

Foundation of BowTies and PGS 12 case in ammonia storage tanks

Alwin van Aggelen

May 15th, 2024

 Wolters Kluwer



Personal Introduction



- Independent consultant
- Consultancy partner of WK Enablon
- Specialized in Barrier Based Risk Management
- PGS facilitator and technical editor
 - PGS 12 – ammonia storage
 - PGS 15 – storage of packaged chemicals
 - PGS 19 – propane tanks
 - PGS 29 – storage of flammable liquids in large storage tanks
 - PGS 31 – storage of chemicals in storage tanks
 - PGS 36 – H2 workshops and parking of vehicles
 - PGS 37-1 – battery energy storage systems
 - PGS 37-1 – storage of lithium-ion batteries
 - PGS 38 – multi fuel energy stations
 - PGS 40 – H2 electrolyzers



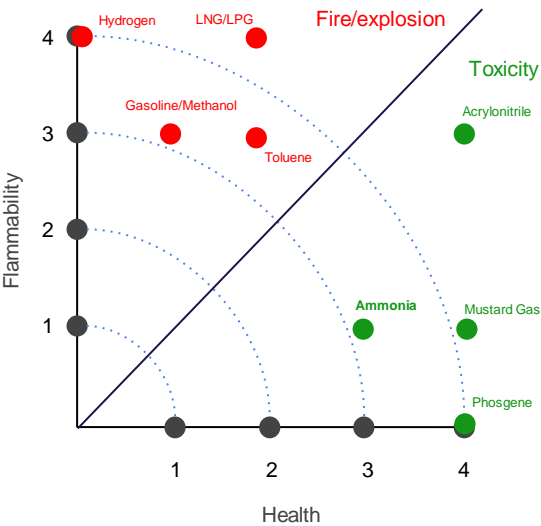
Ammonia Properties | Flammability & Toxicity

Ammonia NFPA rating, toxicity limits compared



	NH ₃		CO ₂	Toluene	Acrylonitrile
IDL (Immediate danger limit)	300 ppm	versus	50 000 ppm	500 ppm	85 ppm
STEL (Short term exposure limit)	35 ppm	versus	30 000 ppm	150 ppm	10 ppm

NFPA comparison plot for several substances



Main Takeaway

The fertilizer industry has been storing and transporting ammonia for **many decades** in a safe way. Most of their knowledge, experience and lessons learnt is covered in documents developed by the **European Fertilizer Manufacturer Association (EFMA)**.

The main risks come with the **upscaling** of the supply chain of ammonia as an energy carrier. In this case, ammonia can no longer be regarded as a **specialty chemical**, but as a **commodity chemical**.

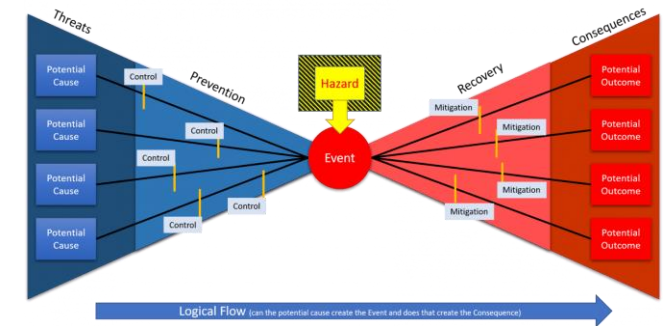


Introduction into PGS12

PGS: Publication Series on Hazardous Substances

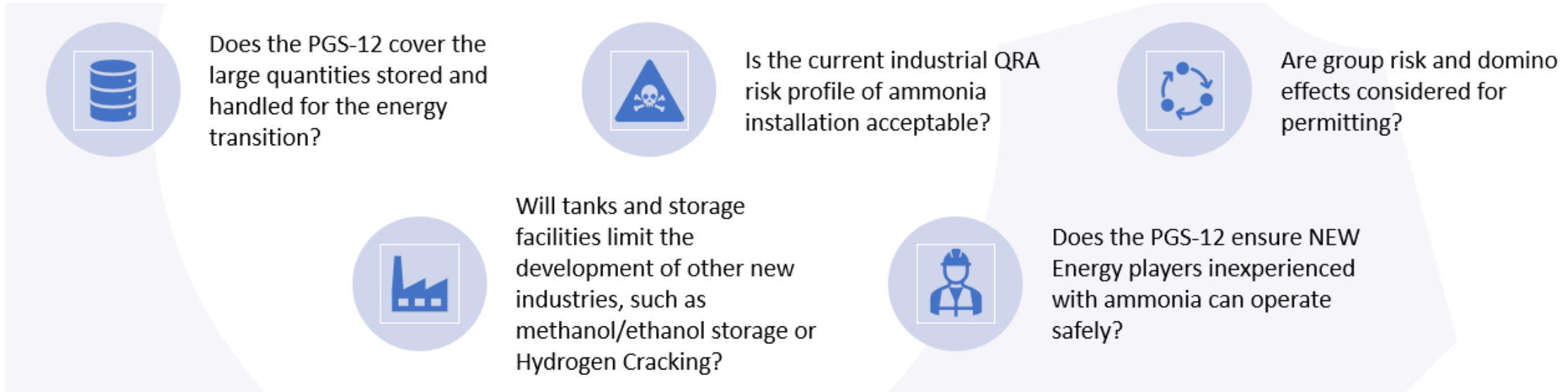
About PGS12:

- **Ammonia specific** Storage and Handling Guidelines
- Developed and maintained by the **NEN institute** (Dutch Normalisation Institute)
- In the Netherlands it is a **legal requirement**
- Applicable in the **Netherlands** but also being used **as reference** abroad
- Describes **Best Available Techniques** (BAT)
- Uses the **bow-tie** risk management methodology as a foundation: scenarios, objectives and mitigating measures
- An imposed mitigating measure may be replaced with another measure, when this results in the same risk level (NL: '**Gelijkwaardigheidsbeginsel**', ENG: '**Principle of equivalence**').



