



380 kV-Netuitbreiding Noord-Holland Noord

Deelrapport thema duurzaamheid

TenneT TSO B.V.

3 oktober 2025

Project 380 kV-Netuitbreiding Noord-Holland Noord
Opdrachtgever TenneT TSO B.V.

Document Deelrapport thema duurzaamheid
Status Concept
Datum 3 oktober 2025
Referentie 142997/25-014.944

Projectcode 142997
Meridian kenmerk TenneT 003.017.20 1596897

Paraaf Dit document is geautoriseerd en intern aantoonbaar vrijgegeven conform het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos.
Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

Adres E-MERGE
Hoogoorddreef 15
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
+31 (0)20 312 55 55
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

Niets uit dit document mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Geen aansprakelijkheid wordt aanvaard voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

LEESWIJZER	6
DEEL I: PROJECTBESCHRIJVING EN ONDERZOEKSMETHODES	7
1 BESCHRIJVING VAN HET VOorgenomen PROJECT	8
1.1 Waarom is de netuitbreiding nodig?	8
1.2 Projectonderdelen en zoekgebied	8
1.3 Alternatieven	10
1.3.1 Alternatieven 380 kV-hoogspanningsverbinding	10
1.3.2 Alternatieven zuidelijk 380 kV-hoogspanningsstation	12
1.3.3 Alternatieven noordelijk 380/150 kV-hoogspanningsstation en 150 kV-hoogspanningsverbinding	12
2 WETTELIJK KADER EN BELEIDSKADER	14
2.1 Wettelijk kader	14
2.2 Beleidskaders	14
3 REFERENTIESITUATIE	16
4 ONDERZOEKSMETHODIEK	17
4.1 Welke effecten worden onderzocht in dit plan-MER?	17
4.1.1 De effecten door de realisatie van de projectonderdelen	17
4.1.2 De effecten door het gebruik van de projectonderdelen	18
4.2 Beoordelingskader en -criteria	19
4.3 Onderzoeksaanpak per criterium	19
4.3.1 Materiaalgebruik (zoals staal, aluminium en beton)	19
4.3.2 Uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase	22
4.3.3 Energieverliezen tijdens de gebruiksfase	24
DEEL II: EFFECTENSTUDIE 380 KV-TRACÉALTERNATIEVEN MET ÉÉN MASTENRIJ	26

5	EFFECTENSTUDIE 380 KV-HOOGSPANNINGSVERBINDING MET ÉÉN MASTENRIJ	27
5.1	Effecten op materiaalgebruik	27
5.1.1	Effectbeschrijving	27
5.1.2	Effectbeoordeling hoofdtracés	28
5.2	Effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens de aanleg- en gebruiksfase	28
5.2.1	Effectbeschrijving	28
5.2.2	Effectbeoordeling hoofdtracés	29
5.3	Effecten op energieverliezen tijdens de gebruiksfase	29
5.3.1	Effectbeschrijving	29
5.3.2	Effectbeoordeling hoofdtracés	29
DEEL III: EFFECTENSTUDIE 380 KV-TRACÉALTERNATIEVEN MET TWEE MASTENRIJEN		31
6	EFFECTENSTUDIE 380 KV-TRACÉALTERNATIEVEN MET TWEE MASTENRIJEN	32
6.1	Effecten op materiaalgebruik	32
6.1.1	Effectbeschrijving	32
6.1.2	Effectbeoordeling hoofdtracés	33
6.2	Effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase	33
6.2.1	Effectbeschrijving	33
6.2.2	Effectbeoordeling	34
6.3	Effecten op energieverliezen tijdens de gebruiksfase	34
6.3.1	Effectbeschrijving	34
6.3.2	Effectbeoordeling	35
DEEL IV: EFFECTENSTUDIE STATIONSLOCATIEALTERNATIEVEN EN 150 KV-TRACÉALTERNATIEVEN		36
7	EFFECTENSTUDIE STATIONSLOCATIEALTERNATIEVEN	37
7.1	Effecten op materiaalgebruik	37
7.1.1	Effectbeschrijving	37
7.2	Effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase	38
7.2.1	Effectbeschrijving	38
8	EFFECTENSTUDIE ONDERGRONDSE 150 KV-TRACÉALTERNATIEVEN	40
8.1	Effecten op materiaalgebruik	40

8.1.1	Effectbeschrijving	40
8.1.2	Effectbeoordeling	41
8.2	Effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase	42
8.2.1	Effectbeschrijving	42
8.2.2	Effectbeoordeling	43
8.3	Effecten op energieverliezen tijdens de gebruiksfase	44
8.3.1	Effectbeschrijving	44
8.3.2	Effectbeoordeling	45

DEEL V: MITIGERENDE MAATREGELEN EN LEEMTEN IN KENNIS 47

9 MITIGERENDE MAATREGELEN TRACÉALTERNATIEVEN EN STATIONSLOCATIEALTERNATIEVEN 48

9.1	Mitigerende maatregelen materiaalgebruik	48
9.2	Mitigerende maatregelen uitstoot van broeikasgassen	49
9.3	Mitigerende maatregelen energieverliezen	50

10 LEEMTEN IN KENNIS 51

11 LITERATUURLIJST 52

Laatste pagina 52

Bijlage(n) **Aantal pagina's**

I	Resultaten van materiaalgebruik, MKI en GWP van de hoofdtracés, deeltracés en verbindingstukken	2
---	---	---

LEESWIJZER

Voor u ligt het deelrapport duurzaamheid. Dit rapport is onderdeel van de milieueffectrapportage voor de 380 kV-Netuitbreiding Noord-Holland Noord. De netuitbreiding betreft het realiseren van een nieuwe bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding, twee nieuwe hoogspanningsstations en een ondergrondse 150 kV-hoogspanningsverbinding.

Het milieueffectrapport (MER) voor de 380 kV-Netuitbreiding Noord-Holland Noord bestaat uit de volgende onderdelen:

- samenvatting plan-MER;
- hoofdrapport plan-MER;
- deelrapport per milieuthema.

Onderstaand volgt een korte toelichting op wat u in elk van deze onderdelen kunt lezen.

Wat leest u in het deelrapport?

Voorliggend deelrapport bevat de effectenstudie voor het thema duurzaamheid. Het deelrapport is als volgt opgebouwd:

- deel I: beschrijving van het project en de onderzoeksmethodes;
- deel II: effectbeoordeling 380 kV-tracéalternatieven op basis van één mastenrij;
- deel III: effectbeoordeling 380 kV-tracéalternatieven op basis van twee mastenrijen;
- deel IV: effectbeoordeling stationslocatiealternatieven en ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven;
- deel V: mitigerende maatregelen en leemten in kennis.

Wat leest u in de samenvatting plan-MER?

De samenvatting is een zelfstandig leesbaar document met daarin een publiekvriendelijke weergave van de informatie uit het plan-MER.

Wat leest u in het hoofdrapport plan-MER?

Het hoofdrapport beschrijft op hoofdlijnen de aanleiding voor, aanpak van en uitkomsten van de milieuonderzoeken. Meer gedetailleerde informatie en onderbouwingen zijn onderdeel van de deelrapporten.

DEEL I: PROJECTBESCHRIJVING EN ONDERZOEKSMETHODES

CONCEPT

BESCHRIJVING VAN HET VOORGENOMEN PROJECT

De 380 kV-Netuitbreiding Noord-Holland Noord kan effecten hebben op het thema veiligheid. Dit deelrapport beschrijft de effecten van de voorgenomen activiteit ten aanzien van circulariteit, klimaatimpact en energieverliezen. Dit inleidende hoofdstuk beschrijft het voornemen (paragraaf 1.1), de projectonderdelen en het zoekgebied (paragraaf 1.2) en de alternatieven (paragraaf 1.3).

1.1 Waarom is de netuitbreiding nodig?

TenneT heeft de wettelijke taak om de leveringszekerheid van elektriciteit op het transportnet (110 kiloVolt (kV) en hoger) te waarborgen. Dit betekent dat TenneT verantwoordelijk is om continu en betrouwbaar elektriciteit te leveren aan eindgebruikers. TenneT stelt tweejaarlijks investeringsplannen op. Uit analyses voor deze investeringsplannen blijkt dat de huidige en toekomstige transportcapaciteit van het hoogspanningsnet in Noord-Holland onvoldoende is om aan de groeiende vraag te kunnen voldoen. De berekeningen van TenneT wijzen uit dat een uitbreiding van het bestaande 150 kV-hoogspanningsnet onvoldoende is om de knelpunten in het hoogspanningsnet toekomstbestendig op te lossen. Daarom is een nieuwe bovengrondse 380 kV-verbinding nodig, die het 150 kV-station Middenmeer verbindt met de bestaande 380 kV-verbinding tussen Beverwijk en Diemen (zie notitie [Nut en Noodzaak](#)). Het project dat TenneT hiervoor is gestart is de 380 kV-Netuitbreiding Noord-Holland Noord (het gebied ten noorden van het Noordzeekanaal, zie afbeelding 1.1). Komt de netuitbreiding er niet, dan hebben de netbeheerders problemen om alle producenten en gebruikers van capaciteit te kunnen voorzien en komt de leveringszekerheid onder druk te staan.

Samenhang met programma VAWOZ

Parallel aan de voorkeursbeslissing van dit project, vindt ook besluitvorming op rijksniveau plaats in het kader van programma Verbindingen Aanlandingen Wind op Zee 2031 - 2040 (programma VAWOZ). Dit programma brengt kansrijke aanlandlocaties in beeld voor windmolenparken op zee, die in de periode 2031 - 2040 worden ontwikkeld. Een aanlanding zorgt ervoor dat een windpark op zee wordt aangesloten op het hoogspanningsnetwerk op land. Als er twee of meer aanlandingen plaatsvinden in de Kop van Noord-Holland voldoet een enkele mastenrij niet voor voldoende transportcapaciteit en is er een nut en noodzaak voor een dubbele mastenrij voor de 380 kV-verbinding. Bij één aanlanding in de Kop van Noord-Holland, volstaat een enkele mastenrij, waarbij beperkte groei in energievraag- en aanbod mogelijk is. Daarom worden in de milieuonderzoeken zowel de effecten van één als van twee mastenrijen onderzocht. Deel II van dit document beschrijft de effecten voor één mastenrij. Deel III doet dit voor twee mastenrijen.

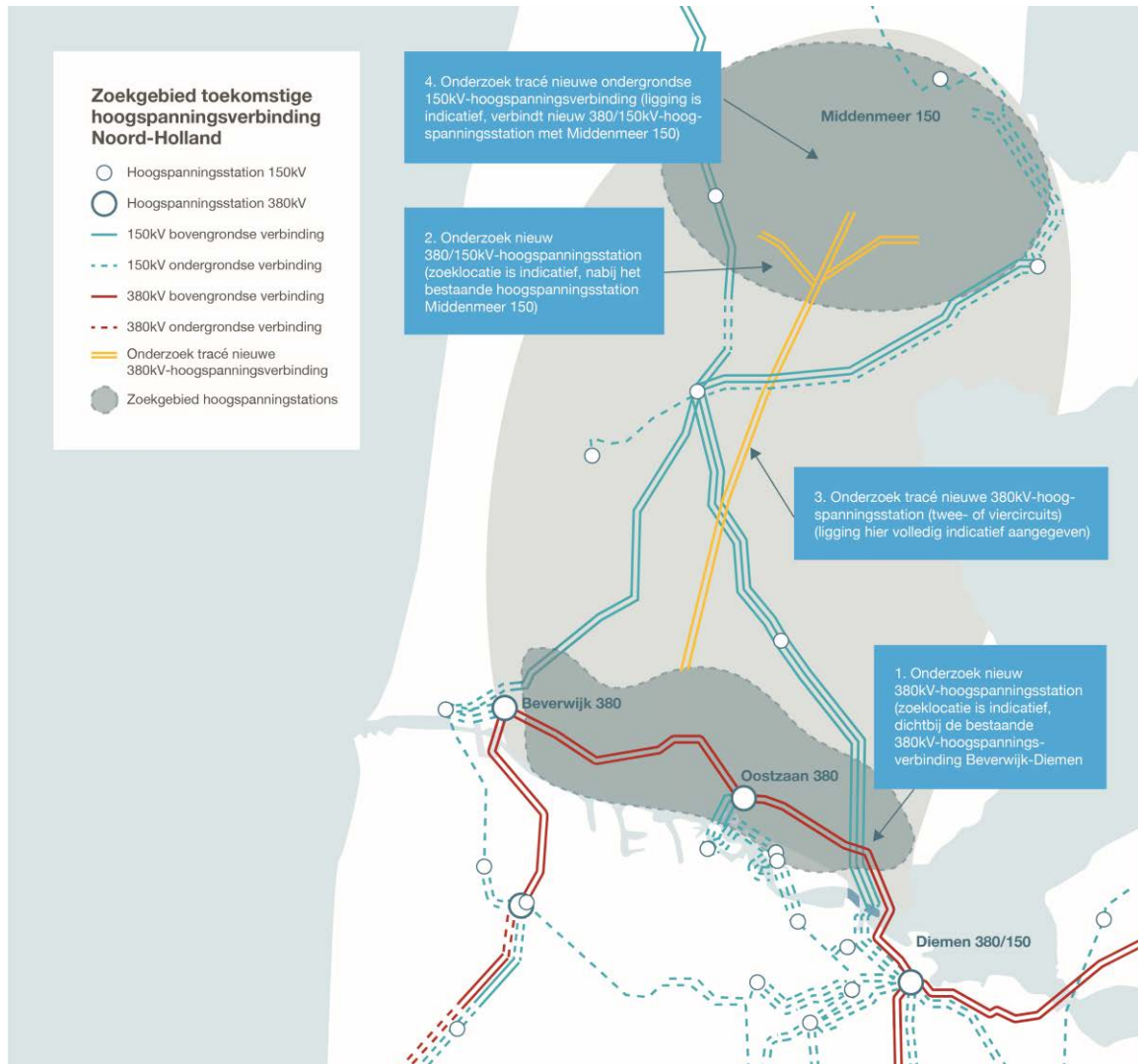
1.2 Projectonderdelen en zoekgebied

Afbeelding 1.1 laat het zoekgebied zien met daarbinnen de projectonderdelen voor de Netuitbreiding Noord-Holland Noord. De projectonderdelen zijn (zie ook afbeelding 1.1):

- 1 een nieuw te bouwen 380 kV-hoogspanningsstation nabij de bestaande 380 kV-hoogspanningsverbinding die loopt tussen Beverwijk en Diemen;
- 2 een nieuw te bouwen 380/150 kV-hoogspanningsstation nabij het bestaande 150 kV-hoogspanningsstation (genaamd 'Middenmeer150') bij Agriport A7 in gemeente Hollands Kroon;

- 3 een nieuwe bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding tussen de nieuw te bouwen hoogspanningsstations:
 - een verbinding met twee circuits is nodig om knelpunten (toekomstbestendig) op te lossen. Voor twee circuits is één rij van masten nodig;
 - eventueel zijn twee extra circuits benodigd om mogelijke windenergie afkomstig van zee te kunnen transporteren. Voor vier circuits zijn twee rijen van masten nodig;
- 4 een nieuwe ondergrondse 150 kV-hoogspanningsverbinding (vier circuits in één kabelbed) die het nieuw te bouwen 380/150 kV-hoogspanningsstation nabij Agriport A7 aansluit op het bestaande 150 kV-hoogspanningsstation Middenmeer150.

Afbeelding 1.1 Projectonderdelen en zoekgebied 380 kV-Netuitbreiding Noord-Holland Noord



Om de netuitbreiding zo optimaal mogelijk te realiseren worden verschillende locaties voor de hoogspanningsstations en verschillende routes voor de hoogspanningsverbindingen onderzocht. Dit zijn de alternatieven. Elk projectonderdeel zoals weergegeven op afbeelding 1.1 heeft eigen alternatieven. De alternatieven worden weergegeven en beschreven in paragraaf 1.3.

1.3 Alternatieven

Deze paragraaf toont en beschrijft de alternatieven voor:

- de 380 kV-verbinding(en) (paragraaf 1.3.1);
- het zuidelijke hoogspanningsstation (paragraaf 1.3.2);
- het noordelijke hoogspanningsstation (paragraaf 1.3.3);
- de ondergrondse 150 kV-verbinding (paragraaf 1.3.3).

Hoe de alternatieven tot stand zijn gekomen is te lezen in de [Notitie alternatievenontwikkeling](#).

