Vervolgonderzoek Systeemkeuze Tractie-energievoorziening

Onderzoek naar de noodzaak en mogelijke alternatieven voor de toekomst van het tractie-energievoorzieningssysteem van het Nederlandse spoor

Vastgesteld in de stuurgroep STEV van 7 juli 2022

Lees publicatie >

Inhoudsopgave

1. Inleiding 3
   1.1. Context en uitdagingen voor de toekomst 3
   1.2. Groei en toekomstbestendigheid van het spoor 4
   1.3. Doel en scope van het onderzoek 4
   1.4. Organisatie van het onderzoek 5
   1.5. Leeswijzer 6

2. Context en urgentie voor heroverweging TEV 7
   2.1. Tractie energievoorziening 7
   2.2. Achtergrond en Europese context huidige TEV 8
   2.3. TEV-opties voor uitbreiding vervoerscapaciteit 10
   2.4. Complexiteit in tijd en plaats 11

3. Mogelijkheden en consequenties handhaven 1,5kV 12
   3.1. Knelpunten bij handhaven huidig systeem 12
   3.2. Grenzen van het huidige systeem 15
   3.3. Systeemgrens 1,5 kV middels technologische ontwikkelingen/innovaties 18
   3.4. Kosten voor handhaving, uitbreiding en doorontwikkeling 1,5kV 20

4. Kansrijke opties voor een systeemwijziging 22
   4.1. Toelichting systeemalternatieven 22
   4.2. Kosten, baten en risico's systeemalternatieven 23
   4.3. Belangen en voorkeuren goederen- en regiovervoerders 27
   4.4. Waterstof- en batterijtreinen 28
   4.5. Conclusie: kansrijke alternatieven 29

5. Nadere uitwerking 3kV 30
   5.1. Baten van migratie naar 3kV 30
   5.2. Kosten van migratie naar 3kV 32
   5.3. Maatschappelijke kosten-batenanalyse 33
   5.4. Impact van 3kV 35
   5.5. Opknippen landelijk netwerk in deelnetten 1,5kV en 3kV 37

6. Conclusies 40

1. Inleiding

1.1. Context en uitdagingen voor de toekomst

De vraag naar spoorvervoer neemt in de toekomst sterk toe. De Integrale MobiliteitsAnalyse 2021 laat tot 2040 een groei zien van 20-42% in reizigerskilometers en 41-67% voor goederenvervoer. De komende jaren moet de capaciteit op het spoor worden verruimd om die groei op een adequate wijze te faciliteren.

Een goed functionerend OV-netwerk is één van de belangrijke randvoorwaarden om de grote opgaven op het gebied van woningbouw, verstedelijking en klimaat te realiseren. In de periode tot 2030 wil het kabinet 900.000 woningen bouwen[1], waarbij bouwen in de nabijheid van (OV) infrastructuur en knooppunten de voorkeur heeft. Door nieuwe ontwikkelingen te realiseren rondom de stations worden het openbaar vervoer en de bestaande ruimte in het stedelijk gebied optimaal benut. Ook speelt het OV een belangrijke rol in de ontsluiting van nieuwe woon- en werklocaties en maakt meer woningbouw buiten de Randstad mogelijk.

Op het gebied van klimaat en energie moeten en willen we verder verduurzamen. De Nederlandse overheid wil in 2030 49% minder CO_2 uitstoten ten opzichte van 1990. En in 2050 moet dat 95% minder zijn. Het Rijk heeft hierover samen met bedrijven en organisaties afspraken gemaakt in het nationale Klimaatakkoord. Het OV levert een bijdrage aan de klimaatdoelstellingen door een schoon alternatief te bieden voor de reiziger. Het OV is de meest duurzame vervoerswijze voor de middellange afstanden als alternatief voor de auto en het vliegtuig. Een verdere groei van het OV in de modal split draagt bij aan de duurzaamheidsambities. Verdere verschoning van het OV zelf, door o.a. minder energieverbruik en duurzaam en efficiënter materiaalgebruik, versterkt dit.

[1] Programma woningbouw 2022 – 2026, ministerie van BZK

1.2. Groei en toekomstbestendigheid van het spoor

De huidige spoorcapaciteit is niet toereikend om de verwachte groei van OV-reizigers en goederenvervoer op te vangen. Vanaf 2030 zijn er forse investeringen nodig in het toekomstige netwerk. Daarvoor zijn drie knoppen van belang[2]:

1. De uitbreiding van de infrastructuur zorgt voor extra capaciteit, maar het oplossen van de capaciteitsknelpunten met alleen infrastructurele aanpassingen is kapitaalintensief;
2. Technische systeemsprongen voor beveiliging, tractie- en energievoorziening zijn mogelijk om de capaciteit van bestaande infrastructuur verder te vergroten en snelheden te verhogen;
3. Logistieke maatregelen bieden door het reduceren van afhankelijkheden mogelijk kostenefficiënte oplossingen om capaciteit toe te voegen en het netwerk beter te benutten. Dit zijn vaak keuzes in de lijnvoering, bijvoorbeeld de eindbestemming van een trein.

Om de toekomstige groei op het spoor te kunnen faciliteren moet het spoorsysteem hier tijdig op worden voorbereid. Op korte termijn is daarom inzicht nodig in de mogelijkheden en beperkingen van het huidige systeem en zijn keuzes en besluiten nodig om tijdig te investeren in noodzakelijke maatregelen voor een toekomstbestendig spoorsysteem.

Voldoende energiecapaciteit is een randvoorwaarde om verder te kunnen groeien. En de tractie-energievoorziening is dan ook één van de cruciale bouwstenen die het vergroten van de capaciteit op het spoor mogelijk moet maken. Daarnaast kunnen een eventuele systeemwijziging en innovaties, het energieverbruik omlaag brengen en daarmee bijdragen aan de klimaatopgave en het betaalbaar houden van de energietransitie.

1.3. Doel en scope van het onderzoek

Doel van dit onderzoek is inzicht geven in de toekomstige knelpunten op het gebied van tractie energievoorziening en de opties die er zijn om de toekomstige groei en verduurzaming van het spoor mogelijk te maken[3]. Op basis van de inzichten uit dit onderzoek worden door ProRail en NS (in aparte oplegbrieven) aanbevelingen gedaan over de benodigde vervolgstappen en keuzes die nodig zijn om te komen tot een toekomstbestendig TEV-systeem.

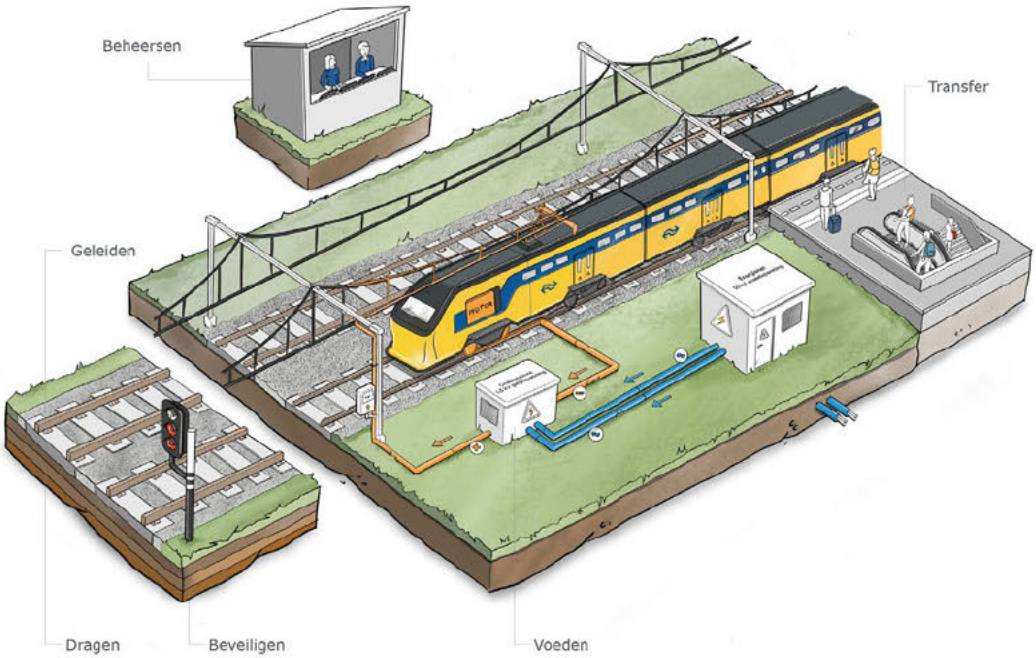
De tractie energievoorziening is één van de onderdelen van het totale spoorsysteem (zie figuur 1). De keuze voor het toekomstige tractie energievoorzieningssysteem kan niet los gezien worden van andere productstappen en investeringen. Ook toekomstige dienstregelingen, materieelkeuzes en andere spoorse componenten zoals de spoorbeveiliging (ERTMS), de inzet van automatisch bestuurde treinen (ATO) en baanstabiliteit zijn bepalend voor de toekomstige capaciteit. Daar waar mogelijk zijn in deze studie de raakvlakken met TEV in beeld gebracht of verder onderzocht. Een definitieve keuze en besluit over het toekomstige TEV-systeem zal onderdeel moeten zijn van een integrale afweging.

---

[2] Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV, ministerie van IenW (januari 2021)

[3] Dit onderzoek is een vervolg op twee eerdere onderzoeken naar de wenselijkheid van een eventuele overschakeling op 3kV uit 2015 en 2018

Functiedragers



Figuur 1: *functiedragers infrasysteem*

1.4. Organisatie van het onderzoek

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft ProRail opdracht gegeven onderzoek te doen naar de Systeemkeuze Tractie-Energievoorziening (STEV). In september 2020 is het onderzoek STEV van start gegaan.

Het onderzoek STEV is uitgevoerd in samenwerking tussen het ministerie van IenW, ProRail en NS, waarbij het ministerie van IenW opdrachtgever is en de opdrachtnemersrol belegd is bij ProRail. Er is een stuurgroep ingericht, bestaande uit de vertegenwoordigers namens de drie samenwerkende partijen. De stuurgroep had als taak om toezicht te houden op het bereiken van de gezamenlijke doelstellingen van het onderzoek.

De directe stakeholders, de (regio)vervoerders, goederenvervoerders en vervoerende aannemers zijn gedurende het onderzoek meegenomen en geraadpleegd. Met goederenvervoerders, vervoerende aannemers en regiovervoerders hebben diverse sessies plaatsgevonden. Partijen zoals de decentrale overheden en Rover zijn via informatieve sessies meegenomen binnen de stappen van het onderzoek. Ook partijen uit de wetenschap zijn geraadpleegd zoals het Kennisinstituut voor Mobiliteit, Universiteit Twente en de TU Delft.

1.5. Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de werking van TEV, de (Europese) context waarbinnen het TEV-vraagstuk moet worden beschouwd en de urgentie voor een heroverweging van het huidige systeem.

Hoofdstuk 3 gaat nader in op de knelpunten van het huidige 1,5kV systeem en de mogelijke oplossingsrichtingen voor verdere uitbreiding en doorontwikkeling hiervan.

Hoofdstuk 4 geeft inzicht in de mogelijke (systeem)alternatieven voor 1,5kV: 3kV, 15kV en 25kV. Daarbij wordt ingegaan op de te verwachten baten, kosten en risico's van deze alternatieven, resulterend in het meest kansrijke alternatief voor de toekomst van het Nederlandse spoorsysteem.

Hoofdstuk 5 gaat in meer detail in op het meest kansrijke systeemalternatief, namelijk migratie naar 3kV. De kosten, baten en risico's van een eventuele migratie zijn hier uiteengezet, evenals de resultaten van de uitgevoerde maatschappelijke kosten-batenanalyse die is uitgevoerd voor 3kV.

In hoofdstuk 6 zijn ten slotte de belangrijkste conclusies uit dit onderzoek samengevat.

2. Context en urgentie voor heroverweging TEV

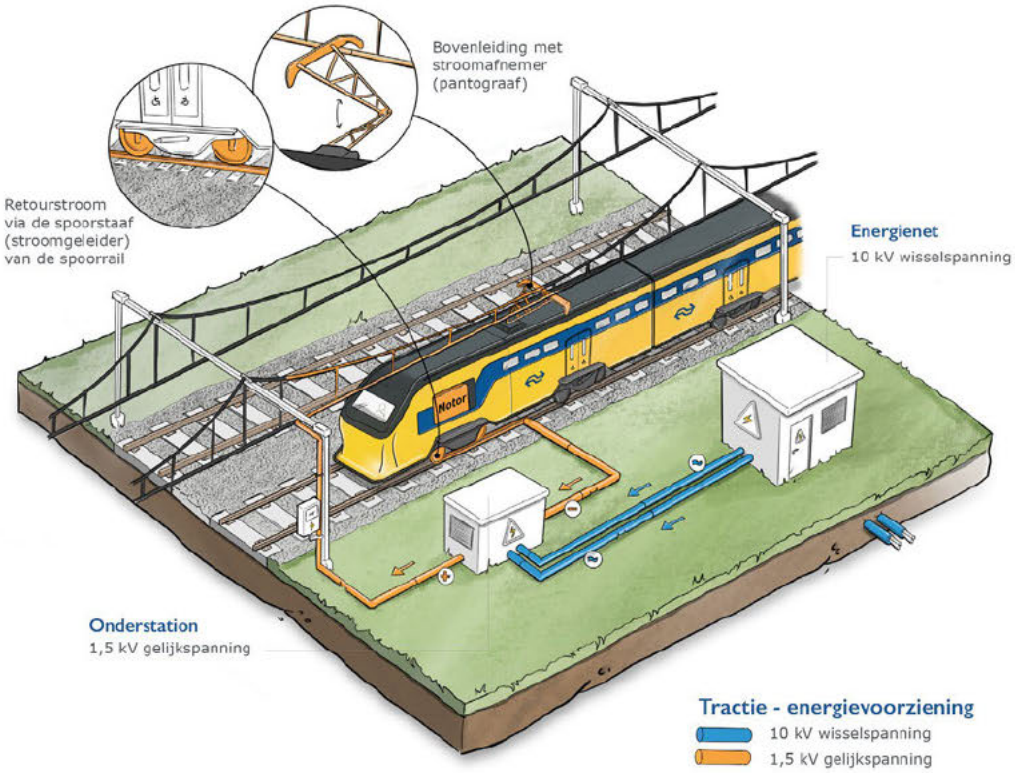
Dit hoofdstuk beschrijft de werking van tractie energievoorziening (TEV). Vervolgens wordt ingegaan op de achtergrond van de keuze voor het huidige 1,5kV systeem in Nederland en hoe deze keuze zich verhoudt tot de TEV-systemen in andere landen in Europa en de regelgeving en ambities die vanuit Europa worden meegegeven. Tot slot wordt nader ingegaan op de aanleiding en urgentie die er is voor een heroverweging van het huidige TEV-systeem en de complexiteit die met dit vraagstuk gepaard gaat.

2.1. Tractie energievoorziening

Het tractie-energievoorzieningsnet zorgt voor de energievoorziening van elektrische treinen. Via het openbare elektriciteitsnetwerk van de regionale netbeheerders worden de onderstations langs het spoor voorzien van stroom en omgezet naar 1,5kV gelijkstroom, het in Nederland gebruikte systeem voor de elektrische aandrijving van treinen. De stroom wordt via de bovenleiding en via de stroomafnemers (pantografen) doorgevoerd naar de trein. De terugvoer van stroom loopt vervolgens via de spoorrails weer retour naar de onderstations, waarbij een deel van de spanning verloren gaat.

Figuur 2 licht de stroomkring toe voor het spoornet vanuit het Nederlandse energienet. De oranje lijn geeft de gelijkspanning stroom aan en de blauwe lijn de wisselspanning.

Vanaf eind vorige eeuw wordt al onderzoek gedaan naar de energievoorziening op het spoor. Totdat een keuze gemaakt wordt, is de afspraak dat er minimaal geïnvesteerd wordt in de huidige tractie energievoorziening. Consequentie hiervan is dat investeringen in de tractie energievoorziening de gewenste vervoersomvang (lees dienstregeling) nét voor blijven. Met de huidige ontwikkelingen en de groei op het spoor lopen we mogelijk tegen de grenzen van het systeem aan. De behoefte aan energiecapaciteit neemt de komende jaren verder toe om meer en langere treinen te kunnen laten rijden en sneller op te trekken.



Figuur 2: *werking Tractie-energie voorziening*

Tot op heden wordt extra energiecapaciteit gerealiseerd door het bijbouwen en/of verzwaren van onderstations. De afgelopen jaren zijn meer dan tientallen nieuwe onderstations bijgebouwd en bij meer dan honderd onderstations verzwaringen aangebracht om nieuwe vervoersomvangen te accommoderen. De realisatie hiervan is en wordt uitgevoerd middels programma's als TEV2006 en PHS. Met een groeiende vervoersvraag blijven uitbreidingen van het systeem noodzakelijk.

Met de sterke groei van personen- en goederenvervoer die ons te wachten staat, is de vraag of het incrementeel uitbreiden en doorontwikkelen van het huidige 1,5kV systeem nog steeds de meest effectieve en kosten-efficiënte oplossing is of dat een systeem met een hogere bovenleidingsspanning betere prestaties levert. Om potentiële desinvesteringen te voorkomen, is een systeemkeuze op korte termijn dan ook noodzakelijk. Deze keuze is ook één van de systeemkeuzes uit de menukaart Robuuste basis van de Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040. Door nu niet te kiezen en/of deze keuze vooruit te schuiven, neemt het risico op desinvesteringen toe.

2.2. Achtergrond en Europese context huidige TEV

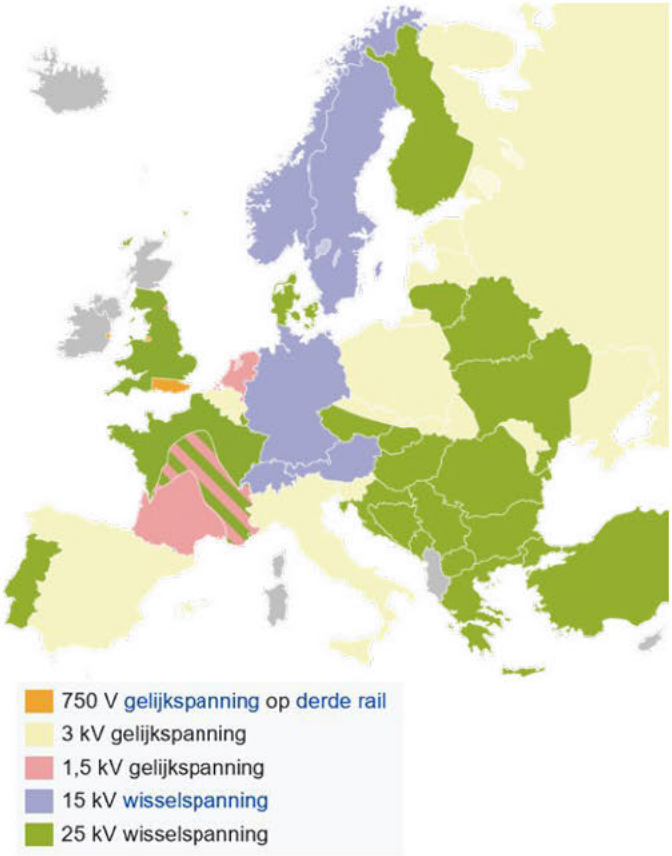
Nederland is vanaf de jaren twintig van de vorige eeuw begonnen met de grootschalige elektrificatie van het spoornetwerk. Aanleiding hiervoor waren capaciteitsproblemen op een aantal drukke trajecten. Door over te gaan op elektrificatie, kon capaciteit op het spoor worden toegevoegd. Daarbij is gekozen voor het systeem met 1,5kV gelijkspanning, wat tot op heden nog steeds de standaard is. Nederland hanteert samen met delen van Frankrijk en Engeland, een 1,5kV systeem op het hoofdspoor.

Een eeuw later, lopen we in Nederland opnieuw tegen systeemgrenzen aan. En rijst de vraag of 1,5kV voldoende toekomstbestendig is om de groeiende vervoersvraag te faciliteren.

De Europese Technische standaarden (TSI) schrijven voor dat het TEV-systeem moet behoren tot een van de volgende vier systemen:

- 25 kV wisselstroom, 50 Hz;
- 15 kV wisselstroom, 16,7 Hz;
- 3 kV gelijkstroom;
- 1,5 kV gelijkstroom.

Elk van de vier systemen is toegestaan en vanuit Europa is er geen verplichting of ambitie (meer) om over te gaan op één uniform systeem. Het brede scala aan bestaande TEV-systemen in combinatie met de hoge migratiekosten naar met name 25kV, maken dat de overstap op één uniform systeem voor Europa economisch niet zinvol is. Alleen voor hogesnelheidslijnen met een toegestane snelheid van 250km/uur of meer zijn vanwege de hoge energievraag van treinen uitsluitend wisselstroom-systemen toegestaan. In Nederland wordt 25kV gevoerd op de Betuweroute en de HSL-Zuid.



Figuur 3: *TEV-systemen in Europa*

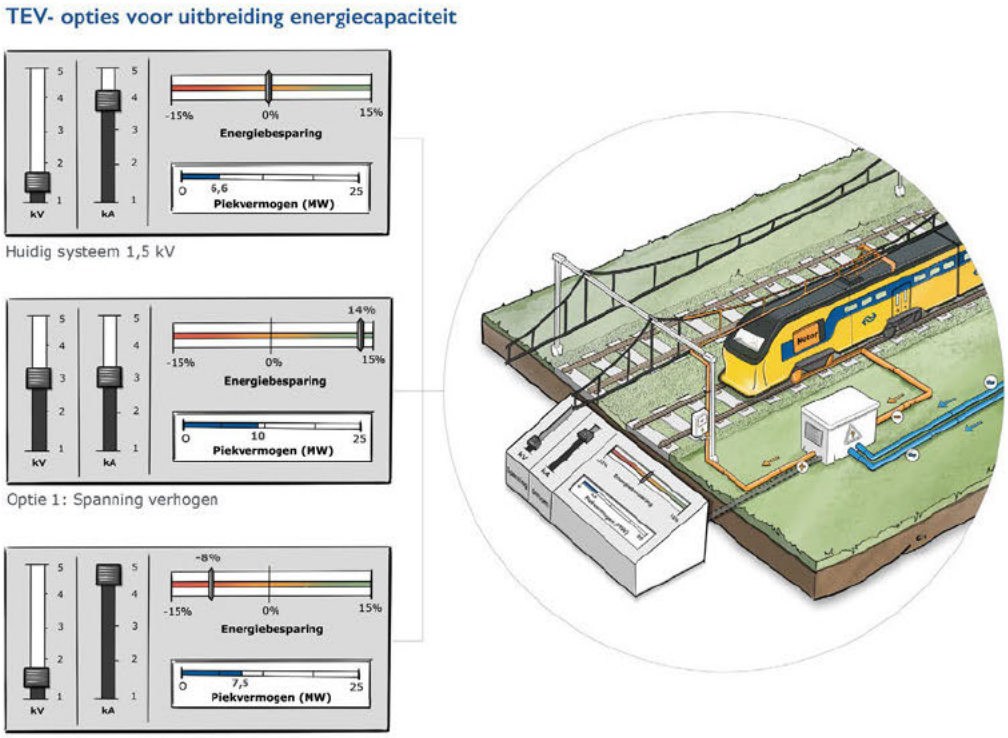
In de ons omringende landen zijn alle systemen in gebruik: 3kV in België, 15kV in Duitsland en 25kV in Engeland, Noord-Frankrijk en Denemarken. Internationaal treinverkeer (reizigers en goederen) krijgt dan ook, ongeacht de systeemkeuze in Nederland, in veel gevallen te maken met meerdere TEV-systemen. De bestaande diversiteit van systemen in combinatie met het ontbreken van dwingende Europese harmonisering, maakt interoperabiliteit van systemen op zichzelf dan ook geen overtuigende argumentatie voor migratie naar een ander systeem. Bovendien is interoperabiliteit ook niet noodzakelijk omdat met name internationale treinen op meer dan één tractiesysteem ingezet kunnen worden (hoewel dit vaak wel meerkosten met zich meebrengt).

Het is aan elke lidstaat zelf om een besluit te nemen over het te gebruiken TEV-systeem, passend bij de eigen nationale situatie. In Nederland zijn de groei op het spoor en klimaatdoelstellingen nu aanleidingen om opnieuw onderzoek te doen naar de beste systeemkeuze. De vraag daarbij is in hoeverre het huidige 1,5kV TEV-systeem voldoende kan worden uitgebreid en doorontwikkeld om de groeiende vervoersvraag betrouwbaar, robuust, duurzaam en efficiënt aan te kunnen blijven bieden, of dat er haalbare alternatieven voorhanden zijn met een beter resultaat (met meeweging van de investeringen die daarbij horen).

2.3. TEV-opties voor uitbreiding vervoerscapaciteit

Bij een verdere groei van de treinintensiteit loopt het spoorsysteem op een aantal plekken tegen haar vermogensgrenzen aan en zijn investeringen nodig om voldoende vermogen en energie te kunnen blijven leveren.

Het huidige systeem levert bij een spanning van 1,5 kV in combinatie met een stroomwaarde van 4 kA een piekvermogen van 6 MW. Vanuit de mobiliteitsbehoefte zou een hoger piekvermogen wenselijk zijn, waarbij voorlopig is uitgegaan van circa 10-12 MW. Om het piekvermogen te verhogen zijn er in principe twee opties mogelijk:



Figuur 4: *TEV-opties voor uitbreiding energiecapaciteit*

- Optie 1: spanning verhogen

Met deze optie wordt de spanning van 1,5kV verhoogd. Dit vereist migratie naar een TEV-systeem met een hoger vermogen, waarbij 3kV het eerstvolgende spanningsniveau is. Met een hoger vermogen kunnen treinen sneller optrekken en heeft een trein minder tijd nodig om van station A naar station B te komen (kortere reistijd). Bovendien zorgt het sneller optrekken ervoor dat er eerder ruimte is voor vertrek van de volgende trein en er per uur mogelijk meer treinen kunnen rijden (hogere frequentie). Hierdoor kan de huidige infrastructuur beter benut worden. Daarnaast is er met een hogere bovenleidingspanning meer energiecapaciteit in de onderstations aanwezig om meer of langere treinen te laten rijden. Het bij- of ombouwen van onderstations en schakelstations zal bij vervoersgroei minder snel noodzakelijk zijn.

Om een piekvermogen van 10MW te kunnen realiseren, is bij een spanningsniveau van 3kV een stroom nodig van 3,3kA. Dit betekent dat in dit geval de stroom verlaagd kan worden, wat ervoor zorgt dat het systeem energie efficiënter wordt.

- Optie 2: stroom verhogen

Met deze optie wordt de huidige stroomwaarde verhoogd van 4kA naar 5 kA. Hogere stromen dan 5 kA zullen onevenredige verzwaringen van de elektrische componenten noodzakelijk maken die bovendien niet marktconform zijn. Met stroomverhoging naar 5kA kan maximaal een piekvermogen van 7,5 MW worden gerealiseerd, terwijl 10-12 MW wenselijk is. Daarnaast leidt het verhogen van de stroom tot een vermindering van de energie-efficiency. Het huidige systeem, met een stroom van 4 kA, heeft al relatief hoge energieverliezen van circa 10-12 %. Deze zullen meer dan lineair toenemen bij het verhogen van de stroom.

2.4. Complexiteit in tijd en plaats

De oplossing voor het TEV-vraagstuk voor de langere termijn is niet eenduidig, en ook afhankelijk van plaats en tijd. Dat wil zeggen dat er per locatie en tijdvak gekeken moet worden naar het faciliteren van verdere groei op het spoor, óf het accepteren van minder treinen dan nodig zijn om aan de vervoersvraag te voldoen. Daarbij is het cruciaal dat een landelijke transitie naar een ander spanningsniveau 15-20 jaar zal duren, na een realisatiebesluit inclusief financiering. Hoe later het besluit valt, hoe later de transitie start en hoe groter de kans op aanvullende knelpunten onder 1,5kV. Bij het oplossen van de nieuwe knelpunten onder 1,5 kV is het van belang te weten of op termijn voor een ander spanningsniveau wordt gekozen. Bij de nog noodzakelijke maatregelen onder 1,5 kV kan efficiënt rekening worden gehouden met een toekomstige migratie, waarmee desinvesteringen zo veel mogelijk worden vermeden.

Om de spoorcapaciteit daadwerkelijk te kunnen vergroten zijn ook maatregelen in andere technische domeinen noodzakelijk. Denk aan treinbeveiliging, baanstabiliteit en het saneren van een deel van de overwegen. Het is aan te bevelen het vergroten van de spoorcapaciteit integraal te beschouwen. In zo'n integrale benadering zou je vanuit een gewenst eindbeeld terug moeten redeneren welke investeringen in welke technische domeinen daarvoor het meest effectief en efficiënt zijn.

3. Mogelijkheden en consequenties handhaven 1,5kV

Dit hoofdstuk gaat nader in op knelpunten van het huidige 1,5kV systeem en de mogelijke oplossingsrichtingen voor verdere uitbreiding en doorontwikkeling. Vervolgens is in beeld gebracht hoeveel extra capaciteit daarmee nog gegeneerd kan worden en wanneer de grenzen van het huidige systeem worden bereikt. Tevens is gekeken of en met welke ontwikkelingen en innovaties deze grenzen mogelijk nog verder opgerekt kunnen worden. De laatste paragraaf geeft een inschatting van de kosten, wanneer we kiezen voor het blijven uitbreiden en doorontwikkelen van 1,5kV.

3.1. Knelpunten bij handhaven huidig systeem

Het 1,5kV tractiesysteem heeft tot nu toe goed voldaan en is meegegroeid met de vervoersbehoefte. Ooit was sprake van een filosofie van circa 20 km afstand tussen de onderstations met steeds 2 schakelstations hiertussen op 6 à 7 km afstand. In de laatste tientallen jaren zijn vele schakelstations al vervangen door onderstations. En in de onderstations zijn transformatoren vervangen door zwaardere types of er zijn extra transformatoren bijgeplaatst. Verder is de bovenleiding zoveel mogelijk verzwaard. Inmiddels zijn er veel onderstations (om de 3 tot 15 kilometer) en een verzwaarde bovenleidingdraad nodig om de huidige dienstregeling te kunnen faciliteren.

Bij het rijden van een nieuwe dienstregeling kunnen nieuwe knelpunten ontstaan. De aard van de knelpunten verschilt en dat geldt in mindere mate ook voor de benodigde oplossingen. De meest voorkomende knelpunten zijn in onderstaand kader toegelicht.

Knelpunten en oplossingsrichtingen

- Onderstations kunnen thermisch overbelast raken. Dit kan worden opgelost door het verzwaren van een onderstation (als dat al niet gebeurd is) of het bijbouwen van een nieuw onderstation inclusief een aansluiting met de netbeheerder. Soms kan dat op de locatie van een bestaand schakelstation.
- De bovenleiding kan thermisch overbelast raken. Dit kan in theorie worden opgelost door de draden van de bovenleiding te verzwaren. Op veel locaties (>80%) is dit echter al eerder gebeurd. Verdere verzwaring is dan niet mogelijk zonder ook de draagportalen te vervangen door een zwaardere uitvoering, hetgeen een zeer hoge investering vergt. Een alternatief om de situatie te verbeteren is onderstations bij te plaatsen, inclusief een aansluiting bij de netbeheerder.
- Onderdelen in de retourleiding kunnen overbelast raken. Ook dit kan worden opgelost door het verzwaren van een onderstation (als dat al niet gebeurd is) of het bijbouwen van een nieuw onderstation inclusief een aansluiting met de netbeheerder.
- Een knelpunt van andere aard betreft de elektrische veiligheid in verband met aanraakspanning in het retour systeem via de spoorstaven. Dit uit zich met name bij overwegen en perrons. Ook in dit geval zal het plaatsen van een onderstation de situatie verbeteren.
- Indien het systeem zwaarder wordt belast zal de daadwerkelijk aangeboden spanning aan de trein afnemen. Wanneer de spanning te veel daalt wordt het vermogen beperkt en zal het systeem uiteindelijk afschakelen. Ook dit kan worden opgelost door onderstations bij te plaatsen inclusief een aansluiting bij de netbeheerder.

In 2021/2022 is een landelijke netanalyse uitgevoerd naar de energiecapaciteit, uitgaande van het huidige 1,5kV systeem en de zogenoemde 8/4 dienstregeling (zijnde 8 intercity's en 4 sprinters)[4]. Hierin is onderzocht welke knelpunten in de energiecapaciteit tot 2030 worden verwacht (zie figuur 5).

Bij het vaststellen van de knelpunten zijn de volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Gewenste productstappen, uitgaande van de 8/4 dienstregeling (+1 goederentrein).
- Gebaseerd op 40-50% van de resultaten van de landelijke netanalyse.
- Conform huidig beleid; redundant (N-1) bouwen en oplossen van de spanningshuishoudingsproblemen (aanraakspanning en lage bovenleidingspanning).
- Bestaande technisch vrijgegeven mogelijkheden inzetten om het systeem uit te breiden en te verzwaren.

De voorlopige resultaten uit de Landelijke Netanalyse (LNA) 2030 wijzen uit dat op circa 140 locaties knelpunten ontstaan. Hierbij is rekening gehouden dat de geidentificeerde knelpunten volgend uit het lopende programma PHS zijn opgelost[5].

---

4 De 8/4 dienstregeling is op zijn vroegst in 2035 voorzien, maar is nog niet officieel besloten

5 Tractie energievoorziening PHS nieuwe baseline maatregelen

Knelpunten in het Nederlandse Spoor

Figuur 5: *Knelpunten in het Nederlandse spoor.*

NB: De landelijke netanalyse 2030 wijst uit dat in heel Nederland knelpunten ontstaan, deze plaat is indicatief

Om de vervoersomvang passend bij de LNA2030 te accommoderen is het noodzakelijk om circa 30 nieuwe onderstations te bouwen, allen met een nieuwe aansluiting met een openbare netbeheerder en ruim 100 onderstations te verzwaren/uit te breiden. Een aantal nieuwe onderstations kan gebouwd worden op de locatie van een huidig schakelstation. Verder dient op een aantal locaties de bovenleiding te worden verzwaard. Daarnaast blijkt dat, bij een hogere energievraag van het tractie energievoorziening systeem, het functioneren van de klassieke treindetectie niet toereikend is op enkele baanvakken.

Op basis van de voorlopige resultaten, gebaseerd op 40-50% van de landelijke netanalyse, zijn maatregelen geraamd op €420 en €530 miljoen (prijspeil 2021). Een update van de genoemde raming is nog niet beschikbaar. Bovengenoemde kosten zijn exclusief maatregelen benodigd voor de treindetectie, welke pas bepaald kunnen worden na een planstudie.