PGS12 Revision – case for action

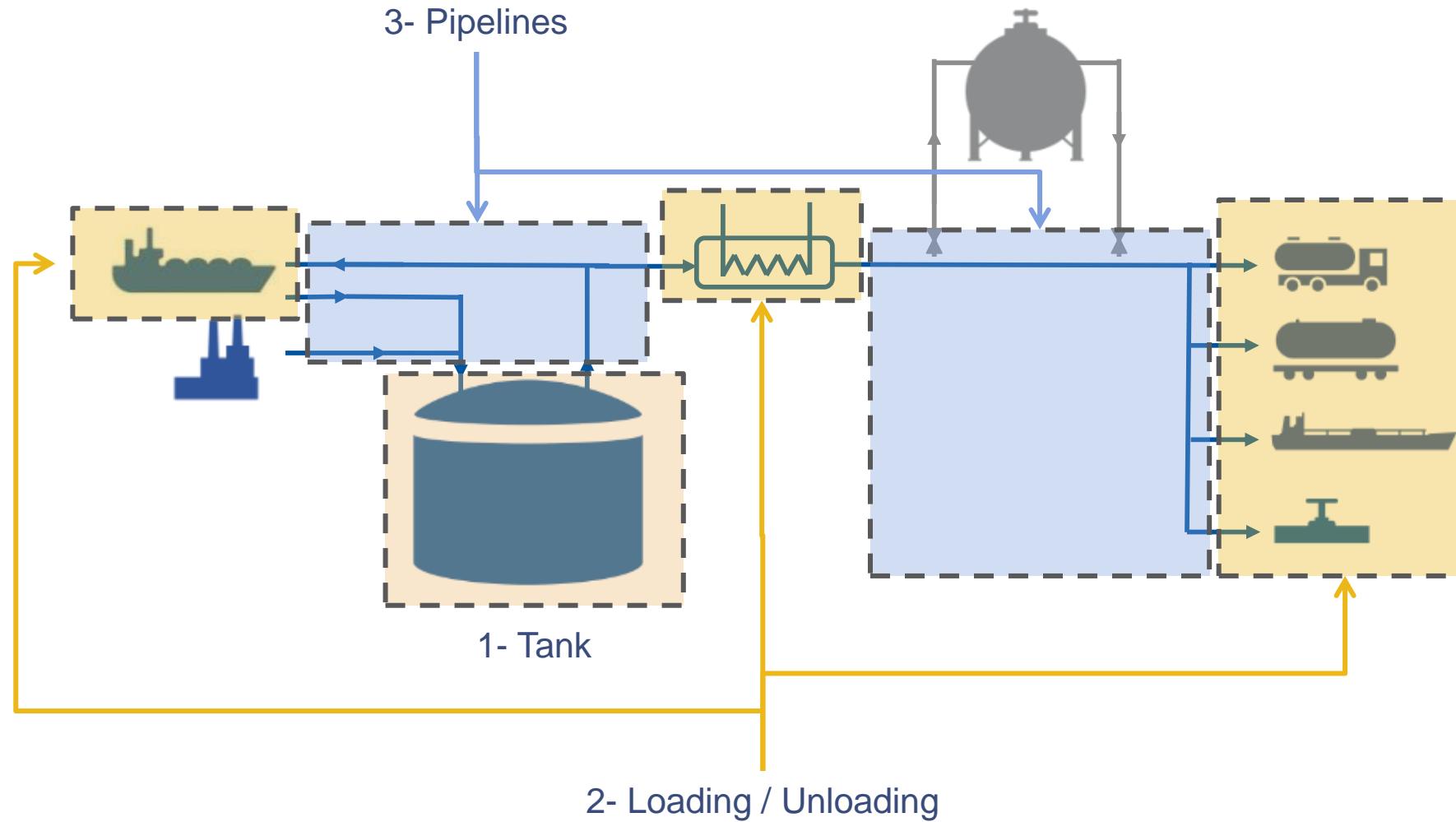
The existing PGS12 version 2014 raised the following questions



