

# EIN VERGLEICH DER SICHERHEIT DES BUNKERNS VON LNG UND LH<sub>2</sub>

Einblicke in die aktuelle Forschung



# Einleitung



- „Sicherheit“ ist ein unscharfer Begriff, daher ist ein Vergleich schwierig
- Nutzung der QRA („Quantitativen Risiko Analyse“), um Sicherheit vergleichbar zu machen

**safety**  
the control of recognized hazards to achieve an acceptable level of risk

**hazard**  
potential source of harm

**risk**  
Combination of the probability of occurrence of harm and the severity of that harm

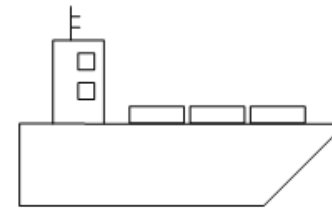
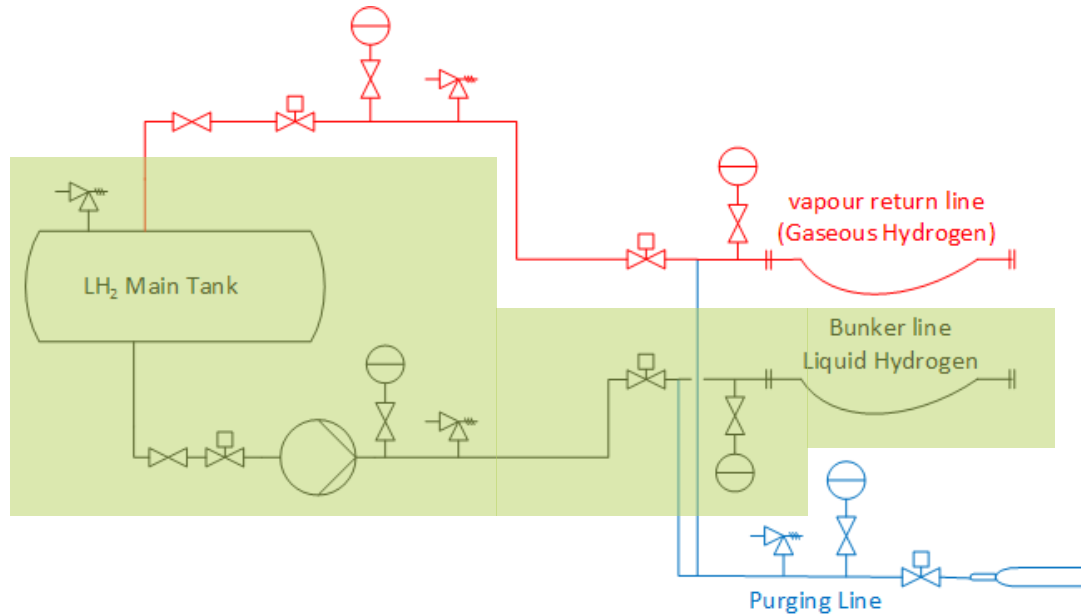


# Use Case

- Bunkeranlage
  - 150mm Rohrleitungen
  - 22,5 t/h LH<sub>2</sub>
- Kreuzfahrtschiff
  - 140m lang
  - 120 Passagierkabinen
  - 11.200 kW
  - 7 tägige Reisen
  - 135t LH<sub>2</sub>
- Bunkerprozess
  - 6h pro Schiff
  - 280 Schiffe pro Jahr
  - 1680 h pro Jahr
  - Frequenz: 0,192 1/Jahr



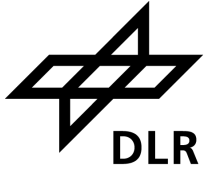
# Das Beispielsystem



Equipment	Size (mm)	count
Tank	150	1
Pressure Relieve Valve	150	2
Pressure Indicator	50	2
Pipes	150	10
Hose	150	30
Actuated Valves	150	2
Manual Valves	150	3
Flanges	150	17
Pump (centrifugal)	150	1

- Stark vereinfacht, so nicht umsetzbar
- Für die Sicherheitsanalyse wird bisher die Seite mit LH2 betrachtet