1.3.1 Alternatieven 380 kV-hoogspanningsverbinding

Hoofdtracés, deeltracés en verbindingstukken

De alternatieven voor de bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding worden 380 kV-tracéalternatieven genoemd. Hierbij is onderscheid te maken tussen hoofdtracés, deeltracés en verbindingstukken:

- een **hoofdtracé** verwijst naar een 380 kV-tracéalternatief als geheel van beginpunt tot eindpunt. Er zijn vijf hoofdtracés (donkerblauw, groen, geel, rood en lichtblauw);
- een hoofdtracé is onderverdeeld in **deeltracés**. Elk hoofdtracé bestaat uit vier tot acht deeltracés. Deeltracés kunnen gecombineerd een route vormen tussen een zuidelijk en noordelijk hoogspanningsstation;
- de paarse **verbindingstukken** verbinden de hoofdtracés met elkaar. Hierdoor is het mogelijk om met deeltracés uit verschillende hoofdtracés een route samen te stellen tussen een zuidelijk en noordelijk hoogspanningsstation.

Het plan-MER geeft inzicht in de milieueffecten van zowel de hoofdtracés, deeltracés als de verbindingstukken. Hieruit ontstaat inzicht in de locatie van de milieueffecten. Ook wordt hiermee het proces van het samenstellen van een route gefaciliteerd. In paragraaf 1.4 wordt dit verder toegelicht.

Corridors en referentielijnen

De hoofdtracés, deeltracés en verbindingstukken bestaan uit een corridor en een referentielijn:

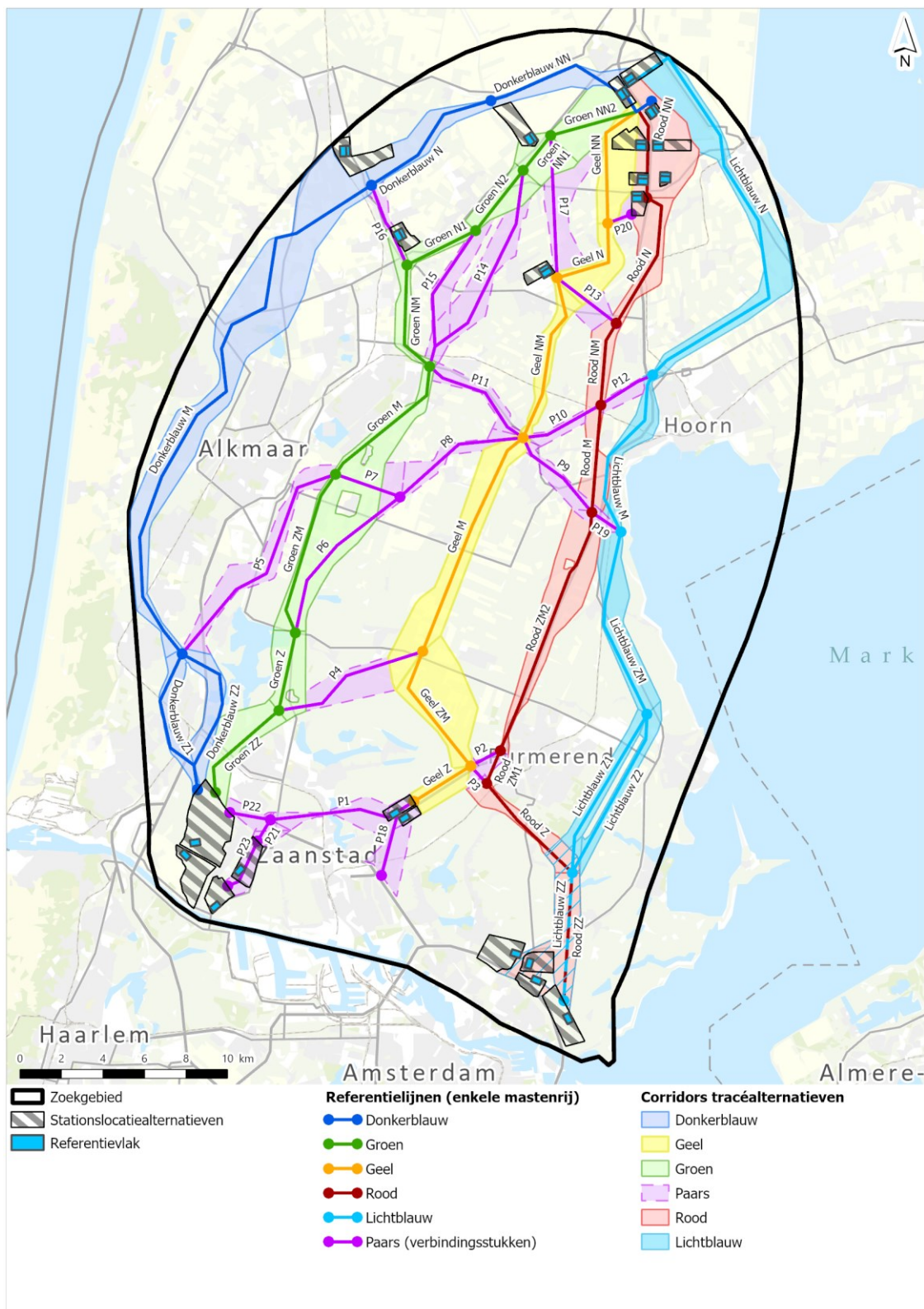
- **corridors** geven de onderzoeksruimte weer waarbinnen gezocht wordt naar een tracé voor de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding. De corridor vormt de schuifruimte van de referentielijn. De corridors bieden voldoende ruimte om een dubbele mastenrij (vier circuits) te kunnen bouwen;
- door elke corridor loopt een **referentielijn**. Voor het onderzoek naar twee mastenrijen zijn dit twee referentielijnen. De referentielijn is een representatieve route voor de nieuwe hoogspanningsverbinding binnen de corridor. De referentielijnen vormen het uitgangspunt voor het onderzoeken van de (milieu)effecten. De uitkomsten van de effectenstudies kunnen aanleiding zijn om de referentielijn binnen de corridor te verplaatsen.

Afbeelding 1.2 laat de 380 kV-tracéalternatieven zien met één mastenrij. De ligging van de referentielijnen voor twee mastenrijen verschilt op sommige locaties van de referentielijn van de enkele mastenrij. Deze zijn weergegeven bij de effectbeoordeling in hoofdstuk 6.

Milieuonderzoek naar zowel één als twee mastenrijen

Dit plan-MER onderzoekt de effecten van de bouw zowel één als van twee mastenrijen. Hiermee wordt ingespeeld op de keuzes die parallel gemaakt worden bij programma VAWOZ (zie paragraaf 1.1). Deel II van dit rapport beschrijft de effecten van de 380 kV-tracéalternatieven met één mastenrij, deel III doet dit voor de 380 kV-tracéalternatieven met twee mastenrijen. Bij zowel deel II als deel III worden de effecten beoordeeld ten opzichte van de referentiesituatie. Dit betekent dat niet onderzocht wordt wat de bijkomende effecten zijn van een tweede mastenrij ten opzichte van één mastenrij, maar wat de effecten zijn van twee mastenrijen ten opzichte van de huidige situatie waar nog geen hoogspanningsverbinding gerealiseerd is.

Afbeelding 1.2 Alternatieven 380 kV-hoogspanningsverbinding met één mastenrij (en stationslocatiealternatieven) op de kaart



Elk deeltracé heeft een eigen afkorting. Deze is opgebouwd uit de kleur van het tracé, de geografische ligging (windrichting) en eventueel een variant wanneer een deeltracé zich opsplitst. Ter illustratie: deeltracé DB-Z1 staat bijvoorbeeld voor donkerblauw Zuid-1, deeltracé LB-ZM voor lichtblauw Zuid-Midden.

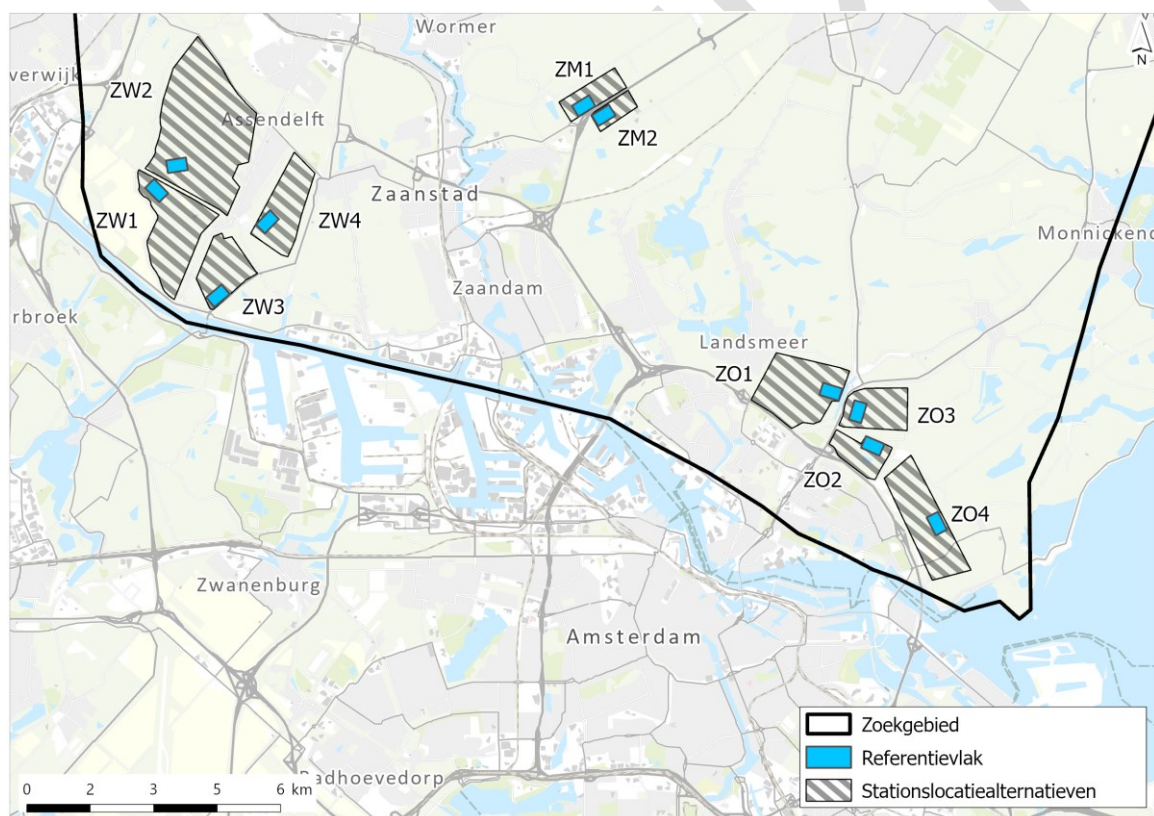
1.3.2 Alternatieven zuidelijk 380 kV-hoogspanningsstation

Afbeelding 1.3 toont de stationslocatiealternatieven voor het zuidelijke 380 kV-hoogspanningsstation. Een stationslocatiealternatief omvat het gebied waarbinnen wordt gezocht naar een locatie voor het 380 kV-hoogspanningsstation van circa 17 hectare (ha). Het nieuwe station wordt verbonden met de bestaande 380 kV-verbinding tussen Diemen en Beverwijk. De naamgeving van de stationslocatiealternatieven is gebaseerd op de geografische ligging, namelijk 'zuidwest', 'zuid-midden' en 'zuidoost', gevolgd door een willekeurige nummering.

Referentievlakken

Binnen de stationslocatiealternatieven is een referentievlak (een blauw vlak) ingetekend. Dit is een representatieve locatie voor het nieuwe hoogspanningsstation. Deze locatie staat niet vast, maar vormt het uitgangspunt voor de onderzoeken van de (milieu)effecten. De uitkomsten van de effectenstudies kunnen aanleiding zijn om binnen het gebied van het stationslocatiealternatief een andere locatie voor het hoogspanningsstation verder te onderzoeken. De referentievlakken voor het zuidelijke hoogspanningsstation zijn 17 ha.

Afbeelding 1.3 Alternatieven zuidelijk 380 kV-hoogspanningsstation op de kaart



1.3.3 Alternatieven noordelijk 380/150 kV-hoogspanningsstation en 150 kV-hoogspanningsverbinding

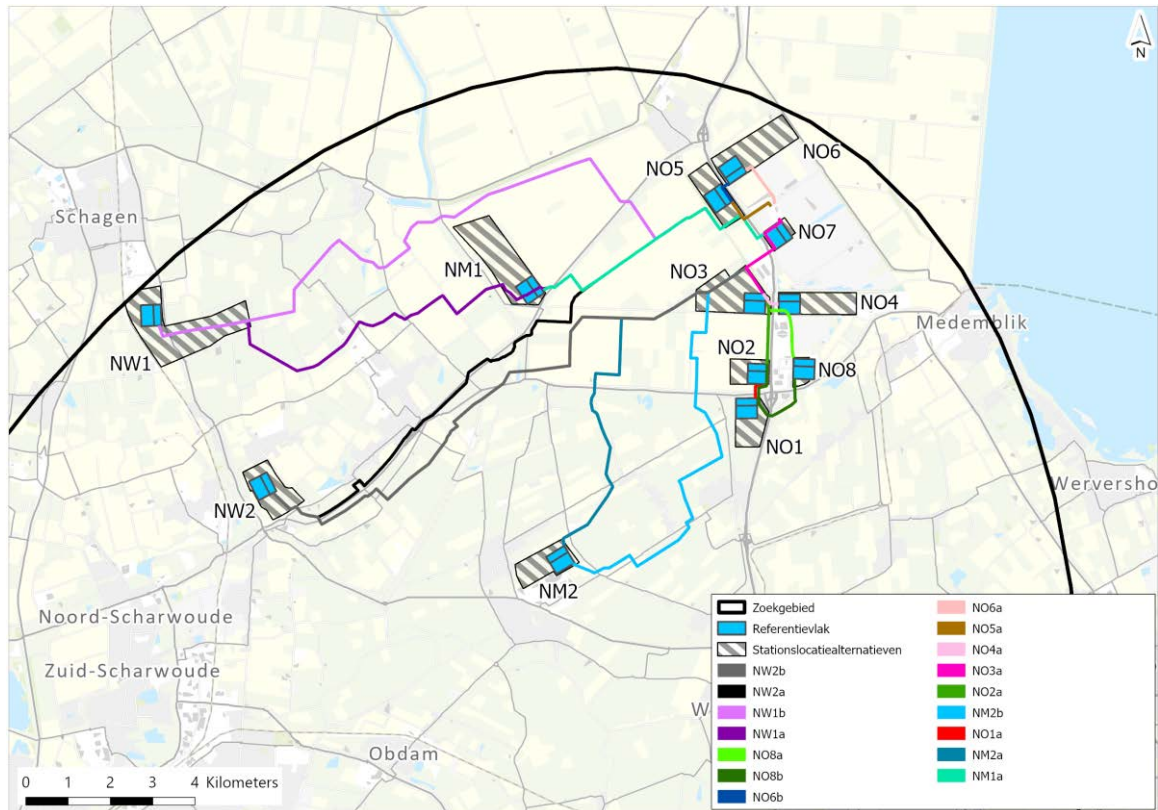
Afbeelding 1.4 toont de stationslocatiealternatieven voor het noordelijke 380/150 kV-hoogspanningsstation. Een stationslocatiealternatief omvat het gebied waarbinnen wordt gezocht naar een locatie voor het 380 kV-hoogspanningsstation van circa 24 ha. Voor de verbinding tussen nieuwe hoogspanningsstation en het bestaande hoogspanningsstation Middenmeer150 zijn 150 kV-tracéalternatieven ontwikkeld. Alle stationslocaties hebben één of twee tracéalternatieven, die (samen) een realistische weergave geven van een mogelijk tracé. In een volgende fase wordt dit tracé verder uitgewerkt. De naamgeving van de

stationslocatiealternatieven is gebaseerd op de geografische ligging, namelijk 'noordwest', 'noord-midden' en 'noordoost', gevolgd door een willekeurige nummering.

Referentievlakken

Ook voor de noordelijke stationslocatiealternatieven zijn referentievlakken ingetekend. De referentievlakken voor het noordelijke hoogspanningsstation zijn 24 ha.

Afbeelding 1.4 Alternatieven noordelijk 380/150 kV-hoogspanningsstation en 150 kV-hoogspanningsverbinding op de kaart



WETTELIJK KADER EN BELEIDSKADER

2.1 Wettelijk kader

Op Europees en op Nederlands niveau geldt er relevante wetgeving voor het thema duurzaamheid, aanvullend op het overkoepelende wettelijk kader zoals opgenomen in het hoofdrapport van het MER. Tabel 2.1 toont hiervan een overzicht.

