



TNO innovation
for life

Casus Brandstoffen- en Chemiecluster
Haven Rotterdam

Impact van de energietransitie op stikstof, geluid en omgevingsveiligheid

smartport.nl



SmartPort is een samenwerkingsverband van het Havenbedrijf Rotterdam, Deltalinqs, de gemeente Rotterdam, TNO, Marin, Deltares, de Erasmus Universiteit Rotterdam en de Technische Universiteit Delft. Door inspireren, initiëren en allianties aangaan, stimuleert en financiert SmartPort wetenschappelijk onderzoek voor en door de bedrijven in de haven van Rotterdam, in samenwerking met kennisinstellingen. Het gaat om kennis ontwikkelen, delen en gebruiken vanuit één

collectieve ambitie. De transitie naar de beste en slimste haven kan alleen slagen wanneer alle betrokken partijen gezamenlijk oplossingen aandragen voor veranderingen in de toekomst. Wij zijn ervan overtuigd dat de grootste impact bij ontwikkeling van kennis is gebaseerd op specifieke vragen uit de markt en dat de beste resultaten worden bereikt door alles te halen uit de samenwerking van handel en industrie, overheden en wetenschap.

www.smartport.nl | [LinkedIn: smartportrdam](#) | [Twitter: SmartPortRdam](#) | [Instagram: smartportrdam](#)

SMARTPORT PARTNERS

Deltares





Casus Brandstoffen- en Chemiecluster Haven Rotterdam

IMPACT VAN DE ENERGIETRANSITIE OP STIKSTOF, GELUID EN OMGEVINGSVEILIGHEID

TNO 2023 R12027

Auteurs TNO

Peter Coenen, Remko Detz, Michael Dittrich, Johan van Middelaar, Caroline Schipper, Antoon Visschedijk

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Management samenvatting	4
1 Inleiding	8
2 Ketenmodel voor HbR scenario's	9
3 Stikstof	14
3.1 Aannames en uitgangspunten.....	14
3.2 Inventarisatie huidige status en benodigde technologieën	15
3.3 Inschatting van stikstofemissies op basis van kentallen	17
3.3.1 Emissieprognoses met huidige techniek en met maatregelpakketten	20
3.4 Conclusies, knelpunten en mitigatie	27
4 Geluid	29
4.1 Aannames en uitgangspunten.....	29
4.2 Inventarisatie huidige status en benodigde technologieën	29
4.3 Inschatting van geluidproductie op basis van kentallen	34
4.4 Conclusies, knelpunten en mitigatie	36
5 Omgevingsveiligheid	39
5.1 Aannames en uitgangspunten.....	39
5.2 Inventarisatie status, methode en aanpak	39
5.3 Inschatting van potentiële risiconiveaus op basis van kentallen.....	40
5.4 Conclusies, knelpunten en mitigatie	43
6 Conclusies en mogelijkheden voor vervolgonderzoek	48
7 Referenties	53
Bijlagen	56
Bijlage A: Data, aannames en beschrijving processen ketenmodel	56
Bijlage C: Methodische verantwoording omgevingsveiligheid	65
Bijlage D: Uitgangspunten, aannames en definitie van referentie inrichting (referentie-niveau)67	
Bijlage E: Risicodiagram en beoordelingscriteria	68
Bijlage F: Deelresultaten per HbR-scenario.....	69

Management samenvatting

Context en uitgangspunten

Het Havenbedrijf Rotterdam heeft vier uiteenlopende toekomstbeelden ontwikkeld waarin wordt geschetst hoe veranderingen in geopolitiek, economie, maatschappij en technologie van invloed kunnen zijn op het havenindustriële complex en de omvang en samenstelling van de goederenoverslag in de haven: Connected Deep Green, Regional Well-Being, Protective Markets en Wake-up Call.

TNO is gevraagd, in opdracht van SmartPort, Deltalings, gemeente Rotterdam, Havenbedrijf Rotterdam en provincie Zuid-Holland, om een verkennend onderzoek te doen voor deze vier toekomstbeelden naar de mogelijke veranderingen in emissie¹ van stikstofverbindingen, geluidsproductie alsmede omgevingsveiligheid². Hierbij gaat het om de effecten als gevolg van de inzet van nieuwe technologieën ten behoeve van de energietransitie en dan specifiek voor het brandstoffen- en chemiecluster. Hieronder wordt verstaan de huidige raffinaderijsector in combinatie met de chemische industrie. De transportsector (scheepvaart en wegverkeer), elektriciteitsproductie en andere doelgroepen die ook door de energietransitie zullen veranderen, vallen buiten de scope van het onderzoek.

Daarnaast dient opgemerkt te worden dat voor deze verkennende studie gebruik is gemaakt van beperkte informatie daar de specifieke invulling van de scenario's voor wat betreft de toe te passen technologieën niet bekend is. Dientengevolge zijn de uitkomsten van de studie omgeven door grote onzekerheid omdat op vele punten aannames moesten worden gemaakt.

De effecten zijn in kaart gebracht op basis van ingeschatte capaciteiten van processen en installaties die nodig zijn in de brandstoffen- en chemicaliënketens zoals die zijn weergegeven in Connected Deep Green, Regional Well-Being, Protective Markets en Wake-up Call. De capaciteiten van de processen en installaties die nodig zijn om de doorstroomhoeveelheden aan energiedragers en grondstoffen in de verschillende scenario's te kunnen verwerken zijn uitgerekend met een opgesteld ketenmodel. In dit ketenmodel zijn keuzes gemaakt voor specifieke processen en installaties, hoewel zeer waarschijnlijk ook met andere processen en installaties eenzelfde uitkomst bereikt zal kunnen worden.

Resultaten overall en per domein

Door de vele onzekerheden in de transitie, maar ook ten aanzien van (de snelheid van) technologische ontwikkelingen en de vele gemaakte aannames schetsen de resultaten van deze studie slechts een indicatief beeld dat qua scope beperkt is. Binnen dat kader laten de resultaten van de studie zien dat, zonder mitigerende maatregelen, er in verschillende toekomstbeelden een stijging van de emissie van stikstofoxiden en/of geluid en een verslechtering van omgevingsveiligheid mogelijk is ten opzichte van de huidige situatie. Echter, er zijn diverse mitigerende maatregelen mogelijk om een eventuele stijging te beperken of zelfs om te buigen naar een daling.

¹ Het betreft dus de productie/emissie van geluid en stikstofoxiden en niet de geluidbelasting of stikstofdepositie.

² Voor omgevingsveiligheid betreft het een inschatting van het potentiële veiligheidsniveau op basis van een kwalitatieve risicobeoordeling.

Daarnaast is het belangrijk om te vermelden dat de wereld in beweging is en sommige ontwikkelingen inmiddels een andere kant op gaan dan destijds weergegeven in de scenario's van het Havenbedrijf. De energietransitie zal op nationaal niveau waarschijnlijk leiden tot een duidelijke reductie van de emissies van stikstofoxiden (Planbureau voor de Leefomgeving, 2023). Deze op landelijke ontwikkelingen gebaseerde prognoses sluiten niet uit dat lokaal een andere (stijgende) emissieontwikkeling wordt berekend, ten gevolge van nieuwe activiteiten in specifieke deelsectoren (zoals in deze studie). Tevens zal de energietransitie in de sectoren die niet in scope zijn mogelijk anders uitpakken, waardoor het voor de Haven Rotterdam nog steeds in totaal kan uitkomen op een daling van de hier onderzochte effecten.

Onderstaande tabel geeft de belangrijkste conclusies per thema integraal weer.

Thema	Stikstof ³	Geluid	Omgevingsveiligheid ^{4 5 6}
<i>Scenario</i>			
<i>Connected Deep Green</i>	Sterke stijging emissies zonder aanvullende maatregelen; +29% tot -78%, afhankelijk van extra maatregelenpakket	Beperkte toename in gemiddelde geluidniveau tot 1,6 dB mogelijk, maar beheersbaar door management van geluidruimte, vergunningen, beschikbare technologie en maatregelen	Vergelijkbaar potentieel (zeer) hoge risiconiveaus voor op- en overslag van waterstof, e-ammonia, export van LNG tot 2040 en biomassa vanaf 2040. Beheersbaar door (extra) technische en organisatorische maatregelen
<i>Regional Well-Being</i>	Emissieniveau vergelijkbaar met huidige situatie; -92% tot -100%, afhankelijk van extra maatregelenpakket	Mogelijk afname van de gemiddelde geluidemissie van brandstofcluster van 6-10 dB	Vergelijkbaar potentieel (zeer) hoge risiconiveaus voor op- en overslag van waterstof en e-ammonia. Beheersbaar door (extra) technische en organisatorische maatregelen. Risico's van LNG verdwijnen t.o.v. 2021
<i>Protective Markets</i>	Mogelijke stijging emissie zonder aanvullende maatregelen; -53% tot -92%, afhankelijk van extra maatregelenpakket	Mogelijk afname van de gemiddelde geluidemissie van brandstofcluster van 2dB	Vergelijkbaar potentieel (zeer) hoge risiconiveaus voor op- en overslag van waterstof en overslag van e-ammonia vanaf 2050. Beheersbaar door (extra) technische en organisatorische maatregelen. Risico's van LNG verdwijnen t.o.v. 2021
<i>Wake Up Call</i>	Sterke stijging tenzij vergaande emissiereductie maatregelen genomen worden; 72% tot -68%, afhankelijk van extra maatregelenpakket	Beperkte toename in gemiddelde geluidniveau tot 1,6 dB mogelijk, maar beheersbaar door management van geluidruimte, vergunningen, beschikbare technologie en maatregelen	Vergelijkbaar potentieel (zeer) hoge risiconiveaus voor op- en overslag van waterstof en e-ammonia (overslag vanaf 2040, opslag en kraken vanaf 2050) en biomassa vanaf 2050. Beheersbaar door (extra) technische en organisatorische maatregelen. Risico's van LNG verdwijnen t.o.v. 2021

3 Basisjaar 2020 versus scenario-resultaat 2050

4 Het risico is bepaald en uitgedrukt als combinatie van de gevolgen van een (ongewenste) gebeurtenis en de waarschijnlijkheid dat die zich voordoet. Specifieke conclusies over gevolgen (effect) en de waarschijnlijkheid daarvan (kans) staan hieronder en in hoofdstuk 5.

5 Bestaande normen voor het maximaal toelaatbare veiligheidsrisico, zoals bepaald voor omgevingsveiligheid, gelden onverminderd voor waterstof. Waar zo'n norm nog ontbreekt geldt als maatstaf dat een activiteit minstens even veilig moet zijn als bij de equivalente op fossiele energiebronnen gebaseerde technologie, voor waterstof is dat in de meeste gevallen aardgas (= referentienorm) [bron: RVO, 2022 - Generiek richtsnoer waterstofveiligheid, eerste versie]. In dit onderzoek is vergeleken met de risiconiveaus van LNG.

6 Naast de al in de tabel genoemde risiconiveaus zijn die van LOHC's als laag tot gemiddeld ingeschat omdat in dit onderzoek is uitgegaan van een brandbare vloeistof. Voor de risiconiveaus van biomassa is uitgegaan van warmtestraling als gevolg van een brandbare vloeistof.

Stikstof

Bovenstaande conclusies ten aanzien van de emissieontwikkeling van stikstofoxiden⁷ in het brandstoffen- en chemiecluster zijn gebaseerd op onzekere emissiefactoren. Met name toekomstige emissies van grootschalige vergassingsinstallaties in combinatie met de gerelateerde procesinstallaties (die in hoge mate de uitkomsten van deze studie bepalen), zijn nog onvoldoende bekend. De resultaten moesten worden gebaseerd op emissiecijfers van een oudere installatie die naar verwachting slechts beperkt representatief is voor nieuw te ontwerpen vergassingsinstallaties. Het verdient daarom aanbeveling in de (milieuhygiënische) beoordeling van nieuwe initiatieven nadrukkelijk aandacht te besteden aan de geprognostiseerde NOx emissie.

Handelingsperspectief

Zoals aangegeven zijn (additionele) maatregelen mogelijk en noodzakelijk om een eventuele toename van stikstof tegen te gaan. Hierbij kan gedacht worden aan innovaties in procesontwerp, andere processen, H₂ verbranding met zuurstof, vergaande elektrificatie, DeNOx of een combinatie van reducerende maatregelen.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Wanneer de plannen met betrekking tot de grootschalige vergassingsinstallatie concreet worden, kunnen de emissieschattingen zoals in deze studie gehanteerd, worden herzien op basis van de toegepaste technologie en performances. Daarnaast is het dan ook mogelijk meer inzicht te verschaffen in de toekomstige emissies in het gebied met inachtneming van de ontwikkelingen in de relevante sectoren die in deze studie buiten scope lagen (zoals verkeer en vervoer en de energie sector).

Geluid

Voor de scenario's Connected Deep Green en Wake Up Call is een gemiddelde toename in de geluidemissie mogelijk, vooral ten gevolge van hogere procescapaciteit. Nieuwe processen en installaties zullen naar verwachting geen hogere geluidemissie hebben doordat de componenten niet wezenlijk veranderen. De mogelijke toename in de gemiddelde geluidemissie van de relevante industriegeluidbronnen komt in de praktijk mogelijk niet tot uiting in het gecumuleerde geluid waar andere bronnen zoals containeroverslag, metaalbewerking, schepen, weg- en railverkeersgeluid een sterkere bijdrage hebben. Daarnaast kunnen de effecten voor individuele situaties, zowel installaties als ontvangpunten, sterk verschillen.

Knelpunten in de groeiscenario's zijn mogelijk bij zowel nieuwbouw en vervanging van installaties als bij nieuwe woningbouw. Ondanks dat er geluidruimte beschikbaar is, blijft de verdeling daarvan een aandachtspunt.

Handelingsperspectief

Mitigerende maatregelen voor knelpunten bij nieuwe of vervangende installaties zijn technieken voor stiller ontwerp, geluidreducerende maatregelen bij de bron en afscherpende maatregelen. Aanpak bij de bron is het meest effectief en efficiënt. Aanpak bij de ontvanger is vooral mogelijk middels gevelisolatie of afscherming, en anticiperen op geluid bij de planning van woningbouw. Daarbij is het belangrijk dat met woningbouwplannen in de nabijheid van de haven en industrie uiterste zorgvuldigheid betracht wordt vanuit het principe van een goede ruimtelijke ordening. Situaties waarbij een aanvaardbaar woon- en leefklimaat voor toekomstige bewoners niet gewaarborgd is, dienen voorkomen te worden.

⁷ In deze studie is niet gekeken naar de ammoniak emissie omdat de NOx emissie orde van groottes groter is en de verschillende scenario's weinig invloed zullen hebben op de toekomstige ammoniak emissie.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Als meer informatie beschikbaar komt over geplande toekomstige installaties en hun locaties kan op bronniveau meer inzicht worden verkregen in de geluidemissie van de processen en specifieke componenten relevant voor de energietransitie. Daarbij kan ook sterker worden gefocust op potentiële toekomstige knelpuntlocaties.

Omgevingsveiligheid

De energietransitie zal impact hebben op de omgevingsveiligheid. De gevolgen kunnen zowel positief als negatief zijn. Een positief gevolg is dat de veiligheidsrisico's van fossiele brandstoffen zullen afnemen, zoals door uitfasering van LNG. Een negatief gevolg is dat er nieuwe risico's bij komen door zowel de introductie van nieuwe technologieën als door de hoogte van de volumestromen van waterstof en ammoniak.

De grootste knelpunten in alle scenario's blijken grootschalige verlading en conversie van waterstof en verlading, opslag en kraken van ammoniak. Voor Connected Deep Green geldt dat LNG een mogelijk knelpunt is tot 2040. Voor de risico's van waterstof en LNG geldt dat het gaat om de combinatie van een groot aantal systemen (relatief hoge kans) en een mogelijk grote impact (relatief hoog effect). Bij ammoniak ontstaan de grootste knelpunten vooral vanwege de hoogte van het mogelijke effect.

Handelingsperspectief

Maatregelen om risico's te mitigeren of beheersen kunnen komen vanuit de huidige en toekomstige wet- en regelgeving, zoals Omgevingswet, door vergunningverlening, locatiekeuze (afstand tot andere kwetsbare objecten), systemische risicomitigatie (veiligheidsbeheersysteem) of technische risicomitigatie (technische risico-reducerende maatregelen). Daarnaast dient er in overleg met de Veiligheidsregio Rotterdam volledige invulling te worden gegeven aan de mate van bestrijdbaarheid en zelfredzaamheid.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De kwalitatieve risicobeoordeling geeft geen exacte waarden voor de feitelijke risico's, maar geeft een relatieve inschatting van het potentiële risiconiveau voor specifieke incidentscenario's. Een dergelijke risicobeoordeling houdt geen rekening met andere soorten risico's, scenario's, onzekerheden of andere variabelen die de hoogte van het risico kunnen beïnvloeden. De gekozen indeling van de risicomatrix geeft daarom slechts een beperkte vergelijking. Om hieraan tegemoet te komen zijn gedurende het onderzoeksproces aannames gedaan, die tevens het vertrekpunt zijn voor mogelijkheden voor vervolgonderzoek:

- Voeg specifieke incidentscenario's toe;
- Voeg generieke scenario's toe voor de openbare ruimte, zoals ontsporing, aanvaring en aanrijding;
- Breid de risicobeoordeling uit met andere soorten risico's, zoals brandbare stoffen;
- Inventariseer wat mogelijke domino- en/of keteneffecten zijn;
- Voer een kwantitatieve risicobeoordeling uit en bereken de grootte van de aandachtsgebieden;
- Herbereken (faal)kansen en effecten van incidentscenario's met vernieuwde aannames, data, uitgangspunten en/of rekenmodellen.

1 Inleiding

Het Havenbedrijf Rotterdam werkt samen met het bedrijfsleven in de haven en de overheid aan een toekomstbestendige haven. Een haven waar bedrijven nu en in de toekomst kunnen floreren en zorgen voor inkomsten en banen. En dat alles met een zo minimaal mogelijke impact op het klimaat en de natuur.

In het licht hiervan heeft TNO in 2021 onderzoek gedaan naar de ruimtelijke effecten van de energietransitie (TNO, 2021). Dit liet zien dat de energietransitie van het brandstoffen- en chemiecluster grote ruimtelijke consequenties kan hebben voor de haven van Rotterdam in 2030, 2040 en 2050, zelfs bij een geleidelijke afname van de vraag tot 30% in 2050. Daarbij is gebruik gemaakt van de Wuppertal scenario's (synthetisch, biomassa en cyclisch) die door TNO zijn vertaald in een ruimtelijke voetafdruk (hectares).

In het ruimteonderzoek is niet gekeken naar het milieuruimtegebruik zoals stikstof en geluid. Gezien de ontwikkelingen rondom het stikstofdossier is daar nu ook behoefte aan, mede omdat milieuruimte op dit moment al schaars is in en om de haven en als zodanig (mede) randvoorwaardelijk voor het tempo en de richting van de energietransitie. Ook omgevingsveiligheid is hierbij een belangrijk element. Daarom is TNO gevraagd om een verkennend onderzoek te doen naar de verwachte veranderingen in stikstof⁸- en geluidsproductie als gevolg van de inzet van nieuwe technologieën ten behoeve van de energietransitie. Later is daar op verzoek van het opdrachtgevende consortium nog omgevingsveiligheid aan toegevoegd.

De effecten worden in kaart gebracht voor de bouwstenen van de hernieuwbare brandstoffen- en chemicaliënketens zoals die zijn weergegeven in de vier recent door het Havenbedrijf ontwikkelde scenario's: Connected Deep Green, Regional Well-Being, Protective Markets en Wake-up Call. Hiertoe hebben we een ketenmodel ontwikkeld waarin we de benodigde processen en installaties voor de verschillende scenario's hebben ingeschat (Hoofdstuk 2).

In deze studie kijken we naar het brandstoffen- en chemiecluster. De transportsector (scheepvaart en wegverkeer), de elektriciteitsproductie en andere doelgroepen vallen buiten de scope van het onderzoek.

Bij het beantwoorden van de vraag brengen we de kentallen voor de stikstof- en geluidsproductie van nieuwe technologieën (bijvoorbeeld electrolyse fabrieken, biomassavergassingsinstallaties) in kaart (H3.1/4.1/5.1). Focus hierbij ligt op de gebruiksfase. Vervolgens kijken we wat dit betekent voor de stikstof- en geluidsproductie en omgevingsveiligheid op de schaal van de Rotterdamse haven in de tijd (2030, 2040, 2050) voor de geselecteerde scenario's ten opzichte van de huidige stikstof- en geluidsproductie (H3.2/4.2/5.2). Aansluitend geven we aan waar en wanneer knelpunten voor geluid, stikstofuitstoot en omgevingsveiligheid worden verwacht en welke maatregelen/technologieën voorhanden/denkbaar zijn om eventuele knelpunten te mitigeren en in welke mate (H3.3/4.3/5.3).

Gedurende het onderzoek is intensief contact geweest met mensen van DCMR, Deltalinqs, Gemeente Rotterdam, Havenbedrijf Rotterdam, SmartPort en Veiligheidsregio Rotterdam. We willen hen dan ook hartelijk danken voor hun bijdrage aan en feedback op de verschillende thema's.

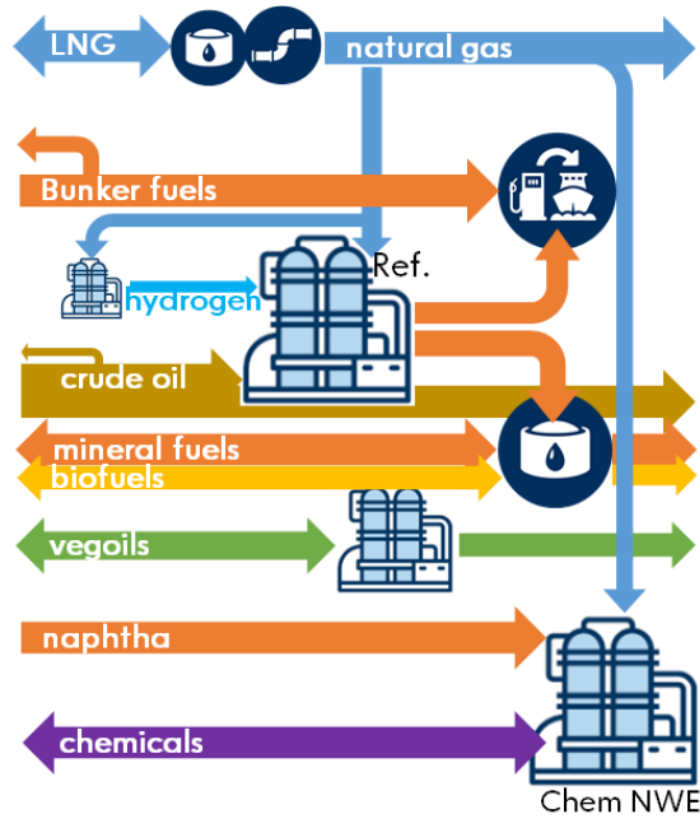
⁸ Met stikstof wordt in de context van dit onderzoek reactief stikstof bedoeld (NO_x en NH₃)

2 Ketenmodel voor HbR scenario's

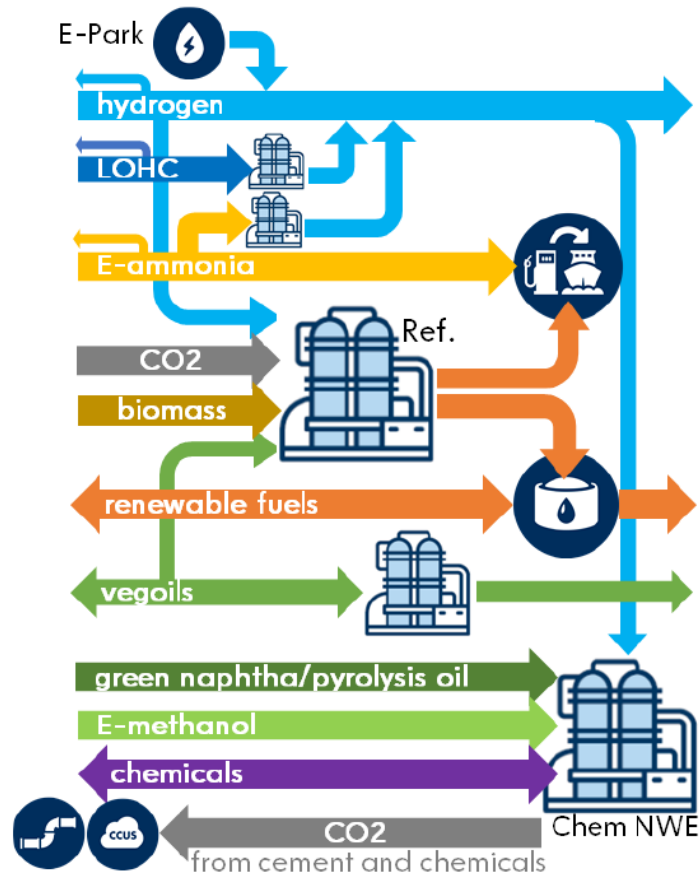
Het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) heeft vorig jaar vier verschillende toekomstscenario's opgesteld waarvoor de materiaal- en energiestromen die door de haven gaan tot en met 2050 zijn weergegeven. In het scenario Connected Deep Green is fossiele energie verdwenen in 2050 en voor een groot deel vervangen door hernieuwbare energie en duurzame grond- en brandstoffen. In Regional Well-Being vindt een sterke afname plaats van de import van ruwe olie, kolen en ijzererts doordat de energie-intensieve industrie in Nederland flink krimpt. In het scenario Protective Markets wordt ervan uitgegaan dat handelsbelemmeringen leiden tot een trage overgang naar hernieuwbare energie. Wel neemt de olieraffinage sterk af. In Wake-up Call vindt de energietransitie erg laat plaats. Dit leidt tot een hoge mate van biomassa import en de opslag van CO₂. Voor meer informatie over de HbR scenario's verwijzen we naar andere bronnen (Havenbedrijf Rotterdam, 2022). Op basis van de doorstroomhoeveelheden aan energiedragers en grondstoffen zijn de benodigde processen en installaties ingeschat die in de haven nodig zullen zijn. Het gaat hierbij om zowel de opslagcapaciteit voor alle energiedragers en grondstoffen als om de capaciteit die nodig is om verschillende productie- en conversiestappen in de haven uit te voeren. Deze analyse richt zich op de energiedragers en grondstoffen die worden ingezet als brandstoffen en/of chemicaliën en neemt containertransport en andere handelswaar niet mee. Ook is de energiesector (productie van elektriciteit en warmte) in de haven niet meegenomen.

De hoeveelheden energiedragers, grondstoffen en producten die door het brandstoffen- en chemiecluster in de haven gaan, zoals gegeven in de vier HbR scenario's, zijn als uitgangspunt genomen voor deze analyse. Als startpunt wordt uitgegaan van de huidige (2021) doorvoer door de haven en de daarbij behorende opslag en productie- en conversieprocessen (Figuur 2.1, links). Dit is met name ruwe olie die in de raffinaderijen wordt omgezet tot olieproducten zoals brandstoffen en nafta. Deze laatste stroom dient als grondstof voor de naftakrakers en de productie van chemicaliën. Vloeibaar aardgas (LNG) wordt geïmporteerd en voornamelijk gebruikt als energiebron, maar ook als grondstof voor bijvoorbeeld de stoomkrakers waarin waterstof wordt geproduceerd. Plantaardige olie wordt omgezet tot biobrandstof in de twee aanwezige bio-raffinaderijen.

Realisatie 2021



Connected Deep Green 2050

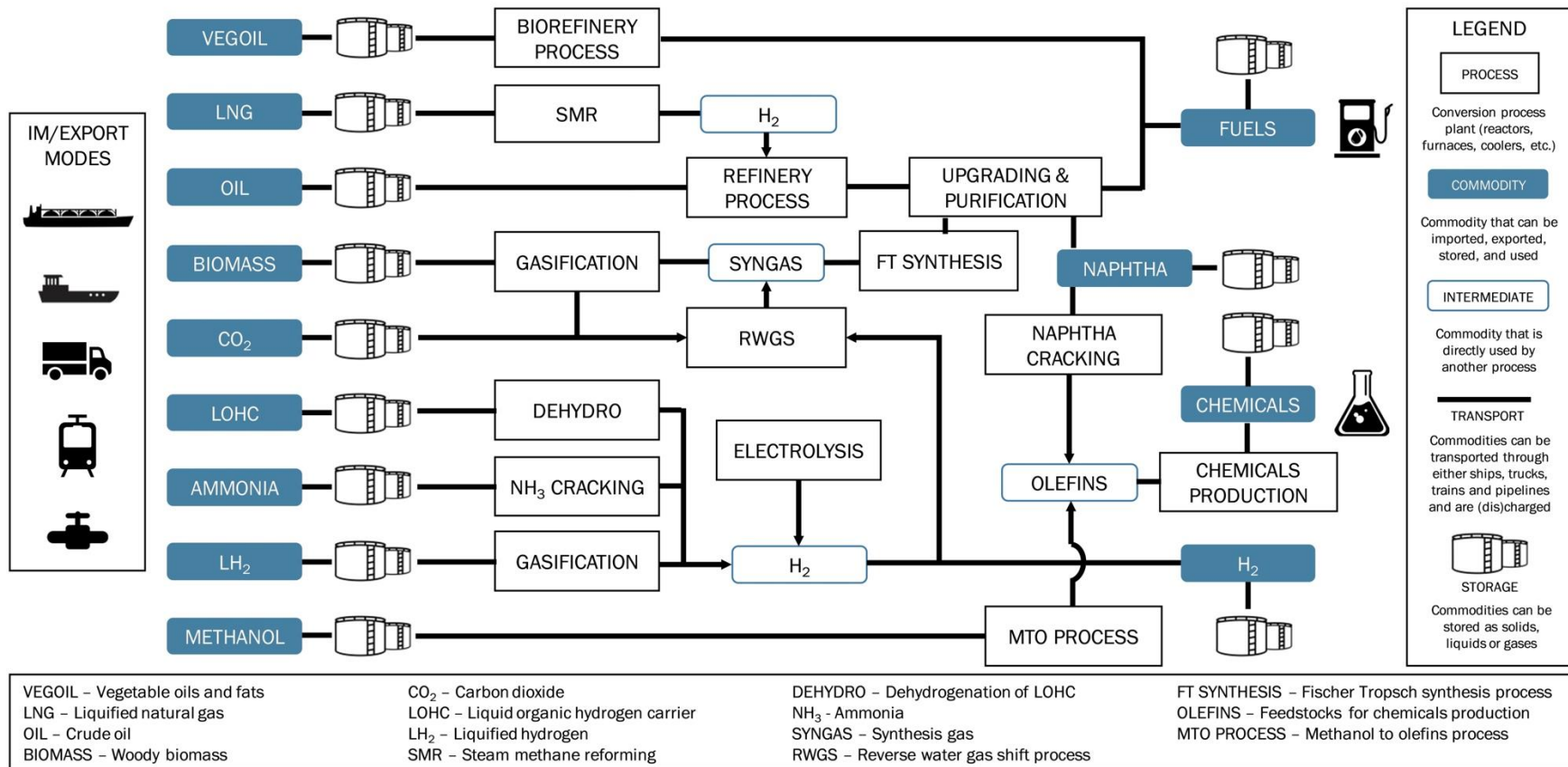


Figuur 2.1. Voorbeelden van stroomschema's uit de HbR scenario's van Havenbedrijf Rotterdam. Links: de status van 2021. Rechts: het toekomstbeeld voor Connected Deep Green in 2050.