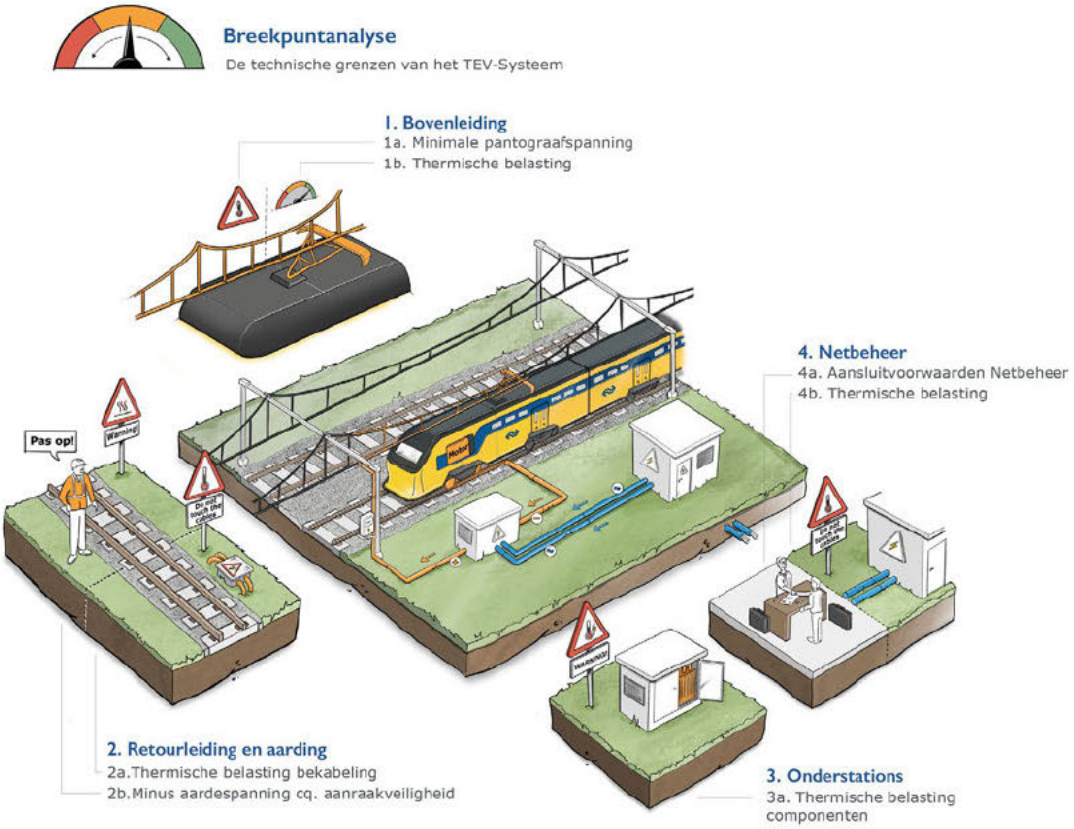
3.2. Grenzen van het huidige systeem

3.2.1. Onderzoek systeemgrens op basis van reguliere technologie

Zoals in de vorige paragraaf is aangegeven zijn de belangrijkste maatregelen om de capaciteit van het 1,5kV systeem te vergroten: het bijplaatsen van onderstations, het verzwaren van bestaande onderstations of bestaande schakelstations ombouwen naar onderstations. Het ligt voor de hand dat op een gegeven moment de afstand tussen onderstations onderling zodanig klein is dat het nogmaals bijplaatsen van een onderstation ruimtelijk niet meer mogelijk/wenselijk is, disproportionele investeringen vergt en/of geen oplossing meer biedt.

De vraag is wanneer met het verder uitbreiden van het 1,5kV systeem bepaalde fundamentele grenzen worden bereikt, die een systeemsprong of ingrijpende systeemwijziging noodzakelijk maken voor het faciliteren van een nog zwaardere vervoersvraag. Daarvoor is middels een zogenaamde breekpuntanalyse onderzocht wat de technische grenzen zijn van het huidige 1,5kV systeem, zoals de thermische belastbaarheid, maximale en minimale spanning, maximale stroom en hoeverre deze nog kunnen worden "opgerekt" middels conventionele uitbreidingsmaatregelen en/of andere doorontwikkelingen.

Figuur 6 laat zien welke parameters/technische grenzen van het TEV-systeem zijn getoetst in de breekpuntanalyse: bovenleiding, retourleiding en aarding, onderstation en netbeheer.



Figuur 6: *parameters/technische grenzen van het TEV-systeem*

De technische systeemgrenzen zijn vertaald in termen van mobiliteit. Daarvoor is onderzocht in hoeverre een verdere verzwaring/uitbreiding van de dienstregeling mogelijk is, met name door middel van nieuwe onderstations waarmee een groei in vervoersvraag ondersteund kan worden. Op deze manier is vastgesteld welke treinfrequentie maximaal realiseerbaar is op het huidige spoor met het 1,5kV systeem. Dit is vervolgens (door)vertaald in het maximaal realiseerbare dienstregelingsmodel.

3.2.2. Toelichting huidige knelpunten bij onderstations

De afstanden tussen de onderstations varieert tussen circa 3km en 15km. De Landelijk Netanalyse laat zien wat betreft de knelpunten onderscheid kan worden gemaakt tussen delen met onderstations op afstanden van 3-5 km en delen met onderstations op afstanden groter dan 5 km. Tabel 1 geeft een samenvatting van de belangrijkste type knelpunten.

AARD VAN DE KNELPUNTEN	
Onderstationsafstand 3 - 5 km	**Onderstationsafstand > ca 5 km**
Incidenteel OS overbelast (bv. bij Schiphol)	Relatief veel OS overbelast
Spoorstaafaarde spanning te hoog (onveilig) op relatief veel locaties[6]	Spoorstaafaarde spanning te hoog (onveilig) op relatief veel locaties
Temperatuur in de bovenleiding incidenteel een probleem (bovenleiding verzwaring niet mogelijk)	Temperatuur in de bovenleiding op relatief veel locaties een probleem (bovenleiding verzwaring meestal wel mogelijk)
Restcapaciteit in onderstations en bovenleiding op significant aantal plaatsen gering	Te veel beïnvloeding van klassieke treindetectie systemen
Oplossingen: • OS bijplaatsen is nodig t.b.v. de temperatuur van de bovenleiding en spoorstaafaardespanning, maar is bij afstanden tot 3 km niet meer effectief. • Congestie bij netbeheerder en ruimtelijke ordening (schaarste) geeft realisatie problemen	Oplossingen: • met name OS bijplaatsen • bovenleiding verzwaren • treindetectiesysteem lokaal aanpassen en verstevigen *Note: Deze gebieden komen na bijplaatsen OS in de categorie 3-5 km onderstationsafstand*

Tabel 1: huidige knelpunten en mogelijke oplossingen

3.2.3. Maximaal realiseerbare dienstregelingsmodel met 1,5kV

In de breekpuntanalyse is onderzocht hoeveel onderstations nog effectief kunnen worden bijgeplaatst om de energie capaciteit te vergroten. Vastgesteld is dat waar de onderstationsafstand 3-5 km is er nog 1 onderstation bijgeplaatst kan worden, bij voorkeur in de directe omgeving van een halteringsplaats.

In deze situatie wordt de temperatuur van de bovenleiding de bepalende factor van de energiecapaciteit van het 1,5kV-systeem. Het verder verzwaren van de bovenleiding is mechanisch niet meer mogelijk zonder het hele bovenleidingssysteem inclusief de portalen te vervangen door een nieuw en mechanisch sterker systeem. Dit zou leiden tot een geheel andere orde van investering.

Uit de breekpuntanalyse blijkt dat in de huidige situatie bij onderstationafstanden van 3-5 km over het algemeen de dienstregeling 8/4 (+1 goederentrein) kan worden gefaciliteerd. Er is dan nog enige restcapaciteit, wat betekent dat de temperatuur van de bovenleiding bij de dienstregeling 8/4 (+1 goederen) nog niet helemaal de maximale waarde bereikt.

Met het bijplaatsen van nog één extra onderstation wordt de situatie bereikt die de energiecapaciteitsgrens van het 1,5kV systeem bepaalt. Er kan in die eindsituatie een (theoretische) dienstregeling van 10/5 (+1 goederentrein) worden gefaciliteerd.

[6] Spoorstaafaarde probleem afhankelijk van treintypes die hogere stromen vragen en nauwelijks afhankelijk van de dienstregeling

3.2.4. Overige beperkingen 1,5kV-systeem

Het uitbreiden en verzwaren van het 1,5kV systeem met reguliere maatregelen levert geen extra piekvermogen en biedt daardoor nauwelijks mogelijkheden voor het behalen van aanzetwinsten (sneller optrekken). Ook is er slechts een marginale energiebesparing mogelijk.

Bovendien zijn er in toenemende mate knelpunten te verwachten met beschikbare locaties voor nieuwe onderstations. In grote delen van het land wordt de fysieke ruimte voor het bijbouwen van onderstations schaars. Daarnaast zal het (tijdig) verkrijgen van nieuwe netaansluitingen op korte termijn problematisch kunnen worden als gevolg van de congestie problematiek bij de netbeheerders die is ontstaan bij de energie transitie die in volle gang is en naar verwachting meerdere decennia zal duren. Hierdoor zal de kans toenemen dat voor vereiste nieuwe onderstations niet of niet tijdig de vereiste fysieke ruimte en netaansluiting beschikbaar zijn.

3.3. Systeemgrens 1,5 kV middels technologische ontwikkelingen/ innovaties

Deze paragraaf bevat een verkenning naar een aantal technologische ontwikkelingen die naast de reguliere maatregelen de grens van het huidige 1,5 kV systeem mogelijk kunnen verruimen. In onderstaande tabel is samengevat welke ontwikkelingen daarbij in ogenschouw zijn genomen.

CATEGORIE DOORONTWIKKELING	TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN
1. Verhoging van de capaciteit bij onveranderde piekvermogens aan de pantograaf (6MW) t.b.v. verhoging treinfrequentie.	• Zon en/of wind inpassen via schakelstations of onderstations al of niet met opslagsystemen, maar zonder aansluiting aan het openbare net • Generiek toepassen van batterij tractie stations (peakshaving en power quality verbetering) • Energiebesparende maatregelen TEV, m.n. door parallel schakelen bovenleiding • *Reguliere maatregel: Onderstations bijplaatsen of verzwaren, schakelstations naar onderstations*
2. Verhoging van het piekvermogen door stroomsterkte te verhogen bij de pantograaf (tot max 7,5 MW) t.b.v. aanzetwinsten	• Maximale stroomwaarde van 4 kA naar 5 kA (inclusief verzwaren van onderstations, bovenleiding, retour en treinen)
3. Efficiënter gebruik maken op de trein van de huidige 6 MW bij de pantograaf t.b.v. aanzetwinsten of beperken piekbelasting	• Trein voorzien van batterijen, vliegwielen of supercondensator voor energieopslag. • Klimaatbeheersing uit bij aanzetten (in oude trein) • Energiemanagementsysteem via ATO en of ERTMS

Tabel 2: Mogelijke technologische ontwikkelingen en innovaties

ANALYSE TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN

Voor elke technologische ontwikkeling is op hoofdlijnen inzichtelijk gemaakt welke bijdrage zij levert aan de groei en duurzaamheidsambities op het spoor, waarbij onderscheid is gemaakt in drie aspecten:

1. Toename aanzet- en piekvermogen: met een hoger aanzet- en piekvermogen (Megawatt) kunnen treinen sneller optrekken. Hiermee kan de capaciteit van het spoor vergroot worden.
2. Toename energiecapaciteit: vergroting van de energetische capaciteit van het systeem maken een hogere treinintensiteit mogelijk.
3. Verbetering energie-efficiëntie: een verbetering van de energie-efficiëntie leidt tot minder energieverlies en levert daarmee energiewinst op bij een gelijkblijvende elektriciteitsvraag.

Daarnaast is in de analyses gekeken naar een aantal aspecten dat eventuele technologische ontwikkelingen kan belemmeren. In de analyse is specifiek gekeken naar 3 mogelijke risico's:

1. Risico's op overschrijding elektrische veiligheidseisen
2. Risico's op belemmeringen vanuit ruimtelijke ordening (schaarste ruimte)
3. Risico's op belemmeringen vanuit onvoldoende netcapaciteit

De beoordeling van de verschillende technologische ontwikkelingen op bovengenoemde aspecten (ambities én belemmeringen) is opgenomen in bijlage 1.

RESULTATEN

Vastgesteld is dat geen van de ontwikkelingen in de infrastructuur bijdraagt aan zowel het verhogen van de energiecapaciteit als het verbeteren van de energie efficiëntie.

De inzet van batterijen (van grote capaciteit) in de infrastructuur kan op specifieke locaties bijdragen aan het beperken van de piekbelasting op de interface bij de netbeheerders. Maatregelen op treinen kunnen leiden tot beperkte aanzetwinsten en energie efficiëntie. Er zijn echter nog veel onzekerheden, waardoor deze ontwikkelingen vooralsnog minder kansrijk of realistisch lijken als oplossing voor de beoogde energiecapaciteits- en duurzaamheidsopgaven. Er is bijvoorbeeld niet onderzocht welke consequenties het plaatsen van bijvoorbeeld batterijen in de trein heeft op aslasten.

Het versterken van de stroomsterkte van 4kA naar 5kA biedt wel een mogelijkheid om het piekvermogen te vergroten[7]. Nadeel van het verhogen van de maximale stroomwaarde zijn de hogere energieverliezen waardoor dit alternatief minder energie-efficiënt is dan het huidige TEV-systeem. Met als gevolg een ongunstige invloed op de temperatuur van de bovenleiding. De bijkomende verhoging van de aanraakspanning (elektrische veiligheid) vereist bovendien kostenintensieve maatregelen.

In paragraaf 3.2.3 is vastgesteld dat er bij een onderstationsafstand van 3-5 km nog één onderstation bijgeplaatst kan worden, bij voorkeur in de directe omgeving van een halteringsplaats. In die situatie zal de temperatuur van de bovenleiding de bepalende factor worden van de energiecapaciteit. Het verruimen van deze grens is alleen nog mogelijk indien maatregelen worden ingezet die ertoe leiden dat de temperatuur in

[7] Deze ontwikkeling is ook opgenomen als alternatief in de Multi Criteria Analyse , zoals behandeld in paragraaf 4.2.

de bovenleiding minder hoog wordt. De enige ontwikkelingen die hier in principe aan kunnen bijdragen zijn maatregelen op de trein zoals het toepassen van batterijen of het inzetten van energiemanagement via ATO of ERTMS. Hierbij zijn naast de eerdergenoemde onzekerheden een paar kanttekeningen van belang:

- Het is onzeker of batterijen altijd geladen zijn wanneer inzet vereist is.
- Energiemanagement via ATO of ERTMS zal rijprestaties van individuele treinen in bepaalde mate negatief beïnvloeden. Het is nog onzeker welke invloed dat heeft op een dienstregeling.

Geen van de doorontwikkelingen kan op zichzelf dezelfde technische functionaliteit als een 3kV-systeem bieden. Nader onderzoek wordt aanbevolen om inzichtelijk te maken wat het combineren van verschillende doorontwikkelingen aan functionaliteit kan bieden, bijvoorbeeld het combineren van energiemanagement via ATO/ERMTS, batterijen in onderstations en/of op de trein en andere ontwikkelingen.

3.4. Kosten voor handhaving, uitbreiding en doorontwikkeling 1,5kV

Het huidige 1,5kV-systeem zal in stand gehouden moeten worden. Als gevolg van einde levensduur is vervanging van componenten noodzakelijk (zogenaamde functiehandhaving). Bij een groeiende vervoersvraag zijn investeringen in het huidige 1,5kV-systeem noodzakelijk (zogenaamde functiewijziging). In deze paragraaf zijn deze kosten weergegeven en is tevens een eerste inschatting gemaakt welke kosten er bij het doorontwikkelen van het 1,5 kV-systeem zijn.

KOSTEN VOOR FUNCTIEHANDHAVING

Een goede instandhouding (functiehandhaving) van het huidige systeem is van essentieel belang voor een betrouwbare dienstregeling en dus een kwalitatief hoogwaardig OV-product. De verwachte kosten voor functiehandhaving zijn vastgelegd in de Lange Termijn reeks TEV-1500V[8] en vastgesteld voor de periode t/m 2040. De LT-reeks omvat alle kosten die verwacht worden voor het vervangen van TEV-componenten op basis van vervangingsjaren, kostenkengetallen en beleid. De investeringskosten tot en met 2040 zijn ingeschat op €352 miljoen.

KOSTEN VOOR UITBREIDING

Het laten rijden van meer of langere treinen vereist meer energiecapaciteit. Om voldoende vermogen te blijven leveren met het huidige 1,5kV-systeem, zijn aanpassingen en investeringen nodig door het bij- of ombouwen van onderstations en schakelstations.

Op basis van de Landelijke Netanalyse is door ProRail in beeld gebracht welke knelpunten in het 1,5kV netwerk ontstaan ten gevolge van de vervoersgroei richting 2040 en is een inschatting gemaakt van de benodigde maatregelen en kosten. Het totale investeringsbedrag vanuit functiewijziging is in de Landelijke Netanalyse geraamd op €420 en €530 miljoen (prijspeil 2021) om een 8/4 dienstregeling mogelijk te maken. Deze inschatting is aanvullend op het programma PHS[9].

---

8 Deze worden jaarlijks opgesteld door ProRail (Assetmanagement) en ongeveer elke 3 jaar geaudit door het ministerie van IenW

9 Tractie energievoorziening PHS nieuwe baseline maatregelen

Voor een verdere uitbreiding naar een 10/5 dienstregeling zijn extra investeringen benodigd. Investeringen die, naar verwachting, een gelijke omvang kennen voor de 8/4 dienstregeling. Deze investeringen zullen echter minder effectief en daarmee minder efficiënt zijn

SYNERGIE FUNCTIEHANDHAVING EN UITBREIDING

De kosten voor functiehandhaving en uitbreiding zijn separaat begroot, gezamenlijk circa €827 miljoen. Het is gebruikelijk om hierbij synergie na te streven. Dit kan door op het juiste moment te investeren, wanneer er sprake is van zowel functiehandhaving als uitbreiding in hetzelfde onderstation. Aanvullende synergiën in het licht van een mogelijke transitie naar een hogere bovenleidingsspanning, zijn te behalen door toekomstgerichte componenten in te zetten en/of middels levensduurverlenging en combinaties hiervan.

KOSTEN VOOR DOORONTWIKKELING

Voor de doorontwikkeling van het 1,5kV-systeem lijken de ombouw van 4kA naar 5kA in combinatie met de generieke inzet van energie-opslagsystemen de meest voor de hand liggende ontwikkelingen.

De kosten voor de ombouw van 4kA naar 5kA vraagt om nader onderzoek. Een eerste inschatting loopt uiteen van tientallen tot honderden miljoenen euro. Dit is nog exclusief de kosten voor de noodzakelijke aanpassing en uitbreiding van de onderstations. Daarnaast zullen de kosten voor de instandhouding en exploitatie stijgen vanwege een toename van het energie transportverlies en hogere beheer- en onderhoudskosten vanwege een zwaardere belasting en uitbreiding van de componenten van het spoor.

De kosten voor andere doorontwikkelingen van het 1,5kV-systeem moeten nader onderzocht worden. Deze kosten zijn naar verwachting van een lagere orde (minder dan €100mln) dan de kosten voor de uitbreiding van de onderstations en/of de ombouw naar 5kA.

4. Kansrijke opties voor een systeemwijziging

In het vorige hoofdstuk is in beeld gebracht wat de mogelijkheden en belemmeringen zijn voor een verdere uitbreiding en doorontwikkeling van het 1,5kV systeem. Dit hoofdstuk gaat in op de mogelijke (systeem)alternatieven voor 1,5kV. Vervolgens is op hoofdlijnen in beeld gebracht wat de te verwachten baten, kosten en risico's zijn van de verschillende alternatieven en welk alternatief het meest kansrijk lijkt voor de toekomst van het Nederland spoorsysteem. In de laatste paragraaf wordt stilgestaan bij een aantal systeemalternatieven waarbij geen bovenleiding nodig is, namelijk de inzet van batterij- of waterstoftreinen.

4.1. Toelichting systeemalternatieven

Conform de Europese Technische Standaarden zijn er meerdere systeemalternatieven voor tractie energievoorziening toegestaan. De onderzochte systeemalternatieven zijn in onderstaande tabel benoemd.

SYSTEEMALTERNATIEVEN		
0	Handhaven 1,5kV (0-alternatief)	Handhaven van de huidige keuze voor 1,5 kV TEV-infrastructuur (DC), inclusief reeds geplande investeringen
1	Uitbreiden en versterken huidige TEV-infrastructuur	Verhogen stroomsterkte van 4kA naar 5kA door aanpassing bestaande 1,5kV-infrastructuur
2	Omschakeling naar 3kV	Ombouwen van infrastructuur en materiaal naar 3kV (DC)
3	Omschakeling naar 15kV	Ombouwen van infrastructuur en materieel naar 15kV (AC)
4	Omschakeling naar 25kV	Ombouwen van infrastructuur en materieel naar 25kV (AC)

Tabel 3: Systeemalternatieven TEV

4.2. Kosten, baten en risico's systeemalternatieven

Met behulp van een multi criteria analyse (MCA) zijn de verschillende systeemalternatieven op hoofdlijnen beoordeeld en afgezet tegen het nul-alternatief: handhaven van het huidige 1,5kV. Dit is gedaan op basis van reeds beschikbare onderzoeken en expert judgement. Deze beoordeling heeft uitsluitend als doel om een beeld te krijgen van het meest kansrijke alternatief voor een hogere bovenleidingspanning.

De MCA is vroeg in het proces (januari 2021) opgesteld op basis van de toen beschikbare cijfers en expert judgement. Vervolgonderzoeken, waaronder de Landelijke Netanalyse (zie hoofdstuk 3) en de Maatschappelijke Kostenbaten Analyse (zie hoofdstuk 5) hebben meer nauwkeurige kostenramingen opgeleverd. Deze wijken af van de indicatieve kostenramingen die in onderstaande tabel zijn opgenomen. Doorontwikkelingen van 1,5kV zijn niet onderzocht in de MCA. Deze verschillen hebben echter geen consequenties voor de conclusies die op basis van de MCA zijn getrokken.

In de hiernavolgende tabel is de beoordeling van de alternatieven op hoofdlijnen weergegeven. Bijlage 2 bevat een nadere onderbouwing hiervan.

	1,5 KV 4 KA (HUIDIG)	1,5 KV 5KA	3 KV	15 KV	25 KV
Kosten					
Investeringskosten inclusief ombouwkosten	€250 mln aan TEV-infra onderstations Geen ombouwkosten treinen en TEV-infra.	Kosten infra: tientallen tot honderden mln. Ombouwkosten trein aanzienlijk lager dan bij 3 kV	Ca. 1300 miljoen ombouwkosten voor infra en materieel	Minimaal €6 miljard ombouwkosten voor infra, materieel en vervanging kunstwerken. Niet aan te sluiten op nationale elektriciteitsnetwerk	Minimaal €6 miljard Totale kosten lager dan 15kV vanwege HSL geschikte treinen
Kosten instandhouding infra	Gelijkblijvend	Hoger	Iets lager	Lager	Lager
Risico's en nadelen					
Hinder / transitie impact op operatie	Geen	Geen / minimaal	Beperkt	Groot	Groot

	1,5 KV 4 KA (HUIDIG)	1,5 KV 5KA	3 KV	15 KV	25 KV
Interface met Trein-beveiliging	Compatibel	Nader onderzoek nodig. ATB niet ontworpen voor 5kA. Optie is wachten op ERTMS	Nader onderzoek nodig	Niet compatibel met ATB, wel met ERTMS.	Niet compatibel met ATB, wel met ERTMS.
Interface met baan	Geen aanpassingen te verwachten	Geen aanpassingen te verwachten	Aanpassingen te verwachten a.g.v. overschrijding aslasten door bicourante treinen	Aanpassingen te verwachten a.g.v. overschrijding aslasten door bicourante treinen	Aanpassingen te verwachten a.g.v. overschrijding aslasten door bicourante treinen
Baten					
Energie efficiëntie en duurzaamheid	8-9% geschat energie transport-verlies Recuperatie potentie beperkt	>10% geschat energie transport-verlies. Recuperatie potentie is beperkt	4-5% geschat energie transport-verlies Door verbeterde recuperatie 13.5% minder energie-verbruik	4% geschat energie transport-verlies Recuperatie potentie vergelijkbaar met 3kV	4% geschat energie transport-verlies Recuperatie potentie vergelijkbaar met 3kV
Toekomst-vastheid energie	Blijvend maatwerk via bijbouwen van onderstations	Energie-efficiency verlaagt. Bijbouwen onderstations blijft nodig bij vervoersgroei	Meer energie capaciteit in onderstations aanwezig voor verdere vervoersgroei.	Lijkt zeer toekomstvast voor heavy rail. Voordelen bij 3 kV zijn hier nog sterker aanwezig.	Lijkt zeer toekomstvast voor heavy rail. Voordelen bij 3 kV zijn hier nog sterker aanwezig.
Rijtijdwinst en maximum-snelheid	Geen aanzet-winst. Maximum-snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra tot 180km/u, afhankelijk van samenstelling	Snellere aanzet van enkele seconden Maximum-snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra tot 200/u afhankelijk van samenstelling.	Aanzetwinst van ca. 20 seconden Maximum-snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra tot 200/u in elke samenstelling	Aanzetwinst van ca. 20 seconden Maximum-snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra tot 200/u in elke samenstelling	Aanzetwinst van ca. 20 seconden Maximum-snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra tot 200/u in elke samenstelling

	1,5 KV 4 KA (HUIDIG)	1,5 KV 5KA	3 KV	15 KV	25 KV
Inter-operabiliteit	Niet interoperabel met buurlanden	Niet interoperabel met buurlanden	Interoperabel met België	Interoperabel met Duitsland	Niet interoperabel met buurlanden, wel HSL en Betuweroute

Tabel 4: Beoordeling kosten, risico's/nadelen en baten systeemalternatieven TEV

HANDHAVEN HUIDIGE TEV-INFRASTRUCTUUR (0-ALTERNATIEF)

Het 0-alternatief gaat uit van het handhaven van de huidige TEV-infrastructuur, inclusief de reeds besloten investeringen die nodig zijn om het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) mogelijk te maken. En dus exclusief nog extra uitbreidingen van onder- en schakelstations en/of doorontwikkelingen.

Belangrijkste nadelen van de huidige TEV-infrastructuur zijn het relatief grote energieverlies (8-9%) en de beperking van de spoorcapaciteit. De groei op het spoor en de ambities op het gebied van duurzaamheid worden daarmee lastiger te realiseren. De beperking van de spoorcapaciteit leidt op korte termijn niet tot (grote) problemen. Met de reeds geplande investeringen (ca. €100 miljoen) is ook de vervoersomvang van PHS te realiseren. Voordeel is dat geen migratie met bijbehorende kosten, hinder en operationele impact noodzakelijk is.

In het vorige hoofdstuk is uitgewerkt wat de mogelijkheden en risico's zijn bij een verdere uitbreiding van het 1,5kV systeem en de consequenties daarvan voor de groeiprognoses uit het Toekomstbeeld OV 2040.

UITBREIDEN EN VERSTERKEN HUIDIGE TEV-INFRASTRUCTUUR (ALTERNATIEF 1)

Met dit alternatief wordt de huidige TEV-infrastructuur gehandhaafd en verder uitgebreid, en wordt tevens de stroomsterkte verhoogd van 4kA naar 5kA.

Het alternatief 1,5kV 5kA biedt extra vermogen (25%) waardoor treinen sneller kunnen optrekken (ordegrootte enkele seconden). Daarmee is er een beperkte capaciteitswinst te behalen, maar deze is (aanzienlijk) minder groot dan bij de migratie naar 3kV of hoger (aanzetwinst ordegrootte 10-20 seconden). Het extra vermogen leidt bovendien tot meer energie transportverlies en is daarmee minder energie-efficiënt dan het huidige TEV-systeem.

De kostenraming voor de ombouw naar 5kA vraagt om nader onderzoek, de schatting loopt uiteen van tientallen tot honderden miljoenen. Daarnaast zullen ook de kosten voor de instandhouding en exploitatie stijgen vanwege een toename van het energie transportverlies en hogere beheer- en onderhoudskosten als gevolg van een zwaardere belasting van de componenten van het spoor.

OMSCHAKELING NAAR 3KV, 15KV OF 25KV (ALTERNATIEVEN 2,3 EN 4)

Met meer vermogen op de bovenleiding (3kV, 15kV of 25kV) kunnen daarvoor geschikte treinen sneller optrekken, waardoor kortere reistijden en hogere frequenties mogelijk zijn dan met 1,5kV en meer speelruimte in de dienstregeling ontstaat. Daarnaast is een hogere bovenleidingspanning energie-efficiënter en daarmee duurzamer dan het 0-alternatief. De te verwachten capaciteitswinst en efficiëntievoordelen van 3kV, 15kV of 25kV zijn vergelijkbaar.

Voor de migratie naar een hogere bovenleidingspanning dienen zowel de infrastructuur als de treinen hiervoor geschikt gemaakt te worden. De energietoevoer moet aangepast worden door het vervangen van onderstations en schakelstations. En het materieel moet geschikt gemaakt worden om te kunnen rijden met een hogere spanning. In de MCA zijn de ombouwkosten van infrastructuur en de treinen grofweg geschat op circa €1,3 miljard. Deze aanpassingen en investeringen zijn noodzakelijk voor zowel de omschakeling naar 3kV als naar 15kV of 25kV.

Specifiek voor de migratie naar 15kV en 25 kV geldt dat ook de bovenleiding vervangen moet worden. Daarnaast zijn aanpassingen nodig van diverse kunst- en bouwwerken direct rondom het spoor zoals viaducten en overkappingen en/of het verlagen van de baan. De investeringen voor de ombouw naar 15kV of 25kV worden geschat op minimaal € 6,0 miljard. Ook zijn er aanpassingen nodig in o.a. de (trein)beveiliging, tunnels, overwegen en de baan, waarvan de omvang op dit moment nog onvoldoende kan worden ingeschat. Anderzijds is bij ombouw naar 15kV of 25kV ook sprake van zogenaamde vermeden investeringen (ordergrootte €800 miljoen). Geplande en noodzakelijke vernieuwingen van de huidige bovenleiding onder 1,5kV zijn niet langer noodzakelijk bij een migratie naar 15kV of 25V.

Een voorlopige schatting van de benodigde investeringen voor de ombouw naar 25kV zijn hieronder weergegeven.

SCHATTING INVESTERINGEN VOOR OMBOUW NAAR 25 KV (NOG PRIJSPEIL 2008, BRON 2011)		
Onderdelen spoorse infra	**Investeringspost in mln. euro**	**Opmerkingen**
Bovenleiding	4.500	Migratiestrategie nog onbekend
Tractievoeding	400	Migratiestrategie nog onbekend
Kunstwerken bij grote knoop-punten	600	
Kunstwerken langs de baan.	500 (minimaal)	
Vermeden investeringen	800	Besparing
Totale investering	5.200	Te beschouwen als ondergrens

Tabel 5: Investeringen ombouw 25 kV

De benodigde investeringen voor 15kV zijn van vergelijkbare orde. Daarnaast zijn extra investeringen nodig omdat 15kV niet is aan te sluiten op het nationale elektriciteitsnetwerk en een eigen netwerk nodig heeft.

Voor ombouw naar 3kV zijn vervanging van de bovenleiding en aanpassing van de kunstwerken niet noodzakelijk, of alleen zeer beperkt. De kosten voor de ombouw naar 3kV zijn hierdoor aanzienlijk lager dan voor de ombouw naar 15kV en 25kV. Bovendien zullen er bij de vervanging van de bovenleiding geen treinen kunnen rijden, wat langdurig tot (zeer) grote hinder leidt.

4.3. Belangen en voorkeuren goederen- en regiovervoerders

Naast een inhoudelijke beoordeling van de alternatieven is middels consultatie getoetst hoe de spoorgoederenvervoerders en regiovervoerders aankijken tegen een eventuele systeemwijziging en de belangen en voorkeuren die zij daarbij hebben.

VISIE SPOORGOEDERENVERVOER OP TOEKOMSTIGE TRACTIE-ENERGIEVOORZIENING

Consultatie van de Goederenvervoerders (incl. vervoerende aannemers) leert dat Spoorgoederenvervoer een stapsgewijze en corridorgewijze migratie naar 25 kV wisselstroom prefereert. Een belangrijk argument daarvoor is dat deze overstap verdere versnippering van het tractie landschap, zowel in Nederland als in Europa, voorkomt. Met een migratie naar 3kV zouden er in een relatief klein land gedurende de migratieperiode drie van de vier toegestane TEV-systemen naast elkaar bestaan met de bijbehorende risico's en beperkingen daarvan.

De huidige lappendeken maakt volgens hen de internationale vervoersexploitatie onnodig duur, hetgeen slecht is voor de concurrentiepositie van het spoorvervoer ten opzichte van andere vervoerwijzen en de Duitse spoorlogistieke ketens. Goederenvervoerders uit Duitsland worden dan gedwongen om voor goederenvervoer binnen Nederland duur multicourant materieel in te zetten. Op de interfaces tussen de systemen gelijkstroom- en wisselstroomsystemen lopen vervoerders (in tegenstelling tot interfaces tussen wisselstroomsystemen) het risico op storingen en defecten, hetgeen faalkosten en verliezen kan veroorzaken bij vervoerders en hun klanten. Dit laatste gaat ook op voor reizigersvervoerders en hun klanten.

Samen met de verschillende partijen is ook gekeken naar de operationele impact voor goederenvervoerders, mocht er wel gekozen worden voor 3kV. Het grootste deel (ruim 90%) van de huidige locomotieven is ofwel multicourant ofwel bicourant (kunnen zowel op 1,5kV als op 3kV rijden) waardoor een eventuele migratie naar 3 kV vanuit dat perspectief substantieel lagere impact heeft bij een migratie dan voor reizigervervoerders.

Tot slot benadrukken de spoorgoederenvervoerders dat een keuze voor de energievoorziening niet voor de korte of middellange termijn gemaakt wordt. Er is een visie nodig op de toekomst van het Nederlandse spoorwegnet en de concurrentiepositie van het spoor(goederen)vervoer in een brede Europese context, waarbij op zijn minst 50 jaar vooruit wordt gekeken. Goederenvervoerders pleiten voor het opstellen van een roadmap voor een toekomstvaste en kostenefficiënte tractie-energie voorziening op het Nederlandse spoornet die groei van concurrerend en bedrijfseconomisch gezond goederen- en reizigersvervoer per spoor mogelijk maakt. Dit in gezamenlijkheid met de direct betrokken spoorpartijen.

Voor de gehele memo van de goederenvervoerders, zie bijlage 3.

VISIE REGIOVERVOERDERS OP TOEKOMSTIGE TRACTIE-ENERGIEVOORZIENING

De Federatie Mobiliteitsbedrijven Nederland (FMN) met als leden Arriva, Transdev, Keolis en Qbuzz pleit voor 3kV als het de klassieke bovenleiding betreft. Ze geven aan dat ze ervaren dat het huidige net aan zijn grenzen zit of dat de capaciteit niet toereikend is voor extra, snellere of zwaardere treinen. Daarnaast vermindert het nu aanwezige spanningsverlies daarmee (energiebesparend). Ook onderschrijft FMN de noodzaak om de tractie energievoorziening van de toekomst breed te onderzoeken, om zo ook de opties voor de lange termijn goed in beeld te krijgen.

Voor de gehele memo van de FMN, zie bijlage 4.

VISIE VANUIT WETENSCHAP

ProRail en NS hebben de Universiteit Twente en de TU Delft geraadpleegd.

Bescherming persoonlijke levenssfeer (Universiteit Twente) Bescherming persoonlijke levenssfeer (TU Delft) benadrukken dat door diverse programma's en de ontwikkeling van de dienstregeling de energievoorziening steeds zwaarder wordt belast. Er komen langere en meer treinen met hogere vermogens om snel te kunnen optrekken. Het specifieke vermogen van nieuwe treinstellen is hoger dan dat van de oude treinen, aldus Bescherming persoonlijke leve er Bescherming persoo.

Bij dergelijke programma's behoren ook flankerende maatregelen in de infrastructuur, zoals verbeterde baanstabiliteit en verkanting, opheffen van overwegen en waar van toepassing herplaatsing van seinen. Beide geven aan dat door verhoging van de bovenleidingspanning van 1,5 kV naar 3 kV treinen sneller kunnen optrekken waardoor rijtijdwinsten zijn te halen. Hierdoor volgen ook capaciteitswinsten door het verkorten van opvolgtijden door sneller optrekken, maar ook door een vermindering van het rijtijdverschil tussen Sprinters en Intercity's over corridors (Sprinters stoppen vaker en profiteren daardoor van de verbeterde optrekcapaciteit).

Voor de gehele memo, zie bijlage 5.

4.4. Waterstof- en batterijtreinen

Naast systeemalternatieven in de vorm van elektrische tractie door middel van een bovenleiding zijn er ook systeemalternatieven waarbij geen bovenleiding nodig is, de waterstoftrein en de batterijtrein. In deze paragraaf worden deze alternatieven kort belicht.

Batterijtreinen zijn geschikt om ingezet te worden op spoorlijnen die niet voorzien zijn van een bovenleiding of voorzien zijn van een zogenoemde partiële bovenleiding: delen met een bovenleiding waar de batterij (rijdend) kan worden opgeladen. Partiële bovenleiding kenmerkt zich door een afstemming tussen materieel en infra. Dit maatwerk is realiseerbaar, maar vraagt bij nieuwe vervoersvraag om aanpassingen. Dit alternatief zou ook ingezet kunnen worden op spoorlijnen met een bovenleiding in combinatie met elektrisch materieel zonder batterijen op zodanige wijze dat knelpunten in het tractie energievoorziening systeem kunnen worden ontlast. Onbekend is of de batterij technologie zich dusdanig doorontwikkelt dat intercitytreinen hiermee voorzien kunnen worden van voldoende tractie. Batterijtreinen worden daarom alleen als optie gezien in combinatie met een elektrisch tractie energievoorziening systeem.