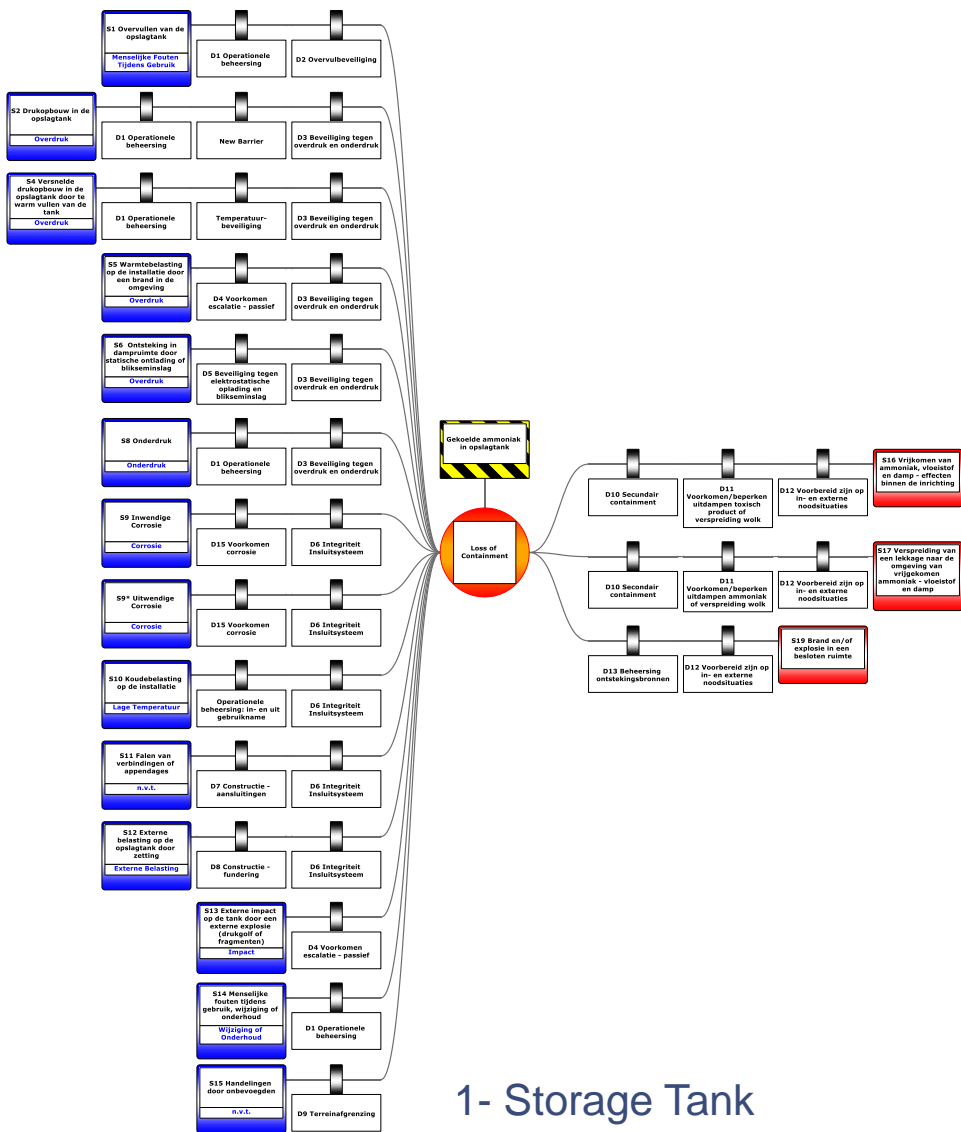
Answer: The previous PGS-12:2014 did not cover all risks related to **large scale** storage in a storage terminal environment.

Action: With **10-15 ammonia initiatives** in the Rijnmond area and the Province of Zeeland, an **urgent request** emerged to revise the PGS12.