De huidige energie- en grondstofstromen zullen in de toekomst veranderen door een afname van de vraag naar fossiele brandstoffen. Dit zal, afhankelijk van het HbR scenario, oftewel langzaam gaan of veel sneller. De nieuwe energiedragers en grondstoffen zullen worden geïmporteerd en doorgevoerd of binnen de haven worden omgezet tot andere producten. In Connected Deep Green zal waterstof een grotere rol gaan spelen en daarmee ook de import van waterstofdragers zoals liquid organic hydrogen carriers (LOHCs) en ammoniak (Figuur 2.1, rechts). Naast een toename van plantaardige olie zal houtige biomassa en CO₂ worden gebruikt om hernieuwbare brandstoffen te produceren. Fossiele nafta zal worden vervangen door groene nafta en methanol als grondstof voor de productie van chemicaliën.

Er zijn diverse processen en technologieën beschikbaar om de verschillende energiedragers en grondstoffen om te zetten in de benodigde brandstoffen en chemicaliën. Voor deze analyse zijn bepaalde aannames gemaakt over welke processen worden ingezet om de conversies uit te voeren die plaatsvinden in de stroomschema's van de verschillende HbR scenario's. Hiervoor is een algemeen ketenmodel opgesteld dat weergegeven is in Figuur 2.2. Per HbR scenario en per zichtjaar verschilt de omvang van de stromen die door de haven gaan, waardoor bepaalde proces- en opslagcapaciteiten juist meer of minder worden en soms geheel afwezig zijn. De processen en installaties vormen gezamenlijk een complex geheel en zijn vaak ook met elkaar verweven. Zo wordt het product van het ene proces weer gebruikt als grondstof of energiebron voor een ander proces. In deze analyse worden de verschillende processen en installaties op een eenvoudige manier gesimuleerd zodat op hoofdlijnen duidelijk is wat er gebeurt.

Hiervoor zijn verschillende conversieprocessen gedefinieerd, die elk als apart "wit blok" in het schema zijn opgenomen ("process" in Figuur 2.2). In Bijlage A is een korte beschrijving opgenomen van alle processen ("witte blokken") waarbij aangegeven is wat onze aannames zijn. De energiedragers, grondstoffen en producten staan weergegeven als groene blokken ("commodity" in Figuur 2.2) en kunnen allemaal ook geïmporteerd en/of geëxporteerd en opgeslagen worden. Tussenproducten staan aangegeven in de witte blokken met afgeronde hoeken ("intermediates" in Figuur 2.2). Het transport van de energiedragers, grondstoffen en producten kan plaatsvinden op verschillende manieren, zoals per schip, trein, vrachtwagen of via pijpleidingen.



Figuur 2.2. Ketenmodel voor het bepalen van de capaciteiten van opslag en processen voor de verschillende HbR scenario's.

Ketenmodel - Hieronder volgt een korte beschrijving van het ketenmodel en een overzicht van de belangrijkste aannames die gedaan zijn voor deze analyse. In het bovenste gedeelte van Figuur 2.2 staan de processen beschreven die nu plaatsvinden in de haven, zoals de import en verwerking van plantaardige oliën en vetten in een bioraffinaderij (biorefinery process) tot hernieuwbare brandstof, LNG import en waterstofproductie via aardgas hervorming (SMR), olie raffinage (refinery process) voor de productie van fossiele brandstoffen, en naphtha voor de productie van chemicaliën. In de toekomst kan via een biomassa vergassingsproces (gasification) syngas wordt gevormd dat vervolgens via Fischer-Tropsch synthese (FT synthesis) en hydrokraken (upgrading & purification) wordt omgezet tot brandstof en nafta. Aangenomen wordt dat de meeste CO₂ die wordt gevormd tijdens de vergassing van biomassa samen met waterstof wordt omgezet via de reverse water gas shift (rwgs) reactie tot syngas. Ook kan CO₂ dat wordt geïmporteerd hiervoor worden gebruikt. Het syngas wordt samengevoegd met het syngas van de biomassa vergassing en omgezet via Fischer-Tropsch synthese.

De nafta kan, net als nu het geval is, worden omgezet in de nafta krakers (naphtha cracking) tot de basischemicaliën (olefins) voor de productie van chemicaliën. De meeste processen zullen in de praktijk bestaan uit meerdere processen en/of routes die leiden tot verschillende producten, maar die mate van detail is niet meegenomen in het ketenmodel en de analyse. Zo zullen bijvoorbeeld niet alle chemicaliën hun herkomst hebben uit de nafta krakers (een deel van de basischemicaliën komt direct vanuit het raffinageproces of wordt geïmporteerd).⁹ In de toekomst kunnen basischemicaliën ook vanuit methanol geproduceerd worden via het methanol-to-olefins proces (mto process).

De waterstof die voor alle processen en ook voor vraag vanuit het achterland nodig is, zal worden geproduceerd in de haven via elektrolyse (electrolysis) en worden geïmporteerd. De import kan via vloeibare waterstof of via waterstofdragers zoals ammoniak of liquid organic hydrogen carriers (LOHC's). Voor al deze waterstofdragers is zowel opslagcapaciteit nodig als installaties die de dragers omzetten tot waterstofgas (dehydro, NH₃ cracking, LH₂ gasification). Waterstofgas kan via een buizen netwerk worden getransporteerd door de haven en naar het nationale waterstofnetwerk.

Opslag - De opslagcapaciteit voor bijna alle stromen bedraagt 10% van het totaal aan import- en productiehoeveelheden. Deze hoeveelheden zijn in balans met het totaal aan export over zee, gebruik in de haven en doorvoer naar het achterland. Alleen voor waterstof is aangenomen dat 5% voldoende is, omdat de aansluiting met het nationale waterstofnetwerk ook voor buffercapaciteit zorgt.

Conversie - De verschillende processen die nodig zijn om verschillende grondstoffen om te zetten in producten draaien gedurende 8000 uur per jaar. Alleen de elektrolysefabrieken draaien 6000 uur per jaar in 2030, dit loopt op tot 8000 uur per jaar in 2040 en 2050. De capaciteit van de verschillende processen is weergegeven in miljoen ton (Mt) product dat gevormd wordt per jaar en in gigawatt (GW) aan productiecapaciteit die nodig is om deze hoeveelheid product te produceren. De hoeveelheid GW capaciteit is berekend door de totale hoeveelheid product in Mt om te rekenen tot hoeveelheid GWh (op basis van lower heating value) en te delen door de hoeveelheid draaiuren. De berekende stromen, proces- en opslagcapaciteiten in het ketenmodel voor de vier HbR scenario's staan vermeld in de tabel in Bijlage A.

⁹ De (huidige) capaciteit van de nafta krakers is dus in het ketenmodel hoger ingeschat dan in werkelijkheid het geval is en dit kan doorwerken in de analyse van stikstof, geluid en veiligheid.

3 Stikstof

In dit hoofdstuk zullen de effecten van de verschillende hiervoor beschreven scenario's op de emissies van stikstofverbindingen (NO_x en NH_3) vanuit het brandstoffencluster in de Rotterdamse haven worden uitgewerkt. Hierbij zij nadrukkelijk vermeld dat binnen het kader van deze studie alleen de emissies van **de raffinaderijsector, de chemische industrie en de toekomstige nieuwe processen** in beschouwing worden genomen. De te verwachten emissieveranderingen in de transportsector (scheepvaart en wegverkeer) de elektriciteitsproductie en andere doelgroepen vallen **buiten** de scope van het onderzoek. Tegen deze achtergrond geven de resultaten van dit onderzoek nadrukkelijk geen uitsluitsel over de totale stikstof emissie in de haven voor de verschillende scenario's.

Daarnaast is het niet mogelijk een gedetailleerde emissietrend over de jaren te geven daar nog geen informatie beschikbaar is over welke procesinstallaties, die in de verschillende scenario's nodig zijn, gerealiseerd kunnen worden en in bedrijf kunnen worden genomen.

Landelijke wordt een afname van de uitstoot van stikstofverbindingen naar de lucht geprognoseerd ten gevolge van onder andere de energietransitie (PBL, 2023). Deze prognoses zijn echter op een hoger aggregatieniveau uitgevoerd en kunnen geen rekening houden met gedetailleerde invulling van de energietransitie zoals in deze studie. Hierdoor is de nationale trend niet altijd te vertalen naar specifieke gebieden.

3.1 Aannames en uitgangspunten

Het domein waarvoor stikstofemissie geprognoseerd zal worden omvat de Rijnmond plus de naftakraker en aanverwante chemische industrie in Moerdijk. Voor de Rijnmond zullen de raffinaderijen en de aanwezige chemische industrie worden meegenomen, plus het toekomstige (veranderde/uitgebreide) brandstoffencluster zoals in de scenario's is voorzien. Het referentiejaar voor de huidige emissie is 2021.

Bij de kwantificering van de huidige emissie en de geprognoseerde emissie voor de scenario's zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

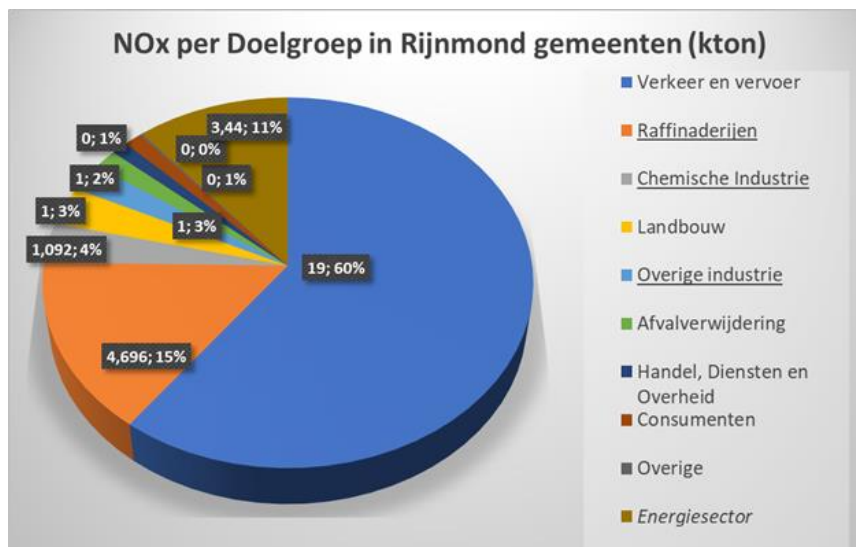
- Voor alle relevante processen wordt een NO_x emissiefactor geschat voor het referentiejaar 2021, dus ook voor de nieuwe processen, alsof deze met de huidige stand van de techniek worden uitgevoerd. Dit is wellicht niet erg waarschijnlijk, aangezien er zeker voor het jaar 2050 vermoedelijk sprake is van een vergaande autonome technische ontwikkeling bij deze processen ten opzichte van 2021. In deze studie worden emissiefactoren voor 2021 aangeduid met de term "current technology" en dienen te worden beschouwd als "worse case" benadering.
- Om rekening te houden toekomstige technologische ontwikkelingen die kunnen leiden tot lagere NO_x emissies is voor de toekomstige jaren ook het effect van vergaande emissiereductiemaatregelen voor NO_x ingeschat. Deze schattingen geven een meer realistisch beeld van de emissie in de toekomstjaren. Tevens kunnen deze schattingen het te verwachten maximale reductiepotentieel afbakenen.
- Naast maatregelen specifiek gericht op NO_x emissiereductie wordt het effect van het vervangen van aardgas als brandstof door waterstof doorgerekend.
- Het is belangrijk dat in deze studie bepaalde emissiekentallen/factoren zo veel mogelijk op de praktijk gebaseerd zijn. Dus representatief voor toepassing van de processen op industriële schaal op dit moment. Emissies gemeten op laboratorium- of pilot-schaal geven,

zeker voor NO_x, meestal geen voldoende representatief beeld vanwege de veel lagere verbrandingstemperaturen en vermogens.

- Veel processen in het toekomstige brandstoffencuster kennen nu nog weinig tot geen toepassingen op grote schaal, zoals in de scenario's wel is voorzien. In deze gevallen is een NO_x emissiefactor geschat door TNO, op basis van de energievraag van het proces en verbrandings-emissiefactoren voor de huidige situatie.

3.2 Inventarisatie huidige status en benodigde technologieën

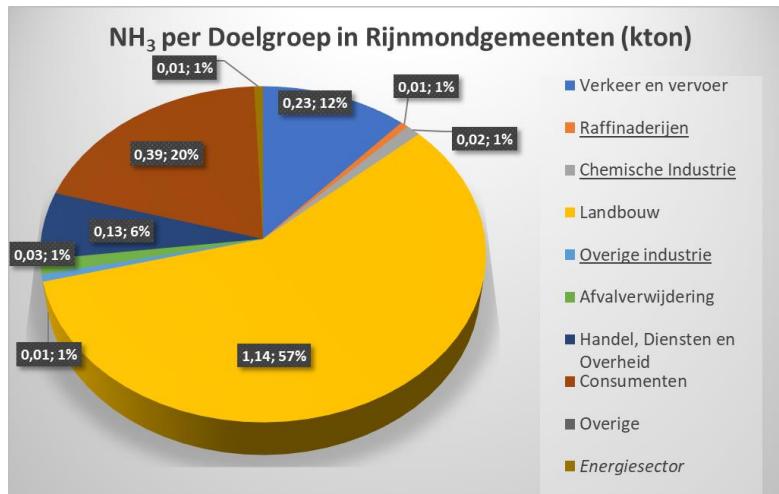
In Figuur 3.1 en Figuur 3.2 zijn de huidige emissies van NO_x en NH₃ van de verschillende doelgroepen (sectoren) in de Rijnmond gemeenten weergegeven (Emissieregistratie, 2021). De in deze figuren getoonde emissies voor het brandstoffencuster (raffinaderijen en de chemische industrie) vormen het uitgangspunt voor de geprognosticeerde emissieontwikkeling naar de toekomst in de verschillende scenario's.



Figuur 3.1: NO_x emissies in 2019 per doelgroep in de Rijnmond gemeenten

Uit Figuur 3.1 blijkt dat de totale NO_x emissie in 2019 van het brandstoffencuster (raffinaderijen en chemische industrie) 6,3 kton bedroeg. Dit komt overeen met circa 19% van de totale emissie in de Rijnmond gemeenten. Hierbij zij vermeld dat de NO_x emissies buiten het brandstoffencuster naar verwachting substantieel zullen dalen richting 2050ten gevolge van de energietransitie en het klimaatbeleid. Met name de emissies vanuit elektriciteitsproductie en in de transportsector (die nu 60% van de totale NO_x emissie in het gebied vertegenwoordigen) zullen in 2050 sterk gedaald zijn ten opzichte de huidige emissies. Tegen die tijd zal elektriciteitssector goeddeels zijn omgeschakeld naar hernieuwbare energiebronnen, en de transportsector naar elektrisch wegtransport en schonere scheepvaart. Deze ontwikkelingen zullen ook landelijk tot aanzienlijke reductie van de NO_x emissie leiden.

Figuur 3.2 laat zien dat de totale NH₃emissie van het brandstoffencuster (raffinaderijen en chemische industrie) 0,03 kton bedroeg in 2019. Dit komt overeen met minder dan 2% van de totale NH₃ emissie in de Rijnmond gemeenten.



Figuur 3.2: NH₃ emissies in 2019 per doelgroep in de Rijnmond gemeenten

Gezien de huidige geringe bijdrage van het brandstoffencluster in de totale NH₃ emissie en de geringe omvang (0,03 kton NH₃ versus 6,3 kton NO_x) is de emissieontwikkeling voor NH₃ in de verschillende scenario's niet kwantitatief uitgewerkt. De absolute NH₃ emissies vanuit het brandstoffencluster (met name (lek)verliezen bij transport en op- en overslag) kunnen in de toekomst mogelijk stijgen, door toenemende hoeveelheden NH₃ die in de haven zullen worden aangevoerd, verwerkt en/of doorgevoerd. De verwachting is dat dit niet zal leiden tot een significante stijging van de NH₃ emissie in het Rijnmondgebied, omdat vanwege het vigerend omgevingsveiligheidsregime (door beperking van lekverliezen en het voorkomen van calamiteiten) geen significante NH₃ emissies kunnen worden toegestaan. Naar verwachting zal deze stijging specifiek voor het brandstoffencluster gering zijn in vergelijking met de veranderingen in de NO_x emissie.

Maar ook hier geldt dat ten gevolge van het natuurbeleid de emissies van NH₃ zullen dalen in andere doelgroepen (met name de landbouw, thans 57% van de totale NH₃ emissie in het Rijnmondgebied).

Vornoemde noties geven aan dat de emissies die in deze studie worden beschouwd slechts een deel van totale emissies vertegenwoordigen. Dit is te verantwoorden door het feit dat de ontwikkeling van het brandstoffencluster in de haven voor een groot deel onafhankelijk van het beleid voor de andere sectoren zal plaatsvinden. Doel is het kwantificeren van de mogelijke NO_x emissies vanuit het brandstoffencluster in de verschillende scenario's.

De in hoofdstuk 3 uitgewerkte scenario's leveren de technologieën (processen) die in de toekomst worden ingezet in het brandstoffencluster. De kwantificeren van de bijbehorende emissie wordt door de performance van deze technologieën bepaald. Daarnaast zal ook de toe te passen bandstof in de processen en eventuele emissie reducerende maatregelen de uiteindelijke emissie bepalen. Aan al deze aspecten is aandacht besteed in de kwantificering van de toekomstige NO_x emissie van het brandstoffencluster.

3.3 Inschatting van stikstofemissies op basis van kentallen

In deze studie zijn alle NO_x emissie-prognoses gemaakt op basis van NO_x kentallen voor de belangrijkste processen die volgens de scenario's in het havengebied in 2030, 2040 en 2050 zullen plaatsvinden. Deze kentallen (of emissiefactoren) geven de hoeveelheid vrijkomend NO_x aan per eenheid van procesactiviteit. Zoals eerder opgemerkt representeren de kentallen de huidige stand van de techniek. Ze slaan dus op NO_x emissies zoals deze op dit moment plaatsvinden of plaats zouden vinden.

Op basis van de "summary" van de scenario's zijn 14 verschillende processen geselecteerd. Een gedeelte daarvan vindt thans al in het gebied plaats, zoals aardolieraffinage en naftakraken (in Moerdijk), maar de meeste processen in de lijst zullen pas in de toekomst grootschalig worden ontplooid. Voor deze gevallen bestaan soms geen gegevens over NO_x emissie en het NO_x kental is dan bepaald op basis van expert inschatting, gebaseerd op inzicht in de verschillende processen.

De in deze studie afgeleide NO_x kentallen voor de 14 geselecteerde processen zijn opgenomen in Tabel 3.1 hieronder. De tweede kolom bevat de emissiefactoren voor de huidige technologie ("Current Technology"). De emissiefactoren zullen in deze paragraaf onder Tabel 3.1 verder worden toegelicht. De derde tot en met de zesde kolom bevatten emissiefactoren na het invoeren van verschillende maatregelpakketten, gebaseerd op de factoren voor Current Technology. Deze maatregelpakketten en het geschatte rendement worden in paragraaf 0 verder besproken.

Tabel 3.1: NO_x emissiekentallen voor relevante processen

Proces	EF C.T.	H2	DeNOx	Elektr.	Combi	Eenheid
SMR	536	590	54	107	11	t NO ₂ /Mt H ₂ geproduceerd
Electrolysis	0	0	0	0	0	
LOHC Dehydrogenation	3.7	4	0.4	0.7	0.1	t NO ₂ /Mt H ₂ geproduceerd
NH3 cracker	2686	2955	269	0	0	t NO ₂ /Mt H ₂ geproduceerd
Refinery	75	83	8	15	1.5	t NO ₂ /Mt doorzet
Biorefinery	3.7	4	0.4	0.7	0.1	t NO ₂ /Mt doorzet
Gasification	1940	2134	485	388	97	t NO ₂ /Mt totaal geproduceerde brandstof
FT Synthesis						
Hydrocracker						
RWGS	178	196	18	36	4	t NO ₂ /Mt CO geproduceerd
Naphtha cracker	1600	1760	160	320	32	t NO ₂ /Mt nafta doorzet
MTO	3000	3300	300	600	60	t NO ₂ /Mt methanol doorzet
Chemicals production	278	306	28	56	6	t NO ₂ /Mt totale productie
LH2 gasification	0	0	0	0	0	

C.T.: Current Technology

H2: Waterstof in plaats van aardgas als brandstof

DeNOx: Vergaande (conventionele) NOx reducerende maatregelen

Elektr.: Maximale elektrificatie van processen

Combi: Combinatie van vergaande DeNOx en maximale elektrificatie (zie ook 3.3.1)

-SMR

Voor Steam Methane Reforming is de emissiefactor van 536 ton NO_x per geproduceerde hoeveelheid waterstof gebaseerd op een gemiddelde van twee grote SMR installaties in de Botlek. Hiertoe zijn de emissies van deze twee volgens de Nederlandse Emissieregistratie opgeteld en gedeeld door de som van de capaciteiten (Cioli et al., 2021).

-Electrolysis

Hoewel er op dit moment nog geen grootschalige industriële elektrolyse van water plaatsvindt is de verwachting dat er ook bij grootschalige toepassing geen noemenswaardige NO_x emissie zal optreden. Voornaamste reden hiervoor is dat er in het proces geen intensieve verhitting en dus geen verbrandingsemissie plaatsvindt. Voor kleinere (pilot scale) elektrolyse-installaties wordt eveneens tot nu toe geen relevante NO_x emissie gerapporteerd.

-LOHC Dehydrogenation

Bij Liquid Organic Hydrogen Carrier Dehydrogenation wordt een op chemisch wijze aan een carrier molecuul gebonden waterstof losgemaakt van de carrier. Dit is een endotherm proces dat plaatsvindt bij ca. 300 °C. Er lijkt voorsnog geen sprake van grootschalige industriële toepassing van dit proces. De NO_x emissiefactor is daarom geschat. Naar verwachting wordt aan een gedeelte van de warmtevraag van het proces voldaan door hergebruik van warmte. Niettemin treden nog op beperkte schaal verbrandingsemissies op. Op basis van gefragmenteerde informatie uit Bollmann et al., 2023 is een indicatieve emissiefactor van 3,7 ton NO_x/hoeveelheid geproduceerd waterstof afgeleid. Deze emissiefactor is echter relatief onzeker.

-NH₃ cracker

Tijdens het kraken van ammoniak vindt dissociatie naar elementair stikstof en waterstof plaats. Hierbij wordt ammoniak verhit en over een katalytisch bed geleid. Aangezien de dissociatiereactie endotherm is en in het proces bij hoge temperatuur verloopt (ca. 900°C) is er sprake van een hoge warmtevraag. Er zijn geen voorbeelden van grootschalige industriële toepassing van het proces bekend. Daarom is de NO_x emissiefactor geschat. Hiertoe is eerst de totale warmtevraag van het proces geschat op basis van de reactie-enthalpie, de specifieke warmtecapaciteit van ammoniak en de aanname dat ca. 50% van de warmte die nodig is voor het opwarmen van de processtroom door warmtehergebruik kan worden ondervangen. Vervolgens is aangenomen dat aan de resterende warmtevraag wordt voldaan door een bepaalde hoeveelheid aardgas te verbranden. Aan de hand van een emissiefactor voor een industrieel fornuis [EMEP/EEA 2019] is geschat hoeveel NO_x hier per eenheid geproduceerd waterstof bij vrij komt (2686 ton NO_x per Mt waterstof geproduceerd). Hierbij zijn enkel low-NO_x branders aangenomen en geen andere DeNO_x maatregelen. Aangezien het proces relatief weinig stappen kent, kan vermoedelijk aan de volledige warmtevraag ook worden voldaan met behulp van elektriciteit.

-Refinery

Voor aardolieraffinage is een emissiefactor van 75 ton NO_x per Mton raffinaderij-doorzet afgeleid door de som van de door de Nederlandse Emissieregistratie gerapporteerde NO_x emissies van de zes Nederlandse raffinaderijen in de Rijnmond en Zeeland te delen door de som van de capaciteiten.

-Biorefinery

Voor bioraffinage is een emissiefactor van 3,7 t NO_x per Mton doorzet afgeleid uit de door de Nederlandse Emissieregistratie gerapporteerde NO_x emissie van een grote bioraffinaderij in Nederland.

-Gasification, Fischer-Tropsch, Hydrocracking

In drie van de vier scenario's wordt in de Rijnmond grootschalige productie voorzien van koolwaterstofbrandstoffen en chemicaliën op basis van biomassavergassing. Voor stikstofemissies wordt de vergassing, Fischer-Tropsch polymerisatie en hydrokraken als één proces beschouwd en aangeduid met Biomass To Liquids (BTL). Een in energetische zin zeer

intensief proces waarbij men in principe plantenresten hoogwaardiger maakt. De eerste stap, de vergassing van biomassa, vindt onder hoge temperatuur plaats (700 - 1300°C) waardoor hoge NO_x emissie uit procesforuizen op kan treden. Het gevormde gasmengsel dat voornamelijk uit koolstofmonoxide en waterstof (synthesegas) bestaat, bevat ook vaak een kleine hoeveelheid ammoniak en stikstofdioxide. Het gasmengsel wordt vervolgens bij veel lagere temperatuur over een Fischer Tropsch katalysator geleid, waarbij door polymerisatie was-achtige stoffen ontstaan. Het Fischer Tropsch proces ontvangt in de scenario's behalve uit biomassavergassing ook synthesegas uit andere processen, zoals RWGS. De polymerisatieproducten worden vervolgens onder hogere druk in aanwezigheid van waterstof bij ca. 600°C gekraakt om een product met kortere en verzadigde koolstofwaterstofketens te verkrijgen. Ook hier treedt NO_x emissie op.

Er is in de wereld maar één fabriek waar dit proces op grote, industriële schaal plaatsvindt en dat is de Sasol Secunda plant in Zuid Afrika. Deze fabriek gebruikt alleen geen biomassa als grondstof maar steenkool. Verder is het proces goed vergelijkbaar. Er bestaat daarnaast een veel kleinere fabriek in China waar met Sasol technologie ook uit steenkool synthetische benzine wordt gemaakt maar hier zijn geen NO_x emissies van bekend. Verder is er ook nog de Shell Pearl GTL fabriek in Qatar waar uit methaan vloeibare synthetische brandstof wordt gemaakt. Dit proces is echter veel minder goed vergelijkbaar. Daarnaast is er voor deze plant ook geen NO_x emissie in de literatuur bekend.

Voor de Sasol Secunda plant zijn wel betrouwbare, op uitgebreide metingen gebaseerde emissiedata beschikbaar [Von Gruenewaldt et al., 2020]. De NO_x emissie van deze plant blijkt zeer hoog, meer dan 100 kton/jaar. Het is daarmee de op één na grootste NO_x puntbron ter wereld. De hoge emissie wordt bevestigd door satellietwaarnemingen.

Ook de NO_x emissiefactor van de Sasol Secunda is zeer hoog. Volgens beschikbare informatie zijn er bij deze fabriek geen NO_x reducerende maatregelen genomen, zoals die in Nederland wel gebruikelijk (en verplicht) zijn, zoals low-NO_x branders. Daarnaast zijn NO_x emissiefactoren voor de industriële verbranding van steenkool (primaire brandstof van Sasol Secunda) doorgaans minstens dubbel zo hoog als die voor aardgas [EMEP/EEA 2019].

Het emissiekental voor de Sasol plant kan dus niet zondermeer worden gebruikt als "Current Technology" in de Europese context. In Nederland zal door de veel strengere emissieregelgeving het emissiekental voor de NO_x emissie voor de BTL keten aanzienlijk lager moeten worden ingeschat. Op basis van expert beoordeling wordt geschat dat de NO_x emissiefactor voor BTL een factor tien lager zou kunnen zijn wanneer het proces op dit moment in Nederland uitgevoerd zou worden met aardgas als brandstof en gangbare DeNO_x maatregelen. Op basis van deze inschatting is een NO_x emissiefactor voor de BTL keten afgeleid van in totaal 1940 ton per eenheid van totaal geproduceerde brandstof en chemische basisstoffen. Het moge duidelijk zijn dat de afgeleide emissiefactor een hoge onzekerheid kent.

-RWGS

Reverse Water Gas Shift proces is een manier om uit kooldioxide en waterstof synthesegas te maken. In de scenario's wordt dit proces op grote schaal voorzien in de Rijnmond. Er zijn op dit moment echter nog geen grootschalige toepassingen bekend en in dit stadium dient de NO_x emissiefactor daarom geschat te worden. Het proces is endotherm en verloopt bij 500 - 900°C. Warmte zal dus toegevoegd moeten worden om de reactanten op te warmen en de reactietemperatuur op peil te houden. Op dit moment is 700°C aangenomen [Gandara-Lou et al., 2022).

De totale warmtevraag van het proces is geschat op basis van de reactie-enthalpie, de specifieke warmtecapaciteit van de reactanten en de aanname dat ca. 50% van de warmte nodig voor het opwarmen van de processtroom door warmtehergebruik kan worden ondervangen. Vervolgens is aangenomen dat aan de resterende warmtevraag wordt voldaan door een bepaalde hoeveelheid

aardgas te verbranden. Aan de hand van een emissiefactor voor een industrieel fornuis [EMEP/EEA 2019] is geschat dat er per eenheid geproduceerd koolmonoxide 178 ton NO_x vrijkomt.

-Naphtha cracker

In de scenario's is het kraken van nafta in Moerdijk meegenomen in de modellering, hoewel dit proces dus strikt genomen buiten de Rijnmond plaatsvindt. Voor het kraken van nafta is een emissiefactor van 282 ton NO_x per eenheid van totale doorzet afgeleid door de ER gerapporteerde emissies van de naftakrakers in Moerdijk, Terneuzen en Geleen te delen door de som van hun capaciteiten.

