



STRATELLIGENCE

decision support

Onderzoek vergelijking waterstofdragers

Nationaal Congres Waterstofveiligheid

Gigi van Rhee & Remco Hoogma
3 april 2024

Effective decisions through evidence-based analysis



Een multicriteria -analyse; veiligheid is een van de publieke belangen en criteria

- In de Kamerbrief van 17 maart 2023 is een **visie op waterstofdragers** aangekondigd.
- Het ministerie van EZK vraagt als bouwsteen voor deze op te stellen visie om een **vergelijking** tussen uiteenlopende waterstofdragers voor specifieke importketens binnen/door Nederland op basis van de **publieke belangen** die een rol spelen in de energie- en grondstoffentransitie, zoals beschreven in het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE).
- Doel hiervan is om de **feitenbasis** voor deze op te stellen visie op orde te brengen en zo EZK en andere ministeries te ondersteunen bij het maken van beleidskeuzes. Dit betreft beleid met betrekking tot fysieke stromen van waterstofdragers in en door Nederland, en met betrekking tot de mate waarin, de wijze waarop, en de voorwaarden waaronder het ministerie deze stromen in en door Nederland wil faciliteren en evt. stimuleren. Het gaat daarbij om import en doorvoer voor eindgebruik in zowel Nederland als het Europese achterland (in het bijzonder Duitsland).
- Het onderzoek Vergelijking waterstofdragers bestaat uit een uitgebreide **multicriteria -analyse** (MCA). Veiligheid is één van de publieke belangen uit het NPE en één van de criteria.
- Deze studie is gestart in november 2023 en loopt tot eind mei 2023. Omdat de conceptresultaten nog niet aan de opdrachtgever zijn gepresenteerd, zullen we slechts ingaan op aanpak en methode.



Methodiek Multi Criteria Analyse (MCA)

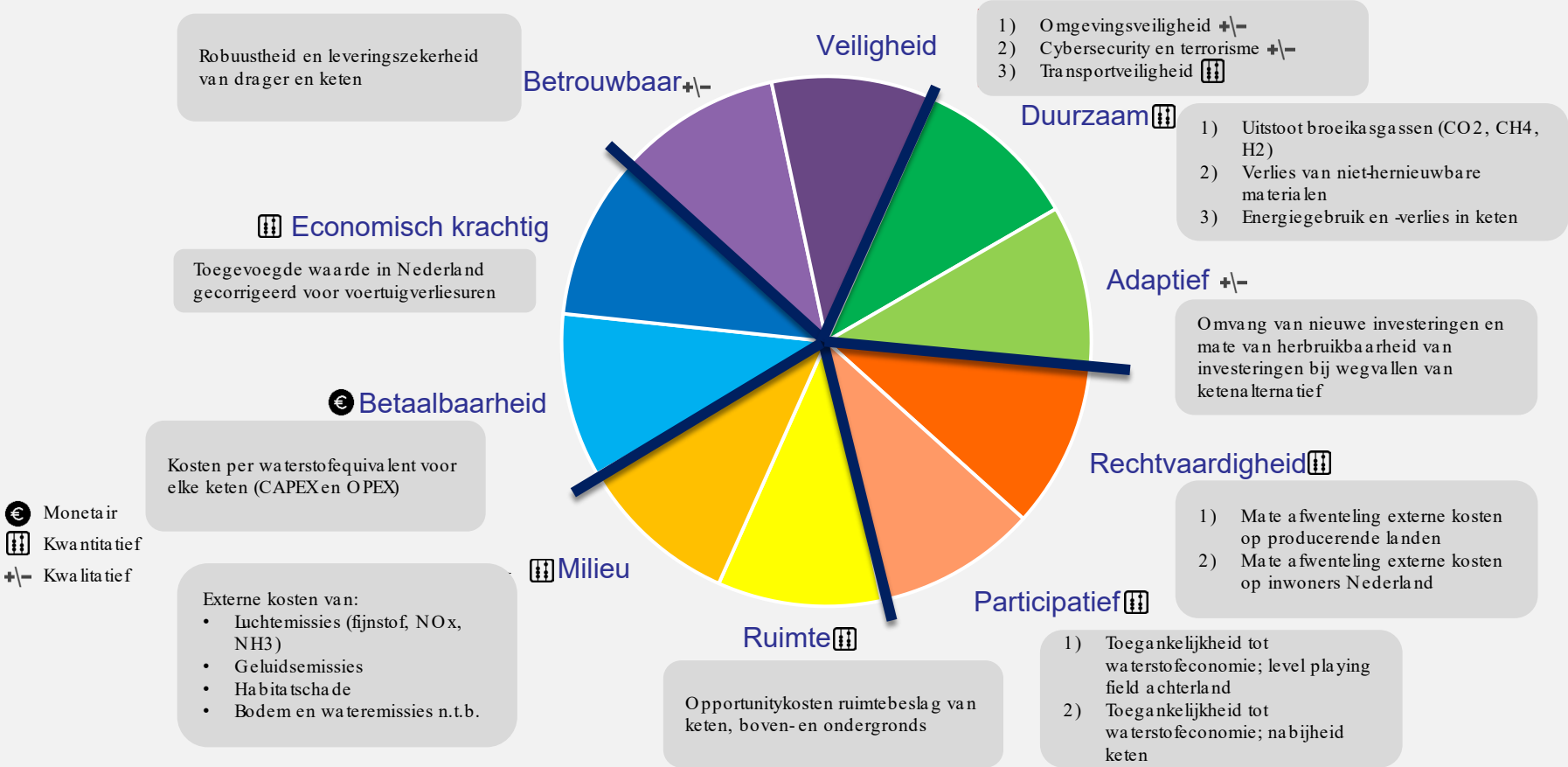
Stappen in een multi -criteria -analyse:

1. Identificeren van de **alternatieven** (combinaties van waterstofdragers, ketens & gebruikers, zichtjaren, scenario's).
2. Bepalen van de **criteria** (de publieke belangen).
3. Bepalen van de **scores van de alternatieven** op de publieke belangen.
4. **Standaardisatie/normalisatie** van de scores op de criteria.
5. **Weging** van de criteria; Analytic Hierarchy Process in combinatie met Delphi.
6. **Rangschikking** van de alternatieven (diverse methoden).
7. Een **gevoeligheidsanalyse**.





Voor elke ketenvariant worden scores bepaald op 5x2 publieke belangen: stand van zaken concretisering



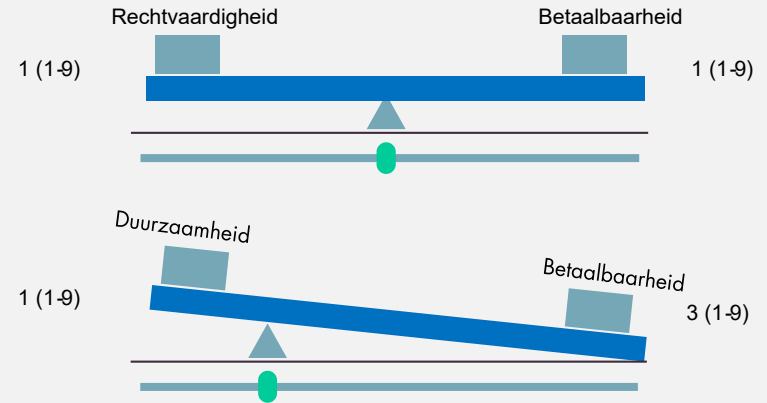


Door een combinatie van een modified Delphi -aanpak met AHP komen we zo dicht mogelijk bij een objectieve weging van de publieke belangen

Modified Delphi -aanpak: Zo objectief mogelijke input

1. Opstellen en testen van **briefing** over aanpak, indicatoren en deelindicatoren
2. **Schriftelijke ronde** onder een breed samengestelde groep voor paarsgewijze weging van 10 publieke belangen plus indicatoren.
3. **Analyse** van antwoorden en aggregatie van de individuele scores door het onderzoeksteam
4. **Bespreken** van de anonieme antwoorden die uiteenlopen inclusief de meegestuurde argumentatie in de fysieke Delphibijeenkomst.
5. (Optioneel) **aanpassing** van de individuele scores naar aanleiding van nieuwe informatie en inzichten
6. **Analyse** van definitieve antwoorden en aggregatie van de individuele scores van respondenten tot een set **wegingsfactoren** die kunnen worden gebruikt in de MCA.