Tabel 2.1 Wettelijk kader thema duurzaamheid

Wet- en regelgeving	Uitleg en relevantie
EU Klimaatwet (2021)	de Europese Klimaatwet legt wettelijk de doelstelling vast die is uiteengezet in de Europese Green Deal uit 2019: dat Europa tegen 2050 klimaatneutraal moeten zijn. De wet stelt ook het tussentijdse doel om de netto broeikasgasemissies tegen 2030 met minstens 55 % te verminderen ten opzichte van 1990. De wet maakt klimaatneutraliteit tegen 2050 wettelijk bindend
EU Verordening F-gassen en ozonlaag-afbrekende stoffen (2024)	het Europees Parlement heeft op 16 januari 2024 een wetgevingsresolutie goedgekeurd voor de toekomstige F-gassenverordening. Deze zijn op 11 maart 2024 officieel in werking getreden. Nu geldt dat wanneer het vrijkomen van gefluoreerde stoffen technisch noodzakelijk is, de exploitanten alle technische en economische haalbare maatregelen moeten treffen om het vrijkomen van dergelijke stoffen in de atmosfeer te voorkomen; onder meer door de gassen terug te vangen. Wanneer er technisch geschikte alternatieven beschikbaar zijn die in overeenstemming zijn met het Europese beleid wordt de ingebruikneming van nieuwe elektrische schakelapparatuur met gefluoreerde broeikasgassen verboden. Om de behoefte aan de productie van nieuw geproduceerd zwavelhexafluoride (SF ₆) te beperken, moet terugwinning van SF ₆ uit bestaande apparatuur worden uitgevoerd. Het gebruik van nieuw geproduceerd SF ₆ in elektrische schakelapparatuur moet worden vermeden wanneer het technisch haalbaar is om geregenereerde of gerecycleerde SF ₆ te gebruiken, zonder de veilige werking van de elektriciteitsnetten en elektriciteitscentrales in gevaar te brengen
NL Klimaatwet (2019)	de Klimaatwet stelt een kader voor het beleid gericht op het verminderen van de broeikasgasemissies in Nederland, met als doel de netto-uitstoot van broeikasgassen tegen 2050 tot nul te reduceren en na 2050 te streven naar negatieve emissies, conform de Europese klimaatwet. Om deze doelstelling te behalen, streven de verantwoordelijke ministers naar een reductie van 55 % van de emissies ten opzichte van 1990 in 2030 en een volledig CO ₂ -neutrale elektriciteitsproductie in 2050, en nemen zij passende maatregelen om aan de EU-reductieverplichtingen te voldoen

2.2 Beleidskaders

Op verschillende niveaus (nationaal, regionaal en lokaal) zijn door overheden in beleidsdocumenten kaders gesteld voor ruimtelijke ontwikkelingen en plannen die relevant zijn voor het thema duurzaamheid en waarmee rekening gehouden dient te worden. Deze beleidskaders zijn aanvullend op het overkoepelende beleidskader zoals opgenomen in het hoofdrapport van het MER. Tabel 2.2 toont hiervan een overzicht, met een onderscheid in beleid op nationaal, regionaal of lokaal niveau, of specifiek beleid vanuit TenneT.

Tabel 2.2 Beleidskader thema duurzaamheid

Beleidsstuk	Uitleg en relevantie
nationaal beleid	
Klimaatakkoord (2019)	het Klimaatakkoord stelt dat de nationale broeikasgasuitstoot in 2030 met 49 % moet zijn afgenomen ten opzichte van 1990
Rijksbrede programma Nederland Circulair in 2050 (2016)	in het Rijksbrede programma Nederland Circulair in 2050 schetst het kabinet hoe onze economie kan veranderen naar een duurzame, volledig circulaire economie in 2050. De ambitie van het kabinet is om samen met maatschappelijke partners in 2030 een (tussen)doelstelling te realiseren van 50 % minder gebruik van primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen). Het programma omschrijft wat er nodig is om zuiniger en slimmer met grondstoffen, producten en diensten om te gaan
Grondstoffenakkoord (2017)	in januari 2017 ondertekenden 180 partijen (overheid, bedrijfsleven, vakbewegingen en milieuorganisaties) in Den Haag het Grondstoffenakkoord. Hierin staan afspraken om de Nederlandse economie te laten draaien op herbruikbare grondstoffen. Het akkoord schetst een gezamenlijke ambitie een circulaire economie te realiseren, waarmee efficiënt en slim omgaan met grondstoffen en materialen het verdienvermogen van de Nederlandse economie helpt te versterken en het duurzaam omgaan met natuurlijk kapitaal en klimaat- en andere milieudoelen helpt te realiseren
transitieagenda circulaire bouweconomie	de Transitieagenda Circulaire Bouweconomie zet de strategie uit en doet concrete aanbevelingen om te voldoen aan de ambitie om de gebouwde omgeving uiterlijk in 2050 100 % circulair te maken
convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB)	Het programma SEB is door marktpartijen, kennisinstellingen en overheidspartijen uitgewerkt tot één gezamenlijke aanpak voor emissieloze werkzaamheden. Dit draagt bij aan de ambities voor stikstof-, CO ₂ - en fijnstofreductie. Het programma werkt per type werktuig/voertuig drie niveaus voor emissiereductie uit (minimum, basis en ambitieus) over verschillende tijdsperiodes tot aan 2030. Partijen die het convenant tekenen, committeren zich tot minimaal het basisniveau. TenneT is een van de partijen die het convenant SEB heeft ondertekend. Dit betekent dat TenneT voor de werkzaamheden in de aanleg- en gebruiksfase ten minste het basisniveau van de emissie-eisen volgt
regionaal beleid	
klimaatdoelstellingen provincie Noord-Holland	de provincie Noord-Holland heeft vanuit het Klimaatakkoord het doel om in 2030 de CO ₂ -uitstoot met minimaal 55 % te verminderen en in 2050 klimaatneutraal en circulair te zijn. Op het gebied van schone lucht heeft de provincie als doelstelling dat de uitstoot van fijnstof en stikstof in 2030 met respectievelijk 75 % en 60 % is afgenomen. Een stap hierin is het ondertekenen van het Convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB)
Omgevingsvisie NH2050	de provincie Noord-Holland biedt ruimte aan de ontwikkeling van circulaire economie, duurzame landbouw, energietransitie en experimenten
actieagenda Circulaire Economie 2021–2025 (provincie Noord-Holland)	de actieagenda van de provincie Noord-Holland benoemt twee strategische doelen over grondstoffen: meer circulair gebruik van grondstoffen en minder gebruik van primaire en niet-hernieuwbare grondstoffen. Daarnaast zijn er operationele doelen opgesteld zoals: meer circulaire bouw, minder afvalstromen en meer hoogwaardig verwerkte reststromen. De provincie wil het gebruik van primaire grondstoffen in 2030 met 60 % verminderen
Metropoolregio Amsterdam (MRA) agenda 2.0	de MRA agenda 2.0 heeft als een van de hoofdprincipes Toekomstbestendigheid, waarmee wordt ingezet op de energietransitie, circulaire economie, klimaatadaptatie en biodiversiteit. In aanvulling op de trajecten van de regionale energiestrategieën (RES'en) werkt de MRA aan een toekomstbestendige energie-infrastructuur
ontwikkelplan circulaire economie Metropoolregio Amsterdam (MRA)	de MRA zet zich via drie samenhangende sporen in op de circulaire economie. De sporen ondersteunen en versterken elkaar: 1. Circulaire inkoop, 2. Grondstoffenstromen (waaronder bouw en sloop), en 3. Interventies die de circulaire economie dichterbij brengen
lokaal beleid	
klimaatdoelstellingen gemeenten	het beleid van de gemeenten in het zoekgebied van N-NHN sluiten aan op het Klimaatakkoord. Daarom leidt dit in deze fase niet tot andere inzichten en zijn ze niet apart opgenomen in dit overzicht

REFERENTIESITUATIE

De referentiesituatie bestaat normaliter uit de huidige situatie aangevuld met de autonome ontwikkelingen. De beschrijving van de referentiesituatie dient als basis voor de uitwerking van de voorgenomen activiteit en als referentiekader voor de beschrijving en beoordeling van de effecten van de voorgenomen activiteit.

Voor het thema duurzaamheid is er geen dergelijke referentiesituatie ten opzichte waarvan de effecten worden beoordeeld. Duurzaamheid wordt bekeken vanuit energie- en materiaalbehoefte van de alternatieven. Anders dan bij andere deelonderzoeken, is er in dit geval geen sprake van een omgevingseffect: de locatie speelt geen rol in de beoordeling van de energie- en materiaalstromen. Daarom wordt een relatieve referentiesituatie gebruikt: alternatieven worden per projectonderdeel ten opzichte van elkaar vergeleken en beoordeeld ten opzichte van het best-scorende (duurzaamste) alternatief. Met deze werkwijze wordt inzicht gegeven in de duurzaamste alternatieven voor het thema duurzaamheid.

ONDERZOEKSMETHODIEK

Dit hoofdstuk beschrijft de onderzoeksmethodiek voor de effectbeschrijving- en beoordeling voor het thema duurzaamheid. Paragraaf 4.1 brengt in beeld welke effecten worden onderzocht in dit plan-MER. Op basis van deze effecten is het beoordelingskader opgesteld en verder uitgewerkt ten opzichte van de NRD (paragraaf 4.2). Paragraaf 4.3 beschrijft ten slotte per criterium in meer detail de onderzoeksanpak en hoe de effecten beoordeeld worden.

4.1 Welke effecten worden onderzocht in dit plan-MER?

De aanleg en het gebruik van de projectonderdelen van de netuitbreiding kan leiden tot verschillende effecten op duurzaamheid. Deze effecten volgen uit ingrepen, zoals de bouwwerkzaamheden of het in gebruik zijn van een hoogspanningsstation. De effecten worden onderzocht aan de hand van onderzoekscriteria. Binnen een onderzoekscriterium kunnen meerdere effecten onderzocht worden. Deze paragraaf brengt de mogelijke effecten op het thema duurzaamheid in beeld. Dit vormt de basis voor de methodiek (paragrafen 4.2 en 4.3) en de effectenbeschrijving en -beoordeling (deel B, C en D van dit deelrapport).

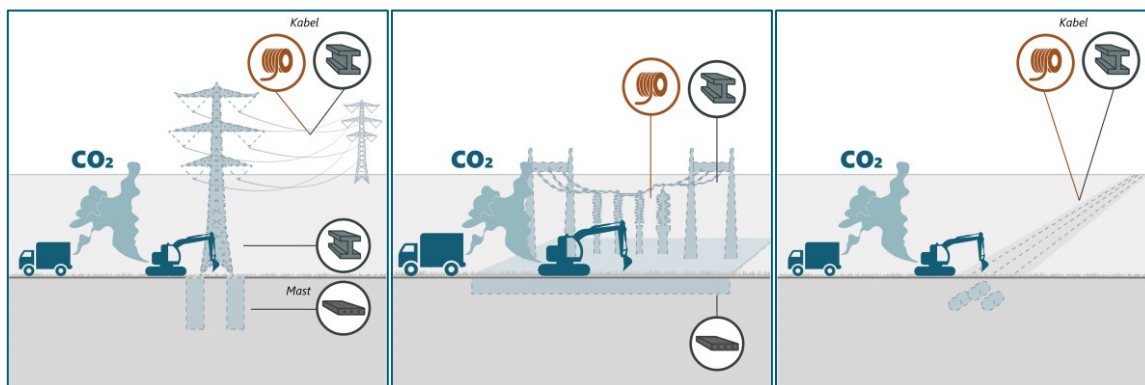
4.1.1 De effecten door de realisatie van de projectonderdelen

Voor alle projectonderdelen wordt bouwmaterieel ingezet, zoals graafmachines voor graafwerkzaamheden en vrachtwagens voor de aan- en afvoer van materiaal. Deze machines verbranden fossiele brandstoffen, waardoor broeikasgassen worden uitgestoten. De uitstoot van broeikasgassen heeft effecten op het klimaat. Ook worden verschillende bouwmaterialen gebruikt om de masten en stationsportalen (staal), lijnen en kabels (aluminium, staal, XLPE en PE) en funderingen (beton) te bouwen. Het gebruik van deze materialen heeft effecten op het milieu. Hoewel er in werkelijkheid meer materialen worden toegepast, beperken wij ons in deze studie tot de meest impactvolle materialen op gebied van massa en milieu-impact: zijnde staal, aluminium en beton. De effecten door de realisatie van de projectonderdelen worden onderzocht in de volgende criteria:

- effecten door materiaalgebruik (zoals staal, aluminium en beton);
- effecten door de uitstoot van broeikasgassen (CO₂-eq.).

Afbeelding 4.1 visualiseert de effecten door de realisatie van de projectonderdelen, met van links naar rechts de realisatie van de bovengrondse 380 kV-verbinding, de hoogspanningsstations en de ondergrondse 150 kV-verbinding.

Afbeelding 4.1 Visualisatie effecten door realisatie projectonderdelen door uitstoot van broeikasgassen door bouw materiaal en materiaalgebruik



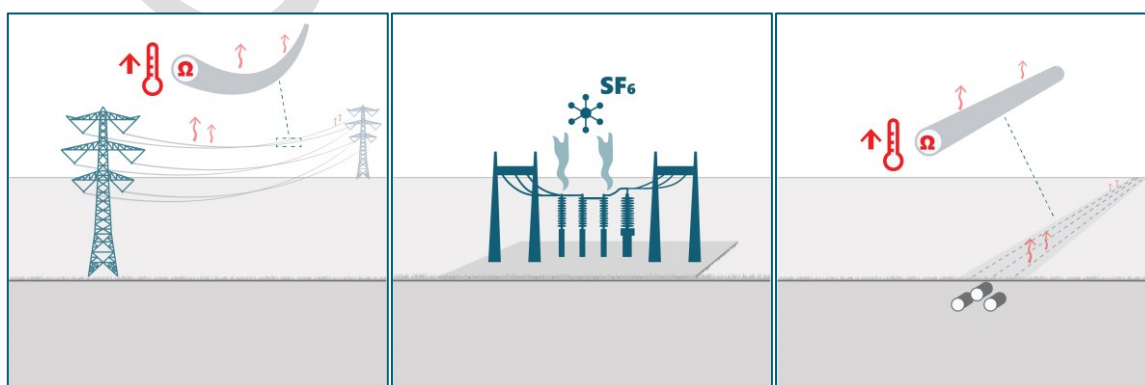
4.1.2 De effecten door het gebruik van de projectonderdelen

Tijdens de gebruiksfase van de projectonderdelen kunnen effecten optreden op duurzaamheid. Voor de bovengrondse en ondergrondse hoogspanningsverbinding komt dat door energieverliezen. Bij het transport van elektriciteit door de lijnen (bovengronds) en kabels (ondergronds) komt warmte vrij. De kabels geven deze warmte af aan de lucht (bovengronds) of de bodem (ondergronds) door weerstand (Ω) in de kabels. Hierdoor gaat energie verloren. Hoe langer de verbinding is, hoe groter het energieverlies tijdens het transport van elektriciteit. Voor de hoogspanningsstations kunnen effecten optreden door het risico op het vrijkomen van het schadelijke SF₆-gas (zwavelhexafluoride). Dit gas wordt gebruikt als isolatiemiddel in gasgeïsoleerde schakelstations (GIS), specifiek om de vermogensschakelaar te isoleren. Ook in luchtgeïsoleerde stations (AIS), die in dit ontwerp worden toegepast, wordt SF₆-gas als isolatiemiddel gebruikt in de primaire componenten, zij het in mindere mate dan bij GIS-stations. Dit broeikasgas is ongeveer 23.500 keer sterker dan CO₂ en kan via lekkages in de atmosfeer terechtkomen met gevolgen voor het milieu. De effecten door het gebruik van de projectonderdelen worden onderzocht in de volgende criteria:

- effecten door energieverbruik tijdens de gebruiksfase (energieverliezen);
- effecten door de uitstoot van broeikasgassen (SF₆).

Afbeelding 4.2 visualiseert de effecten door tijdens de gebruiksfase van de projectonderdelen, met van links naar rechts het gebruik van de bovengrondse 380 kV-verbinding, de hoogspanningsstations en de ondergrondse 150 kV-verbinding.

Afbeelding 4.2 Visualisatie effecten door realisatie projectonderdelen door energieverlies (links en rechts) en uitstoot SF₆-gas (midden). Het omegateken (Ω) betreft een visualisatie van weerstand in de kabels



4.2 Beoordelingskader en -criteria

Tabel 4.1 presenteert het beoordelingskader voor het thema veiligheid. Niet alle criteria zijn van toepassing op ieder projectonderdeel. In de kolommen naast 'methode' staat of een criterium van toepassing is op de stationslocatiealternatieven, de 380 kV-tracéalternatieven of de 150 kV-tracéalternatieven.

Voor het thema duurzaamheid zijn de 150 kV-tracéalternatieven niet-maatgevend. In hoofdstuk 8 volgt voor de niet-maatgevende criteria een korte beschrijving, zonder beoordeling. In paragraaf 4.3 hieronder, de onderzoeks aanpak, is er om die reden geen onderzoeks aanpak voor de 150 kV-tracéalternatieven opgenomen.