-MTO

Het Methanol To Olefins proces is een manier om naast het kraken van nafta eveneens alkenen, zoals etheen, te maken. In één van de scenario's wordt dit proces op beperkte schaal voorzien in de Rijnmond. De reactie verloopt bij ca. 500°C maar bevat daarnaast een katalysator regeneratiestap die bij veel hogere temperatuur plaatsvindt. Er is uit de literatuur een NO_x emissiefactor voor het proces beschikbaar [Gao et al., 2018]. Deze emissiefactor (ca. 3000 ton NO_x per eenheid van methanol doorzet) is afgeleid van enkele commerciële toepassingen van het proces in China. In vergelijking met andere processen lijkt deze emissiefactor relatief hoog. Het is echter moeilijk om hier zelf een emissiefactor te schatten op basis van alleen de warmtevraag omdat dan de NO_x emissie van de katalysatorregeneratie niet goed kan worden ingeschat.

-Chemicals production

Deze groep processen omvat de chemische industrie zoals deze nu in de Rijnmond plaatsvindt. De totale emissie van deze sector wordt door de Emissieregistratie gerapporteerd. In de scenariodata is de huidige totale productie geschat op ca. 3,5 Mt. Door de ER emissies te delen door deze productie is een totale gemiddelde emissiefactor van 278 ton NO_x/megaton totale productie afgeleid.

-LH2 gasification

In de scenario's wordt voorzien dat er grote hoeveelheden vloeibaar waterstof aangevoerd worden naar de Rijnmond. Vloeibaar waterstof wordt dan op grote schaal weer gasvormig gemaakt. Hierbij zal een aanzienlijk gedeelte van de energie die nodig is geweest om de waterstof te koelen en vloeibaar te maken weer terug worden gewonnen. Wanneer de waterstof opgewarmd wordt, ontstaat er een hoge druk waarmee energie kan worden opgewekt. Daarnaast kan de koude gebruikt worden in andere processen. De verwachting is dat hier geen relevante NO_x emissie bij op zal treden.

3.3.1 Emissieprognoses met huidige techniek en met maatregelpakketten

De basis van de prognose van NO_x emissie (voor het totaal aan processen dat in de scenario's wordt voorzien) zal een berekening zijn op basis van productiedata uit de scenario's en de hiervoor besproken NO_x emissiefactoren voor huidige technologie (current technology). NO_x emissie wordt dan geschat voor de middellange toekomst met emissiefactoren (voor 2021). De uitkomst geeft een indruk van wat de emissie zou zijn indien er geen verdere NO_x reductiemaatregelen genomen zullen worden (worse case benadering). Voor de termijn tot 2050 wordt echter verwacht dat door toepassing van nieuwe technologieën de emissieniveaus lager zullen zijn dan berekend op basis van current technology.

Om een indruk te geven van wat er mogelijk zou moeten zijn met reductiemaatregelen en procesmodernisering of innovaties is voor een aantal maatregelen het haalbare effect geschat van vier pakketten van maatregelen die integraal voor het hele brandstoffencuster zouden worden doorgevoerd. Net als sommige van de NO_x kentallen zijn de inschattingen van de maatregeleffecten onzeker.

Vervangen van fossiele brandstof door waterstof als brandstof

Om decarbonisatie te bewerkstelligen kunnen/zullen fossiele brandstoffen zoals aardgas voor een groot deel vervangen worden door duurzaam geproduceerde waterstof. Decarbonisatie is het hoofddoel van de energietransitie maar leidt niet automatisch tot minder stikstofemissie. Bij het gebruik van waterstof als industriële brandstof is er sprake van een hogere vlamtemperatuur dan wanneer aardgas wordt gebruikt. Dit heeft bij gelijkblijvende warmtevraag als effect dat er meer luchtstikstof wordt geoxideerd tot NO_x. Dit kan in bepaalde situaties tot meer dan 50% hogere stikstofemissie leiden. Als basis voor het schatten van de gemiddelde procentuele toename van de NO_x emissie indien van aardgas op waterstof wordt overgeschakeld is een publicatie bedoeld om op te nemen in het EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook (EMEP/EEA 2019) gebruikt [Mitchell et al., 2023]. Op basis van dit document is voor industriële ketels en fornuizen voorsnog een relatieve emissietoename van 10% geschat. Sommige bronnen geven echter een hoger percentage aan.

DeNO_x door nageschakelde/proces-geïntegreerde maatregelen

Eén van de opties om stikstofemissie terug te dringen is het nemen van proces-geïntegreerde of nageschakelde NO_x emissiereductiemaatregelen (DeNO_x maatregelen). Een voorbeeld van een proces-geïntegreerde maatregel is het plaatsen van low-NO_x branders, zoals deze in veel grote ketels en fornuizen in Nederland inmiddels gangbaar zijn. Een voorbeeld van een veel toegepaste nageschakelde techniek is selectieve (niet-)katalytische reductie, waarbij een reagens zoals ammoniak of ureum in het rookgas geïnjecteerd wordt om NO_x te verwijderen. In de katalytische variant wordt het geïnjecteerde rookgas ook over een katalytisch actief oppervlak geleid. Met deze variant zijn de hoogste verwijderingsrendementen te behalen (tot wel 99%).

Er is veel ervaring in Nederland en daarbuiten met DeNO_x maatregelen en er is een goed beeld van de reductie die in de praktijk haalbaar is. Op basis van praktijkrendementen is geschat dat door het toepassen van extra en vergaande DeNO_x maatregelen een gemiddelde NO_x emissiereductie van 90% ten opzichte van de huidige situatie behaald kan worden, zonder dat het gevaar bestaat dat er emissie plaatsvindt van niet gereageerd ammoniak uit SCR installaties. Een uitzondering hierop betreft de bovenbeschreven BTL keten waar een hogere penetratie van DeNO_x maatregelen onderdeel uitmaakt van de aannames die gemaakt zijn om de emissiefactor voor de huidige situatie te schatten. Ook is dit proces relatief gecompliceerd en zal het misschien technisch niet mogelijk zijn om alle rookgassen in dezelfde mate te reinigen. Voor de BTL keten is daarom een verder verwijderingspotentieel van 75% door DeNO_x maatregelen aangenomen.

Elektrificatie van ketels en fornuizen

Een relatief nieuwe maatregel om verbrandingsemissies in de industrie verder terug te dringen is om waar mogelijk elektrificatie van het proces door te voeren. In plaats van fossiele brandstof wordt dan elektriciteit gebruikt voor warmteopwekking. Indien voldoende (goedkope) elektriciteit voorhanden is, kan in principe een groot deel van de aardgas gestookte ketels en fornuizen in de industrie door elektrisch verwarmde eenheden worden vervangen. Niet alle NO_x bronnen zullen echter geëlektrificeerd kunnen worden. Zo vindt er in de chemische industrie en in raffinaderijen bijvoorbeeld noodzakelijke thermische katalysatorregeneratie plaats waarbij verontreinigingen op het katalysatoroppervlak als brandstof voor het regeneratieproces dienen. Elektrificatie zal in dit soort gevallen niet of slechts gedeeltelijk mogelijk zijn. Zo zijn er meer situaties waarin vermoedelijk voorsnog geen elektrificatie toegepast kan worden. Er is op basis van bovenstaande geschat dat ten opzichte van de huidige situatie gemiddeld 80% van de verbrandingsemissies door vergaande elektrificatie vermeden zou kunnen worden.

Combinaties van DeNO_x en elektrificatie

Nog hogere verwijderingsrendementen zijn theoretisch mogelijk door combinatie van elektrificatie en conventionele DeNO_x maatregelen. Er is in principe geen reden om niet te mogen veronderstellen dat de geschatte emissiereductiepercentages in dat geval opgeteld kunnen worden. Er is in deze geest een schatting gemaakt van de maximaal haalbare NO_x emissiereductie door de gemiddelde reductiepercentages van elektrificatie en DeNO_x te vermenigvuldigen,

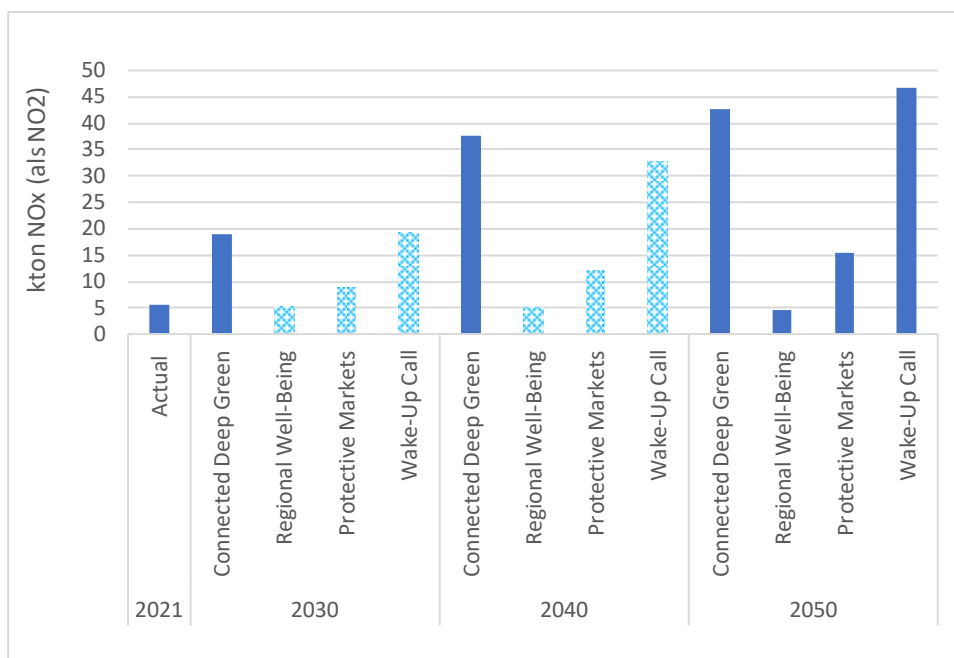
waardoor een totaal reductiepercentage boven de 95% verkregen wordt (rekening houdend met het lagere DeNO_x potentieel van de BTL keten).

Er dient opgemerkt te worden dat de hierboven besproken reductiepercentages relatief grove inschattingen zijn. Het wordt daarom aanbevolen deze percentages enkel als een orde van grootte schatting te interpreteren.

Resultaten van de emissieprognoses

In deze paragraaf worden de berekende NO_x emissie in de verschillende energiescenario's gegeven voor de afzonderlijk emissiereductie opties.

Figuur 3.3 vergelijkt de totale emissie van het brandstoffencuster (inclusief de naftakraker in Moerdijk) voor de emissie in de huidige situatie ("Actual", 2021) met de prognoses voor het grote brandstoffencuster zoals in drie van de vier scenario's is voorzien (alleen in het "Regional Well Being" scenario is er sprake van een zeer beperkt brandstoffencuster).



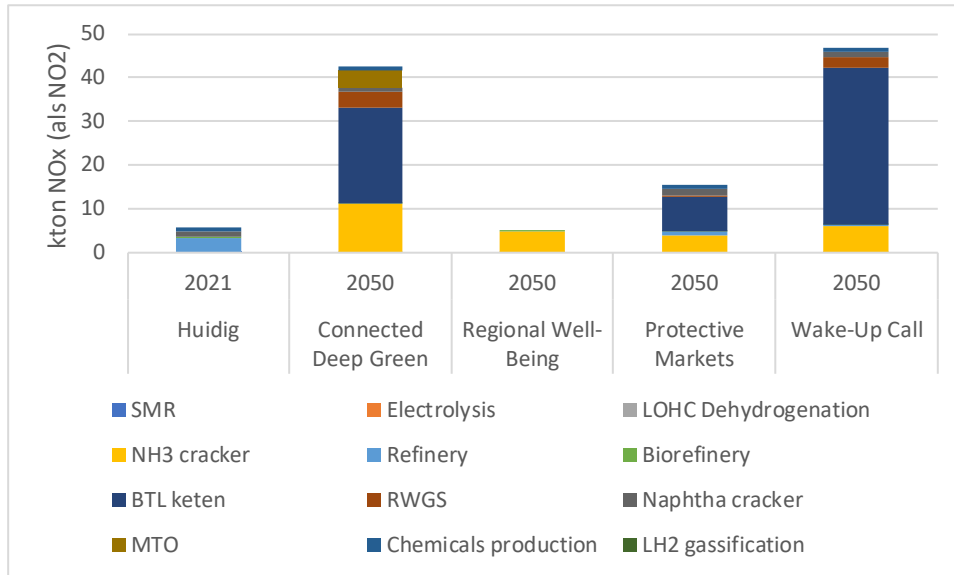
Figuur 3.3: NO_x emissie-ontwikkeling volgens "Current Technology" in de verschillende scenario's

In de figuur zijn enkele balken transparant weergegeven. Dit betreft simpele geïnterpoleerde data die niet in de originele scenario's zitten. Hierbij is (waarschijnlijk onterecht) aangenomen dat reeds in 2030 het raffineren van ruwe olie in de Rijnmond is gestaakt. De NO_x emissie van raffinaderijen (3 – 4 kton) is voor 2030 en 2040 voor de geïnterpoleerde scenario's al geheel verdwenen.

Indien geen extra maatregelen worden genomen, voorspelt de emissieprognose op basis van de techniek van 2021 ("Current Technology") een forse stijging van de totale NO_x emissie voor drie van de vier scenario's. Voor "Wake-Up Call" zelfs bijna het tienvoudige. Alleen voor "Regional Well Being" is er sprake van een kleine daling.

Figuur 3.4 vergelijkt de prognoseresultaten voor het jaar 2050 met de huidige situatie, waarbij nu ook de bijdrages van de individuele processen zichtbaar zijn. Gebaseerd op de techniek van nu springt één proces er duidelijk uit in de prognoses, namelijk de BTL keten (Biomass To Liquids: som van Gasification, Fischer-Tropsch en Hydrocracking in Tabel 3.1). De hoge bijdrage is te

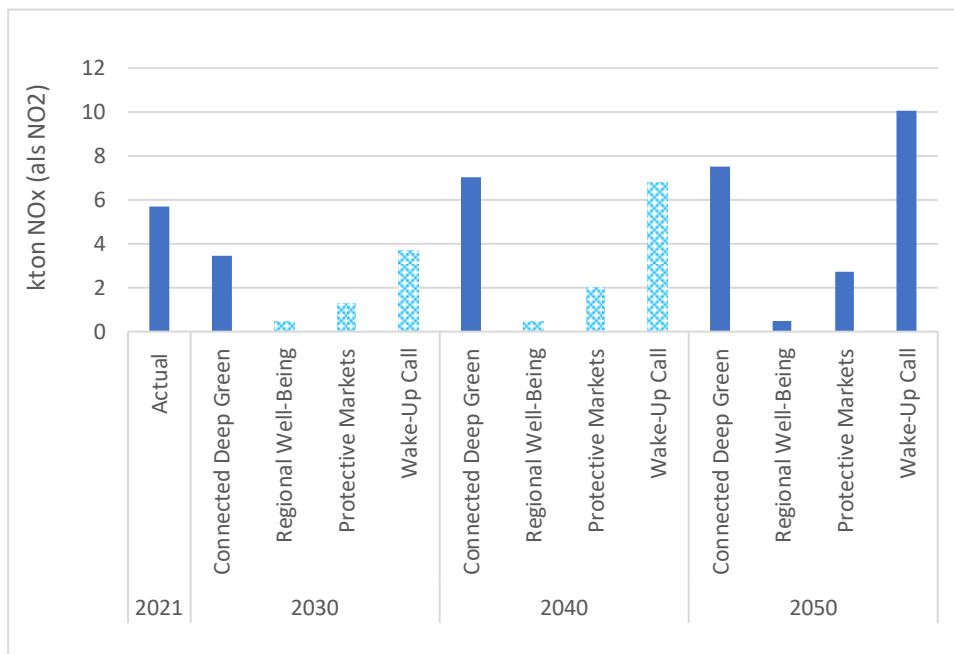
verklaren door de grote schaal waarop dit proces zal moeten gaan plaatsvinden en de relatief hoge totale NO_x emissiefactor van de BTL keten. Een tweede proces dat potentieel hoge NO_x emissie tot gevolg kan hebben, is het kraken van ammoniak. De verklaring hiervoor is hetzelfde als voor de BTL keten, namelijk de grote schaal van het proces en de relatief hoge emissiefactor voor "Current Technology".



Figuur 3.4: NO_x emissie-verdeling in 2050 volgens "Current Technology" in de verschillende scenario's

Indien er overgestapt wordt naar waterstof als vervanging voor aardgas zal de NO_x emissie weergegeven in de vorige figuren nog 10% verder stijgen. De figuren voor het waterstofscenario zouden hetzelfde zijn. Daarom zijn die uitkomsten niet afgebeeld.

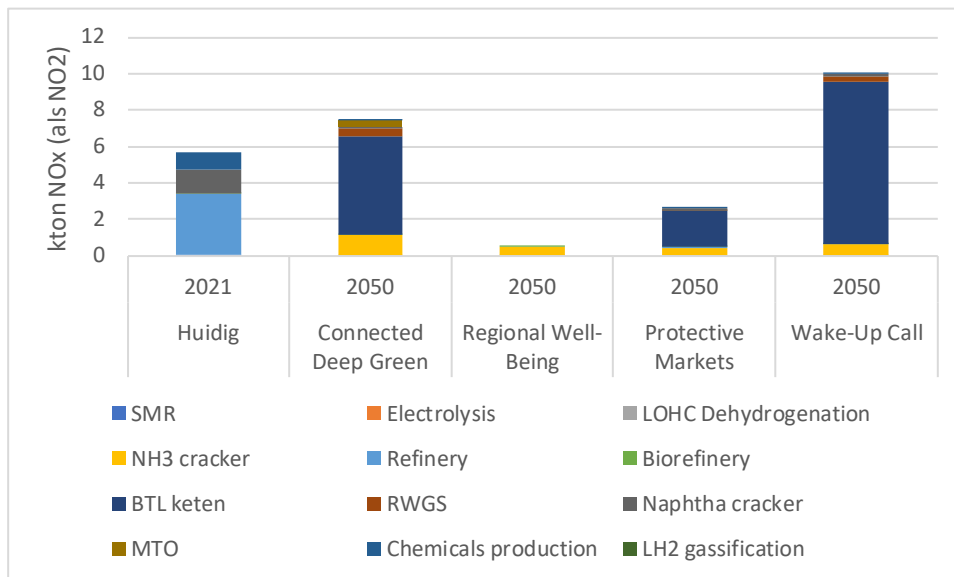
Figuur 3.5 vergelijkt weer de emissie voor de huidige situatie met de prognoses voor het toekomstige brandstoffencluster zoals in drie van de vier scenario's is voorzien, maar nu indien er vergaande DeNO_x maatregelen worden genomen.



Figuur 3.5: NO_x emissie-ontwikkeling volgens "DeNO_x" in de verschillende scenario's

Te zien is dat de NO_x prognoses met deze maatregel nu binnen dezelfde orde van grootte blijven, vergeleken met 2021. Niettemin valt ook op dat ondanks dat er nu niet meer sprake is van de orde van grootte stijging, er ondanks grootschalige DeNO_x maatregelen wel nog steeds sprake is van een stijging van de emissie in 2050 in twee van de vier scenario's. Let op dat de bijdrage uit raffinage niet meer voorkomt in de transparante balken terwijl deze bijdrage in de 2030/2040 balken voor "Connected Deep Green" wel nog gedeeltelijk aanwezig is.

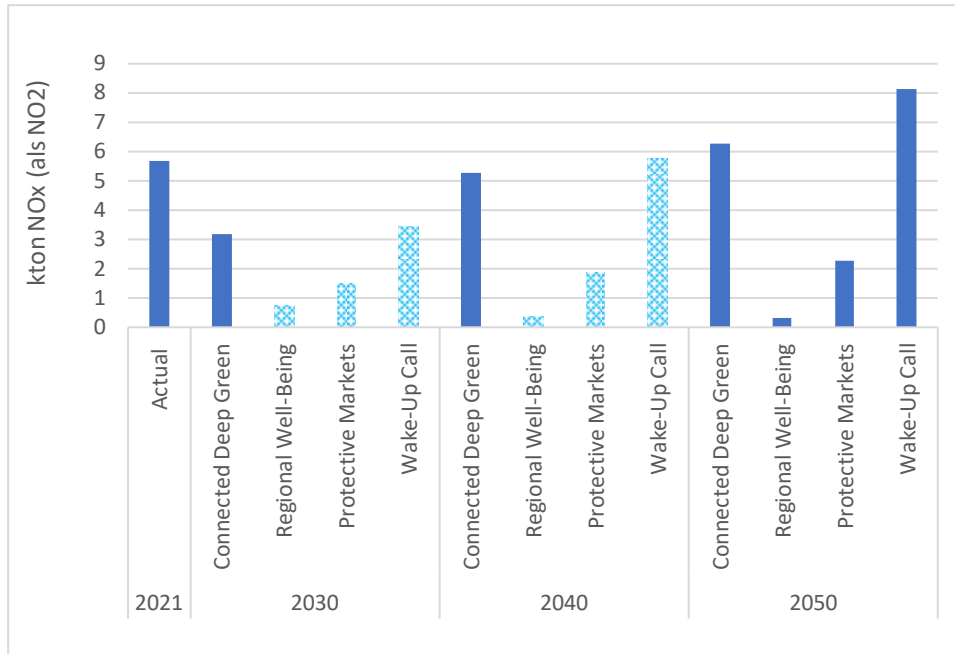
Figuur 3.6 toont weer de huidige situatie vergeleken met de prognoseresultaten voor het jaar 2050, bij vergaande DeNO_x maatregelen, en dan opgedeeld naar de individuele procesbijdrages.



Figuur 3.6: NO_x emissie-verdeling in 2050 volgens "DeNO_x" in de verschillende scenario's

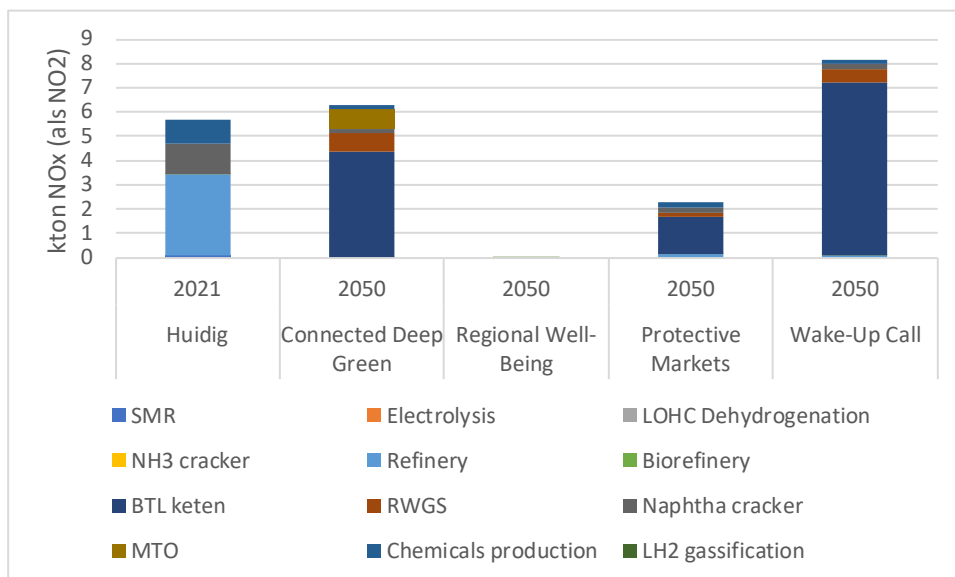
De grootste bijdrage komt opnieuw van de BTL keten. Eén van de redenen hiervoor is het iets lagere NO_x reductiepotentieel dat voor de BTL keten is geschat (75%) in vergelijking met de overige processen (90%).

Figuur 3.7 laat zien wat de potentiële NO_x reductie is bij vergaande elektrificatie van de processen, uitgaande van de emissie voor “Current Technology”. De figuur laat een enigszins vergelijkbaar beeld zien met wat we zagen voor vergaande DeNO_x maatregelen. Emissies blijven ondanks de maatregelen in dezelfde orde van grootte als in 2021. Voor bijvoorbeeld “Wake-Up Call” zijn ze iets lager dan wat er met alleen DeNO_x maatregelen haalbaar is.



Figuur 3.7: NO_x emissie-ontwikkeling volgens "Elektrificatie" in de verschillende scenario's

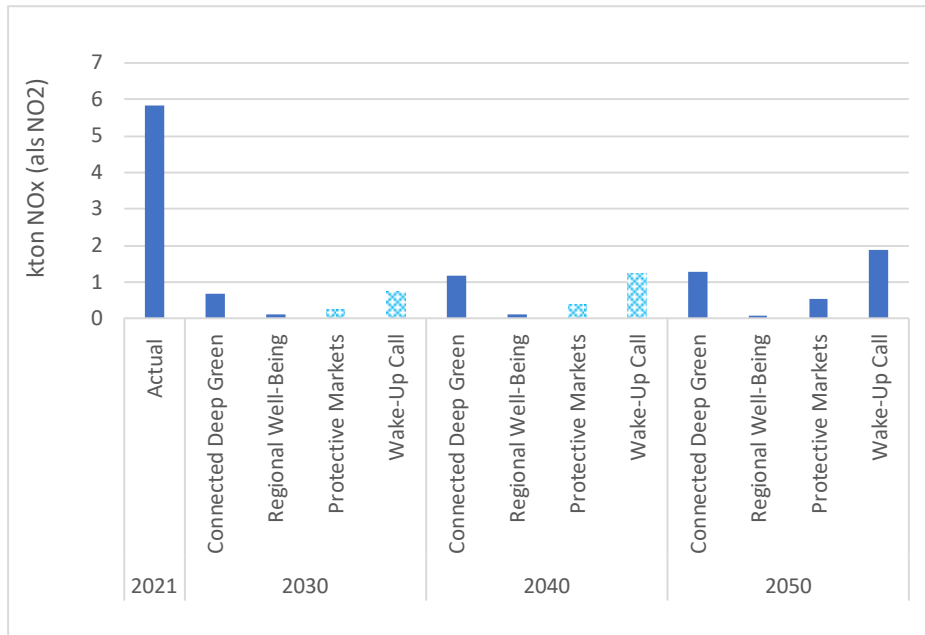
In Figuur 3.8 worden de geprognosticeerde NO_x emissies in 2050 weergegeven, uitgesplitst naar procesbijdrages. Ook hier komt de belangrijkste bijdrage nog steeds van de BTL keten. Verder valt op dat de emissie door het kraken van ammoniak helemaal verdwijnt als gevolg van volledige elektrificatie.



Figuur 3.8: NO_x emissie-verdeling in 2050 volgens "Elektrificatie" in de verschillende scenario's

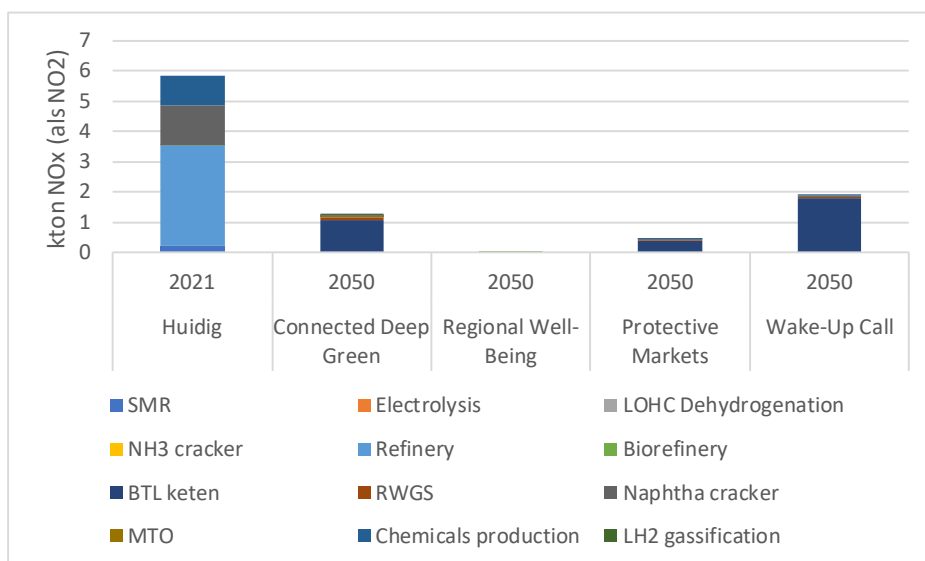
In principe sluit elektrificatie het nemen van NO_x reducerende maatregelen niet uit voor de procesonderdelen die niet geëlektrificeerd kunnen worden. Waarschijnlijk biedt een optimale combinatie van elektrificatie en DeNO_x ook de beste mogelijkheden om grote emissiereductie kosteneffectief te behalen. Voor de combinatie van vergaande elektrificatie en vergaande NO_x maatregelen zijn er eveneens prognoses van de emissies voor de scenario's gemaakt. Dit pakket aan maatregelen zou kunnen worden geïnterpreteerd als de maximaal haalbare NO_x emissiereductie volgens de huidige inzichten.

Figuur 3.9 laat de resultaten zien op dezelfde manier als dat eerder is gedaan, met dezelfde opmerking met betrekking tot de bijdrage uit raffinage. Met deze maximale maatregelen dalen de emissies sterk voor alle scenario's.



Figuur 3.9: NO_x emissie-ontwikkeling volgens "Maximale reductie" in de verschillende scenario's

In Figuur 3.10 zijn de emissies weer uitgesplitst naar procesbijdrages. Ook nu heeft de BTL keten de hoogste bijdrage.



Figuur 3.10: NO_x emissie-verdeling in 2050 volgens "Maximale reductie" in de verschillende scenario's

3.4 Conclusies, knelpunten en mitigatie

De analyses laten zien dat de energietransitie van het brandstoffencluster geen garantie is voor een verlaging van de toekomstige NO_x emissie ten opzichte van de huidige emissie.

Uit de resultaten blijkt dat de NO_x emissies in 2050 in de meeste van de uitgewerkte scenario's kunnen stijgen ten opzichte van de emissies berekend op basis van de huidige technologie in 2021. Hierbij spelen een aantal factoren een rol:

- Allereerst de gehanteerde emissiefactoren voor de verschillende technologieën.
In de situatie dat de fossiele brandstoffen worden vervangen door waterstof zijn we uitgegaan van een verhoogde emissiefactor.
Bij de (vergaande) elektrificatie is aangenomen dat er nog een rest emissie van NO_x zal zijn omdat voor bepaalde deelprocessen toch nog een resthoeveelheid fossiel of waterstof als brandstof zal worden ingezet. Meer gedetailleerde aannames zijn thans niet mogelijk omdat de ontwerpen van de nieuwe processen en mogelijke combinaties daarvan niet bekend zijn. Verwacht wordt dat door innovaties de emissies verder kunnen worden gereduceerd dan in de huidige installaties.
Daarnaast wordt in een aantal scenario's ingezet op grootschalige vergassing van biomassa gevolgd door Fischer-Tropsch synthese en hydrocracker (BTL). Momenteel zijn nog geen emissiekentallen van een vergelijkbaar BTL proces op industriële schaal beschikbaar en is een inschatting gemaakt op basis van een Coal to Liquid plant in Zuid Afrika (een van de grootse single source NO_x emittenten ter wereld). Zelfs onder aanname van een 90% lagere emissiefactor voor dit proces in de berekeningen blijft dit proces de belangrijkste en meest onzekere NO_x emissiebron.
- De tweede verklaring van de emissiestijging in de verschillende scenario's is de omvang van de processen. Met name in de scenario's waar de BTL route wordt geïmplementeerd is dit duidelijk zichtbaar. Daar is de omvang van de productstromen enorm en worden deze gecombineerd met de meest onzekere emissiefactor.