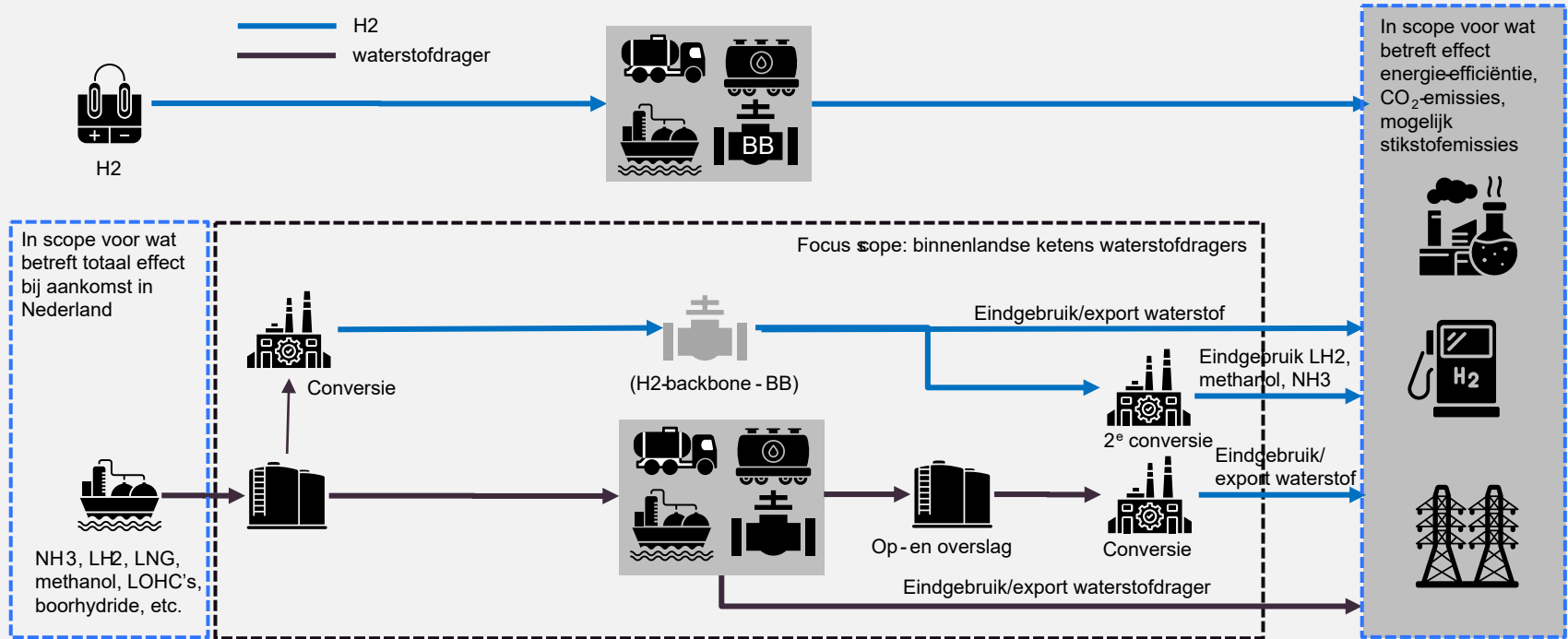
Analytical Hierarchy Process (AHP): paarsgewijze vergelijking criteria voor juiste weging



Schaal	Numerieke score
Absoluut belangrijker dan	9
(tussen zeer veel en absoluut belangrijker dan)	8
Zeer veel belangrijker dan	7
tussen belangrijker en zeer veel belangrijker dan)	6
Belangrijker dan	5
(tussen enigszins belangrijker en belangrijker dan)	4
Enigszins belangrijker dan	3
(tussen even en enigszins belangrijker dan)	2
Gelijke belangrijkheid	1



Scope is (import/doorvoer)keten in Nederland met conversies en transport via water, weg, spoor of buisleiding



H₂ uit binnenlandse productie buiten scope, net als transport van H₂ over weg, spoor en water. Overige dragers zijn hoofdzakelijk import, maar als dragers in NL geproduceerd worden uit H₂ (productie H₂ is buiten scope) past dat wel in evaluatiemethodiek.