Waterstoftreinen zijn geschikt om dieseltreinen te vervangen. Dieseltreinen rijden vaak op spoorlijnen die niet voorzien zijn van een bovenleiding. Ook waterstoftreinen hebben geen bovenleiding nodig en beschikken bovendien over een grote actieradius. Waterstoftreinen zijn minder geschikt om elektrisch passagiersmaterieel te vervangen. Enerzijds omdat dan in de dienstregeling het stoppen van treinen voor tanken ingepast moet worden en anderzijds is het nog onduidelijk of hiermee capaciteitsuitbreiding gerealiseerd kan worden. Waterstof zou de potentie hebben om aan de regionale vervoersomvang te kunnen voldoen. Of dat ook voor het gehele netwerk geldt is onbekend. Onder andere vanwege de beschikbaarheid van groene waterstof. Ook waterstoftreinen worden daarom alleen als optie gezien in combinatie met een elektrisch tractie energievoorziening systeem.

Alternatieven als waterstof- en batterijtreinen ontwikkelen zich tamelijk snel. Voor toepassingen bij regiotreinen zijn voorbeelden actueel. Onbekend is in hoeverre deze ontwikkeling zich doorzet.

4.5. Conclusie: kansrijke alternatieven

Het omschakelen naar een hogere bovenleidingspanning is energie-efficiënter en biedt meer spoorcapaciteit dan het huidige TEV-systeem van 1,5kV. Het omschakelen naar 3kV is daarvoor het meest kansrijke alternatief.

De baten van 3kV, 15kV of 25kV zijn vergelijkbaar. De kosten voor omschakeling naar 15kV of 25kV zijn aanzienlijk hoger in vergelijking tot omschakeling naar 3kV, vanwege de noodzakelijke vervanging van de bovenleiding en aanpassing van kunstwerken. In greenfieldsituaties waar geen sprake is van grootschalige vervanging, zoals de aanleg van de Betuweroute, is de invoering van 15kV of 25kV te overwegen. Voor bestaande infrastructuur is de kosten-baten verhouding van een migratie naar 15kV en 25kV naar verwachting fors negatiever ten opzichte van 3kV. In het vervolg van het onderzoek is daarom 3kV als meest kansrijke systeemalternatief in meer detail onderzocht.

Op dit moment zijn energiedragers op de trein als vervanging van bovenleiding niet kansrijk voor een landelijke uitrol, omdat de energievraag te groot is. Daarnaast is de technologie nog onvoldoende ontwikkeld voor dergelijke grote vloten, gaat er veel energie verloren bij het opslaan in de trein en weer omzetten in elektrische energie. Ten slotte kan dit pas wanneer een voldoende groot deel van de materieelvloot is vervangen, waardoor dit sowieso niet plaatsvindt in deze of de volgende generatie treinen en dus op z'n vroegst over 20 jaar.

5. Nadere uitwerking 3kV

Dit hoofdstuk gaat in meer detail in op het meest kansrijke systeemalternatief, namelijk de migratie naar 3kV. Hierbij wordt achtereenvolgens ingegaan op de baten en kosten van migratie naar 3kV en een beknopte samenvatting van de resultaten van de uitgevoerde maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) voor 3kV. Vervolgens is een aantal risico's en potentiële knelpunten op de zogenaamde technische "Trein-baan-interface" toegelicht die mogelijk invloed hebben op de baten van 3kV. Dit hoofdstuk eindigt met een paragraaf, waarbij 1,5kV en 3kV naast elkaar worden gehanteerd in de vorm van deelnetten.

5.1. Baten van migratie naar 3kV

Het verhogen van de spanning in de bovenleiding heeft vier potentiële baten:

1. Sneller aanzetten van treinen
2. Het verhogen van de tractie-capaciteit van het spoor
3. Hogere maximumsnelheid in specifieke situaties
4. Het verlagen van energieverlies in de bovenleiding

De verschillende baten zijn niet tegelijkertijd maximaal incasseerbaar.

1. SNELLER AANZETTEN VAN TREINEN

Bij 3kV gaat het beschikbare vermogen van 6MW naar 10-12MW. Materieel met voldoende motorvermogen (ICNG, FLIRT en nog nieuw te bestellen materieel) kunnen dat extra vermogen gebruiken om sneller aan te zetten. Hoe hoger de aanzetsnelheid, hoe meer aanzetwinst 3kV geeft. Deze snellere aanzet leidt tot kortere reistijden en leidt daarmee direct tot baten. Het secundaire effect van snellere aanzet is dat sprinters, die vaak aanzetten, beter inpasbaar zijn in de dienstregeling tussen intercity's. Datzelfde geldt voor goederentreinen. Daarmee biedt het sneller aanzetten ruimte voor verbeteringen in de dienstregeling.

Deze extra ruimte in dienstregeling is, op basis van de uitgevoerde analyse, niet nodig voor de TBOV2040 dienstregeling. Kortom: sneller aanzetten leidt niet direct tot meer vervoerscapaciteit, maar biedt wel extra ruimte in de dienstregeling.

2. VERHOGEN VAN DE TRACTIE-CAPACITEIT VAN HET SPOOR

Bij het leveren van vermogen, warmen onderstations, de bovenleiding en andere componenten in het tractiesysteem op. Bij 1,5kV gebeurt dit sneller dan met 3kV, omdat de gemiddelde stroomsterkte hoger is. De opwarming hangt onder meer af van de afstand tussen onderstations. Bij 1,5kV moet er meer tijd tussen treinen zitten om af te koelen. In de breekpuntanalyse is gekwantificeerd hoeveel treinen per uur er mogelijk zijn bij 1,5kV en bij 3kV voor bepaalde afstanden tussen onderstations. Het effect van een hogere spanning is dat er bij een gelijkblijvend aantal onderstations, meer treinen per uur worden gefaciliteerd door de TEV. De eerste inschattingen laten zien dat met 3kV en bij een gelijkblijvend aantal onderstations, in ieder geval een 8/4 dienstregeling (+ 1 goederen) kan worden gefaciliteerd. De hoeveelheid restcapaciteit die dan nog resteert, wordt nog nader onderzocht in de Landelijke Netanalyse. Met het bijplaatsen van nog 1 extra onderstation bij onderstationafstanden van 3-5 kilometer, is met 3kV een (theoretische) dienstregeling mogelijk van 14/7 (+ 1 goederen).

3. HOGERE MAXIMUMSNELHEID IN TWEE SPECIFIEKE SITUATIES

Het verhogen van de spanning leidt in twee situaties tot een hogere maximumsnelheid.

Op de Hanzelijn wordt het met 3kV mogelijk om met alle samenstellingen van ICNG, dat wil zeggen tot en met zestien treindelen, 200km/u te rijden[10]. Met 1,5kV kan ICNG tot dertien treindelen maximaal 180km/u rijden op de Hanzelijn. Op andere baanvakken in Nederland maakt 3kV geen snelheidsverhogingen voor passagierstreinen mogelijk. Hogere snelheden dan 140km/u zijn met 3kV dankzij de snellere aanzet wel beter inpasbaar in de dienstregeling.

Zware goederentreinen kunnen beter in hun pad blijven en ingelegd worden met 95km/u in plaats van 85km/u. Dit is locatie- en treinafhankelijk.

4. HET VERLAGEN VAN ENERGIEVERLIES IN DE BOVENLEIDING

Een overstap van 1,5kV naar 3kV leidt tot minder energieverbruik als gevolg van een hogere recuperatiewinst en verlaging van de transportverliezen. Minder energieverbruik leidt tot zowel een energiebesparing (en lagere energiekosten) als een reductie van CO_2-emissie. Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert in minder energieverbruik en daarmee lagere energiekosten. Op basis van een netsimulatie zijn de energiebaten in het referentiejaar 2030 ingeschat op 239 GWh per jaar. Dit komt neer op een energiebesparing van ongeveer 14%[11]. Deze inschatting betreft een reductie van nationale energiebaten, dus voor zowel NS, regiovervoerders als goederenvervoerders. De jaarlijkse energiebesparing resulteert tevens in positieve externe effecten ten gevolge van een lagere CO_2-emissie. Ondanks het feit dat NS reeds gebruik maakt van duurzaam opgewekte ('groene') elektriciteit, is de aanname gemaakt dat de energiereductie leidt tot een afname van niet-duurzaam opgewekte ('grijze') elektriciteit op nationaal niveau. Er zijn immers nog diverse gebruikers van grijze stroom die hierdoor een overstap kunnen maken naar groene stroom.

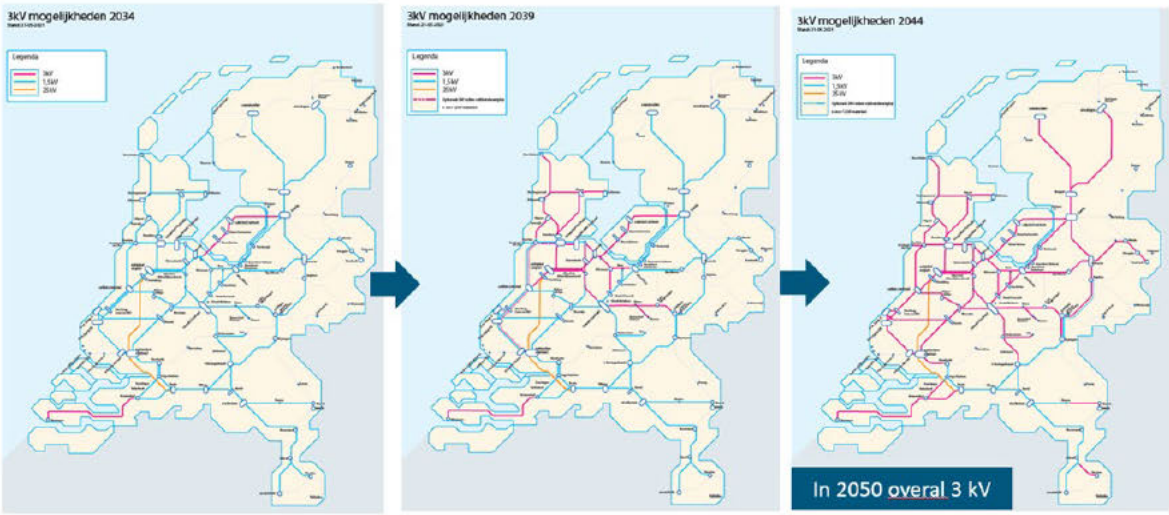
---

[10] Uitgaande van aanpassingen aan de bovenleiding.

[11] Bij dit getal geen rekening is gehouden met Energie Zuinig Rijden.

5.2. Kosten van migratie naar 3kV

Voor de overstap van 1,5kV naar 3kV is een migratie nodig, dat wil zeggen: het aanpassen van de spanning van 1,5kV naar 3kV voor treinen en infrastructuur. Deze migratie is medebepalend voor de kosten, omdat eruit blijkt welk materieel moet worden omgebouwd en welk nieuw besteld kan worden met 3kV. Er zijn diverse scenario's onderzocht. In het voorkeursscenario zijn de aanpassingen aan materieel en infrastructuur op elkaar afgestemd. De infrastructuur volgt het materieel in drie fases tussen 2034[12] en 2050 (zie figuur 7): bij elke fase moet er voldoende materieel omgebouwd of nieuw ingestroomd zijn om op bepaalde lijnen onder 3kV te rijden. Daarna wordt de infrastructuur omgebouwd en omgeschakeld. Tijdens deze migratie is materieel niet landelijk inzetbaar, waarvan de kosten niet in kaart zijn gebracht. Er is rekening gehouden met de te rijden dienstregeling en is er een balans gevonden tussen het om te bouwen materieel en nieuw te bestellen materieel. De gefaseerde migratie leidt tot de hoogste maakbaarheid en beste kosten-baten-verhouding.



Figuur 7: *migratie in 3 fasen*

De migratie met betrekking tot het materieel is opgesteld met als uitgangspunt dat in 2022 een realisatiebesluit over 3kV wordt genomen. Indien het realisatiebesluit later volgt, schuiven de migratietijdslijnen met betrekking tot het materieel navenant mee. Dit kan leiden tot een wijziging van investeringskosten. Hetzelfde geldt voor de investeringen in de infrastructuur, in het bijzonder de vermeden investeringen in het kader van Voorbereid Bouwen.

De kosten van een overstap van 1,5kV naar 3kV zijn onder te verdelen naar investeringen in de infrastructuur, materieel en beheer & onderhoud. De kosten zijn berekend in de maatschappelijke kostenbatenanalyse 3kV tractie energievoorziening (april 2022). De totale kosten zijn daarin geraamd op circa €2,1 miljard (bandbreedte €1,969mld tot €2,276mld). De aangeleverde kosten en baten zijn in constante prijzen (prijspeil 2021).

[12] Bij de uitwerking van de migratiescenario's is gerekend met een aanlooptijd die nodig is voor voorbereiding, engineering, aanbesteding en ombouw van materieel en infra van 13-14 jaar.

A. INVESTERINGEN INFRASTRUCTUUR

Het omschakelen naar 3kV vereist de ombouw en omschakeling van onderstations en schakelstations, inclusief bijbehorende tijdelijke maatregelen zoals spanningssluizen. Ook zijn er kleine aanpassingen aan de bovenleiding noodzakelijk. De totale investeringskosten voor de infrastructuur zijn geraamd op €389 mln tot €445 mln.

B. INVESTERINGEN MATERIEEL

Bij een overstap van 1,5kV naar 3kV moet het materieel worden omgebouwd en gemoderniseerd. De investeringskosten voor treinmaterieel zijn onder te verdelen in drie posten.

- Ombouwkosten om het bestaand materieel geschikt te maken voor 3kV.
- Kosten voor de aanschaf van materieel dat zowel geschikt is voor het rijden op 1,5kV als 3kV (bicourant materieel).
- Additionele moderniseringskosten voor een deel van de omgebouwde en bicourante treinen.

De aanname is dat er beperkte additionele kosten zijn voor de aanschaf van een monocourante 3kV trein ten opzichte van een monocourante 1,5kV trein.

De totale investeringskosten voor het materieel worden geraamd op €974 miljoen tot €1.086 miljard. Deze inschatting betreffen zowel kosten voor NS als die voor regiovervoerders, maar exclusief goederenvervoerders.

C. INVESTERINGEN BEHEER EN ONDERHOUD

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert naar verwachting niet in additionele onderhoudskosten aan de infrastructuur. De aanname is gemaakt dat het onderhoud aan een 1,5kV onderstation gelijkwaardig is als het onderhoud aan een 3kV onderstation.

Wel zijn er additionele onderhoudskosten voor NS voor het onderhoud van het omgebouwd materieel en het bicourant materieel. In de MKBA zijn deze ingeschat op €651 tot €793 miljoen (contante waarde 2022).

D. VERMEDEN INVESTERINGEN

Indien tijdig wordt besloten om over te stappen naar 3kV, worden bepaalde vervangingskosten van 1,5kV infrastructuur niet of anders gemaakt vanwege de aanstaande migratie naar 3kV. De te vermijden investeringen zijn in de MKBA ingeschat op €44 tot €48 miljoen.

5.3. Maatschappelijke kosten batenanalyse

In de maatschappelijke kosten-batenanalyse van april 2022 (zie bijlage 6) zijn de maatschappelijke kosten en baten van 3kV (het projectalternatief) vergeleken met die van het rijden met 1,5kV. Een maatschappelijke kosten batenanalyse (MKBA) probeert alle positieve en negatieve effecten in te schatten die de uitvoering van een project heeft op de welvaart. Het gaat hier niet alleen om financiële kosten en baten, maar ook om maatschappelijke effecten zoals minder reistijd of een lagere CO_2 uitstoot.

OPZET EN UITGANGSPUNTEN

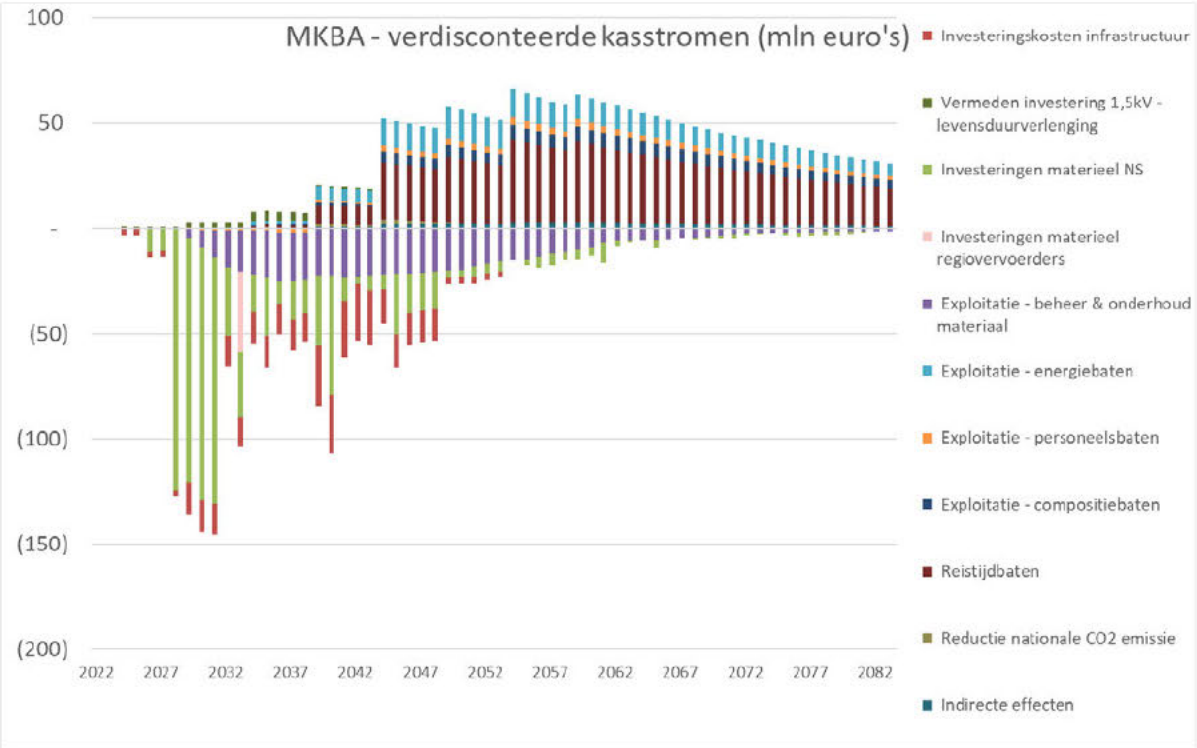
Idealiter wordt in een MKBA een op maat gemaakt pakket van investeringen bij 1,5kV vergeleken met een op maat gemaakt pakket van investeringen bij een overstap naar 3kV. Er zijn echter te veel onzekere parameters om dergelijke specifieke investeringsplannen per alternatief voor een periode van diverse decennia vast te stellen. Dit zou bijvoorbeeld betekenen dat er diverse dienstregelingen moeten worden ontworpen die met deze investeringen meegroeien.

Om toch een goede vergelijking te maken tussen kosten en baten van 1,5kV en 3kV is gewerkt met de aanname dat de dienstregeling vanaf 2030 gelijk blijft (PHS 6 basis). En voor de operationele fase is 50 jaar aangehouden, gemeten van het eerste jaar waarin wordt gereden met 3kV (2034) tot het einde van de levensduur van de infrastructurele investering (2083).

De effecten van een overstap van 1,5kV naar 3kV zijn berekend onder het hoge en lage WLO-scenario. Dit zijn consistente toekomstbeelden van het CBP & PBL van zowel hoge als lage economische en demografische ontwikkeling in Nederland in de komende decennia.

RESULTATEN

Op basis van de huidige onderzoeksopzet van de MKBA geldt de conclusie dat bij een overstap van 1,5kV naar 3kV de gemonetariseerde maatschappelijke baten grosso modo gelijk zijn aan de gemonetariseerde maatschappelijke kosten. Een overstap naar 3kV resulteert in een positief MKBA-saldo van 97 miljoen euro in het WLO hoog scenario en een negatief saldo van 16 miljoen euro in het WLO laag scenario. De baten-kosten ratio van deze MKBA is 1,05 in het WLO hoog scenario en 0,99 in het WLO laag scenario. Figuur 8 geeft een grafisch overzicht van de kosten en baten die zijn gemonetariseerd in deze MKBA.



Figuur 8: *Overzichtsgrafiek (contante waarde 2022, mln. euro)*

Hieronder volgen een aantal belangrijke aandachtspunten bij de interpretatie van deze resultaten.

- Ten eerste geldt een belangrijke aanname dat er gedurende de gehele operationele fase van deze MKBA wordt gereden met een gelijkblijvende dienstregeling. De aanname van een beperkte stijging van de toekomstige vervoersvraag geeft deze vergelijking een representatieve doorkijk in de effecten van een overstap naar 3kV. De analyse geeft echter beperkt zicht op de effecten van 3kV bij een sterk stijgende vervoersvraag. Het is aannemelijk dat de additionele baten van een overstap naar 3kV zullen toenemen bij toekomstige zwaardere dienstregelingen.
- Ten tweede is een aantal aspecten niet in kaart gebracht, die naar verwachting wel invloed hebben op de resultaten van de MKBA. Dit zijn de posten die in deze MKBA niet zijn gemonetariseerd. Met de huidige kennis was het niet mogelijk om de impact van deze niet-gemonetariseerde effecten in te schatten. Dit zijn zowel positieve effecten (baten) als negatieve effecten (kosten).
- Ten derde laat een eerste analyse van een alternatief migratiescenario zien dat het ombouwen van minder treinseries weliswaar leidt tot een substantiële afname van de kosten, maar ook tot een nog grotere afname van de baten. Dit ondersteunt de inschatting dat de basecase migratiestrategie inderdaad een optimale afweging biedt tussen de maatschappelijke kosten en baten.
- Ten vierde laten de gevoeligheidsanalyses zien dat alternatieve aannames zeer bepalend kunnen zijn voor het MKBA-saldo. Dit geldt met name voor aannames met betrekking tot de rijtijdwinsten (materieelprestaties) en de materieelinvesteringen. Voor diverse gevoeligheidsanalyses geldt dat een alternatieve aanname van een enkele parameter het verschil kan maken tussen een positief en een negatief MKBA-saldo.
- Ten vijfde is voor de kosten en baten uitgegaan van constante prijzen, prijspeil 2021. Inmiddels is bekend dat we te maken hebben met een sterke stijging van grondstofprijzen en energiekosten, die impact hebben MKBA-saldo. Dit zijn zowel positieve effecten (baten) als negatieve effecten (kosten).

In opdracht van het ministerie van IenW is een second opinion uitgevoerd op de MKBA door Horvat en Mott Mac Donald. Deze zijn opgenomen in bijlagen 7 en 8.

5.4. Impact van 3kV

Een transitie naar 3kV heeft impact op het bestaande systeem. Het bestaande spoorsysteem is geoptimaliseerd op (bestaand) 1,5 kV-materieel en kent technische beperkingen en grenzen. Voordat de (rijtijd)baten van een hogere bovenleidingspanning geïncasseerd kunnen worden, dienen de technische randvoorwaarden voortkomend uit beperkingen van het systeem op orde te zijn. Daarnaast zal de migratie operationele hinder tot gevolg hebben van tenminste 15 jaar, waaronder overschrijding van aslastnormen door bicourant materieel, en impact op operationele prestaties door spanningssluizen en de introductie van een nieuw technisch systeem.

Binnen dit STEV-onderzoek is een inventarisatie gemaakt van potentiële knelpunten op de technische "Trein-baan-interface", die mogelijk invloed hebben op de baten waarmee in de MKBA gerekend wordt. Uit deze analyse is een aantal knelpunten naar voren gekomen die gezien het risico en kosten die er mee samenhangen nog geanalyseerd zijn. Het betreft de impact van de baanstabiliteitsproblematiek, de geschiktheid van de bovenleiding en het aspect aanzetbeperking.

INVLOED VAN BAANSTABILITEIT OP HET BESLUIT OMBOUW TRACTIE ENERGIE VOORZIENING 3 KV.

In verband met baanstabiliteit zijn twee relaties van belang:

1. Naast 3 kV kan ook de (huidige) baanstabiliteit een beperkende factor zijn voor vervoersgroei. Een risico is dat investeringen in 3 kV minder baten opleveren (groei mogelijk maken), wanneer beperkingen in de baanstabiliteit onvoldoende worden weggenomen.
2. De extra technische installatie voor 3 kV leidt tot verhoging van de aslasten van het materieel. Vanuit baanstabiliteit is het belangrijk dat treinen blijven voldoen aan de eisen die voor aslasten gelden. Risico is dat treinen die (om)gebouwd worden naar 3kV niet meer voldoen aan de infra eisen, waardoor deze niet zonder beperkingen kunnen worden ingezet of aanvullende afspraken nodig zijn.

In dit onderzoek zijn twee invloeden van baanstabiliteit op de ombouw naar 3 kV nader uitgewerkt en is het volgende vastgesteld:

- Om de groei van het treinverkeer op te kunnen vangen zijn voor baanstabiliteit maatregelen aan de infrastructuur nodig, onafhankelijk van een eventuele overgang naar 3kV. Hierbij wordt aangetekend dat alle deelsystemen waaruit het spoor bestaat op "orde" dienen te zijn om meer vervoer mogelijk te maken.
- De ombouw naar 3 kV heeft onder andere als doel vervoersgroei mogelijk te maken. Eventuele beperkingen in de baanstabiliteit staan hier los van, maar hebben wel (tijdelijk) invloed op de te behalen rijtijdwinst en daarmee op het rendement van de investering in 3kV. In het onderzoek baanstabiliteit wordt nader onderzocht wat deze beperkingen inhouden en welke maatregelen voor baanstabiliteit nodig zijn. De resultaten hiervan waren ten tijde van het onderzoek STEV nog niet beschikbaar.
- Onafhankelijk van bovengenoemde relatie met baanstabiliteit is het voor de ombouw naar 3 kV belangrijk ervoor te zorgen dat materieel dat geschikt is voor 3kV zonder beperkingen ingezet mag worden, ook in relatie tot aanvullende MLT-toetsen. Vervoerders schaffen materieel aan rekening houdend met een breed pallet aan eisen (o.a. concessie, capaciteit, toegankelijkheid en aansluiten op de marktstandaard). Binnen dit pallet aan eisen is er, afhankelijk van het type materieel, weinig tot geen regelruimte m.b.t. aslasten. Hierdoor ontstaat per type materieel een bepaalde kans om niet te kunnen voldoen aan de aslast eisen van ProRail met inzetbaarheidsrisico's als gevolg.
- Perspectief op mitigatie van de inzetbaarheidsrisico's bij overschrijding van de aslast eisen van ProRail (los van het nemen van maatregelen in de trein-operatie) is daarom noodzakelijk voor een succesvolle overgang naar 3kV.

GESCHIKTHEID BOVENLEIDING

Bij de overgang naar 3 kV is voorzien dat een groot deel van de bestaande bovenleiding met beperkte aanpassing gebruikt kan worden. Vastgesteld is dat de bovenleiding geschikt te maken is door bepaalde componenten (overspanningsafleiders) die niet voldoen te vervangen of toe te voegen op plaatsen waar nodig.

Tegelijkertijd stellen de Europese Technische Specificaties voor Interoperabiliteit (TSI's) andere eisen aan de mechanische trein-bovenleiding-interactie onder 3 kV en 1,5 kV, dit betreft met name de contractdruk tussen de pantograaf van de trein en de rijdraad van de bovenleiding. Het verhogen van de tractiespanning op zichzelf heeft echter geen invloed op de dynamische interactie. Om te voldoen aan de TSI ENE eisen zijn grote investeringen nodig om de bovenleiding hiervoor geschikt te maken. Technisch gezien zijn deze echter niet noodzakelijk en niet gewenst. Wat dit punt betreft is een ontheffing volgens de interoperabiliteitsrichtlijn artikel 5, lid 5 een reële optie.

Instemming van de Europese Commissie, gemotiveerd door het voorkomen van onredelijke uitgaven voor een lidstaat, om af te mogen wijken van deze Technische Specificaties voor Interoperabiliteit is hierbij echter wel noodzakelijk. Met de juiste onderbouwing is de verwachting dat de instemming verkregen wordt. Indien de EC niet mocht instemmen, zal bij introductie van 3kV op grote schaal de bovenleiding vervangen moeten worden, wat resulteert in een significante toename van de kosten.

AANZETVERSNELLINGEN

Het huidige systeem is ontworpen op de maximale aanzetversnellingen van bestaand materieel. Dit uit zich bijvoorbeeld in de snelheid waarmee overwegen sluiten en het ontwerp van spoorbogen. De verhoging van aanzetversnellingen om rijtijdwinst te halen, dient hierdoor mogelijk beperkt te worden. Een deel van de beoogde baten kan mogelijk niet geïncasseerd worden. Hierbij dient in ogenschouw te worden genomen dat bij de huidige specificatie van ERTMS is uitgegaan van de maximale aanzet zoals deze onder ATB van toepassing is, waardoor de aanzetbeperkingen blijven. Het aanpassen van de specificatie voor ERTMS is niet zomaar mogelijk, doordat er een afweging nodig is tussen dichtligtijden van overwegen (overwegveiligheid) enerzijds en gewenste aanzetversnellingen anderzijds. Hierbij speelt tijdens de transitiefase van ATB naar ERTMS ook het probleem dat materieel bij inzet onder ATB nog altijd aan de vigerende eisen voor maximale aanzet moet voldoen.

Vergelijkbare problematiek speelt in mindere mate ook bij het optrekken nabij bogen in het spoor waar onvoldoende verkanting (schuinteligging) is aangebracht. Hier is echter wel een oplossing voorhanden, al moet daar nog wel een afweging gemaakt worden met o.a. de impact van langere reistijden en snellere aanzet.

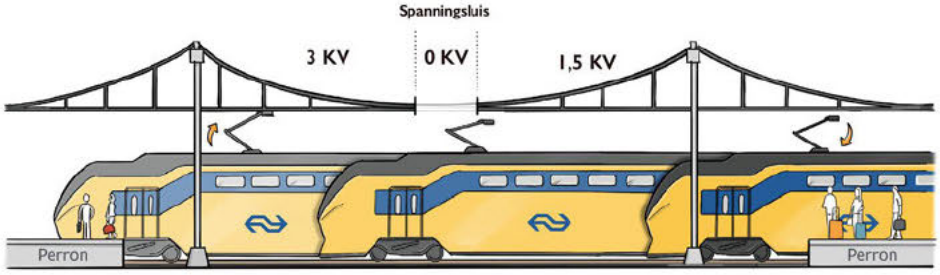
5.5. Opknippen landelijk netwerk in deelnetten 1,5kV en 3kV

Op plekken in Nederland, met een lage(re) treinintensiteit, voldoet de bestaande TEV nu of zijn voor de toekomst beperkte maatregelen nodig en levert 3kV nauwelijks/ beperkt baten. Daarmee rijst de vraag of er een oplossing voor het TEV-vraagstuk op de lange termijn schuilt in het opknippen van het landelijke netwerk in deelnetten met verschillende spanningen. Deze paragraaf beschrijft op hoofdlijnen de (on) mogelijkheden van deelnetten als mogelijke oplossing voor het TEV-vraagstuk.

In het onderzoek is gekeken hoe je twee spanningsniveaus kunt scheiden. Daarbij zijn in principe twee opties: 1) een spanningssluis op de vrije baan of 2) een spanningsdam op het station, waar deze geplaatst kan worden verschillende perrons of op één perron.

Figuur 9 laat zien dat een spanningsdam grote consequenties heeft, ondanks het schijnbare voordeel van mono-courant materieel. Ten eerste vraagt het hoe dan ook om fysieke 'verdubbelingen' van stations. Dat is in Nederland fysiek niet inpasbaar, nog zonder de kosten in beschouwing te nemen. Ten tweede eisen spanningsdammen dat reizigers bij elke transitie tussen 3kV en 1,5kV overstappen. Dit maakt het vervoer per trein minder aantrekkelijk. Als neveneffect leidt het ertoe dat het hoofdrailnet minder efficiënt is, door kortere lijnen en meer benodigd reservematerieel. Ook is een hoofdrailnet met dergelijke spanningsdammen minder flexibel; een landelijke dienstregeling-wijziging, zoals die nodig is om de verbouwing van Amsterdam Centraal mogelijk te maken, is dan uitgesloten. Ook is het niet mogelijk om voor bijvoorbeeld koningsdag of andere evenementen en buitendienststellingen treinen elders in te zetten. Deze optie wordt als niet realiseerbaar beschouwd.

Spanningsluis

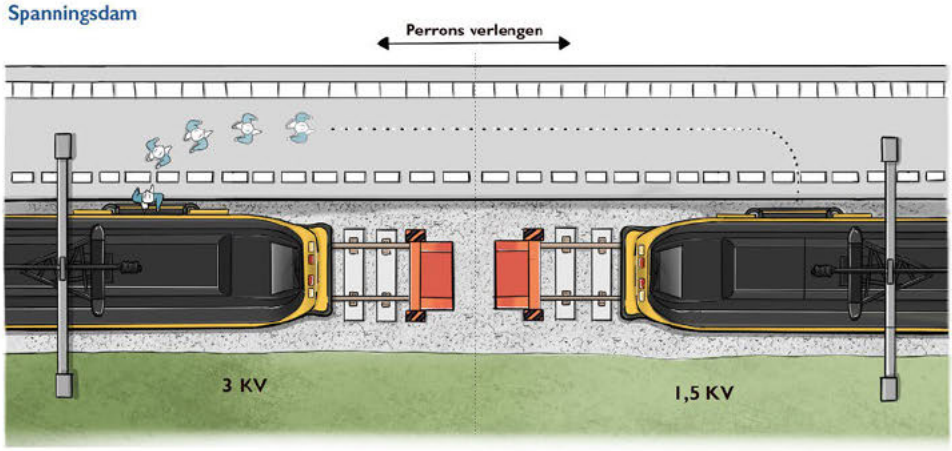


Spanningsluis: transitie op een lijn

Bi-courant materiaal

Spanningsluis van 1,5 kV en 3 kV is een onderbreking van de bovenleiding, zoals ook op NL Belgische grens staat.
Minder complex dan HSL-spanningsluis

Spanningsdam

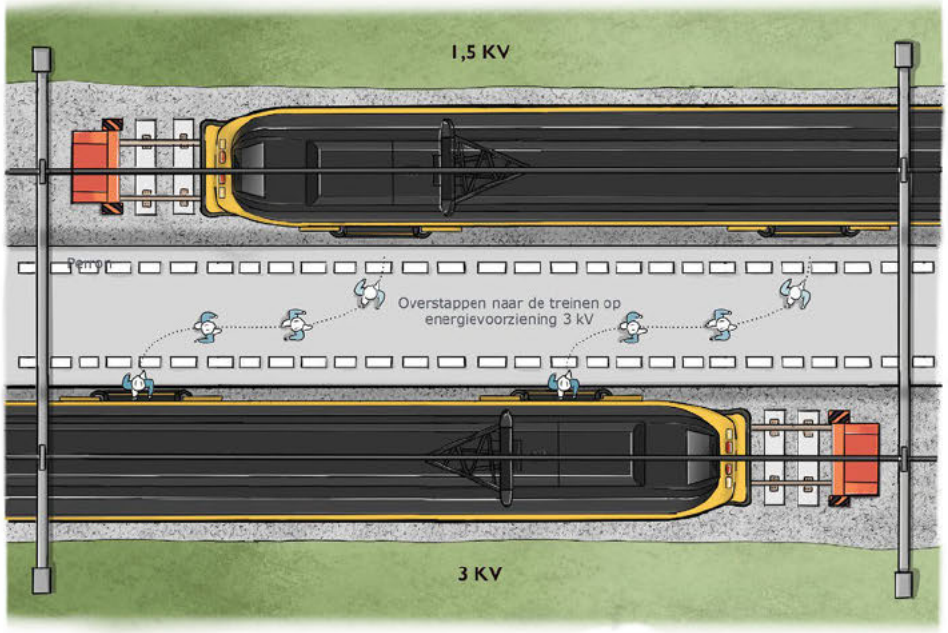


Spanningsdam: transitie op een perron

Mono-courant materiaal

Optie 1: De 1,5 kV en de 3 kV lijn liggen op hetzelfde perron. Vereist dat perrons in lengterichting 2 treinen faciliteren en voor de IC's daarmee > 680 meter kan zijn.