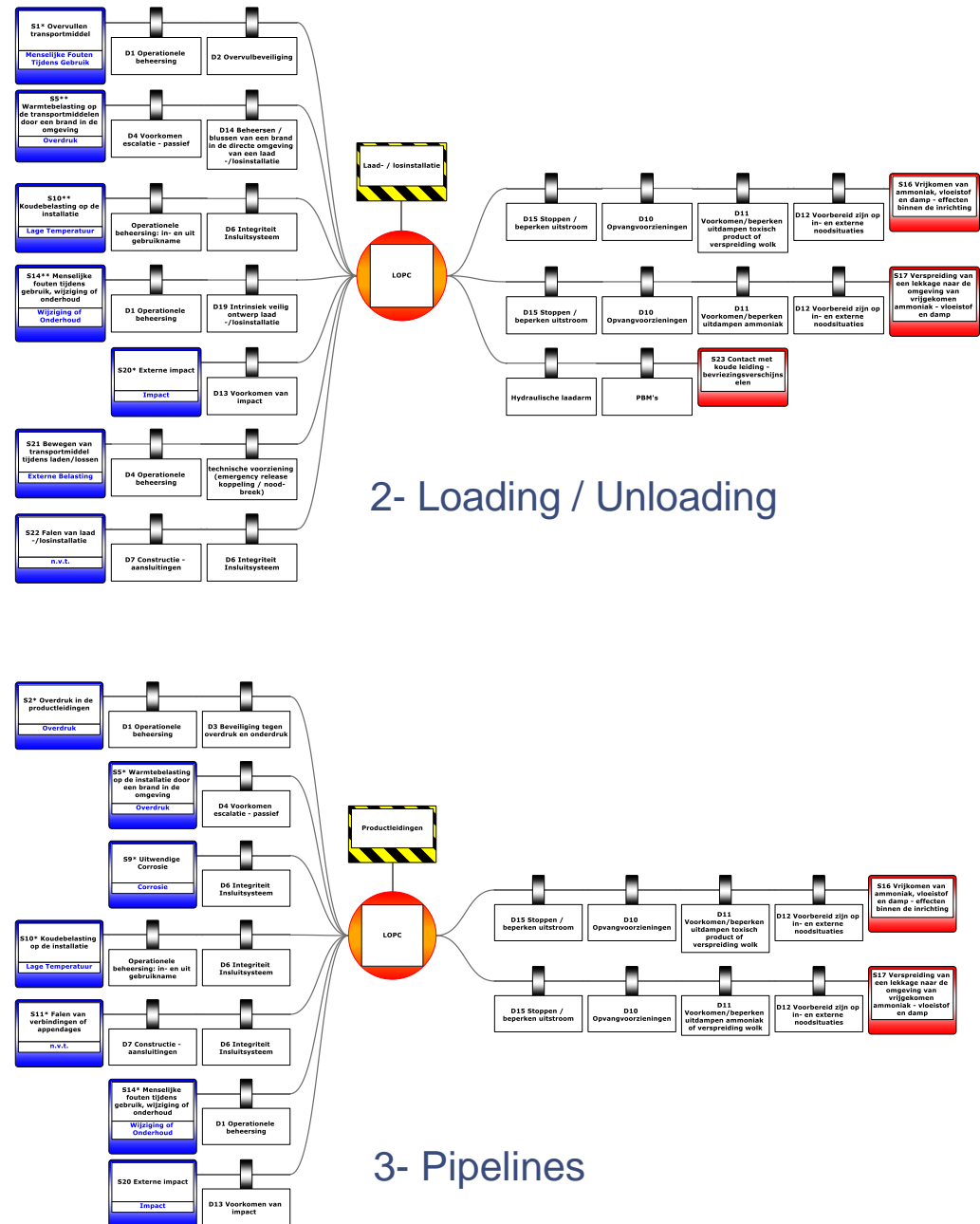
BowTies – PGS 12 scope



BowTies – PGS 12 scope



1- Storage Tank



2- Loading / Unloading

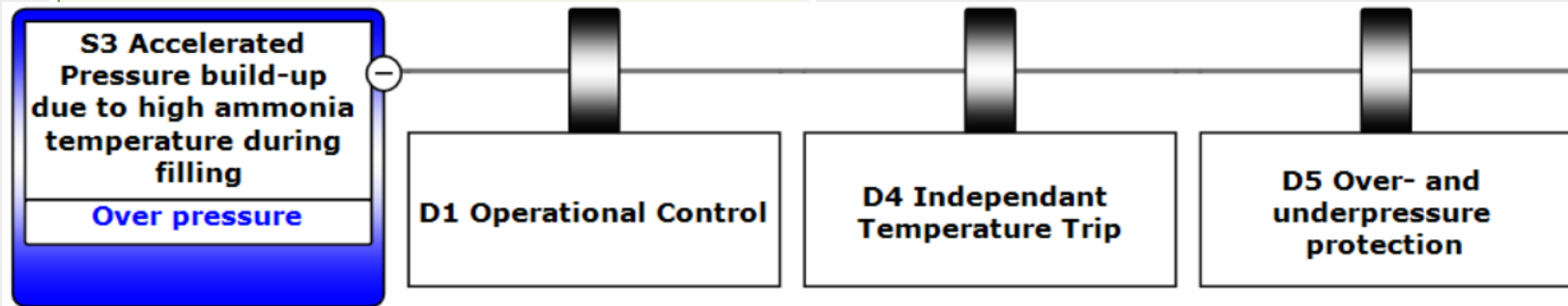
3- Pipelines

PGS 12 – scenario (1)

S3 Versnelde drukopbouw in de opslagtank door intrede te warme ammoniak in de opslagtank

Categorie: overdruk

Door verschillen in temperatuur van de ammoniak, bijvoorbeeld door lossen van te warme ammoniak in de opslagtank of door terugstroming, treedt een versnelde drukopbouw op. Hierdoor kan de tank falen en de inhoud volledig vrijkomen.



M72 Controle condities ammoniak voor lossen

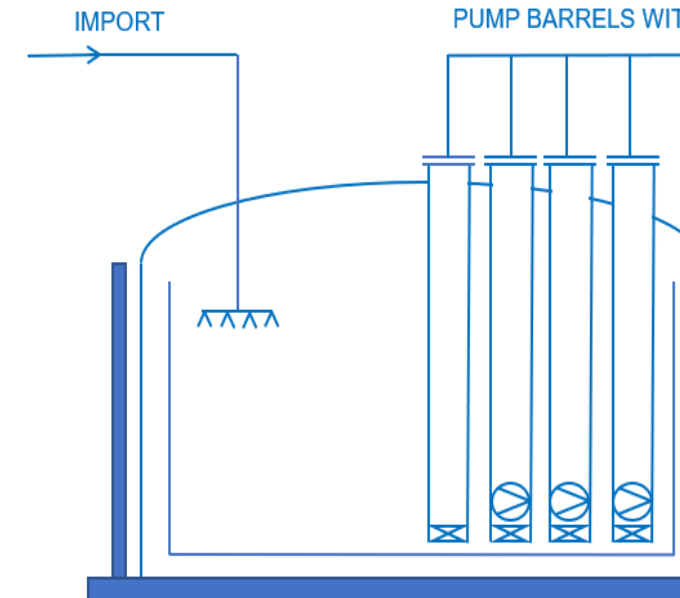
In de losprocedure is beschreven hoe inkomende ammoniak wordt getoetst en beoordeeld aan de terminals specificaties. Deze specificaties bevatten minimaal het watergehalte (gew%), de temperatuur en de temperatuur/drukverhouding van de inkomende ammoniak.