Kader links is in scope voor wat betreft keteneffecten op kosten, energieefficiency, emissies, leveringszekerheid..., maar niet sterne veiligheid, ruimtebeslag, waterhuishouding ...

Kader rechts is in scope voor keteneffecten energieefficiëntie, CO₂-emissies, mogelijk stikstofemissies en effect op kosten a.g.v. energie efficiëntie.



De meest onderscheidende waterstofdragers waarvoor voldoende informatie te vinden is, zijn geselecteerd

Waterstofdragers (volgens offerte)	Keteninformatie literatuur	Is er beleid, zijn er nieuwe vragen?	Bekende importinitiatieven
H2 vloeibaar	Meerdere studies, kosten, technologie, energie, externe veiligheid	Geen beleid, nieuwe ontwikkeling	Amsterdam: Zenith e.a. Rotterdam: Shell, Vopak e.a.
Ammonia	Veel studies, kosten, technologie, energie, externe veiligheid	Staannd beleid herzien voor binnenlands vervoer NH3	Terminals Rotterdam, Vlissingen, Chemelo
LOHC (selectie, max 2): 1. Toluene-Methylcyclohexaan (MCH) 2. Dibenzyltolueen (H0 -DBT) perhydro -dibenzyltolueen (H18 -DBT)	Meerdere studies met name over MCH en DBT, kosten, technologie, energie, externe veiligheid.	Geen beleid, nieuwe ontwikkeling	Rotterdam: Chiyoda MCH Amsterdam: Hydrogenious DBT
3. Benzene-Cyclohexaan 4. N-ethylcarbazol (H0 -NEC)-perhydro-N-ethylcarbazol (H12 -NEC) 5. 1,2-Dihydro-1,2-azaborine (AB) – 1,2-BN Cyclohexaan (BNC) 6. Naftaleen -Decaline	Andere LOHC's met name chemisch technische evaluaties, geen keteninformatie		Pilot Hymove bij steenfabriek met NEC van Hynertec
Methanol	Meerdere studies, zowel voor H2transport als voor direct eindgebruik	Staannd beleid, geen beleidsvragen	Terminals Rotterdam en Amsterdam (nu grijze, potentieel e-methanol)
Synthetisch methaan (als LNG)	Enkele studies over gebruik als H2drager, veel over LNGketen	Staannd beleid voor LNG, beleidsvragen eventueel i.r.t. CCUS	Niet bekend, maar potentieel via GATE, Eemshaven
Mierenzuur	Weinig studies, wel over productie (Topsector Energie)	Geen beleid, nieuwe ontwikkeling	Geen bekende initiatieven, wel ambitie voor productie in NL (Coval/Twence)
Poeders: Natrium - of kaliumboorhydride	Weinig studies in aangereikte literatuur, in academische literatuur wel te vinden	Geen beleid, nieuwe ontwikkeling	Geen bekende initiatieven, wel ambitie voor productie in NL (Electriq, H2Fuel)



Het gebruik van gestileerde tracés en één volumescenario zorgt voor in totaal 192 basisdatasets

- Gebruik van **gestileerde tracés** (conform parallelonderzoek MKBV); hierdoor vervallen verschillen tussen importhavens en verschillen in afstand tot verschillende eindgebruikerslocaties.
- **Volumekeuze**: we gaan uit van het middenscenario van Arcadis/Berenschot/TNO als het enige scenario. Volume is dus geen variabele. In de gevoeligheidsanalyse kijken we naar het effect van volumeverschillen.
- **Eindgebruik** van H2, NH3, methanol, LH2, en niet van LOHC's of hydrides.
- Een **2° conversie** naar een waterstofdrager gebeurt aan de hand van een representatieve waterstofketen voor NH3, Methanol en LH2. Niet voor CH4.