Spanningsdam



Spanningsdam: transitie op een perron

Mono-courant materiaal

Optie 2: De 1,5 kV en 3 kV lijn liggen op verschillende perrons. Vereist extra sporen op het station ten opzichte van huidige situatie.

Figuur 9: *Scheiding van spanningsniveaus via spanningssluizen of spannings-dammen*

Bij een keuze voor spanningssluizen hoeft niet alle Nederlandse spoorinfrastructuur omgebouwd te worden naar 3kV. Vanwege de logistieke verwevenheid van het hoofdrailnet, moet wel al het materieel bi-courant worden gemaakt met bijhorende investerings- en onderhoudskosten. In de MKBA van 3kV (zie hoofdstuk 5) betreft de ombouw van de infra circa 1/3 van de kosten en materieel 2/3. Er is dus een besparingspotentieel op een deel van 1/3 van de totale kosten dankzij deelnetten in combinatie met spanningssluizen. Dit besparingspotentieel weegt echter niet op tegen de (operationele) nadelen van spanningssluizen en de meerkosten van bi-courant materieel die decennialang doorlopen. De operationele nadelen van spanningssluizen zijn tweeledig: ten eerste leiden spanningssluizen bij elke passage tot enig rijtijdverlies, omdat treinen tijdelijk geen tractie hebben. Daarnaast creëren spanningssluizen een extra 'faalpunt' in het netwerk: een trein kan stranden doordat de stroomafnemers niet tijdig naar beneden zijn. Dit kan leiden tot extra verstoringen en daarmee lagere betrouwbaarheid van het systeem, voor reizigers uitgedrukt in lagere reizigerspunctualiteit.

Het opknippen van het landelijk netwerk in deelnetten in plaats van een landelijke migratie naar 3kV, maakt het nodig te werken met deel-materieelvloten. In bredere zin streeft Europa naar een zo uniform mogelijk spoornet, waarbij onder meer de beveiliging wordt gestandaardiseerd. Met het opknippen van Nederland in deelnetten creëren we meer transities die het treinvervoer onaantrekkelijk maken. De optie lijkt minder aantrekkelijk. Een situatie waarbij Nederland is opgeknipt in deelnetten 1,5kV en 3kV, leidt in feite tot een permanente migratiesituatie met operationele nadelen: bi-courant materieel en spanningssluizen.

6. Conclusies

INVESTEREN IN EEN TOEKOMSTBESTENDIG TEV-SYSTEEM

De afgelopen 20 jaar was het beleid in Nederland erop gericht om de energiecapaciteit van de tractie energievoorziening geleidelijk uit te breiden, op moment dat de vervoersvraag (en dus de energiebehoefte) daar aanleiding voor gaf. Dit betrof met name het verzwaren en bijbouwen van onderstations. Deze knelpuntgewijze aanpak heeft als consequentie dat een zogenaamd 'maatpak' is ontstaan. Bij een veranderende dienstregeling of inzet van nieuw materieel in langere samenstelling en/of met een hogere energievraag, ontstaan weer nieuwe knelpunten.

Met de Landelijke Netanalyse is er nu voor een langere periode zicht op de behoefte aan energiecapaciteit en de knelpunten. Hierdoor is het mogelijk om proactief te anticiperen op de vervoersgroei die op ons afkomt en de knelpunten die optreden in het TEV-systeem. Dit stelt ons, anders dan voorheen, ook in staat om slimme investeringen te doen in een toekomstvast TEV-systeem voor de lange termijn.

MET 1,5KV KOMEN NA 8/4 DIENSTREGELING DE GRENZEN VAN HET SYSTEEM IN ZICHT

De 8/4-dienstregeling uit het Toekomstbeeld OV 2040 is op dit moment de maximale dienstregeling die bekend is. De breekpuntanalyse wijst uit deze 8/4 dienstregeling (+ 1 goederen) met het 1,5kV-systeem nog gefaciliteerd kan worden. Bij onderstationafstanden van 3-5 kilometer kan nog maximaal 1 onderstation worden bijgeplaatst. Hiermee kan een (theoretische) dienstregeling van 10/5 (+1 goederentrein) worden gefaciliteerd en is beperkt restcapaciteit beschikbaar. Hiermee zijn de grenzen van het 1,5kV systeem bereikt.

Het bijplaatsen van onderstations is echter niet zonder consequenties en in de praktijk niet overal mogelijk:

- De fysieke ruimte voor het bijplaatsen van onderstations en noodzakelijke kabels naar het middenspanningnet is schaars, zeker in de urbane gebieden waar de meeste knelpunten zich voordoen.
- De nieuwe onderstations vereisen een nieuwe aansluiting op het openbare energienetwerk. Door netschaarste kunnen (tijdige) aansluitingen niet overal worden gegarandeerd.

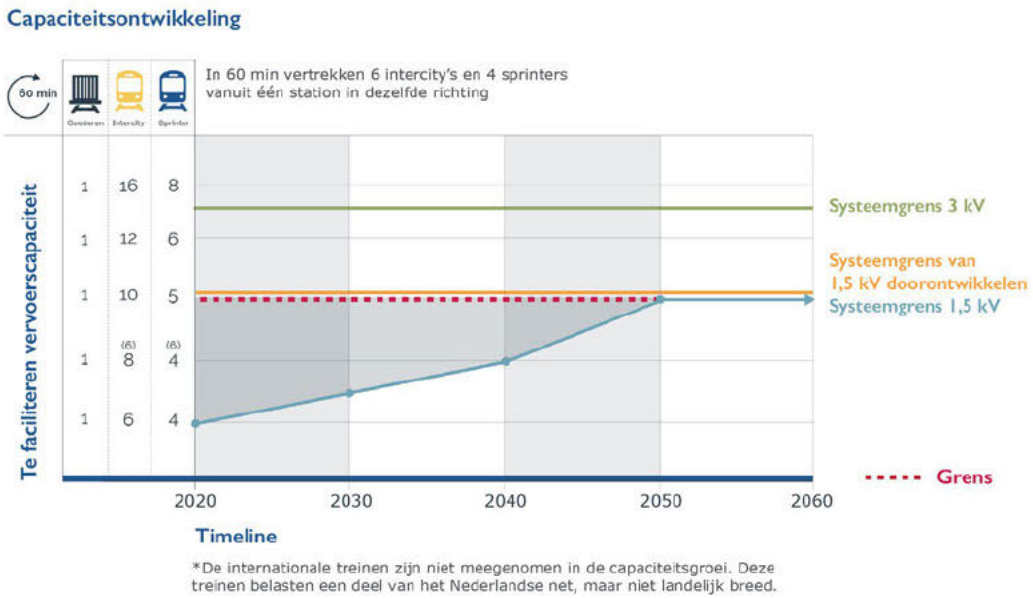
Met de inzet van technologische ontwikkelingen zoals batterijen op de trein en langs de baan en het inzetten van energiemanagement, kan mogelijk efficiënter worden omgegaan met de beschikbare energiecapaciteit waarbij iets meer vervoerscapaciteit gerealiseerd kan worden. Dit vergt nader onderzoek. De inzet van deze technologische ontwikkelingen naast de reguliere maatregelen zal naar verwachting echter niet leiden tot eenzelfde significante verruiming van de mogelijke vervoersgroei als bij een systeemwijziging naar 3kV.

SYSTEEMWIJZIGING BIEDT RUIMTE VOOR VERDERE VERVOERSGROEI EN DUURZAAMHEIDSAMBITIES

De enige mogelijkheid om de grenzen van het TEV-systeem substantieel te verruimen is de overstap naar een hoger spanningsniveau. Uit dit onderzoek blijkt de migratie naar 3kV de meest kansrijke optie. De baten van 3kV, 15kV of 25kV zijn vergelijkbaar. De kosten voor omschakeling naar 15kV of 25kV zijn echter aanzienlijk hoger in vergelijking tot omschakeling naar 3kV, vanwege de noodzakelijke vervanging van de bovenleiding en aanpassing van kunstwerken. Bovendien gaat deze vervanging gepaard met forse hinder en langdurige buitendienststellingen.

Met een transitie naar het 3kV-systeem is een theoretische dienstregeling mogelijk van 7 sprinters en 14 intercity's.

In figuur 10 zijn de systeemgrenzen van de verschillende alternatieven in beeld gebracht.



Figuur 10: *te faciliteren vervoerscapaciteit*

De eventuele vervoersgroei en inrichting van het vervoerssysteem voor de periode na 2050 laat zich op dit moment nog niet voorspellen. Daarmee is het ook niet met zekerheid te zeggen of het 1,5kV-systeem ook voor de periode na 2050 nog volstaat of dat een systeemwijziging noodzakelijk is om een verdere groei op het spoor te kunnen faciliteren. Duidelijk is dat de grenzen van een verdere groei in zicht komen wanneer we blijven kiezen voor het handhaven en doorontwikkelen van 1,5kV, maar de vraag is of die groei daadwerkelijk in die omvang gaat plaatsvinden.

VOOR- EN NADELEN VAN INVESTEREN IN 1,5KV EN 3KV SAMENGEVAT

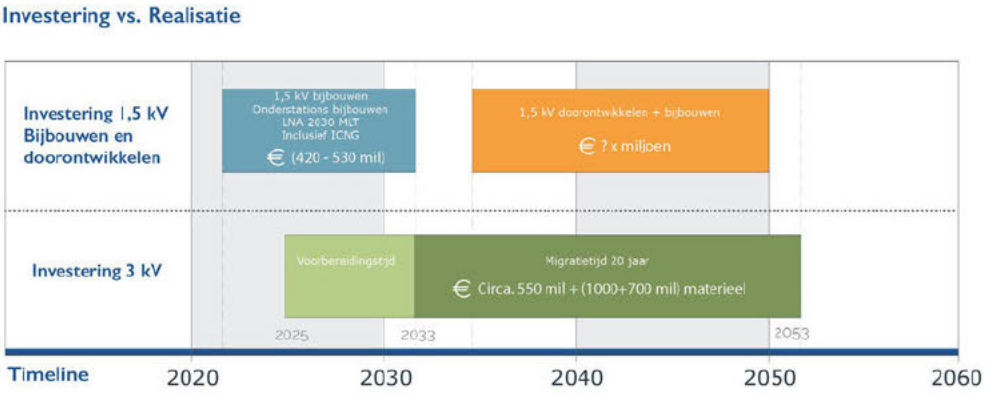
In het geval 1,5 kV op lange termijn als systeem gehandhaafd blijft is de ruimte voor een verdere groei na de invoering van de 8/4 dienstregeling nog zeer beperkt. De noodzakelijke uitbreidingen van het 1,5 kV systeem zullen in toenemende mate minder effectief en kosten-efficiënt zijn. Bovendien wordt met de handhaving van het huidige 1,5kV-systeem geen bijdrage geleverd aan duurzaamheidsambities als energiebesparing en beperking van de grondstoffen footprint. Eventuele effecten hierop van doorontwikkelen moeten onderzocht worden. Bij de noodzakelijke uitbreidingen van het aantal onderstations zullen de realisatie risico's toenemen, door gebrek aan fysieke ruimte voor onderstations en gebrek aan mogelijkheden voor nieuwe netaansluitingen bij lokale netbeheerders.

In het geval 3 kV op termijn als systeem zal worden gebruikt kan wel significant worden bijgedragen aan de ambitie van het beter benutten van het huidige spoor. Er ontstaat een robuuster en flexibeler systeem met relatief veel ruimte voor groei van de vervoerscapaciteit. Daarnaast wordt een bijdrage geleverd aan de duurzaamheidsambities als energiebesparing en beperking van de toename van de grondstoffen footprint. Er is slechts incidenteel bijplaatsen van onderstations nodig waarmee het realisatie risico beperkt wordt. Hiertegen over staan de risico's en geplande hinder op de operatie tijdens de migratieperiode van tenminste 15 jaar, waaronder snelheidsbeperkingen bij hoge aslasten van bicourant materieel, spanningssluizen die evenals de introductie van het nieuwe TEV-systeem kunnen leiden tot verminderde operationele prestaties en niet landelijk inzetbaar materieel dat zich uit in een minder flexibele dienstregeling. Na de transitie zullen incidentele uitbreidingen kostenefficiënt zijn.

De kosten voor handhaving en uitbreiding van 1,5kV zijn ingeschat op circa € 827 miljoen om de 8/4 dienstregeling mogelijk te maken. De kosten voor een eventuele verdere capaciteitsuitbreiding en doorontwikkelingen zijn niet onderzocht in dit onderzoek. De kosten voor ombouw naar 3kV zijn ingeschat op circa €2,1 miljard voor infra en materieel. Uit de MKBA is gebleken dat bij hoogscenario deze kosten opwegen tegen de baten.

BENODIGDE INVESTERINGEN IN 1,5KV EN 3KV

Op korte termijn staan we voor de keuze of we blijven investeren in het instandhouden, uitbreiden en doorontwikkelen van het 1,5kV systeem of investeren in een migratie naar 3kV om een eventuele toekomstige groei mogelijk te maken. Gelet op de voorbereidingstijd die nodig is voor een systeemwijziging, zal een besluit hierover op korte termijn al genomen moeten. Hoe langer dit besluit wordt uitgesteld, hoe hoger de kosten voor het handhaven en uitbreiden van het 1,5kV systeem en daarmee het risico op desinvesteringen wanneer alsnog wordt besloten tot invoering van 3kV.



Figuur 11: *Investering versus realisatie.*

De komende 10 jaar blijven investeringen, naast functiehandhaving en uitbreiding volgens PHS, in het 1,5kV systeem noodzakelijk om de groei op het spoor en de instroom van nieuw materieel te kunnen faciliteren. De benodigde investering voor het bijbouwen van onderstations is in de Landelijke Netanalyse ingeschat op €420 en €530 miljoen (prijspeil 2021). Deze investeringen zijn onvermijdelijk, omdat een eventuele systeemwijziging zeker 10 jaar aan voorbereidingstijd vereist.

VISIE VANUIT GOEDEREN, REGIOVERVOERDERS EN WETENSCHAP

Goederenvervoerders (incl vervoerende aannemers) geven aan een stapsgewijze en corridorgewijze migratie naar 25 kV wisselstroom te prefereren. Om hiermee verdere versnippering van het tractie landschap, zowel in Nederland als in Europa, te voorkomen. Regiovervoerders pleiten voor 3kV. Ze geven aan dat ze ervaren dat het huidige net aan zijn grenzen zit of dat de capaciteit niet toereikend is voor extra, snellere of zwaardere treinen. Daarnaast vermindert het nu aanwezige spanningsverlies daarmee (energiebesparend). Vanuit de wetenschap (Universiteit Twente en de TU Delft) wordt aangegeven dat door een verhoging van de bovenleidingspanning van 1,5 kV naar 3 kV treinen sneller kunnen optrekken waardoor rijtijdwinsten zijn te halen. Hieruit volgen ook capaciteitswinsten door het verkorten van opvolgtijden (sneller optrekken) maar ook door een vermindering van het rijtijdverschil tussen Sprinters en Intercity's over corridors (Sprinters stoppen vaker en profiteren daardoor van de verbeterde optrekcapaciteit).

AANBEVELINGEN VOOR VERVOLG

Met dit onderzoek is inzicht geven in de toekomstige knelpunten op het gebied van tractie energievoorziening en de opties die er zijn om de toekomstige groei en verduurzaming van het spoor mogelijk te maken. Daarbij is zowel gekeken naar de (on)mogelijkheden van het handhaven, uitbreiden en doorontwikkelen van het 1,5kV systeem als die van een eventuele migratie naar een hogere bovenleidingsspanning, en in het bijzonder naar 3kV.

Op basis van deze inzichten worden door ProRail en NS (in aparte oplegbrieven) aanbevelingen gedaan over de benodigde vervolgstappen en keuzes die nodig zijn om te komen tot een toekomstbestendig TEV-systeem.

ProRail

PRORAIL
Moreelsepark 3
3511 EP Utrecht

NS
Laan van Puntenburg 100
3511 ER Utrecht

Lees publicatie >

Bijlagen

Vervolgonderzoek Systeemkeuze Tractie-energievoorziening

Bijlagen

1. Notitie: Beoordeling technologische ontwikkelingen 1,5kV, januari 2022
2. Multi criteria analyse, 11 maart 2021
3. Memo goederenvervoerders, 11 november 2021
4. Memo Federatie Mobiliteitsbedrijven Nederland, 1 maart 2022
5. Memo Universiteit Twente en de TU Delft, 1 december 2021
6. Maatschappelijke kosten-batenanalyse, april 2022
7. Second opinion Mott Mac Donald, mei 2022
8. Second opinion Horvat, april 2022

1. Notitie: Beoordeling technologische ontwikkelingen

1,5kV, januari 2022

Doorontwikkelen 1500V, januari 2022

In het nul alternatief, te weten de huidige tractie energievoorziening van1,5kV geldt de aanname dat er gedurende de gehele zichtperiode van de MKBA (2034-2073) wordt gereden volgens de PHS 6 basis dienstregeling met een tractie energievoorziening van 1,5kV. Het ongewijzigd laten van de dienstregeling gedurende meerdere decennia is een simplificatie van de werkelijkheid. In de praktijk zal de dienstregeling de komende decennia waarschijnlijk meerdere keren wijzigen, echter de exacte invulling en timing hiervan is onmogelijk te voorspellen.

Voor de besluitvorming is het van belang inzicht te hebben welke technologische mogelijkheden er zijn om het 1500 V systeem door te ontwikkelen en in hoeverre deze ontwikkelingen kunnen bijdragen aan de beoogde verbeteringen van het systeem. Het betreft de volgende vier aspecten:

- Groter aanzetvermogen/ “wielband vermogen”
  Met een hoger aanzetvermogen (piek-megawatten) en “wielbandvermogen” kunnen treinen sneller optrekken en zijn hogere snelheden haalbaar. Hiermee kan de capaciteit van het spoor vergroot worden.

- Capaciteitsvergroting
  Vergroting van de energetische capaciteit (kilowatturen) van het systeem maakt een hogere treinintensiteit mogelijk. Ook kan de capaciteit van het spoor vergroot worden.

- Duurzaamheid (energiebesparing)
  De spoorsector streeft naar een meer duurzaam spoor. ProRail voert daarom een actief energiebeleid, dat gericht is op het besparen van het eigen energieverbruik en dat van vervoerders. Een hogere spanning is energie-efficiënter en levert significante energiewinst op bij een gelijkblijvende elektriciteitsvraag.

- Ruimtelijke ordening en congestie energienet
  In grote delen van het land wordt de ruimte voor het bijbouwen van schaars. Tegelijker zal het (tijdig) verkrijgen van nieuwe aansluitingen op korte termijn problematisch worden als gevolge van de congestie problematiek bij de netbeheerders die ontstaat bij de energie transitie die nu in volle gang is.

In onderstaande tabel worden de mogelijk technologische ontwikkeling getoetst aan de vier beoogde verbeteringen aan het systeem.

	Mate van baten ten aanzien van specifieke aspecten, zie note 1				
Technologische Ontwikkeling	**Toename aanzet/piek vermogen van 6→ 10 MW.**	**Toename totale energievraag door hogere treinintensiteit en evt. snelheid**	**Verbetering energie efficiëntie (duurzaamheid)**	**Elektrische veiligheid**	**Ruimtelijk ordenings- en congestie problematiek. (schaarse aansluitingen)**
Maximale stroomwaarde van 4 kA naar 5 kA (inclusief bijplaatsen en eventueel verzwaren van OS en waar nodig treinen)	6→ 7,5 MW. Aanzet winst : SPR 2,3 s en IC 3,4 s	Geen bijdrage, hiervoor zijn extra onderstations nodig	Hogere energieverliezen.	Verhoging aanraakspanning. (oplossing kosteninten sief) Verhoging statisch magnetisch veld	Geen reductie van de problematiek. Mogelijke eerder congestie, omdat contractwaarden hoger worden
Onderstation bijplaatsen , schakelstations naar onderstations.	Geen toename aanzetvermogen	Draagt bij aan capaciteit verhoging.	Geringe bijdrage door wat minder energieverlies	Problema-tiek onveran-derd (wel lokale verlaging aanraakspanning)	Toenemende problematiek Indien onderstations bijgeplaatst moeten worden. Zie note 2
Zon en/of wind inpassen via schakelstations of onderstations al of niet met opslagsystemen, maar zonder aansluiting aan het openbare net. Zie ook note 2.	Geen toename aanzetvermogen	Draagt bij aan capaciteit verhoging. Mate waarin is onduidelijk , met name in verband met gelijktijdigheid beschikbaarheid duurzame energie.	Geringe bijdrage door minder energieverlies, door het bijplaatsen onderstations niet vanwege plaatsen van zon en wind. Echter energie opslag zal ook energie vragen	Bij inkoppeling op DC en AC veiligheisbeheersing complexer, indien het direct naast het spoor wordt geplaatst.	Toenemende problematiek behalve voor onderstation ook windturbines, zonnepanelen en opslagsystemen . Kan bijdragen aan congestie problematiek indien capaciteit geleverd kan worden.
Generiek toepassen van Batterij tractie stations (peakshaving en power quality verbetering, opslag recuperatie-energie)	Draagt in principe niet bij aan hogere piekvermogens bij de pantograaf.	Werkt gunstig voor piekafnames, maar tilt de base-load van bestaande OS-sen op.	Verbetert omdat recuperatie potentieel toeneemt. batterijstations recuperatie energie kunnen opnemen.	Extra spanningsbron, veiligheid beheersing complexer	Afnemende problematiek, omdat de piekerige belasting wordt uitgesmeerd.
Batterij trein , vliegwiel , supco, etc	Max 8 % extra piek vermogen (6,5), afh. van ca-paciteit/ ontlaad-tijd. Aanzetwinst **-/-**2,9- + 1,9 s	Geen bijdrage	Verbetering energie efficiëntie onzeker . Opslaan van recuperatie energie kost ook energie	Batterijen, vliegwielen en superconde nsatoren in de trein brengen specifieke veiligheidsrisico's met zich mee: - Batterij /superc ondens	Geen directe invloed op deze problematiek

				ator: brandveiligheid. - Vliegwiel: mechanische stabiliteit	
Energiebesparing maatregelen TEV m.n. paralellel schakelen bovenleiding/extra retourkabels	Geen noemenswaar-dige bijdrage	Geen bijdrage	Bijdrage door minder energieverlies in de boevenleiding (van 9%--> 6%)	Verlaging aanraakspanning	Geen invloed op deze problematiek bijdrage. Mogelijk later congestie doordat contractwaarden niet verhoogd hoeven te worden.
Energie efficiëntere trein (aandrijflijn)	Geringe bijdrage Aanzetwinst: 0,9s	Geringe bijdrage	Geringe bijdrage	nvt	Geen invloed op deze problematiek bijdrage
Geavanceerde wielslipbeheersing	Aanzetwinst: 3,6 - 5,5 sec (in aanzet tot 40 km/u)	Vraagt extra energie.	Geen bijdrage	nvt	Geen invloed op deze problematiek bijdrage
Klimaatbeheersing uit bij aanzetten (in oude trein) *altijd inzetbaar?*	Max 8 % extra vermogen. (6,5) Aanzetwinst: SPR 2,3 s, IC 3,4 s.	Geen bijdrage	Niet noemenswaardige bijdrage	nvt	Geen invloed op deze problematiek bijdrage
Energiemanagement systeem via ATO en of ERTMS	Verlaagt vermogens pieken , aanzetverliezen ?	Geen bijdrage	Geen bijdrage	nvt	Kan bij slimme sturing piekvermogen verlagen en daarmee bijdragen aan verminderen congestieproblematiek

Note 1 : Optelling van de innovaties geavanceerde wielslipbeheersing, uitschakelen klimaat tijdens aanzetten en efficiëntere aandrijflijn geeft mogelijk een iets te rooskleurig beeld.:

- De geavanceerde wielslipbeheersing en de efficiëntere aandrijflijn kunnen mogelijk niet door dezelfde leverancier geleverd te worden. Het is daarbij dus even de vraag in hoeverre je een trein kunt krijgen die beide innovaties bevatten.
- Uitschakelen klimaatbeheersing heeft alleen effect als het beschikbare tractievermogen niet dynamisch aangepast wordt aan het gevraagde vermogen voor het klimaatsysteem. Nieuwere treinen kunnen zo'n dynamische aanpassing al bevatten.

Verder:

- Indien je genoemde aanzet winsten incasseert is er geen energiewinst. Immers sneller aanzetten vraagt energie.
- Baanvaksnelheid wordt o.a. bepaald door bovenleiding systeem , verandert niet. Bovenleiding circa 85% geschikt voor 140 km/u , circa 15% geschikt voor 160 km/u ; Hanzelijn tot 200km/u geschikt.

Note 2: In dit verband wordt de ontwikkeling vermeld van het zogenaamde EDS (Elektriciteit Distributie Systeem) , waarbij het huidige 3kV 75Hz systeem (een ProRail special) vervangen wordt door een standaard 10 kV/50Hz systeem parallel aan het spoor. Dat kan omdat met ERTMS en assentellers de 3kV 75Hz niet meer

nodig is. Dat wordt uitgewerkt samen met ERTMS en andere projecten. Dit wordt ondersteund door de Ontwikkeltafel.

Aan dat standaard 10kV koppelen we niet alleen ERTMS, maar ook wisselverwarming en alle andere voeding van spoorinstallaties. Op zich heeft de ontwikkeling geen relatie met STEV met dient verstande dat voor de toename van TEV-capaciteit van belang is dat aan EDS ook een “kleine OS” kan worden aangekoppeld omdat de betreffende 10kV kabel parallel aan het spoor ligt. Dit zal de bestaande aansluitingen niet ontlasten maar zal wel lijden tot een enigszins energie efficiënter systeem. Kleinschalige opwekking aankoppelen is ook wat

Beperkingen van 1,5kV systeem

-Congestieproblematiek (alhoewel dit onder 3kV ook speelt, zij het in minder mate)

-Selectiviteit is minder goed dan onder 3kV. Selectiviteitsprobleem onder 1,5kV is op te lossen door onderstations bij te bouwen.

-Inzetwensen van 200 km/uur kunnen niet gerealiseerd worden met langere treinsamenstellingen.

-Onder 1,5kV veel monitoring en kosten op gebied van retour, denk aan ES lassen, railspoelen. Indien stroom verhoogd wordt naar 5kA dan zullen de kosten stijgen, inspectie-intervallen kleiner worden en de beschikbaarheid van het systeem omlaag gaan. Met ERTMS is dit probleem mogelijk verholpen. Verhoging van de frequentie heeft ook effect op slijtage van de ES las. Dit speelt ook bij 3kV, maar omdat de stroom daar lager is, is er minder effect. Ook aan de materieelzijde is er sprake van effecten van hogere stroom.

-Onder 1,5kV loop je eerder tegen een recuperatieplafond aan.

-Indien wordt overgeschakeld naar 1,5kV 5 kA, wordt de stoorstroom mogelijk hoger en daarmee lastiger te managen en dus duurder.

-Sinds 2016 is er een nieuwe richtlijn die een limiet stelt aan het magneetveld dat door de bovenleiding wordt gecreëerd. 4kA is te managen binnen deze richtlijn, maar het magneetveld dat door 4kA wordt gecreëerd heeft reeds impact op bv peacemakers. Voor een eventuele overschakeling naar 5kA moet de impact hiervan impact onderzocht worden.

Bovenstaande punten geven geen fundamentele bovengrens aan het 1,5kV-systeem, waardoor doorgaan met het 1,5kV-systeem onmogelijk zou zijn. Mogelijk wordt een harde bovengrens wel nog vanuit de dienstregeling gevonden. Vragen die hiervoor beantwoord moeten worden:

-wanneer houdt het op gebied van de dienstregeling op met bijbouwen van 1,5kV onderstations en huidige bovenleiding?

-er is een analyse nodig onder 6MW wat de maximale treinfrequentie is voor 1,5 kV onder 6 MW en 7,5 MW en voor 3kV onder 10MW.

2. Multi criteria analyse

11 maart 2021

Notitie: Bevindingen Multi Criteria Analyse STEV

11 maart 2021

Bescherming persoonlijke levenssfee *(ProRail),* Bescherming persoonlijke *(NS)*

In dit document is gebruik gemaakt van de kaders en uitgangspunten, zoals opgenomen in het Plan van Aanpak STEV dat is vastgesteld door de stuurgroep STEV op 18 maart 2021. De ontwikkelingen volgen elkaar snel op. Mochten nieuwe inzichten of afspraken leiden tot aanpassing van kaders, uitgangspunten, scope of methodologie, dan zal dat - waar mogelijk - worden verwerkt in dit document en uiteindelijk in het einddossier. Mocht u evenwel twijfelen aan de juistheid van de in dit document gehanteerde gegevens, neem dan contact op met de auteur van het document.

Aanleiding voor nadere studie naar alternatieven

In Nederland geldt het systeem van 1500 Volt (1,5kV) op de bovenleiding als standaard. Dit systeem leidt echter tot relatief veel energieverlies en minder tractievermogen dan systemen met een hoger vermogen. Mede om die reden zijn in het verleden diverse studies verricht naar de nut en noodzaak van migratie naar een ander systeem met een hoger vermogen. Tot op heden heeft dit nog niet tot een besluit geleid.

Het huidige kabinet heeft besloten een verdere studie te doen naar een ‘systeemkeuze tractie energievoorziening’ (STEV). Dit onderzoek werkt toe naar een studierapport in Q3 2021, met transparante en volledige beslisinformatie die moet helpen in het maken van een systeemkeuze. ProRail doet dit onderzoek gezamenlijk met NS.

Doel en methode van de MCA

Om een goed beeld te krijgen van de verschillende alternatieve systemen voor TEV is een multi criteria analyse (MCA) opgesteld. Hierin is een kwalitatieve vergelijking gemaakt tussen de vier systemen die binnen Europa zijn toegestaan: 1,5 kV, 3kV, 15kV en 25kV. Doel van de MCA is te komen tot een selectie van de meest kansrijke (2 a 3) alternatieven die in het vervolg van het onderzoek verder worden uitgewerkt en beoordeeld. In de MCA zijn de alternatieve TEV-systemen kwalitatief beschreven aan de hand van de volgende criteria:

- Financiële kosten
  - Investeringskosten, inclusief ombouwkosten
  - Instandhouding
- Risico’s
  - Hinder/ transitie impact op operatie
  - Interface met treinbeveiliging
  - Interface met baan
- Baten
  - Energie-efficiëntie en duurzaamheid
  - Toekomstvastheid energie
  - Rijtijdwinst en capaciteitswinst
  - Interoperabiliteit

In de tabel in de bijlage is een beknopte uitwerking van deze criteria opgenomen. Deze memo beschrijft de voorlopige bevindingen.

Aanleiding voor invoering ander systeem

Er zijn verschillende aanleidingen die maken dat er nu een besluit nodig is over een toekomstige systeemkeuze.

- Capaciteitsvergroting

Voor 2040 wordt een groei verwacht van 30% in de totale vraag naar reizigers- en goederenvervoer. Voor de benodigde uitbreiding van de capaciteit op het spoor is TEV één van de bepalende factoren. Met een hoger vermogen kunnen treinen namelijk sneller optrekken en zijn hogere snelheden haalbaar. Hiermee kan de capaciteit van het spoor vergroot worden.

- Duurzaamheid (energiebesparing)

De spoorsector streeft naar een meer duurzaam spoor. ProRail voert daarom een actief energiebeleid, dat gericht is op het besparen van het eigen energieverbruik en dat van vervoerders. Een hogere spanning is energie-efficiënter en levert significante energiewinst op bij een gelijkblijvende elektriciteitsvraag.

Naast de bovengenoemde baten van een meer vermogend TEV-systeem is de noodzakelijke bovenbouwvervanging een extra argument om op korte termijn tot een systeemkeuze te komen. Aanzienlijke delen (bijna 500 km in het zuiden en noordoosten van Nederland) van de huidige bovenleiding zullen vanaf 2023 grootschalig worden vervangen. Daarvoor is het van belang te bepalen of bij de vervanging rekening gehouden moet worden met een ander TEV-systeem. De systeemkeuze heeft impact op de grootschalige vervanging zelf, maar ook op de interface met andere disciplines, zoals treinbeveiligingssystemen.

Beschikbare alternatieven voor TEV binnen Europa

Binnen Europa zijn vier verschillende systemen voor TEV toegestaan[1] en in gebruik:

- 25 kV wisselstroom, 50 Hz;
- 15 kV wisselstroom, 16,7 Hz;
- 3 kV gelijkstroom;
- 1,5 kV gelijkstroom.

Andere TEV-systemen zijn niet beschikbaar en ook niet toegestaan vanuit compliance met Europese wetgeving. Binnen Europa zijn alle vier de systemen in gebruik. Nederland is samen met een deel van Frankrijk, het enige land in Europa waar 1,5kV gelijkstroom wordt gehanteerd.

Voor nieuwe hogesnelheidslijnen is alleen een TSI beschikbaar van 25 kV. Voor het bestaande net heeft Europa die ambitie niet (meer) en zijn de andere systemen toegestaan voor snelheden beneden de 200 km per uur. Een belangrijke reden hiervoor zijn de hoge kosten en langdurige ombouwperiode naar met name een 25 kV systeem.

Voor de te maken systeemkeuze TEV in Nederland behoren in beginsel dan ook alle vier de alternatieven tot de mogelijkheid.

Vergelijking van de alternatieven o.b.v. een multi criteria analyse (MCA)

In de MCA zijn de alternatieve systemen kwalitatief beschreven en getoetst op een aantal beoordelingscriteria (zie tabel in de bijlage). Aanvullend op de vier genoemde alternatieven, is ook een alternatief opgenomen van het huidige systeem, namelijk 1,5kV, 5kA (in Nederland geldt nu een maximale waarde van 4kA). Dit alternatief is toegevoegd om te toetsen of zonder systeemwijziging en met beperkte aanpassingen (en mogelijk lagere migratiekosten), de beoogde capaciteits- en duurzaamheidswinsten behaald kunnen worden.

Hieronder zijn de belangrijkste bevindingen uit de MCA samengevat.

[1] Conform de Europese Technische standaarden (TSI)

1. *Handhaven huidige TEV-systeem 1,5 kV 4kA blijft mogelijk, energiebesparing en capaciteitsvergroting moeilijker te realiseren*

Vanuit de Europese regelgeving is er geen verplichting om te migreren naar een ander TEV-systeem. Interoperabiliteit met de rest van Europa en specifiek onze buurlanden is onvoldoende reden voor migratie, omdat internationaal en goederenmaterieel standaard multi-courant is.

Belangrijkste nadelen van het huidige systeem zitten in het energieverlies en beperking van de spoorcapaciteit. De ambities van de spoorsector op het gebied van duurzaamheid worden daarmee lastiger te realiseren. De beperking van de spoorcapaciteit leidt op korte termijn niet tot (grote) problemen. Met 1,5 kV is ook de vervoersomvang van PHS te realiseren met reeds voorziene extra investeringen (ca. €100 miljoen). In lopend onderzoek wordt bepaald of 1,5kV (al dan niet met extra investeringen in de onderstations) volstaat om de groeiprognoses vanuit het Toekomstbeeld OV 2040 te kunnen realiseren.

2. *TEV-systeem 1,5kV 5kA maakt beperkte capaciteitsvergroting mogelijk tegen relatief hoge kosten en met meer energieverlies*

Het alternatief 1,5kV 5kA is minder energie-efficiënt (meer transportverlies) dan het huidige TEV-systeem. Wel biedt het extra vermogen (25%) mogelijkheid voor sneller optrekken (ordegrootte enkele seconden). De te behalen capaciteitswinst is daarmee (aanzienlijk) minder groot dan bij de migratie naar 3kV of hoger (aanzetwinst ordegrootte 20 seconden). De kosten voor de ombouw vraagt om nader onderzoek, de schatting loopt uiteen van tientallen tot honderden miljoenen. De kosten voor de instandhouding en exploitatie zullen stijgen vanwege een toename van het energie transportverlies en hogere beheer- en onderhoudskosten vanwege een zwaardere belasting van de componenten van het spoor.