In onderhavige scenariostudie kan niet worden geanticipeerd op specifieke ontwerpen van de toekomstige installaties. De toe te passen technologie voor de meest onzekere én grootse bronnen (BTL plant(s) en NH₃ krakers) zullen volgens de nieuwste inzichten worden ontworpen. Naar verwachting zullen in de komende decennia innovatieve technologieën en procesontwerpen beschikbaar komen om de NO_x emissies zoals berekend in deze studie verder te mitigeren.

Scenariospecifiek:

Alleen in het Regional Well-Being scenario (zonder additionele emissiebeperking) zal de emissie in 2050 ongeveer op het huidige niveau blijven.

Additionele maatregelen, zoals vergaande elektrificatie of DeNO_x, zijn nodig om de emissies volgens de scenario's Connected Deep Green en Protective Markets in 2050 respectievelijk niet te sterk te laten stijgen of te laten dalen.

Voor het scenario Wake-Up Call is een combinatie van verschillende reducerende maatregelen noodzakelijk om de emissies in 2050 te laten dalen tot onder het huidige niveau.

Mitigatie

De maximale reductie-optie laat zien dat in het toekomstige brandstoffencluster een daling van de emissies t.o.v. 2021 alleen haalbaar is met een combinatie van vergaande elektrificatie en DeNO_x maatregelen in de BTL processen.

De NO_x emissie van de "nieuwe" processen behoeft nadrukkelijk aandacht in de ontwerpfase. Cruciaal is om potentiële initiatiefnemers van nieuw te ontwerpen installaties te wijzen op het belang van NO_x emissieminimalisatie in de specifieke Rijnmond context.

Bij de beoordeling van de inpasbaarheid van de nieuwe installaties in het havengebied en zeker ook in de vergunningverlening zal de NO_x emissie een belangrijk aandachtspunt moeten zijn. Hierbij is te verwachten dat in de komende decennia de definitie van Best Beschikbare Technieken voor de (nieuwe) processen zal evolueren naar lagere NO_x emissieniveaus.

Verder zal de beoordeling van de inpasbaarheid van nieuwe installaties moeten plaatsvinden in samenhang met:

- de NO_x en NH₃ emissie-ontwikkeling van het huidige brandstoffencluster (hiervan zal een deel vervangen worden)
- de emissie-ontwikkelingen in de overige sectoren die buiten de scope van dit onderzoek liggen.

4 Geluid

4.1 Aannames en uitgangspunten

In deze studie is de scope beperkt tot geluidemissie van het brandstoffen- en chemiecluster in het havengebied, in relatie tot de energietransitie. De beperking tot het brandstoffen- en chemiecluster is gekozen om de analyse juist voor deze clusters inzichtelijk te maken. Overige industriegeluidbronnen en rail- en verkeersgeluidbronnen zijn minder relevant voor de energietransitie, maar uiteraard sterk aanwezig op veel locaties, doch buiten scope van deze studie. De geluidbelasting in woongebieden wordt berekend met geluidkarteringsmodellen die alle relevante geluidbronnen en overdrachtspaden omvatten. Voor de beschouwing van de vier scenario's wordt het effect van de procescapaciteit of doorzet op geluidemissie gebruikt, waarbij een verdubbeling van installatieomvang tot 3 dB hogere geluidemissie zou leiden.

4.2 Inventarisatie huidige status en benodigde technologieën

Context en huidige status

Geluid van weg- en railverkeer, vliegverkeer en industrie zijn bekende bronnen van omgevingsgeluid die impact hebben op gezondheid en levenskwaliteit [www.rivm.nl]. Daarom is geluid wettelijk geregeld via de Wet Milieubeheer en, vanaf 2024, de Omgevingswet [Omgevingswet, 2017 en iplo.nl].

Wegverkeer als geluidsbron heeft verreweg de grootste impact [Actieplan Geluid Gemeente Rotterdam 2019-2023]. Industriegeluid zoals in het havengebied heeft naar verhouding een kleinere impact vergeleken bij alle geluid in de Gemeente Rotterdam. Rondom de havengebieden kan het wel bepalend zijn voor de geluidbelasting en voor de subjectieve beleving met name in de nacht. De mate waarin hangt per locatie af van de onderlinge bijdragen van industriegeluid, weg- en railverkeersgeluid in de dag-, avond- en nachtperiodes.

Activiteiten in het havengebied hebben impact op nabijgelegen woonwijken in omliggende gemeentes en vragen om een gewogen beleid. Gemeentes met geluidbelasting ten gevolge van het brandstoffen- en chemiecluster omvatten onder andere: Rotterdam inclusief woonkernen, Nissewaard, Schiedam, Hoek van Holland, Westland, Vlaardingen, Maassluis en Voorne aan Zee. De betreffende terreinen staan in Figuur 4.1.

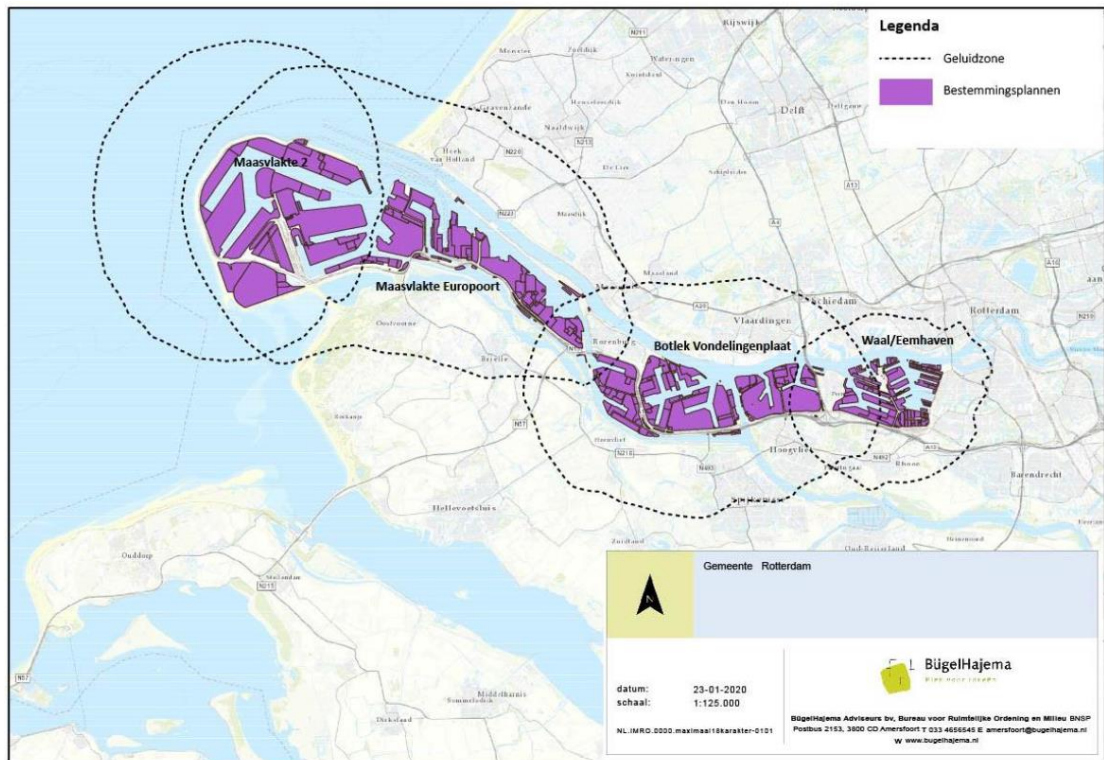


Figuur 4.1: Terreinen in het Rotterdamse havengebied die vallen onder de brandstoffen- en chemiecluster.
Bron: TNO.

De wetgeving stelt grenzen aan de geluidbelasting vanwege het industrieterrein als geheel. Individuele vergunningen voor bedrijven stellen grenzen aan de geluidniveaus ten gevolge van de representatieve bedrijfssituatie. Het haven- en industriegebied van Rotterdam (HIC) bestaat uit gezoneerde industrieterreinen zoals bedoeld in de Wet geluidhinder. Dit betekent dat rondom deze industrieterreinen geluidzones zijn vastgesteld, zoals getoond in Figuur 4.2 en de kaart in Bijlage B, waarbij het geluidniveau buiten de zone onder de 50 dBA (L_{etm}) dient te vallen. Daarnaast zijn er saneringswaarden die de geluidruimte beperken. Voor het hele gebied worden geluidkaarten opgesteld (zie Bijlage B, figuur B5) en beheerd door DCMR. Nieuwe terreinen en activiteiten worden vergund zodanig dat de geluidmissie bij de woninggevel binnen de grenswaarden valt. De naleving van de regels wordt middels controlemetingen gehandhaafd.

Voor het huidige zonebeheer in het haven- en industriegebied van Rotterdam wordt voor de inrichtingen op de industrieterreinen gebruik gemaakt van de volgende instrumenten:

- Er zijn tussen de betrokken gemeenten, de provincie Zuid-Holland, het Havenbedrijf Rotterdam en het bedrijfsleven afspraken vastgelegd in convenanten over het beheer (zie Bijlage B).
- DCMR voert zonebeheer uit namens de gemeente Rotterdam, gericht op het bewaken van de zone en het geluidruimtegebruik.
- Er wordt gebruik gemaakt van een geluidruimteverdeling (verkaveling) die is vastgelegd in beleidsregels en geluidruimteverdeelpannen.
- Het zonebeheer vindt plaats met het zonebeheersysteem (geluidmodel) '1-kwadraat'. Dit is een geluidboekhouding met een rekenmodel van de (akoestisch relevante) omgeving, van kracht zijnde vergunningen en akoestisch relevante meldingen. Deze geluidboekhouding wordt gebruikt om de geluidbelasting op de omgeving te monitoren en te bewaken.



Figuur 4.2: Geluidzones van industrieterreinen in het Rotterdamse havengebied.
Bron: [BügelHajema 2020].

In het havengebied is geluidruimte grotendeels beschikbaar, zoals weergegeven in figuren B1-B3 voor deelgebieden en in figuur B4 voor het hele havengebied in Bijlage B. Zeer lokaal kan deze toch schaars zijn en niet direct onderling uitwisselbaar tussen terreinen.

Bij nieuwbouw en vervanging van installaties wordt gestreefd naar toepassing van best beschikbare technieken om de geluidemissie te beperken. In de praktijk is dit beperkt door de grenswaarden en de streefwaarden van het beleid.

Naast de gemiddelde geluidbelasting is ook incidentele hinder van tijdelijke aard relevant, te meer indien dat leidt tot slaapverstoring. Daarbij speelt naast het geluidniveau ook de (meer subjectieve) beleving een rol. Dit wordt vastgesteld middels klachtenregistratie, enquêtes en monitoring. Voorbeelden zijn bromtonen, zoemend, dreunend of bulderend geluid. Deze kunnen samenhangen met operationele factoren, onderhoudstoestand of -werkzaamheden. De sterkte van het geluid bij ontvangpunten hangt ook af van meteocondities, met name de windrichting.

Effecten van de Omgevingswet

De invoering van de Omgevingswet is nagenoeg een systeemverandering doordat meerdere aspecten en de werkwijze veranderen, zij het dat dit in de praktijk geleidelijk zal plaatsvinden:

- gemeentes maken een omgevingsplan;
- geluidzones worden vervangen door geluidaanvaltsgebieden;
- invoering van geluidproductieplafonds op referentiepunten in plaats van op zonebewakingspunten en de zonegrens;
- jaarmiddeling L_{DEN} in plaats van etmaalwaardes L_{etm} ;
- invoering gezamenlijk geluid (verkeer+industrie), naast gecumuleerd geluid;
- brongegevens worden centraal verzameld door RIVM (digitaal).

Mogelijke knelpunten die door de invoering van de Omgevingswet kunnen ontstaan zijn:

- optelling van geluidzones;
- toets van geluidniveaus in woningen;
- geluidproductieplafonds voor industrielawaai mogen eenmalig worden opgehoogd voor geluid van afgemeerde schepen (ook wel nestgeluid genoemd) dat voorheen niet werd meegerekend. Voor de industrie geeft dit per definitie voldoende geluidruimte. Voor de omgeving introduceert dit een risico dat hogere geluidbelastingen worden toegestaan.

Om deze veranderingen in goede banen te leiden zijn enkele ontwikkelingen ingezet:

- In de periode 2018-2020 hebben de gemeente Rotterdam, de provincie Zuid-Holland, DCMR en het Havenbedrijf gewerkt aan een Programma Actualisatie Geluidmanagement [PAG, 2020]. Het programma was gericht op modernisering van het geluidmanagement voor de bestaande geluidzones voor het Rotterdamse haven- en industriegebied. Daarbij is rekening gehouden met technische ontwikkelingen, gerealiseerde beleidswijzigingen, jurisprudentie en verwachte wijzigingen in verband met de Omgevingswet.
- Er wordt door provincie, gemeenten, havenbedrijf, DCMR en Deltalinqs gewerkt aan de voorbereiding van een Programma Havengeluid en Omgeving [PZH, 2021], waarin een overall strategie voor het havengeluid, de planologische verankering van industrielawaai onder de Omgevingswet en een gebiedsgerichte aanpak met betrekking tot hinderbeleving en leefomgevingskwaliteit worden ontwikkeld. De juridisch-planologische verankering is van belang omdat de Wet geluidhinder alleen grenzen stelt aan het industrieterrein als geheel, terwijl op basis van de geluidbelasting per inrichting of kavel de geluidruimte beter te verdelen is.

Huidige en benodigde technologieën

De huidige en nieuwe technologieën zoals beschreven in hoofdstuk 2 bevatten geen wezenlijk nieuwe soorten componenten of geluidbronnen. De nieuwe installaties zullen gebruik maken van bestaande soorten componenten, zoals onder andere pompen, compressoren, koelsystemen en procesinstallaties. De processen relevant voor het brandstoffen- en chemiecluster staan in bijlage A nader beschreven. Daarin is te zien dat de fysische functies nauwelijks verschillen van de huidige: namelijk verplaatsing van gassen en vloeistoffen door middel van pompen, drukopbouw middels compressoren, verhitte middels fornuizen, koeling middels koeltorens en koelbanken, elektriciteitsvoorziening middels transformatoren, en gebruikelijke componenten in procesinstallaties zoals kleppen en afblaasventielen, mixers, vaten en separatoren.

Een verschuiving in de soorten componenten en installatieontwerp is denkbaar afhankelijk van de processen. Ook zijn nieuwe stillere ontwerpen en innovaties te verwachten, zij het dat de termijn en aard moeilijk voorspelbaar is en de invoering afhankelijk zal zijn van kosteneffectiviteit en rendement.

Een voorbeeld van een ontwerp van een Gigawatt elektrolyser is te vinden in Hydrohub (2022). Deze omvat onder andere compressoren, koelsystemen, transformatoren, buisleidingen, waterzuivering (pompen) en separatoren. Een groot deel van deze componenten is in pandig. Beschouwing van andere technologieën beschreven in hoofdstuk 2 geeft een soortgelijk beeld, namelijk dat onderdelen van installaties bestaande technologie gebruiken.

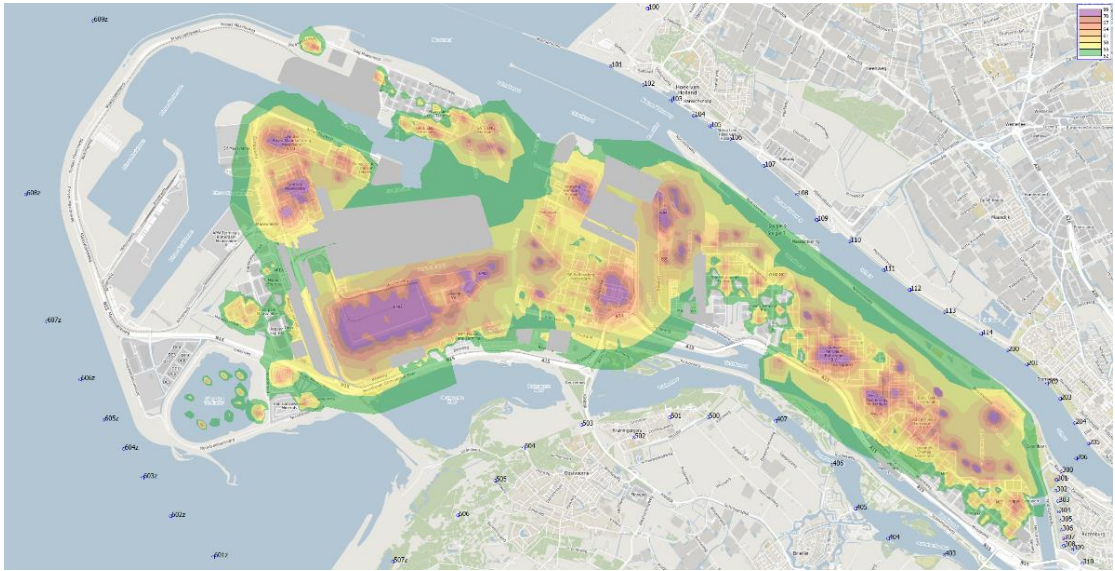
Toenames in procescapaciteit zijn op te lossen met grotere componenten of meer componenten, hetgeen doorgaans leidt tot een evenredige toename van de geluidemissie tenzij dit in de ontwerpfase door maatregelen wordt gereduceerd.

Een verdere overgang is te verwachten van dieselmotoren naar elektrische aandrijvingen. Dit betreft vooral mobiele machines zoals sjofels en kranen die voor bulkoverslag worden gebruikt. Tot 2030 wordt een teruggang van kolenoverslag verwacht waardoor minder mobiele machines

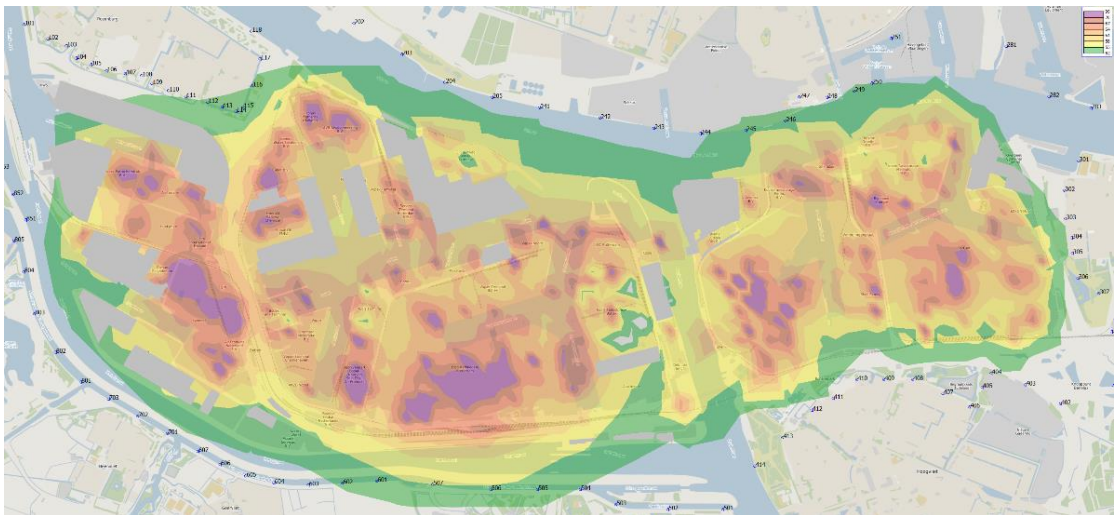
worden ingezet, maar ook minder transportbanden. Dit is minder relevant voor de brandstoffen- en chemiesegment, maar kan wel leiden tot meer beschikbare geluidruimte.

Voor de geluidkartering in het havengebied worden honderden deelbronnen ingevoerd, ieder met hun eigen bronsterkte en bedrijfsduurcorrectieterm. De geluidemissie bij ontvangpunten resulteert uit de combinatie van bijdragen van al deze bronnen, vooral die het dichtst bij de ontvangers staan.

Voorbeelden van geluidkaarten waarin de brongebieden met relevante bronbijdrage te zien zijn, staan in Figuur 4.3 voor Maasvlakte-Europoort en Figuur 4.4 voor Botlek-Pernis.



Figuur 4.3: Geluidkaart Maasvlakte-Europoort met referentiepunten rond het gebied. Bron: DCMR.

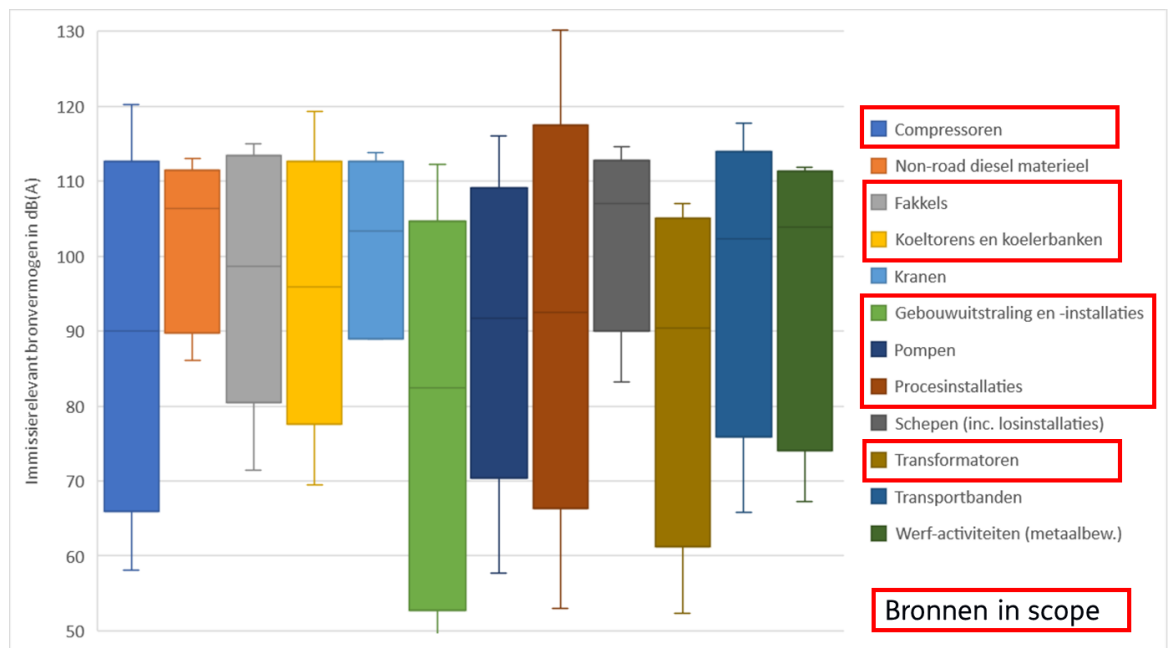


Figuur 4.4: Geluidkaart Botlek-Pernis met referentiepunten rond het gebied. Bron: DCMR.

4.3 Inschatting van geluidproductie op basis van kentallen

De geluidproductie van machines en installaties op industrieterreinen wordt gekwantificeerd met het geluidvermogen in dB(A) (dit is hoger dan het geluiddrukkniveau), of in dB(A) per vierkante meter. Een grafiek met de relevante componenten voor het havengebied en hun voorkomende bron-niveaus met spreiding staat in Figuur 4.5. Dit zijn bronsterktes zonder bedrijfsduurcorrectie (waardoor het niveau daalt).

De bronnen binnen het brandstoffen- en chemiecluster zijn rood omlijnd en omvatten: compressoren, fakkels, koeltorens en koelerbanken, gebouwuistraling en installaties, pompen, procesinstallaties en transformatoren. Daarvan zijn de sterkste gerangschikt naar bronniveau: de procesinstallaties, compressoren, fakkels, koeltorens en koelerbanken.



Figuur 4.5: Bronvermogens van geluidbronnen in het havengebied zonder bedrijfsduurcorrectie, met spreiding. De rood omlijnde bronnen (in scope) zijn relevant voor het brandstoffen- en chemiecluster. Data gebaseerd op gegevens van DCMR.

De bijdrage van geluid ten gevolge van opslag wordt buiten beschouwing gelaten wegens de beperkte duur van activiteiten en het geringere aantal bronnen.

De sterkte van individuele bronnen hangt van vele factoren af: vermogen en debiet, stroomsnelheid, toerental, drukverschil, uitvoering/type, opstelling, omkasting en inpannige plaatsing. Voor compressoren, pompen en kleppen geldt dat de in- en uitgaande pijpleidingen ook geluid kunnen afstralen, vooral vlak naast deze componenten. Dit is te voorkomen middels geluidisolatie.

De geluidbelasting (immissie) bij individuele ontvangers hangt af van de afstand van de bron, eventuele afscherming, obstakels en oriëntatie van de bron en de ontvanger.

Al de bovengenoemde bronnen kunnen ook een rol spelen in de subjectieve beleving, vooral als sterke tonen, laagfrequent geluid of sterk fluctuerend geluid goed hoorbaar zijn.

De aanname is nu dat de bronsterktes van de geluidbronnen in het brandstoffen- en chemiecluster niet sterk zullen veranderen ten opzichte van de huidige stand der techniek. Er zijn immers voldoende mogelijkheden voor beperking van de geluidemissie. Nieuwe of geüpgrade installaties

zullen geluid expliciet moeten specificeren, rekening houdend met de grenswaarden vanuit de regelgeving.

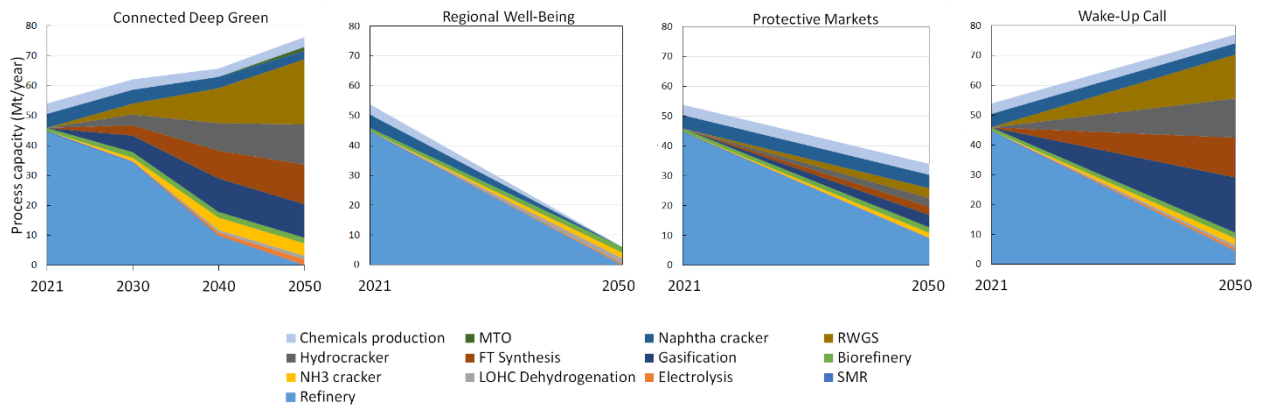
Als wordt verondersteld dat in de beschouwde scenario's de bronsterktes op vergelijkbaar niveau blijven, dan is een relevante invloedsfactor de procescapaciteit in Mt/jaar (doorzet) of productiecapaciteit in GW zoals beschreven in hoofdstuk 2. Uitgangspunt hierbij is dat een verdubbeling van de doorzet te vergelijken is met een verdubbeling van het aantal bronnen met dezelfde sterkte en positie. Dat zou een toename van 3 dB opleveren volgens

$$\Delta L_{DEN} = 10 \lg(Q_2/Q_1) \text{ of } \Delta L_{DEN} = 10 \lg(E_2/E_1)$$

waarbij L_{DEN} het gewogen jaargemiddelde geluidniveau bij een ontvanger is, (te vergelijken met L_{etm} , etmaalwaarde voor de representatieve bedrijfssituatie), Q de doorzet in Mt/jaar, E de energieopbrengst in GWh per jaar, de index 1 de uitgangssituatie is en index 2 de toekomstige situatie.

Over een heel gebied is dat minder eenduidig, maar gezien de onzekerheden rond vervanging, uitbreiding of verplaatsing van zowel installaties als woningen is deze benadering het meest aangegeven.

Met deze benadering volstaat het om de bovenstaande formule toe te passen op de doorzet of energieopbrengst in de verschillende scenario's. De ontwikkeling van de doorzet per scenario is weergegeven in Figuur 4.6, op basis van de modellen beschreven in hoofdstuk 2.



Figuur 4.6: Ontwikkeling procescapaciteit (doorzet) in Mt/jaar per scenario. De energieopbrengst geeft een vergelijkbaar beeld.

De belangrijkste scenario's voor geluid wegens groei zijn Connected Deep Green en Wake-up Call. Raffinage neemt voor alle scenario's substantieel af, en wordt vooral vervangen door RWGS, Hydrocracker, FT Synthesis en Gasification.

Ook transportbewegingen kunnen mogelijk voor toename van de geluidbelasting zorgen (schepen/weg/spoor).

In Tabel 4.1 staat de berekende verandering in het gemiddelde geluidniveau in de omgeving ten gevolge van doorzet en energieproductie voor de vier scenario's.

Tabel 4.1: Verandering in het gemiddelde omgevingsgeluidniveau in dB te gevolge van doorzet en energieproductie voor 4 scenario's.

Scenario	CDG	RWB	PM	WUC	
Delta dB	1,5	-9,6	-2,0	1,6	op basis van doorzet
Delta dB	1,4	-6,7	-2,1	1,1	op basis van energieproductie

Hierin is te zien dat voor de groeiscenario's Connected Deep Green en Wake-Up Call een beperkte toename in het gemiddelde geluidniveau tot 1,6 dB ontstaat, terwijl voor Protective Markets een afname van 2 dB ontstaat en voor Regional Well Being een grote afname tussen 6 en 10 dB mogelijk is. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze reducties alleen voor de beschouwde soorten installaties in de brandstoffen- en chemiecluster gelden en door andere bronnen kunnen worden overstemd, bijvoorbeeld door containeroverslag, metaalbewerking, verkeersgeluid of scheepvaart.

De effecten voor individuele situaties, zowel installaties als ontvangpunten, kunnen sterk verschillen en zijn alleen op maat te beschouwen op basis van specifieke bron- en overdrachtgegevens (afstand, obstakels o.a.). Ook geven deze prognoses geen uitspraak voor incidentele hinderbronnen. Te verwachten is dat de incidentele hinder daarvan in omvang niet verandert zolang het type componenten in de installaties vergelijkbaar blijft. Wel kan deze hinder toenemen met de komst van nieuwe woningbouw.