# Ereignisbaum initiale Leckage



Leak  
Frequency

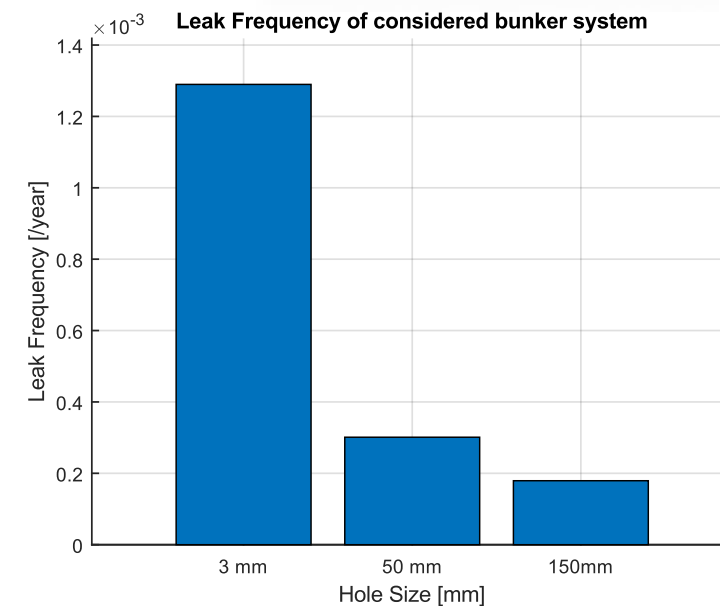
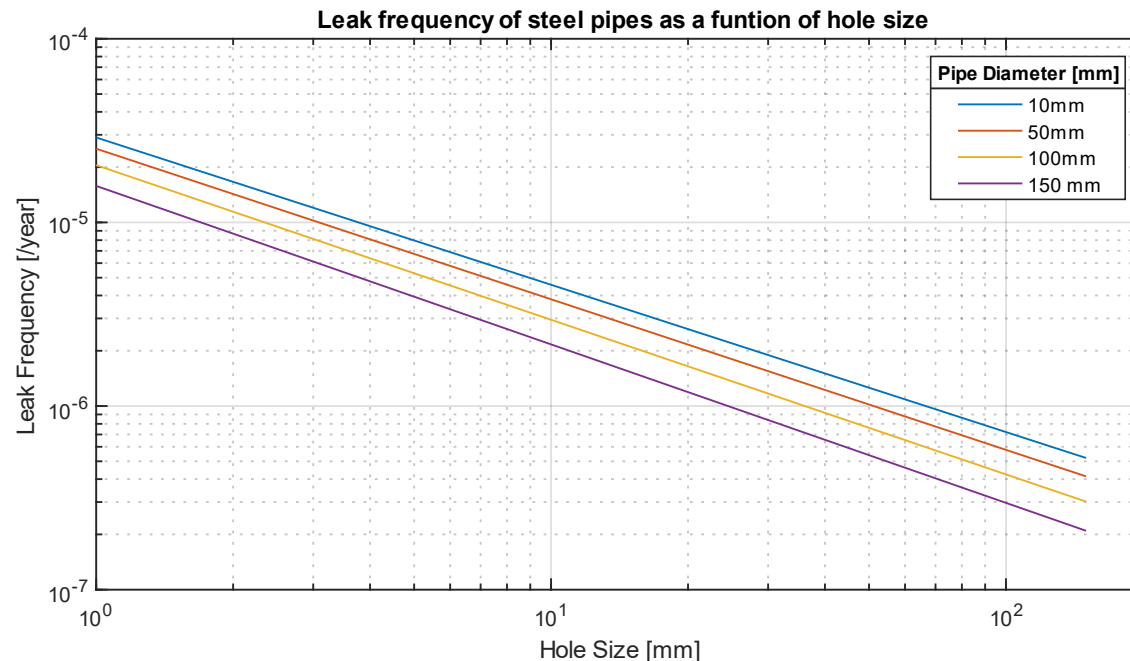
Initial Leak

# Leckfrequenzen initiale Leckage

- Basiert auf Daten der International Association of Oil & Gas Producers (IOGP)
- Kleinere Lecks treten häufiger auf als große