Invoerhavens	Gebruikslocaties	Waterstofdragers	Modaliteit (4)	Conversie (3)	Zichtjaar (2030, 2050)	Scenario's
1 invoerpunt	Gebruikslocaties (dunne en dikke stroom); eigen gebruik en export is deelverzameling	Waterstof-(dragers): 7	Weg-conversie, Spoorconversie, Water-conversie, Buisconversie (niet hydrides en LH2): (max 4) Conversie – backbone (max 1) Weg/spoor/water/buis en geen conversie voor MeOH, NH3, LH2, CH4 (max 4) <u>Representatieve</u> H2-keten en conversie tot MeOH, NH3, LH2 (max 1 i.p.v. set)	Zichtjaar (2030/35, 2050) (2)	Volumeonafhankelijke vergelijking o.b.v. basisscenario + gevoeligheidsanalyse in plaats van verschillende scenario's	
1	x2	x7	x gem. 6.7	x2	= 192	



Veiligheid: drie subcriteria en wijze van beoordeling

Omgevingsveiligheid

- Het risico voor de maatschappij als gevolg van [onbedoelde](#) incidenten bij het transport en de verwerking van (gevaarlijke) waterstofdragers
- Risico is kans x impact
- Gebaseerd op de methodiek van het regionale risicoprofiel en de rijksbrede risicoanalyse nationale veiligheid.
- Kansen en impact voor 6 incidentscenario's in de Nederlandse ketenstappen m.u.v. eindgebruik

Kwetsbaarheid voor cyberaanvallen en terrorisme

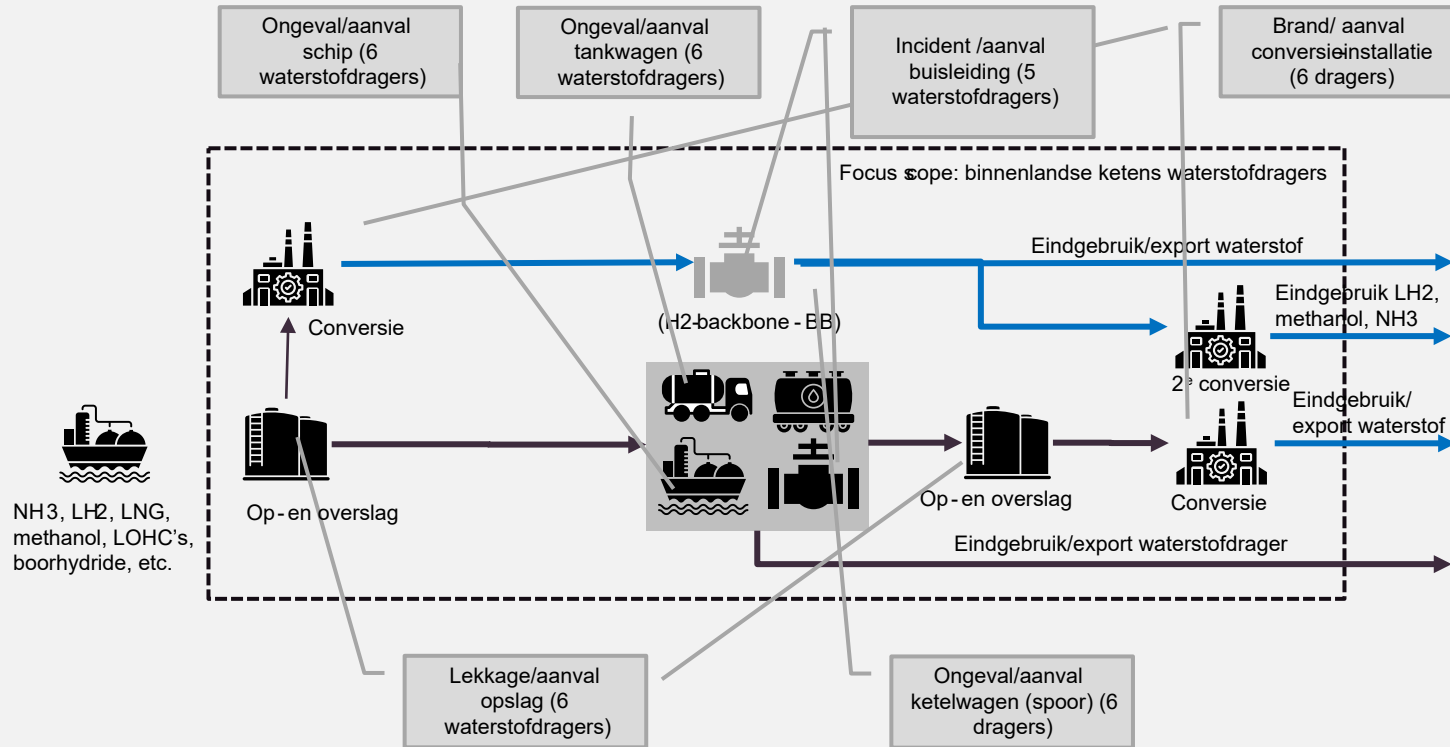
- Het risico voor de maatschappij als gevolg van [doelbewuste](#) incidenten bij het transport en de verwerking van (gevaarlijke) waterstofdragers
- Risico is kans x impact
- Gebaseerd op de methodiek van het regionale risicoprofiel en de rijksbrede risicoanalyse nationale veiligheid.
- Kansen voor 6 incidentscenario's voor cyber en voor terrorisme in de Nederlandse ketenstappen m.u.v. eindgebruik.
- Impact overgenomen van omgevingsveiligheid