Tabel 4.1 Beoordelingskader thema duurzaamheid

Aspect	Criterium	Methode	S	380 kV	150 kV
circulariteit	materiaalgebruik (zoals staal, aluminium en beton)	kwantitatief op basis van kengetallen	X	X	X
klimaat	uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase	kwantitatief op basis van kengetallen	X	X	X
energieverliezen	energieverbruik tijdens de gebruiksfase (energieverliezen)	kwantitatief op basis van kengetallen		X	X

4.3 Onderzoeks aanpak per criterium

Deze paragraaf beschrijft per criterium de aanpak van het onderzoek, het bijbehorende studiegebied en de beoordelingsmethodiek. Bij ieder criterium wordt naast de hoeveelheden van de criteria uit tabel 4.1, ook een indicatie van de milieukostenindicator (MKI) en de bijdrage aan klimaatverandering (GWP, Global Warming Potential, in kg CO₂-eq.) gegeven, indien deze beschikbaar is.

Milieukostenindicator (MKI)

De MKI is een schaduwprijs die de milieubelasting uitdrukt van een materiaal, proces of activiteit in een 1-puntscore, wat een objectieve vergelijking van materialen en ontwerpen mogelijk maakt. De MKI houdt rekening met verschillende milieu-impactcategorieën zoals klimaatverandering, uitputting van grondstoffen, lucht- en watervervuiling en biodiversiteit. De MKI dekt alle fasen in de levenscyclus, van grondstoffenwinning tot het einde van de levensduur (sloop en bijvoorbeeld afvalverwerking of hergebruik). Er zijn twee varianten, MKI-A1 met 11 verschillende milieu-impactcategorieën, en MKI-A2 met 19 verschillende milieu-impactcategorieën. In duurzaamheidsonderzoeken en aanbestedingen gebruikt TenneT de MKI-A2 dus die wordt in dit rapport ook toegepast. De MKI is een vaak toegepaste systematiek voor het kwantificeren en vergelijken van de milieubelasting van alternatieven in de Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW). TenneT hanteert deze indicator tijdens aanbestedingen.

4.3.1 Materiaalgebruik (zoals staal, aluminium en beton)

Studiegebied

Het studiegebied van het materiaalgebruik is niet geografisch afgebakend. Het betreft de materialen waaruit de onderdelen van de uiteindelijk ontwerpen van de projectonderdelen bestaan. Het daadwerkelijke materiaalgebruik speelt eigenlijk op grotere geografische schaal, en is afhankelijk van de herkomst van

grondstoffen en de benodigde productieprocessen. Echter worden deze aspecten binnen deze analyse niet onderzocht, omdat dit niet aansluit bij het detailniveau van dit plan-MER.

Methode

Materiaalgebruik wordt beoordeeld op basis van de hoeveelheid benodigde materialen per onderzoeksalternatief (in kg). Welke materialen hierbinnen vallen, verschilt voor de tracé- en de stationslocatiealternatieven en zal hieronder voor beide apart worden toegelicht. De herkomst van materialen (% primair, % secundair en transportafstand) is een relevant aspect voor circulariteit, maar nog niet onderscheidend op dit detailniveau van het plan-MER.

380 kV-tracéalternatieven (één en twee mastenrijen)

Voor de 380 kV-tracéalternatieven worden de drie meest impactvolle materialen (op basis van massa en milieu-impact) beschouwd. Dit zijn aluminium, staal en beton. Aluminium is nodig als geleider in de lijnen, staal wordt gebruikt voor zowel de lijnen als de masten, en beton is nodig voor de funderingen van de masten. De fundering kan verschillen per locatie, afhankelijk van het bodemtype. Dit kan invloed hebben op de hoeveelheid toegepast beton of eventuele andere materialen. Het type fundering wordt in deze fase niet beoordeeld, omdat het ontwerp nog niet bekend is.

Alle tracés zijn op land en bovengronds, dus de uitgangspunten zijn per tracéalternatief identiek. Enkel de lengte van de tracés is onderscheidend. Het materiaalgebruik wordt dus beoordeeld per mast en per lengte-eenheid verbinding. In het geval van een dubbele mastenrij is het uitgangspunt dat het materiaalgebruik verdubbelt. De uiteindelijke beoordeling is dan op basis van de totale hoeveelheid (in kg) materiaalgebruik per tracéalternatief. De tracéalternatieven worden in percentuele toename van hoeveelheid materiaal vergeleken met het minst materiaal-intensieve alternatief (referentiesituatie).

De uitgangspunten voor de 380 kV-tracéalternatieven zijn als volgt:

- één km tracéalternatief bestaat uit 6 km 380 kV-lijnen;
- voor de lijnen wordt uitgegaan van een stalen kern (260 kg/km lijn) en aluminium geleiders (665 kg/km lijn);
- in alle tracés is uitgegaan van een Moldau mast van circa 58 m hoog en 30 m breed;
- nominale veldlengte tussen masten is circa 400 m;
- als uitgangspunt is de type S+0 mast genomen. Dit is een standaard type mast op land. Deze mast heeft een gewicht van 37 ton staal. Daarnaast is er 10 kubieke meter beton nodig voor het funderen van dit type mast. Door dit om te rekenen met de dichtheid van standaard beton (2,4 ton/m³) betekent dit dat er per type S+0 mast 24 ton beton nodig is;
- om de circa 5 km wordt een hoek- of trekmast geplaatst. Voor deze masten is uitgegaan van het type H+0, wat een standaard type hoekmast is voor op land. Voor deze mast is uitgegaan van een gewicht van 69 ton staal. Een type H+0 mast heeft variërend tussen de 50 en 100 kubieke meter beton nodig. In deze berekening is daarom uitgegaan van 75 kubieke meter beton voor een H+0 mast. Wanneer dit wordt omgerekend met de dichtheid van standaard beton (2,4 ton/m³) betekent dit dat voor een H+0 mast 180 ton beton nodig is.

Tabel 4.2 vat de uitgangspunten voor de 380 kV-tracéalternatieven samen, inclusief de indicatie voor MKI en GWP.

Tabel 4.2 Uitgangspunten materialisatie van de 380 kV-tracéalternatieven

Onderdeel	Staal	Beton	Aluminium	MKI, in EUR	GWP
steunmast op land (S+0)	37 ton/mast	24 ton/mast		staal: 630,00/ton beton: 13,00/ton	staal: 2.500 kg CO ₂ -eq./ton beton: 76 kg CO ₂ -eq./ton
hoekmast op land (H+0)	69 ton/mast	180 ton/mast			
lijn	260 kg/km		665 kg/km	1.700,00/km	9.200 kg CO ₂ -eq./km

150 kV-tracéalternatieven

De 150 kV-tracéalternatieven bestaan uit ondergrondse kabels die het nieuwe 380/150 kV-hoogspanningsstation op het bestaande 150 kV-station Middenmeer aan te sluiten. Voor de materialisatie van de ondergrondse kabels worden volgende uitgangspunten aangenomen (zie ook tabel 4.3):

- het kabeltype is voor alle tracés gelijk en bestaat uit een aluminium geleider (7.650 kg/km kabel), XLPE isolatie (4.820 kg/km kabel), aluminium omhulsel (605 kg/km kabel) en een buitenste omhulsel van PE (1.635 kg/km kabel) [1];
- per kilometer tracé-alternatief is 6 km kabel nodig.

Tabel 4.3 Uitgangspunten materialisatie van de 150 kV-tracéalternatieven

Materiaal	Hoeveelheid [kg/km]	MKI-A2 [EUR/km]	GWP [kg CO ₂ -eq./km]
aluminium (2.500 mm ²) - geleider	7.650		
XLPE - isolatie	4.820		
aluminium - omhulsel	605		
PE - buitenste omhulsel	1.635		
totaal kabel	14.710	40.700	214.300

Bij een vergelijking van tabel 4.2 en tabel 4.3 blijkt dat zowel de MKI als de GWP per kilometer aanzienlijk hoger zijn voor de ondergrondse kabel ten opzichte van de bovengrondse lijn.

Stationslocatiealternatieven

De materialisatie per station is opgevraagd bij TenneT en te vinden in tabel 4.4. Het is hierbij versimpeld tot de drie materialen die veruit het grootste deel van de massa uitmaken; staal, beton en aluminium. Voor staal en beton is dezelfde impact per ton aangehouden als bij de masten. Voor aluminium is een kengetal uit de Nationale Milieudatabase gebruikt. De getallen geven grofweg de hoeveelheden aan van de stations die gebouwd gaan worden, maar geven geen onderscheid tussen de verschillende zoeklocaties. Desalniettemin heeft de specifieke locatie waarschijnlijk wel invloed op de milieu-impact, bijvoorbeeld op de fundering afhankelijk van het bodemtype. Dit kan invloed hebben op de hoeveelheid toegepast beton of eventuele andere materialen. Het type fundering wordt in deze fase niet beoordeeld. De materialisatie van de stations is wel een zeer relevant aspect voor circulariteit en inzicht hierin biedt handvatten voor het implementeren van verdere duurzaamheidsmaatregelen. Dit aspect wordt voor ieder stationslocatiealternatief identiek beoordeeld als 'beperkt negatief' aangezien het wel een effect heeft maar niet onderscheidend is. Daarom wordt in hoofdstuk 8 alleen een effectbeschrijving gegeven en geen effectbeoordeling.

Tabel 4.4 Uitgangspunten materialisatie van de stations

Onderdeel	Staal (ton)	Beton (ton)	Aluminium (ton)	MKI-A2, bedrag in EUR	GWP
station noord	38.912	187	150	staal: 630,00/ton beton: 13,00/ton aluminium: 2.560,00/ton	staal: 2.500 kg CO ₂ -eq./ton beton: 76 kg CO ₂ -eq./ton aluminium: 13.781 kg CO ₂ -eq./ton
station noord 150 kV	29.124	102	170	zie station noord	zie station noord
station zuid	49.156	217	214	zie station noord	zie station noord

Beoordelingsschaal

De beoordelingsschaal voor het criterium materiaalgebruik (zoals staal, aluminium en beton) voor de 380 kV-tracéalternatieven en de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven is weergegeven in tabel 4.5. Sterk negatieve effecten zijn niet van toepassing, omdat de effecten niet leiden tot een risico voor de

uitvoerbaarheid. Aangezien de beoordeling een vergelijking is ten opzichte van het minst materiaal-intensieve alternatief (referentiesituatie), kunnen positieve effecten niet optreden. De beoordeling bestaat uit een absoluut getal, en een relatieve beoordeling ten opzichte van het minst materiaal-intensieve alternatief.

Tabel 4.5 Beoordelingsmethodiek materiaalgebruik (zoals staal, aluminium en beton)

Score	Betekenis	Wanneer toegekend
--	sterk negatief effect	niet van toepassing
-	negatief effect	> 10 % meer materiaalgebruik dan het minst materiaal-intensieve alternatief
0/-	beperkt negatief effect	> 5 en < 10 % meer materiaalgebruik dan het minst materiaal-intensieve alternatief
0	neutraal effect	vergelijkbaar materiaalgebruik met het minst materiaal-intensieve alternatief (< 5 % meer)
0/+	beperkt positief effect	niet van toepassing
+	positief effect	niet van toepassing
++	sterk positief effect	niet van toepassing

4.3.2 Uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase

Studiegebied

Het studiegebied is gelijk aan het zoekgebied. De uitstoot tijdens de aanleg- en gebruiksfase vindt enkel in het zoekgebied plaats. Wel is het zo dat de uitstoot van broeikasgassen ook buiten het zoekgebied impact heeft.

Methode

Voor de uitstoot van broeikasgassen wordt naar CO₂ en SF₆ gekeken. Koolstofdioxide, CO₂, is een bekend broeikasgas dat vrijkomt door de verbranding van fossiele brandstoffen. Voor het aanleggen van de projectonderdelen is transport en materieel-inzet nodig. Dit vraagt om een grote hoeveelheid fossiele brandstof, als de werkzaamheden niet emissieloos worden uitgevoerd. In de gebruiksfase vinden er beheer en onderhoudswerkzaamheden plaats, die ook CO₂-uitstoot kunnen veroorzaken. Vergeleken met de aanlegfase zal de CO₂-uitstoot in de gebruiksfase naar verwachting gering zijn en deze wordt om die reden niet meegenomen in de beoordeling. De CO₂-uitstoot in de aanlegfase wordt ter illustratie vergeleken met emissieloze uitvoering van werkzaamheden.

Zwavelhexafluoride, SF₆, is een minder bekend broeikasgas dat relevant is tijdens de gebruiksfase. Dit broeikasgas is ongeveer 23.500 keer sterker dan CO₂ en kan via lekkages in de atmosfeer terechtkomen. CO₂ is dus vooral in de aanlegfase relevant; SF₆ in de gebruiksfase en enkel voor de stations.

380 kV-tracéalternatieven (één en twee mastenrijen)

De tracéalternatieven worden in percentuele toename van de uitstoot van broeikasgassen vergeleken met het minst vervuilende alternatief. De uitstoot van broeikasgassen door de aanlegwerkzaamheden van de 380 kV-tracéalternatieven (één en twee mastenrijen) is gebaseerd op het dieselverbruik van de transport voor en de materieelinzet tijdens de aanleg van de masten. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de standaard mast en de speciale mast. Tabel 4.6 toont de uitgangspunten voor de standaard mast en Tabel 4.7 toont de uitgangspunten voor de speciale mast.

Tabel 4.6 Uitgangspunten voor transport en aanleg van één standaard mast (overgenomen uit stikstofonderzoek TenneT)

	Hoeveelheid	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [kg CO ₂ -eq.]
licht transport	60 km	12	60

	Hoeveelheid	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [kg CO ₂ -eq.]
zwaar transport	13 km	8	42
diesel aanlegfase standaard mast	5.682 liter	3.171	22.194
totaal		3.191	22.296

Tabel 4.7 Uitgangspunten voor transport en aanleg van één speciale mast (overgenomen uit stikstofonderzoek TenneT)

	Hoeveelheid	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [kg CO ₂ -eq.]
licht transport	60 km	12	60
zwaar transport	13 km	8	42
diesel aanlegfase standaard mast	6.728 liter	3.754	26.280
totaal		3.775	26.381

150 kV-tracéalternatieven

De tracéalternatieven worden in percentuele toename van kg CO₂ vergeleken met het minst vervuilende alternatief. Voor de aanleg van de 150 kV-tracéalternatieven worden volgende uitgangspunten aangenomen voor de effectbeschrijving:

- de kabels worden aangelegd met een open ontgraving zonder backfill;
- de kabels van alle tracéalternatieven worden aangelegd op dezelfde diepte (180 cm);
- voor de aanlegwerkzaamheden wordt diesel als brandstof gebruikt.

Tabel 4.8 toont de uitgangspunten.

Tabel 4.8 Uitgangspunten voor open ontgraving zonder backfill, per sleuf van 3 kabels (overgenomen uit de MER Drents Overijsselse Netversterking 131919/24-009.466)

	Hoeveelheid	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [kg CO ₂ -eq.]
transport van de kabel	3 km kabel	1.200	4.950
transport auto	60 uur	245	1.407
transport busje	20 uur	82	469
diesel aanlegfase	3.790 liter	1.983	13.303
totaal		3.510	20.130

Stationslocatiealternatieven

De aanleg van de stations is met het huidige detailniveau in ieder alternatief van dit plan-MER identiek en dus geen onderscheidend criterium. Wel is dit een relevant aspect voor de uitstoot, en inzicht hierin biedt handvatten voor het implementeren van verdere duurzaamheidsmaatregelen in de aanlegfase.

Tabel 4.9 Uitgangspunten voor transport en aanleg van combistation noord 150-380 kV (overgenomen uit stikstofonderzoek TenneT)

	Bouwrijp maken	Bouw station	Aanleg velden, trafo's en spoelen
diesel aanlegfase	150.673 liter	327.598 liter	397.776
elektriciteit aanlegfase	86.320 kWh	110.330 kWh	633.040 kWh

Tabel 4.10 Uitgangspunten voor transport en aanleg van station zuid 150 kV (overgenomen uit stikstofonderzoek TenneT)

	Bouwrijp maken	Bouw station	Aanleg velden, trafo's en spoelen
diesel aanlegfase	62.050 liter	16.133 liter	203.038 liter
elektriciteit aanlegfase	36.340 kWh	105.920 kWh	319.320 kWh

De SF₆-lekkages tijdens de gebruiksfase zijn door de sterkte van dit broeikasgas belangrijk om bewust van te zijn. Aangezien het ontwerp van de stations met het huidige detailniveau in ieder alternatief van dit plan-MER identiek zijn, zijn de mogelijke SF₆-lekkages in alle gevallen identiek, waardoor dit ook geen onderscheidend criterium is. Daarom geldt hetzelfde als bij de CO₂-uitstoot in de aanlegfase: dit wordt voor ieder stationslocatiealternatief identiek beoordeeld als 'beperkt negatief' aangezien het wel een effect heeft maar niet onderscheidend is tussen de alternatieven. Daarom wordt in hoofdstuk 8 alleen een effectbeschrijving gegeven en geen effectbeoordeling.