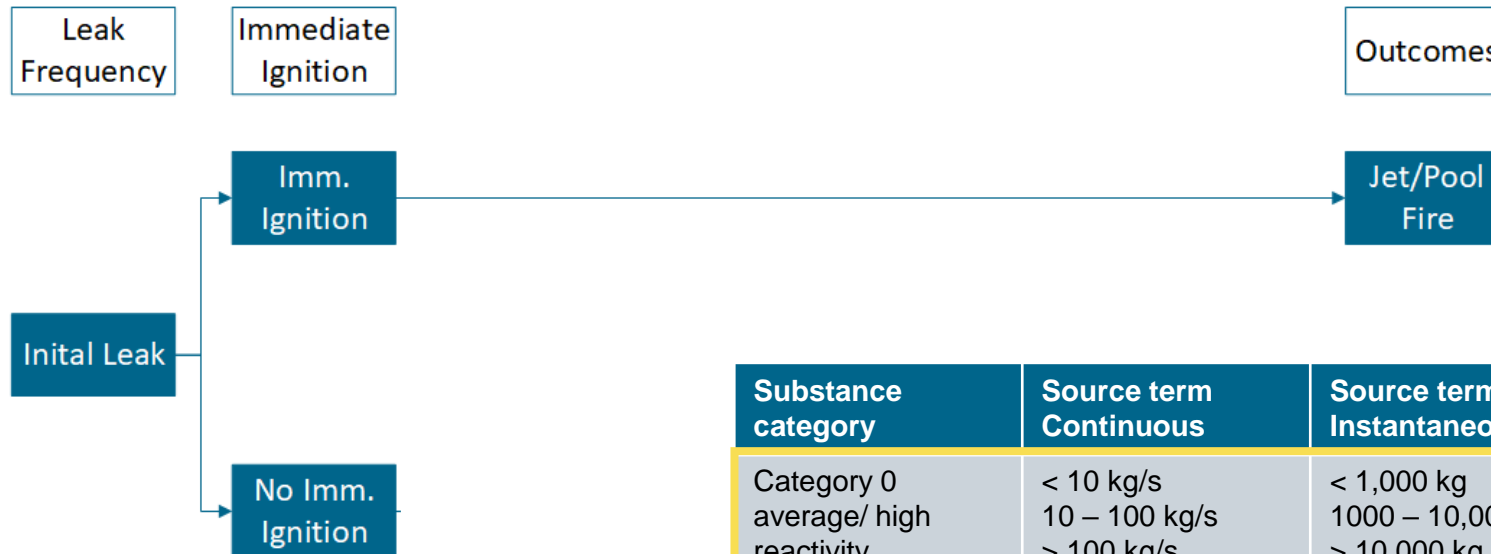


Generated with Adobe Firefly AI





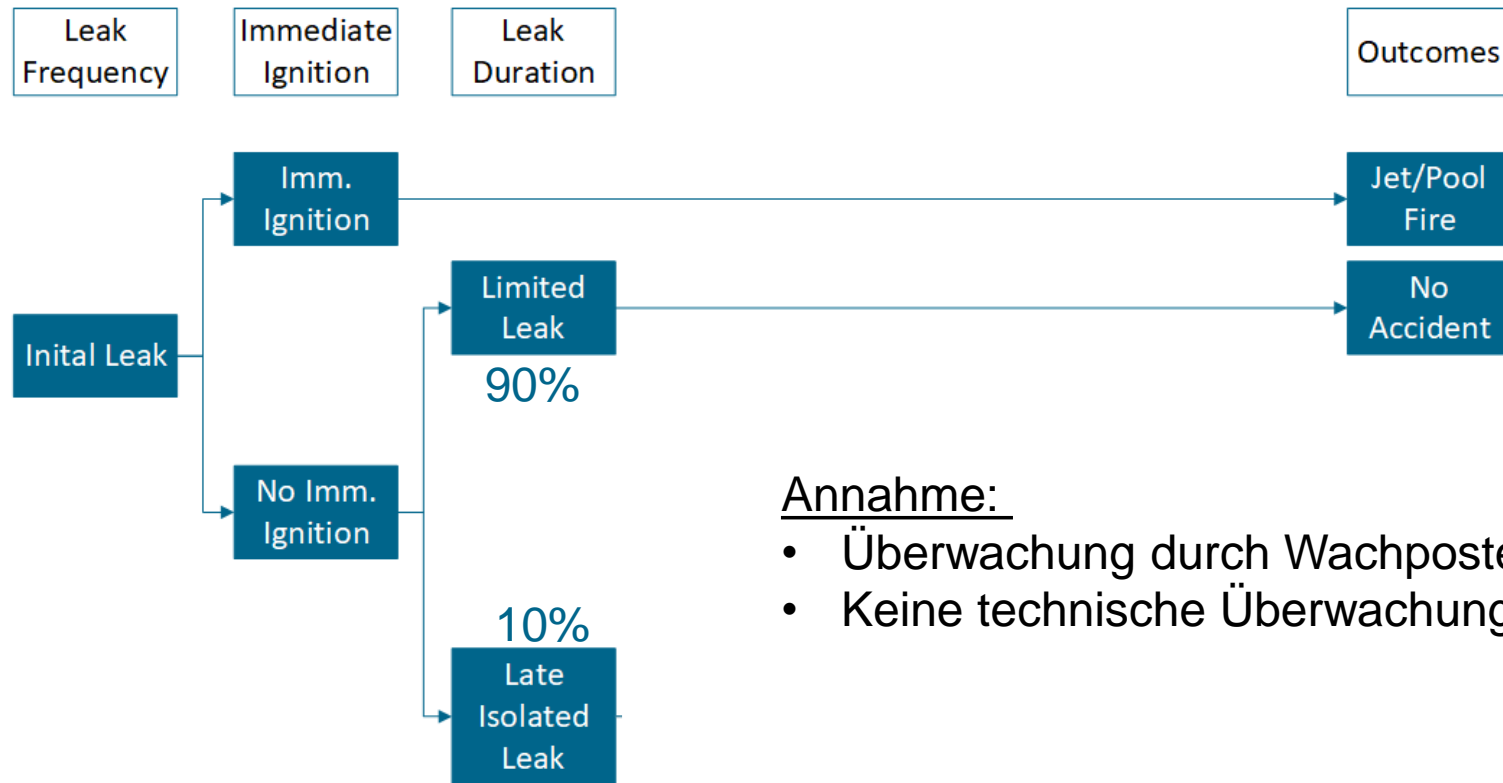
# Ereignisbaum direkte Entzündung



Substance category	Source term Continuous	Source term Instantaneous	Probability of direct ignition	
Category 0 average/ high reactivity	< 10 kg/s	< 1,000 kg	0.2	← LH <sub>2</sub>
	10 – 100 kg/s	1000 – 10,000 kg	0.5	
	> 100 kg/s	> 10,000 kg	0.7	
Category 0 low reactivity	< 10 kg/s	< 1,000 kg	0.02	← LNG
	10 – 100 kg/s	1000 – 10,000 kg	0.04	
	> 100 kg/s	> 10,000 kg	0.09	
Category 1	All flow rates	All quantities	0.065	
Category 2	All flow rates	All quantities	0.01	
Category 3, 4	All flow rates	All quantities	0	

Quelle: National Institute of Public Health and the Environment (RIVM) Centre for External Safety (Hg.) (2009): Reference Manual Bevi Risk Assessments. Bilthoven, NL. Online verfügbar unter <https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Reference-Manual-Bevi-Risk-Assessments-version-3-2.pdf>, zuletzt geprüft am 29.09.2023.