4.4 Conclusies, knelpunten en mitigatie

Conclusies

De gemiddelde geluidemissie van de industrieterreinen relevant voor de energietransitie in het havengebied is beschouwd als functie van de procescapaciteit in Mt/jaar per scenario.

Raffinage neemt voor alle scenario's substantieel af, en wordt vooral vervangen door de processen RWGS, Hydrocracker, FT Synthesis en Gasification. Deze processen hebben geluidbronnen vergelijkbaar met de bestaande processen in raffinaderijen, zoals compressoren, koeltorens en koelerbanken, gebouwuistraling en installaties, pompen, procesinstallaties en transformatoren.

Voor de verandering in de gemiddelde geluidemissie van de relevante industriegeluidbronnen wordt verwacht dat:

- voor de groeiscenario's Connected Deep Green en Wake-Up Call een beperkte toename in het gemiddelde geluidniveau tot 1,6 dB mogelijk is;
- voor scenario Protective Markets een afname van 2 dB mogelijk is;
- voor scenario Regional Well-Being een afname tussen 6 en 10 dB mogelijk is.

De potentiële veranderingen gelden voor het beschouwde industriegeluid van de brandstoffen- en chemiecluster en komen in de praktijk mogelijk niet tot uiting waar andere bronnen zoals containeroverslag, metaalbewerking, schepen, weg- en railverkeersgeluid een sterkere bijdrage hebben.

De effecten voor individuele situaties, zowel installaties als ontvangpunten, kunnen sterk verschillen.

Indien de energietransitie niet coherent is en nieuwe installaties worden geplaatst zonder bestaande installaties te vervangen, kan de toename mogelijk groter zijn dan hierboven genoemd.

De geluidemissie van incidentele geluidbronnen die klachten kunnen veroorzaken zal naar verwachting vergelijkbaar blijven in de groeiscenario's omdat de soorten componenten niet sterk veranderen. Hinder en klachten kunnen wel toenemen ten gevolge van nieuwe woningbouw. Zowel bij nieuwbouw en vervanging van installaties als bij nieuwe woningbouw zijn knelpunten mogelijk in de groeiscenario's. De verdeling van geluidruimte blijft hierbij een aandachtspunt. Technieken voor stiller ontwerp, geluidreductie en afschermdende maatregelen bieden voldoende mogelijkheden voor de aanpak. Voor het nestgeluid van schepen kan walstroom uitkomst bieden. De afbouw van kolenoverslag gaat gepaard met minder dieselmaterieel en transportbanden, waardoor effectief wat geluidruimte vrijkomt.

De komst van de Omgevingswet is een systeemverandering waardoor het geluidmanagement in het havengebied complexer wordt, vooral in de groeiscenario's. Het Programma Havengeluid en Omgeving kan dit in goede banen leiden.

Knelpunten en mitigatie

Op grond van het bovenstaande is in te zien dat de groeiscenario's mogelijk knelpunten voor de beheersing van geluid kunnen opleveren. Bij nieuwbouw en vervanging van installaties is dit naar verwachting beheersbaar door de combinatie van management van geluidruimte, vergunningen en inzet van beschikbare technologie en maatregelen.

Voor het management van geluidruimte en vergunningen zijn voor toekomstige installaties of woningbouw voorzien op lange termijn prognoses nodig om potentiële lokale knelpunten te identificeren en maatregelen te beoordelen. Daarnaast zijn beleidsafspraken tussen de betrokken partijen nodig omtrent geluidgrenswaarden en voorkeursoplossingen.

Bestaande technologie en maatregelen bieden al veel mogelijkheden. Daarbij is te denken aan:

bij de bron:

- stillere componenten en processen. Dit is het meest kosteneffectief en is mogelijk middels ontwerp, componentkeuze en specificaties van zowel proces, installatie en componenten. Ook de keuze van bedrijfstijden kan effect hebben op de geluidbelasting.
- bronafscherming. Dit kan zowel middels inkapseling of schermen rond componenten als rond (delen van) installaties.
- inplanting van installaties waar mogelijk. Dit kan nog meer geluid reduceren dan afscherming, maar is niet altijd uitvoerbaar (in geval van gevaarlijke gassen bijvoorbeeld).

Voor deze maatregelen is veel ondersteunende literatuur en productinformatie beschikbaar, o.a. ISO 15664:2001; Nierop, 1996; Baars, 2012 en Squadrone, 2023.

in de overdracht en bij de ontvanger:

- ligging, oriëntatie, afscherming en geluidisolatie van installaties en woningen.
- keuze van woningbouwlocaties.

Wegens de woningbouwdoelstellingen zijn lokale knelpunten te verwachten. Door met name bij nieuwbouw, vervanging of upgradings van installaties rekening te houden met bovenstaande punten zijn knelpunten mogelijk te voorkomen of te reduceren.

Indien de energietransitie 'incoherent' plaatsvindt, dat wil zeggen dat oude installaties blijven staan terwijl nieuwe worden gebouwd, kan de kwestie van beperkte geluidruimte lokaal een knelpunt worden. Dit is naar verwachting middels een meer coherente transitie, waarbij afbouw en nieuwbouw gecoördineerd plaatsvindt, te verminderen.

Voor transport en overslag van gas en vloeibare stoffen zijn buisleidingen, indien toepasbaar, stiller dan andere vervoersvormen. Voor de vier scenario's zijn prognoses van het

achterlandtransport beschikbaar voor de vervoersstromen per transportmode [Havenbedrijf, 2022]. Daarin is te zien dat transport via weg en rail in grote lijnen toeneemt, terwijl transport per buisleiding en per binnenvaart afneemt. Indien vervoer over de weg toeneemt ten gevolge van bepaalde scenario's is een mogelijk stiller alternatief transport via (stil) spoor.

Eerder werd verwacht dat het geluid van schepen en nestgeluid bij invoering van de Omgevingswet een wezenlijk knelpunt zou zijn [PZH, 2020], [PZH, 2022]. Omdat de geluidproductieplafonds voor industrielawaai bij eerste invoering mogen worden opgehoogd voor het geluid van afgemeerde schepen, is dit geen knelpunt voor de geluidruimte voor de industrie. Het ophogen van de geluidproductieplafonds kan echter wel een knelpunt worden voor de omgeving (bestaande woningen) en voor de woningbouwopgave.

Mogelijke mitigerende maatregelen zijn:

- aanvoer per schip uit de buurt van woongebieden, en resterend transport via leidingen;
- verdere toepassing van walstroom; vanaf 2030 zal de toepassing van walstroom worden verplicht op grond van EU-regelgeving [FuelEU Maritime regulation 2021], echter alleen voor passagiersschepen, containerschepen en schepen met geschikte aansluiting;
- toelatingsbeleid en regels voor geluid van schepen.

De uitfasering van verbrandingsmotoren en vervanging door elektrische aandrijving kan zowel voor mobiele machines als vrachtwagens de geluidbelasting helpen verlagen.

5 Omgevingsveiligheid

Dit hoofdstuk gaat in op de gevolgen van de energietransitie voor omgevingsveiligheid in het Haven Industrieel Complex (HIC). Door middel van een kwalitatieve risicobeoordeling zijn potentiële risiconiveaus bepaald van diverse energiedragers en technologieën voor 2030, 2040 en 2050.

5.1 Aannames en uitgangspunten

De risicobeoordeling is uitgevoerd op basis van de door opdrachtgever aangeleverde kentallen (zie hoofdstuk 2). De aannames en uitgangspunten voor omgevingsveiligheid zijn opgenomen in bijlage D van dit rapport. Om een inschatting te maken van potentiële risiconiveaus is gebruik gemaakt van zogeheten typische incidentscenario's. De aannames voor deze incidentscenario's zijn gebaseerd op maatgevende factoren voor de omgevingsveiligheid, met name het gevaar (gevaarlijke stof), kans (frequentie), effect (volume), procescondities (temperatuur, druk, aggregatie) en technologie (verlading, opslag, productie, conversie).

Voor het inschatten van de feitelijke impact van een incident op 'de omgeving' is informatie over de locatie (adres) en de omgeving nodig, zoals de aanwezigheid, kwetsbaarheid en aantal omwonenden. De locaties blijken vaak nog niet bekend, evenmin als details over procescondities, techniek en aanwezigheid en effectiviteit van veiligheidsvoorzieningen, zoals detectie, procesbeveiliging of blussystemen. In overleg met de opdrachtgever zijn daarvoor aannames gemaakt.

5.2 Inventarisatie status, methode en aanpak

De methodische verantwoording voor de kwalitatieve risicobeoordeling is beschreven in Bijlage C. De gekozen methode is de Hazard Identification methode (HAZID) met de 'Handreiking Generieke Risicobenadering' van de Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen (PGS). De selectie van typische incidentscenario's is gemaakt met behulp van literatuur (Markowski et al., 2016). De resultaten zijn bepaald door middel van 'relative ranking' en geplot in een risicodiagram, zoals beschreven in bijlage E.

De aanpak voor de kwalitatieve risicobeoordeling van typische incidentscenario's is weergegeven in Tabel 5.1 met daarin achtereenvolgens de verwachte (gevaarlijke) stoffen en technieken, kernactiviteit (verlading, opslag, proces), asset (grootste insluitsysteem), basisoorzaak (initiële gebeurtenis), kans op falen (cf. Handboek Risicoberekeningen) en effect (1% letaliteit).

Om de resultaten van de risicobeoordeling te toetsen is als laatste stap van het onderzoeksproces een evaluatie uitgevoerd met experts op het gebied van omgevingsveiligheid. Ook zijn de uitkomsten van dit onderzoek vergeleken met die van andere (recente) onderzoeken. In de evaluatie zijn de resultaten van de risicobeoordeling bevestigd. Daarbij wordt opgemerkt dat diverse partijen bezig zijn met het ontwikkelen en inventariseren van kennis, maar die kan vaak om uiteenlopende redenen (nog) niet gedeeld worden. Ook blijkt dat er nog veel onzekerheden zijn en zaken nog (door)ontwikkeld moeten worden, zoals aandachtsgebieden, veiligheidsafstanden, veiligheidszones en rekenvoorschriften voor grootschalige opslag van (koude, vloeibare) ammoniak en waterstof.

Stof en Technologie	Kernactiviteit [opslag, proces]	Asset [inluitsysteem]	Initiële gebeurtenis [basisoorzaak]	Kans [HRB]	Effect [1% let.]
gH2	Verlading	Laadarm	Breuk laadarm	3,0.E-08	Explosie 0,1 bar
	Opslag	LH2 opslag	Falen opslag	5,0.E-07	
	Export	Leiding	Breuk leiding	1,0E-06	
LH2	...	...	...	...	...
LOHC	...	...	...	...	...
NH3	...	...	...	...	...
LNG	...	...	...	...	...
HF	...	...	...	...	...
Technologie 1	...	...	...	...	...
Technologie ...	...	...	...	...	...

Tabel 5.1 Opzet voor definitie van incidentscenario's

Het effect van een incident met gevaarlijke stoffen is warmtestraling (als gevolg van brand), overdruk (als gevolg van explosie) of een toxische wolk (als gevolg van vrijkomen van een toxische stof). Omdat het effect van warmtestraling relatief beperkt is voor omgevingsveiligheid is in dit onderzoek sec uitgegaan van explosieve en toxische stoffen, met name gasvormig waterstof (gH2), vloeibare koude waterstof (LH2), vloeibare organische waterstofdrager (LOHC), vloeibare koude ammoniak (NH3), LNG en waterstoffluoride (HF).

5.3 Inschatting van potentiële risiconiveaus op basis van kentallen

De uitkomsten van de kwalitatieve risicobeoordeling (de inschatting van potentiële risiconiveaus op basis van kentallen) zijn weergegeven in hoofdstuk 2. De detailresultaten per HIC-scenario staan in Bijlage F.

De getoonde figuren geven inzicht in de toe- en/of afname van het potentiële risiconiveau in 2021, 2030, 2040 en 2050 op basis van de verwachte capaciteiten in de vier HbR-scenario's. De conclusies op basis van deze uitkomsten zijn beschreven in paragraaf 5.4.

	Incidentscenario			Uitgangspunt	Risicofactoren		Potentieel risiconiveau Laag (groen) - Gemiddeld (geel) - Hoog (licht oranje) - Zeer hoog (donker oranje)															
	Gevaarlijke stof en technologie			Proces	Typisch incidentscenario		Connected Deep Green				Regional Well-Being				Protective Markets				Wake-Up Call			
	Nr.	Stof	Positie in keten	Asset voor transfer, opslag, proces, export	Initiële gebeurtenis	Loss of Containment	2021	2030	2040	2050	2021	2030	2040	2050	2021	2030	2040	2050	2021	2030	2040	2050
	[afkorting]	[opslag, proces]	[inluitsysteem]	[uitgangspunt]	[top-event]																	
Gevaarlijke stof	1		total capacity (proces)	LH2 carrier - laadarm	breuk arm 2" leiding 2kg/s	uitstroming LH2																
	2	gH2	opslag	LH2 Sphere - extra large (future)	instantaan bol 1.000 ton	uitstroming LH2																
	3		export (proces)	gH2 buisleiding - tie-in/laadarm	leidingbreuk 3" waterstof-leiding	uitstroming gH2																
	4		total capacity (proces)	LH2 carrier - laadarm	breuk arm 2"leiding 2kg/s	uitstroming LH2																
	5	LH2	opslag	LH2 Sphere - extra extra large (future)	instantaan bol 3.600 ton	uitstroming LH2																
	6		export (proces)	LH2 tank truck - laadarm	4 ton 3barg, lek grootste aansl 2"	uitstroming LH2/gH2																
	7		total capacity (proces)	LOHC carrier - laadarm	breuk slang, geen bund, falen ingreep	uitstroming LOHC																
	8	LOHC	opslag	Storage tank - medium	aanname bund	plas in tankput																
	9		export (proces)	LOHC carrier - laadarm	breuk slang, geen bund, falen ingreep	uitstroming LOC																
	10		total capacity (proces)	NH3 carrier - laadarm	breuk arm, geen ingreep	uitstroming NH3																
	11	e-ammonia	opslag	Storage tank - large	instantaan falen	plas in tankput																
	12		export (proces)	Railway spoorketelwagen - laadarm	breuk arm, geen ingreep	uitstroming NH3																
	13c		total capacity (proces)	LNG carrier - laadarm	breuk arm, ingreep backflow	uitstroming LNG																
13o	LNG	opslag	Storage tank - large	instantaan tank, max plas 40.000m2	plas in tankput																	
13e		export (proces)	LNG buisleiding - tie-in/laadarm	leidingbreuk 30" leiding 80 bar	uitstroming natural gas																	
Technologie	13	CH4-gH2	SMR	SMR/ATR (process reactor - small)	breuk H2 compressor	uitstroming gH2																
	14	gH2	electrolyse	Electrolyser (buffer tank)	instantaan buffer 1 ton 500 bar	uitstroming gH2																
	15	LOHC	dehydrogenation	Process reactor - medium	plas orde 100 meter straal	uitstroming LOHC																
	16	NH3	NH3 cracker	NH3 procesleiding - opslag -> booster -> reactor	leidingbreuk 4" NH3-leiding	uitstroming NH3																
	17	oil	refinery	Refinery (storage tank - large)	10 minuten scenario	plas in tankput																
	18	vegoil	biorefinery	Biorefinery (storage tank - large)	aanname bund	plas in tankput																
	19	LH2	gasification	Gasification (heat exchanger, LNG open rack vaporiser)	NR	NR																
	20	biomass	FT syntheses	FT synthesis (process reactor - small)	aanname bund	uitstroming brandbare stof																
	21	fuels	hydrocracker	Hydrocracker (process reactor - small)	aanname bund	uitstroming brandbare stof																
	22	CO2	RWGS	CO2 opslag	NR	NR																
	23	naphta	naphta cracker	Process reactor - medium	aanname bund	uitstroming brandbare stof																
	24	methanol	MTO	MTO (process reactor - small)	aanname bund	plas in tankput																
25	chemicals	chemicals production	Process reactor - medium	aanname bund	uitstroming HF																	



Figuur 5.1: (Nieuwe) Risicobronnen met de inschatting van de potentiële risiconiveaus

In diverse velden staat "nb" (niet bekend), wat betekent dat voor die situaties geen data beschikbaar is. Dat betekent niet dat dat er geen potentiële risiconiveaus zijn, maar dat het risiconiveau nog niet bekend is. Mogelijkheden om deze velden te vullen zijn benoemd in Hoofdstuk 6.

De feitelijke risiconiveaus zijn pas bekend als technische details, locatie (adres) en omgevingsparameters bekend zijn, zoals aanwezigheid van (woon)bebouwing. In Figuur 5.2 zijn aangekondigde locaties van NH₃, LH₂ en LOHC terminals weergegeven. In Figuur 5.3 zijn locaties weergegeven van o.a. waterstofproductie, import terminals en infrastructuur. De locaties van ammoniakkraker(s) zijn nog niet bekend.



Figuur 5.2: Locaties van aangekondigde waterstofterminals [Port of Rotterdam, Stoelinga, 23 augustus 2023]



Figuur 5.3: Locaties van verschillende waterstofprojecten [Port of Rotterdam, Stoelinga, 23 augustus 2023]

5.4 Conclusies, knelpunten en mitigatie

Conclusies

Risico's van waterstof

De risiconiveaus van waterstof zijn ingeschat als gemiddeld tot (zeer) hoog in alle HIC-scenario's. De reden daarvoor is dat waterstof zeer brandbaar is en gemakkelijk kan ontbranden of exploderen bij hogere concentraties. Waterstof heeft een groot ontvlambaarheidsbereik en een lage ontstekingsenergie. Dit betekent dat een kleine vonk of een statische ontlading al voldoende kan zijn om waterstof te laten ontbranden. Bovendien heeft waterstof een hoge vlamtemperatuur en een hoge verbrandingssnelheid. Dit kan leiden tot snelle en intense branden of explosies die veel schade kunnen aanrichten aan mensen, gebouwen en infrastructuur.

Risico's van ammoniak

De risiconiveaus van ammoniak zijn ingeschat als gemiddeld tot hoog in alle HIC-scenario's. Ammoniak is een zeer giftige stof die ernstige schade kan veroorzaken aan de ogen, huid, luchtwegen en inwendige organen. Bij hoge concentraties kan ammoniak dodelijk zijn. Ammoniak kan vrijkomen bij lekkages of incidenten bij verlading, opslag of conversie. Ammoniak kan ook ontbranden of exploderen bij hogere concentraties en temperaturen, maar in dit onderzoek is alleen uitgegaan van incidentscenario's voor toxiciteit.

Risico's van LOHC's

De risiconiveaus van LOHC's zijn als laag tot gemiddeld ingeschat. De reden daarvoor is dat – alhoewel er LOHC's zijn met toxische eigenschappen – in dit onderzoek is uitgegaan van een brandbare vloeistof die niet direct ontsteekt. Toxische LOHC's zijn in dit onderzoek niet meegenomen, omdat die niet op korte termijn worden verwacht, maar moeten wel een aandachtspunt blijven. Zo is benzyltolueen bijvoorbeeld ingedeeld als potentiële zeer zorgwekkende stof (ZZS), wat een nadeel kan worden bij opschaling en brede toepassing. Ook N-ethylcarbazol is toxisch, maar deze stof wordt steeds minder genoemd als LOHC met toekomst. Ten opzichte van waterstof en ammoniak zijn de LOHC's op het gebied van omgevingsveiligheid dus gunstiger, al kan het ZZS-stempel afbreuk doen. Voor LOHC's die toxisch zijn geldt dat deze dragers doorgaans minder toxisch zijn dan andere dragers, zoals ammoniak, niet explosief zijn en minder brandbaar zijn dan waterstof.

Risico's van biomassa

De risiconiveaus met betrekking tot biomassa zijn (doorgaans) als laag tot hoog ingeschat (Connected Deep Green vanaf 2040 en Wake-up Call 2050). In dit onderzoek is uitgegaan van warmtestraling als gevolg van een brandbare vloeistof die is gemaakt uit biomassa en risico's die vergelijkbaar zijn met die van andere brandbare vloeistoffen, zoals benzine, diesel of ethanol. Brandbare vloeistoffen kunnen ontbranden of exploderen bij contact met een ontstekingsbron, zoals een vonk of vlam. Dit kan leiden tot brand, explosie, rookontwikkeling en schade aan mensen, gebouwen en infrastructuur. Het brand- en explosiegevaar hangt af van de eigenschappen van de vloeistof, zoals het vlampunt, dampdruk, ontvlambaarheidsgrenzen en verbrandingswarmte.

Risico's van LNG

De veiligheidsrisico's van LNG zijn brand- en explosiegevaar. De risiconiveaus van LNG zijn ingeschat als gemiddeld tot (zeer) hoog, met name in Connected Deep Green tot 2040. In de andere HIC-scenario's zijn geen risiconiveaus vanaf 2021, omdat LNG daarna is uitgefaseerd.

Vergelijking met huidige risiconiveaus

De energietransitie brengt veiligheidsrisico's met zich mee die verschillen van die van de huidige (chemische) industrie. De energietransitie introduceert nieuwe technologieën en een andere schaalgrootte, met name voor waterstof en ammoniak, die – net als fossiele stoffen – kunnen

leiden tot ongevallen met brand, explosie of vergiftiging. Een vergelijking tussen de veiligheidsrisico's van de huidige (chemische) industrie en die van de energietransitie is niet eenvoudig te maken. Dit komt o.a. omdat er nog veel onzekerheden en kennislacunes zijn over de effecten en gevolgen van de nieuwe technologieën en processen. Bestaande normen voor het maximaal toelaatbare veiligheidsrisico, zoals die bepaald zijn voor omgevingsveiligheid, gelden onverminderd voor waterstof. Waar zo'n norm nog ontbreekt geldt als maatstaf dat een activiteit minstens even veilig moet zijn als bij de equivalente op fossiele energiebronnen gebaseerde technologie. Voor waterstof is dat in de meeste gevallen aardgas als referentienorm (RVO, 2022). In dit onderzoek is voor brand- en explosierisico's vergeleken met de risico's van LNG. Voor vergelijking van de risico's van toxische stoffen is een beoordeling gemaakt voor (potentiële) risiconiveaus van waterstoffluoride (LT3)¹⁰ in incidentscenario nr. 25.

De conclusie voor brand- en explosierisico's is dat deze weliswaar zullen reduceren, zoals door het uitfaseren van fossiele stoffen, maar dat de komst van grote hoeveelheden waterstof daarentegen zal leiden tot nieuwe (kern)activiteiten met brand- en explosiegevaar, waarvan de (potentiële) risiconiveaus vergelijkbaar zijn met die van LNG.

De conclusie voor risico's van toxische stoffen is dat deze weliswaar zullen reduceren, zoals door het verminderen van gebruik van fossiele (grond)stoffen, maar dat de komst van grote hoeveelheden ammoniak daarentegen zal leiden tot nieuwe (kern)activiteiten met gevaar voor toxische wolken, waarvan de (potentiële) risiconiveaus vergelijkbaar zijn met die van HF.

Hoogste risiconiveaus per HbR-scenario

- Connected Deep Green:
 - Waterstof: (zeer) hoog risiconiveau bij verlading en opslag. De risiconiveaus worden bepaald door de capaciteit, met name door de combinatie van effect (ramp, C4) en kans (enigszins waarschijnlijk, F3).
 - Ammoniak: hoog risiconiveau bij verlading en opslag vanaf 2040. De risiconiveaus worden met name bepaald door het effect (catastrofaal, C5). De kans is zeer onwaarschijnlijk (F1). Voor kraken geldt ook een potentieel hoog risiconiveau door de combinatie van effect (zeer ernstig, C3) en kans (enigszins waarschijnlijk, F3).
 - LNG (fuel): hoog risiconiveau bij verlading tot 2040 (waarschijnlijk F4, ernstig C2) en zeer hoog risiconiveau bij export tot 2040 (enigszins waarschijnlijk F3, ramp C4). Daarna geen risico, omdat LNG dan is uitgefaseerd.
 - Biomassa (fuel): hoog risiconiveau bij proces-falen vanaf 2040 (waarschijnlijk F4, ernstig C2).
 - HF (chemie): hoog risiconiveau bij proces-falen tot en met 2050 (onwaarschijnlijk F2, ramp C4).
- Regional Well Being:
 - Waterstof: (zeer) hoog risiconiveau bij verlading en opslag. De risiconiveaus worden bepaald door de capaciteit, met name door de combinatie van effect (ramp, C4) en kans (enigszins waarschijnlijk, F3).
 - Ammoniak: hoog risiconiveau bij verlading en opslag vanaf 2040. De risiconiveaus worden met name bepaald door het effect (catastrofaal, C5). De kans is zeer onwaarschijnlijk (F1).
 - LNG (fuel): zeer hoog risiconiveau bij export in het referentiejaar 2021 (onwaarschijnlijk F3, ramp C4). Daarna geen risico, omdat LNG dan is uitgefaseerd.

¹⁰ Voor het berekenen van de risico's van transportroutes moeten stoffen worden ingedeeld in groepen. Dit gebeurt op grond van de klasse-indeling van het ADR en het zogeheten S3B-stoffenbestand met records met een uniek VN nummer, Gevi code, S3 stofcategorie en stofnaam. De indeling van de gevaarlijke stoffen in stofcategorieën bij methodiek II (weg, water) is o.a. gebaseerd op de aggregatietoestand (L = liquid, G = gas, giftigheid (T = toxic) van de stof.

- Protective Markets:
 - Waterstof: (zeer) hoog risiconiveau bij verlading en opslag. De risiconiveaus worden bepaald door de capaciteit, met name door de combinatie van effect (ramp, C4) en kans (enigszins waarschijnlijk, F3).
 - Ammoniak: hoog risiconiveau bij verlading en opslag vanaf 2050. De risiconiveaus worden met name bepaald door het effect (catastrofaal, C5). De kans is zeer onwaarschijnlijk (F1).
 - LNG (fuel): zeer hoog risiconiveau bij export in het referentiejaar 2021 (F3, C4). Daarna geen risico, omdat LNG dan is uitgefaseerd.
 - HF (chemie): hoog risiconiveau bij proces-falen tot en met 2050 (F2, C4).
- Wake-up Call:
 - Waterstof: (zeer) hoog risiconiveau bij verlading en opslag. De risiconiveaus worden bepaald door de capaciteit, met name door de combinatie van effect (ramp, C4) en kans (enigszins waarschijnlijk, F3).
 - Ammoniak: hoog risiconiveau bij verlading (vanaf 2040) en opslag (vanaf 2050). De risiconiveaus worden met name bepaald door het effect (catastrofaal, C5). De kans is zeer onwaarschijnlijk (F1). Voor kraken geldt vanaf 2050 een hoog risiconiveau door de combinatie van effect (ernstig, C2) en kans (waarschijnlijk, F4).
 - LNG (fuel): zeer hoog risiconiveau bij export in het referentiejaar 2021 (onwaarschijnlijk F3, ramp C4). Daarna geen risico, omdat LNG dan is uitgefaseerd.
 - Biomassa: hoog risiconiveau bij proces-falen vanaf 2050 (F4, C2).
 - HF (chemie): alleen hoog risiconiveau bij proces-falen vanaf 2050 (F2, C4).

Knelpunten

De grootste knelpunten in alle HbR scenario's, namelijk kernactiviteiten met potentieel (zeer) hoge risiconiveaus, blijken met name grootschalige verlading, opslag en conversie van waterstof, en verlading, opslag en kraken van ammoniak. Voor Connected Deep Green geldt dat LNG een mogelijk knelpunt is tot 2040. Voor waterstof en LNG geldt dat het gaat om zowel het aantal systemen (relatief hoge kans) als de mogelijke impact (relatief hoog effect). Bij ammoniak ontstaan knelpunten vooral vanwege de grootte van het effect. Dit zal een wissel trekken op zowel de locatiekeuze van kernactiviteiten in het HIC als op stedelijke ontwikkeling in de buurt van die activiteiten en de bijbehorende modaliteiten, zoals weg, water, spoor en buisleidingen, vanwege de potentiële effecten van een incident met waterstof en ammoniak.

Een ander knelpunt kan het beste worden samengevat als 'omgaan met onzekerheden'. De voor omgevingsveiligheid geraadpleegde experts (DCMR, gemeente Rotterdam, Deltalinqs, Gunvor en Air Products) geven aan dat er nog veel onzekerheden zijn waarmee rekening moet worden gehouden bij duiding van de resultaten van dit onderzoek vanwege de aannames. Denk bijvoorbeeld aan beschikbaarheid van data (volumestromen), locatiekeuze, beveiligingssystemen en rekenmodellen, niet in de laatste plaats omdat bepaalde technieken (zoals voor grootschalige opslag van waterstof en ammoniak) wereldwijd nog niet zijn toegepast.

Mitigatie

In deze paragraaf zijn opties beschreven om risico's te beheersen of mitigeren vanuit perspectief van vergunningverlening (incl. Omgevingswet), locatiekeuze, systemische en technische risicomitigatie.

Vergunningverlening (Omgevingswet)

Vergunningverlening, toezicht en handhaving (VTH) zijn belangrijke instrumenten om de doelen van de Omgevingswet te bereiken, zoals het waarborgen van een veilige en gezonde leefomgeving door het verlenen van vergunningen die voldoen aan de landelijke milieuregels, de Rotterdamse omgevingsvisie en koersnota Omgevingsveiligheid en het omgevingsplan. De Omgevingswet is een nieuwe wet die alles regelt voor de ruimte waarin we wonen en werken. De Omgevingswet treedt in werking op 1 januari 2024. Eén van de onderwerpen die de Omgevingswet regelt, is de omgevingsveiligheid. Dit gaat over de bescherming van mens en milieu tegen ongevallen met

gevaarlijke stoffen, zoals waterstof, ammoniak en LNG. De Omgevingswet biedt kaders waarmee een gebied zo ingericht kan worden dat mensen die er wonen of werken voldoende zijn beschermd bij ongevallen met deze stoffen. De eisen van de Omgevingswet voor de omgevingsveiligheid hangen af van het soort activiteit en het gebied waar kernactiviteiten plaatsvinden, zoals stationaire activiteiten (op een vaste locatie, zoals opslag of productie), transport (vervoer van gevaarlijke stoffen over weg, water, spoor) en buisleidingen (aanleg, beheer of wijzigen van buisleidingen voor transport van gevaarlijke stoffen). Voor elke soort kernactiviteit gelden andere regels en procedures. Zo moet er voor stationaire activiteiten een omgevingsvergunning worden aangevraagd, terwijl voor transportactiviteiten doorgaans een melding of een registratie volstaat.