Beoordelingsschaal

De beoordelingsschaal voor het criterium uitstoot van broeikasgassen (CO₂, SF₆) tijdens aanleg- en gebruiksfase van de 380 kV-tracéalternatieven en de ondergrondse 150 kv-tracéalternatieven is weergegeven in tabel 4.11. Sterk negatieve effecten zijn niet van toepassing, omdat de effecten niet leiden tot een risico voor de uitvoerbaarheid. Aangezien de beoordeling een vergelijking is ten opzichte van het alternatief met de minste broeikasgasemissies (referentiesituatie), kunnen positieve effecten niet optreden. De beoordeling bestaat uit een absoluut getal, en een relatieve beoordeling ten opzichte van het alternatief met de minste broeikasgasemissies.

Tabel 4.11 Beoordelingsmethodiek uitstoot van broeikasgassen (CO₂, SF₆) tijdens aanleg- en gebruiksfase

Score	Betekenis	Wanneer toegekend
- -	sterk negatief effect	niet van toepassing
-	negatief effect	> 10 % meer broeikasgasemissies dan het alternatief met de minste broeikasgasemissies
0/-	beperkt negatief effect	>5 en <10 % meer broeikasgasemissies dan het alternatief met de minste broeikasgasemissies
0	neutraal effect	vergelijkbaar broeikasgasemissies met het alternatief met de minste broeikasgasemissies (tot <5 % meer)
0/+	beperkt positief effect	niet van toepassing
+	positief effect	niet van toepassing
++	sterk positief effect	niet van toepassing

4.3.3 Energieverliezen tijdens de gebruiksfase

Studiegebied

Het studiegebied is gelijk aan het zoekgebied.

Methode

Energieverliezen tijdens de gebruiksfase is met name relevant voor de energieverliezen die optreden in de elektriciteitskabels. Door weerstand in de kabels, warmen deze op waardoor energie verloren gaat in de vorm van warmte. Over deze energieverliezen is geen specifieke informatie bekend, wel is bekend dat energieverliezen tijdens de gebruiksfase zeer sterk en lineair verbonden zijn met de lengte van de kabels. Op basis van andere kabelprojecten van TenneT kan het energieverlies van 1 km kabel over 50 jaar worden

geschat op ongeveer 5.000 MWh. Op basis hiervan is de lengte van de tracéalternatieven als indicatie gebruikt voor de energieverliezen in de gebruiksfase. Energieverliezen in de aanlegfase wordt beschouwd als onderdeel van 'uitstoot van broeikasgassen'.

380 kV-tracéalternatieven

Aangezien de energieverliezen lineair verbonden zijn met de lengte van de lijnen, vindt de beoordeling plaats op basis van de lengte van de tracés. De tracéalternatieven worden in percentuele toename van lengte vergeleken met het kortste alternatief. Bij een dubbele mastenrij gelden dan dezelfde conclusies, aangezien alle tracés in dat geval in lengte verdubbelen.

150 kV-tracéalternatieven

Aangezien de energieverliezen lineair verbonden zijn met de lengte van de kabels, vindt de beoordeling plaats op basis van de lengte van de tracés. De tracéalternatieven worden in percentuele toename van lengte vergeleken met het kortste alternatief.

Stationslocatiealternatieven

De energieverliezen voor hoogspanningsstations zijn aanzienlijk lager dan bij de hoogspanningsverbindingen. Daarnaast zijn deze niet onderscheidend tussen de alternatieven. Daarom is dit criterium niet relevant voor de stationslocatiealternatieven.

Beoordelingsschaal

De beoordelingsschaal voor het criterium energieverliezen tijdens de gebruiksfase van de 380 kV-tracéalternatieven en de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven is weergegeven in tabel 4.12. Sterk negatieve effecten zijn niet van toepassing, omdat de effecten niet leiden tot een risico voor de uitvoerbaarheid. Aangezien de beoordeling een vergelijking ten opzichte van het alternatief met de minste energieverliezen (referentiesituatie), kunnen positieve effecten niet optreden. De beoordeling bestaat uit een absoluut getal en een relatieve beoordeling ten opzichte van het alternatief met de minste energieverliezen.

Tabel 4.12 Beoordelingsmethodiek energieverliezen tijdens de gebruiksfase

Score	Betekenis	Wanneer toegekend
- -	sterk negatief effect	niet van toepassing
-	negatief effect	> 10 % meer energieverliezen dan het alternatief met de minste energieverliezen
0/-	beperkt negatief effect	> 5 en < 10 % meer energieverliezen dan het alternatief met de minste energieverliezen
0	neutraal effect	vergelijkbaar energieverliezen met het alternatief met de minste energieverliezen (tot < 5 % meer)
0/+	beperkt positief effect	niet van toepassing
+	positief effect	niet van toepassing
++	sterk positief effect	niet van toepassing

DEEL II: EFFECTENSTUDIE 380 KV- TRACÉALTERNATIEVEN MET ÉÉN MASTENRIJ

CONCEPT

EFFECTENSTUDIE 380 KV-HOOGSPANNINGSVERBINDING MET ÉÉN MASTENRIJ

In dit hoofdstuk zijn de effecten van de 380 kV-tracéalternatieven met één mastenrij gepresenteerd voor het thema duurzaamheid. Dit gebeurt per criterium, zoals beschreven in hoofdstuk 4.

5.1 Effecten op materiaalgebruik

Deze paragraaf beschrijft en beoordeelt de milieueffecten van de 380 kV-tracéalternatieven met één mastenrij voor het criterium effecten op materiaalgebruik. De paragraaf is als volgt ingedeeld:

- paragraaf 5.1.1 beschrijft de milieueffecten die optreden voor het criterium;
- paragraaf 5.1.2 beoordeelt de milieueffecten die relevant zijn voor de 380 kV-tracéalternatieven met één mastenrij.

5.1.1 Effectbeschrijving

Materiaalgebruik wordt beoordeeld op basis van de hoeveelheid benodigde materialen per onderzoeksalternatief (in kg). Voor de 380 kV-tracéalternatieven zijn de drie meest impactvolle materialen (op basis van massa en milieu-impact) beschouwd. Dit zijn aluminium, staal en beton. In tabel 4.2 zijn de uitgangspunten voor de 380 kV-tracéalternatieven samengevat. Voor elk hoofdtracé (donkerblauw, groen, geel, rood, lichtblauw) is uitgegaan van de langste route. Dit is dus een worst-case benadering.

Lichtblauw is het langste tracé en is tevens het meest materiaalintensief. Dit gaat ook gepaard met de hoogste MKI en de hoogste GWP van alle hoofdtracés. Groen is samen met geel het minst materiaalintensief. De resultaten van materiaalgebruik, MKI en GWP van de hoofdtracés staat in tabel 5.1 samengevat. Bijlage I toont de resultaten voor alle deeltracés en verbindingstukken.

Tabel 5.1 Resultaten van materiaalgebruik voor de 380 kV-hoofdtracés (enkele mastenrij)

Hoofdtracé (bovengronds)	Staal [ton]	Beton [ton]	Aluminium [ton]	Totaal [ton]	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [ton CO ₂ -eq.]
donkerblauw (via Z2)	5.619	4.944	211	10.774	4.091.168	17.131
groen	4.766	4.128	179	9.073	3.469.583	14.527
geel	4.873	4.332	181	9.385	3.543.632	14.833
rood	5.098	4.476	190	9.765	3.709.618	15.530
lichtblauw (via Z1)	6.102	5.388	228	11.718	4.441.335	18.595

5.1.2 Effectbeoordeling hoofdtracés

Tabel 5.2 laat zien hoe de hoofdtracés van de 380-kV alternatieven beoordeeld zijn voor het criterium materiaalgebruik. Groen is het minst materiaalintensief en hiermee het duurzaamste alternatief. Omdat de alternatieven relatief ten opzichte van duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracé neutraal. Omdat tracé geel zeer weinig verschilt ten opzichte van groen scoort ook dit tracé neutraal. Tracé rood heeft tussen de 5 en 10 % meer materiaalgebruik en scoort beperkt negatief. De andere hoofdtracés zijn langer en scoren daarmee negatief.

Tabel 5.2 Beoordeling effecten op materiaalgebruik van de 368-kV-tracéalternatieven met één mastenrij

Hoofdtracé (bovengronds)	Totale hoeveelheid materiaal (ton)	Verskil met duurzaamste alternatief (%)	Beoordeling
donkerblauw (via Z2)	10.774	18,7	-
groen	9.073	0	0
geel	9.385	3,4	0
rood	9.765	7,6	0/-
lichtblauw (via Z1)	11.718	29,2	-

5.2 Effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens de aanleg- en gebruiksfase

Deze paragraaf beschrijft en beoordeelt de milieueffecten van de 380 kV-tracéalternatieven met één mastenrij voor het criterium effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens de aanleg- en gebruiksfase. De paragraaf is als volgt ingedeeld:

- paragraaf 5.2.1 beschrijft de milieueffecten die optreden voor het criterium;
- paragraaf 5.2.2 beoordeelt de milieueffecten die relevant zijn voor de 380 kV-tracéalternatieven met één mastenrij.

5.2.1 Effectbeschrijving

De uitstoot van broeikasgassen door de aanlegwerkzaamheden van de 380 kV-tracéalternatieven is gebaseerd op de materiële inzet tijdens de aanleg van de masten. De verschillen in uitstoot tussen de tracéalternatieven is dus gebaseerd op de hoeveelheid standaard- en speciale masten die benodigd zijn per tracé. De resultaten van MKI en GWP van de hoofdtracés staat in tabel 5.3 samengevat.

Tabel 5.3 Resultaten van de uitstoot van broeikasgassen voor de 380 kV-hoofdtracés (enkele mastenrij)

Hoofdtracé (bovengronds)	Aantal standaard masten	Aantal speciale masten	Transport en installatie masten MKI-A2 [EUR MKI]	Transport en installatie masten GWP [ton CO2 eq.]
donkerblauw (via Z2)	131	10	455.750	3.185
groen	112	8	387.574	2.708
geel	113	9	394.540	2.757
rood	119	9	413.685	2.891
lichtblauw (via Z1)	142	11	494.624	3.456

5.2.2 Effectbeoordeling hoofdtracés

Tabel 5.4 geeft weer hoe de hoofdtracés van de 380-kV alternatieven beoordeeld zijn voor het criterium uitstoot broeikasgassen. Tracé groen heeft de minste masten, en wordt daarmee beoordeeld als duurzaamste alternatief omdat hier de minste uitstoot door aanlegwerkzaamheden plaatsvindt. Omdat de alternatieven relatief ten opzichte van duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracé neutraal. Omdat tracé geel zeer weinig verschilt ten opzichte van groen ook dit tracé neutraal. Tracé rood heeft tussen de 5 en 10 % meer broeikasgasemissies en scoort beperkt negatief. De andere hoofdtracés zijn langer en scoren daarmee negatief.

Tabel 5.4 Beoordeling effecten op uitstoot broeikasgassen van de 368-kV-tracéalternatieven met één mastenrij

Hoofdtracé (bovengronds)	Verskil met duurzaamste alternatief [%]	Score
donkerblauw (via Z2)	17,6	-
groen	0	0
geel	1,8	0
rood	6,8	0/-
lichtblauw (via Z1)	27,6	-

5.3 Effecten op energieverliezen tijdens de gebruiksfase

Deze paragraaf beschrijft en beoordeelt de milieueffecten van de 380 kV-tracéalternatieven met één mastenrij voor het criterium effecten op energieverliezen tijdens de gebruiksfase. De paragraaf is als volgt ingedeeld:

- paragraaf 5.3.1 beschrijft de milieueffecten die optreden voor het criterium;
- paragraaf 5.3.2 beoordeelt de milieueffecten die relevant zijn voor de 380 kV-tracéalternatieven met één mastenrij.

5.3.1 Effectbeschrijving

Voor het energieverlies in de gebruiksfase van de 380 kV-tracéalternatieven is geen specifieke data beschikbaar. Energieverliezen worden in eerste instantie beïnvloed door de lengte van de tracés, dus hoe korter, hoe beter.

De milieu-impact van energieverliezen

Het is lastig om de milieu-impact in MKI en GWP voor de energieverliezen te duiden: deze zijn van vele factoren afhankelijk. Ter indicatie: een levenscyclusanalyse (LCA) voor een lijn met een aluminium geleider met magnesium-silicium legering (geen staal) toont dat energieverliezen over 50 jaar uitkomen op EUR 34.000,00 MKI per km lijn, en 190.000 kg CO₂-eq. per km lijn. Hierbij is rekening gehouden met vergroening van de energiemix over die 50 jaar. Voor het kortste en langste tracé zou dit neerkomen op respectievelijk EUR 7.300.000,00 MKI en EUR 11.640.000,00 MKI.

5.3.2 Effectbeoordeling hoofdtracés

Tabel 5.5 geeft weer hoe de hoofdtracés van de 380-kV alternatieven beoordeeld zijn voor het criterium energieverliezen. Voor tracé groen treden de minste energieverliezen op. Omdat de alternatieven relatief ten

opzichte van het duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracé neutraal. Omdat tracé geel zeer weinig verschilt ten opzichte van groen ook dit tracé neutraal. Tracé rood is tussen de 5 en 10 % langer en scoort beperkt negatief. De andere hoofdtracés zijn nog langer en scoren daarmee negatief.

Tabel 5.5 Beoordelen effecten van energieverliezen voor de 380 kV-hoofdtracés (enkele mastenrij), op basis van tracélengtes

Hoofdtracé (bovengronds)	Lengte [m]	Vershil met duurzaamste alternatief [%]	Beoordeling
donkerblauw (via Z2)	52.794,13	17,7	-
groen	44.840,00	0	0
geel	45.292,24	1	0
rood	47.669,90	6,3	0/-
lichtblauw (via Z1)	57.157,66	27,5	-

DEEL III: EFFECTENSTUDIE 380 KV- TRACÉALTERNATIEVEN MET TWEE MASTENRIJEN

CONCEPT

6

EFFECTENSTUDIE 380 KV-TRACÉALTERNATIEVEN MET TWEE MASTENRIJEN

In dit hoofdstuk zijn de effecten van de 380 kV-tracéalternatieven met twee mastenrijen gepresenteerd voor het thema duurzaamheid. Dit gebeurt per criterium, zoals beschreven in hoofdstuk 4.

6.1 Effecten op materiaalgebruik

Deze paragraaf beschrijft en beoordeelt de milieueffecten van de 380 kV-tracéalternatieven met twee mastenrijen voor het criterium effecten op materiaalgebruik. De paragraaf is als volgt ingedeeld:

- paragraaf 6.1.1 beschrijft de milieueffecten die optreden voor het criterium;
- paragraaf 6.1.2 beoordeelt de milieueffecten die relevant zijn voor de 380 kV-tracéalternatieven met twee mastenrijen.

6.1.1 Effectbeschrijving

In het geval van twee mastenrijen, parallel in één tracé, is er voor ieder tracé dubbel zo veel materiaal benodigd als bij een enkele mastenrij, en zijn ook de MKI en GWP twee keer zo hoog. Dit maakt dat dezelfde conclusies worden getrokken als bij een enkele mastenrij in paragraaf 5.1.

De resultaten van materiaalgebruik, MKI en GWP van de hoofdtracés staat in tabel 6.1 samengevat. Bijlage I toont de resultaten voor alle deeltracés en verbindingstukken.

Tabel 6.1 Resultaten van materiaalgebruik voor de 380 kV-hoofdtracés (dubbele mastenrij)

Hoofdtracé (bovengronds)	Staal [ton]	Beton [ton]	Aluminium [ton]	Totaal [ton]	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [ton CO ₂ -eq.]
donkerblauw (via Z2)	11.239	9.888	421	21.548	8.182.335	34.261
groen	9.532	8.256	358	18.146	6.939.167	29.055
geel	9.745	8.664	361	18.771	7.087.264	29.666
rood	10.197	8.952	380	19.529	7.419.237	31.060
lichtblauw (via Z1)	12.204	10.776	456	23.436	8.882.671	37.190

Effecten van twee mastenrijen in twee verschillende tracés

Er worden geen bijkomende effecten verwacht als de mastenrijen in aparte tracés worden gerealiseerd.