Hierbij gelden de volgende voorwaarden:

- ammoniak mag niet worden getransporteerd naar de opslagtank wanneer de temperatuur van de inkomende ammoniak hoger is dan bepaald in de terminals specificaties;
- ammoniak met een watergehalte lager dan 0,2 gew% mag alleen worden gelost naar de opslagtank wanneer:
 - het watergehalte wordt verhoogd middels toevoegen ('in-line blending') van aqua ammonia in de vullleiding zodanig dat wordt voldaan aan het vereiste watergehalte in de opslagtank (M65);
 - het watergehalte in de opslagtank, middels bijmengen van aqua ammonia, zodanig is verhoogd voorafgaande aan de start van het vullen van de opslagtank, dat zeker is te stellen dat na afronding van het vulproces wordt voldaan aan het vereiste minimumwatergehalte (M65).
- de druk-/temperatuurverhouding komt overeen met de druk-/temperatuurverhouding van ammoniak, om zeker te stellen dat de lading een homogene lading ammoniak bevat.

Ammonia in vessel within terminal specifications before unloading starts

Filling of tank



PGS 12 – scenario (2)

S12 Externe impact op de opslagtank

Categorie: impact

Door een explosie in de omgeving wordt de opslagtank blootgesteld aan een drukgolf en/of geraakt door fragmenten. Hierdoor faalt de opslagtank en komen vloeibare ammoniak en een dampwolk vrij.

**S12 External impact
on storage tank**

Impact

D13 Prevent impact

**D7 Prevent escalation -
passive**

M12 Betonnen beschermingswand

De opslagtank is voorzien van een betonnen beschermingswand, die aansluit op de afloop van de dakconstructie (en is dus nagenoeg even hoog als de opslagtank) en die beschermt tegen externe invloeden zoals een drukgolf, impact van fragmenten of warmtestralingsbelasting.

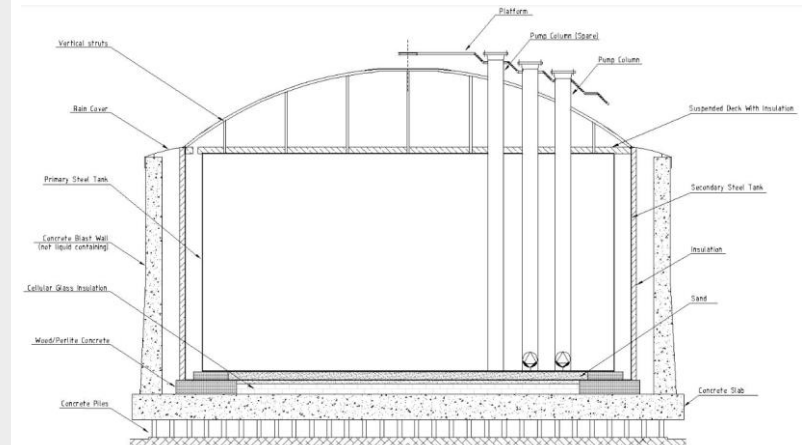
Deze betonnen beschermingswand is minimaal bestand tegen:

- een statische drukbelasting van 0,3 bar gedurende 300 ms;
- een impact van projectielen/fragmenten, zoals een afsluiter van 150 kg met een snelheid van 50 m/s en een impactoppervlakte met een diameter van 0,25 m, loodrecht op de wand;
- een impact van een object van 200 kg (zoals een motorblok van een klein vliegtuig), met een snelheid van 100 m/s en een impactoppervlakte van 0,5 m² (diameter 0,8 m), loodrecht op de wand;
- een warmtestralingsbelasting van 10 kw/m² veroorzaakt door brand van omringende installatieonderdelen (o.a. brand/fakkels van de uitlaat van de ontlastklep, tankbrand van de dichtstbijzijnde tank, affakkelscenario op de terminal).

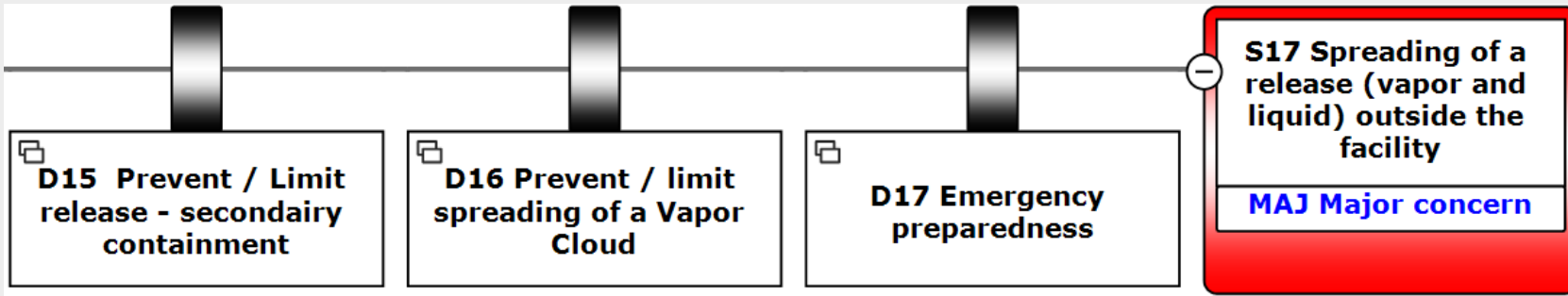
Voor bijvoorbeeld de inspectie van de opslagtank zijn mangaten in de betonnen beschermingswand toegestaan, mits deze bestand zijn tegen bovengenoemde externe invloeden.