De Omgevingswet geeft de mogelijkheid om in het omgevingsplan regels, eisen of maatregelen op te nemen voor aandachtsgebieden, veiligheidsafstanden en veiligheidszones¹¹:

1. Aandachtsgebieden: gebieden rondom activiteiten waarbinnen aandacht nodig is voor de veiligheid van mens en milieu. De omvang wordt bepaald door het risico op ongevallen met gevaarlijke stoffen.
2. Veiligheidsafstanden: afstanden tussen activiteiten en kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten, zoals woningen of ziekenhuizen. Deze afstanden moeten voorkomen dat mensen of milieu worden blootgesteld aan schadelijke effecten van een ongeval met gevaarlijke stoffen. Het voorschrijven van veiligheidsafstanden wordt gezien als iets waarmee terughoudend omgegaan dient te worden, omdat afstanden weliswaar een effectief middel zijn, maar ze tegelijkertijd ruimte wegnemen voor andere maatschappelijk wenselijke activiteiten (RVO, 2022).
3. Veiligheidszones: zones rondom activiteiten waarbinnen geen nieuwe kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten mogen worden gebouwd.

Voor elke soort gebied gelden andere eisen en maatregelen. Zo moet er voor aandachtsgebieden een verantwoording van de omgevingsveiligheid worden opgesteld, waarin wordt aangegeven hoe de veiligheid wordt gewaarborgd. Voor veiligheidsafstanden en -zones geldt dat rekening moet worden gehouden met de toegankelijkheid van dat gebied voor hulpdiensten, mogelijkheden voor rampbestrijding en schuilmogelijkheden in de omgeving.

Locatiekeuze

Alhoewel de exacte locaties van verschillende kernactiviteiten vaak nog niet exact bekend zijn, is de verwachting dat verreweg de meeste kernactiviteiten binnen de veiligheidscontouren zullen plaatsvinden. De delen van de haven die geen veiligheidscontour hebben, zoals Waalhaven-Oost, zijn niet bestemd voor grootschalige industrie. Uiteraard komt verkeer van en naar het achterland wel buiten de veiligheidscontouren. Ook is de verwachting dat de (zee)scheepvaart over zal gaan op nieuwe brandstoffen, zoals methanol en ammoniak. Het bunkeren van brandstoffen zal waarschijnlijk buiten de veiligheidscontouren plaatsvinden, waarbij geldt dat dan voldaan moet worden aan het basisveiligheidsniveau.

Systemische risicoreductie

Om risico's van gevaarlijke stoffen, zoals waterstof, ammoniak en LNG te beheersen is een effectief veiligheidsbeheersysteem (VBS) essentieel. Er zijn verschillende relevante wetten, normen en standaarden, zoals het Besluit Risico's Zware Ongevallen, Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi), Besluit externe veiligheid transportroutes (Bevt) en PGS-richtlijnen. Een VBS moet minimaal de elementen bevatten van een preventiebeleid zware ongevallen (PBZO), organisatiestructuur, identificatie van gevaren en beoordeling van risico's, toezicht op de uitvoering, wijzigingen, noodsituaties en toezicht op de prestaties. Een VBS moet worden

¹¹ De veiligheidscontour in de haven van Rotterdam is niet hetzelfde als een veiligheidszone in de zin van de Omgevingswet. Een veiligheidscontour is een grens die aangeeft waarbinnen geen nieuwe kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten mogen worden gebouwd of gevestigd, om te voorkomen dat het groepsrisico toeneemt. Een veiligheidscontour is gebaseerd op het provinciaal externe veiligheidsbeleid en wordt vastgesteld door Gedeputeerde Staten.

gedocumenteerd, geïmplementeerd, onderhouden en voortdurend verbeterd en kan een rol spelen bij de locatiekeuze en het aanvragen van een vergunning.

Technische risicoreductie

Er zijn verschillende technieken om het risico op een ongeval met gevaarlijke stoffen te reduceren. Sommige technieken hebben betrekking op de preventie van het ontstaan van ongevallen, andere op de beperking van de gevolgen van een ongeval. Zo kan bijvoorbeeld worden gedacht aan Safe-by-Design in de ontwerpfase, preventieve maatregelen, lekdetectie, explosiebeveiliging, veiligheidsafstanden of brandbestrijdingsmiddelen. Het beperken van de frequentie en/of procescondities bij verlading kan bijvoorbeeld door gebruik van een kleinere opslag- of insluit-systeem, toepassen van inbloksystemen en/of verminderen van de druk, flow of capaciteit. Tot slot kan worden gedacht aan maatregelen om omwonenden en hulpdiensten te informeren en instrueren over de mogelijke risico's en maatregelen bij een ongeval met gevaarlijke stoffen, zoals door voorlichtingscampagnes, waarschuwingssystemen, evacuatieplannen of oefeningen.

6 Conclusies en mogelijkheden voor vervolgonderzoek

Door de vele onzekerheden in de transitie, maar ook ten aanzien van (de snelheid van) technologische ontwikkelingen en de vele gemaakte aannames schetsen de resultaten van deze studie slechts een indicatief beeld dat qua scope beperkt is. Binnen dat kader laten de resultaten van de studie zien dat, zonder mitigerende maatregelen, er in verschillende toekomstbeelden een stijging van de emissie van stikstofoxiden en/of geluid en een verslechtering van omgevingsveiligheid mogelijk is ten opzichte van de huidige situatie. Echter, er zijn diverse mitigerende maatregelen mogelijk om een eventuele stijging te beperken of zelfs om te buigen naar een daling.

Daarnaast is het belangrijk om te vermelden dat de wereld in beweging is en sommige ontwikkelingen inmiddels een andere kant op gaan dan destijds weergegeven in de scenario's van het Havenbedrijf. De energietransitie zal op nationaal niveau waarschijnlijk leiden tot een duidelijke reductie van de emissies van stikstofoxiden (Planbureau voor de Leefomgeving, 2023). Deze op landelijke ontwikkelingen gebaseerde prognoses sluiten niet uit dat lokaal een andere (stijgende) emissieontwikkeling wordt berekend, ten gevolge van nieuwe activiteiten in specifieke deelsectoren (zoals in deze studie). Tevens zal de energietransitie in de sectoren die niet in scope zijn mogelijk anders uitpakken, waardoor het voor de Haven Rotterdam nog steeds in totaal kan uitkomen op een daling van de hier onderzochte effecten.

In Tabel 6.1 worden de belangrijkste conclusies per thema integraal gepresenteerd zodat de uitkomsten voor de verschillende scenario's tussen de thema's vergeleken kunnen worden.

Tabel 6.1: Belangrijkste conclusies per thema en scenario voor het jaar 2050

Thema	Stikstof ¹²	Geluid	Omgevingsveiligheid ^{13 14 15}
Scenario			
<i>Connected Deep Green</i>	Sterke stijging emissies zonder aanvullende maatregelen; +29% tot -78%, afhankelijk van extra maatregelenpakket	Beperkte toename in gemiddelde geluidniveau tot 1,6 dB mogelijk, maar beheersbaar door management van geluidruimte, vergunningen, beschikbare technologie en maatregelen	Vergelijkbaar potentieel (zeer) hoge risiconiveaus voor op- en overslag van waterstof, e-ammonia, export van LNG tot 2040 en biomassa vanaf 2040.. Beheersbaar door (extra) technische en organisatorische maatregelen
<i>Regional Well-Being</i>	Emissieniveau vergelijkbaar met huidige situatie; -92% tot -100%, afhankelijk van extra maatregelenpakket	Mogelijk afname van de gemiddelde geluidemissie van brandstoffencuster van 6-10 dB	Vergelijkbaar potentieel (zeer) hoge risiconiveaus voor op- en overslag van waterstof en e-ammonia. Beheersbaar door (extra) technische en organisatorische maatregelen. Risico's van LNG verdwijnen t.o.v. 2021
<i>Protective Markets</i>	Mogelijke stijging emissie zonder aanvullende maatregelen; -53% tot -92%, afhankelijk van extra maatregelenpakket	Mogelijk afname van de gemiddelde geluidemissie van brandstoffencuster van 2dB	Vergelijkbaar potentieel (zeer) hoge risiconiveaus voor op- en overslag van waterstof en overslag van e-ammonia vanaf 2050. Beheersbaar door (extra) technische en organisatorische maatregelen. Risico's van LNG verdwijnen t.o.v. 2021
<i>Wake Up Call</i>	Sterke stijging tenzij vergaande emissiereductie maatregelen genomen worden; 72% tot -68%, afhankelijk van extra maatregelenpakket	Beperkte toename in gemiddelde geluidniveau tot 1,6 dB mogelijk, maar beheersbaar door management van geluidruimte, vergunningen, beschikbare technologie en maatregelen	Vergelijkbaar potentieel (zeer) hoge risiconiveaus voor op- en overslag van waterstof en e-ammonia (overslag vanaf 2040, opslag en kraken vanaf 2050) en biomassa vanaf 2050. Beheersbaar door (extra) technische en organisatorische maatregelen. Risico's van LNG verdwijnen t.o.v. 2021

Hierna zullen per thema deze samenvattende conclusies worden geduid en aanbevelingen voor verder onderzoek worden gedaan.

¹² Basisjaar 2020 versus scenario-resultaat 2050

¹³ Het risico is bepaald en uitgedrukt als combinatie van de gevolgen van een (ongewenste) gebeurtenis en de waarschijnlijkheid dat die zich voordoet. Specifieke conclusies over gevolgen (effect) en de waarschijnlijkheid daarvan (kans) staan hieronder en in hoofdstuk 5.

¹⁴ Bestaande normen voor het maximaal toelaatbare veiligheidsrisico, zoals bepaald voor omgevingsveiligheid, gelden onverminderd voor waterstof. Waar zo'n norm nog ontbreekt geldt als maatstaf dat een activiteit minstens even veilig moet zijn als bij de equivalente op fossiele energiebronnen gebaseerde technologie, voor waterstof is dat in de meeste gevallen aardgas (= referentienorm) [bron: RVO, 2022 - Generiek richtsnoer waterstofveiligheid, eerste versie]. In dit onderzoek is vergeleken met de risiconiveaus van LNG.

¹⁵ Naast de al in de tabel genoemde risiconiveaus zijn die van LOHC's als laag tot gemiddeld ingeschat omdat in dit onderzoek is uitgegaan van een brandbare vloeistof. Voor de risiconiveaus van biomassa is uitgegaan van warmtestraling als gevolg van een brandbare vloeistof.

Stikstof

De analyse van de verschillende scenario's laat zien dat de stikstofemissie van het brandstoffencluster in de toekomst zonder reducerende maatregelen kan stijgen ten opzichte van het huidige niveau:

- Alleen in het Regional Well-Being scenario kunnen zonder additionele emissiebeperking de emissies in 2050 ongeveer op het huidige niveau blijven.
- Additionele maatregelen, zoals vergaande elektrificatie, DeNOx of H2 verbranding met pure zuurstof zijn nodig om de emissies volgens de scenario's Connected Deep Green en Protective Markets in 2050 respectievelijk niet te sterk te laten stijgen of te laten dalen.
- Voor het scenario Wake-Up Call is een combinatie van verschillende reducerende maatregelen noodzakelijk om de emissies in 2050 te laten dalen tot onder het huidige niveau.

Bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op onzekere emissiefactoren (op basis van de huidige gerealiseerde emissies) en gelden alleen voor de emissies van het brandstoffen- en chemiecluster. Met name toekomstige emissies van grootschalige vergassingsinstallaties in combinatie met de gerelateerde procesinstallaties die in hoge mate de uitkomsten van deze studie bepalen, zijn nog onvoldoende bekend. De resultaten moesten worden gebaseerd op emissiecijfers van een oudere installatie die naar verwachting slechts beperkt representatief is voor nieuw te ontwerpen vergassingsinstallaties. Het verdient daarom aanbeveling in de (milieuhygiënische) beoordeling van nieuwe initiatieven nadrukkelijk aandacht te besteden aan de geprognostiseerde NOx emissie.

De inpasbaarheid van het nieuwe brandstoffencluster in het Rijnmondgebied dient nadrukkelijk in samenhang met de te verwachten emissiereducties in de andere sectoren (die niet in deze studie zijn meegenomen) te worden beoordeeld. Hierbij is een nadere analyse van de emissie ontwikkeling van deze ontbrekende sectoren nodig.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Wanneer de plannen met betrekking tot de grootschalige vergassingsinstallatie concreet worden, kunnen de emissieschattingen zoals in deze studie gehanteerd, worden herzien op basis van de toegepaste technologie en performances. Daarnaast is het dan ook mogelijk meer inzicht te verschaffen in de toekomstige emissies in het gebied met inachtneming van de ontwikkelingen in de relevante sectoren die in deze studie buiten scope lagen (zoals verkeer en vervoer en de energie sector).

Geluid

De gemiddelde geluidemissie van de industrieterreinen binnen het brandstoffen en chemiecluster in het havengebied is beschouwd als functie van de procescapaciteit in Mt/jaar per scenario. Raffinage neemt voor alle scenario's substantieel af, en wordt vooral vervangen door de processen RWGS, Hydrocracker, FT Synthesis en Gasification. Deze processen hebben geluidbronnen vergelijkbaar met de bestaande processen in raffinaderijen, zoals compressoren, koeltorens en koelerbanken, gebouwuistraling en installaties, pompen, procesinstallaties en transformatoren.

Voor de verandering in de gemiddelde geluidemissie van de relevante industriegeluidbronnen wordt verwacht dat:

- voor de groeiscenario's Connected Deep Green en Wake-up Call een beperkte toename in het gemiddelde geluidniveau tot 1,6 dB mogelijk is;
- voor scenario Protective Markets een afname van 2 dB mogelijk is;
- voor scenario Regional Well-being een afname tussen 6 en 10 dB mogelijk is.

Deze veranderingen in de gemiddelde geluidemissie van de relevante industriegeluidbronnen komen in de praktijk mogelijk niet tot uiting in het gecumuleerde geluid waar andere bronnen zoals containeroverslag, metaalbewerking, schepen, weg- en railverkeersgeluid een sterkere bijdrage

hebben. Daarnaast kunnen de effecten voor individuele situaties, zowel installaties als ontvangpunten, sterk verschillen.

Indien de energietransitie niet coherent is en nieuwe installaties worden geplaatst zonder bestaande installaties te vervangen, kan de toename mogelijk groter zijn dan hierboven genoemd.

De geluidemissie van incidentele geluidbronnen die klachten kunnen veroorzaken zal naar verwachting vergelijkbaar blijven in de groeiscenario's.

Zowel bij nieuwbouw en vervanging van installaties als bij nieuwe woningbouw zijn knelpunten mogelijk in de groeiscenario's. De verdeling van geluidruimte blijft hierbij de grootste opgave. Technieken voor stiller ontwerp, geluidreducerende matregelen bij de bron en afscherpende maatregelen bieden voldoende mogelijkheden voor de aanpak. Aanpak bij de bron is het meest effectief en efficiënt. Aanpak bij de ontvanger is vooral mogelijk middels gevelisolatie of afscherming, en anticiperen op geluid bij de planning van woningbouw. Geluid van schepen en nestgeluid is te beperken middels walstroom. De afbouw van kolenoverslag gaat gepaard met minder diesel-materieel en transportbanden, waardoor effectief wat geluidruimte vrijkomt.

De komst van de Omgevingswet is een systeemverandering waardoor het geluidmanagement in het havengebied complexer wordt, vooral in de groeiscenario's.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Als meer informatie beschikbaar komt over geplande toekomstige installaties kan op bronniveau meer inzicht worden verkregen in de geluidemissie van de processen en specifieke componenten relevant voor de energietransitie. Daarbij zou ook sterker gefocust kunnen worden op potentiële toekomstige knelpuntlocaties.

Omgevingsveiligheid

De energietransitie zal impact hebben op de omgevingsveiligheid. De gevolgen kunnen zowel positief als negatief zijn. Een positief gevolg is dat de veiligheidsrisico's van fossiele brandstoffen zullen afnemen, zoals door uitfasering van LNG. Een negatief gevolg is dat er nieuwe risico's bij komen door zowel de introductie van nieuwe technologieën als door de hoogte van de volumestromen van waterstof en ammoniak.

De grootste knelpunten in alle scenario's blijken grootschalige verlading en conversie van waterstof en verlading, opslag en kraken van ammoniak. Voor Connected Deep Green geldt dat LNG een mogelijk knelpunt is tot 2040. Voor de risico's van waterstof en LNG geldt dat het gaat om de combinatie van een groot aantal systemen (relatief hoge kans) en een mogelijk grote impact (relatief hoog effect). Bij ammoniak ontstaan de grootste knelpunten vooral vanwege de hoogte van het mogelijke effect.

Bovenstaande is nog omgeven met veel onzekerheden waarmee rekening moet worden gehouden bij duiding van de resultaten van dit onderzoek. Denk bijvoorbeeld aan beschikbaarheid van data (volumestromen), locatiekeuze, beveiligingssystemen en rekenmodellen, niet in de laatste plaats omdat bepaalde technieken (zoals voor grootschalige opslag van waterstof en ammoniak) wereldwijd nog niet zijn toegepast.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De kwalitatieve risicobeoordeling geeft geen exacte waarden voor de feitelijke risico's, maar geeft een relatieve inschatting van het potentiële risiconiveau voor specifieke incidentscenario's. Een dergelijke risicobeoordeling houdt geen rekening met andere soorten risico's, scenario's, onzekerheden of andere variabelen die de hoogte van het risico kunnen beïnvloeden. De gekozen indeling van de risicomatrix geeft daarom slechts een beperkte vergelijking. Om hier aan tegemoet te komen zijn gedurende het onderzoeksproces aannames gedaan, die tevens het vertrekpunt zijn voor mogelijkheden voor vervolgonderzoek (mede op

aangeven van geraadpleegde experts, zoals de commissie WEPAV van Deltalinqs, Havenbedrijf Rotterdam, DCMR, Veiligheidsregio Rotterdam en gemeente Rotterdam):

1. Voeg specifieke incidentscenario's toe met specifieke of nieuwe data, zoals voor 'inland use' als 'export' van vloeibare waterstof en ammoniak.
2. Voeg generieke scenario's toe die niet alleen voor bedrijven in het HIC van belang zijn, maar voor de openbare ruimte, zoals ontsporing, aanvaring en aanrijding.
3. Breid de kwalitatieve risicobeoordeling uit met (potentiële) risiconiveaus voor brandbare stoffen. Deze zijn niet meegenomen in het huidige onderzoek vanwege het relatief geringe effect van warmtestraling voor de omgevingsveiligheid.
4. Inventariseer wat mogelijke domino- en/of keteneffecten zijn: domino-effecten v.w.b. directe effecten van een zwaar ongeval op een nabijgelegen bedrijf, en keteneffecten voor indirecte effecten op de keten of maatschappij. Deze zijn niet meegenomen, omdat onderhavig onderzoek is beperkt tot een kwalitatieve en locatie-onafhankelijke risicobeoordeling. De getoonde locaties kunnen echter een start zijn voor het inventariseren van potentiële domino- en/of keteneffecten.
5. Voer – indien daarvoor voldoende data beschikbaar is – een kwantitatieve risicobeoordeling uit en bereken de grootte van de aandachtsgebieden. De grootte van aandachtsgebieden is in onderhavig onderzoek niet berekend, omdat dit is beperkt tot een kwalitatieve risicobeoordeling waarvoor alleen kansen en effecten zijn berekend voor enkele tientallen enkelvoudige incidentscenario's met SafetiNL v8.5.
6. Herbereken (faal)kansen en effecten van incidentscenario's met andere aannames, data, uitgangspunten en/of rekenmodellen. De reden is de grote mate van onzekerheid over de komst en haalbaarheid van nieuwe technologie en schaalgrootte 'beyond BBT'¹⁶, zoals opslag van LH2 van 3.600 ton. Daarbij is de vraag of en in hoeverre rekenmodellen toepasbaar zijn voor (bijvoorbeeld) grootschalig transport en opslag van waterstof en ammoniak. Inmiddels zijn hier verschillende (landelijke) werkgroepen mee aan het werk, zoals de PGS12 werkgroep. In dit onderzoek is vooralsnog uitgegaan van kansen en effecten van koude vloeistof in resp. een bol(LH2) en full containment opslagtanks (ammoniak). Met vernieuwde inzichten, data en rekenmodellen kunnen potentiële veiligheidsniveaus worden herberekend.

Naast de behandelde thema's in deze studie, die allen invloed hebben op de gebruiksruijme, zijn er nog andere thema's die beperkend kunnen zijn. Om tot een breder beeld op de gebruiksruijme binnen de transitie te komen, is het daarom belangrijk om ook deze andere thema's, zoals b.v. waterkwaliteit (kaderrichtlijn water), bodemkwaliteit, en ZZS (zeer zorgwekkende stoffen), beter te bestuderen.

¹⁶ De grootste cryogene opslagtank ter wereld voor vloeibare waterstof staat op dit moment bij NASA (Florida). Deze (bol)tank heeft een capaciteit van circa 325 ton vloeibare waterstof en een volume van bijna 5.000 m³.

7 Referenties

Actieplan Geluid Gemeente Rotterdam 2019-2023, www.rotterdam.nl/geluid

Air Liquide, 2023. Air Liquide paves the way for ammonia conversion into hydrogen with new cracking technology. Website: <https://www.airliquide.com/group/press-releases-news/2023-03-23/air-liquide-paves-way-ammonia-conversion-hydrogen-new-cracking-technology>

Analistennetwerk Nationale Veiligheid, 2022. Themarapportage zware ongevallen [Themarapportage zware ongevallen | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

Arcadis, Berenschot, 2021. Ketenstudie omgevingsveiligheid van duurzame waterstofrijke energiedragers. Eindrapport 65256 [Ketenstudie omgevingsveiligheid van duurzame waterstofrijke energiedragers | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

Baars, R., Kenniscentrum Geluid: [Publicatie "Integraal geluidsarm ontwerp in de procesindustrie" \(kenniscentrumgeluid.nl\), 2012.](#)

Berenschot, Arcadis, TNO, 68008-Openbaar-2023. Omgevingsveiligheid van toekomstige stromen waterstofrijke energiedragers [eindrapport-volumes -modaliteiten-en-veiligheid-waterstofrijke-energiedragers.pdf \(berenschot.nl\)](#)

Bollmann, J., Schmidt, N., Beck, D., Preuster, P., Zigan, L., Wasserscheid, P., & Will, S. (2023). A path to a dynamic hydrogen storage system using a liquid organic hydrogen carrier (LOHC): burner-based direct heating of the dehydrogenation unit. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(3), 1011-1023

Braskamp, E., Notitie reikwijdte en detailniveau facetbestemmingsplan geluid havengebied Rotterdam, rapport BügelHajema, 2020.

Cioli, M., K.M. Schure, D. van Dam, 2021. MIDDEN - Decarbonisation options for the Dutch industrial gases production

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No 13/2019

Fluor, 2023. Large-scale industrial ammonia cracking plant. Website: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2023-05/large-scale-industrial-ammonia-cracking-plant.pdf>

FuelEU Maritime Regulation: Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC; European Commission, 2023COM(2021) 562 final, Brussels, 14.7.2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0562>

Gandara-Loe, J., Zhang, Q., Villora-Picó, J. J., Sepúlveda-Escribano, A., Pastor-Pérez, L., & Ramirez Reina, T. (2022). Design of Full-Temperature-Range RWGS Catalysts: Impact of Alkali Promoters on Ni/CeO₂. *Energy & fuels*, 36(12), 6362-6373.

Gao, D., Qiu, X., Zhang, Y., & Liu, P., 2018. Life cycle analysis of coal based methanol-to-olefins processes in China. *Computers & Chemical Engineering*, 109, 112-118

Gogate, M.R., 2019. Methanol-to-olefins process technology: current status and future prospects (<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/10916466.2018.1555589?needAccess=true&role=button>)

C.N., A.P.C. Faaij, H. den Uil, H. Boerrigter, 2004. Production of FT transportation fuels from biomass; technical options, process analysis and optimisation, and development potential, *Energy* 29, 1743–1771

Havenbedrijf Rotterdam, Langetermijnsenario's 2050, Potentieramingen achterlandstromen 2050, 2022.

Hydrohub Innovation Program, 2022. A One-GigaWatt Green-Hydrogen Plant - Advanced Design and Total Installed-Capital Costs

Omgevingswet – Rotterdam, Havengebied, 2017

www.aandeslagmetdeomgevingswet.nl/@166692/rotterdam/

ISO 15664:2001 Acoustics – Noise control design procedures for open plant

Keil, F.J., 1999. Methanol-to-hydrocarbons: process technology, *Microporous Mesoporous Mater.* 29, 49–66

Khandelwal, M., and A.W.N. van Dril, 2020. MIDDEN - Decarbonisation options for the Dutch bio-fuels industry

Markowski e.a.. Selection representative accident scenarios for major industrial accidents.

Process Safety and Env. Protection III (2017) 652–662

(https://www.researchgate.net/publication/319294671_Selection_of_Representative_Accident_Scenarios_for_Major_Industrial_Accidents)

Mitchell, J., Hobson M., Dore C., Hydrogen Combustion Emission Factors, Summary of literature study for inclusion in het EMEP/EEA Guidebook, Aether Air Quality Consultants. 2023

NEN-EN-ISO 17776 (en) Aardolie- en aardgasindustrie – Buitengaatse productie-installaties - Beheer van gevaren bij zware ongevallen tijdens het ontwerp van nieuwe installaties (ISO 17776:2016)

Nierop, C.A., Geluidbeheersing in de procesindustrie, Handboek, M+P, 1996/2001

Oliveira, C., K.M. Schure, 2020. MIDDEN - Decarbonisation options for the Dutch refinery sector

Omgevingswet – dit verandert er; www.iplo.nl/thema/geluid/verandert/

PGS Handreiking Generieke risicobenadering, versie 1.1 (03-2017) [Handreiking Generieke Risicobenadering \(publicatiereeksgevaarlijkstoffennl\)](http://Handreiking_Generieke_Risicobenadering_(publicatiereeksgevaarlijkstoffennl))

Planbureau voor de Leefomgeving, 2023: [Grootschalige luchtverontreiniging de "National Emission Ceilings": emissies, 1990 - 2021 | Compendium voor de Leefomgeving \(clo.nl\)](http://Grootschalige_luchtverontreiniging_de_National_Emission_Ceilings)

Port of Rotterdam, Stoelinga, 23 augustus 2023. Europe's hydrogen hub. Ammonia cracker study EZK, IenW, RVO, DCMR

Provincie Zuid-Holland, Regionale Afsprakenkader Geluid, 2015

www.zuid-holland.nl/publish/pages/26411/regionaalafsprakenkadergeluid.pdf

Provincie Zuid-Holland, Geluidproblematiek Rotterdams havengebied, Besluitnummer PZH-2020-745127010 DOS-2012-0007912, 14 juli 2020.

Provincie Zuid-Holland, Vaststelling Module Nestgeluid, Statenbesluit 7483, oktober 2022.
<https://pzh.notubiz.nl/document/11936642/1>

Provincie Zuid-Holland, Programma Havengeluid en Omgeving,
www.zuidholland.begroting-2023.nl/p75677

Rafati, M., L. Wang, D.C. Dayton, K. Schimmel, V. Kabadi, A. Shahbazi, 2017. Techno-economic analysis of production of Fischer-Tropsch liquids via biomass gasification: The effects of Fischer-Tropsch catalysts and natural gas co-feeding, *Energy Convers. Manag.* 133, 153-166

Rezaei, E., S. Dzuryk, 2019. Techno-economic comparison of reverse water gas shift reaction to steam and dry methane reforming reactions for syngas production, *Chem. Eng. Res. Design* 144, 354-369

RVO, 2022. Generiek richtsnoer voor het omgaan met de veiligheidsrisico's van waterstof in de energietransitie. Eerste versie, vastgesteld door de interdepartementale stuurgroep Waterstofveiligheid op 5 oktober 2022.

Sekine, Y., T. Higo, 2021. Recent Trends on the Dehydrogenation Catalysis of Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC): A Review, *Topics in Catalysis* 64, 470-480

Shell, 2023. PEARL GTL Website: <https://www.shell.com/about-us/major-projects/pearl-gtl.html>

Squadrone, G. et al, Industrial plant noise modelling from early planning stage to operation, *Proceedings Forum Acusticum, Torino, 2023*

TNO, 2021, Ruimtelijke effecten van de energietransitie: casus haven Rotterdam.

UK, HM Government, 2023. National Risk Register 2023 ([2023 National Risk Register](#))

Von Gruenewaldt, R., T. Bird, G. Petzer and L. Burge. Atmospheric Impact Report: Sasol's Secunda Facility (Secunda Synfuels Operations and Secunda Chemicals Operations). Airshed Planning Professionals, Report No. 19SAS06, 2020

Website DCMR, www.dcmr.nl

Weeda, M., and R. Segers, 2020. The Dutch hydrogen balance, and the current and future representation of hydrogen in the energy statistics, TNO 2020 P10915

Wet Milieubeheer, www.wetten.overheid.nl/BWBR0003245/2023-07-01

Wigbels, R.: Informatie over het bepalen van de beste beschikbare technieken ten aanzien van geluid die in aanmerking komen voor inrichtingen, DCMR rapport, 2012.

Wijk, A.M. van, Hubregtse, S.J.M.: Benchmark Geluid, DCMR-rapport, juni 2015.