Transport/verkeersveiligheid

- Toename van verkeersongevallen door transport van waterstofdragers over weg/water/spoor.
- Veiligheidskosten = kental x tonkms
- Gebruik van kentallen (schaduwkosten, CE Delft 2022, Prijs van een reis) per tonkm voor ongevalsschade (slachtoffers, gewonden en materiële schade) voor weg, water, spoor.
- Benodigde tonkms volgen uit volumeberekening en variëren per alternatief.
- Std. tracé is 200 km



Het omgevingsrisico en cyber/terrorismerisico van de keten wordt benaderd door 6 type locaties voor incidenten en aanvallen te beoordelen

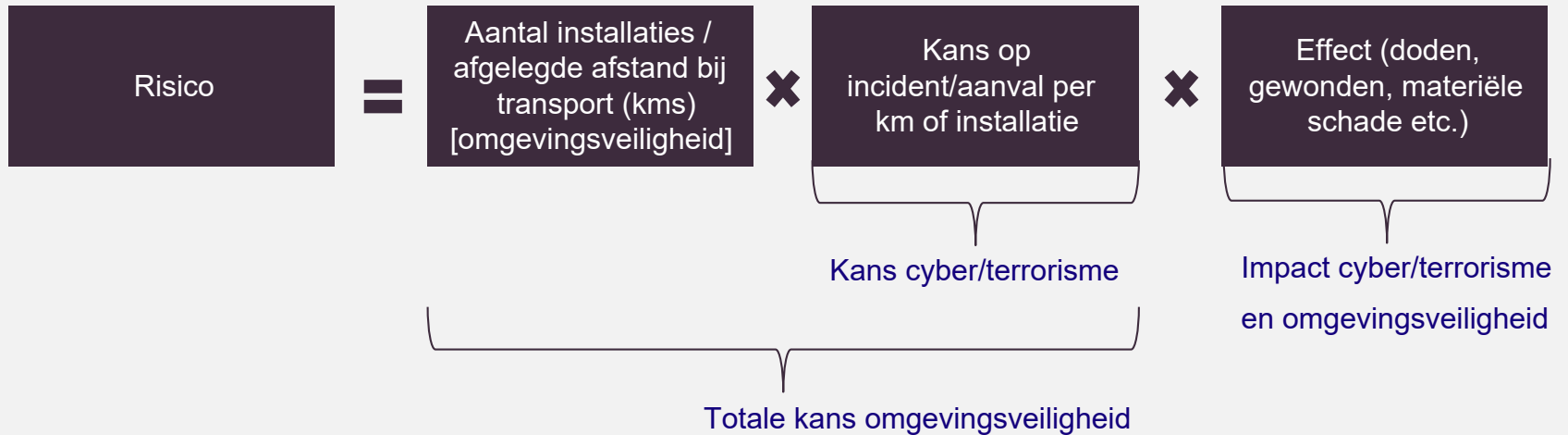


- De score voor DBT en MCH combineren we door onvoldoende ervaring met verschillen tussen deze stoffen. Hierdoor zijn er maximaal 6 waterstofdragers die moeten worden beoordeeld per locatie (getal tussen haakjes). Boorhydride kan niet per buis vervoerd worden. LH2 en LNG worden na verdamping onder druk per buis vervoerd.



Basis voor bepaling risico

- De kansen van incidenten voor omgevingsveiligheid zijn afhankelijk van het **aantal installaties** of het **aantal vervoersbewegingen** en de **afgelegde afstand** en van **specifieke kans op een incident**. Focus ligt op meest catastrofale incident.
- De kansen van incidenten voor cyberaanvallen en terroristische aanslagen zijn vooral afhankelijk van de **kwetsbaarheid** en **impact** bij een aanval/aanslag.