3. *Een 3kV, 15kV of 25kV TEV-systeem is energie-efficienter en biedt meer spoorcapaciteit*

Een nieuw TEV-systeem (3kV, 15kV of 25kV) is energie-efficiënter en daarmee duurzamer dan het huidige 1,5kV systeem. Daarnaast maakt een nieuw TEV-systeem het mogelijk dat daarvoor ontworpen treinen sneller kunnen optrekken en zijn hogere snelheden haalbaar (> 180 km/uur) dan met het huidige 1,5 kV systeem. De bovenleiding en de baan dienen hiervoor dan wel geschikt gemaakt te worden.

De te verwachten efficiëntievoordelen en capaciteitswinst van de drie verschillende alternatieve TEV-systemen zijn vergelijkbaar.

4. *Migratie naar 15kV of 25kV heeft t.o.v. 3kV nauwelijks extra baten tegen veel hogere extra kosten*

Voor migratie naar 15kV en 25 kV zal de bovenleiding vervangen moeten worden. Dit vereist een miljardeninvestering. Daarnaast zal ook aanpassing nodig zijn van bouwwerken direct rondom het spoor zoals viaducten en overkappingen en/of het verlagen van de baan (hoeveel en de benodigde investering is nog onbekend). Bovendien kunnen bij de vervanging van de bovenleiding geen treinen rijden en zal dit langdurig tot (zeer) grote hinder leiden.

Voor migratie naar 3kV is vervanging van de bovenleiding niet noodzakelijk. Wel zal de energietoevoer aangepast moeten worden door vervanging van de onderstations. De hinder is hierdoor beperkter dan bij de vervangingsopgave die voor 15kV en 25kV noodzakelijk is. De ombouwkosten van de infrastructuur en treinen worden geschat op circa €1,3 miljard.

Voorlopige conclusie

Op basis van de kwalitatieve MCA zijn de voorlopige conclusies te trekken:

- De capaciteits- en energiebaten die zijn te behalen met 15kV en 25kV zijn in de verdichte en verknoopte Nederlandse spoorweginfrastructuur vergelijkbaar met 3kV. De kosten voor de migratie naar 15kV en 25kV zijn echter vele malen hoger dan de migratie naar 3kV. Bovendien vereist de migratie naar 15kV en 25kV een lange ombouwperiode met veel hinder voor treinverkeer tot gevolg. Migratie naar 15kV en 25kV heeft

dus nauwelijks meerwaarde ten opzichte van 3kV tegen een slechtere kosten-baten-verhouding. Dit waren in december 2011 voor ProRail ook redenen om in Nederland te staken met het 25kV voorbereid bouwen.

- De baten die zijn te behalen met het alternatief 1,5 kV 5 kA zijn beperkt tegen relatief hoge kosten. De verwachting is dat de kosten-baten verhouding van dit alternatief op landelijk niveau ongunstig is. Op regioniveau biedt 1,5kV 5 kA mogelijk een betere kosten-baten-verhouding. Het advies is om dit alternatief als regionale optimalisatie van 1,5kV nader te onderzoeken binnen het programma STEV.

Voorstel is om in de vervolgstudies het huidige systeem (en de optimalisatie daarvan op regioniveau) en de migratie naar 3kV als kansrijke alternatieven verder te onderzoeken en de andere alternatieven (15kV en 25kV) buiten beschouwing te laten.

Bijlage overzichtstabel met beoordelingsaspecten

Beoordelings-criteria	1,5 kV 4 kA (huidig)	1,5 kV 5 kA	3 kV	15 kV	25 kV
Financiele kosten					
Investeringskosten inclusief ombouw kosten	250 miljoen euro aan TEV infra onderstations geraamd voor PHS, MLT opgave. Geen ombouwkosten voor treinen en TEV infra.	250 miljoen euro aan TEV infra onderstations geraamd voor PHS, MLT opgave Schatting infra ombouwkosten naar 5 kA: tientallen tot honderden mio. Trein ombouwkosten aanzienlijk lager dan bij 3 kV	Ca. 1300 mio. Waarvan circa 370 miljoen euro voor infra, 695-940 miljoen voor ombouw materieel NS en 65 miljoen voor ombouw materieel overige vervoerders. Bron; MKBA 2018	Minimaal 4 miljard voor alleen vervanging bovenleiding en onderstations. Daarnaast hoge kosten (nntb) voor aanpassing kunstwerken (o.a. viaducten, tunnels). Investeringen noodzakelijk vanwege andere frequentie van de spanning Treinombouw kosten aanzienlijk groter dan 3 kV	Minimaal 4 miljard voor alleen vervanging bovenleiding en onderstations. Daarnaast hoge kosten (nntb) voor aanpassing kunstwerken (o.a. viaducten, tunnels). Treinombouw kosten per trein vergelijkbaar met 15kV, totale kosten lager vanwege HSL geschikte treinen
Instandhouding	Gelijkblijvend	Hoger Meer en snellere vervanging van componenten	Iets lager Evenveel of iets minder componenten en onderstations te onderhouden	Lager Indien hoogspanningsnet bij netbeheerder blijft	Lager
Risico's	**1,5 kV 4 kA (huidig)**	**1,5 kV 5 kA**	**3 kV**	**15 kV**	**25 kV**
Hinder / transitie impact op operatie	Geen	Geen tot minimaal	Ombouwen van onderstations kan zonder operatie impact. Omschakelen naar 3 kV heeft impact op operatie: weekend per om te schakelen gebied en tijdelijk spanningsluizen tussen gebieden Bron migratie 2018	Gehele bovenleiding moet vervangen worden. Langdurige impact op operatie per baanvak.	Gehele bovenleiding moet vervangen worden. Langdurige impact op operatie per baanvak.
Interface met Treinbeveiliging	Huidige systemen zijn compatibel.	Nader onderzoek nodig	Nader onderzoek nodig, maar	ATB functioneert niet	ATB functioneert niet

		ATB trein-beveiligingdetectie niet ontworpen op stroomwaarden van 5 kA. Met name kabels en railspoelen. Optie is wachten totdat ERTMS is uitgerold.	waarschijnlijk compatibel. Voor huidige ATB systeem zijn de lagere stromen zelfs een voordeel vanuit infra bezien. Vanuit treinen n.t.b.	Vervanging naar ERTMS is aan de orde	Vervanging naar ERTMS is aan de orde
Interface met baan	Geen aanpassingen te verwachten	Geen aanpassingen te verwachten	Bicourante treinen zijn zwaarder. IC's zullen naar verwachting de huidige normen voor aslasten (20 ton) overschrijden. nog onbekend welke kosten hiermee gemoeid zijn.	Bicourante treinen zijn zwaarder en IC's zullen naar verwachting de huidige normen voor aslasten (20 ton) overschrijden. nog onbekend welke kosten hiermee gemoeid zijn.	Bicourante treinen zijn zwaarder en dubbeldeks IC's zullen naar verwachting de huidige normen voor aslasten (20 ton) overschrijden. nog onbekend welke kosten hiermee gemoeid zijn.
Baten	**1,5 kV 4 kA (huidig)**	**1,5 kV 5 kA**	**3 kV**	**15 kV**	**25 kV**
Energie efficiëntie en duurzaamheid	8-9% geschat energie transportverlies Recuperatie potentie (terugwinnen van energie) is beperkt	>10% geschat energie transportverlies Recuperatie potentie is beperkt.	4-5% geschat energie transportverlies Door verbeterde recuperatie 13.5% minder energieverbuik	4% geschat energie transport verlies Recuperatie potentie vergelijkbaar met 3kV	4% geschat energie transport verlies Recuperatie potentie vergelijkbaar met 3kV
Toekomstvastheid energie	Blijvend maatwerk via bijbouwen van onderstations	Energie efficiency verlaagt waardoor het bijbouwen van onderstations nodig blijft indien er sprake zal zijn van vervoersgroei.	Meer energie capaciteit in onderstations aanwezig voor verdere vervoergroei.	Lijkt zeer toekomstvast voor heavy rail, genoemde voordelen bij 3 kV zijn hier nog sterker aanwezig.	Lijkt zeer toekomstvast voor heavy rail, genoemde voordelen bij 3 kV zijn hier nog sterker aanwezig.
Rijtijdwinst en maximum snelheid NB: rijtijdwinst bij sprinters leidt tot potentie voor capaciteitswinst.	Geen winst bij aanzet te behalen. Maximum snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra: tot 180km/u	Snellere aanzet mogelijk, ordegrootte enkele seconden Maximum snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra: tot 200/u afhankelijk	Snellere aanzet mogelijk, ordegrootte 20 seconden Maximum snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra: tot	Snellere aanzet mogelijk, ordegrootte 20 seconden Maximum snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra: tot	Snellere aanzet mogelijk, ordegrootte 20 seconden Maximum snelheid van enkeldeks IC op geschikte infra: tot

	afhankelijk van de samenstelling.	van de samenstelling.	200/u in elke samenstelling	200/u in elke samenstelling	200/u in elke samenstelling
Interoperabiliteit	Niet interoperabel met buurlanden	Niet interoperabel met buurlanden	Interoperabel met België	Interoperabel met Duitsland	Niet interoperabel met buurlanden 25kV is 'doelsysteem' van TSI , maar niet verplicht voor niet-HSL-lijnen

3. Memo goederenvervoerders

11 november 2021

Nota over visie spoorgoederenvervoerders op toekomstige tractie-energievoorziening
Spoorgoederenvervoer prefereert stapsgewijze en corridorgewijze migratie naar 25 kV wisselstroom, in lijn met de ombouw van ATB naar ERTMS

Auteurs: Bescherming persoonlijke levenssfeer (RailGood) en Bescherming persoonlijke levenssfeer (DB Cargo Nederland)

Afgestemd met: Bescherming persoonlijke levenssfeer (Captrain), Bescherming persoonlijke levenssfeer (SBB Cargo Nederland), Bescherming persoon (Rail_Force One), Bescherming persoon (Alstom Maintenance), Bescherming persoonlijke levenssfe (LTE), Bescherming persoonlijke levenssfeer (RRF),

Gereviewd door: Bescherming persoonlijke leve (ProRail), Bescherming persoonlijke levenssfe (ProRail) en Bescherming persoonlijke levenssfeer (ProRail)

In opdracht van Bescherming persoonlijke levenss vanuit programma Systeemkeuze Tractie Energievoorziening (STEV) ProRail

Datum: 11 november 2021
Versie: definitief

1. Inleiding

Bij het ontwikkelen van het toekomstige spoornetwerk ziet het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) technische systeemsprongen voor beveiliging, tractie- en energievoorziening als één van de drie mogelijke knoppen die van belang zijn om de capaciteit van bestaande infra verder te vergroten en snelheden te verhogen[1]. De tractie-energievoorziening is een relevant onderdeel van een robuust en toekomstbestendig spoorsysteem. Hierin past een systeemkeuze, zoals het stapsgewijs en vervangen van het huidige 1,5kV-systeem in Nederland door bijvoorbeeld 25kV of 3kV.

Het initiële uitgangspunt van IenW voor de doorontwikkeling van de tractie- en energievoorziening (TEV) op het spoor, waaronder de optie van het mogelijk overschakelen naar 3kV, was dat een mogelijke investering in het overschakelen naar 3kV zich vooral zou terugbetalen in energiebesparing. Daarbij zou voorfinanciering vanuit het Rijk volstaan voor bekostiging van de omschakeling. Uit analyse van IenW en ProRail is echter gebleken dat de maatschappelijke baten van 3kV met name te vinden zijn in een grotere capaciteit op het spoor en reistijdwinst voor reizigers/reizigersvervoerders. Er is zeer waarschijnlijk een Rijksbijdrage nodig die IenW niet had voorzien. De capaciteitswinst op het spoor wordt door IenW centraal gesteld bij de vervolgstappen, waarbij verschillende invullingen op het gebied van TEV worden geanalyseerd op de bijdrage aan dat doel. Samen met ProRail en zowel de reizigers- als goederenvervoerders wordt daarom nader onderzoek gedaan. Daarbij staat voor IenW en ProRail de spoorcapaciteitsbehoefte op de langere termijn centraal en wordt onderzocht welk TEV-alternatief daarbij het beste past. Omdat dit vraagstuk sterk samenhangt met de ambities en maatregelen uit het Toekomstbeeld OV 2040, is voor de verdere uitwerking de ontwikkelagenda van Toekomstbeeld OV 2040 het kader waarbinnen een kabinetsbesluit hierover beslag krijgt. Ook de marktvisie ambitienetwerk spoorgoederen uit 2020 en het nog te ontwikkelen toekomstbeeld spoorgoederenvervoer moet daarbij integraal worden betrokken. Om het vraagstuk goed in kaart te brengen, inclusief de belangen van de stakeholders in het vervoer en hun klanten, loopt momenteel een onderzoek van het IenW en ProRail in samenwerking met de stakeholders in het reizigers- en goederenvervoer. Oplossingsrichtingen van dit vraagstuk moeten aansluiten op de doelen en het beleid zoals vastgelegd in het maatregelenpakket spoorgoederenvervoer van 19 juni 2018, de EU Green Deal en het EU-beleid om te komen tot een Single European Railway Area met een interoperabele spoorweginfrastructuur in de Europese Unie. IenW heeft € 15 miljoen gereserveerd voor verdere voorbereidende stappen. Deze nota van de spoorgoederenvervoerders in samenwerking met de goederenverkeersspecialisten van ProRail beschrijft de visie van spoorgoederenvervoersector op de doorontwikkeling van de tractie- en energievoorziening (TEV) op het spoor.

[1] Ontwikkelagenda toekomstbeeld OV, Drie knoppen voor capaciteit op het netwerk, pagina 17, januari 2021

2. Huidige situatie

Op weg naar één Europees Spoorwegsysteem. EU Commissaris voor Vervoer Bulc (2014-2019): "*…Member states must now act swiftly and implement the new rules to create a real interoperable rail network that will make rail more attractive, more reliable and competitive and at the same time reduce costs for Europe wide railway services*."[2]

Ook de Europese Raad heeft deze conclusies recent onderschreven: "*…Daarom moet in de interoperabiliteit en connectiviteit van verschillende systemen geïnvesteerd blijven worden.*"[3]

Spoorgoederenvervoer in Nederland is voor 90% internationaal. Daarmee heeft de spoorgoederensector een immens belang bij een systeem dat aansluit bij het Europese achterland.

In de huidige situatie bestaat Europa uit een lappendeken van spoorwegtechnische systemen. In deze lappendeken, is het in Nederland toepaste systeem van 1500 Volt gelijkstroom een uitzondering. Buiten Nederland en delen van Frankrijk wordt deze techniek niet toegepast. Naast het 1500 Volt systeem op het gemengde net is de Betuweroute (Havenspoorlijn en A15-tracé, exclusief Kijfhoek) van 25kV wisselstoom voorzien, net als de HSL-Zuid.

Om elektrisch een goederentrein van bijvoorbeeld de Rotterdamse haven naar het Duitse achterland te kunnen rijden, is een multi-courante locomotief noodzakelijk (zie de voorbeelden in de tabel hieronder, welke voor de locomotieftypen niet volledig is). Multi-courante locomotieven zijn in de aanschaf of lease en operationeel substantieel duurder dan bi- of mono-courante locomotieven. Dit komt doordat in een multi-courante locomotief een AC[4]- en DC-locomotief 'gecombineerd' zijn. Het gaat daarbij om ordegrootte €10.000 tot €15.000 per locomotief per maand. Ook toont de praktijk aan dat multi-courante locomotieven storingsgevoeliger zijn.

Soort	Voorbeeld	Gelijkstroom		Wisselstroom	
		1500 Volt	3 kV	15 kV	25 kV
Mono-courant	NS 1600	√	X	X	X
	BR 151	X	X	√	X
Bi-courant	TRAXX F140 AC (BR185)	X	X	√	√
Multi-courant	TRAXX F140 MS (BR186)	√	√	√	√
	ES 64 F4 (BR 189)3	√	√	√	√

Tabel: soorten locomotieven (niet uitputtend)

Momenteel zijn er 589 long haul elektrische locomotieven in Nederland actief en 40 short haul elektrische locomotieven. Door de ERTMS uitrol is er een vervangingsnoodzaak van deze short haul locomotieven. Er zijn nu verder 64 long haul diesellocomotieven operationeel in Nederland. De ERTMS uitrol kan bij 22 van deze laatste categorie locomotieven een vervangingsnoodzaak veroorzaken. De markt is de komende jaren door de ERTMS uitrol in Nederland genoodzaakt kostbare en veelal nog niet rendabele investeringen te doen in upgrade, retrofit en vervanging van locomotieven. Gegeven deze investeringen, heeft de markt daarom behoefte aan duidelijkheid over de spoorweg-technische systemen in Nederland op middellange en lange termijn.

[2] Bron: European Commissie, Single European Railway Area, mei 2019 (via ec.europa.eu\rail\news)
[3] Bron: Europese Raad, EU werkt voort aan één Europese spoorwegruimte, juni 2021 (via consilium.europa.eu)
[4] AC = alternating current oftewel wisselstroom. Wisselstroom is de tegenhanger van gelijkstroom, DC (direct current).

3. De keuze voor 25 kV 50 Hz

Op het moment dat er een systeemsprong gemaakt wordt, is vanuit het oogpunt van het spoorgoederenvervoer een stap naar een systeem van wisselspanning het meest logisch. Ongeveer 80% van het goederenverkeer in Nederland passeert de Nederlands-Duitse grens. Duitsland gebruikt weliswaar 15 kV wisselstroom, maar deze heeft een afwijkende frequentie van 15 kV 16,7 Hz-systeem, welke niet op een goedkope en eenvoudige manier uit het commerciële net kan worden 'omgebouwd' omdat het internationale net werkt met 50 Hz. Ook Zwitserland, Oostenrijk en Zweden hebben 15 kV.

Omdat goederenvervoerders in Duitsland afhankelijk zijn van één stroomaanbieder (DB Energie) en voor de generatie van 15 kV afwijkende en duurdere technieken worden gebruikt, heeft bij omschakeling naar wisselstroom 25 kV de voorkeur. Vervoerders hebben dan vrije keuze uit energieleveranciers, wat leidt tot lagere tarieven.

In een locomotief is het technisch eenvoudiger en economisch aanmerkelijk goedkoper om zowel 15kV als 25kV wisselstroom mogelijk te maken dan een combinatie van wisselstroom en gelijkstroom.

25 kV wisselspanning is al in gebruik op de HSL-Zuid en Betuweroute. ProRail voorziet nieuwe trajecten, zoals al is gebeurd op de Hanzelijn en de vier sporen tussen Utrecht en Amsterdam van een bovenleidingconstructie die is voorbereid voor een eventuele overgang naar 25 kV.

25 kV elektrificatie is ideaal voor spoorwegen waarover lange afstandsvervoer plaatsheeft dan wel waarover intensief en zwaar verkeer wordt afgewikkeld. Spoorwegelektrificatie met 25 kV, 50 Hz AC is een algemene internationale standaard geworden. Er zijn twee hoofdnormen die de spanningen van het systeem definiëren:

- EN 50163:2004+A1:2007 - Spoorwegtoepassingen. Voedingsspanningen van tractiesystemen. British Standards Institution (januari 2005),
- IEC 60850 - Spoorwegtoepassingen. Voedingsspanningen van tractiesystemen.

Dit systeem maakt ook deel uit van de trans-Europese interoperabiliteitsnormen voor spoorwegen van de Europese Unie: 1996/48/EG Interoperabiliteit van het trans-Europese hogesnelheidsspoorwegsysteem en 2001/16/EG Interoperabiliteit van het trans-Europese conventionele spoorwegsysteem.

De overstap naar 25 kV 50 Hz heeft voor goederenvervoerders belangrijke voordelen:

- Op het moment dat meerdere corridors, inclusief omrijdroutes, in Nederland van begin tot eind geheel zijn uitgerust met dit systeem, kunnen goederenvervoerder goedkopere bi-courante locomotieven inzetten en is er een groter locomotievenaanbod op de Nederlandse markt. Dat werkt gunstig uit op de kosten van locomotieven.
- Met 25 kV corridors van en naar Duitsland wordt het Nederlandse spoornet en daarmee de Nederlandse markt makkelijker toegankelijk voor nieuwe toetreders. Een betere markttoegang is goed voor de marktwerking en de concurrerende bereikbaarheid van de Nederlandse havens, terminals, industrie en handelsbedrijven. Dit bevordert groei van vervoervolumes op het Nederlandse spoor.
- Onder 25 kV heeft een locomotief meer vermogen, waardoor meer wagens en ladingvolume kunnen worden getrokken door één locomotief. Een hogere productiviteit leidt tot lagere kosten per ton lading of container/trailer. Lagere tarieven leiden in de prijsgevoelige goederenvervoermarkt tot een hoger marktaandeel van het goederenvervoer per spoor en dus ook modal shift.
- Met 25 kV is het energieverbruik lager dan bij 1,5 kV en 3 kV. Een wisselspanningsbovenleidingnet heeft daarbij een significant lager transportverlies dan een gelijkstroomsysteem: ongeveer 3 % t.o.v. minstens 10% bij het huidige 1500 V DC-systeem.
- Daarnaast gaat terug leveren van elektriciteit aan het net met 25kV beter.
- Schakelen tussen gelijkstroom en wisselstroom is storingsgevoelig. Tussen wisselstroom en wisselstroom is dat niet het geval. Dit werkt positief uit op de betrouwbaarheid van de uitvoering van de treindienst in het algemeen. Bi-courante locomotieven voor wisselstroom zijn daarnaast minder storingsgevoelig bij de overgang van het ene naar het andere systeem. Dat reduceert operationele faalkosten en verhoogt de betrouwbaarheid van de treindienst.
- Goederentreinen kunnen met 25 kV sneller optrekken, hetgeen een positief effect heeft op de capaciteit van spoorlijnen met gemengd gebruik waarop ook intensief reizigersverkeer wordt uitgevoerd.

Bovenstaande leidt tot lagere kosten voor de goederenvervoerders. Dit is gunstig voor de concurrentiepositie van het spoorgoederenvervoer t.o.v. andere modaliteiten en logistieke ketens per spoor via omringende landen (havens en inland terminals). Kostenbesparingen resulteren in de zeer competitieve goederenvervoersmarkt in lagere transportprijzen voor verladers en dus een groter marktaandeel van het goederenvervoer per spoor en dus modal shift. Dit past goed bij de duurzaamheidsdoelstellingen van de EU, waarin modal shift van weg naar spoor een belangrijk middel is om de CO2-uitstoot te verminderen. De Europese Commissie wil in de periode tot 2050 75% van het transport van de weg verplaatsen naar het spoor en water[5].

Voorwaarde om de hiervoor genoemde voordelen echt te kunnen incasseren, is dat de uitrol van 25 kV corridorgewijs plaatsheeft en gelijke tred houdt met de overschakeling van ATB naar ERTMS. Dit brengt het doel van het EU-beleid voor het spoorwegvervoer om één Europese spoorwegruimte (SERA) te realiseren dichterbij. Daartoe is ook een volledig interoperabel ERTMS in de EU nodig, in ieder geval in Nederland en Duitsland. Spoorwegtechnisch gezien kunnen 25kV (en ook 15kV) i.v.m. retourstroom niet worden gecombineerd met ATB, maar wel met ERTMS. ATB EG gebruikt de spoorstaaf als elektrische geleider voor de beveiliging, terwijl de spoorstaaf ook wordt gebruikt voor retourstroom van de tractie. Bij 25 kV worden de kleine stroomlopen door de spoorstaven die informatie over de seinbeelden doorgeven verstoord. ERTMS werkt met zogenaamde (euro)balises (transponders die zijn aangebracht tussen de spoorstaven va een spoorweg), waarmee door middel van radiocontact de benodigde informatie wordt doorgegeven.

Voordeel van de koppeling aan de invoering van ERTMS is dat slechts één keer een kostbaar investeringsprogramma hoeft te worden uitgevoerd voor upgrade, retrofit en vervanging van goederenlocomotieven (en internationale reizigerstreinen). Door de migratie corridorgewijs te doen, is een uitgekiende fasering mogelijk van de upgrade, retrofit en vervanging van de locomotieven en treinen in combinatie met de upgrade van de infra door vervanging van 1,5kV door 25 kV. De voorkeur heeft het te starten met de internationale goederencorridors in combinatie met de meest intensief bereden lijnvoeringen voor openbaar reizigersvervoer op het gemengde net.

Er zijn voorlopig nog voldoende locomotieven met (ook) 1500 Volt beschikbaar tijdens de ombouw naar 25 kV. Die ombouw zal niet in één klap kunnen worden gerealiseerd. Ook dat pleit voor een koppeling met de migratie naar ERTMS.

Een deel van het binnenlands reizigersvervoer heeft overigens ook baat bij 25 kV. Op de HSL-Zuid kost omschakelen van 1500V naar 25kV tijd en levert het storingen en strandingen op. Bij Zevenbergschenhoek Aansluiting naar de HSL kan bijvoorbeeld pas na ongeveer 7 kilometer weer tractie worden gegeven. Dit op een tracélengte van 23 kilometer. De snelheid is dan al flink afgenomen door de fly-over en viaduct over de lijn Roosendaal – Lage Zwaluwe. Andere EU-landen kiezen ook voor 25 kV op spoorlijnen waarop reizigerstreinen met hoge(re) snelheden rijden.

Voor grotere voedingsafstanden van 25 km tot en met 50 km dan wel grote af te nemen vermogens (tot 25 MW) biedt het autotransformatorsysteem (AT-systeem) voordelen[6]. Uiteraard moet de Nederlandse bovenleiding aan de TSI ENE[7] voldoen.

---

[5] “The European Green Deal calls for a substantial part of the 75% of inland freight carried today by road to shift to rail and inland waterways. Urgent action must therefore be taken given the limited progress achieved to date: by way of example, the modal share of rail in inland freight had dropped to 17.9% by 2018 from 18.3% in 2011”. Bron: https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/2021-mobility-strategy-and-action-plan.pdf

[6] Bron: https://www.infrasite.nl/glossary/tractie-energievoorziening-25kv/?gdpr=accept&gdpr=accept

[7] De technische specificatie over interoperabiliteit (TSI) van het subsysteem "energie – locomotieven en reizigerstreinen" die is vastgesteld bij Verordening (EU) nr. 1301/2014 van de Europese Commissie.

4. Omschakeling naar 3kV onwenselijk

In het geval dat IenW kiest voor een migratie van 1500 V naar 3 kV kunnen de spoorgoederenvervoerders en hun klanten de hiervoor genoemde voordelen niet incasseren. De introductie van een derde tractie-energievoorzieningssysteem in het kleine Nederland draagt zeker niet bij aan het tot stand te brengen van één Europese spoorwegruimte. Dit zou eigenlijk een soort Nexit uit het Single European Railway Area betekenen. Vervoerders zitten dan in Nederland decennialang met de grootste lappendeken van spoorwegtechnische systemen van Europa opgescheept. Deze lappendeken maakt vervoersexploitatie in Nederland onnodig duur, hetgeen slecht is voor de concurrentiepositie van het spoorvervoer ten opzichte van andere vervoerwijzen en de Duitse spoorlogistieke ketens. Op de interfaces tussen de systemen gelijkstroom- en wisselstroomsystemen lopen vervoerders (in tegenstelling tot interfaces tussen wisselstroomsystemen) het risico op storingen en defecten, hetgeen faalkosten en verliezen veroorzaakt bij vervoerders en hun klanten. Dit laatste gaat ook op voor reizigersvervoerders en hun klanten.

Hoewel de spoorwegnetten in een aantal EU-landen, waaronder België, Italië en Polen, voor het grootste deel nu nog zijn voorzien van 3 kV, is 3 kV niet een toekomstvast tractie-energievoorzieningssysteem. De recent geëlektrificeerde en vernieuwde lijnen in België - waaronder alle hoge snelheidslijnen, de internationale spoorlijn lijn 42 Rivage - Gouvy (60 km lengte) en de voor goederenvervoer belangrijke spoorlijn lijn 165 Athus – Meuse (160 km lengte) - zijn uitgerust met 25 kV. Het grotere motorvermogen dat 25 kV mogelijk maakt, was doorslaggevend op deze internationale spoorlijnen die een vlotte en efficiënte doorstroming nodig hebben en waarover veel zware treinen getrokken moeten worden. De in 2021 opgeleverde elektrificatie van de lijn Mol – Hamont is daarentegen wel met 3 kV uitgerust om de aansluiting op de bestaande spoorlijn richting Antwerpen te harmoniseren. Voor zover bekend heeft België geen concreet plan om een algehele systeemsprong van 3 kV naar 25 kV te maken in de nabije toekomst.

IenW en ProRail vragen voor het geval zij toch besluiten stapsgewijs over te schakelen van 1500 V naar 3kV, hoe de goederenvervoerders die migratie dan zien en wat de goederenvervoerders daarvoor ‘nodig hebben’? Zoals hierboven beschreven willen de spoorgoederenvervoerders geen 3 kV op de achterlandverbindingen van en naar Duitsland en ook niet op de binnenlandse achterlandverbindingen, zoals Rotterdamse haven – Chemelot of Rotterdamse haven – multimodaal knooppunt Venlo. Moverende reden hiervoor is dat dit niet bijdraagt aan een toekomstvaste, interoperabele en voor vervoerders concurrerende spoorweginfrastructuur (kosten en betrouwbaarheid). Een migratie van 1500 V naar 3 kV draagt in tegenstelling tot 25 kV niet bij aan de versterking van de concurrentiepositie en rentabiliteit van het spoorgoederenvervoer. Als de Nederlandse regering/IenW en spoorbeheerder, net zoals bij eerdere spoorweginfrastructuurbeslissingen, nationale spoorweg-technische oplossingen aan de spoorgoederensector opleggen, dan moeten de spoorgoederenvervoerders volledig worden gecompenseerd voor de onrendabele top van de extra *capital expenditures* en *operational expenditures* die dit voor de goederenvervoerders met zich meebrengt. Ook zullen de spoorgoederenvervoerders en hun klanten moeten worden gecompenseerd voor de faalkosten die verstoringen op de interfaces van de lappendeken van Nederlandse spoorweg-technische systemen gegarandeerd gaan ontstaan. Het vervangen van 3kV levert het spoorgoederenvervoer in Nederland naar verwachting geen positieve business case c.q. geen positief return in investment op.
Verder levert de overweging van IenW om 3 kV in Nederland te gaan implementeren extra onzekerheden en risico’s op voor investeringen in ombouw en nieuwe locomotieven die noodzakelijk zijn door invoering van ERTMS Level 2 Baseline 3 in Nederland. Het Programmabeslissing ERTMS was door IenW en ProRail voor het spoorgoederenvervoer reeds slecht doordacht. Weliswaar worden oplossingsrichtingen gezamenlijk onderzocht, maar een concrete oplossing is nog niet in zicht. De mogelijke keuze voor een langdurige transitie van 1500 V naar 3 kV hier bovenop schrikt investeerders in locomotieven af. Dat draagt zeker niet bij aan de tijdige beschikbaarheid van voldoende locomotieven om de door de Nederlandse regering beoogde groei van 50% aan goederenvervoer per spoor in 2030 te bewerkstelligen (exclusief EU Green Deal beleid).

Kortom: de nadelen van een 3kV besluit zijn nu al op hoofdlijnen bekend, evenals waar deze nadelen neerslaan. Tegelijkertijd is bekend dat IenW (en zijn taakorganisatie ProRail) over een periode van 10 tot 20 jaar financieel voordeel hebben van 3 kV uitrol in plaats van 25kV (zie ook paragraaf 7 van deze nota). Of dat over 50 tot 10 jaar ook het geval is, is maar zeer de vraag, ook met oog op de EU Green Deal en de klimaatdoelstellingen. Mocht desondanks toch worden besloten het Nederlandse spoornet te migreren naar 3 kV, dan is het redelijk en billijk dat IenW dat de financiële voordelen oogst de spoorgoederenvervoerders onverkort volledig compenseert voor de onrendabele top van de kapitaalkosten en de operationele kosten

en ook de faalkosten als gevolg van 3 kV en de interfaces met andere systemen (zoals 25 kV op de Betuweroute).

5. Duale systeemsprong als te onderzoeken optie

Mocht de keuze vallen op een omschakeling naar 25 kV (Hz) op een (beperkt) aantal corridors richting Duitsland, dan is 3kV mogelijk te onderzoeken optie voor grensbaanvakken in directe aansluiting op het Belgische spoorwegnet met 3kV. Zaak is dat corridors van/naar Duitsland niet worden geraakt. Dit voorkomt dat 1500 Volt eilanden ontstaan tussen de 25 kV corridors en België. Te denken valt daarbij aan de spoorlijnen Lage Zwaluwe - Roosendaal, Sittard - Visé, Budel – Weert en in Zeeuws-Vlaanderen.

6. Uitzonderingspositie

Bij voorgaande paragrafen moet worden opgemerkt dat één locomotieveneigenaar heeft aangegeven geen systeemsprong te wensen. De elektrische vloot van Railexperts bestaat uitsluitend uit nationale 1500 Volt locomotieven. Het businessmodel van Railexperts is hierop volledig gebaseerd. Een systeemsprong betekent het einde van dit model. De implementatie van ERTMS vanaf 2026/2027 op belangrijke delen van het gemengde net heeft overigens ook al grote implicaties voor dit businessmodel.

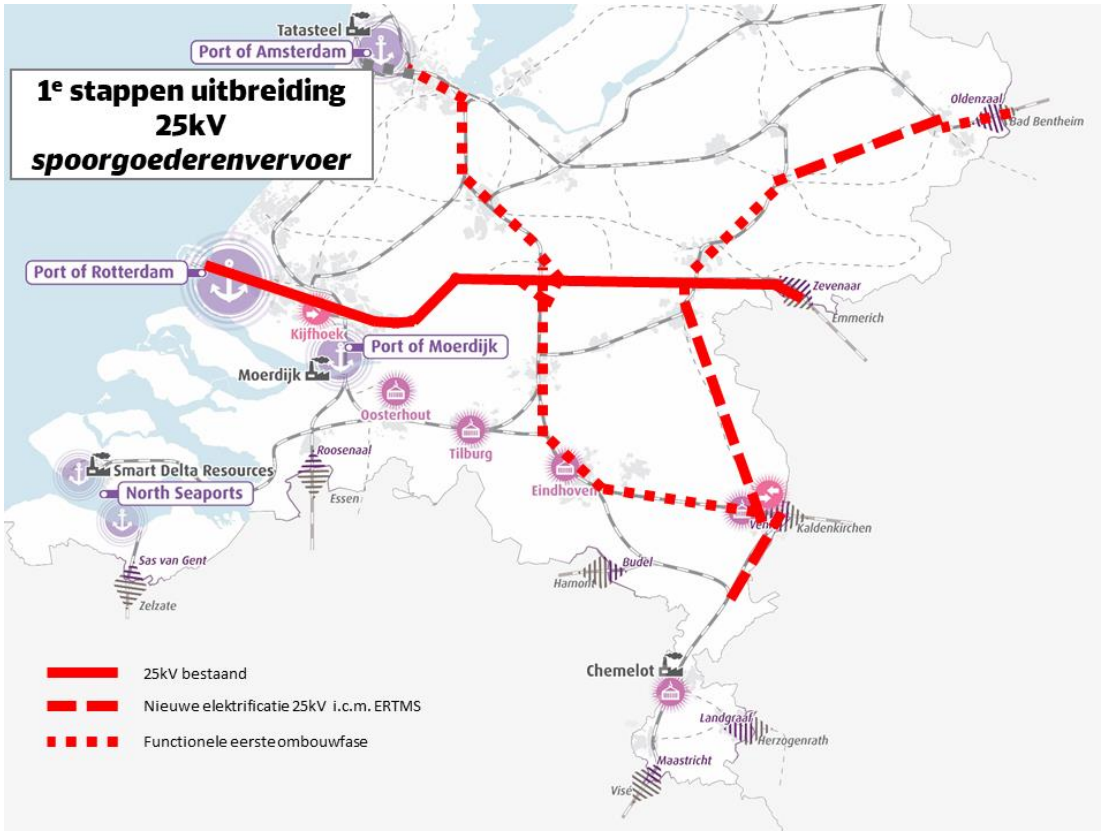
7. Fasering

Een financieel voordeel op de middellange termijn voor het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat van omschakelen van 1500 V naar 3 kV is dat veel materiaal uit de huidige onderstations en overige energie-infrastructuur kunnen worden hergebruikt. Voor spoorlijnen die nu nog niet geëlektrificeerd zijn, maar waarvoor wel plannen voor elektrificatie bestaan, gaat die redenering niet op. Daar maken de robuustheid, het hogere vermogen, het kleinere energieverlies, de lichtere uitvoering en het minder aantal benodigde onderstations 25 kV financieel interessanter, zowel qua investering als qua onderhoud.