Bijlagen

Bijlage A: Data, aannames en beschrijving processen ketenmodel

Stromen, proces- en opslagcapaciteiten in het ketenmodel voor de vier HbR scenario's:

Process	Actual 2021		2030		Connected Deep Green 2040		2050		Regional Well-Being 2050		Protective Markets 2050		Wake-Up Call 2050	
	Mt/yr	GW out	Mt/yr	GW out	Mt/yr	GW out	Mt/yr	GW out	Mt/yr	GW out	Mt/yr	GW out	Mt/yr	GW out
SMR	0.4	1.7	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Electrolysis	0.0	0.0	0.2	1.0	1.0	4.9	2.0	9.7	0.5	2.4	0.3	1.2	1.0	4.9
LOHC Dehydrogenation	0.0	0.0	0.1	0.4	0.8	3.5	1.1	4.8	1.7	4.8	0.0	0.0	1.0	4.0
NH3 cracker	0.0	0.0	1.1	4.7	4.1	17.2	4.2	17.3	1.7	7.3	1.5	6.2	2.2	9.3
Refinery	44.5	66.4	34.4	51.4	9.9	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	13.6	4.6	6.8
Biorefinery	1.0	1.4	1.9	2.8	1.9	2.8	1.9	2.8	1.9	2.8	1.9	2.8	1.9	2.8
Gasification	0.0	0.0	5.4	4.5	11.3	9.4	11.3	9.4	0.0	0.0	4.1	3.4	18.5	15.4
FT Synthesis	0.0	0.0	3.6	5.4	9.2	13.8	13.3	19.8	0.0	0.0	2.9	4.3	13.3	19.8
Hydrocracker	0.0	0.0	3.6	5.4	9.2	13.8	13.3	19.8	0.0	0.0	2.9	4.3	13.3	19.8
RWGS	0.0	0.0	3.6	3.0	11.7	9.8	21.8	18.2	0.0	0.0	3.2	2.7	14.6	12.1
Naphtha cracker	4.6	6.0	4.6	6.0	3.7	4.8	2.8	3.6	0.0	0.0	4.6	6.0	3.9	5.1
MTO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chemicals production	3.5	5.4	3.5	5.4	2.8	4.4	3.3	5.1	0.0	0.0	3.5	5.4	3.0	4.6
	2021		2030		2040		2050		2050		2050		2050	
Storage	Mt		Mt		Mt		Mt		Mt		Mt		Mt	
Natural Gas	0.65		1.30		0.80		0.00		0.00		0.00		0.00	
Mineral bunker fuels	2.4		2.00		1.10		0.00		0.00		0.40		0.40	
Hydrogen	0.02		0.09		0.40		0.70		0.28		0.24		0.38	
Crude oil	9.7		7.30		2.20		0.00		0.00		2.00		1.00	
Mineral fuels	4.8		3.90		1.30		0.00		0.90		1.50		1.30	
Renew. Fuels	0.6		1.00		1.60		1.90		0.90		1.10		2.10	
Vegoils	0.6		0.80		1.00		1.10		0.20		0.20		0.20	
Naphtha	1.3		1.00		0.20		0.00		0.00		0.30		0.20	
Green Naphtha	0		0.30		0.50		0.50		0.00		1.20		0.60	
Chemicals	0.8		0.90		1.28		1.10		1.80		1.50		1.70	
CO2	0		0.70		2.30		2.80		0.00		0.00		0.00	
Biomass	0		1.20		2.50		2.50		0.00		0.90		4.10	
e-ammonia	0		1.10		4.30		5.00		2.80		1.50		2.20	
LOHC	0		0.18		1.50		2.10		2.10		0.00		1.80	
LH2	0		0.02		0.20		0.70		0.20		0.30		0.35	
e-methanol	0		0.00		0.40		1.10		0.00		0.00		0.40	

Beschrijving van de procesblokken van het ketenmodel:

BIOREFINERY PROCESS - Met het biorefinery process blok doelen we op het proces waarin (afge-
werkte) plantaardige vetten en/of oliën worden omgezet in biobrandstoffen, zoals dat nu al ge-
beurt in de bioraffinaderijen van Neste en Biopetrol (Khandelwal & van Dril, 2020). In de scenario's
wordt plantaardige olie in gewicht één op één omgezet in biobrandstof, mogelijk mede door af-
rondingsverschillen. Voor de analyse is daarom een efficiëntie van 95% aangenomen, wat goed
overeenkomt met percentages gerapporteerd in de literatuur (90-99%) (Khandelwal & van Dril,
2020).

SMR - Om waterstof te produceren voor verschillende doeleinden kan aardgas (of een andere
koolwaterstof) worden omgezet in een hervormingsproces met stoom: steam methane reform-
ing. In het havengebied wordt ruim 600 kton aan waterstof geproduceerd, voornamelijk via SMR
van aardgas en raffinaderijgas (Weeda & Segers, 2020). Het gehele SMR proces bestaat in het
algemeen grofweg uit vijf stappen: aardgas voorbereiding, aardgas hervorming, water gas shift,
koolstof afvang en het scheiden van de waterstof. Een uitgebreidere uitleg over het proces, in-
clusief een stroomschema is gerapporteerd door Cioli et al. (2021).

Waterstof wordt ook gevormd in andere processen, zoals bij het kraken van nafta en als bijproduct van chloorproductie, en kan zodoende worden hergebruikt. De meeste waterstof heeft een fossiele oorsprong en de productie gaat gepaard met veel CO₂ uitstoot. Om deze emissies te voorkomen wordt in de toekomstscenario's de meeste waterstof via elektrolyse geproduceerd of geïmporteerd in de vorm van vloeibare waterstof of waterstofdragers zoals ammoniak of LOHCs.

REFINERY PROCESS - In de Rotterdamse haven hebben vijf bedrijven een raffinaderij, BP Refinery Rotterdam BV, Esso Nederland B.V., Gunvor Petroleum Rotterdam BV, Shell Nederland Raffinaderij en Vitol B.V. Netherlands. In deze raffinaderijen wordt ruwe olie omgezet in verschillende olieproducten. De verschillende olieproducten zijn in deze studie zeer eenvoudig samengevoegd tot brandstoffen en nafta (voor de productie van chemicaliën). Op basis van de HbR scenario's gaan we ervan uit dat in de raffinaderij ruwe olie voor ongeveer 90% wordt omgezet in brandstof (ca. 80%) en nafta (ca. 20%). Een raffinaderij bestaat uit een complex geheel van verschillende installaties en processen, waaronder onder andere atmosferische destillatie, vacuüm destillatie, hervorming, alkylering, isomerisatie, katalytisch en thermisch kraken, waterstof behandeling, hydrokraken en vergassing. De raffinaderijsector in Nederland is in meer detail beschreven door Oliveira & Schure (2020).

UPGRADING & SEPARATION - Sommige processen die nu ook in de raffinage plaatsvinden, zoals isomerisatie, hydrokraken en het scheiden van de producten, zullen ook nodig zijn na de Fischer-Tropsch synthese. Deze processen zijn als apart blok meegenomen in de analyse om aan te geven dat een deel van het huidige raffinageproces ook in de toekomst gebruikt kan worden. Voor dit proces is waterstof nodig.

GASIFICATION - In het vergassingsproces wordt biomassa vergast tot een syngas (mengsel van CO/H₂) (Hamelinck et al., 2004; Rafati et al., 2017). Dit proces vindt nu nog niet plaats in de haven, maar lijkt in essentie op de vergassing van kolen. Na de vergassing moet het productgas in meerdere stappen worden gezuiverd. Zo moet teer verwijderd worden, maar ook bijvoorbeeld stikstof- en zwavelverbindingen. Ook wordt een aanzienlijk deel van de biomassa omgezet in CO₂. Dit moet worden verwijderd voordat het syngas in de FT reactor wordt omgezet in langere koolwaterstoffen. In onze analyse gaan we ervan uit dat deze CO₂ wordt gebruikt in een apart RWGS proces. In de praktijk kan ook waterstof worden toegevoegd ergens in het vergassingsproces zodat de CO opbrengst wordt vergroot.

RWGS - In het reverse water gas shift (RWGS) proces worden CO₂ en H₂ omgezet in CO en H₂O. Wanneer de juiste verhoudingen worden gebruikt en na het afvangen van het gevormde water, resulteert dit proces in de productie van syngas (CO/H₂ 1:2) dat geschikt is voor FT synthese. In de reactie van CO₂ met H₂ kan zowel CH₄ als CO gevormd worden. Om de opbrengst van CO zo hoog mogelijk te krijgen is hoge temperatuur nodig (>600 °C) (Rezaei et al., 2019). De aanname is dat alle koolstof vanuit CO₂ in het proces wordt omgezet tot CO of wordt gerecycled. De CO₂ komt vanuit het biomassa vergassingsproces of vanuit andere bronnen via import.

FT SYNTHESIS - Syngas vanuit GASIFICATION en RWGS wordt omgezet in het FT proces tot syncrude. De technologie is niet nieuw en wordt bijvoorbeeld op grote schaal toegepast als onderdeel van de GTL fabriek van Shell in Qatar (Shell, 2023). De syncrude, grotendeels lange koolstofketens die in het proces gevormd worden, moet naderhand worden omgezet in brandstoffen en nafta. Deze stappen worden gedaan in het UPGRADING & SEPARATION blok.

NAPHTHA CRACKING - Nafta of andere koolwaterstoffen kunnen in een stoomkraker worden omgezet in verschillende basis chemicaliën, zoals ethyleen, propyleen, butadienen, en aromaten, voor de chemische industrie. Op dit moment komt de nafta vanuit het raffinageproces van fossiele ruwe olie. In de toekomst zal steeds meer van de nafta vanuit het FT proces komen en gebaseerd zijn op hernieuwbare bronnen.

DEHYDRO - De import van waterstof via LOHCs vergt een dehydrogenatieproces om de waterstof vrij te maken van de drager. Dit proces verloopt rond de 200-300 °C en is deels afhankelijk van de soort LOHC (Sekine & Higo, 2021). In alle gevallen is de reactie endotherm en moet warmte toegevoegd worden.

NH₃ CRACKING - Ammoniak dat wordt geïmporteerd met zeeschepen moet voor gebruik in de vorm van waterstof eerst gekraakt worden. Air Liquide verwacht bijvoorbeeld een ammoniakkraker pilot plant in gebruik te nemen in 2024 in de haven van Antwerpen (Air Liquide, 2023). Uit een haalbaarheidsstudie van Fluor blijkt dat de technologie om ammoniak te kraken ook vandaag de dag al beschikbaar is (Fluor, 2023). Deze technologie is gebaseerd op conventionele hervormingstechnologie zoals gebruikt voor (fossiele) waterstofproductie (zie ook SMR). In het kraakproces wordt NH₃ in N₂ en H₂ gesplitst en dit kost energie.

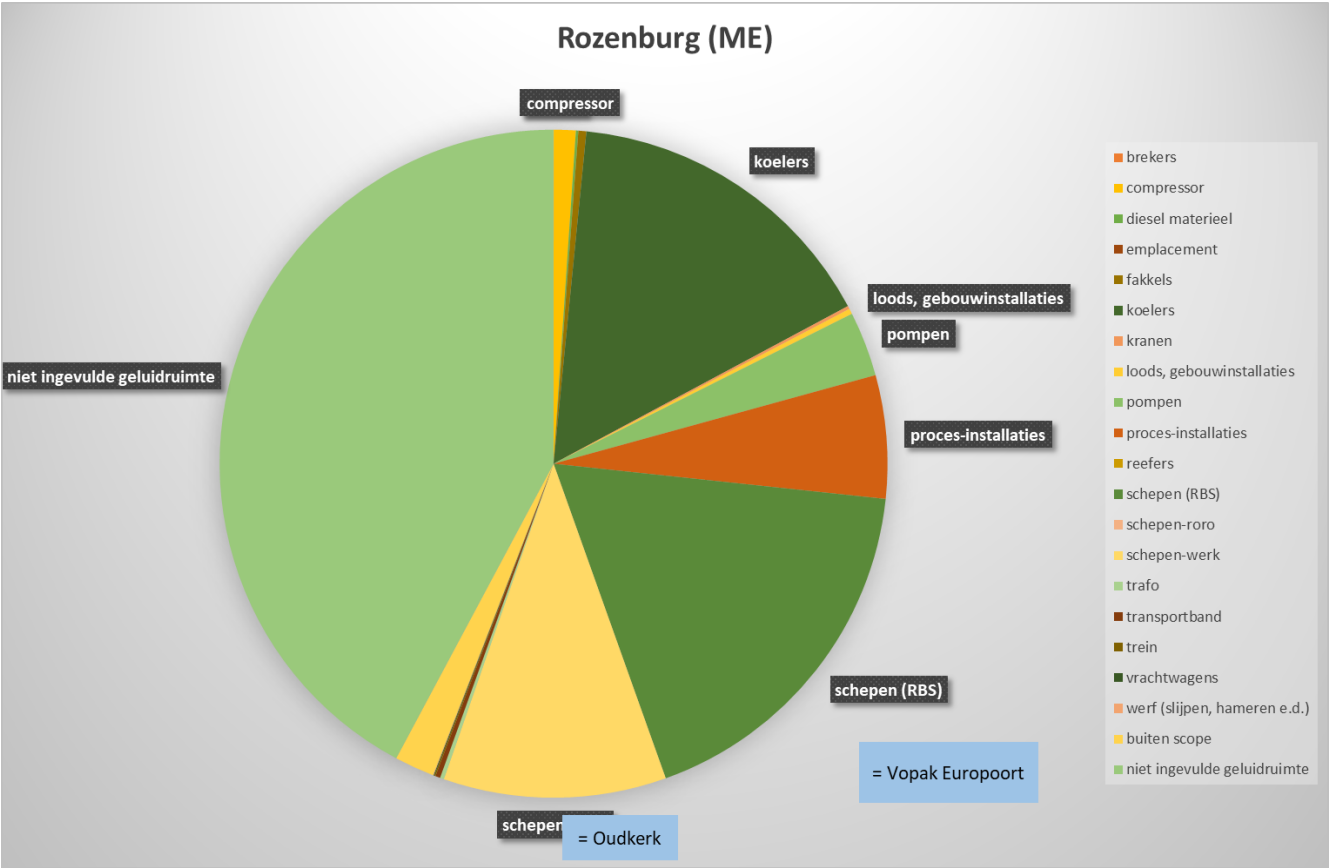
LH₂ GASIFICATION - Vloeibaar waterstof wordt opgeslagen bij -253 °C. Om de vloeibare waterstof om te zetten in gas zal het opgewarmd moeten worden. Deze warmte kan waarschijnlijk vanuit de omgeving worden gehaald. Er is aangenomen dat dit proces niet tot verliezen leidt.

ELECTROLYSIS - Waterstofproductie via elektrolyse is een van de routes om groene waterstof te produceren in de haven. De electrolyzers moeten uiteraard draaien op hernieuwbare elektriciteit. Er bestaan verschillende elektrolyse-technologieën, waarbij oftewel lage of hoge temperatuur en lage of hoge druk wordt gebruikt. In de Hydrohub GigaWatt Scale Electrolyzer studie is uitgezocht hoe een elektrolyse fabriek op GW schaal er uit kan zien en wat deze zou kosten (Hydrohub, 2022).

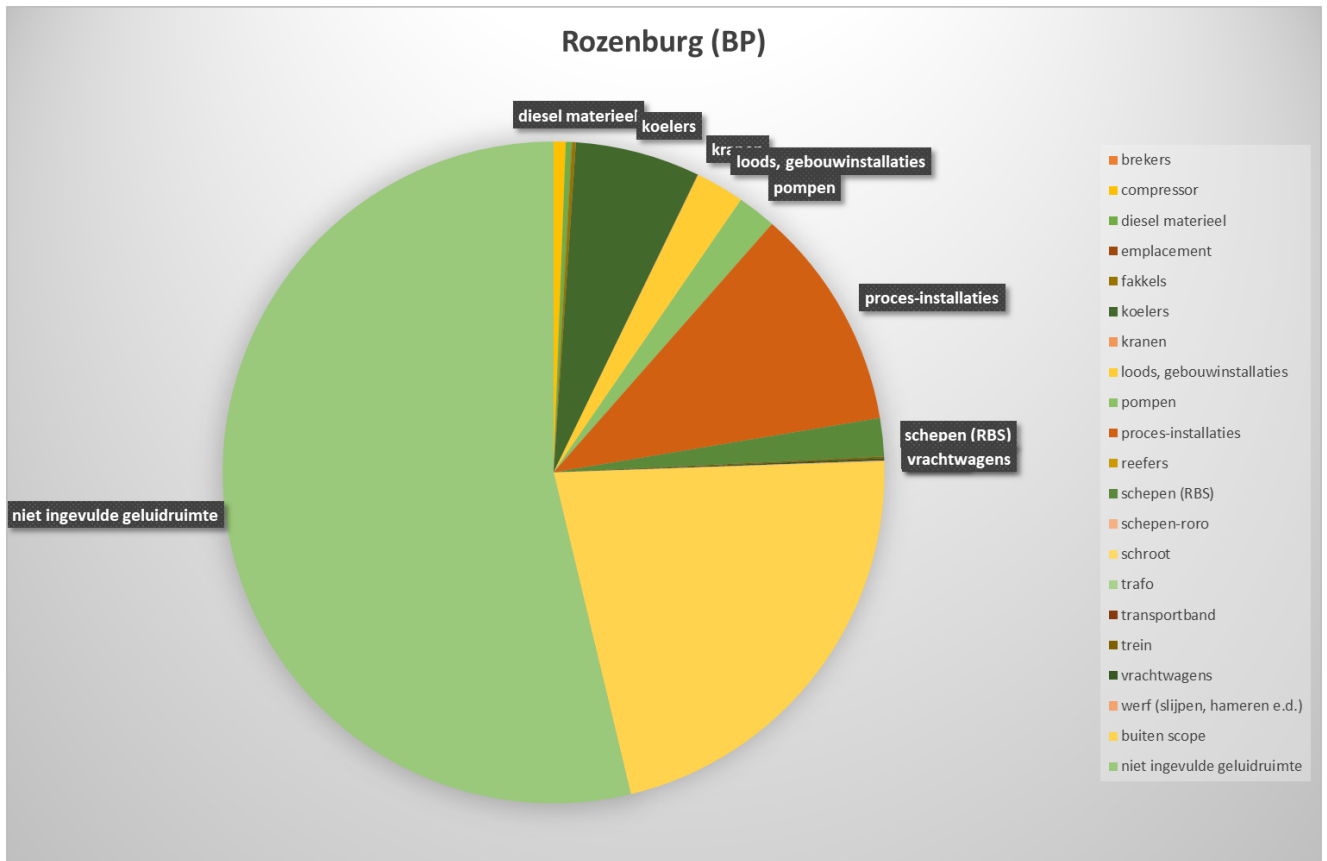
MTO PROCESS - Een alternatieve route om basischemicaliën te produceren is door methanol om te zetten via het methanol-to-olefins (MTO) proces (Keil, 1999; Gogate, 2019). Deze technologie is al commercieel en wordt voornamelijk in China toegepast. Om duurzame chemicaliën te produceren dient gebruik te worden gemaakt van groene methanol. De methanol wordt in de HbR scenario's geïmporteerd, maar zou ook vanuit syngas in de haven kunnen worden geproduceerd.

CHEMICALS PRODUCTION - In verschillende processen worden basischemicaliën omgezet tot een scala van chemicaliën. Omdat in deze analyse alleen de basischemicaliën op een andere manier worden geproduceerd blijven de andere productieprocessen gelijk aan de huidige status. Een toename of afname in productie van chemicaliën gaat dus gepaard met een toe- of afname van de huidige productieprocessen.

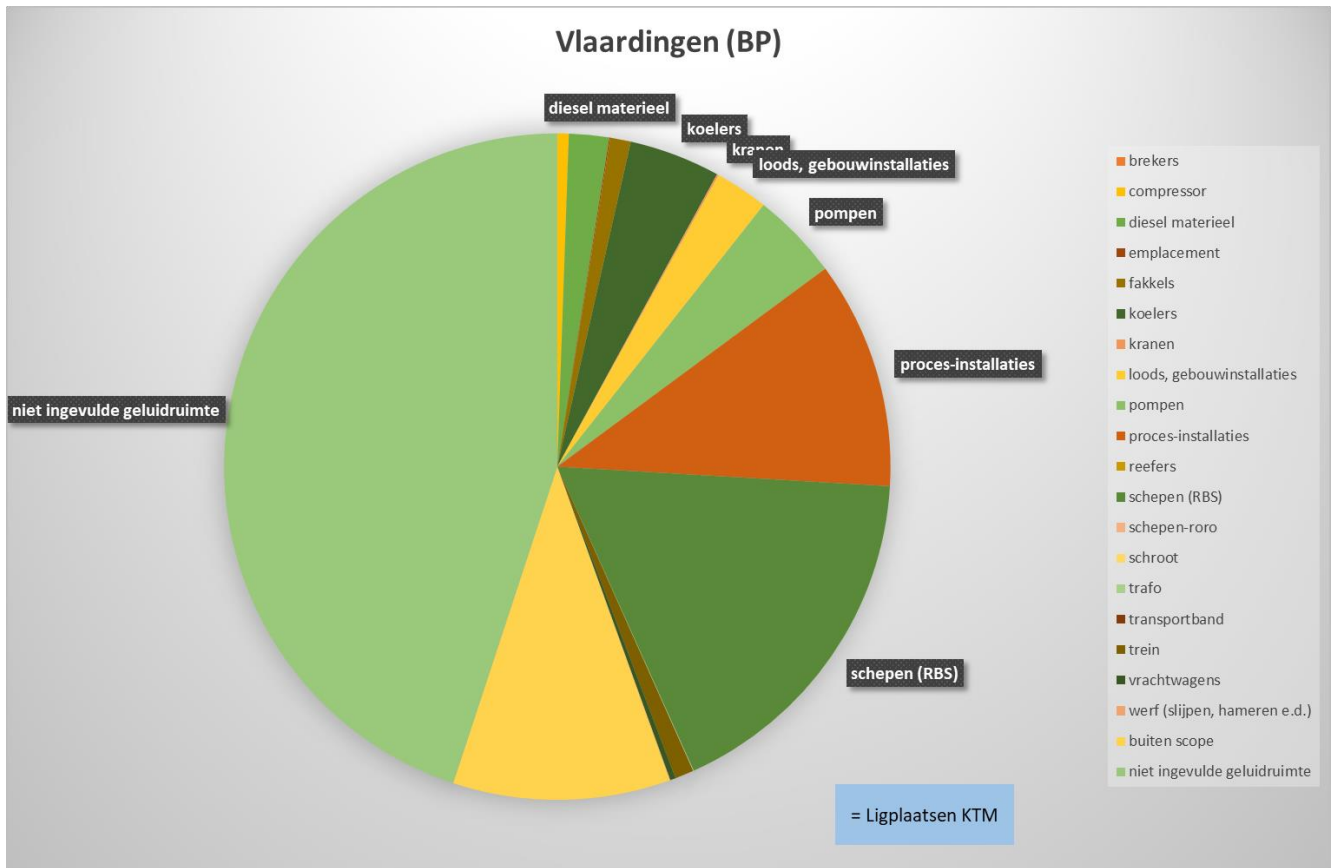
Bijlage B: Geluid



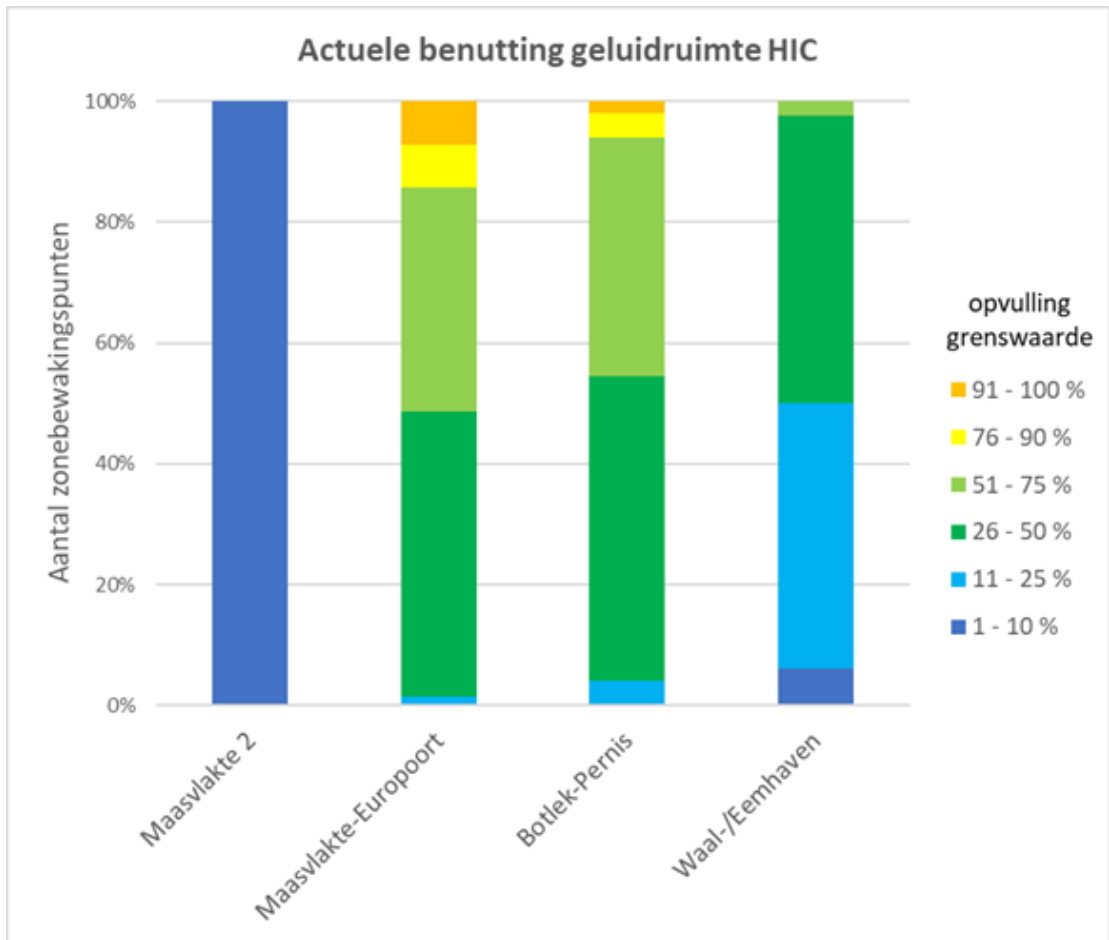
Figuur B1: Bijdragen van geluidbronnen in het gebied Maasvlakte-Europoort aan de geluidmissie richting gemeente Rozenburg. Bron: DCMR.



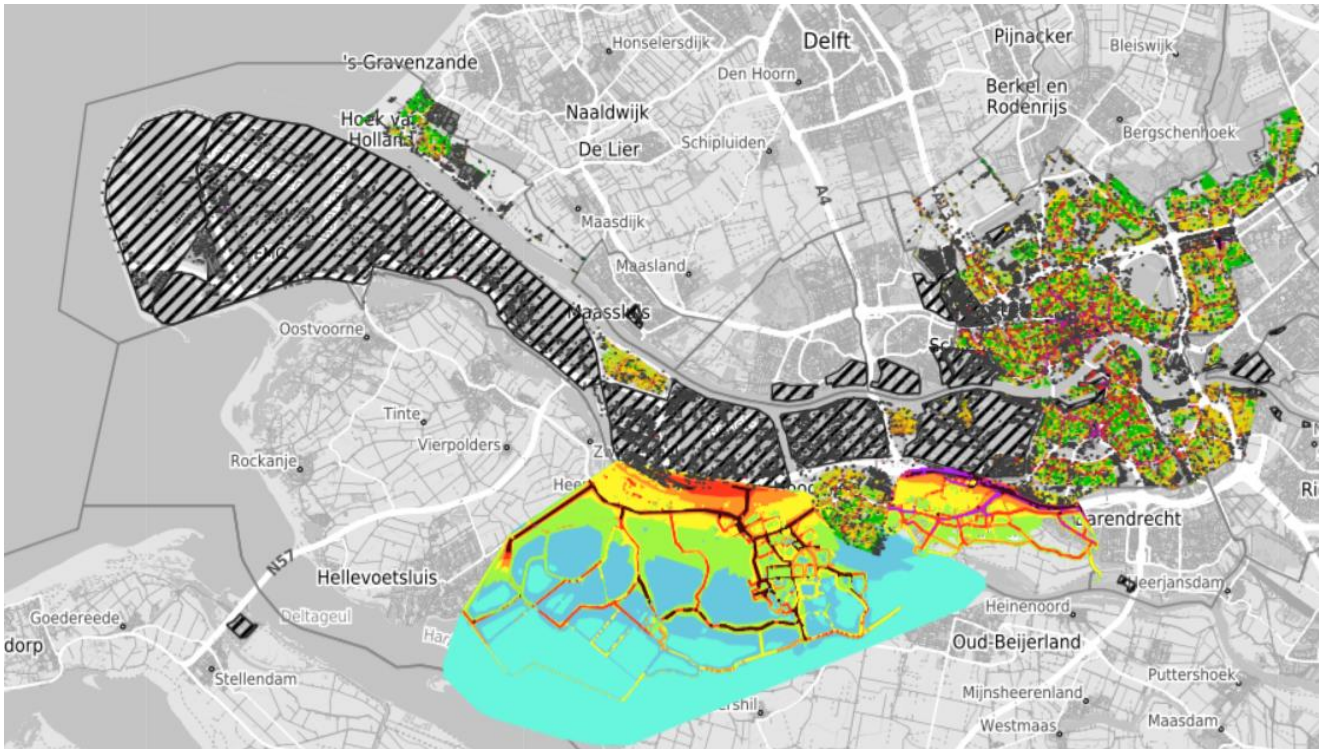
Figuur B2: Bijdragen van geluidbronnen in het gebied Botlek-Pernis aan de geluidimmissie richting gemeente Rozenburg. Bron: DCMR.



Figuur B3: Bijdragen van geluidbronnen in het gebied Botlek-Pernis aan de geluidimmissie richting gemeente Vlaardingen. Bron: DCMR.



Figuur B4: Huidige benutting geluidruimte in het havenindustriecomplex voor vier gebieden.



*Figuur B5: Industriezones in het havengebied, gearceerd, en gecumuleerde geluidkaart van delen van het gebied rond de haven in Rotterdam. Dit betreft alle bronnen inclusief industrie, weg- en railverkeer
Bron: DCMR, www.dcmr.nl/geluid-rotterdam.*

Convenanten Geluid Havengebied

Convenant Geluidruimte Waal-/Eemhaven

Op 3 december 2010 is het convenant 'Geluidruimte Waal-/Eemhaven' ondertekend. Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland, burgemeester en wethouders van Rotterdam, Schiedam en Albrandswaard, het Havenbedrijf Rotterdam, Deltalinqs, DCMR, (destijds)¹⁷ Stadsregio Rotterdam en het Projectbureau Stadshavens Rotterdam hebben in het convenant afspraken gemaakt over de verdeling van de geluidruimte bij vergunningverlening op basis van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo). Het Geluidruimteverdeelplan industrieterrein Waal - /Eemhaven is een bijlage van het Geluidconvenant Waal - /Eemhaven d.d. 3 december 2010 en als beleidsregel vastgesteld op 28 juni 2011 door B&W van Rotterdam en op 5 juli 2011 door GS van Zuid Holland. De in het geluidconvenant Waal-Eemhaven opgenomen geluidruimteverdeling en de bijbehorende 2025-contour wordt gehanteerd bij verlening van omgevingsvergunningen aan bedrijven op het industrieterrein Waal-Eemhaven. Deze contour wordt ook gehanteerd bij het vaststellen van hogere waarden voor bouwplannen in de zone.

Convenant Regionaal Afsprakenkader Geluid & Ruimtelijke Ontwikkeling.

Op 8 juli 2015 zijn de betrokken partijen in de regio het Regionaal Afsprakenkader Geluid & Ruimtelijke Ontwikkeling ('RAK') overeengekomen¹⁸. Hierin zijn onder andere afspraken vastgelegd over de manier waarop besluiten worden genomen over ontwikkelingen in het havengebied en de omgeving (woningbouw). Plannen worden op elkaar afgestemd met het oog op het belang van zowel de ontwikkelruimte van de haven als het woon- en leefklimaat in omliggende woongebieden. De uitkomsten van de periodieke evaluatie van het convenant en actuele inzichten hebben ertoe geleid dat het convenant geactualiseerd wordt. Zo worden er bijvoorbeeld werkafspraken opgenomen over de wijze waarop het geluid van afgemeerde schepen (nestgeluid) wordt meegenomen bij woningbouwontwikkelingen. Vaststelling van het herziene convenant vind naar verwachting eind 2023 plaats.