6.1.2 Effectbeoordeling hoofdtracés

Tabel 6.2 geeft weer hoe de hoofdtracés van de 380-kV alternatieven beoordeeld zijn voor het criterium materiaalgebruik. Groen is het minst materiaalintensief en hiermee het duurzaamste alternatief. Omdat de alternatieven relatief ten opzichte van duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracé neutraal. Omdat tracé geel zeer weinig verschilt ten opzichte van groen scoort ook dit tracé neutraal. Tracé rood heeft tussen de 5 en 10 % meer materiaalgebruik en scoort beperkt negatief. De andere hoofdtracés zijn langer en scoren daarmee negatief.

Tabel 6.2 Beoordeling effecten op materiaalgebruik van de 368-kV-tracéalternatieven met twee mastenrijen

Hoofdtracé (bovengronds)	Totale hoeveelheid materiaal (ton)	Verskil met duurzaamste alternatief [%]	Score
donkerblauw (via Z2)	21.548	18,7	-
groen	18.146	0	0
geel	18.771	3,4	0
rood	19.529	7,6	0/-
lichtblauw (via Z1)	23.436	29,2	-

6.2 Effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase

Deze paragraaf beschrijft en beoordeelt de milieueffecten van de 380 kV-tracéalternatieven met twee mastenrijen voor het criterium effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase. De paragraaf is als volgt ingedeeld:

- paragraaf 6.2.1 beschrijft de milieueffecten die optreden voor het criterium;
- paragraaf 6.2.2 beoordeelt de milieueffecten die relevant zijn voor de 380 kV-tracéalternatieven met twee mastenrijen.

6.2.1 Effectbeschrijving

De uitstoot van broeikasgassen door de aanlegwerkzaamheden van de 380 kV-tracéalternatieven is gebaseerd op de materieelinzet tijdens de aanleg van de masten. De verschillen in uitstoot tussen de tracéalternatieven is dus gebaseerd op de hoeveelheid standaard- en speciale masten die benodigd zijn per tracé. Aangezien het in dit geval om een dubbele mastenrij gaat, is het aantal masten van de tracés verdubbeld. De resultaten van MKI en GWP van de hoofdtracés staat in tabel 6.3 samengevat.

Tabel 6.3 Resultaten van de uitstoot van broeikasgassen voor de 380 kV-hoofdtracés (dubbele mastenrij)

Hoofdtracé (bovengronds)	Aantal standaard masten	Aantal speciale masten	Transport en installatie masten MKI-A2 [EUR MKI]	Transport en installatie masten GWP [ton CO2 eq.]
donkerblauw - (via Z2)	262	20	911.500	6.369
groen	224	16	775.149	5.416
geel	226	18	789.080	5.514
rood	238	18	827.370	5.781
lichtblauw (via Z1)	284	22	989.249	6.912

Effecten van twee mastenrijen in twee verschillende tracés

Er worden geen bijkomende effecten verwacht als de mastenrijen in aparte tracés worden gerealiseerd.

6.2.2 Effectbeoordeling

Tabel 6.4 geeft weer hoe de hoofdtracés van de 380-kV alternatieven beoordeeld zijn voor het criterium uitstoot broeikasgassen. Tracé groen heeft de minste masten, en wordt daarmee beoordeeld als duurzaamste alternatief omdat hier de minste uitstoot door aanlegwerkzaamheden plaatsvindt. Omdat de alternatieven relatief ten opzichte van duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracé neutraal. Omdat tracé geel zeer weinig verschilt ten opzichte van groen ook dit tracé neutraal. Tracé rood heeft tussen de 5 en 10 % meer broeikasgasemissies en scoort beperkt negatief. De andere hoofdtracés zijn langer en scoren daarmee negatief.

Tabel 6.4 Beoordeling effecten op uitstoot broeikasgassen van de 368-kV-tracéalternatieven met één mastenrij

Hoofdtracé (bovengronds)	Verskil met duurzaamste alternatief [%]	Score
donkerblauw (via Z2)	17,6	-
groen	0	0
geel	1,8	0
rood	6,8	0/-
lichtblauw (via Z1)	27,6	-

6.3 Effecten op energieverliezen tijdens de gebruiksfase

Deze paragraaf beschrijft en beoordeelt de milieueffecten van de 380 kV-tracéalternatieven met twee mastenrijen voor het criterium effecten op energieverliezen tijdens de gebruiksfase. De paragraaf is als volgt ingedeeld:

- paragraaf 6.3.1 beschrijft de milieueffecten die optreden voor het criterium;
- paragraaf 6.3.2 beoordeelt de milieueffecten die relevant zijn voor de 380 kV-tracéalternatieven met twee mastenrijen.

6.3.1 Effectbeschrijving

Voor het energieverlies in de gebruiksfase van de 380 kV-tracéalternatieven is geen specifieke data beschikbaar. In het geval van een dubbele mastenrij zijn er dubbel zo veel lijnen en daarmee ook dubbel zo veel te verwachten energieverliezen als beschreven in paragraaf 5.3.1. Energieverliezen worden in eerste instantie beïnvloed door de lengte van de tracés, dus hoe korter, hoe beter. Om die reden is het verschil in lengte van de tracés geanalyseerd, zoals beschreven in paragraaf 4.3.2.

Effecten van twee mastenrijen in twee verschillende tracés

Er worden geen bijkomende effecten verwacht als de mastenrijen in aparte tracés worden gerealiseerd.

6.3.2 Effectbeoordeling

Tabel 6.5 geeft weer hoe de hoofdtracés van de 380-kV alternatieven beoordeeld zijn voor het criterium energieverliezen. In het geval van een dubbele mastenrij zijn er dubbel zo veel lijnen en daarmee ook dubbel zo veel te verwachten energieverliezen als beschreven in paragraaf 5.3.1. Het verschil met het duurzaamste alternatief valt daarmee ook twee keer zo groot uit. De procentuele verschillen blijven behouden (conform 5.3.1). Voor tracé groen treden de minste energieverliezen op. Omdat de alternatieven relatief ten opzichte van het duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracé neutraal.

Voor tracé groen treden de minste energieverliezen op. Omdat de alternatieven relatief ten opzichte van het duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracé neutraal. Omdat tracé geel zeer weinig verschilt ten opzichte van groen ook dit tracé neutraal. Tracé rood is tussen de 5 en 10 % langer en scoort beperkt negatief. De andere hoofdtracés zijn nog langer en scoren daarmee negatief.

Tabel 6.5 Beoordelen effecten van energieverliezen voor de 380 kV-hoofdtracés (dubbele mastenrij), op basis van tracélengtes

Hoofdtracé (bovengronds)	Lengte [m]	Verskil met duurzaamste alternatief [%]	Beoordeling
donkerblauw (via Z2)	105.588,26	17,7	-
groen	89.680,00	0	0
geel	90.584,48	1	0
rood	95.339,80	6,3	0/-
lichtblauw (via Z1)	114.315,33	27,5	-

DEEL IV: EFFECTENSTUDIE STATIONSLOCATIEALTERNATIEVEN EN 150 KV-TRACÉALTERNATIEVEN

CONCEPT

EFFECTENSTUDIE STATIONSLOCATIEALTERNATIEVEN

In dit hoofdstuk zijn de effecten van de stationslocaties gepresenteerd voor het thema duurzaamheid. Dit gebeurt per criterium, zoals beschreven in hoofdstuk 4.

7.1 Effecten op materiaalgebruik

Deze paragraaf beschrijft de milieueffecten van de stationslocaties voor het criterium effecten op materiaalgebruik.

7.1.1 Effectbeschrijving

De materialisatie per station is in alle stationslocatiealternatieven identiek en dus geen onderscheidend criterium. Desondanks biedt inzicht in het materiaalgebruik voor de stations waardevolle informatie over waar het zwaartepunt ligt in het totale ontwerp. Het noordelijke station zal circa 24 ha groot zijn en het zuidelijke station circa 17 ha. Van de stations zijn in deze fase geen exacte hoeveelheden bekend. Over het algemeen bestaan stations uit de volgende onderdelen:

- railsysteem;
- Centraal Diensten Gebouw (CDG);
- schakelveld;
- afspanportaal;
- transformator;
- spoelen.

Deze onderdelen omvatten veel staal, aluminium en beton. Ook zal er voor de fundering beton benodigd zijn. Voor deze drie hoofdmaterialen geldt dat ze een hoge milieu-impact hebben dat vooral een zwaartepunt heeft in de productiefase. Dat komt door de hoge energie-vereisten in de productieprocessen. Daarom is de wens om toch inzicht te geven in de impact van de stations. Hiervoor is een schatting gemaakt van de hoeveelheden van de drie hoofdmaterialen. Deze zijn weergegeven voor het noordelijke en zuidelijke station in tabel 7.1, waarbij voor het noordelijke station het 150 kV-deel los is weergegeven. Omdat het materiaalgebruik van de stations niet verschilt per stationslocatie, maar de totale impact van de twee stations significant is, is het van belang om op zoek te gaan naar mogelijkheden om de milieu-impact van dit materiaalgebruik te beperken. Hoofdstuk 9 gaat hier dieper op in.

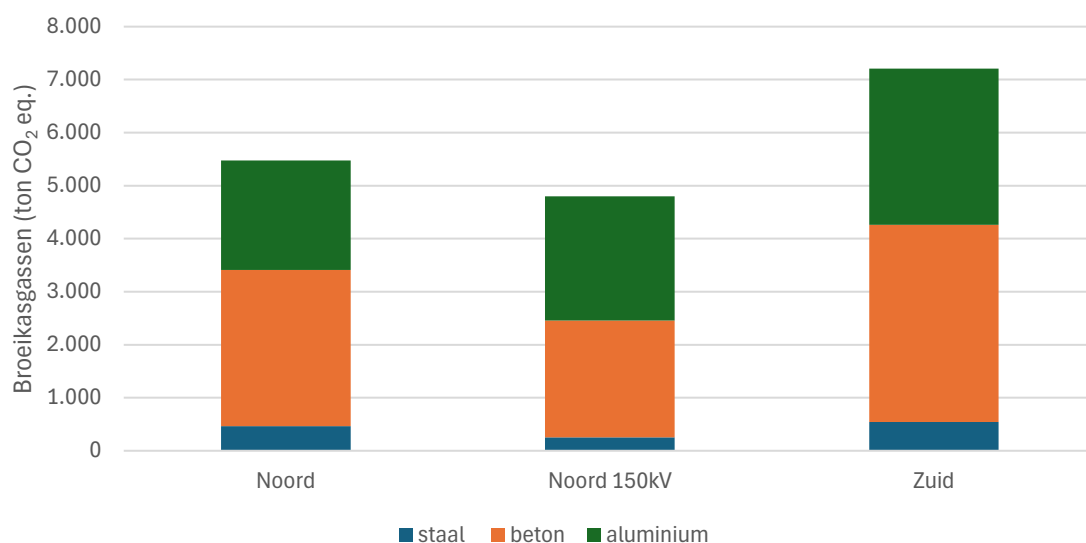
Tabel 7.1 Resultaten van geschat materiaalgebruik voor de stations

Station	Staal [ton]	Beton [ton]	Aluminium [ton]	Totaal [ton]	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [ton CO ₂ -eq.]
noord	187	38.912	150	39.249	1.008.149	98.121
noord 150 kV	102	29.124	170	29.395	877.842	73.488
zuid	217	49.156	214	49.587	1.324.439	123.968

Station	Staal [ton]	Beton [ton]	Aluminium [ton]	Totaal [ton]	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [ton CO ₂ -eq.]
totaal stations	505	117.192	534	118.231	3.210.430	295.577

Afbeelding 7.1 geeft inzicht in de bijdrage aan klimaatverandering door het materiaalgebruik van de stations. Het beton en aluminium dragen het meeste bij aan de impact, het staal relatief weinig. Qua materiaalgebruik wordt er ruim 100 keer meer beton toegepast dan staal of aluminium, maar de impact per ton is aanzienlijk lager. De hoeveelheid toegepast staal en aluminium is bijna gelijk, maar de impact van aluminium is significant hoger dan van staal.

Afbeelding 7.1 Uitstoot broeikasgassen (CO₂ eq.) door materiaalgebruik van de stations, uitgesplitst in materiaaltype



7.2 Effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase

Deze paragraaf beschrijft de milieueffecten van de stationslocaties voor het criterium effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase.

7.2.1 Effectbeschrijving

De aanleg en het ontwerp van de stations noord en zuid is in dit stadium van het ontwerp in ieder alternatief van dit plan-MER identiek en dus geen onderscheidend criterium. Desondanks is inzicht hierin gewenst, vanwege de uitstoot door transport en materieelinzet, en de SF₆-lekkages die tijdens de gebruiksfase kunnen optreden. Over de SF₆-lekkages is geen concrete informatie beschikbaar. De uitstoot van broeikasgassen door de aanlegwerkzaamheden van de stations is gebaseerd op de materieelinzet tijdens het bouwrijp maken van het terrein, de bouw van het station en de aanleg van de velden, trafo's en spoelen. De resultaten van MKI en GWP van station noord en zuid staan in tabel 7.2 samengevat.

Tabel 7.2 Resultaten van de uitstoot van broeikasgassen voor de stations

Station	Bouwrijp maken GWP [ton CO ₂ -eq.]	Bouw station GWP [ton CO ₂ -eq.]	Aanleg velden, trafo's en spoelen GWP [ton CO ₂ -eq.]	Totaal GWP [ton CO ₂ - eq.]	Totaal MKI- A2 [EUR MKI]
noord 150-380 kV-station	645	228	1.696	2.569	368.294
zuid 380 kV-station	266	133	1.003	1.402	200.996

Vanwege de milieu-impact die met transport, materieelinzet, en de SF₆-lekkages die tijdens de gebruiksfase kunnen optreden gepaard gaat is het van belang om op zoek te gaan naar mogelijkheden om de uitstoot te beperken. Hoofdstuk 9 gaat hier dieper op in.

EFFECTENSTUDIE ONDERGRONDSE 150 kV-TRACÉALTERNATIEVEN

In dit hoofdstuk zijn de effecten van de ondergrondse 150 kV-verbinding, die samenhangen met de noordelijke stationslocatiealternatieven, gepresenteerd voor het thema duurzaamheid. Dit gebeurt per criterium, zoals beschreven in hoofdstuk 4.

De effecten in deze beoordeling hangen samen met de lengte van de 150 kV-tracéalternatieven en niet zozeer met de route. Kanttekening hierbij is dat de ondergrondse tracés niet op zichzelf staand worden aangelegd maar altijd in combinatie met een bovengronds tracé en een stationslocatie.

8.1 Effecten op materiaalgebruik

Deze paragraaf beschrijft de milieueffecten van de ondergrondse 150 kV-verbinding voor het criterium effecten op materiaalgebruik. De paragraaf is als volgt ingedeeld:

- paragraaf 8.1.1 beschrijft de milieueffecten die optreden voor het criterium;
- paragraaf 8.1.2 beoordeelt de milieueffecten die relevant zijn voor de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven.

8.1.1 Effectbeschrijving

Materiaalgebruik wordt beoordeeld op basis van de hoeveelheid benodigde materialen per onderzoeksalternatief (in kg). Voor de materialisatie van de ondergrondse kabels worden volgende uitgangspunten aangenomen (zie ook tabel 4.3):

- het kabeltype is voor alle tracés gelijk en bestaat uit een aluminium geleider (7.650 kg/km kabel), XLPE isolatie (4.820 kg/km kabel), aluminium omhulsel (605 kg/km kabel) en een buitenste omhulsel van PE (1.635 kg/km kabel) [1];
- per kilometer tracéalternatief is 6 km kabel nodig.

De ondergrondse tracéalternatieven verschillen sterk qua afstand. NO6a is als kortste tracé ongeveer 2,5 km terwijl NW1b met ruim 38 km het langste is. Door de benodigde materialen en de zwaarte van de kabels hebben deze een hoge MKI per kilometer; aanzienlijk hoger dan de bovengrondse 380 kV-lijnen. Het duurzaamste ondergrondse tracéalternatief, NO6a, heeft een totaal materiaalgebruik van 225 ton, een MKI van rond de EUR 625.000,00 en een GWP van ongeveer 3.300 ton CO₂-eq. Het langste ondergrondse tracéalternatief valt zo'n 15 keer hoger uit. De resultaten van materiaalgebruik, MKI en GWP van de ondergrondse tracéalternatieven staat in tabel 8.1 samengevat.