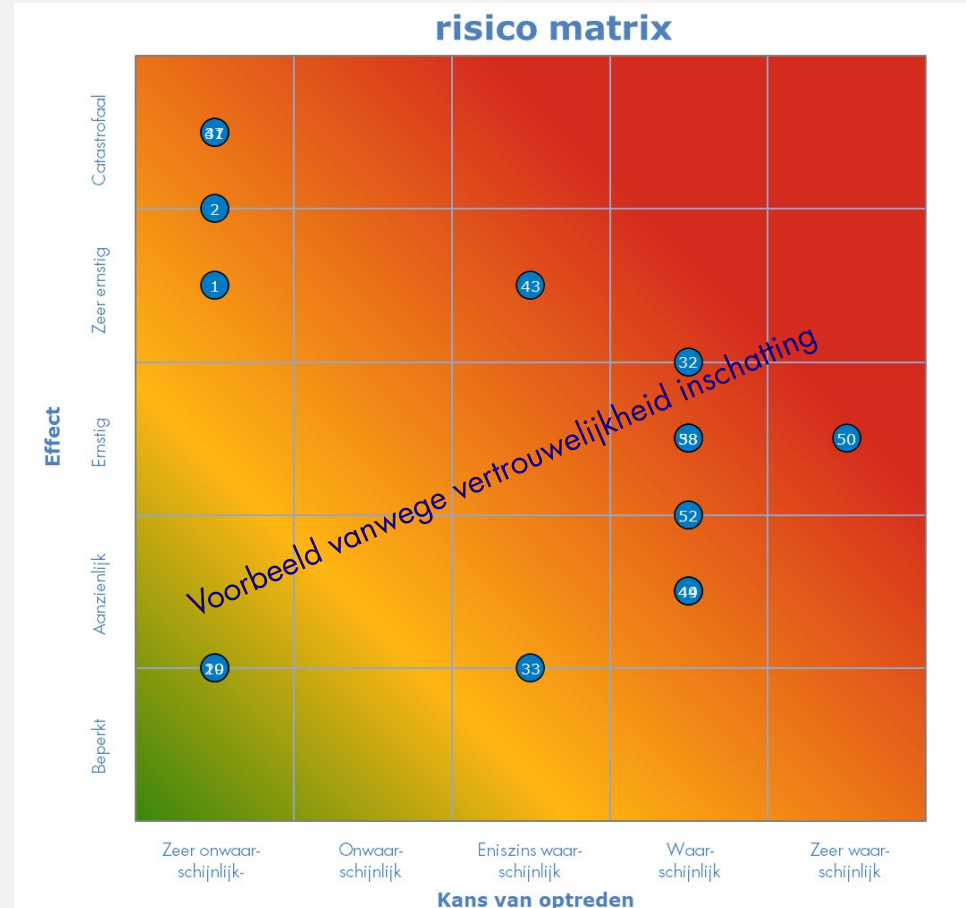


Experts hebben de positie van elk incident op de risicomatrix geschat; per keten is vervolgens het totale risico bepaald.

- We gebruiken de schaalverdeling uit de regionale risicoprofielen.

Klasse waarschijnlijkheid	% per 5 jaar
Zeer onwaarschijnlijk	< 0.05%
Onwaarschijnlijk	0.05-0.5%
Enigszins waarschijnlijk	0.5-5%
Waarschijnlijk	5-50%
Zeer waarschijnlijk	50-100%

Klasse gevolgen	Vb. aantal doden
Bepakt	1
Aanzienlijk	1-4
Ernstig (laag)	4-16
(hoog)	16-40
Zeer ernstig (laag)	40-160
(hoog)	160-400
Catastrofaal	> 400





Hoe verder

- Wegingsfactoren zijn bepaald uit Delphi-proces
- Scoren van indicatoren voor publieke belangen is work in progress
- Rangschikking, gevoeligheidsanalyse en conclusies trekken volgt daarna
- Op 24 april is er presentatie van voorlopige resultaten in stakeholderbijeenkomst visie waterstofdragers
- Midden mei volgt oplevering van het eindrapport