# Ereignisbaum Dauer der Leckage

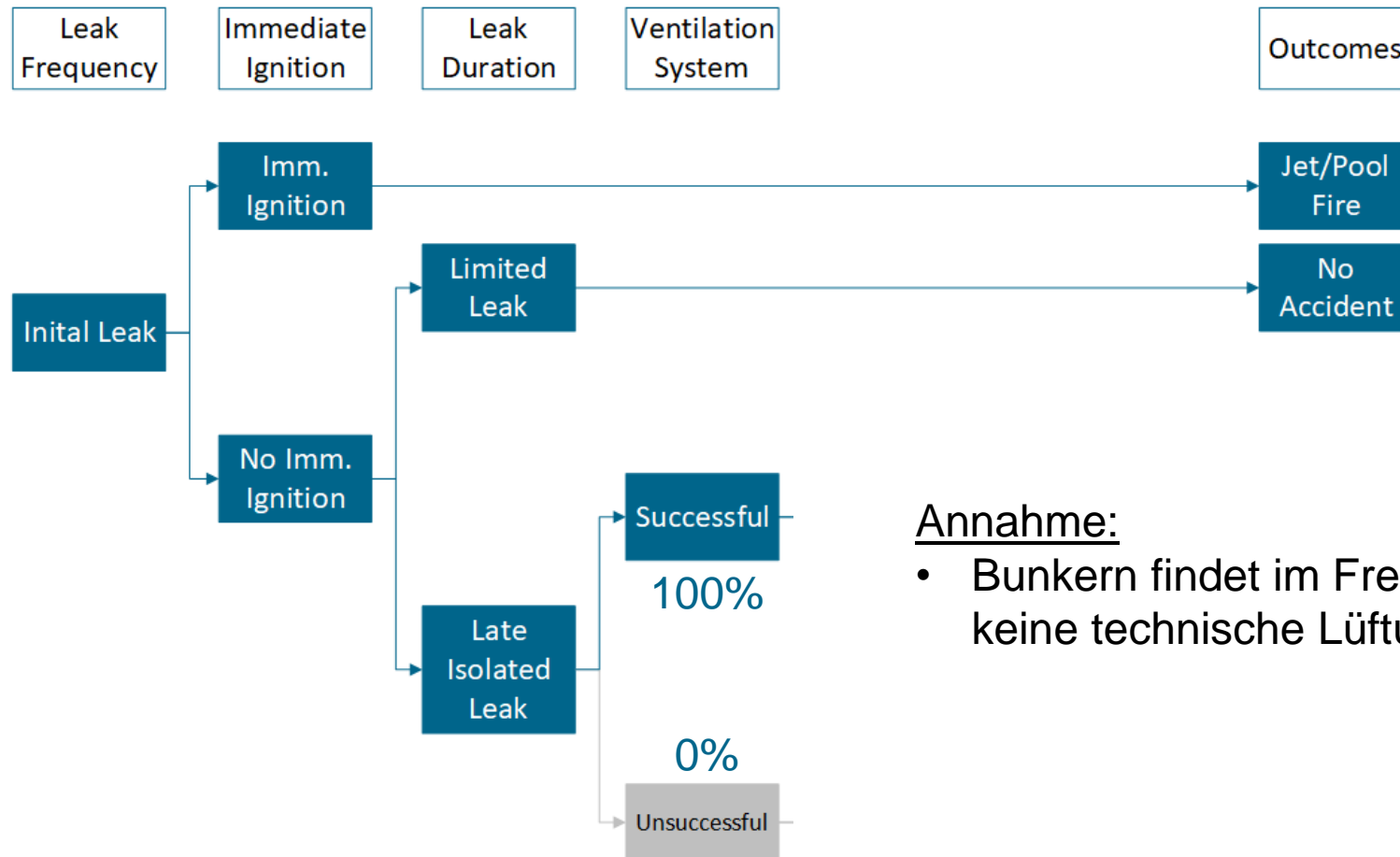


## Annahme:

- Überwachung durch Wachposten
- Keine technische Überwachung



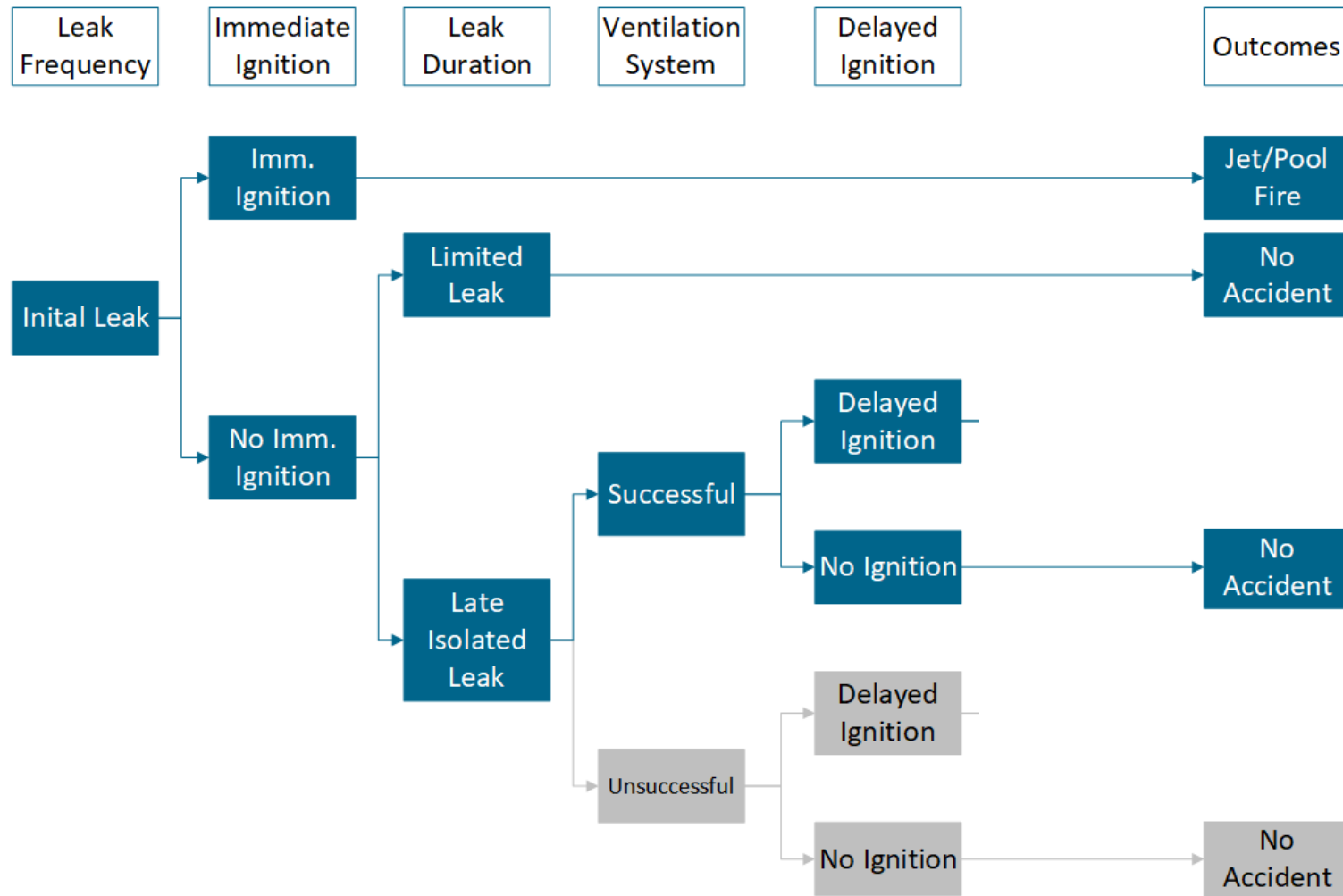