Door juist intensief benutte spoorlijnen die aansluiten op de Betuweroute (en de HSL-Zuid) zonder 1500 V eilanden uit te rusten met 25 kV ontstaat de basis voor een toekomstvast, betrouwbaar en kostenefficiënt 25 kV netwerk. Voor een eerste ombouw fase is de A2-corridor die als een aorta met een zeer hoge verkeersintensiteit door Nederland loopt, met aansluitingen op de Betuweroute een logische vervolgstap. Hetzelfde geldt voor de Rotterdam CS/Kijfhoek - Eindhoven – Venlo (Brabantroute).

8. De Maaslijn en knooppunt Venlo

Voor Venlo onderzoekt ProRail de toekomstvaste ontrafeling van een zeer complex goederen- en reizigersknooppunt wat betreft spoorwegtechnische systemen. Het opnieuw vervlechten van 15 kV, 1500 V, ATB EG, ATB NG, INDUSI/PZB en rond 2031 ERTMS is een zeer complexe opgave. Het is niet ondenkbaar dat een eenvoudiger toekomstvaste keuze voor ERTMS plus 25 kV over de hele Maaslijn en knooppunt Venlo, behalve robuuster, ook goedkoper is.



In heuvelachtig terrein is 25 kV van meerwaarde voor het potentiële treingewicht in combinatie met voldoende snelheid. Ook in aansluiting op de Duitse grens is 25 kV een vereenvoudiging van het spoorwegennet.
Voor de onlangs geëlektrificeerde grensovergang Heerlen – Herzogenrath zou 25 kV daarom ook logische keuze zijn.

9. Ook internationaal personenvervoer per spoor heeft baat bij 25 kV

Internationale reizigerstreinen, zoals de Thalys, Eurostar en ICE, maken op dit moment ook gebruik van multi-courant materieel. Corridorgewijze omschakeling van 1500 V naar 25 kV biedt ook de internationale personenvervoerders richting Duitsland de mogelijkheid om op bi-courant materieel over te stappen. De voordelen zijn gelijk aan die voor goederenvervoerders: meer betrouwbaarheid tegen lagere kosten. Ook voor het sinds 2020 geliberaliseerde internationale personenvervoer geldt dat het vervangen van 1500 V door 25 kV de Nederlandse markt beter toegankelijk maakt voor nieuwe toetreders, hetgeen goed is voor de marktwerking op het spoor. Vervoerders kunnen tegen lagere kosten en met een groter aanbod van locomotieven opereren op de commerciële internationale personenvervoermarkt.

10. Voordelen voor binnenlands vervoer?

Voor binnenlands goederen- en reizigersvervoer zijn er ook voordelen van 25 kV uitrol in plaats 3 kV uitrol bij een uitgekiende en corridor-/lijnvoering-gewijze vervanging van 1500 V door 25 kV, zeker op langere termijn. Uitrol van een nieuwe tractie-energiesysteem moet sowieso over een lange termijn worden bezien omdat de complexe logistieke uitdaging van een dergelijke uitrol snel 10 tot 20 jaar tijd in beslag neemt. Voor vervoerders en hun klanten is het altijd qua kosten voordelig geen materieel voor drie tractie-energiesystemen (1500 V, 3 kV en 25 kV) te moeten gebruiken. Stapsgewijs zal er steeds meer met mono-courante 25 kV treinen gereden kunnen worden. De andere voordelen van 25 kV zijn hiervoor al benoemd. De voordelen van 25 kV t.o.v. 3 kV zijn qua energiebesparing (inclusief verliezen in de bovenleiding), sneller optrekken en hogere maximale snelheden) een veelvoud.

11. 25 kV past bij de denkrichting om goederen- en reizigersvervoer deels te ontvlechten in het spoornet van de toekomst

Corridor-denken in combinatie met (deels) ontvlechten goederen- en reizigersvervoer, en daarbij

goederenvervoer afwikkelen via een Noordtak en Zuidtak van de Betuweroute met 25 kV en ERTMS, is een logische strategische vervolgredeneerlijn op voorgaande.

Voor het ontwerp en de spoorwegtechnische outillage van het spoornet van de toekomsten is product-denken (welke producten en diensten levert ProRail aan de markt?) essentieel. Dit ontbrak afgelopen decennia te vaak in het infrastructuurbeleid. Spoorgoederencorridors moeten goed aansluiten bij de spoorgoederenmarkt, nu en in de toekomst. Daarbij moet worden geanticipeerd en ingespeeld op hoe de (goederen)vervoerstromen lopen: goederenherkomsten en -bestemmingen en corridors/routes/lijnvoeringen. Bij infrastructuurbeleid en -investeringen moet steeds rekening gehouden worden met impact op de economische bedrijfsvoering en de concurrentiepositie van het spoorgoederenvervoer. Uitgangspunt moet zijn het faciliteren van een concurrerend spoorgoederenvervoer. Tunnelvisie bij ProRail op een specifieke spoorwegtechniek en minder tunnelvisie bij IenW op infrastructuurkosten moet worden voorkomen. Strategisch moet de infrastructurele basis op orde worden gebracht om de concurrentie met de vrachtwagen, maar ook de logistieke ketens per spoor via het buitenland echt aan te kunnen gaan. Om tot een SERA (Single European Railway Area) met een interoperabele en concurrerende spoorweginfrastructuur waarover veel vervoer(waarde) wordt afgewikkeld te kunnen komen, is een dergelijke strategie noodzakelijk. Daarbij moeten de geleerde lessen van de voor vervoersexploitatie dure Nederlandse lappendeken aan spoorwegtechnische systemen, de kostenverhogende impact van de spoorwegtechnische outillage van de Betuweroute t.o.v. de aansluitende en parallelle spoorlijnen alsmede de programmabeslissing ERTMS (Railmap 4.0) worden toegepast.

Omdat dit vraagstuk ook sterk samenhangt met de ambities en maatregelen die binnen het Toekomstbeeld OV 2040 in onderzoek zijn en het nog op te stellen toekomstbeeld Goederen, ligt het ook in de rede aan te sluiten bij de landelijke netwerkuitwerking spoor. De marktvisie ambitienetwerk spoorgoederenvervoer uit 2020 is daarbij een relevante bouwsteen.

Het is zeer aan te raden, zo niet noodzakelijk, de stip op de horizon te bepalen en een roadmap (cascaderen) met concrete stappen op te stellen over hoe daar te komen. Zorg daarbij dat het niet nog complexer en duurder wordt gemaakt (niet meer systemen maar enkel toewerken naar je eindbeeld/ systeem). Denk ‘end to end’ in corridors en lijnvoeringen.

12. Slotsom

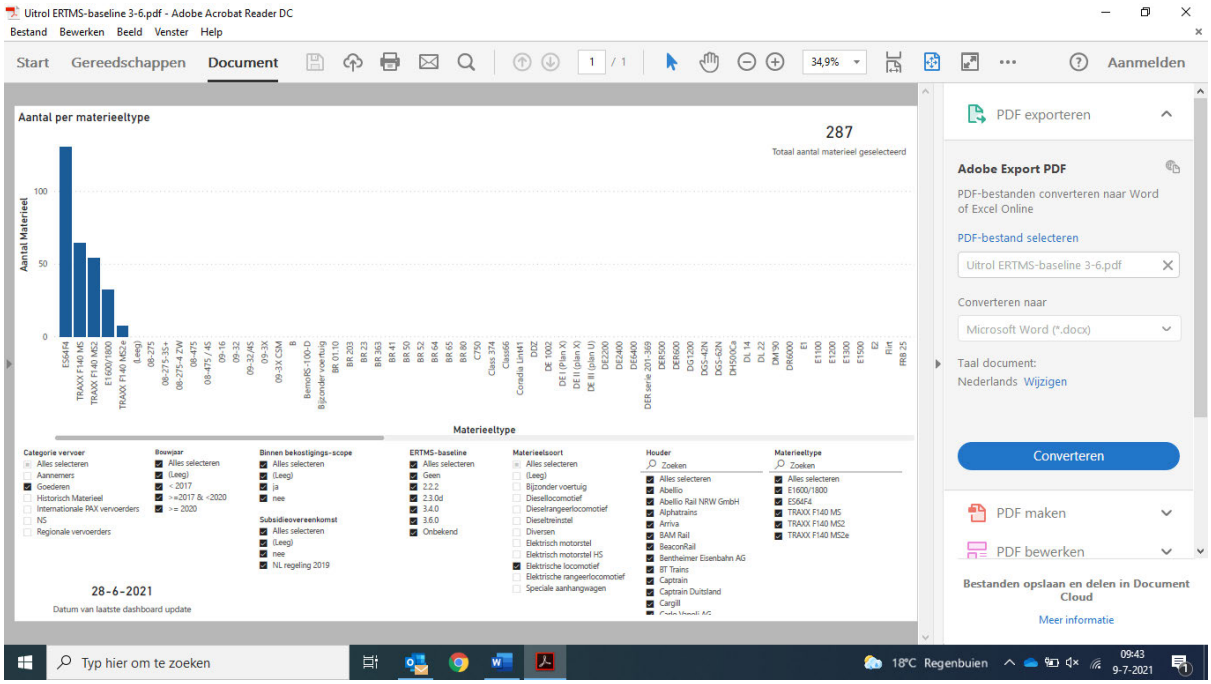
Wellicht zijn de kosten voor de infrastructuur voor 3 kV gelijkstroom lager zijn dan voor 25 kV. Een keuze voor de energievoorziening wordt echter niet voor de korte of middellange termijn gemaakt. Het gaat om een visie op de toekomst van het Nederlandse spoorwegnet en de concurrentiepositie van het spoor(goederen)vervoer, in een brede Europese context. Dat betekent dat er op zijn minst 50 jaar vooruit moet worden gekeken. Op basis van een ambitie en doelen voor de ontwikkeling van het goederen- en personenvervoer per spoor die aansluiten bij de EU Green Deal, moet een roadmap worden opgesteld voor een toekomstvaste en kostenefficiënte tractie-energie voorziening op het Nederlandse spoornet die groei van concurrerend en bedrijfseconomisch gezond goederen- en reizigersvervoer per spoor mogelijk maakt, bij voorkeur net-zero op langere termijn. Voorkomen moet in ieder geval worden dat Nederland zijn spoorwegennet niet, net als bij de treinbeïnvloedingssystemen is gebeurd gedurende decennia, nog verder laat versnipperen met tractie-energievoorzieningssystemen. Bepaal gezamenlijk de stip op de horizon, stel een roadmap op met concrete stappen over hoe daar te komen. Denk in het belang van de vervoerwaarde en een gezonde economische ontwikkeling ‘end to end’ in corridors en lijnvoeringen en bewaak continu de kosten voor de vervoerders en hun klanten van het gebruik van het spoor.

Bijlage: MCA spoorgoederenvervoerders, opgesteld in Workshop juli 2021

Bevindingen MCA Goederenvervoerders Specifiek

Bevindingen	Systeem	Bevindingen Goederen Specifiek
Handhaven blijft mogelijk (systeemwijziging geen verplichting EU) Energie- en capaciteitsbaten moeilijk te realiseren Nader onderzoek nodig of 1,5kV volstaat voor groeiprognoses TBOV	1,5Kv 4kA	-1,5 kV zorgt voor een verhoging van de vervangingsinvesteringen voor locomotieven -DC/AC locomotieven zijn duur en hebben een lagere bedrijfszekerheid -Lagere capaciteit → lagere acceleratie (6 MW) -Recuperatie levert weinig op -Energieleverancierskeuze is niet beperkt
Beperkte capaciteitsbaten. Meer energieverlies. Relatief hoge kosten ombouw . Toenemende kosten instandhouding door zwaardere belasting	1,5kV 5kA	-1,5 kV zorgt voor een verhoging van de vervangingsinvesteringen voor locomotieven -DC/AC locomotieven zijn duur en hebben een lagere bedrijfszekerheid -Lagere capaciteit → lagere acceleratie (6 MW) -Recuperatie levert weinig op -Energieleverancierskeuze is niet beperkt
Meer spoorcapaciteit. Energie efficienter Kosten ombouw onderstations en treinen Hinder operatie beperkt ('weekenden'), tijdelijke spanningssluizen	3kV	-3kV zorgt voor een verhoging van de vervangingsinvesteringen voor locomotieven -DC/AC locomotieven zijn duur en hebben een lagere bedrijfszekerheid -Lagere capaciteit → lagere acceleratie, wel hoger dan bij 1,5 kV (12 MW) -Verdubbeling aan potentie voor recuperatie energie t.o.v. 1,5kV -Kosten tijdens de transitie zijn hoog omdat er gedurende langere periode 3 spanningsniveaus moeten worden aangehouden. Nog meer versnippering → nog meer risico's -Energieleverancierskeuze is niet beperkt
Meer spoorcapaciteit (baten vgl met 3kV) Energie efficienter (baten vgl met 3kV) Kosten ombouw onderstations en treinen + hoge kosten vervanging bovenleiding en aanpassing kunstwerken Langdurige hinder operatie agv grootschalige vervanging	15kV	-Energieleverancierskeuze is beperkt, leid tot hogere energie kosten -Overbrengen van meer vermogen/accelaratie mogelijk → Grotere capaciteit → meer treinen (vergelijkbaar met 25 kV), 25 MW - Recuperatie energie levert mogelijk meer op dan bij 3 kV -Is toekomstvast in het SERA
	25kV	-Overbrengen van meer vermogen/accelaratie mogelijk → Grotere capaciteit → meer treinen, 25 MW -Energieleverancierskeuze is niet beperkt -Recuperatie energie levert mogelijk meer op dan bij 3 kV

Bijlage: Aantal goederenlocomotieven op Nederlandse markt, status juli 2021



4. Memo Federatie Mobiliteitsbedrijven Nederland

1 maart 2022

FEDERATIE MOBILITEITSBEDRIJVEN NEDERLAND

Memo 01 maart 2022: visie FMN op Tractie-Energievoorziening in de Toekomst

ProRail onderzoekt in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat scenario's voor de Tractie-Energievoorziening (TEV) op het Nederlandse spoorwegnet in de (verre) toekomst. Als Federatie Mobiliteitsbedrijven Nederland (FMN) geven we hieronder graag onze visie op TEV in de toekomst.

Duurzame energievoorziening

Het huidige spoorwegnet in Nederland kent nog een aantal niet-geëlektrificeerde baanvakken. Deze liggen op goederenroutes en op de regionale baanvakken. Voordat we ingaan op de toekomstvisie voor het geëlektrificeerde net staan we eerst stil bij deze regionale baanvakken. Vast staat dat het verbranden van diesel niet past in TEV van de toekomst. Dieseltreinen zijn een bron van uitstoot van broeikasgassen hetgeen niet strookt met de klimaatambities in Nederland, Europa en de wereld. Biodiesel (HVO) leidt tot minder uitstoot maar is ook geen oplossing voor de lange termijn. Wij willen graag af van (bio)diesel als brandstof voor onze treinstellen. We zien de volgende mogelijkheden voor TEV op de regionale baanvakken:

-**Het hele baanvak elektrificeren**. Het plaatsen van 'traditionele' bovenleiding is een bewezen techniek. Ook de treinstellen die onder de draad moeten rijden bevatten bewezen techniek. De recente elektrificatie van Zwolle-Kampen en Zwolle-Wierden en de toekomst elektrificatie van de Maaslijn zijn hier voorbeelden van.

-Een **waterstoftrein**. Waterstof is een schone brandstof. In het buitenland rijden de eerste waterstoftreinen rond. Deze rijden echter veelal in dienstregelingen met lage frequenties op baanvakken met relatief lage snelheden. Voor waterstoftreinen in drukke kwartierdiensten met hoge snelheden is nog geen *proof of concept*. Ook staat de waterstof(tank)infrastructuur in Nederland nog in de kinderschoenen.

Afbeelding 1: Lint-treinstel, toegelaten voor rijden op waterstof in

-Een **batterijtrein**. Op treindiensten waarbij de trein al delen onder de bovenleiding rijdt (zoals Arnhem-Doetinchem of Zutphen-Oldenzaal) zou zo zonder verdere (grote) inframaatregelen een duurzaam alternatief voor diesel kunnen worden gecreëerd. De capaciteit van de batterij is wel sterk bepalend voor de mogelijkheden. Als er op de eindpunten onvoldoende laadmogelijkheden zijn om de batterij op te laden en de trein rijdt nog niet over gedeeltes geëlektrificeerd baanvak, kan gekozen worden voor zogenaamde **partiële elektrificatie.** Voordeel van dit partieel elektrificeren is dat dure/ingewikkelde constructies van de bovenleiding in het ontwerp achterwege kunnen blijven (bijvoorbeeld beweegbare bruggen of wissels). De batterijtrein is nog geen bewezen techniek, op dit moment worden de eerste proeven gehouden in Nederland.

De voorkeur voor het diesel-alternatief verschilt per baanvak afhankelijk van de karakteristieken van het baanvak (onder meer aanwezigheid goederenverkeer, frequenties, maximumsnelheden, stationnementstijden, reeds geëlektrificeerde gedeelte). Graag gaan we, in zover dat nog niet het geval is – gelukkig vinden al veel studies en gesprekken plaats – met ProRail, IenW en de decentrale overheden in gesprek over (de financiering van) het alternatief voor diesel.

Systeemsprong in klassieke bovenleiding

In de regionale concessies rijden we naast dieseltreinen ook elektrische treinen die hun energie van de bovenleiding (1.500V DC) halen. Het huidige net zit aan zijn grenzen. Onderstations en schakelstations zijn verouderd of de capaciteit is niet toereikend voor extra, snellere of zwaardere treinen. Met een hoger voltage op de bovenleiding kan er meer stroomcapaciteit worden geboden voor het groeiende treinverkeer. Daarnaast vermindert het nu aanwezige spanningsverlies. Wij pleiten er daarom voor om de systeemsprong te maken naar 3.000 V. Die sprong kent de voordelen dat er meer treinen kunnen rijden (korter op elkaar), hogere snelheden mogelijk zijn en dat bestaande treinen sneller kunnen optrekken. Voor regionale treinen met meerdere haltes biedt dat kansen. Deze sprong zal dan wel bezien moeten worden in relatie met de aanwezige infrastructuur. Op enkelsporige baanvakken zal wellicht extra dubbelspoor moeten worden aangelegd om optimaal van het snel optrekken te kunnen profiteren.

Afbeelding 2: detail van het bovenleidingssysteem

Het toepassen van 3kV heeft ten opzichte van 15kV of 25kV het voordeel dat de bestaande kunstwerken niet aangepast hoeven te worden. De voordelen van 15Kv of 25kV voor regionale treinen ten opzichte van 3kV zijn daarnaast zeer gering. Uiteraard vergt de systeemsprong naar 3kV ook aanpassingen in het materieel. Het materieel zal grotendeels bicourant moeten worden gemaakt omdat er een lange periode zal ontstaan van het naast elkaar bestaan van 1,5kV en 3kV. Een van de regionale baanvakken die (partieel) geëlektrificeerd gaat worden zou als *early deployment line* kunnen dienen voor 3kV. Op de (ultra)lange termijn wordt 15kV of de Europese standaard 25kV wel interessant vanuit de Europese harmonisatiedoelstelling. Hoe meer landen overgaan tot 25kV des te groter is het aanbod rollend materieel en des te eenvoudiger (door de uitrol van ERTMS) het wordt om grensoverschrijdend verkeer mogelijk te maken. Daarom onderschrijven we de noodzaak TEV van de toekomst breed te onderzoeken om zo ook de opties voor de lange termijn goed in beeld te krijgen.

5. Memo Universiteit Twente en de TU Delft

1 december 2021

UNIVERSITEIT TWENTE. TU Delft

Visie tractie energievoorziening op het Nederlandse spoornet

[redacted] Bescherming persoon[1] en [redacted] Bescherming persoon[2]

1 december 2021

Reeds geruime tijd is 1,5 kV de standaard van de tractie energievoorziening (TEV) op het Nederlandse spoor. Deze lage spanning en hoge vermogens (tot 4.500 kW) leidt tot hoge stromen en dus tot hoge Ohmse (warmte)verliezen in de bovenleiding tot tientallen procenten. Tot op heden worden de nadelen beperkt doordat ProRail bij de toenemende treindichtheid onderstations bijbouwt. Ook is de "nullast spanning" van onderstations verhoogd tot een waarde van rond de 1.850 Volt. ProRail heeft sinds 2011 geïnvesteerd in de uitbreiding en vernieuwing van 13 onderstations plus 6 nieuwe onderstations voor de elektrificatie van lijnen die nog niet waren geëlektrificeerd.

Met diverse programma's in de ontwikkeling van de dienstregeling wordt de energievoorziening steeds zwaarder belast:

- Langere treinen.
- Treinen met hogere snelheid: ICNG tot 200 km/h.
- Snelheidsverhoging op het conventionele net tot 160/180 km/h.
- Hogere vermogens om ook snel te kunnen optrekken: het specifieke vermogen van nieuwe treinstellen is hoger dan dat van de oude (1.280 kW voor SGM tegen 2.200 kW voor de Flirt).
- Meer treinen: denk aan PHS met iedere tien minuten een intercity tussen Amsterdam en Eindhoven en inmiddels ook Nijmegen/Arnhem-Schiphol-Rotterdam.

Bij dergelijke programma's behoren ook flankerende maatregelen in de infrastructuur, zoals verbeterde baanstabiliteit en verkanting, opheffen van overwegen en waar van toepassing herplaatsing van seinen.

Door verhoging van de bovenleidingspanning van 1,5 kV naar 3 kV kunnen treinen sneller optrekken waardoor rijtijdwinsten zijn te halen. Hierdoor volgen ook capaciteitswinsten door het verkorten van opvolgtijden door sneller optrekken, maar ook door een vermindering van het rijtijdverschil tussen Sprinters en Intercities over corridors, omdat Sprinters vaker stoppen en daardoor meer profiteren van de verbeterde optrekcapaciteit. De rijtijd- en capaciteitswinsten zijn door diverse simulatiestudies in kaart gebracht, maar de bestaande simulatiemodellen gaan uit van een vaste bovenleidingspanning. In werkelijkheid zijn de spanningsverliezen over de bovenleiding afhankelijk van de afstand tot de onderstations. Ook gelijktijdig optrekken leidt tot piekspanning waardoor het vermogen niet volledig beschikbaar is voor de optrekkende treinen. De gevolgen van deze variabele spanning op rijtijden (en opvolgtijden) zijn voor 1,5 kV groter dan voor 3 kV. Dit speelt met name wanneer treinen optrekken. Voor goederentreinen is de winst relatief nog groter omdat die procentueel langere tijd op hoog vermogen werken dan reizigerstreinen. Het is daarom van belang de variabele rijdraadspanning in relatie tot de belasting en afstanden tot onderstations in rekening te brengen. De resultaten van de huidige simulatiemodellen op basis van vaste bovenleidingspanning onderschatten vooralsnog de te behalen winsten op rijtijd en opvolgtijden.

Treinen voeden tegenwoordig ook remenergie terug in het net waardoor die hergebruikt kan worden door naburige treinen. Bij 1,5 kV is de afstand waarover de teruggegeven energie gebruikt kan worden door spanningsverliezen beperkt, terwijl deze verliezen bij een hogere bovenleidingspanning veel lager liggen waardoor de terug geleverde remenergie effectiever hergebruikt kan worden door andere

[1] Afdeling Design, Production & Management, Faculteit Engineering Technology, Universiteit Twente
[2] Afdeling Transport & Planning, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Technische Universiteit Delft

treinen. De impact van recuperatief remmen onder 3 kV draagt daarom bij aan een betere energiebenutting op het spoornet.

Rond de eeuwwisseling is gestudeerd op de invoering van de Europese standaard van 25 kV. Toen behoefte aan extra dubbeldekkers ontstond werd besloten de 81 in 1994 bestelde dubbeldeks treinstellen te verlengen met extra rijtuigen die geschikt zijn om een 25 kV transformator van grofweg 6.000 kg te dragen. De extra nieuwe dubbeldekstreinen die toen besteld werden hadden dezelfde configuratie. Dit was dus een vorm van voorbereiding op een toekomstige energietransitie. Doordat NS en NS Railinfrabeheer (later ProRail) in die tijd druk waren met de opsplitsing is een en ander weggezakt. Daarbij is de maakbaarheid van 25 kV aan de infra-zijde een probleem, zoals isolatie afstanden van bovenleiding naar kunstwerken.

We lopen ergens tegen de grenzen aan. Dat blijkt nu na 20 jaar opnieuw. Dus maatregelen in de energievoorziening zijn onvermijdelijk:

- Onderstations bij blijven bouwen is een optie: dan ligt er in de toekomst uiteindelijk 25 of 10 kV langs de baan, hetgeen een dure en logistiek lastige oplossing is.
- Studies wijzen uit dat het mogelijk is op weg naar 3 kV het huidige 1,5 kV systeem slim te upgraden.
- Dat kan gerealiseerd worden in een snelle ombouwslag naar 3 kV: alle kapitaalgoederen in één keer is een dure oplossing en een logistiek lastige onderneming, die geen voorkeur verdient.
- Vanuit de levenscyclus van de vloot is het efficiënter als investeringen in rollend materieel en onderstations worden voorbereid op 3 kV en op termijn gefaseerd wordt omgeschakeld naar 3 kV.

Waar de MKBA niet positief uitvalt dient men zich te realiseren dat het lastig is alle details in rekening te brengen: denk aan de variabele rijdraad spanning als gevolg van de weerstand in de bovenleiding en de verliesvermogens in de bovenleiding. Belangrijk hierbij is ook de referentievariant van 1,5 kV: is deze in staat om de toekomstige vervoervraag op te vangen en welke kosten zijn daarmee gemoeid? Hierbij valt te denken aan ombouw of verzwaring van bestaande onderstations en de bouw van nieuwe onderstations, en verzwaring van bovenleidingen.

Belangrijk is te beseffen dat kapitaalgoederen een levensduur van 30 à 40 jaar hebben en dus een MKBA over een heel lange periode zou moeten worden gemaakt. De vragen die over de MKBA resultaten heen zouden moeten worden gelegd zijn:

- Als er – ter voorkoming van salamitactiek – geen onderstations worden bijgebouwd, treinen van 6 MW naar 10 MW schuiven en de treindichtheid verder dan iedere tien minuten een trein wordt verhoogd: wanneer kan de energievoorziening het dan niet meer aan?
- Bereiden we ons nu voor op de situatie in 2040 of kunnen we dit verder uitstellen?

De overgang naar 3 kV zal een grote operatie zijn. De volgende elementen zijn daarbij van belang:

- Kort door de bocht gezegd lijkt vanuit technologie alles maakbaar.
- Het is van belang de implementatierisico's (kinderziektes en operationele complexiteit) te mitigeren: het gaat hier om een socio-technische systeemintegratie.
- De verdere dienstregelingsontwikkeling dient door de eerder genoemde flankerende infra-maatregelen te worden gefaciliteerd.
- Goede planning van de 3 kV voorbereiding van nieuwe kapitaalgoederen en daarna een gefaseerde implementatie in de bedrijfsvoering zijn van belang.
- De overgang moet passen in de grote inspanningen die aan de orde zijn met de ombouw van ATB naar ERTMS.

6. Maatschappelijke kosten-batenanalyse

april 2022

Maatschappelijke kosten-baten analyse van 3kV tractie energievoorziening

VERTROUWELIJK

Eigenaar: ProRail & NS

Versie: Finaal

Status: Vertrouwelijk (intern: ProRail, NS, I&W)

Datum: 7 april 2022

Auteurs:

- [redacted] (RHDHV)
- [redacted] (ProRail)
- [redacted] (NS)

Programmamanagers:

- [redacted] (ProRail); [redacted]@prorail.nl
- [redacted] (NS); [redacted]@ns.nl

Contents

1 Inleiding 3
1.1. Inleiding 3
1.2. Wat is een MKBA? 4
1.3. Leeswijzer 4
2 Opzet: probleemanalyse, nulalternatief en projectalternatief 6
2.1. Probleemanalyse 6
2.2. Algemeen 6
2.3. Nulalternatief 6
2.4. Projectalternatief 3kV 7
3 Algemene uitgangspunten 8
4 Overzicht effecten 11
4.1. Gemonetariseerde effecten 11
4.2. Niet-gemonetariseerde effecten 11
5 Migratiescenario 12
6 Kosten 13
6.1. Infrastructuur 13
6.2. Materieelinvestering 14
6.2.1 NS 14
6.2.2 Overige vervoerders 15
6.3. Beheer en onderhoud 16
6.3.1 Infrastructuur 16
6.3.2 Materieel 16
6.4. Overzicht kosten 16
7 Baten 17
7.1. Reistijdbaten 17
7.2. Energiebaten 17
7.3. Overige effecten op exploitatiesaldo 18
7.4. Externe effecten 19
7.5. Indirecte effecten 19

VERTROUWELIJK

7.6. Overzicht baten 19
8 Resultaten 21
8.1. Projectalternatief 3kV 21
8.2. Gevoeligheidsanalyses 22
8.2.1 Aannames 22
8.2.2 Resultaten 23
8.3. Alternatief migratiescenario 24
8.3.1 Aannames 24
8.3.2 Resultaten 26
9 Conclusies & aanbevelingen 27
9.1. Conclusies 27
9.2. Aanbevelingen vervolgonderzoek 28
10 Literatuurlijst 29
Bijlage 1 Overzicht niet-gemonetariseerde effecten 30
Bijlage 2 Migratiescenario 33
Bijlage 3 NS Business Case 39
Bijlage 4 Rijtijdwinsten 41
Bijlage 5 Energiereductie 45
Bijlage 6 Vergelijking MKBA 2018 – MKBA 2022 48

VERTROUWELIJK

1 Inleiding

1.1. Inleiding

In Nederland geldt het tractie energievoorzieningssysteem van 1500 volt (1,5kVdc; in het vervolg 1,5kV) op de bovenleiding als standaard. Er geldt een uitzondering voor het goederenvervoer over de Betuweroute en voor de hogesnelheidstrajecten, die zijn voorzien van een tractie energievoorzieningssysteem van 25kVac. Er zijn in het verleden diverse studies verricht naar de wenselijkheid van migratie naar een systeem met een hogere spanning (ProRail 2014, ProRail & NS, 2018). Tot op heden heeft dit nog niet tot een besluit geleid. Deze maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA) is onderdeel van een overkoepelend rapport namens ProRail en NS dat moet helpen bij het maken van een systeemkeuze voor Nederlandse tractie energievoorziening.

Er zijn diverse redenen die maken dat er een besluit nodig is over de toekomstige tractie energievoorziening in Nederland. De belangrijkste, in willekeurige volgorde, zijn:

- Duurzaamheid (energiebesparing)

De spoorsector streeft naar een meer duurzaam spoor. ProRail voert daarom een actief energiebeleid, dat gericht is op het besparen van het eigen energieverbruik en dat van vervoerders. Een hogere tractie energievoorziening is energie-efficiënter en levert significante energiewinst op bij een gelijkblijvende elektriciteitsvraag.

- Capaciteitsvergroting

ProRail en NS onderzoeken mogelijkheden om de capaciteit van het spoor te vergroten. Een hogere tractie energievoorziening kan hieraan bijdragen, want met een hogere spanning kunnen treinen sneller optrekken en zijn hogere snelheden haalbaar. Dit resulteert in kortere reistijden voor de reiziger en kan bovendien ruimte creëren voor additionele treinen en daarmee een vergroting van de capaciteit.

Er bestaan diverse alternatieven voor een systeem van 1,5kV TEV in Nederland. De Europees gestandaardiseerde alternatieven zijn 3kVdc (in het vervolg 3kV), 15kVac en 25kVac. Op basis van een multi-criteria analyse in het overkoepelende rapport is geconcludeerd dat de detailanalyse, waaronder deze MKBA, zich moet focussen op de overstap van 1,5kV naar 3kV.

Het primaire doel van deze MKBA is het verkrijgen van additioneel inzicht in de maatschappelijke kosten en baten van een overstap van 1,5kV naar 3kV. Het meest kenmerkende verschil met de MKBA uit 2014 en 2018 is een 'slimmere' migratiestrategie. In 2014 en 2018 gold als uitgangspunt dat *alle* materieelseries bi-courant moesten zijn gemaakt (geretrofit) voordat gestart kon worden met het omschakelen van de infrastructuur naar 3kV. In de nu gehanteerde migratie start het omschakelen van de infrastructuur zodra twee van de zeven materieelseries bi-courant zijn gemaakt.

Het secundaire doel van deze MKBA is te dienen als basis voor vervolgonderzoek naar de gewenste operationalisering van een mogelijke overstap naar 3kV. Met operationalisering wordt bedoeld op welke wijze een mogelijke overstap van 1,5kV naar 3kV vanuit maatschappelijk perspectief het beste kan worden vormgegeven, bijvoorbeeld qua tijdslijnen. De uitwerking van een alternatief migratiescenario als gevoeligheidsanalyse zet hiertoe een eerste stap.

VERTROUWELIJK

De opzet van deze MKBA is gebaseerd op de voorschriften uit de algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyses (CPB&PBL, 2013).

1.2. Wat is een MKBA?

Een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) probeert alle positieve en negatieve effecten in te schatten die de uitvoering van een project - of een set van maatregelen - heeft op de welvaart. Doorgaans wordt een Nederlandse MKBA afgebakend tot alle effecten binnen Nederland. Het gaat hier niet alleen om financiële kosten en baten, maar ook om maatschappelijke effecten zoals reistijd of een lagere CO2 uitstoot. Hiermee onderscheidt een MKBA zich van een business case, waarin de financiële kosten en baten van een investering centraal staan.

Een MKBA drukt -waar mogelijk- alle effecten uit in geld, ook wel monetariseren genoemd. Een uur reistijdwinst wordt bijvoorbeeld uitgedrukt in (circa) €10 maatschappelijke waarde. Gebruik makend van een gestandaardiseerd proces maakt de MKBA op een kwantitatieve manier inzichtelijk welke optie vanuit een maatschappelijk perspectief de meeste meerwaarde biedt. Daarbij is het niet uitvoeren van het project of de maatregelen ook een optie.

De methodiek van de MKBA is bedoeld om een afweging te maken tussen technisch afgebakende alternatieven, zoals de afweging 'brug of tunnel' of 'rotonde of kruising'. In het geval van tractie energievoorziening wordt de MKBA toegepast voor een onderdeel van het spoorsysteem. Dit is een minder afgebakende afweging, omdat aanpassingen aan de bovenleiding impact hebben op andere delen van het spoorsysteem. Gegeven deze beperking is de voorliggende MKBA opgesteld: de MKBA probeert recht te doen aan de samenhang van het spoorsysteem en tegelijkertijd een zuivere vergelijking op te stellen tussen 1,5kV en 3kV.

Tot slot, de MKBA is een hulpmiddel bij het doen van een investeringsbeslissing. Het is geen magisch gereedschap dat hét antwoord geeft. Naast de maatschappelijke waarde hebben ook andere overwegingen een plek in de onderbouwing van een investeringsbeslissing. Zo gaat de MKBA bijvoorbeeld niet in op de vraag of het project betaalbaar is, of technisch realiseerbaar. Voor publieke investeringen is het uiteindelijk de politiek die de beslissing neemt. De MKBA levert een deel van de informatie om die beslissing weloverwogen te kunnen nemen.

1.3. Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de probleemanalyse en de opzet van deze MKBA. Uit de opzet blijkt dat is gekozen voor een belangrijke aanname dat er gedurende de zichtperiode van de MKBA wordt gereden met een gelijkblijvende dienstregeling. Er zijn momenteel nog geen besluiten genomen over dienstregelingen na 2030 en de daarvoor benodigde investeringen. Een strikte hantering van de MKBA-methodologie resulteert in een analyse van alleen besloten beleid en daarmee van een gelijkblijvende dienstregeling gedurende de zichtperiode.

Hoofdstuk 3 beschrijft de belangrijkste uitgangspunten bij de kwantificering en monetarisering van de kosten en baten in deze MKBA.

Hoofdstuk 4 beschrijft een overzicht van de kosten en baten die zijn gemonetariseerd in deze MKBA. Tevens benoemt dit hoofdstuk een aantal kosten en baten die (nog) niet zijn gemonetariseerd.

