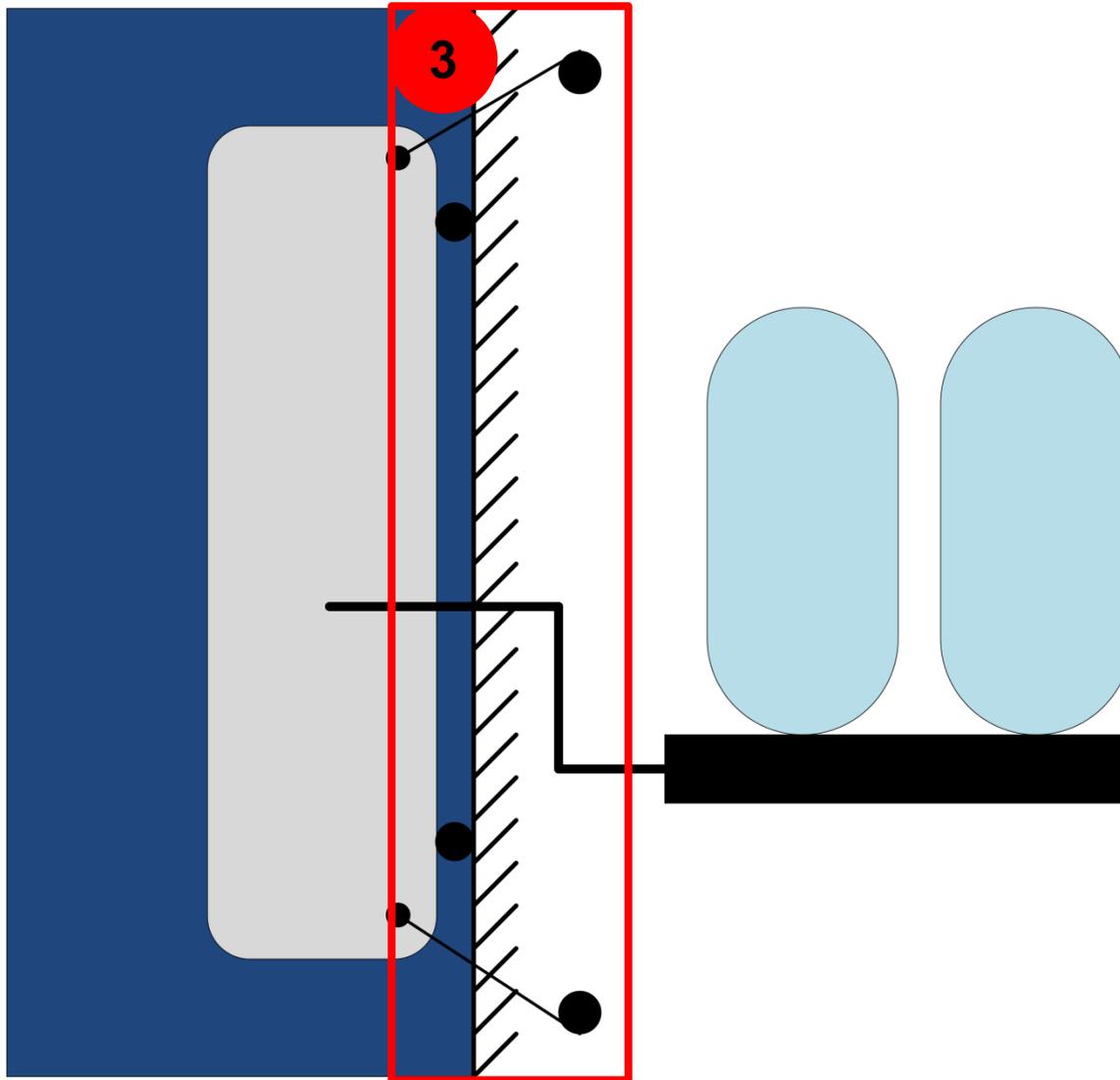
Land

uf

ADN



ADR



**3** Schnittstelle Schiff-Land

## Umschlag von LNG in Binnenhäfen:

Vorschrift	Organisation
Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) § 2 Abs. 30a → Im Sinne dieses Gesetzes sind überwachungsbedürftige Anlagen, Anlagen zur Abfüllung von verdichteten, verflüssigten oder unter Druck gelösten Gasen	Bund
Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)	Bund