# Ereignisbaum Lüftung



## Annahme:

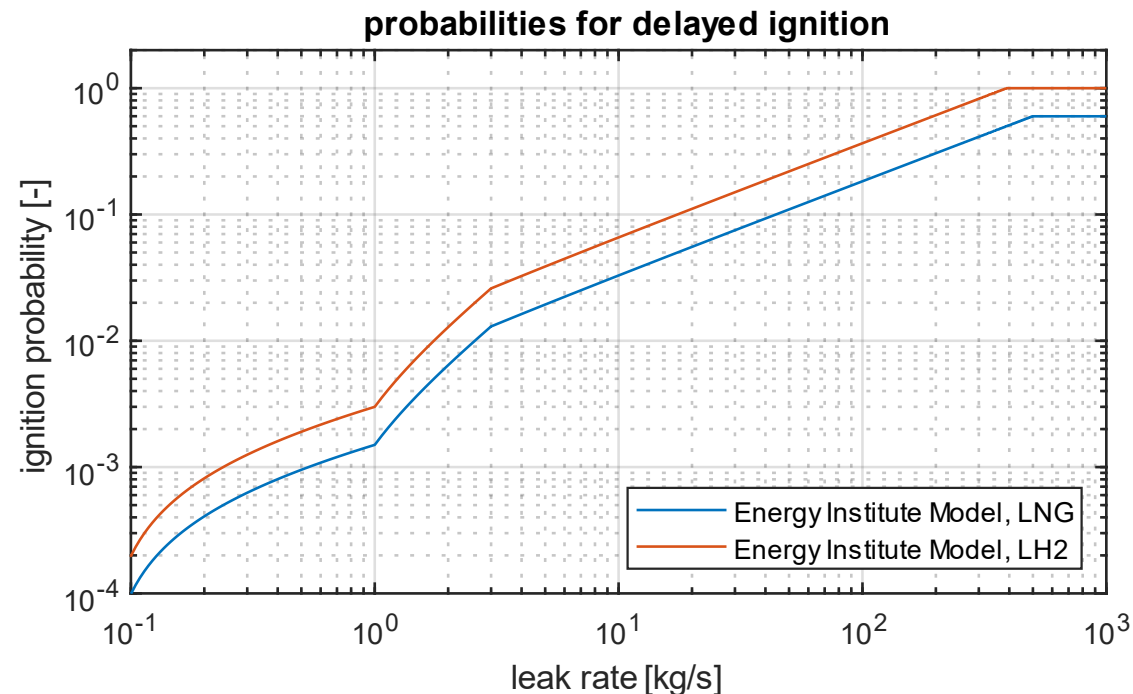
- Bunkern findet im Freien statt, daher ist keine technische Lüftung notwendig