¹⁷ Nu: Metropoolregio Rotterdam Den Haag.

¹⁸ Gemeenten Brielle, Maassluis, Nissewaard, Rotterdam, Schiedam, Vlaardingen, Westvoorne, de provincie Zuid-Holland, DCMR Milieudienst Rijnmond, Havenbedrijf Rotterdam N.V., Deltalinqs.

Bijlage C: Methodische verantwoording omgevingsveiligheid

Werkproces

Voor omgevingsveiligheid zijn de potentiële risiconiveaus ingeschat door middel van een systematische aanpak en toepassing van (inter)nationale methodes voor het uitvoeren van een risicobeoordeling. De aanpak bestond uit de volgende stappen:

- Vaststellen van de scope en de context.
- Vaststellen van het referentieniveau door het definiëren van een niet-locatiegebonden 'referentie-inrichting'.
- Selectie van processen en typische incidentscenario's.
- Afstemming van de methodiek en aanpak met de stuurgroep.
- Afstemming van de risicobeoordelingscriteria en inhoud met experts van resp. DCMR, Port of Rotterdam en gemeente Rotterdam, inclusief:
 - Wijze waarop de potentiële risiconiveaus consistent worden bepaald, wat een voorwaarde is bij het toepassen van de 'relative ranking' methode.
 - Criteria voor kans, effect en risiconiveau.
 - Berekening van kans en effect van incidentscenario's met SafetiNL (versie 8.5) bij weerscondities D5/F1,5.
- Uitvoeren van de initiële (kwalitatieve) risicobeoordeling met de HAZID-methode.
- Vaststellen van de uitkomsten door evaluatie met experts en werkgroepen en vergelijking met recente onderzoeken.
- Formuleren van conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

HAZID-methode

De HAZID methode (Hazard Identification) is een techniek voor het vroeg identificeren van potentiële gevaren en bedreigingen in een proces of project. Er is geen internationale norm die de HAZID methode voorschrijft, maar er zijn verschillende normen die de HAZID methode noemen of aanbevelen als onderdeel van een bredere risicobeoordeling. Enkele voorbeelden van zulke normen die in dit onderzoek zijn toegepast zijn de volgende.

- NEN-EN-ISO 17776:2016 - Aardolie- en aardgasindustrie - Buitenbedrijfstellings- en ontmantelingswerkzaamheden. Deze norm beschrijft de algemene principes en processen voor het veilig en milieuvriendelijk buiten bedrijf stellen en ontmantelen van installaties in de olie- en gasindustrie. De norm beveelt aan om een HAZID studie uit te voeren in de planningsfase van een buitenbedrijfstellingsproject om de belangrijkste risico's te identificeren en te beheersen.
- NEN-EN-ISO 31010:2019 - Risicomanagement - Risicobeoordelingstechnieken. Deze norm geeft een overzicht van technieken die kunnen worden gebruikt om risico's te beoordelen als onderdeel van een risicomanagementproces. De norm noemt de HAZID methode als een van de mogelijke technieken voor het identificeren van gevaren, met name in de ontwerpfase of bij grote wijzigingen in een proces of project.
- PGS Handreiking Generieke Risicobenadering. De stappen in deze handreiking sluiten aan bij de systematiek uit de norm voor risicomanagement, ISO 31000. Tevens is er een parallel tussen hoe een bedrijf tot beheersmaatregelen komt en hoe een PGS-team tot generieke maatregelen en voorschriften komt.

Stappenplan

De HAZID-methode omvat een systematische aanpak in een bepaalde volgorde. Voor dit project zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

1. Identificatie van gevaren en typische incidentscenario's op basis van:
 - a. Soort gevaarlijke stof, met name waterstofdragers
 - b. Soort technologie voor verlading, opslag en productie en conversie, zoals SMR, gasificatie, dehydrogenering, cracking, MTO, refining, electrolyses.
 - c. Capaciteiten (kentallen), zoals door opdrachtgever aangeleverd
2. Identificatie van incidentscenario's op basis van maatgevende risicofactoren:
 - a. Gevaar : explosie en toxische wolk
 - b. Volume : falen van omhulling van het grootste insluitsysteem¹⁹
 - c. Frequentie : breuk van laadarm of leidingbreuk
 - d. Proces : falen van technologie bij specifieke procescondities
3. Vaststellen van het maximale volume gevaarlijke stoffen dat incidenteel kan vrijkomen (Loss of Containment, LOC), namelijk:
 - a. Voor opslag: bij instantaan falen van de omhulling (b.v. opslagtank of procesvat)
 - b. Voor processen: maximaal 30 minuten uitstroming (b.v. laadarm)
4. Berekenen van de initiële kans en effect
5. Bepalen van het potentieel risiconiveau met behulp van het risicodiagram
6. Vaststellen van het potentieel risiconiveau met door middel van consultatie van experts en vergelijking met andere (recente) onderzoeken.

¹⁹ Een insluitsysteem volgens de Regeling externe veiligheid inrichtingen gedefinieerd als: "Eén of meer toestellen, waarvan de eventuele onderdelen blijvend met elkaar in open verbinding staan en die bestemd zijn om een of meer stoffen te omsluiten, waarbij een verlies van inhoud van een insluitsysteem niet leidt tot het vrijkomen van significante hoeveelheden gevaarlijke stof uit andere insluitsystemen."

Bijlage D: Uitgangspunten, aannames en definitie van referentie inrichting (referentie-niveau)

Aannames en uitgangspunten	Loss of Containment			Model-inrichting			
	instantaan falen	(groot) lek		aantal		totaal capaciteit	
		LOC-opslag [t]	transfer rate [t/h]	LOC-30 minuten [t]	opslagtanks [n]	proces-units [n]	opslag [t]	transfer [t/v]
Tank truck - laadarm	25	100	50	10	10	250	8.760.000
gH2 tank truck - laadarm	1	1	0,5	10	10	10	87.600
LH2 tank truck - laadarm	4	4	2	10	10	40	350.400
Railway spoorketelwagen - laadarm	55	75	38	1	1	55	657.000
Liquid barge tanker - medium size laadarm	2.000	100	50	2	4	4.000	3.504.000
Liquid barge tanker - future size laadarm	3.500	100	50	2	4	7.000	3.504.000
LH2 barge - laadarm	10	4	2	2	4	20	140.160
NH3 barge - laadarm	1.850	75	38	2	4	3.700	2.628.000
Liquid carrier - laadarm	50.000	1.000	500	4	16	200.000	140.160.000
LH2 carrier - laadarm	100	4	2	4	16	400	560.640
LH2 carrier (future) - laadarm	3.000	50	25	4	12	12.000	5.256.000
NH3 carrier - laadarm	50.000	500	250	2	6	100.000	26.280.000
LO(H)C carrier - laadarm	50.000	1.000	500	1	1	50.000	8.760.000
LNG carrier - laadarm	50.000	1.000	500	1	2	50.000	17.520.000
Pipe line (gas) - tie-in/laadarm	20	10	5	1	1	20	87.600
gH2 buisleiding - tie-in/laadarm	1	1	0,5	1	1	1	8.760
LNG buisleiding - tie-in/laadarm	1.000	10	5	1	1	1.000	87.600
Pipe line (liquid) - tie-in/laadarm	200	100	50	1	1	200	876.000
NH3 procesleiding - opslag -> booster -> reactor	200	100	50	1	1	200	876.000
Storage tank - small	2.000	10	5	15	15	30.000	1.314.000
Storage tank - medium	20.000	100	50	10	10	200.000	8.760.000
Storage tank - large	50.000	1.000	500	4	4	200.000	35.040.000
gH2 compressed gas container/tubes	1	1	0,5	10	10	10	87.600
LH2 Sphere - large	350	1	0,5	12	12	4.200	105.120
LH2 Sphere - extra large (future)	1.000	1	0,5	4	4	4.000	35.040
LH2 Sphere - extra extra large (future)	3.600	10	5,0	4	4	14.400	350.400
LPG Sphere - large	2.500	10	5	8	8	20.000	700.800
CO2 opslag	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Process reactor - small	100	10	5	5	5	500	438.000
Process reactor - medium	200	100	50	4	4	800	3.504.000
Process reactor - large	500	100	50	3	3	1.500	2.628.000
Electrolyser (buffer tank)	1	1	0,5	10	10	10	87.600
Biorefinery (storage tank - large)	50.000	1.000	500	5	5	250.000	43.800.000
Gasification (heat exchanger, LNG open rack vaporiser)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
FT synthesis (process reactor - small)	100	10	5	10	10	1.000	876.000
Hydrocracker (process reactor - small)	100	100	50	10	10	1.000	8.760.000
RWGS (process reactor - small)	100	10	5	5	5	500	438.000
Refinery (storage tank - large)	50.000	1.000	500	4	4	200.000	35.040.000
SMR/ATR (process reactor - small)	100	10	5	5	5	500	438.000
MTO (process reactor - small)	100	10	5	3	3	300	262.800
Chemicals production (process reactor - large)	200	100	50	10	10	2.000	8.760.000

Bijlage E: Risicodiagram en beoordelingscriteria

						Kans (frequentie)					
						Vrijwel onmogelijk	Zeer onwaarschijnlijk	Onwaarschijnlijk	Enigzins waarschijnlijk	Waarschijnlijk	Zeer waarschijnlijk
						Nooit van gehoord	Nooit van gehoord in industrie	Eens ergens gebeurd.	Eens gebeurd in dit type industrie.	Eens gebeurd in vgl. bedrijf	Eens gebeurd in een bedrijf
						$\leq 10^{-7}$	10^{-7} to $<10^{-6}$	10^{-6} to $<10^{-5}$	10^{-5} to $<10^{-4}$	10^{-4} to $<10^{-3}$	$> 10^{-3}$
						>> 100 jaar	> 100 jaar	25-100 jaar	5-25 jaar	1-5 jaar	(vaker dan) jaarlijks
						F0	F1	F2	F3	F4	F5
Gevolg (ernst)	Beperkt	<50 m	Omkeerbaar letsel (dokter)	Hinder (zelfhulp, EHBO)	C0						
	Serius	50-100 m	Blijvend letsel (> 24 uur ziekenhuis)	Omkeerbaar letsel (dokter)	C1						
	Ernstig	100-500 m	Eén dode	Blijvend letsel (> 24 uur ziekenhuis)	C2						
	Zeer ernstig	500-1.000 m	1-10 doden	Eén dode	C3						
	Ramp	1-5 km	10-100 doden	1-10 doden	C4						
	Catastrofaal	>5 km	Meer dan 100 doden	Meer dan 10 doden	C5						

Laag risico
Gemiddeld risico
Hoog risico
Zeer hoog risico

s groot(st) ongeval

Bijlage F: Deelresultaten per HbR-scenario

Deze bijlage bevat de resultaten van de risicobeoordeling voor de vier HbR-scenario's, inclusief:

- Risicofactoren: uitgangspunten zoals gehanteerd voor berekeningen met SafetiNL v8.5 en criteria voor kans en effect
- Referentie-inrichting: referentie-risiconiveaus van de incidentscenario's
- Potentieel risiconiveau voor 2021-2030-240 en 2050, inclusief niveau voor kans (F0-F5) en effect (C0-C5)

scenario: Connected Deep Green

Incidentscenario		Risicofactoren				Referentie-inrichting				Potentieel risiconiveau														
Gevaarlijke stof en technologie		Typisch incidentscenario		Effect		Kans		Uitgangspunt				Laag (groen) - Gemiddeld (geel) - Hoog (licht oranje) - Zeer hoog (donker oranje)												
Nr.	Stof	Initiële gebeurtenis	indicatie	criterium	indicatie		scenario-kans			referentie-risiconiveau			2021			2030			2040			2050		
[afkorting]	[uitgangspunt]	[niveau]	[eenheid]	[kans]	[eenheid]	[per jaar]	[kans]	[effect]	[risico]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]			
1	gH2	breuk arm 2" leiding 2kg/s	50-100 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C1				F4	C1		F5	C1		F5	C1				
2		instantaan bol 1.000 ton	1-5 km	explosie 0,1 bar	5,0E-07	per jaar	5,E-07	F1	C4				F3	C4		F3	C4		F3	C4				
3		leidingbreuk 3" waterstof-leiding	100-500 m	explosie 0,1 bar	3,0E-07	per meterjaar	3,E-04	F4	C2															
4	LH2	breuk arm 2"leiding 2kg/s	50-100 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C1				F3	C1		F4	C1		F5	C1				
5		instantaan bol 3.600 ton	1-5 km	explosie 0,1 bar	5,0E-07	per jaar	5,E-07	F1	C4				F1	C4		F2	C4		F3	C4				
6		4 ton 3barg, lek grootste aansl 2"	500-1.000 m	explosie 0,1 bar	1,0E-06	per jaar	1,E-06	F1	C3															
7	LOHC	breuk slang, geen bund, falen ingreep	100-500 m	brand 10 kW/m2	4,0E-09	per uur	4,E-05	F3	C2				F2	C2		F3	C2		F3	C2				
8		aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-07	per jaar	1,E-07	F0	C2				F0	C2		F1	C2		F2	C2				
9		breuk slang, geen bund, falen ingreep	100-500 m	brand 10 kW/m2	4,0E-09	per uur	4,E-05	F3	C2				F1	C2		F2	C2		F2	C2				
10	e-ammonia	breuk arm, geen ingreep	>5 km	toxische wolk	3,0E-11	per uur	3,E-07	F1	C5				F1	C5		F1	C5		F1	C5				
11		instantaan falen	>5 km	toxische wolk	1,0E-08	per jaar	1,E-08	F0	C5				F0	C5		F1	C5		F1	C5				
12		breuk arm, geen ingreep	500-1.000 m	toxische wolk	3,0E-11	per uur	3,E-07	F1	C3				F1	C3		F2	C3		F2	C3				
13c	LNG	breuk arm, ingreep backflow	100-500 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C2				F4	C2		F4	C2		F0	C2				
13o		instantaan tank, max plas 40.000m2	1-5 km	explosie 0,1 bar	1,0E-08	per jaar	1,E-08	F0	C4				F0	C4		F0	C4		F0	C4				
13e		leidingbreuk 30" leiding 80 bar	1-5 km	explosie 0,1 bar	7,0E-09	per meterjaar	7,E-06	F2	C4				F3	C4		F3	C4		F0	C4				
13	CH4-gH2	breuk H2 compressor	100-500 m	explosie 0,1 bar	1,0E-04	per jaar	1,E-04	F3	C2				F3	C2		F3	C2							
14	gH2	instantaan buffer 1 ton 500 bar	100-500 m	fakkelt	1,0E-06	per jaar	1,E-06	F1	C2				F2	C2		F3	C2		F3	C2				
15	LOHC	plas orde 100 meter straal	50-100 m	plasbrand	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C1				F1	C1		F2	C1		F2	C1				
16	NH3	leidingbreuk 4" NH3-leiding	500-1.000 m	toxische wolk	4,8E-08	per meterjaar	5,E-06	F2	C3				F2	C3		F3	C3		F3	C3				
17	oil	10 minuten scenario	100-500 m	explosie 0,1 bar	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2				F2	C2		F2	C2		F0	C2				
18	vegoil	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2				F3	C2		F1	C2		F1	C2				
19	LH2	NR	<50 m	NR	NR	NR																		
20	biomass	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2				F3	C2		F4	C2		F4	C2				
21	fuels	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2				F2	C2		F3	C2		F3	C2				
22	CO2	NR	<50 m	NR																				
23	naphta	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2				F3	C2		F3	C2		F2	C2				
24	methanol	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2										F2	C2				
25	chemicals	aanname bund	1-5 km	toxische wolk	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C4				F2	C4		F2	C4		F2	C4				

Laag risico
Gemiddeld risico
Hoog risico
Zeer hoog risico

8.760 uur per jaar
 1.000 m. leiding per inrichting
 100 m. leiding per procesinstallatie

scenario: Regional Well Being

Incidentscenario		Risicofactoren				Referentie-inrichting				Potentieel risiconiveau														
Gevaarlijke stof en technologie		Typisch incidentscenario			Effect		Kans		Uitgangspunt				Laag (groen) - Gemiddeld (geel) - Hoog (licht oranje) - Zeer hoog (donker oranje)											
Nr.	Stof	initiële gebeurtenis	indicatie	criterium	indicatie		scenario-kans	referentie-risiconiveau			2021			2030			2040			2050				
	[afkorting]	[uitgangspunt]	[niveau]	[eenheid]	[kans]	[eenheid]	[per jaar]	[kans]	[effect]	[risico]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]		
1	gH2	breuk arm 2" leiding 2kg/s	50-100 m	explosie 0,1 bar	3,E-08	per uur	3,E-04	F4	C1	5	F4	C1		F4	C1		F5	C1		F5	C1			
2		instantaan bol 1.000 ton	1-5 km	explosie 0,1 bar	5,E-07	per jaar	5,E-07	F1	C4	5	F2	C4		F3	C4		F3	C4		F3	C4			
3		leidingbreuk 3" waterstof-leiding	100-500 m		explosie 0,1 bar	3,E-07	per meterjaar	3,E-04	F4	C2	6													
4	LH2	breuk arm 2"leiding 2kg/s	50-100 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C1	5				F4	C1		F4	C1		F4	C1			
5		instantaan bol 3.600 ton	1-5 km	explosie 0,1 bar	5,0E-07	per jaar	5,E-07	F1	C4	5				F2	C4		F2	C4		F2	C4			
6		4 ton 3barg, lek grootste aansl 2"	500-1.000 m		explosie 0,1 bar	1,0E-06	per jaar	1,E-06	F1	C3	4													
7	LOHC	breuk slang, geen bund, falen ingreep	100-500 m	brand 10 kW/m2	4,0E-09	per uur	4,0E-09	F3	C2	5				F3	C2		F3	C2		F3	C2			
8		aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-07	per jaar	1,E-07	F0	C2	2				F1	C2		F1	C2		F2	C2			
9		breuk slang, geen bund, falen ingreep	100-500 m		brand 10 kW/m2	4,0E-09	per uur	4,0E-09	F3	C2	5				F2	C2		F2	C2		F2	C2		
10	e-ammonia	breuk arm, geen ingreep	>5 km	toxische wolk	3,0E-11	per uur	3,E-07	F1	C5	6				F0	C5		F1	C5		F1	C5			
11		instantaan falen	>5 km	toxische wolk	1,0E-08	per jaar	1,E-08	F0	C5	5				F0	C5		F0	C5		F1	C5			
12		breuk arm, geen ingreep	500-1.000 m		toxische wolk	3,0E-11	per uur	3,E-07	F1	C3	4	F1	C3		F1	C3		F1	C3		F1	C3		
13c	LNG	breuk arm, ingreep backflow	100-500 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C2	6	F3	C2												
13o		instantaan tank, max plas 40.000m2	1-5 km	explosie 0,1 bar	1,0E-08	per jaar	1,E-08	F0	C4	4														
13e		leidingbreuk 30" leiding 80 bar	1-5 km		explosie 0,1 bar	7,0E-09	per meterjaar	7,E-06	F2	C4	6	F3	C4											
13	CH4-gH2	breuk H2 compressor	100-500 m	explosie 0,1 bar	1,0E-04	per jaar	1,0E-04	F0	C2	2														
14	gH2	instantaan buffer 1 ton 500 bar	100-500 m	fakkel	1,0E-06	per jaar	1,E-06	F1	C2	3				F2	C2		F2	C2		F2	C2			
15	LOHC	plas orde 100 meter straal	50-100 m	plasbrand	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C1	3				F2	C1		F2	C1		F2	C1			
16	NH3	leidingbreuk 4" NH3-leiding	500-1.000 m	toxische wolk	4,8E-08	per meterjaar	5,E-06	F2	C3	5				F2	C3		F2	C3		F2	C3			
17	oil	10 minuten scenario	100-500 m	explosie 0,1 bar	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4	F3	C2												
18	vegoil	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4				F1	C2		F1	C2		F1	C2			
19	LH2	NR	<50 m	NR	NR	NR	NR																	
20	biomass	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4														
21	fuels	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4														
22	CO2	NR	<50 m	NR																				
23	naphta	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4														
24	methanol	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4														
	chemicals	aanname bund	1-5 km	toxische wolk	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C4	6														

8.760 uur per jaar
 1.000 m. leiding per inrichting
 100 m. leiding per procesinstallatie

Laag risico
 Gemiddeld risico
 Hoog risico
 Zeer hoog risico

scenario: Protective Markets

Incidentscenario		Risicofactoren			Referentie-inrichting			Potentieel risiconiveau														
Gevaarlijke stof en technologie		Typisch incidentscenario		Effect		Kans		Uitgangspunt			Laag (groen) - Gemiddeld (geel) - Hoog (licht oranje) - Zeer hoog (donker oranje)											
Nr.	Stof	Initiële gebeurtenis	indicatie	criterium	indicatie		scenario-kans			2021			2030			2040			2050			
[afkorting]	[uitgangspunt]	[niveau]	[eenheid]	[kans]	[eenheid]	[per jaar]	[kans]	[effect]	[risico]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	kans [F0-F5]	effect [C0-C5]	risico [niveau]	
1	gH2	breuk arm 2" leiding 2kg/s	50-100 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C1	5	F4	C1	5	F4	C1	5	F5	C1	5	F5	C1	5
2		instantaan bol 1.000 ton	1-5 km	explosie 0,1 bar	5,0E-07	per jaar	5,E-07	F1	C4	5	F2	C4	5	F3	C4	5	F3	C4	5	F3	C4	5
3		leidingbreuk 3" waterstof-leiding	100-500 m	explosie 0,1 bar	3,0E-07	per meterjaar	3,E-04	F4	C2	6												
4	LH2	breuk arm 2"leiding 2kg/s	50-100 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C1	5				F4	C1	5	F4	C1	5	F5	C1	5
5		instantaan bol 3.600 ton	1-5 km	explosie 0,1 bar	5,0E-07	per jaar	5,E-07	F1	C4	5				F2	C4	5	F2	C4	5	F3	C4	5
6		4 ton 3bar, lek grootste aansl 2"	500-1.000 m	explosie 0,1 bar	1,0E-06	per jaar	1,E-06	F1	C3	4												
7	LOHC	breuk slang, geen bund, falen ingreep	100-500 m	brand 10 kW/m2	4,0E-09	per uur	4,E-05	F3	C2	5												
8		aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-07	per jaar	1,E-07	F0	C2	2												
9		breuk slang, geen bund, falen ingreep	100-500 m	brand 10 kW/m2	4,0E-09	per uur	4,E-05	F3	C2	5												
10	e-ammonia	breuk arm, geen ingreep	>5 km	toxische wolk	3,0E-11	per uur	3,E-07	F1	C5	6				F0	C5	6	F0	C5	6	F1	C5	6
11		instantaan falen	>5 km	toxische wolk	1,0E-08	per jaar	1,E-08	F0	C5	5				F0	C5	5	F0	C5	5	F0	C5	5
12		breuk arm, geen ingreep	500-1.000 m	toxische wolk	3,0E-11	per uur	3,E-07	F1	C3	4				F1	C3	4	F1	C3	4	F1	C3	4
13c	LNG	breuk arm, ingreep backflow	100-500 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C2	6	F3	C2	6									
13o		instantaan tank, max plas 40.000m2	1-5 km	explosie 0,1 bar	1,0E-08	per jaar	1,E-08	F0	C4	4	F0	C4	4									
13e		leidingbreuk 30" leiding 80 bar	1-5 km	explosie 0,1 bar	7,0E-09	per meterjaar	7,E-06	F2	C4	6	F3	C4	6									
13	CH4-gH2	breuk H2 compressor	100-500 m	explosie 0,1 bar	1,0E-04	per jaar	1,E-04	F3	C2	5												
14	gH2	instantaan buffer 1 ton 500 bar	100-500 m	fakkel	1,0E-06	per jaar	1,E-06	F1	C2	3				F1	C2	3	F2	C2	3	F2	C2	3
15	LOHC	plas orde 100 meter straal	50-100 m	plasbrand	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C1	3												
16	NH3	leidingbreuk 4" NH3-leiding	500-1.000 m	toxische wolk	4,8E-08	per meterjaar	5,E-06	F2	C3	5				F2	C3	5	F2	C3	5	F2	C3	5
17	oil	10 minuten scenario	100-500 m	explosie 0,1 bar	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4	F3	C2	4	F2	C2	4	F2	C2	4	F2	C2	4
18	vegoil	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4				F1	C2	4	F1	C2	4	F1	C2	4
19	LH2	NR	<50 m	NR	NR	NR																
20	biomass	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4				F3	C2	4	F3	C2	4	F3	C2	4
21	fuels	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4				F2	C2	4	F2	C2	4	F2	C2	4
22	CO2	NR	<50 m	NR																		
23	naphta	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4				F2	C2	4	F2	C2	4	F3	C2	4
24	methanol	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4												
25	chemicals	aanname bund	1-5 km	toxische wolk	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C4	6				F2	C4	6	F2	C4	6	F2	C4	6

8.760 uur per jaar
 1.000 m. leiding per inrichting
 100 m. leiding per procesinstallatie

Laag risico
Gemiddeld risico
Hoog risico
Zeer hoog risico

scenario: Wake Up Call

Incident scenario		Risicofactoren				Referentie-inrichting					Potentieel risiconiveau												
Gevaarlijke stof en technologie		Typisch incident scenario		Effect		Kans		Uitgangspunt					Laag (groen) - Gemiddeld (geel) - Hoog (licht oranje) - Zeer hoog (donker oranje)										
Nr.	Stof	initiële gebeurtenis	indicatie	criterium	indicatie		scenario-kans			referentie-risiconiveau		2021			2030			2040			2050		
[afkorting]	[uitgangspunt]	[niveau]	[eenheid]	[kans]	[eenheid]	[per jaar]	[kans]	[effect]	[risico]	kans [FO-F5]	effect [CO-CS]	risico [niveau]	kans [FO-F5]	effect [CO-CS]	risico [niveau]	kans [FO-F5]	effect [CO-CS]	risico [niveau]	kans [FO-F5]	effect [CO-CS]	risico [niveau]		
1	gH2	breuk arm 2" leiding 2kg/s	50-100 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C1	5	F4	C1		F5	C1		F5	C1		F5	C1		
2		instantaan bol 1.000 ton	1-5 km	explosie 0,1 bar	5,0E-07	per jaar	5,E-07	F1	C4	5	F2	C4		F3	C4		F3	C4		F3	C4		
3		leidingbreuk 3" waterstof-leiding	100-500 m	explosie 0,1 bar	3,0E-07	per meterjaar	3,E-04	F4	C2	6													
4	LH2	breuk arm 2"leiding 2kg/s	50-100 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C1	5				F4	C1		F5	C1		F5	C1		
5		instantaan bol 3.600 ton	1-5 km	explosie 0,1 bar	5,0E-07	per jaar	5,E-07	F1	C4	5				F2	C4		F2	C4		F3	C4		
6		4 ton 3barg, lek grootste aansl 2"	500-1.000 m	explosie 0,1 bar	1,0E-06	per jaar	1,E-06	F1	C3	4													
7	LOHC	breuk slang, geen bund, falen ingreep	100-500 m	brand 10 kW/m2	4,0E-09	per uur	4,E-05	F3	C2	5				F3	C2		F3	C2		F3	C2		
8		aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-07	per jaar	1,E-07	F0	C2	2				F1	C2		F1	C2		F1	C2		
9		breuk slang, geen bund, falen ingreep	100-500 m	brand 10 kW/m2	4,0E-09	per uur	4,E-05	F3	C2	5				F2	C2		F2	C2		F2	C2		
10	e-ammonia	breuk arm, geen ingreep	>5 km	toxische wolk	3,0E-11	per uur	3,E-07	F1	C5	6				F0	C5		F1	C5		F1	C5		
11		instantaan falen	>5 km	toxische wolk	1,0E-08	per jaar	1,E-08	F0	C5	5				F0	C5		F0	C5		F1	C5		
12		breuk arm, geen ingreep	500-1.000 m	toxische wolk	3,0E-11	per uur	3,E-07	F1	C3	4				F1	C3		F1	C3		F1	C3		
13tc	LNG	breuk arm, ingreep backflow	100-500 m	explosie 0,1 bar	3,0E-08	per uur	3,E-04	F4	C2	6	F3	C2											
13b		instantaan tank, max plas 40.000m2	1-5 km	explosie 0,1 bar	1,0E-08	per jaar	1,E-08	F0	C4	4	F0	C4											
13e		leidingbreuk 30" leiding 80 bar	1-5 km	explosie 0,1 bar	7,0E-09	per meterjaar	7,E-06	F2	C4	6	F3	C4											
13	CH4-gH2	breuk H2 compressor	100-500 m	explosie 0,1 bar	1,0E-04	per jaar	1,E-06	F1	C2	3										F3	C2		
14	gH2	instantaan buffer 1 ton 500 bar	100-500 m	fakkel	1,0E-06	per jaar	1,E-06	F2	C1	3										F2	C1		
15	LOHC	plas orde 100 meter straal	50-100 m	plasbrand	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C1	3										F2	C1		
16	NH3	leidingbreuk 4" NH3-leiding	500-1.000 m	toxische wolk	4,8E-08	per meterjaar	5,E-06	F2	C3	5										F3	C3		
17	oil	10 minuten scenario	100-500 m	explosie 0,1 bar	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4	F3	C2		F2	C2		F2	C2		F2	C2		
18	vegoil	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4										F1	C2		
19	LH2	NR	<50 m	NR	NR	NR																	
20	biomass	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4										F4	C2		
21	fuels	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4										F3	C2		
22	CO2	NR	<50 m	NR																			
23	naphta	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4										F3	C2		
24	methanol	aanname bund	100-500 m	brand 10 kW/m2	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C2	4													
25	chemicals	aanname bund	1-5 km	toxische wolk	1,0E-05	per jaar	1,E-05	F2	C4	6										F2	C4		

Laag risico
Gemiddeld risico
Hoog risico
Zeer hoog risico

8.760 uur per jaar
 1.000 m. leiding per inrichting
 100 m. leiding per procesinstallatie

Colofon

©SmartPort

December 2023

Ontwerp: IJzersterk.nu

Fotografie cover: Danny Cornelissen

Alle opgenomen informatie is eigendom van SmartPort en TNO. Reproductie van inhoud, geheel of gedeeltelijk, is toegestaan mits bronvermelding is toegepast.

Vrijwaring

SmartPort heeft de grootst mogelijke zorg besteed aan de samenstelling van dit document. Desondanks accepteert SmartPort geen aansprakelijkheid voor eventuele onjuistheden in de informatie, noch voor schade, overlast of ongemak dan wel andersoortige gevolgen die voortvloeien uit of samenhangen met het gebruik van deze informatie.



connecting
knowledge

HEEFT U VRAGEN?

SmartPort
info@smartport.nl
tel. 010 402 03 43