Hoofdstuk 5 beschrijft het migratiescenario dat is ontwikkeld om de overstap van 1,5kV naar 3kV te kunnen bewerkstelligen. Het migratiescenario betreft een centraal uitgangspunt in deze MKBA omdat het impact heeft op zowel de omvang als de tijdslijnen van diverse kosten en batenposten.

VERTROUWELIJK

Hoofdstuk 6 en 7 beschrijven de belangrijkste aannamen en resultaten van enerzijds de gemonetariseerde kosten en anderzijds de gemonetariseerde baten.

Hoofdstuk 8 beschrijft de belangrijkste resultaten van deze MKBA, zoals de netto contante waarde van de gemonetariseerde kosten en baten. Tevens beschrijft dit hoofdstuk de resultaten van een aantal gevoeligheidsanalyses.

Hoofdstuk 9 beschrijft de conclusies die kunnen worden getrokken uit deze MKBA. Daarbij is ook aandacht voor een aantal overwegingen die belangrijk zijn bij de interpretatie van de resultaten. Tot slot beschrijft hoofdstuk 9 de mogelijkheid voor aanvullend onderzoek.

Bijlagen 1 t/m 5 beschrijven in nader detail de methodologie van diverse analyses die zijn uitgevoerd om te komen tot gekwantificeerde kosten en baten. Bijlage 6 geeft een weergave van de belangrijkste verschillen tussen de MKBA uit 2018 en deze MKBA uit 2022.

VERTROUWELIJK

2 Opzet: probleemanalyse, nulalternatief en projectalternatief

2.1. Probleemanalyse

In Nederland geldt het tractie energievoorzieningssysteem voorzien van een spanning van 1,5kV als standaard. De belangrijkste redenen om een overstap naar een ander tractie energievoorzieningssysteem te overwegen zijn duurzaamheid en capaciteit. Ten eerste geldt dat een tractie energievoorzieningssysteem van 1,5kV minder energie-efficiënt is dan een tractie energievoorzieningssysteem voorzien van een hogere spanning. Er is dus sprake van een kans op een significante energie-efficiëntie bij een gelijkblijvende elektriciteitsvraag. Ten tweede geldt dat een tractie energievoorzieningssysteem van 1,5kV een technische restrictie dreigt te vormen om de capaciteit van het spoor te vergroten en daarmee de verwachte groei van de vervoersvraag te accommoderen.

2.2. Algemeen

Het nulalternatief van een MKBA geeft de meest waarschijnlijke ontwikkeling aan die zich zou voordoen zonder nieuw beleid. Een projectalternatief is een verzameling samenhangende maatregelen die getoetst wordt op het rendement vanuit maatschappelijk perspectief. In een projectalternatief wordt daarom alleen gekeken naar effecten (kosten en baten) ten opzichte van het nulalternatief (CPB & PBL, 2013).

Het is belangrijk om te beseffen dat de vaststelling van een nulalternatief en een projectalternatief impact heeft op de resulterende beslisinformatie. Idealiter zou men in een MKBA een op maat gemaakt pakket van investeringen bij 1,5kV vergelijken met het een op maat gemaakt pakket van investeringen bij een overstap naar 3kV. Er zijn echter te veel onzekere parameters om dergelijke specifieke investeringsplannen per alternatief voor een periode van diverse decennia vast te stellen. Dit zou bijvoorbeeld betekenen dat er diverse dienstregelingen moeten worden ontworpen die met deze investeringen meegroeien. Om toch een goede vergelijking te maken tussen 1,5kV en 3kV is de beste en meest praktische aanpak een vergelijking van de kosten en de baten van louter de systeemsprong op het gebied van tractie energievoorziening waarbij wordt aangenomen dat de dienstregeling gelijk blijft. Een mogelijk nadeel is dat eventuele toekomstige investeringen niet in kaart worden gebracht. Het voordeel is dat de kosten en de baten eenduidig kunnen worden toegeschreven aan de overstap van 1,5kV (nulalternatief) naar 3kV (projectalternatief). In de volgende secties worden het nulalternatief en het projectalternatief in meer detail beschreven.

2.3. Nulalternatief

In het nulalternatief geldt de aanname dat er gedurende de gehele zichtperiode van de MKBA (2034-2083) wordt gereden volgens de *PHS 6 basis* dienstregeling met een tractie energievoorziening van 1,5kV. Het ongewijzigd laten van de dienstregeling gedurende meerdere decennia is een simplificatie van de werkelijkheid. In de praktijk zal de dienstregeling de komende decennia waarschijnlijk meerdere keren wijzigen, echter de exacte invulling en timing hiervan is onmogelijk te voorspellen. De keuze voor de *PHS 6 basis* dienstregeling is gemaakt omdat reeds een besluit is genomen over de investeringen in zowel de infrastructuur als het materieel die nodig zijn om in 2030 de *PHS 6 basis* dienstregeling te kunnen rijden. Een beperkt deel van deze investeringen (o.a. in tractie energievoorziening) is nog in uitvoering.

VERTROUWELIJK

2.4. Projectalternatief 3kV

In het projectalternatief 3kV wordt er geïnvesteerd in zowel de tractie energievoorziening infrastructuur als het materieel. Het doel van deze investeringen is om voor het Nederlandse treinverkeer een overstap mogelijk te maken van 1,5kV naar 3kV. In dit projectalternatief geldt, net als in het nulalternatief, de aanname dat er gedurende de gehele zichtperiode van de MKBA wordt gereden volgens de *PHS 6 basis* dienstregeling. Deze aanname is gemaakt omdat er ten behoeve van het projectalternatief 3kV geen specifieke dienstregeling is ontworpen die aansluit bij de veronderstelde investeringen. In hoofdstuk 5 zal het migratiescenario, hetgeen de basis vormt voor het projectalternatief 3kV, worden toegelicht.

VERTROUWELIJK

3 Algemene uitgangspunten

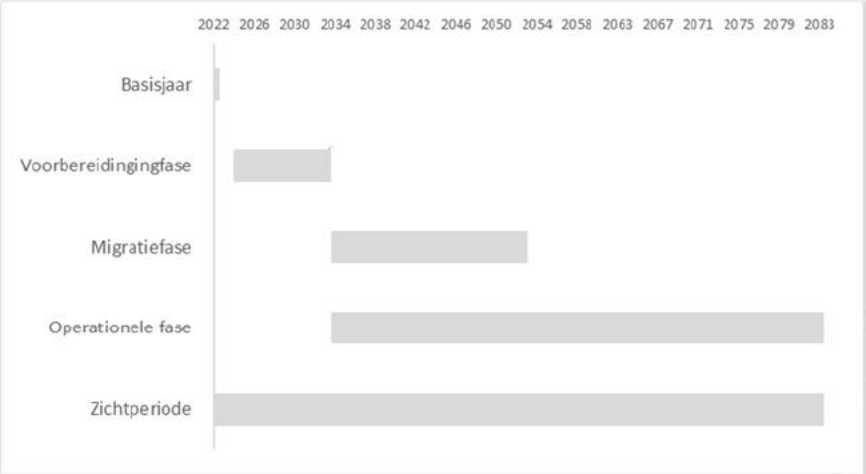
Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste algemene uitgangspunten bij de kwantificering en monetarisering van de kosten en baten in de MKBA. Specifieke aannames ten behoeve van individuele kosten en baten zijn beschreven in hoofdstuk 6 en 7.

1. De kosten en baten zijn opgenomen inclusief BTW. Indien effecten exclusief BTW zijn geraamd, is een gemiddeld BTW-percentage van 18,2% gehanteerd (CPB, 2015).
2. De kosten en baten zijn opgenomen in constante prijzen, prijspeil 2021. Indien effecten in een ander prijspeil zijn geraamd, is een prijspeilcorrectie gehanteerd van 1,25% per jaar. Dit percentage is gebaseerd op de gemiddelde inflatie in Nederland in het afgelopen decennium (CBS, 2021). Voor de efficiënte CO2-prijs is een relatieve prijsverandering opgenomen van 3,5% per jaar (CPB & PBL, 2016a).
3. Er is bij de kosteninschatting vanuit ProRail en NS geen generieke aanname gemaakt met betrekking tot de onnauwkeurigheid van de kosteninschatting. De intentie is om, gegeven het tijdsbestek, een zo nauwkeurig mogelijke inschatting te geven. Voor het kwantificeren van de onnauwkeurig is een technisch ontwerp benodigd, dat is niet in voldoende detail uitgevoerd.
4. De kosten en baten zijn contant gemaakt naar het jaar 2022 op basis van de voor MKBA's voorgeschreven discontovoeten (Werkgroep Discontovoet, 2020). Voor de meeste effecten is de standaarddiscontovoet gehanteerd, namelijk 2,65% voor het hoge WLO-scenario en 1,85% voor het lage WLO-scenario (zie hieronder). De uitzondering geldt voor i) investeringen in infrastructuur, hiervoor is de discontovoet voor vaste, verzonken kosten toegepast en ii) reistijdbaten en daarvan afgeleide indirecte effecten, hiervoor is de discontovoet voor niet-lineair verlopende baten toegepast.
5. De zichtperiode van de MKBA is 62 jaar, gemeten vanaf het basisjaar (2022) tot het einde van de operationele fase (2083)[1]. Figuur 3.1 geeft een overzicht van de relevante tijdslijnen. De operationele fase is 50 jaar, gemeten van het eerste jaar waarin wordt gereden met 3kV (2034) tot het einde van de levensduur van de infrastructurele investering (2083). De technische levensduur van de infrastructurele investeringen is op circa 40 jaar verondersteld. Echter, omdat de migratiefase een periode van 20 jaar bestrijkt, is er geen sprake van een eenduidig startpunt van de infrastructurele investering. Als oplossing wordt gewerkt met een gemiddelde levensduur: de gemiddelde levensduur van de infrastructurele investering is 40 jaar bij een operationele fase die start in 2034 en eindigt in 2083. Omdat de operationele fase gelijk is aan de verwachte levensduur van de infrastructurele investering is de aanname gemaakt dat er geen sprake is van een restwaarde in het jaar 2083.

VERTROUWELIJK

[1] Deze definitie van de zichtperiode is in lijn met het memo *Toepassing MKBA-methodiek: aanvulling op de richtlijnen* (Steunpunt Economische Expertise, 2020).

Figuur 3.1 Zichtperiode van de MKBA



6. Zowel de kwantificering van de rijtijdwinst als de energiebesparing zijn gebaseerd op een inschatting voor het referentiejaar 2030. Deze keuze is gemaakt om twee redenen. Ten eerste is voor 2030 een prognose van de vervoersvraag beschikbaar. Ten tweede is er reeds een besluit genomen over de investeringen en het materieel die nodig zijn om in 2030 de PHS 6 basis dienstregeling te kunnen rijden. Na 2030 neemt de onzekerheidsmarge vanuit onvoltooide besluitvorming toe.
7. De inschatting van de energiebesparing voor het referentiejaar 2030 is gebruikt voor de gehele operationele fase van de MKBA. Dit is in lijn met de aanname dat er gedurende de gehele operationele fase wordt gereden met dezelfde dienstregeling *PHS 6 basis*. De inschatting van de rijtijdwinst voor het referentiejaar 2030 kent een groeifactor conform het hoge en het lage WLO-scenario (toelichting hieronder). Omdat de dienstregeling tot het einde van de operationele fase gelijk blijft, resulteert een toename van het aantal treinreizigers *de facto* in een hogere gemiddelde treinbezetting. De MKBA neemt daarmee aan dat de reizigersgroei kan worden opgevangen binnen de capaciteit die de gelijkblijvende dienstregeling biedt – dit compenseert voor de statische dienstregeling. Deze aanname is gemaakt om voldoende onderscheid te creëren tussen het hoge en lage WLO-scenario en om een substantiële onderschatting van de reistijdbaten te voorkomen.
8. De projectalternatieven zijn berekend onder het hoge en lage WLO-scenario (CPB & PBL, 2015). Dit zijn consistente toekomstbeelden van zowel hoge als lage economische en demografische ontwikkeling in Nederland in de komende decennia. De WLO-scenario's hebben effect op diverse effecten in deze MKBA. De volgende parameters uit de WLO-scenario's zijn gebruikt om onderscheid te creëren tussen het hoge en lage scenario:
    a. Ontwikkeling reizigerskilometers in de trein (I&W, 2021)[2]
    b. Ontwikkeling reistijdwaardering (SEE, 2016)
    c. Energieprijs (CPB & PBL, 2016b)
    d. CO2-prijs (CPB & PBL, 2016a)
    e. Discontovoeten (Werkgroep Discontovoet, 2020)

[2] In 2021 heeft het ministerie van I&W een update gepubliceerd van de prognose van de reizigerskilometers. Deze update wordt gebruikt voor de ontwikkeling van de reizigerskilometers in de trein. De gemiddelde groei van de treinreizigers tussen 2030 en 2050 is 1% per jaar in WLO hoog en 0,3% per jaar in WLO laag.

VERTROUWELIJK

De WLO-scenario's lopen tot het jaar 2050, de ontwikkeling van al deze parameters tussen 2050 en 2083 is constant verondersteld, dat wil zeggen: geen groei na 2050.

9. Met betrekking tot de kosten en baten voor de vervoerders (exploitanten) is een splitsing gemaakt tussen NS, regiovervoerders en goederenvervoerders. Voor NS is een gedetailleerde inschatting gemaakt van de kosten en baten van een overstap naar 3kV, zie ook de business case van NS in bijlage 3. Voor de regiovervoerders is een inschatting gemaakt van de investeringskosten in het materieel, er is echter geen separate business case opgesteld. Voor de goederenvervoerders is er geen inschatting van de investeringskosten in het materieel beschikbaar, noch is er een separate business case opgesteld. Er is geen correctie toegepast voor het aandeel van de goederenvervoerders in de nationale energiewinsten. Er is geen inschatting gemaakt van de reistijdbaten van goederenvervoerders. Deze baten maken naar verwachting slechts een gering deel uit van het landelijke resultaat omdat goederentreinen relatief weinig halteringen maken en hierdoor relatief weinig aanzetsnelheid winnen.

VERTROUWELIJK

4 Overzicht effecten

4.1. Gemonetariseerde effecten

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de kosten en baten die zijn gemonetariseerd in deze MKBA. Het betreft de additionele kosten en baten ten opzichte van het nulalternatief. Bijvoorbeeld in het geval van beheer en onderhoudskosten gaat het alleen om de additionele beheer en onderhoudskosten onder 3kV ten opzichte van de beheer en onderhoudskosten onder 1,5kV. In hoofdstuk 6 en 7 zijn deze kosten en baten nader beschreven.

Tabel 4.1 Overzicht gemonetariseerde effecten

Kosten	Baten
Investeringen infrastructuur: • Ombouw en omschakeling van onderstations (inclusief tijdelijke maatregelen)	Reistijdbaten
Investeringen materieel: • Ombouw bestaande treinen • Meerprijs aanschaf bi-courante treinen • Moderniseringskosten omgebouwde en bi-courante treinen	Exploitatiebaten: • Energiereductie • Personeelsreductie dankzij snellere omlopen • Compositiereductie dankzij snellere omlopen
Beheer en onderhoud: • Beheer en onderhoud bi-courant materieel	Externe effecten: • Reductie nationale CO2-emissie
	Indirecte effecten: • Agglomeratie effecten

4.2. Niet-gemonetariseerde effecten

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de kosten en baten die niet zijn gemonetariseerd in deze MKBA. Het is met de huidige kennis niet mogelijk om in te schatten hoe groot de impact van deze niet-gemonetariseerde effecten is. Voor een aantal effecten is zelfs de orde grootte van de impact niet goed in te schatten. Bijlage 1 bevat een toelichting op de niet-gemonetariseerde effecten.

Tabel 4.2 Overzicht niet-gemonetariseerde effecten

Positieve effecten (baten)	Negatieve effecten (kosten)	Niet in te schatten
• Capaciteitseffecten onder PHS 6 basis	• Baanstabiliteit	• Impact energiezuinig rijden
• Congestiereductie (netbeheer)	• Impact spanningsluizen	
• Verbetering voor systeem bovenleiding	• Impact inzet deelparken	
• Vermeden investeringen (deels)	• Materieelinvestering goederenvervoerders	
• Veiligheid spoorstaaf aarde spanning		

VERTROUWELIJK

5 Migratiescenario

Voor de overstap van 1,5kV naar 3kV is een migratiefase benodigd. Onder migratie wordt volstaan: het aanpassen van de spanning van 1,5kV naar 3kV voor de bestaande activa (treinen en infrastructuur). Door aanpassingen aan de bestaande activa is het mogelijk om de transformatie in verschillende fases te bewerkstellingen. Zie bijlage 2 voor een gedetailleerde beschrijving van het migratiescenario dat als uitgangspunt is genomen voor deze MKBA.

Binnen het gekozen migratiescenario zijn de aanpassingen aan materieel en infrastructuur op elkaar afgestemd. In een aantal fases wordt infrastructuur geschikt gemaakt voor 3kV. Hierbij staat de ombouw en omschakeling van onderstations centraal. Ook zijn er kleine aanpassingen aan de bovenleiding noodzakelijk. De omschakeling van de infrastructuur van 1,5kV naar 3kV vindt in vier fasen plaats tussen 2034 en 2054. Tijdens deze migratie zijn materieeldeelparken[3] onvermijdelijk, de operationele meerkosten hiervan zijn niet in kaart gebracht. Er is rekening gehouden met de te rijden dienstregeling en is er een balans gevonden tussen het om te bouwen materieel en nieuw te bestellen materieel. De keuze voor een gefaseerde migratie heeft consequenties voor de MKBA. Vanwege de fasering van de migratie is er sprake van een gefaseerde ingroei van kosten en baten. Echter niet alle effecten kennen dezelfde ingroeipercentages. Er zijn twee groepen effecten met verschillende ingroeipercentages:

- De spreiding van de kosten voor infrastructuur en de geleidelijke ingroei van de energiebaten zijn beide afhankelijk van de gefaseerde migratie van de 3kV infrastructuur. Deze effecten volgen het ingroeipercentage 1 in tabel 5.1.
- Een drietal baten heeft te maken met een aanvullende ingroeicorrectie omdat de aanname is gemaakt dat een aantal omgebouwde treinseries (SNG en DDNG) onder 3kV geen rijtijdwinst genereren, anders dan het compenseren voor een tragere aanzet onder 1,5kV door de extra massa aan boord. De gefaseerde migratie van de 3kV infrastructuur biedt daardoor een gedeeltelijk ingroeipercentage. Voor de geleidelijke ingroei van de reistijdbaten, compositiebaten en personeelsbaten (exclusief opleidingskosten) is een ingroeipercentage berekend op basis van de verwachte inzet van verschillende treinseries gedurende de zichtperiode. Deze drie baten volgen het ingroeipercentage 2 in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Ingroeipercentages gefaseerde migratie (percentage van het totale effect)

	2029-2034	2034-2039	2039-2044	2044-2049	2049-2054	2054-2059	2059-2073
Ingroeipercentage 1 – alleen infrastructuur	0%	8%	31%	79%	100%	100%	100%
Ingroeipercentage 2 – infrastructuur en materieel	0%	2%	15%	49%	60%	87%	100%

[3] Dat wil zeggen dat een deel van het materieel niet landelijk inzetbaar is.

VERTROUWELIJK

6 Kosten

6.1. Infrastructuur

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert in investeringskosten voor de ombouw van infrastructuur zoals onderstations en bovenleidingen. Ook zullen er tijdelijke maatregelen zoals spanningssluizen nodig zijn om de gefaseerde migratie te kunnen realiseren. Op basis van het in hoofdstuk 5 beschreven migratiescenario is een inschatting gemaakt van de kosten vanuit de infrastructuur. Bijlage 2 beschrijft de methodiek van deze inschatting.

De investeringskosten voor ProRail infrastructuur zijn onder te verdelen in twee grote kostenposten. Ten eerste zijn dit de kosten voor het ombouwen van 256 onderstations en 116 schakelstations, dit is geraamd op 396 mln. euro (excl. BTW, prijspeil 2020). Deze kosteninschatting is inclusief kosten voor de aanpassing van de bovenleiding. Ten tweede zijn dit de kosten voor het omschakelen van deze onderstations inclusief bijbehorende tijdelijke maatregelen zoals spanningssluizen, dit is geraamd op 108 mln. euro (excl. BTW, prijspeil 2020). Omdat er sprake is van een gefaseerde migratiestrategie, zullen de kosten voor zowel de ombouw als het omschakelen ook gefaseerd gemaakt worden. Hierbij is de aanname gemaakt dat de kosten percentueel gespreid worden in 5-jaars cohorten in lijn met de ombouw en omschakeling van de onderstations.

In aanvulling op deze twee grote kostenposten is er gekeken naar een optimalisatie van de functiehandhaving 1,5kV. Het centrale uitgangspunt is dat de periodieke vervangingsinvesteringen in 3kV infrastructuur dezelfde prijs, hetzelfde volume en dezelfde frequentie hebben als de huidige vervangingsinvesteringen in 1,5kV infrastructuur. De *additionele* vervangingsinvesteringen in TEV-infrastructuur in het projectalternatief ten opzichte van het referentie alternatief zijn om die reden nul. Er wordt van dit centrale uitgangspunt afgeweken indien dit uitgangspunt tot een duidelijke inefficiëntie leidt. Deze optimalisatie van de functiehandhaving 1,5kV kan op twee manieren vorm krijgen:

- Levensduurverlenging: de vervangingsinvestering 1,5kV wordt uitgesteld indien de ombouw van 1,5kV naar 3kV maximaal 5 jaar na het initiële vervangingsmoment van 1,5kV infrastructuur plaats vindt. Er is aangenomen dat 31 onderstation in aanmerking komen voor levensduurverlenging. De besparing op de vervangingsinvesteringen in 1,5kV infrastructuur is geraamd op 46 mln. euro (excl. BTW, prijspeil 2020).
- Voorbereid bouwen: de vervangingsinvestering 1,5kV wordt conform initiële planning uitgevoerd, echter het 1,5kV onderstation wordt omgebouwd met bi-courante onderdelen. Dit zijn onderdelen die zowel geschikt zijn voor 1,5kV als 3kV, waardoor de latere ombouw van 1,5kV naar 3kV komt te vervallen. Deze bi-courante ombouw is weliswaar duurder dan een monocourante ombouw, maar goedkoper dan een vervanging van 1,5kV infrastructuur die wordt opgevolgd door een ombouw van 1,5kV naar 3kV. Er is aangenomen dat 60 onderstation in aanmerking komen voor voorbereid bouwen. De meerprijs voor de bi-courante vervanging van deze onderstations is geraamd op 33 mln. euro (excl. BTW, prijspeil 2020). De besparing op vervangingsinvesteringen in 1,5kV infrastructuur is geraamd om 101 mln. euro (excl. BTW, prijspeil 2020).

Als startpunt van deze optimalisatie is uitgegaan van het jaar 2024. Er wordt daarmee aangenomen dat in 2024 bekend zal zijn dat in 2034 het eerste onderstation wordt omgeschakeld naar 3kV. Tabel 6.1 geeft een overzicht van de geplande ombouw en omschakeling van ProRail onderstations ten gevolge van de migratie.

VERTROUWELIJK

Tabel 6.1 Fasering ombouw en omschakeling (aantal ProRail onderstations)

Aantal	2024-2029	2029-2034	2034-2039	2039-2044	2044-2049	2049-2054	Totaal
Ombouw (pre voorbereid bouwen)		20	59	123	54		256
Voorbereid bouwen	+30	+23	+7				+60
Verschuiving t.g.v. voorbereid bouwen			-7	-32	-21		-60
Ombouw (post voorbereid bouwen)	30	43	59	91	33		256
Omschakeling			20	59	123	54	256

Naast de investeringskosten voor ProRail zijn er nog beperkte investeringskosten voor de ombouw van NS-werkplaatsen en NS-onderstations. Er moeten 35 NS-werkplaatsen worden omgebouwd, dit is geraamd op 18 mln. euro (excl. BTW). Er moeten 2 NS-onderstations worden omgebouwd, dit is geraamd op 4 mln. euro (excl. BTW).

Tabel 6.2 toont de contante waarde van de gecombineerde investeringskosten in de infrastructuur van ProRail en NS. Het verschil tussen het WLO hoog en WLO laag scenario komt alleen door een verschil in de voorgeschreven discontovoet. De post 'Vermeden investeringen' toont alleen de besparing op functiehandhaving 1,5kV vanuit levensduurverlenging. De besparing vanuit voorbereid bouwen is verwerkt in de post 'Infrastructuur'. De post voorbereid bouwen wordt niet apart gerapporteerd omdat dit geen zuivere vermeden investering betreft[4]. De netto contante waarde van voorbereid bouwen is 47 mln. euro in het WLO hoog scenario en 59 mln. euro in het WLO laag scenario. Het totale voordeel van het optimaliseren van de vervangingsinvesteringen in 1,5kV (levensduurverlenging én voorbereid bouwen) vanaf 2024 is daarmee 91 mln. euro in het WLO hoog scenario en 107 mln. euro in het WLO laag scenario.

Tabel 6.2 Investeringskosten infrastructuur (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Infrastructuur	389	445
Vermeden investeringen	(44)	(48)

6.2. Materieelinvestering

6.2.1 NS

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert voor NS in investeringskosten in het treinmaterieel. Bijlage 3 beschrijft de kosteninschatting als onderdeel van de NS business case.

De investeringskosten voor treinmaterieel zijn onder te verdelen in drie posten. Ten eerste zijn er ombouwkosten om het bestaand materieel geschikt te maken voor 3kV. Op basis van de migratiestrategie worden er in totaal 746 treinen (waarvan 249 internationaal materieel) omgebouwd. Ten tweede zijn er (meer)kosten voor de aanschaf van materieel dat zowel geschikt is

[4] De besparing vanuit voorbereid bouwen betreft een verschuiving in de tijd van de functiewijziging van 1,5kV naar 3kV ten opzichte van het initiële migratiescenario. Deze verschuiving resulteert in de volgende effecten: 1) additionele investering door bi-courante ombouw (negatief effecten op MKBA) 2) wegvallen 1,5kV vervangingsinvestering (positief effect op MKBA) en 3) gewijzigde contante waarde van de investering vanuit verdiscontering (negatief effect op MKBA).

voor het rijden op 1,5kV als 3kV (bi-courant materieel). Gedurende de zichtperiode van 2034-2083 stromen er nieuwe treinen in, hierbij is alleen voor nieuwe dubbeldekkers en sprinters gerekend met additionele investeringskosten. De aanname is gemaakt dat er beperkte additionele kosten zijn voor de aanschaf van een monocourante 3kV trein ten opzichte van een monocourante 1,5kV trein, namelijk alleen voor hoger vermogen. Ten derde is er sprake van additionele moderniseringskosten voor een deel van de omgebouwde en bi-courante treinen. De moderniseringskosten worden halverwege de levensduur van de trein gemaakt en bedragen tussen de 12,5% en 50% van de ombouwkosten of van de meerprijs van de bi-courante trein. Zie bijlage 3 voor nadere details over de additionele kosten per trein.

N.B. De migratie met betrekking tot het materieel is opgesteld met als uitgangspunt dat in 2022 een realisatiebesluit over 3kV wordt genomen. Indien het realisatiebesluit -inclusief bijbehorende gelden- later volgt, schuiven de migratietijdslijnen met betrekking tot het materieel navenant mee.

Tabel 6.3 toont de contante waarde van de investeringskosten in de materieel van NS. Het verschil tussen het WLO hoog en WLO laag scenario komt alleen door een verschil in de voorgeschreven discontovoet.

Tabel 6.3 Materieel NS (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Materieel – NS ombouw bestaand	671	725
Materieel – NS meerprijs bi-courant	135	162
Materieel – NS modernisering	128	158
Totaal	935	1,044

6.2.2 Overige vervoerders

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert ook voor overige vervoerders in additionele investeringskosten in het treinmaterieel. Zoals beschreven in hoofdstuk 3 is er alleen voor de regiovervoerders een inschatting gemaakt van de investeringskosten. Voor de goederenvervoerders is deze inschatting niet gemaakt.

De inschatting van de investeringskosten voor regiovervoerders is afhankelijk van de timing van concessiecontracten. De voorlopige kostenraming voor het materieel van regiovervoerders bedraagt 40 mln. euro (excl. BTW). Deze kostenraming is gebaseerd op de inschatting uit de MKBA van 2018. Het prijspeil van deze kostenraming is 2014, waardoor een prijspeilcorrectie is toepast richting het prijspeil 2021. Hierbij is geen rekening gehouden met de afweging of treinseries vervangen kunnen worden door nieuw aan te schaffen bi-courant materieel of geretrofit dienen te worden.

Tabel 6.4 toont de contante waarde van de investeringskosten in de materieel van de overige vervoerders. Het verschil tussen het WLO hoog en WLO laag scenario komt alleen door een verschil in de voorgeschreven discontovoet.

Tabel 6.4 Materieel overige vervoerders (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Materieel - regiovervoerders	39	42
Materieel - goederenvervoerders	n.b.	n.b.
Totaal	39	42

VERTROUWELIJK

6.3. Beheer en onderhoud

6.3.1 Infrastructuur

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert naar verwachting niet in additionele onderhoudskosten aan de infrastructuur. De aanname is gemaakt dat het onderhoud aan een 1,5kV onderstation gelijkwaardig is als het onderhoud aan een 3kV onderstation. De additionele onderhoudskosten voor tijdelijke maatregelen zoals spanningsluizen zijn niet separaat ingeschat omdat deze voor de MKBA als verwaarloosbaar klein worden beschouwd.

6.3.2 Materieel

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert in additionele kosten voor het onderhoud aan het materieel. Voor NS zijn deze kosten ingeschat, zie bijlage 3 voor de methodiek van deze inschatting. Voor de overige vervoerders zijn de additionele kosten voor het onderhoud aan het materieel niet ingeschat.

De additionele onderhoudskosten aan het materieel van NS zijn, op basis van ervaringscijfers, geschat op 4% per jaar van de ombouwkosten van bestaand materieel en van de meerprijs van bi-courant materieel. De jaarlijkse additionele onderhoudskosten aan het materieel nemen vanaf 2029 geleidelijk toe. Vanaf 2041 nemen de additionele jaarlijkse kosten af omdat er geleidelijk omgebouwd materieel uitstroomt. Dit uitstromende materieel wordt vervangen door monocourant 3kV materieel.

Tabel 6.5 toont de contante waarde van de additionele onderhoudskosten aan het materieel van de vervoerders. Het verschil tussen het WLO hoog en WLO laag scenario komt alleen door een verschil in de voorgeschreven discontovoet.

Tabel 6.5 Onderhoud materieel vervoerders (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Onderhoud NS	651	793
Totaal	651	793

6.4. Overzicht kosten

Tabel 6.6 toont een overzicht van de contante waarde van alle kosten. Het verschil tussen het WLO hoog en WLO laag scenario komt alleen door een verschil in de voorgeschreven discontovoet.

Tabel 6.6 Overzicht kosten (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Infrastructuur	389	445
Vermeden investeringen	(44)	(48)
Materieel – NS ombouw bestaand	671	725
Materieel – NS meerprijs bi-courant	135	162
Materieel – NS modernisering	128	158
Materieel - regiovervoerders	39	42
Materieel - goederenvervoerders	n.b.	n.b.
Onderhoud - NS	651	793
Totaal	**1,969**	**2,276**

VERTROUWELIJK

7 Baten

7.1. Reistijdbaten

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert in positieve reistijdbaten ten gevolge van een hogere aanzetsnelheid. Op basis van een dienstregelingsimulatie is een inschatting gemaakt van de rijtijdwinst ten gevolge van deze hogere aanzetsnelheid in het referentiejaar 2030[5]. Bijlage 4 beschrijft de methodiek van deze inschatting.

De inschatting voor het referentiejaar 2030 is gebruikt voor de gehele zichtperiode van de MKBA omdat de aanname is gemaakt dat er gedurende de gehele zichtperiode wordt gereden met de dienstregeling *PHS 6 basis*. Er zijn twee additionele aannames gemaakt om te komen tot de jaarlijkse rijtijdwinst. Ten eerste is gebruik gemaakt van een geleidelijke ingroei van de reistijdbaten gedurende de migratie conform het ingroeipad zoals beschreven in hoofdstuk 5. Ten tweede is de aanname gemaakt dat het aantal treinreizigers tussen 2030 en 2050 groeit conform het hoge en lage WLO-scenario, zoals ook beschreven in hoofdstuk 3. Vanaf 2050 is het aantal treinreizigers constant verondersteld, dat wil zeggen in bijvoorbeeld 2060 evenveel reizigers als in 2050.

De rijtijdwinst is gemonetariseerd op basis van een inschatting van de toekomstige reistijdwaardering voor het hoge en lage WLO-scenario van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KIM) (SEE, 2016). Hierbij is uitgegaan van een gemiddeld reismotief. Tabel 7.1 toont de contante waarde van de reistijdbaten.

Tabel 7.1 Reistijdbaten (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Reistijdbaten	1,178	1,170

NB. Een alternatief voor het incasseren van een snellere aanzet is om deze te gebruiken voor een hogere punctualiteit. In dat geval leidt de snellere aanzet niet tot reistijdbaten maar tot hogere punctualiteit en/of betrouwbaarheid. In deze MKBA gaan we ervan uit dat de snellere aanzet wordt geïncasseerd als rijtijdwinst.

7.2. Energiebaten

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert in lagere energiekosten ten gevolge van een hogere recuperatiewinst en verlaging van de transportverliezen. Op basis van netberekeningen is een inschatting gemaakt van de energiebaten in het referentiejaar 2030. De basis van deze inschatting zijn netberekeningen uit 2014. De ingeschatte energiebaten bedragen in het referentiejaar 239 GWh per jaar[6]. Dit komt neer op een energiebesparing van ongeveer 14% ten gevolge van de overstap van 1,5kV naar 3kV. Bijlage 5 beschrijft in het kort de methodiek van deze inschatting. Een gedetailleerde beschrijving is te vinden in het rapport *Inschatting reductie in energieverbruik* (Ricardo, 2021).

Gezien de verschillen in uitgangspunten voor de in 2014 uitgevoerde netberekeningen en het huidige onderzoek, is een mate van onnauwkeurigheid gekoppeld aan de opgegeven reductie van het energieverbruik. Het advies is om in het vervolg van het project de uitgangspunten en daarmee de netberekeningen verder te verdiepen. Aandachtspunten voor deze verdieping zijn vastgelegd in

[5] De inschatting betreft een reductie van de reistijdwinst exclusief goederenvervoerders.
[6] De inschatting betreft nationale energiebaten, dus voor zowel NS, regiovervoerders als goederenvervoerders.

VERTROUWELIJK

een aandachtspunten addendum (ProRail & NS, 2022), behorende bij het rapport *Inschatting reductie in energieverbruik* (Ricardo, 2021).

De inschatting voor het referentiejaar 2030 is gebruikt voor de gehele zichtperiode van de MKBA omdat de aanname is gemaakt dat er gedurende de gehele zichtperiode wordt gereden met de dienstregeling *PHS 6 basis*. Echter omdat gedurende de migratieperiode slechts een deel van de infrastructuur is voorzien van tractie energievoorziening 3kV, is gebruikt gemaakt van een geleidelijke ingroei van de energiebaten gedurende de migratie conform het ingroeipad zoals beschreven in hoofdstuk 5.

De energiebaten zijn gemonetariseerd op basis van de elektriciteitsprijzen uit het hoge en lage WLO-scenario. Dit impliceert een elektriciteitsprijs in het jaar 2022 van €81 per MWh in het hoge scenario en van €67 per MWh in het lage scenario. Voor de berekening van de energiebaten is de aanname gemaakt dat de kosten die ProRail betaalt aan de netbeheerder voor het gebruik van de bovenleiding niet wijzigt door de overstap van 1,5kV naar 3kV. Tabel 7.2 toont de contante waarde van de energiebaten.

Tabel 7.2 Energiebaten (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Energiebaten	458	548

7.3. Overige effecten op exploitatiesaldo

De overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert in diverse effecten op het exploitatiesaldo van vervoerders. In deze MKBA zijn alleen de effecten op de exploitatie van NS opgenomen. Zoals beschreven in hoofdstuk 3 zijn er geen business cases gemaakt voor de overige vervoerders en zijn eventuele effecten op het exploitatieresultaat van de overige vervoerders dus niet ingeschat.