# Ereignisbaum verzögerte Entzündung



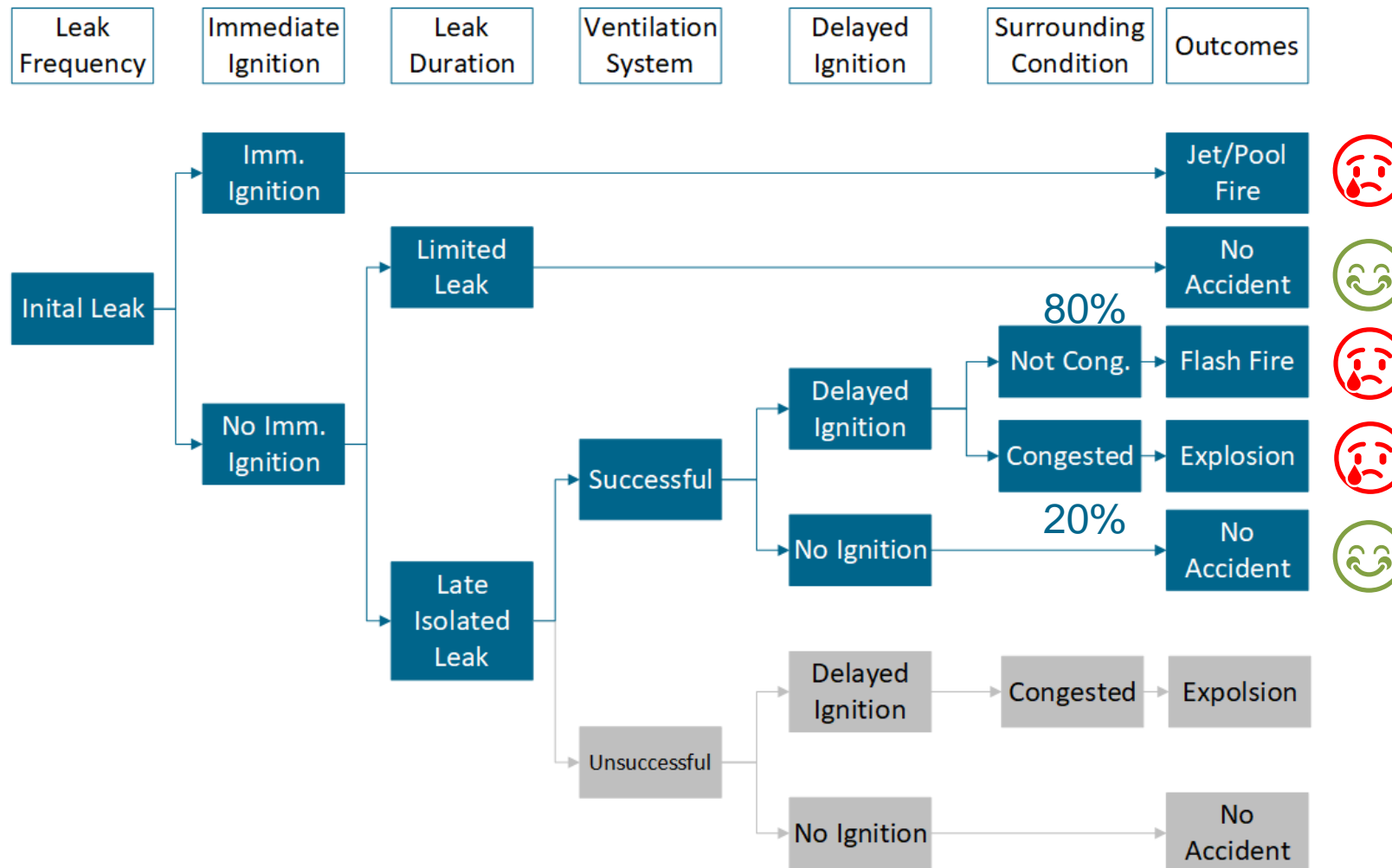
# Ereignisbaum verzögerte Entzündung

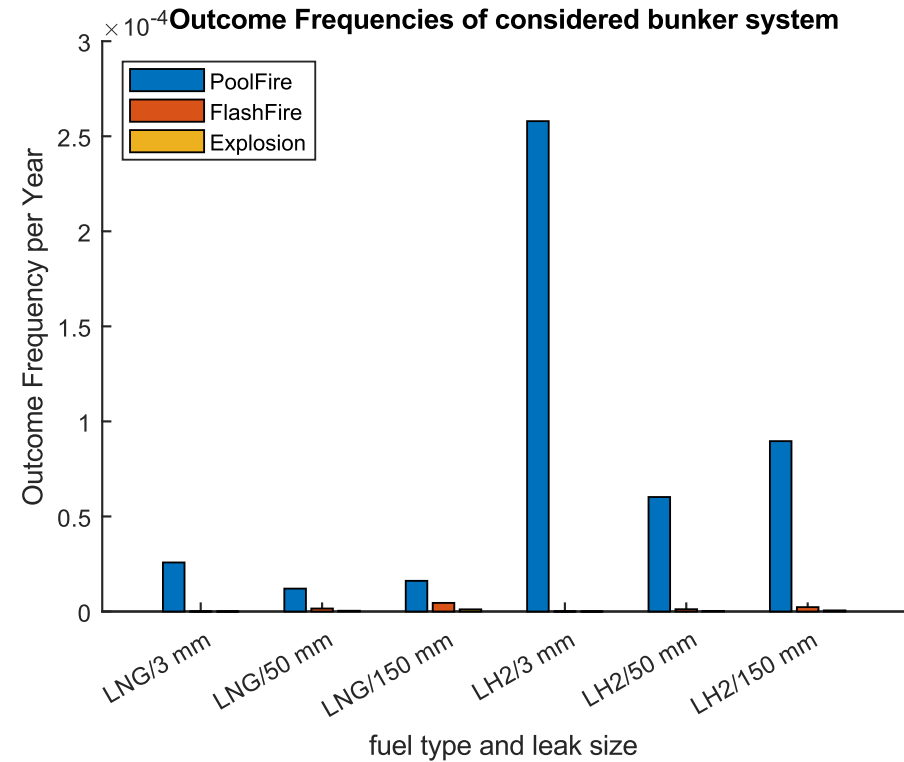
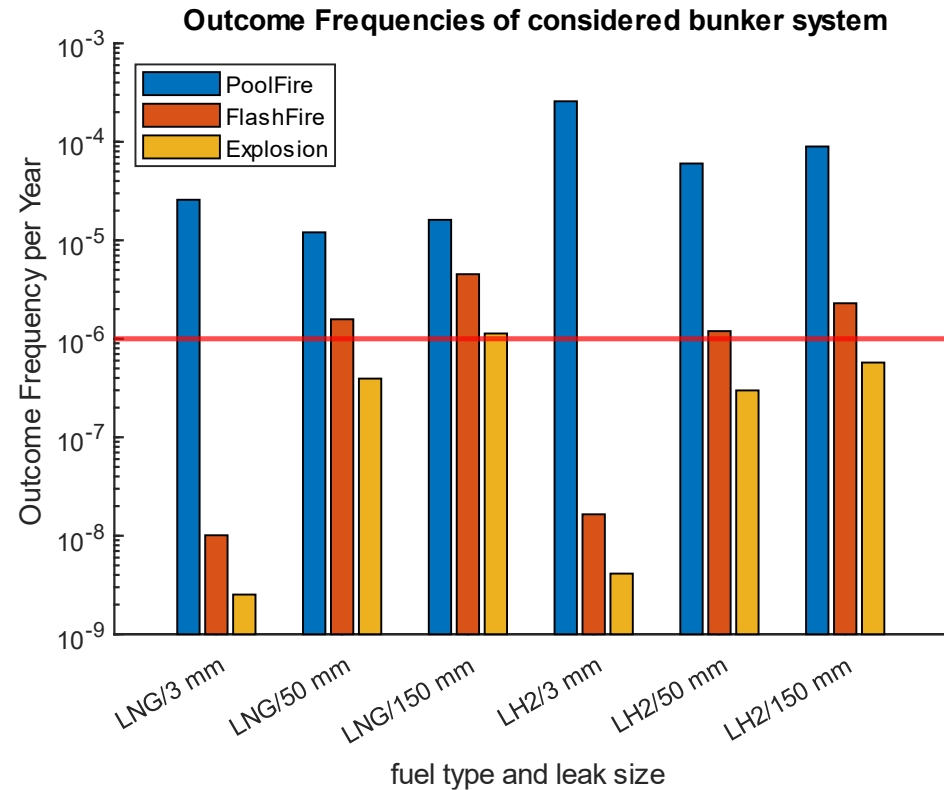
- Berechnung beschrieben in
  - *Guidance on assigning ignition probabilities in onshore and offshore quantitative risk assessments*, 2nd Edition Energy Institute, May 2019
  - International Association of Oil & Gas Producers (Hg.) (2019): *Ignition Probabilities. Risk Assessment Data Directory* (Report 434-06).