Tabel 8.1 Resultaten van materiaalgebruik voor de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven

150 kV-tracéalternatief	Aluminium [ton]	XLPE [ton]	PE [ton]	Totaal [ton]	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [ton CO ₂ -eq.]
NW2b	1.637	956	324	2.918	8.073.249	42.509
NW2a	1.666	973	330	2.968	8.212.901	43.244

150 kV-tracéalternatief	Aluminium [ton]	XLPE [ton]	PE [ton]	Totaal [ton]	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [ton CO ₂ -eq.]
NW1b	1.920	1.121	380	3.422	9.467.763	49.851
NW1a	1.866	1.089	370	3.324	9.198.098	48.431
NO8b	698	407	138	1.243	3.439.898	18.112
NO8a	455	266	90	811	2.244.537	11.818
NO8b	195	114	39	347	959.736	5.053
NO6a	126	74	25	225	623.533	3.283
NO5a	136	79	27	242	669.580	3.526
NO4a	308	180	61	549	1.517.642	7.991
NO3a	260	152	51	463	1.280.899	6.744
NO2a	428	250	85	763	2.110.816	11.114
NO1a	532	311	105	948	2.621.981	13.806
NM2b	1.315	768	261	2.344	6.484.995	34.146
NM2a	1.174	685	232	2.091	5.786.749	30.469
NM1a	738	431	146	1.315	3.638.273	19.157

8.1.2 Effectbeoordeling

Tabel 8.2 laat zien hoe de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven zijn beoordeeld voor het criterium materiaalgebruik.

Ondergronds tracéalternatief NO6a komt naar voren als tracé met de minste materiaalbehoefte en wordt daarmee beoordeeld als duurzaamste alternatief. Omdat de tracéalternatieven relatief ten opzichte van duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracé neutraal. Ondergronds tracéalternatief NO5a heeft een fractie meer materiaalbehoefte en wordt beperkt negatief beoordeeld. De andere ondergrondse tracéalternatieven hebben beduidend meer materiaalbehoefte en scoren daarmee negatief.

In de tabel zijn grote verschillen waarneembaar in het percentuele verschil met het duurzaamste alternatief. Dit komt doordat het kortste tracéalternatief (NO6a) zeer kort is vanwege de nabijheid van de stationslocatie NO6 in vergelijking tot de ondergrondse tracéalternatieven naar andere stationslocaties. Kanttekening hierbij is dat de ondergrondse tracéalternatieven niet op zichzelf staand worden aangelegd, maar altijd in combinatie met een bovengronds tracéalternatief en een stationslocatie.

Tabel 8.2 Beoordeling effecten op materiaalgebruik van de ondergrondse 150-kV-tracéalternatieven

150 kV-tracéalternatief	Verskil met duurzaamste alternatief [ton]	Verskil met duurzaamste alternatief [%]	Beoordeling
NW2b	2.693	1194,8	-
NW2a	2.743	1217,2	-
NW1b	3.197	1418,4	-
NW1a	3.099	1375,2	-
NO8b	1.018	451,7	-

150 kV-tracéalternatief	Verskil met duurzaamste alternatief [ton]	Verskil met duurzaamste alternatief [%]	Beoordeling
NO8a	586	260,0	-
NO6b	122	53,9	-
NO6a	0	0,0	0
NO5a	17	7,4	0/-
NO4a	323	143,4	-
NO3a	238	105,4	-
NO2a	538	238,5	-
NO1a	722	320,5	-
NM2b	2.118	940,0	-
NM2a	1.866	828,1	-
NM1a	1.090	483,5	-

8.2 Effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase

Deze paragraaf beschrijft de milieueffecten van de ondergrondse 150 kV-verbinding voor het criterium effecten op uitstoot broeikasgassen tijdens aanleg- en gebruiksfase. De paragraaf is als volgt ingedeeld:

- paragraaf 8.2.1 beschrijft de milieueffecten die optreden voor het criterium;
- paragraaf 8.2.2 beoordeelt de milieueffecten die relevant zijn voor de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven.

8.2.1 Effectbeschrijving

Voor de uitstoot van broeikasgassen door de aanlegwerkzaamheden van de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven is informatie beschikbaar over het benodigde transport en de aanlegwerkzaamheden voor open ontgraving zonder backfill, zoals benoemd in paragraaf 4.3.2. Wederom is het kortste tracéalternatief het duurzaamste alternatief. Tracéalternatief NO6a heeft een MKI van rond de EUR 18.000,00 en 103 ton CO₂-eq. uitstoot, versus EUR 272.000,00 en 1.500 ton CO₂-eq. uitstoot bij NW1b. De resultaten van de uitstoot van broeikasgassen, MKI en GWP van de ondergrondse tracéalternatieven staat in tabel 8.3 samengevat.

Tabel 8.3 Resultaten van de uitstoot van broeikasgassen voor de aanleg van de 150 kV-tracéalternatieven

150 kV-tracéalternatief	Lengte [m]	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [ton CO ₂ -eq.]
NW2b	33.059,99	232.081	1.331
NW2a	33.631,87	236.096	1.354
NW1b	38.770,53	272.169	1.561
NW1a	37.666,25	264.417	1.516
NO8b	14.086,40	98.886	567
NO8a	9.191,39	64.524	370
NO6b	3.930,12	27.589	158
NO6a	2.553,37	17.925	103

150 kV-tracéalternatief	Lengte [m]	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [ton CO ₂ -eq.]
NO5a	2.741,93	19.248	110
NO4a	6.214,75	43.628	250
NO3a	5.245,29	36.822	211
NO2a	8.643,80	60.679	348
NO1a	10.737,02	75.374	432
NM2b	26.556,08	186.424	1.069
NM2a	23.696,76	166.351	954
NM1a	14.898,74	104.589	600

8.2.2 Effectbeoordeling

Tabel 8.2 laat zien hoe de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven zijn beoordeeld voor het criterium uitstoot broeikasgassen tijdens de aanlegfase.

De beoordeling is gelijk aan de beoordeling van de effecten op materiaalgebruik, omdat in beide gevallen de lengte van de tracéalternatieven is gebruikt voor de berekening van de effecten.

Tracéalternatief NO6a komt naar voren als tracéalternatief met de minste uitstoot van broeikasgassen en wordt daarmee beoordeeld als duurzaamste alternatief. Omdat de tracéalternatieven relatief ten opzichte van duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracé neutraal. Tracéalternatief NO5a heeft een fractie meer uitstoot van broeikasgassen en wordt beperkt negatief beoordeeld. De andere ondergrondse tracéalternatieven hebben beduidend meer uitstoot van broeikasgassen en scoren daarmee negatief.

In de tabel zijn grote verschillen waarneembaar in het percentuele verschil met het duurzaamste alternatief. Dit komt doordat het kortste tracéalternatief zeer kort is vanwege de nabijheid van de stationslocatie NO6 in vergelijking tot ondergrondse tracéalternatieven naar andere stationslocaties. Kanttekening hierbij is dat de ondergrondse tracéalternatieven niet op zichzelf staand worden aangelegd, maar altijd in combinatie met een bovengronds tracéalternatief en een stationslocatie.

Tabel 8.4 Beoordeling effecten op uitstoot van broeikasgassen tijdens de aanleg van de ondergrondse 150-kV-tracéalternatieven

150 kV-tracéalternatief	Verskil met duurzaamste alternatief [ton CO ₂ eq.]	Verskil met duurzaamste alternatief [%]	Beoordeling
NW2b	1.228	1194,8	-
NW2a	1.251	1217,2	-
NW1b	1.458	1418,4	-
NW1a	1.414	1375,2	-
NO8b	464	451,7	-
NO8a	267	260,0	-
NO6b	55	53,9	-
NO6a	0	0,0	0
NO5a	8	7,4	0/-
NO4a	147	143,4	-

150 kV-tracéalternatief	Verskil met duurzaamste alternatief [ton CO2 eq.]	Verskil met duurzaamste alternatief [%]	Beoordeling
NO3a	108	105,4	-
NO2a	245	238,5	-
NO1a	329	320,5	-
NM2b	966	940,0	-
NM2a	851	828,1	-
NM1a	497	483,5	-

8.3 Effecten op energieverliezen tijdens de gebruiksfase

Deze paragraaf beschrijft de milieueffecten van de ondergrondse 150 kV-verbinding voor het criterium effecten op energieverliezen. De paragraaf is als volgt ingedeeld:

- paragraaf 8.3.1 beschrijft de milieueffecten die optreden voor het criterium;
- paragraaf 8.3.2 beoordeelt de milieueffecten die relevant zijn voor de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven.

8.3.1 Effectbeschrijving

Voor het energieverlies in de gebruiksfase van de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven is geen specifieke data beschikbaar. Energieverliezen worden in eerste instantie beïnvloed door de lengte van de tracéalternatieven, dus hoe korter, hoe minder energieverliezen. Om die reden is het verschil in lengte van de tracéalternatieven geanalyseerd, zoals beschreven in paragraaf 4.3.2. Het kortste tracéalternatief is NO6a. De lengtes van de tracéalternatieven lopen sterk uiteen, met aanzienlijk hogere energieverliezen als gevolg. De resultaten staan in tabel 8.3 samengevat.

Tabel 8.5 Resultaten van energieverliezen voor de 150 kV-tracéalternatieven, op basis van tracélengtes

150 kV-tracéalternatief	lengte [m]	verschil met duurzaamste alternatief [m]	verschil met duurzaamste alternatief [%]
NW2b	33.059,99	30.506,62	1195
NW2a	33.631,87	31.078,50	1217
NW1b	38.770,53	36.217,16	1418
NW1a	37.666,25	35.112,88	1375
NO8b	14.086,40	11.533,03	452
NO8a	9.191,39	6.638,02	260
NO6b	3.930,12	1.376,76	54
NO6a	2.553,37	0,00	0
NO5a	2.741,93	188,56	7
NO4a	6.214,75	3.661,38	143
NO3a	5.245,29	2.691,92	105
NO2a	8.643,80	6.090,43	239
NO1a	10.737,02	8.183,65	321

150 kV-tracéalternatief	lengte [m]	verschil met duurzaamste alternatief [m]	verschil met duurzaamste alternatief [%]
NM2b	26.556,08	24.002,71	940
NM2a	23.696,76	21.143,39	828
NM1a	14.898,74	12.345,37	483

Het is lastig om de milieu-impact in MKI en GWP voor de energieverliezen te duiden: deze zijn van vele factoren afhankelijk. Ter indicatie: levenscyclusanalyses (LCA's) voor kabels met een koper geleider en verschillende stroomsterktes toont dat energieverliezen over 50 jaar kunnen uitkomen op 5.000 - 15.000 MWh/km kabel, met een gemiddelde impact van EUR 13,00 MKI/MWh. Hierbij is rekening gehouden met vergroening van de energiemix over die 50 jaar.

8.3.2 Effectbeoordeling

Tabel 8.2 laat zien hoe de ondergrondse 150 kV-tracéalternatieven zijn beoordeeld voor het criterium energieverliezen tijdens de gebruiksfase.

De beoordeling is gelijk aan de beoordeling van de effecten op materiaalgebruik en uitstoot van broeikasgassen tijdens de aanlegfase, omdat in alle gevallen de lengte van de tracéalternatieven is gebruikt voor de berekening van de effecten.

Tracéalternatief NO6a komt naar voren als tracéalternatief met het minste energieverlies en wordt daarmee beoordeeld als duurzaamste alternatief. Omdat de tracéalternatieven relatief ten opzichte van duurzaamste alternatief beoordeeld worden, scoort dit tracéalternatief neutraal. Tracéalternatief NO5a heeft een fractie meer energieverlies en wordt beperkt negatief beoordeeld. De andere ondergrondse tracéalternatieven hebben beduidend meer energieverliezen en scoren daarmee negatief.

In de tabel zijn grote verschillen waarneembaar in het percentuele verschil met het duurzaamste alternatief. Dit komt doordat het kortste tracéalternatief zeer kort is vanwege de nabijheid van de stationslocatie NO6 in vergelijking tot ondergrondse tracéalternatieven naar andere stationslocaties. Kanttekening hierbij is dat de ondergrondse tracéalternatieven niet op zichzelf staand worden aangelegd, maar altijd in combinatie met een bovengronds tracéalternatief en een stationslocatie.

Tabel 8.6 Beoordeling effecten op energieverliezen tijdens de gebruiksfase van de ondergrondse 150-kV-tracéalternatieven

150 kV-tracéalternatief	Verschil met duurzaamste alternatief [meter]	Verschil met duurzaamste alternatief [%]	Beoordeling
NW2b	30.506,62	1194,8	-
NW2a	31.078,50	1217,2	-
NW1b	36.217,16	1418,4	-
NW1a	35.112,88	1375,2	-
NO8b	11.533,03	451,7	-
NO8a	6.638,02	260,0	-
NO6b	1.376,76	53,9	-
NO6a	0,00	0,0	0
NO5a	188,56	7,4	0/-
NO4a	3.661,38	143,4	-

150 kV-tracéalternatief	Vershil met duurzaamste alternatief [meter]	Vershil met duurzaamste alternatief [%]	Beoordeling
NO3a	2.691,92	105,4	-
NO2a	6.090,43	238,5	-
NO1a	8.183,65	320,5	-
NM2b	24.002,71	940,0	-
NM2a	21.143,39	828,1	-
NM1a	12.345,37	483,5	-

DEEL V: MITIGERENDE MAATREGELEN EN LEEMTEN IN KENNIS

CONCEPT

MITIGERENDE MAATREGELEN TRACÉALTERNATIEVEN EN STATIONSLOCATIEALTERNATIEVEN

Dit hoofdstuk presenteert normaliter de mogelijkheden om sterk negatieve effecten (--) te voorkomen. Deze sterk negatieve effecten vormen een risico voor de uitvoerbaarheid van het tracé- of stationslocatiealternatief. De 150 kV-tracéalternatieven hebben geen sterk negatieve effecten voor het thema duurzaamheid. Toch presenteert dit hoofdstuk mogelijke mitigerende maatregelen om negatieve effecten op gebied van duurzaamheid te beperken of voorkomen. Voor deze maatregelen wordt aanbevolen om deze verder uit te werken voor het voorkeursalternatief in MER fase 2.

9.1 Mitigerende maatregelen materiaalgebruik

In deze fase van het mer is in principe alleen de lengte onderscheidend. Het uitgangspunt is dat alle onderdelen (lijnen, masten, stations en kabels) uit dezelfde materialen bestaan, dus dat er geen ontwerpverschillen tussen de alternatieven zijn. In deze fase is de meest impactvolle circulaire maatregel om het materiaalgebruik te beperken, dat wil zeggen: de kortste route te kiezen. Voor het uiteindelijk volledige tracé vraagt dit om de optimale combinatie tussen de lengte van de 380 kV- en de 150 kV-tracés. De ondergrondse tracés hebben een hogere milieu-impact in de productiefase vanwege een hoger materiaalgebruik per km kabel dan de bovengrondse tracés, dus waarschijnlijk zal vanuit duurzaamheidsoogpunt de voorkeur liggen bij een langer bovengronds en een korter ondergronds tracé. Om dit te verifiëren zal verdiepend vervolgonderzoek nodig zijn, waarin ook de aanlegwerkzaamheden in meer detail worden onderzocht.

Na het optimaliseren van de route, worden andere circulaire strategieën relevant. Een aantal mogelijke maatregelen staan hieronder benoemd. Hierbij blijft het belangrijk om een integrale afweging, met oog op de andere milieuthema's, te maken:

- preventie: kies voor een alternatief met zo min mogelijk gebruik van materialen, bijvoorbeeld door ontwerptimalisaties van de lijnen en kabels, kleinere masten of minder fundering waar mogelijk;
- waardebehoud: ga op zoek naar secundaire materialen via een materialen marktplaats of uit het eigen areaal, hergebruik van grond en zand;
- waardecreatie: ontwerp toekomstbestendig met oog op goed onderhoud en levensduur-verlengende maatregelen, ontwerp met alternatieve materialen zoals gerecyclede opties. Onderzoek bijvoorbeeld de mogelijkheid om geopolymeerbeton te gebruiken in plaats van conventioneel beton. Dit is een betontype zonder cement met een lagere milieu-impact als gevolg. Tabel 9.1 toont voor de een aantal materialen het verschil in milieu-impact tussen de gebruikelijke productiefase van het materiaal versus een duurzamer alternatief;
- houdt een materiaalpaspoort bij om onderhoud en toekomstig hergebruik te faciliteren;
- maak in een volgende fase een volledige levenscyclusanalyse (LCA) om inzicht te krijgen in de hoeveelheid en zwaartepunten van de milieu-impact.

Tabel 9.1 Verschil in milieu-impact voor verschillend materiaalgebruik (enkel de productiefase (A1-A3) op basis van MKI set A2)

Materiaal	Scenario	Eenheid	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [kg CO ₂ -eq.]
staal	business-as-usual	ton	405	2.190
staal	100 % secundair staal	ton	141	575
aluminium	business-as-usual	ton	1.925	10.837
aluminium	op basis van 100 % hernieuwbare energie	ton	1.059	5.364
beton	business-as-usual	ton	13	76
beton	geopolymeer	ton	9	44
koper	business-as-usual	ton	3.445	7.075
koper	100 % secundair koper	ton	710	1.855

9.2 Mitigerende maatregelen uitstoot van broeikasgassen

Uitstoot in de aanlegfase

Voor de aanlegfase wordt voornamelijk uitgegaan van diesel als brandstof. TenneT heeft het convenant Schoon en Emissieloos Bouwen ondertekend en houdt daarmee het basisniveau uit het convenant aan. Het basisniveau hanteert voor de periode 2025-2027 geen emissieloze eisen voor mobiele werktuigen en bouwtransport. Voor de gebruikelijke uitvoering wordt daarom nog rekening gehouden met diesel.