## Umschlag von LNG in Binnenhäfen:

	<b>Vorschrift</b>	<b>Organisation</b>
Umschlag in wasserstraßen-fernen hafeneigenen Becken	Allgemeine Hafenverordnung (AHVO), Hafenverordnung (HVO)	Hafenbehörde der Kommune  ↓ Hafenbetreiber
Umschlag in Hafenbecken, die Teil der Bundeswasserstraßen sind	Wasserstraßengesetz (WaStrG) § 31 Strom- und schiffahrts-polizeiliche Genehmigung	WSD bzw. WSA

## Umschlag von LNG:

Richtlinie	Organisation
<u>Anlagen und Ausrüstung für Flüssigerdgas</u>	DIN, CEN
EN 1160 – Allgemeine Eigenschaften von Flüssigerdgas	
EN 1473 – Auslegung von landseitigen Anlagen	
EN 1474-1 – Auslegung und Prüfung von Schiffsübergabesystemen – Teil 1: Auslegung und Prüfung von Verladearmen (Übergabe an Land)	
EN 1474-2 – Auslegung und Prüfung von Schiffsübergabesystemen – Teil 2: Auslegung und Prüfung von Übergabeschläuchen (Übergabe auf See)	

## Umschlag von LNG:

Richtlinie	Organisation
<u>Anlagen und Ausrüstung für Flüssigerdgas</u>  EN 13645 – Auslegung von landseitigen Anlagen mit einer Lagerkapazität zwischen 5 t und 200 t  EN 12838 – Eignungsprüfung von Flüssigerdgas-Probenahmesystemen  EN 13766 – Thermoplastische, mehrlagige (nicht vulkanisierte) Schläuche und Schlauchleitungen für die Förderung von Flüssiggas und verflüssigtem Erdgas – Spezifikation (Übergabe an Land)	DIN, CEN

## Umschlag von LNG:

Richtlinie	Organisation
<u>Kryo-Behälter</u>  EN 13458-1 – Ortsfeste, vakuum-isolierte Behälter – Teil 1: Grundanforderungen  EN 13458-2 – Ortsfeste, vakuum-isolierte Behälter – Teil 2: Bemessung, Herstellung und Prüfung  EN 13458-3 – Ortsfeste, vakuum-isolierte Behälter – Teil 3: Betriebsanforderungen	DIN, CEN

## Umschlag von LNG:

Richtlinie	Organisation
<u>Erdöl- und Erdgasindustrien</u>  DIN EN ISO 28460 – Anlagen und Ausrüstung für Flüssigerdgas – Schnittstelle zwischen Schiff und Land und Hafenbetrieb → Verweis auf IMO ISPS-Code → Verweis auf IMO IGC-Code <span style="color: red;">(große Terminals)</span>	DIN, CEN, ISO
<u>ISGINTT</u> International Safety Guide for Inland Navigation Tank-barges and Terminals	ZKR, OCIMF, SIGGTO, ...

### ► Best Practice Guidelines

- **Vorschriften und Richtlinien für**
  - LNG-Transport
  - LNG als Brennstoff
  - Bunkern
  - Lagerung
  - Umschlag
- **Entwurf, Konstruktion und Betrieb von LNG-Tankschiffen**
  - Schiffslinien
  - Tank (Materialien, Lage im Schiff, Form, etc.)
  - Konzepte für Nutzung und Umgang mit Boil-Off
  - Ausbildung
- **Infrastruktur, Logistik und Versorgung**

**Bereitschaft: EU-Projekt mitzukoordinieren**

# Zusammenfassung

- **Sehr gute Perspektiven: Bedarf an Erdgas wird im Binnenland voraussichtlich steigen**
- **Energiemix (z.B. Gaskraftwerke als Ausgleich für Schwankungen)**
- **Umweltauflagen (z.B. für mobile Anwendungen) .....**
- **für den wirtschaftlichen Transport von Gas im Binnenland kommen neben Pipeline Binnenschiffe in Frage**
- **LNG-Versorgung für Binnenschifffahrt einfacher (lokal)**
- **eine Reihe von Herausforderungen in den Bereichen Sicherheit, Transporteffizienz und Zulassungsfragen: Für viele Herausforderungen gibt es Lösungsansätze: Es sind jedoch noch viele Fragen offen (Raum für Forschung)**

# Kontakt

**Universität Duisburg-Essen  
Institut für Schiffstechnik, Meerestechnik  
und Transportsysteme (ISMT)  
Bismarckstr. 69  
47057 Duisburg**

**Prof. Dr.-Ing. Bettar el Moctar  
Tel.: 0203 /379 – 2539  
E-Mail: [ould.el-moctar@uni-due.de](mailto:ould.el-moctar@uni-due.de)**