# Ereignisbaum

## Umgebungsbedingungen / vollständiger Ereignisbaum





$$F_{PoolFire} = F_{InitialLeak} \cdot P_{ImmIgnition}$$

$$F_{FlashFire} = F_{InitialLeak} \cdot P_{LateIsol.Leak} \cdot P_{Suc.Ven} \cdot P_{Del.Ignition} \cdot P_{NotCong}$$

$$F_{Explosion} = F_{InitialLeak} \cdot P_{LateIsol.Leak} \cdot P_{Suc.Ven} \cdot P_{Del.Ignition} \cdot P_{Congested}$$

# Nächste Schritte

- Weitere Verfeinerung der Methodik
- Analyse der Konsequenzen
  - Jet/Pool Fire → Wärmestrahlung
  - Flash Fire → untere Explosionsgrenze
  - Explosion → Druckwelle
- Berücksichtigung der Gasrückführung
- Definition von Sicherheitsabständen



- Leckagen treten gleichhäufig auf
- ABER Wasserstoff wird sich häufiger Entzünden als LNG
- ABER die gesamte Analyse ist mit großen Unsicherheiten verbunden, weil die Modelle für Kohlenwasserstoffe entwickelt wurden und keine kryogenen Temperaturen berücksichtigen
- ABER ohne Betrachtung der Konsequenzen ist keine abschließende Beurteilung möglich
- Das Wichtigste zuletzt: Vertrauen Sie keiner Grafik ohne die Achsen kontrolliert zu haben!



**Thema:** **Ein Vergleich der Sicherheit des Bunkerns von LNG und LH<sub>2</sub>**  
Einblicke in die aktuelle Forschung

**Datum:** 2023-11-29

**Autor:** Jorgen Depken

**Institut:** Institut für Maritime Energiesysteme

**Bildcredits:** Alle Bilder „DLR (CC BY-NC-ND 3.0)“, sofern nicht anders angegeben

**Acknowledgement:** Die Forschung, die zu diesen Ergebnissen geführt hat, wurde im Rahmen des Projekts „FuturePorts“ durchgeführt. Das Projekt begann im Januar 2022 und wird von der Programmdirektion Verkehr des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) geleitet, dessen Unterstützung wir sehr schätzen.