Om de uitstoot te beperken, is de hiërarchie van de trias energetica belangrijk. Dit houdt in:

- beperk de energievraag;
- gebruik duurzame energie;
- gebruik fossiele brandstoffen zo efficiënt en schoon mogelijk.

Om de energievraag te beperken, kan er worden gedacht aan:

- optimalisaties in de uitvoering, het slim bundelen en efficiënt uitvoeren van werkzaamheden of transport:
 - in het geval van de dubbele mastenrij kunnen hier ook slimme schaalvoordelen worden behaald;
- transportafstanden beperken, met name voor grondverzet, door materialen lokaal te verwerven.

Voor het gebruik van duurzame energie, kan er worden gedacht aan alternatieve brandstoffen zoals HVO100 of waterstof, of elektrisch materieel. Tabel 9.2 toont voor transport- en bouwmachines een vergelijkend overzicht voor de MKI en GWP.

Tabel 9.2 Verschil in milieu-impact voor verschillende transport- en bouw mogelijkheden

Type	Scenario	Eenheid	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [kg CO ₂ -eq.]
transport				
vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel	business-as-usual	tkm	0,019	0,100
vrachtwagen (>32 ton), elektrisch, grijze mix	100 % elektrisch	tkm	0,014	0,070
vrachtwagen (>32 ton), elektrisch, groene mix	100 % elektrisch	tkm	0,010	0,031
bouw				
bouwmachine, diesel, categorie V (>52 kW)	business-as-usual	MJ output (arbeid)	0,059	0,417

Type	Scenario	Eenheid	MKI-A2 [EUR MKI]	GWP [kg CO ₂ -eq.]
bouwmachine elektrisch, grijze mix	100 % elektrisch	MJ output (arbeid)	0,035	0,239
bouwmachine elektrisch, groene mix	100 % elektrisch	MJ output (arbeid)	0,019	0,094

Voor het efficiënt gebruik van fossiele brandstoffen kan worden gedacht aan:

- gebruik van biodiesel/HVO: dit vermindert de MKI met ongeveer 30 % en de CO₂-uitstoot met ongeveer 60 %. Het verschil in reductie tussen MKI en CO₂ komt door verschuiving naar andere soorten impact door bijvoorbeeld landgebruik;
- de Green Deal Het Nieuwe Draaien, met een focus op een milieubesparende werkstijl en energiezuinige werktuigen.

Uitstoot in de gebruiksfase door zwavelhexafluoride

In de gebruiksfase kan SF₆ gas vrijkomen door het gebruik van luchtgeïsoleerde stations (AIS).

Er is op dit moment nog geen goede vervanger voor SF₆ gas; een mogelijk alternatief is bijvoorbeeld de fluoronitril C₃F₇CN met een lagere uitstoot, maar dit is een PFAS-stof. Wel worden er op dit moment pilots uitgevoerd en marktonderzoeken gedaan met alternatieven voor SF₆, maar dit zijn nog lopende projecten.

9.3 Mitigerende maatregelen energieverliezen

Energieverliezen worden in eerste instantie beïnvloed door de lengte van de tracés, dus hoe korter, hoe beter. De hoeveelheid energieverliezen is verder afhankelijk van verschillende factoren zoals het materiaal van de kabel, de configuratie, het voltage, de ampere en de dikte. De milieu-impact van die energieverliezen is uiteindelijk afhankelijk van de elektriciteitsmix en hoe schoon deze is. Met de tijd zal de impact verlagen door vergroening van de energiemix.

Verdere maatregelen zijn te nemen in het ontwerp en materiaalkeuze van de kabels. Vergeleken met een staal-versterkte kabel met aluminium geleider, heeft een aluminium geleider met een koolstofvezel kern tot 10 % minder energieverliezen¹. Milliken conductors veroorzaken minder verliezen dan solide conductors. Koper bij een gelijk oppervlak veroorzaakt minder verliezen dan aluminium. Omdat business-as-usual koper over het algemeen meer impact op klimaat veroorzaakt is hier een optimum in te vinden, en het is aan te raden om dat in een verdiepende studie uit te werken.

¹ (De Angeli Prodotti, 2014). https://www.deangeliprodotti.com/wp-content/uploads/2021/01/Aluminium-Conductor-Carbon-Fiber-Core_0.pdf

LEEMTEN IN KENNIS

De effectbeoordeling in dit plan-MER is grotendeels kwalitatief van aard. Er is gebruik gemaakt van aannames, uitgangspunten en indicatieve analyses via GIS om de effecten in beeld te brengen. Zo zijn in deze fase bijvoorbeeld de mastlocaties en exacte hoogtes van de masten nog niet bekend. Voor dit plan-MER, passend bij het niveau van de Voorkeursbeslissing, zijn de gehanteerde aannames en uitgangspunten afdoende om een voldoende betrouwbaar beeld te verkrijgen van de effecten ten behoeve van de keuze van een voorkeursalternatief. Meer gedetailleerde effectbeoordeling, kwantificering en toetsing aan wettelijke kaders vindt plaats in de project-MER fase van het project. Dit is ook opgenomen in de Notitie reikwijdte en detailniveau voor dit project.

LITERATUURLIJST

[1] Witteveen+Bos, 2024. LCA report aluminium and copper cables. Ref: 138743/24-009.794.

Bijlage(n)

CONCEPT



**BIJLAGE: RESULTATEN VAN MATERIAALGEBRUIK, MKI EN GWP VAN DE
HOOFDTRACÉS, DEELTRACÉS EN VERBINDINGSSTUKKEN**

CONCEPT

380 kV-tracés	lengte	380 kV-lijnen		masten						Totaal enkele mastenrij					Totaal dubbele mastenrij				
		staal	aluminium	S+0			H+0			staal	beton	aluminium	MKI	CO2	staal	beton	aluminium	MKI	CO2
				aantal	staal	beton	aantal	staal	beton										
	m	kg	kg	#	ton	ton	#	ton	ton	ton	ton	ton	€ MKI	ton CO2-eq.	ton	ton	ton	€ MKI	ton CO2-eq.
HOOFDTRACÉS																			
donkerblauw - kort, Z1	35.831,15	55.897	142.966	89	3.293	2.136	7	483	1.260	3.832	3.396	143	2.788.565	11.675	7.664	6.792	286	5.577.129	23.349
donkerblauw - kort, Z2	36.358,13	56.719	145.069	90	3.330	2.160	7	483	1.260	3.870	3.420	145	2.817.562	11.798	7.739	6.840	290	5.635.124	23.596
donkerblauw - lang, Z1	52.267,15	81.537	208.546	130	4.810	3.120	10	690	1.800	5.582	4.920	209	4.062.170	17.007	11.163	9.840	417	8.124.340	34.015
donkerblauw - lang, Z2	52.794,13	82.359	210.649	131	4.847	3.144	10	690	1.800	5.619	4.944	211	4.091.168	17.131	11.239	9.888	421	8.182.335	34.261
groen	44.840,00	69.950	178.912	112	4.144	2.688	8	552	1.440	4.766	4.128	179	3.469.583	14.527	9.532	8.256	358	6.939.167	29.055
geel	45.292,24	70.656	180.716	113	4.181	2.712	9	621	1.620	4.873	4.332	181	3.543.632	14.833	9.745	8.664	361	7.087.264	29.666
rood	47.669,90	74.365	190.203	119	4.403	2.856	9	621	1.620	5.098	4.476	190	3.709.618	15.530	10.197	8.952	380	7.419.237	31.060
lichtblauw - Z1	57.157,66	89.166	228.059	142	5.254	3.408	11	759	1.980	6.102	5.388	228	4.441.335	18.595	12.204	10.776	456	8.882.671	37.190
lichtblauw - Z2	57.109,80	89.091	227.868	142	5.254	3.408	11	759	1.980	6.102	5.388	228	4.440.847	18.592	12.204	10.776	456	8.881.694	37.185
deeltracés																			
donkerblauw_Z2	7.946,14	12.396	31.705	19	703	456	1	69	180	784	636	32	575.690	2.417	1.569	1.272	63	1.151.379	4.833
donkerblauw_Z1	7.419,16	11.574	29.602	18	666	432	1	69	180	747	612	30	546.692	2.293	1.493	1.224	59	1.093.384	4.587
donkerblauw_N	7.353,00	11.471	29.338	18	666	432	1	69	180	746	612	29	546.017	2.290	1.493	1.224	59	1.092.034	4.579
donkerblauw_NN	9.083,00	14.169	36.241	22	814	528	1	69	180	897	708	36	658.153	2.762	1.794	1.416	72	1.316.306	5.525
donkerblauw_M	28.411,99	44.323	113.364	71	2.627	1.704	5	345	900	3.016	2.604	113	2.196.059	9.195	6.033	5.208	227	4.392.119	18.391
groen_ZM	8.211,00	12.809	32.762	20	740	480	1	69	180	822	660	33	602.014	2.526	1.644	1.320	66	1.204.027	5.051
groen_Z	3.828,00	5.972	15.274	9	333	216	0	0	0	339	216	15	251.647	1.060	678	432	31	503.295	2.120
groen_ZZ	5.395,00	8.416	21.526	13	481	312	1	69	180	558	492	22	407.934	1.710	1.117	984	43	815.867	3.420
groen_NN2	5.173,00	8.070	20.640	12	444	288	1	69	180	521	468	21	382.047	1.603	1.042	936	41	764.093	3.207
groen_NN1	2.140,00	3.338	8.539	5	185	120	0	0	0	188	120	9	139.940	590	377	240	17	279.880	1.179
groen_NM	5.450,00	8.502	21.746	13	481	312	1	69	180	559	492	22	408.495	1.713	1.117	984	43	816.989	3.426
groen_N2	3.695,00	5.764	14.743	9	333	216	0	0	0	339	216	15	250.291	1.053	678	432	29	500.581	2.106
groen_N1	3.711,00	5.789	14.807	9	333	216	0	0	0	339	216	15	250.454	1.054	678	432	30	500.908	2.107
groen_M	7.237,00	11.290	28.876	18	666	432	1	69	180	746	612	29	544.834	2.283	1.493	1.224	58	1.089.668	4.567
geel M	11.500,18	17.940	45.886	28	1.036	672	2	138	360	1.192	1.032	46	870.356	3.648	2.384	2.064	92	1.740.711	7.296
geel_N	4.488,00	7.001	17.907	11	407	264	0	0	0	414	264	18	305.624	1.285	828	528	36	611.248	2.570
geel_NN	7.033,00	10.971	28.062	17	629	408	1	69	180	709	588	28	519.131	2.178	1.418	1.176	56	1.038.262	4.355
geel NM	8.249,45	12.869	32.915	20	740	480	1	69	180	822	660	33	602.406	2.528	1.644	1.320	66	1.204.812	5.056
geel Z	3.217,00	5.019	12.836	8	296	192	0	0	0	301	192	13	221.793	932	602	384	26	443.585	1.864
geel ZM	6.710,00	10.468	26.773	16	592	384	1	69	180	671	564	27	492.214	2.066	1.343	1.128	54	984.428	4.131
rood_ZZ (=lichtblauw_ZZ)	6.191,23	9.658	24.703	15	555	360	1	69	180	634	540	25	463.300	1.943	1.267	1.080	49	926.600	3.885
rood_ZM1	1.709,00	2.666	6.819	4	148	96	0	0	0	151	96	7	111.921	472	301	192	14	223.843	943
rood_ZM2	12.369,00	19.296	49.352	30	1.110	720	2	138	360	1.267	1.080	49	926.462	3.884	2.535	2.160	99	1.852.925	7.769
rood_Z	5.974,87	9.321	23.840	14	518	336	1	69	180	596	516	24	437.471	1.836	1.193	1.032	48	874.941	3.673
rood_NM	4.078,47	6.362	16.273	10	370	240	0	0	0	376	240	16	277.825	1.168	753	480	33	555.649	2.337
rood_N	7.028,00	10.964	28.042	17	629	408	1	69	180	709	588	28	519.080	2.177	1.418	1.176	56	1.038.160	4.355
rood_NN	5.119,00	7.986	20.425	12	444	288	1	69	180	521	468	20	381.496	1.600	1.042	936	41	762.992	3.201
rood_M	5.200,33	8.113	20.749	13	481	312	1	69	180	558	492	21	405.948	1.699	1.116	984	41	811.896	3.399
lichtblauw_ZM	9.361,53	14.604	37.352	23	851	552	1	69	180	935	732	37	684.616	2.872	1.869	1.464	75	1.369.233	5.744
lichtblauw_Z2	8.540,08	13.323	34.075	21	777	504	1	69	180	859	684	34	628.993	2.638	1.719	1.368	68	1.257.985	5.276
lichtblauw_Z1	8.587,94	13.397	34.266	21	777	504	1	69	180	859	684	34	629.481	2.641	1.719	1.368	69	1.258.962	5.282

lichtblauw_N	24.444,79	38.134	97.535	61	2.257	1.464	4	276	720	2.571	2.184	98	1.873.557	7.847	5.142	4.368	195	3.747.113	15.694
lichtblauw_M	8.572,17	13.373	34.203	21	777	504	1	69	180	859	684	34	629.320	2.640	1.719	1.368	68	1.258.640	5.280
VERBINDINGSSTUKKEN																			
P23	2.720,00	4.243	10.853	6	222	144	0	0	0	226	144	11	146.358	591	452	288	22	292.717	1.182
P22	1.976,00	3.083	7.884	4	148	96	0	0	0	151	96	8	97.849	395	302	192	16	195.698	791
P21	1.195,08	1.864	4.768	2	74	48	0	0	0	76	48	5	49.276	200	152	96	10	98.553	399
P20	1.228,49	1.916	4.902	3	111	72	0	0	0	113	72	5	72.956	294	226	144	10	145.911	588
P19	1.684,90	2.628	6.723	4	148	96	0	0	0	151	96	7	97.354	393	301	192	13	194.708	786
P18	4.094,62	6.388	16.338	10	370	240	0	0	0	376	240	16	243.185	981	753	480	33	486.370	1.962
P17	6.869,52	10.716	27.409	17	629	408	1	69	180	709	588	27	459.072	1.853	1.417	1.176	55	918.145	3.705
P16	4.228,44	6.596	16.871	10	370	240	0	0	0	377	240	17	243.413	982	753	480	34	486.825	1.964
P15	7.219,98	11.263	28.808	18	666	432	1	69	180	746	612	29	483.291	1.950	1.493	1.224	58	966.581	3.900
P14	10.845,03	16.918	43.272	27	999	648	2	138	360	1.154	1.008	43	747.868	3.019	2.308	2.016	87	1.495.736	6.037
P13	3.600,64	5.617	14.367	9	333	216	0	0	0	339	216	14	218.723	882	677	432	29	437.446	1.764
P12	2.901,95	4.527	11.579	7	259	168	0	0	0	264	168	12	170.290	687	527	336	23	340.580	1.374
P11	5.897,59	9.200	23.531	14	518	336	1	69	180	596	516	24	386.553	1.561	1.192	1.032	47	773.106	3.122
P10	4.121,44	6.429	16.445	10	370	240	0	0	0	376	240	16	243.231	981	753	480	33	486.461	1.962
P9	4.965,21	7.746	19.811	12	444	288	0	0	0	452	288	20	291.910	1.177	903	576	40	583.820	2.355
P8	6.909,85	10.779	27.570	17	629	408	1	69	180	709	588	28	459.141	1.853	1.418	1.176	55	918.282	3.706
P7	3.300,51	5.149	13.169	8	296	192	0	0	0	301	192	13	194.590	785	602	384	26	389.180	1.570
P6	8.654,08	13.500	34.530	21	777	504	1	69	180	860	684	35	556.596	2.246	1.719	1.368	69	1.113.192	4.493
P5	12.054,35	18.805	48.097	30	1.110	720	2	138	360	1.267	1.080	48	820.791	3.313	2.534	2.160	96	1.641.582	6.625
P4	7.745,88	12.084	30.906	19	703	456	1	69	180	784	636	31	507.807	2.049	1.568	1.272	62	1.015.614	4.099
P3	1.131,00	1.764	4.513	2	74	48	0	0	0	76	48	5	49.168	199	152	96	9	98.335	398
P2	1.610,00	2.512	6.424	4	148	96	0	0	0	151	96	6	97.227	392	301	192	13	194.453	784
P1	7.228,00	11.276	28.840	18	666	432	1	69	180	746	612	29	483.304	1.950	1.493	1.224	58	966.608	3.901

CONCEPT