**Concrete protection wall
around storage tank**

Concrete wall



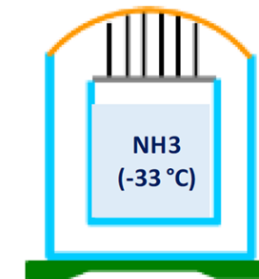
PGS 12 – scenario (3)



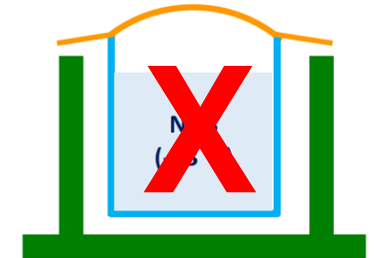
Full containment

Storage Concepts for Refrigerated Gas (Simple Version)

Double containment (DC) versus Full Containment (FC)



Full Containment
'Cup in tank'
Vapours are contained when primary containment fails.



Double Containment
'Tank in Cup'
Vapours are emitted when primary containment fails.

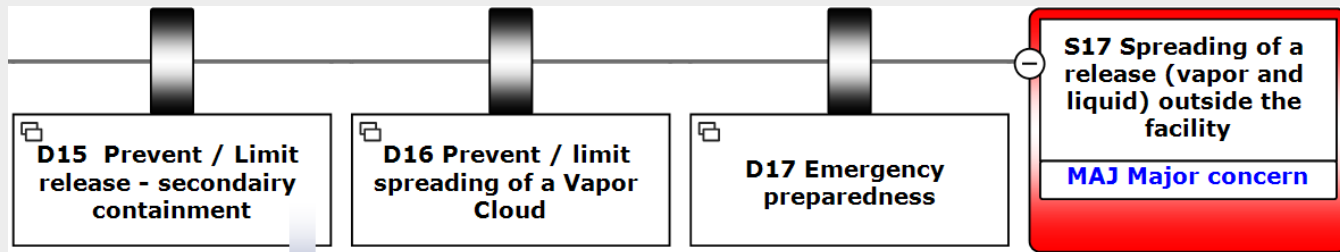
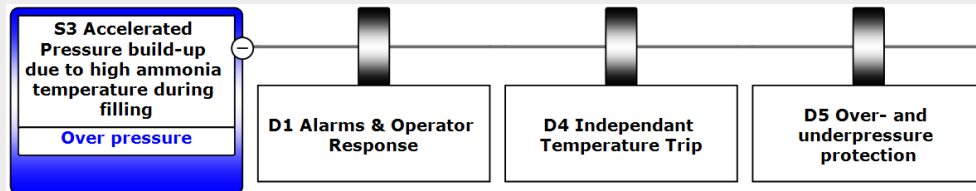
M10 Constructievorm

De vereiste constructievorm is een volledig omsloten atmosferische opslagtank ('full containment'). Deze constructievorm bestaat uit een binnen- en buitentank, waarbij:

1. de wand van zowel de binnen- als de buitentank berekend is op het bevatten van de opgeslagen vloeistof;
2. bij een lekkage of falen van de binnentank (primaire tank) zowel de damp als de vloeistof binnen de constructie blijft ('full containment');
3. doorvoeringen door de wand of bodem van de primaire en secundaire tanks niet zijn toegestaan (zie ook [M30](#)). Dit houdt in dat alle ingaande en uitgaande leidingen vanuit de primaire tank over de bovenkant moeten gaan en er gebruik wordt gemaakt van in-tankpompen, waarbij de pompschacht voorzien is van een afsluiter (onderin de pompschacht) om de pompschacht af te kunnen sluiten van de opslagtank (voetklep);
4. een uitzondering (op 3.) wordt gemaakt voor het aanbrengen van aansluitingen op de annulaire ruimte tussen de primaire en secundaire tank voor het afvoeren van condens of als mogelijk aansluitpunt voor het leegpompen van de annulaire ruimte in het geval van lekkage van de binnentank (primaire tank), zie [M31](#);
5. het dak een zelfdragende constructie is, die gelast is aan de tankwand van de buitentank;
6. toepassing van perliet als isolatiemateriaal niet is toegestaan.

Full Containment Tank

PGS 12 – scenario (4)



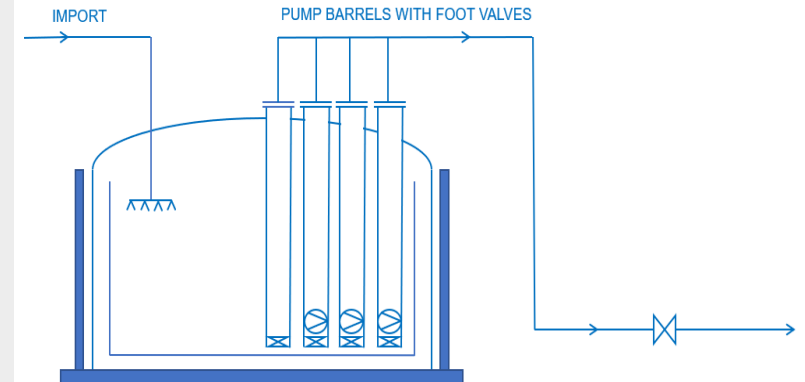
M10 Constructievorm

De vereiste constructievorm is een volledig omsloten atmosferische opslagtank ('full containment'). Deze constructievorm bestaat uit een binnen- en buitentank, waarbij:

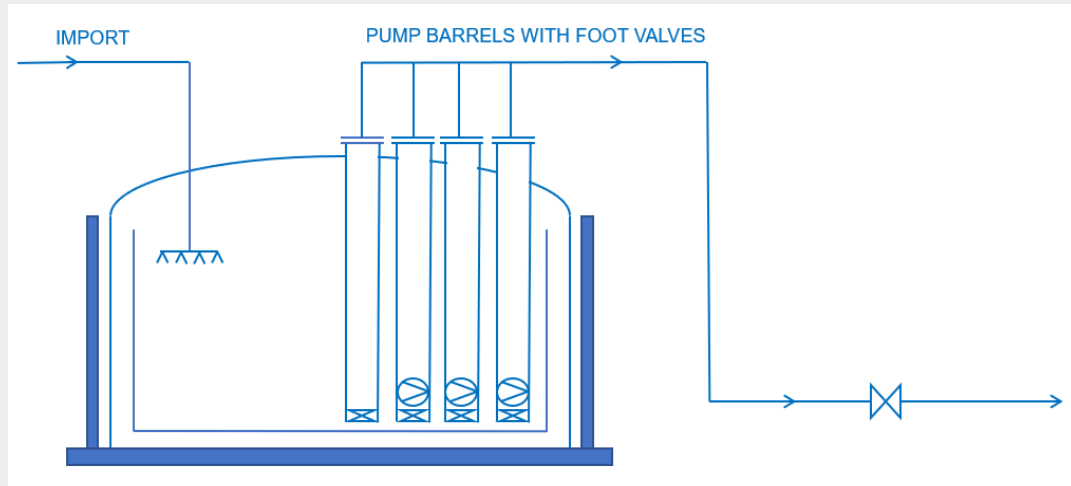
1. de wand van zowel de binnen- als de buitentank berekend is op het bevatten van de opgeslagen vloeistof;
2. bij een lekkage of falen van de binnentank (primaire tank) zowel de damp als de vloeistof binnen de constructie blijft ('full containment');
3. doorvoeringen door de wand of bodem van de primaire en secundaire tanks niet zijn toegestaan (zie ook [M30](#)). Dit houdt in dat alle ingaande en uitgaande leidingen vanuit de primaire tank over de bovenkant moeten gaan en er gebruik wordt gemaakt van in-tankpompen, waarbij de pompschacht voorzien is van een afsluiter (onderin de pompschacht) om de pompschacht af te kunnen sluiten van de opslagtrank (voetklep);
4. een uitzondering (op 3.) wordt gemaakt voor het aanbrengen van aansluitingen op de annulaire ruimte tussen de primaire en secundaire tank voor het afvoeren van condens of als mogelijk aansluitpunt voor het leegpompen van de annulaire ruimte in het geval van lekkage van de binnentank (primaire tank), zie [M31](#);
5. het dak een zelfdragende constructie is, die gelast is aan de tankwand van de buitentank;
6. toepassing van perliet als isolatiemateriaal niet is toegestaan.

No wall penetrations

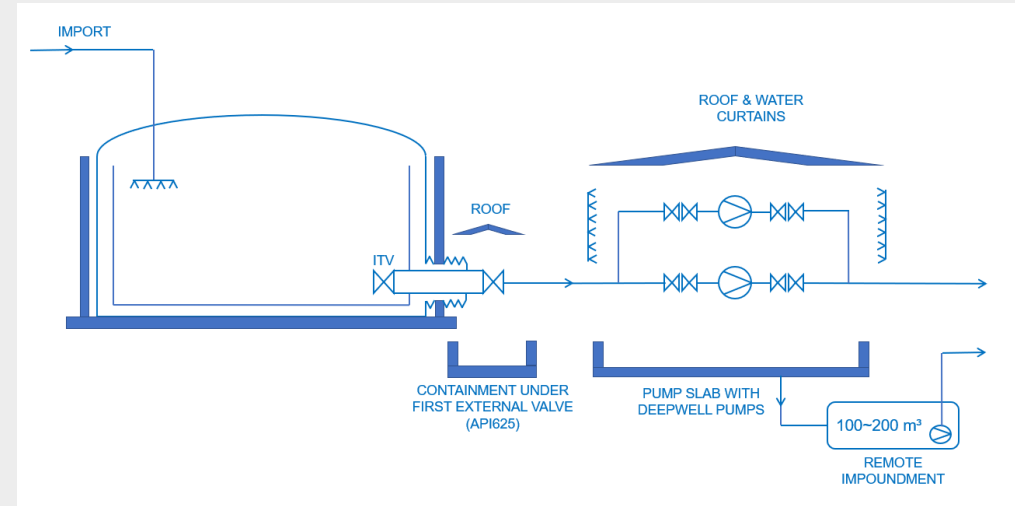
In-tank pumps



In-Tank Pumps versus External Pumps (process risk vs personal risk)



- + Lowest Process risk, no **physical connection** between inner and outer tanks
- + No **additional equipment** required, increasing MTBF
- + Follows the **design philosophy** to increase OOS intervals.
- Retracting a pump for maintenance comes with **personal risks**
- External **booster pump** might still be needed to increase pressure
- Each tank requires its **own set of pumps** (incl redundancy)
- **Availability** of in-tank ammonia pumps on the market
- Potential problems with **failing foot valve**
- Requires solid design of **umbilical cords** for E&I cabling



- + **Easy access** to pumps for maintenance
- + **Multiple tanks** can be connected to one or two pumps
- + Can facilitate **large flowrates** for loading a VLAC
- Increased **process risk**
- Thermal overload can lead to **loss of both containments** (Rostock incident 2005)
- **Additional equipment** (ITV & expansion joint) is needed, decreasing MTBF
- Design of the pump pit includes **significant civil and mechanical works**.
- Does not follow the **design philosophy** of increased OOS intervals.

PGS 12 - Additional (new) requirements

Additional requirements

- Pipeline **segmentation**; to avoid large quantities LOPC;
- Temperature safeguarding on tank inlet / jetty line; to avoid **thermal overload** of the tank;
- Specific design for **heat exchanger** to avoid leakage of ammonia to the environment;
- Accessible **air-gap foundation**.



Courtesy of: Paresa

Global Impact of the new PGS12

Can the new PGS12 be applied globally?

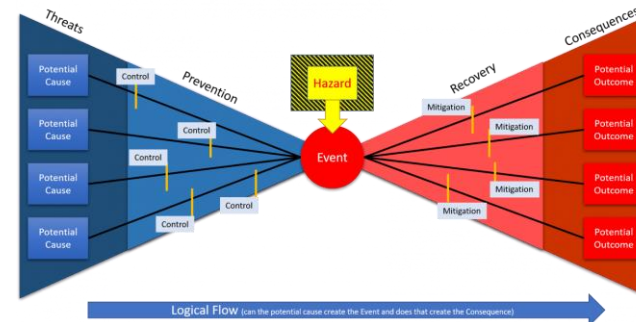
Considerations:

1. PGS12 has been developed specifically for the **Netherlands**, where **import** terminals will be built in **densely populated areas**.
2. In other countries local stakeholders and societies could be underrepresented.
3. PGS12 is not an independent document. It is an integral part of other PGS documents such as PGS3, PGS13, PGS29 as well as other Dutch permitting legislation, making it challenging to introduce into other countries.

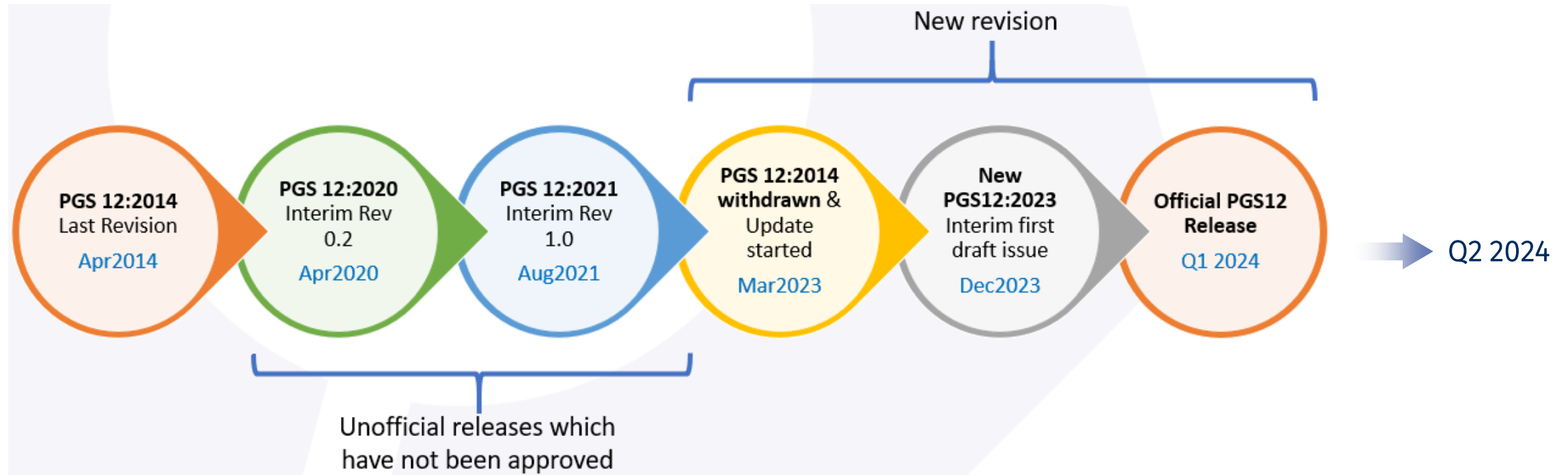


Will it be a benchmark code for other countries to adopt?

Definitely! It contains throughout BAT technology.
It gives guidance to, and reasoning behind safe tank and terminal design.
It describes scenarios, consequences, objectives and mitigating measures.

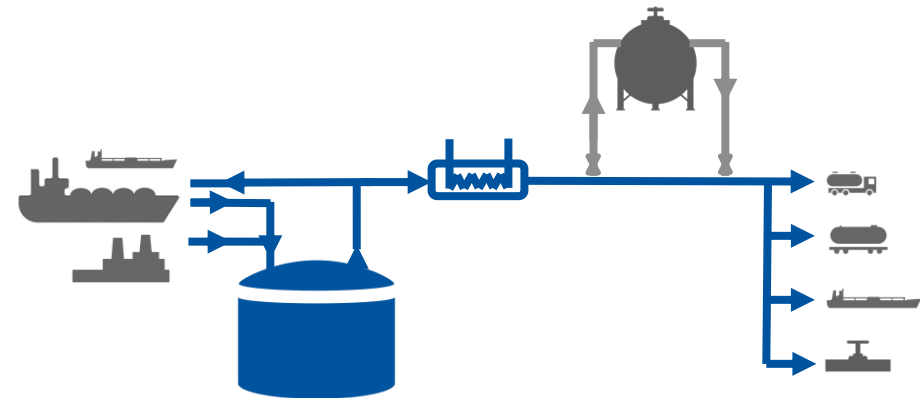


PGS12 Revision Timeline



Phasing

- Phase 1: New terminals & refrigerated tanks
- Phase 2: Existing terminals & tanks
- Phase 3: Pressurised storage of 'warm ammonia'



Q&A