Het exploitatieresultaat van NS wordt beïnvloed door diverse effecten. In sectie 6.3.2 is reeds een inschatting weergegeven van de additionele onderhoudskosten aan het materieel van NS. In sectie 7.2 zijn reeds de nationale energiebaten weergegeven, een groot deel hiervan komt ten goede aan NS. Naast deze reeds beschreven effecten zijn er voor NS nog besparingen op de composities en besparingen op de personeelskosten. Immers, door de rijtijdwinst ten gevolge van de overstap naar 3kV kan een omloopreductie worden gerealiseerd waardoor dezelfde dienstregeling met minder composities kan worden gereden. Naast deze besparing op personeel leidt de overstap van 1,5kV naar 3kV voor NS tot extra kosten voor het opleiden van rijdend personeel. Bijlage 3 beschrijft deze effecten als onderdeel van de NS business case.

Tabel 7.3 toont de contante waarde van de besparingen op composities en personeel. De besparing op personeel is een netto besparing, dus inclusief de additionele kosten voor het opleiden van rijdend personeel.

Tabel 7.3 Besparingen NS op personeel en composities (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Exploitatie NS - personeelsbaten	98	138
Exploitatie NS - compositiebaten	229	313

VERTROUWELIJK

7.4. Externe effecten

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert in positieve externe effecten ten gevolge van een lagere CO2-emissie. Zoals beschreven in sectie 7.2 resulteert de overstap van 1,5kV naar 3kV in een significante jaarlijkse energiebesparing. Ondanks het feit dat NS reeds gebruik maakt van duurzaam opgewekte ('groene') elektriciteit, is de aanname gemaakt dat de energiereductie leidt tot een afname van niet-duurzaam opgewekte ('grijze') elektriciteit op nationaal niveau. Er zijn immers nog diverse gebruikers van grijze stroom die hierdoor een overstap kunnen maken naar groene stroom. Omdat de komende decennia het gebruik van duurzaam opgewekte elektriciteit naar verwachting zal toenemen, is aangenomen dat de veronderstelde reductie van niet-duurzaam opgewekte elektriciteit op nationaal niveau lineair zal afnemen van 100% van de jaarlijkse energiebesparing in 2034 (start van het rijden met 3kV materieel) naar 0% in 2050 (CE Delft, 2016).

De geleidelijk afnemende reductie van het gebruik van niet-duurzame elektriciteit resulteert in een geleidelijk afnemende reductie van CO2-emissie. De reductie van de CO2-emissie is gemonetariseerd op basis van de efficiënte CO2-prijs in het hoge en lage WLO-scenario. Dit impliceert een CO2-prijs in het jaar 2022 van €61 per ton CO2 in het hoge scenario en van €15 per ton CO2 in het lage scenario. Tabel 7.4 toont de contante waarde van de reductie van de CO2-emissie.

Tabel 7.4 Reductie CO2-emissie (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Reductie CO2-emissie	15	5

7.5. Indirecte effecten

Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert in positieve indirecte effecten ten gevolge van agglomeratievoordelen. Zoals beschreven in sectie 7.1 resulteert de overstap van 1,5kV naar 3kV in een jaarlijkse rijtijdwinsten. De aanname is dat een afname van rijtijden bijdraagt aan een beter functionerende arbeidsmarkt omdat de vraag naar arbeid en het aanbod van arbeid beter op elkaar aansluiten. Om de agglomeratievoordelen van transportmaatregelen te bepalen, wordt vaak gewerkt met een generiek opslagpercentage op de reistijdbaten van 0 tot 30 procent (CPB, 2013; KIM, 2022). In veel MKBA's wordt een percentage van 15% gehanteerd indien de effecten niet specifiek bepaald kunnen worden.

In deze MKBA geldt dat de afname van de rijtijden per treinreis klein zijn. Op nationaal niveau leidt dit weliswaar tot een substantiële afname van de totale rijtijd, maar het is onduidelijk in hoeverre de kleine rijtijdwinst per treinreis ook leidt tot agglomeratievoordelen. Om die reden is de prudente aanname gemaakt dat de indirecte effecten in deze MKBA niet 15% maar 7,5% van de reistijdbaten betreffen. Tabel 7.5 toont de contante waarde van indirecte effecten (agglomeratievoordelen).

Tabel 7.5 Indirecte effecten (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Indirecte effecten	88	88

7.6. Overzicht baten

Deze sectie toont een overzicht van de contante waarde van alle gemonetariseerde baten die in hoofdstuk 7 zijn beschreven.

VERTROUWELIJK

Tabel 7.6 Overzicht baten (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Reistijdbaten	1,178	1,170
Energiebaten	458	548
Exploitatie NS - personeelsbaten	98	138
Exploitatie NS - compositiebaten	229	313
Reductie CO2-emissie	15	5
Indirecte effecten	88	88
Totaal	**2,067**	**2,260**

VERTROUWELIJK

8 Resultaten

8.1. Projectalternatief 3kV

Tabel 8.1 geeft een overzicht van alle kosten en baten die in hoofdstuk 6 en 7 zijn beschreven. Figuur 8.1 geeft deze kosten en baten grafisch weer. Net als in hoofdstuk 6 en 7 zijn alle effecten contant gemaakt (verdisconteerd) naar het jaar 2022 om de kosten en baten goed met elkaar te kunnen vergelijken. Zowel voor het WLO hoog scenario als het WLO laag scenario geldt dat de contante waarde van de in de MKBA gemonetariseerde kosten lager is dan de contante waarde van de gemonetariseerde baten. De netto contante waarde van de gemonetariseerde effecten van deze MKBA presenteert een positief saldo van 97 miljoen euro in het WLO hoog scenario en een negatief saldo van 16 miljoen euro in het WLO laag scenario.

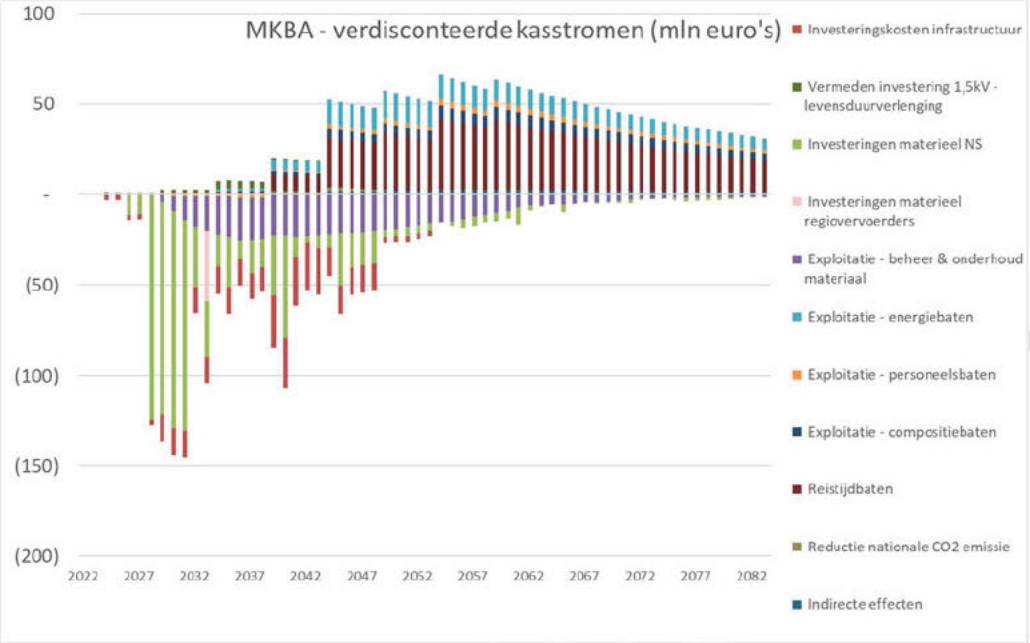
Naast het absolute MKBA-saldo geeft tabel 8.1 ook de baten-kostenratio en de economische *rate of return* (ERR) weer. De baten-kostenratio wordt verkregen door de totale baten te delen door de totale kosten. Bij een positief MKBA-saldo zal deze ratio altijd boven de 1 liggen, bij een negatief MKBA-saldo onder de 1. De baten-kosten ratio geeft aanvullende informatie over de verhouding tussen de baten en de kosten. De baten-kosten ratio van deze MKBA is 1,05 in het WLO hoog scenario en 0,99 in het WLO laag scenario. De ERR weerspiegelt het reële maatschappelijke rendement van de investeringen in deze MKBA. De ERR is gelijk aan de discontovoet waarbij de contante waarde van de kosten gelijk is aan de contante waarde van de baten. De ERR van deze MKBA bedraagt 3,7% in het WLO hoog scenario en 2,6% in het WLO laag scenario.

Tabel 8.1 Overzichtstabel (contante waarde 2022, mln. euro)

Effect	WLO hoog	WLO laag
Kosten		
Infrastructuur	389	445
Vermeden investeringen	(44)	(48)
Materieel – NS ombouw bestaand	671	725
Materieel – NS meerprijs bi-courant	135	162
Materieel – NS modernisering	128	158
Materieel - regiovervoerders	39	42
Materieel - goederenvervoerders	n.b.	n.b.
Onderhoud - NS	651	793
Totale kosten	**1,969**	**2,276**
Baten		
Reistijdbaten	1,178	1,170
Energiebaten	458	548
Exploitatie NS - personeelsbaten	98	138
Exploitatie NS - compositiebaten	229	313
Reductie CO2-emissie	15	5
Indirecte effecten	88	88
Totale baten	**2,067**	**2,260**
MKBA-saldo	**97**	**-16**
Baten-Kosten ratio	**1,05**	**0,99**
ERR (%)	**3,7%**	**2,6%**

VERTROUWELIJK

Figuur 8.1 Overzichtsgrafiek (contante waarde 2022, mln. euro)



8.2. Gevoeligheidsanalyses

8.2.1 Aannames

Deze sectie beschrijft de aannames van vier gevoeligheidsanalyses. Het doel van deze gevoeligheidsanalyses is het verkrijgen van inzicht in de impact op het MKBA saldo van alternatieve aannames bij belangrijke kosten- en batenposten. Alle gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd ten opzichte van de basisresultaten zoals beschreven in sectie 8.1. Twee gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd op basis van een specifieke inschatting van een ondergrens en/of bovengrens van een belangrijke parameter. De andere twee gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd op basis van een standaardpercentage (+/- 20%). Tabel 8.2 geeft een overzicht van de gevoeligheidsanalyses. Onder de tabel worden de gevoeligheidsanalyses individueel kort toegelicht.

Tabel 8.2 Aannames gevoeligheidsanalyses

Gevoeligheidsanalyse	Negatief	Positief
Investeringskosten infrastructuur	+20%	-20%
Investeringskosten materieel	+20%	-20%
Rijtijdwinst	Specifieke ondergrens	Specifieke bovengrens
Energiereductie	Specifieke ondergrens	Specifieke bovengrens

<u>Investeringskosten infrastructuur</u>

In deze analyse zijn alle investeringskosten in de infrastructuur van zowel ProRail als NS met 20% verhoogd en verlaagd.

Investeringskosten materieel

In deze analyse zijn alle investeringskosten in het materieel van zowel NS als de regiovervoerders met 20% verhoogd en verlaagd. Met betrekking tot NS gaat het om zowel de ombouwkosten, de meerprijs van bi-courant materieel als de additionele moderniseringskosten. Hierbij geldt bovendien het indirecte effect dat de additionele onderhoudskosten aan het materieel ook 20% zijn verhoogd en verlaagd ten gevolge van de hogere investeringskosten.

Rijtijdwinst - materieelprestaties

In deze analyse is de rijtijdwinst berekend op basis van een ondergrens en een bovengrens van de tijdwinst per vertrek voor verschillende typen treinen. De bovengrens van de baten zijn de technische maxima van het materieel, die zijn bepaald door Ricardo (Ricardo, 2019). Voor de ondergrens van de baten zijn de gebruikte rijtijdwinsten op 50% gezet.

Tabel 8.3 Aannames gevoeligheid rijtijdwinst (tijdwinst per vertrek in seconden)

Effect	Basis	Ondergrens	Bovengrens
Enkeldeks IC (HSL)	16	8	16
Dubbeldeks IC	21	10	23
Enkeldeks SPR	7	4	14
Regionaal	7	4	14

Energiereductie

In deze analyse zijn de energiebaten uitgerekend op basis van een ondergrens en een bovengrens van de jaarlijkse energiereductie. De vaststelling van de ondergrens en de bovengrens is beschreven in de rapportage 'Systeemkeuze TEV – Inschatting reductie energieverbruik voor MKBA base-case' van Ricardo (2021).

Tabel 8.4 Aannames gevoeligheid energiereductie (%)

Effect	Basis	Ondergrens	Bovengrens
Energiereductie	14%	9%	20%

8.2.2 Resultaten

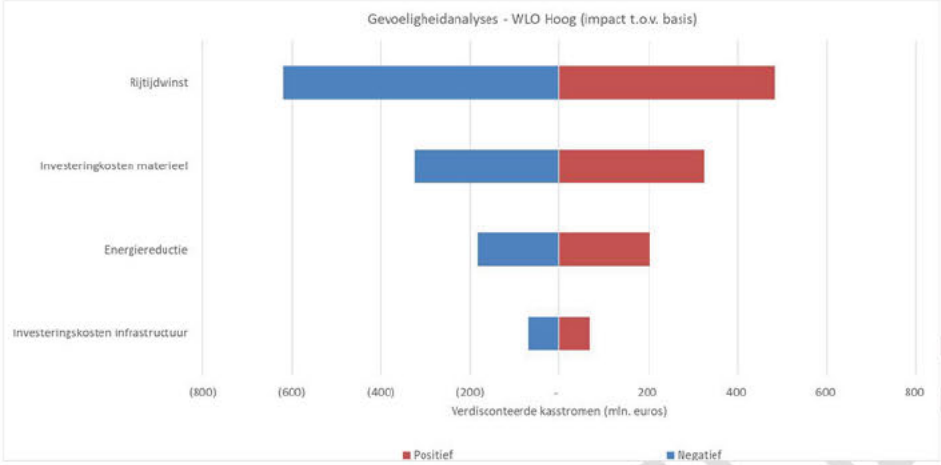
Figuur 8.2 geeft een overzicht van de impact van de vier gevoeligheidsanalyses. De impact is weergegeven als afwijking in miljoenen euro's van de basisresultaten. In deze zogeheten 'tornado' grafiek is de impact gesorteerd van hoog naar laag. Uit de grafiek is op te maken dat de resultaten van de MKBA relatief gevoelig zijn voor alternatieve aannames met betrekking tot de rijtijdwinst (materieelprestaties) en investeringen in het materieel. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de ranges van de alternatieve aannames een verschillende mate van onderbouwing hebben, zoals ook beschreven in sectie 8.1. De impact van de gevoeligheidsanalyses is min of meer vergelijkbaar voor het WLO hoog scenario en het WLO laag scenario.

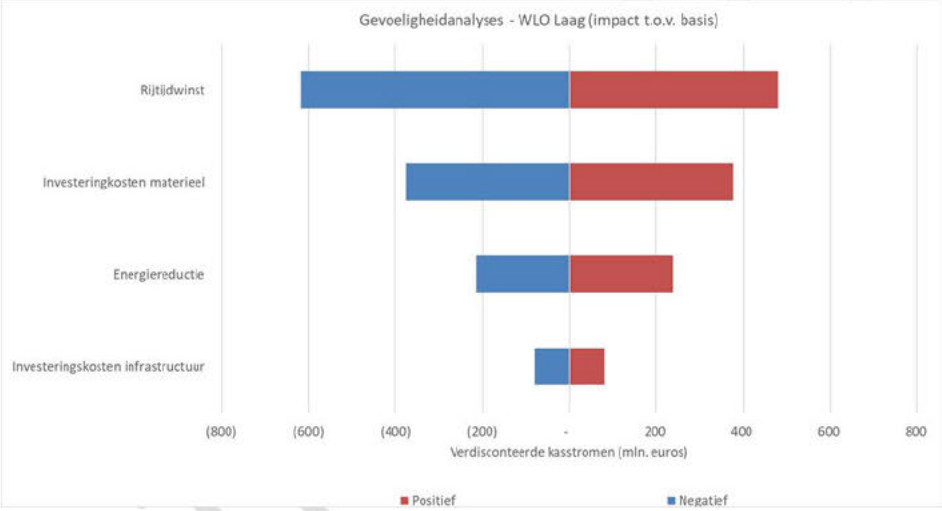
Tabel 8.5 geeft een overzicht van de resulterende MKBA-saldi van de vier gevoeligheidsanalyses. Deze tabel laat per gevoeligheidsanalyse zien wat het MKBA-saldo zou zijn bij een positieve of negatieve aanname. De resulterende saldi kunnen worden vergeleken met de basisresultaten van WLO Hoog (97 mln. euro) en WLO Laag (-16 mln. euro). De spreiding van de resulterende MKBA-saldi

VERTROUWELIJK

is uiteraard het hoogste voor de bovengenoemde twee gevoeligheidsanalyses met een relatief grote impact.

Figuur 8.2 Resultaten gevoeligheidsanalyses – impact WLO hoog en WLO laag





Tabel 8.5 Resultaten gevoeligheidsanalyses – Resulterende MKBA saldi

Gevoeligheidsanalyse	Negatief WLO Hoog	Positief WLO Hoog	Negatief WLO Laag	Positief WLO Laag
Rijtijdwinst	(523)	579	(632)	462
Investeringen materieel	(228)	422	(391)	360
Energiereductie	(87)	301	(231)	222
Investeringen infrastructuur	28	166	(95)	64

8.3. Alternatief migratiescenario

8.3.1 Aannames

In het migratiescenario zoals beschreven in hoofdstuk 5 ("base case migratiescenario") zorgt de ombouw van treinmaterieel in de eerste jaren voor een hoge kostenpiek. Om deze kostenpiek te voorkomen is er een tweede migratiescenario ("alternatief migratiescenario") opgesteld waarin

minder materieel wordt omgebouwd. Sectie 8.3 beschrijft de belangrijkste aannames en resultaten van de doorrekening van deze extra gevoeligheidsanalyse met betrekking tot het migratiescenario.

Dit zijn de belangrijkste uitgangspunten met betrekking tot het alternatieve migratiescenario:

1) De fasering van de infrastructuur blijft gelijk, maar de timing verandert. De start van de migratie blijft gelijk, maar een groot deel van de onderstations wordt pas in 2064 omgeschakeld, zie tabel 8.6.
2) De ombouw van het aantal treinseries neemt aanzienlijk af. De series SNG en DDNG worden niet omgebouwd en blijven tot het einde van hun levensduur rijden met 1,5kV. De serie ICNG wordt wel omgebouwd: deze serie is inzetbaar op de eerste 3kV-infrastructuur, de serie behaalt rijtijdwinsten onder 3kV én het technische ombouwrisico van deze serie is het laagst. Zo is er reeds een ICNG in België gepland met 3kV. Deze aannames leiden tot een scenario met een migratieperiode van bijna 40 jaar waarin SNG en DDNG niet overal inzetbaar zijn en veel bi-courant materieel rondrijdt zonder inzetbaar 3kV-gebied.
3) Ten gevolge van bovenstaande aanpassingen zullen de baten significant langzamer ingroeien dan in het base case migratiescenario. Tabel 8.7 vergelijkt de ingroeipercentages van beide scenario's.

Dit alternatieve migratiescenario wordt nadrukkelijk niet gepresenteerd als een tweede projectalternatief. Dit vergt een nadere uitwerking van de impact op andere effecten, die nu nog niet in kaart zijn gebracht. Een voorbeeld hiervan is de impact van een langere migratie op de mogelijkheden tot levensduurverlenging en voorbereid bouwen. Een ander voorbeeld is de impact van een langere migratie op de noodzaak tot spanningssluizen. Deze effecten zijn niet integraal in kaart gebracht, waardoor dit alternatieve migratiescenario slechts een eerste indruk geeft van de effecten van een langere migratie met lagere ombouwkosten.

Tabel 8.6 Omschakeling in migratiescenario's (aantal ProRail onderstations)

Migratiescenario	2034-2039	2039-2044	2044-2049	2049-2054	2054-2059	2059-2064	2064-2069	Totaal
Omschakeling "base case"	20	59	123	54				256
Omschakeling "alternatief"	20	59					177	256

Tabel 8.7 Ingroeipercentages gefaseerde migratie (percentage van het totale effect)

"Base case" migratiescenario	2034-2039	2039-2044	2044-2049	2049-2054	2054-2059	2059-2064	2064-2083
Ingroeipercentage 1 – alleen infrastructuur	8%	31%	79%	100%	100%	100%	100%
Ingroeipercentage 2 – infrastructuur en materieel	2%	15%	49%	60%	87%	100%	100%
"Alternatief" migratiescenario	**2034-2039**	**2039-2044**	**2044-2049**	**2049-2054**	**2054-2059**	**2059-2064**	**2064-2083**
Ingroeipercentage 1 – alleen infrastructuur	8%	31%	31%	31%	31%	31%	100%
Ingroeipercentage 2 – infrastructuur en materieel	2%	15%	15%	15%	15%	15%	100%

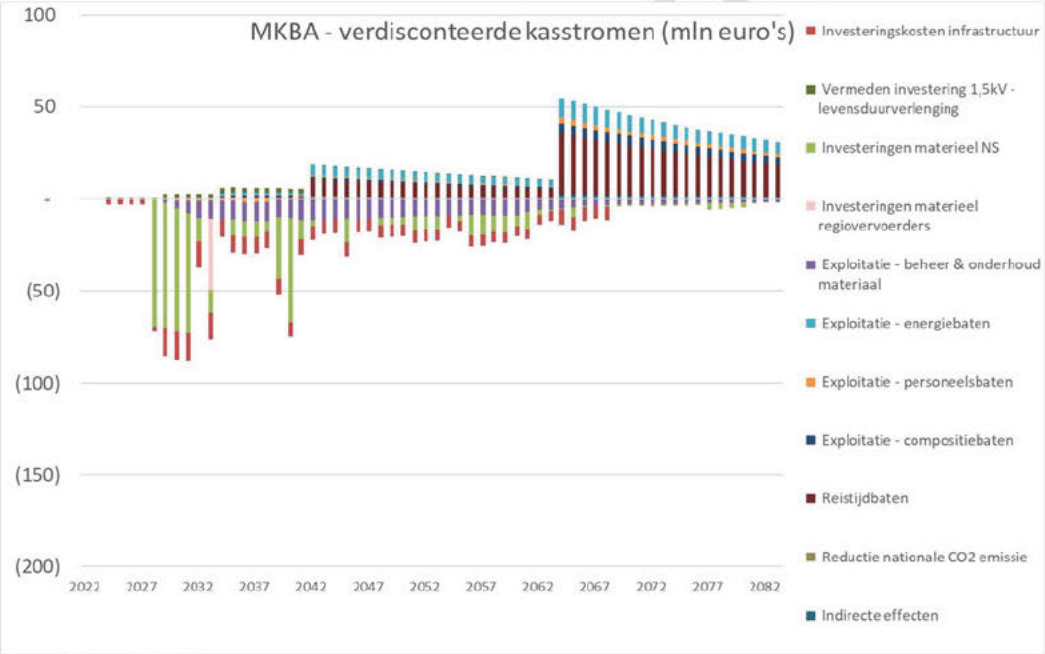
8.3.2 Resultaten

De netto contante waarde van de gemonetariseerde effecten (het MKBA-saldo) onder het alternatieve migratiescenario laat een verslechtering zien ten opzichte van het MKBA-saldo onder het base case migratiescenario. Dit ondersteunt de inschatting dat de base case migratiestrategie inderdaad een optimale afweging biedt tussen de maatschappelijke kosten en baten. De MKBA met het alternatieve migratiescenario presenteert een negatief saldo van 131 miljoen euro in het WLO hoog scenario en een negatief saldo van 210 miljoen euro in het WLO laag scenario, zie tabel 8.8. Figuur 8.3 toont de verdisconteerde kasstromen onder het alternatieve migratiescenario.

Tabel 8.8 Resultaten alternatief migratiescenario – MKBA saldo (contante waarde 2022, mln. euro)

Gevoeligheidsanalyse	Saldo WLO Hoog	Saldo WLO Laag
Base case migratiescenario	97	-16
Alternatief migratiescenario	-131	-210

Figuur 8.3 Overzichtsgrafiek alternatief migratiescenario (contante waarde 2022, mln. euro)



9 Conclusies & aanbevelingen

Sectie 9.1 beschrijft de belangrijkste conclusies van deze MKBA. Sectie 9.2 beschrijft aanbevelingen voor additioneel onderzoek naar de impact van 3kV.

9.1. Conclusies

Op basis van de huidige onderzoeksopzet van deze MKBA geldt de conclusie dat bij een overstap van 1,5kV naar 3kV de gemonetariseerde maatschappelijke baten *grosso modo* gelijk zijn aan de gemonetariseerde maatschappelijke kosten. Een overstap naar 3kV resulteert in een positief MKBA-saldo van 97 miljoen euro in het WLO hoog scenario en een negatief saldo van 16 miljoen euro in het WLO laag scenario. De baten-kosten ratio van deze MKBA is 1,05 in het WLO hoog scenario en 0,99 in het WLO laag scenario. Hieronder volgen een aantal belangrijke aandachtspunten bij de interpretatie van deze resultaten.

Ten eerste geldt een belangrijke aanname dat er gedurende de gehele operationele fase van deze MKBA wordt gereden met een gelijkblijvende dienstregeling (PHS 6 basis). Het resultaat is een zuivere vergelijking van de additionele kosten en baten tussen 1,5kV en 3kV onder de dienstregeling PHS 6 basis. Onder de aanname van een beperkte stijging van de toekomstige vervoersvraag geeft deze vergelijking een representatieve doorkijk in de effecten van een overstap naar 3kV. De analyse geeft echter beperkt zicht op de effecten van 3kV bij een sterk stijgende vervoersvraag. Het is aannemelijk dat de additionele baten van een overstap naar 3kV zullen toenemen bij toekomstige zwaardere dienstregelingen.

Ten tweede zijn een aantal aspecten niet in kaart zijn gebracht, die naar verwachting wel invloed hebben op de resultaten van de MKBA. Dit zijn de posten die in deze MKBA niet zijn gemonetariseerd, zoals beschreven in sectie 4.2. Dit zijn zowel positieve als negatieve effecten. Omdat het belangrijk is om de effecten met een potentieel grote impact -indien mogelijk- alsnog te monetariseren, ligt hier een aanbeveling voor vervolgonderzoek, zie sectie 9.2.

Ten derde laat een eerste analyse van een alternatief migratiescenario zien dat het ombouwen van minder treinseries weliswaar leidt tot een substantiële afname van de kosten, maar ook tot een nog grotere afname van de baten. Dit ondersteunt de inschatting dat de base case migratiestrategie inderdaad een optimale afweging biedt tussen de maatschappelijke kosten en baten.

Ten vierde laten de gevoeligheidsanalyses zien dat alternatieve aannames zeer bepalend kunnen zijn voor het MKBA-saldo. Dit geldt met name voor aannames met betrekking tot de rijtijdwinsten (materieelprestaties) en de materieelinvesteringen. Voor diverse gevoeligheidsanalyses geldt dat een alternatieve aanname van een enkele parameter het verschil kan maken tussen een positief en een negatief MKBA-saldo.

Ten vijfde geldt dat vroegtijdig anticiperen op een migratie die start in 2034 kan leiden tot besparingen in de investeringen in functiehandhaving 1,5kV. Onder de aanname dat in 2024 bekend zal zijn dat er vanaf 2034 wordt omgeschakeld naar 3kV, is deze besparing op de infrastructuurinvestering ingeschat tussen de 91 mln euro (WLO hoog) en 107 mln euro (WLO laag).

De auteurs van deze MKBA hechten er waarde aan te vermelden dat voor conclusies met betrekking tot de overstap van 1,5kV naar 3kV breder gekeken dient te worden dan naar de MKBA alleen. Een deelconclusie op basis van deze MKBA is dat, ondanks diverse onzekerheden, de maatschappelijke

VERTROUWELIJK

kosten en baten (MKBA-saldo) van een overstap van 1,5kV naar 3kV elkaar in evenwicht lijken te houden.

9.2. Aanbevelingen vervolgonderzoek

Sectie 9.2 beschrijft aanbevelingen voor additioneel onderzoek naar de impact van 3kV.

- Er kan nader onderzoek worden gedaan naar een alternatief projectalternatief 1,5kV, bijvoorbeeld een projectalternatief waarin het 1,5kV systeem wordt doorontwikkeld met aanvullende investeringen op basis van nog uit te voeren netanalyses.
- Er kan nader onderzoek worden gedaan naar de niet-gemonetariseerde effecten. De technische haalbaarheid en de kosten van randvoorwaardelijke trein-baan-interfaces zijn in dit kader een belangrijk issue. De migratie naar 3kV vindt plaats in een systeem dat is ontworpen voor 1,5kV. Er is een kans dat er aanvullende investeringen nodig zijn om treinen sneller te laten aanzetten en om bi-courante treinen te faciliteren.
- Er kan nader onderzoek worden gedaan naar de mate waarin de resultaten van de MKBA gevoelig zijn voor de effecten van toekomstige zwaardere dienstregelingen. Er kan bijvoorbeeld vervolgonderzoek worden gedaan naar de maatschappelijke kosten en baten van een overstap naar 3kV onder de aanname dat in Nederland wordt geïnvesteerd in het programma Toekomstbeeld OV (TBOV).

VERTROUWELIJK

10 Literatuurlijst

CBS, 2021. Statline, gemiddelde jaarmutatie consumentenprijsindex 2011-2020.

CE Delft, 2016, Benchmark 3kV tractievoeding: een vergelijking van (kosten)effectiviteit van 3kV tractievoeding en andere energiemaatregelen.

CPB & PBL, 2013, Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-baten analyses.

CPB & PBL, 2015, Toekomstverkenning welvaart en leefomgeving: cahier mobiliteit.

CPB & PBL, 2016a, WLO klimaatscenario's en de waardering van CO2 uitstoot in MKBA's.

CPB & PBL, 2016b, Toekomstverkenning welvaart en leefomgeving: achtergronddocument klimaat en energie.

CPB, 2015, BTW en de reistijdwaardering van zakelijke reizen en goederenvervoer in maatschappelijke kosten-baten analyses.

I&W, 2021, Referentieprognose LMS NRM 2021.

I&W, 2021, Integrale Mobiliteitsanalyse.

KIM, 2018, Second opinion MKBA verbeterde tractie energievoorziening.

KIM, 2022, Agglomeratie-effecten in MKBA: de stand van zaken.

NS, 2021, Uitgangspunten materieel in werkpakket migratie.

ProRail, 2014, Introductie 3kV dc tractie energievoorziening maatschappelijk kosten-baten analyse.

ProRail & NS, 2018, Een maatschappelijke kosten-baten analyse van een verbeterde tractie-energievoorziening.

ProRail & NS, 2020, Systeemkeuze TEV, Eindrapport simulatie fase 1, interne analyse.

ProRail & NS, 2021b, Notulen van workshops ten behoeve van migratiestrategie.

ProRail & NS, 2022, Aandachtspunten Addendum, aanvullend op rapport: 'Inschatting energiebaten 2030 voor startbeslissing'.

Ricardo, 2019, Uitgangspunten 3kV scenario's DONS.

Ricardo, 2021, Inschatting reductie in energieverbruik, Johan van der Werf, Ricardo Nederland BV.

Ricardo, 2021b, Definitieve versie van de DONS bladen enkeldeks SPR, enkeldeks IC en dubbeldeks IC materieel, opgesteld in opdracht van NS.

SEE 2016, Steunpunt Economische Expertise: De Value of Time van treinreizigers.

SEE 2020, Memo Toepassing MKBA-methodiek: aanvulling op de richtlijnen.

Bescherming persoonlijke levenssfeer et al, 2021, Geschiktheid bovenleiding voor 3kVdc, memo aan kernteamleden STEV, 14 juni 2021, ProRail, Utrecht.

Werkgroep Discontovoet, 2020, Rapport werkgroep discontovoet 2020.

VERTROUWELIJK

Bijlage 1 Overzicht niet-gemonetariseerde effecten

Tabel B1.1 geeft een beschrijving van de kosten en baten die niet zijn gemonetariseerd in deze MKBA.

Tabel B1.1. Beschrijving niet-gemonetariseerde effecten

Niet-gemonetariseerde effecten (positief)	
Capaciteitseffecten onder PHS 6 basis	De baten ten gevolge van een capaciteitsvergroting vanuit de overstap naar 3kV zijn niet separaat gemonetariseerd. De aanname dat zowel in het nulalternatief als in het projectalternatief tot het einde van de zichtperiode van de MKBA wordt gereden met de dienstregeling PHS 6 basis impliceert dat capaciteitseffecten in termen van additionele treininzet niet worden gekwantificeerd. Op basis van *expert judgement* is wel een inschatting worden gemaakt van de capaciteitsvergroting ten gevolge van een overstap van 1,5kV naar 3kV. Deze inschatting laat zien dat circa 4% meer treinkilometers gereden kunnen worden ten gevolge van een overstap naar 3kV (ProRail & NS, 2020). De basis voor deze inschatting is een simulatie van de verwachte afname van de gemiddelde doorlooptijd op een aantal Nederlandse baanvakken.
Congestiereductie (netbeheer)	Conform nieuw te verwachten wetgeving zal congestiemanagement worden ingezet om capaciteitsknelpunten gezamenlijk (lees netbeheerder en aangeslotene) te verkennen en op te lossen. Het is nog onduidelijk of het voor de spoorsector verplicht hieraan bij te dragen. Inhoudelijk bestaat congestie management uit een proces waarin diverse stappen worden doorlopen. Een stap betreft het verkennen van de werkelijke energie behoefte en welke efficiëntie is nog te behalen. Een overstap naar 3kV brengt, bij gelijkblijvende vraag, een verlaging van het energieverbruik. Deze verlaging is tevens merkbaar op de meer dan 200 aansluitpunten met het openbaar netbeheer. Een overstap naar 3kV kan capaciteitsbeperkingen mogelijk verlichten.
Verbetering voor systeem bovenleiding	Een transitie naar 3kV resulteert in beheervoordelen voor het systeem bovenleiding. Als gevolg van een verlaagde stroomwaarde is de verwachting dat minder beheerlasten (onderhoud en instandhouding) zullen optreden. Componenten worden minder zwaar belast en kunnen daardoor langer mee. Tevens is een lagere kans op verstoringen als gevolg van het doorbranden van de rijdraad tijdens stilstand van de trein te verwachten. Onbekend is wat de mate van verlaagde beheerlasten zullen zijn.
Vermeden investeringen (deels)	Vermeden investeringen zijn kosten die worden gemaakt in het nulalternatief die wegvallen in het projectalternatief. Het is mogelijk dat, indien tijdig wordt besloten over een overstap naar 3kV, bepaalde vervangingskosten van 1,5kV infrastructuur niet of anders worden gemaakt vanwege de aanstaande migratie naar 3kV. Een deel van de potentiële vermeden investeringen zijn in kaart gebracht onder de noemer 'levensduurverlenging' en 'voorbereid bouwen'. Een nadere analyse van de latere vervangingsinvesteringen in 1,5kV, met name na het jaar 2043, zouden tot meer vermeden investeringen kunnen leiden.
Veiligheid spoorstaaf aarde spanning	De spoorstaven zijn onderdeel van het tractie energievoorziening systeem. Deze spoorstaven worden gebruikt om de noodzakelijke stroomkring te maken. De elektrische stroom, afkomstig van het onderstation, door de bovenleiding zal via de spoorstaaf terug stromen naar het onderstation, om de stroomkring te sluiten. Deze stroom zal een spanning, zogenaamde

	spoorstaaf aarde spanning in de spoorstaaf laten ontstaan. Deze spanning mag vanuit veiligheidsoverwegingen de 120V dc continu niet overschrijden. Hogere spanningen in kortere tijdsintervallen zijn wel toegestaan. Elektrotechnisch effect bij het verhogen van de bovenleidingspanning naar 3kV zal, bij gelijkblijvende vervoersomvang/vermogen, de stroom en daarmee de spoorstaaf aarde spanning doen halveren. Hierdoor ontstaat een veiligere situatie en ontstaat een ruimere marge alvorens mitigerende maatregelen genomen moeten worden. Mitigerende maatregel bij overschrijding van de veiligheidsnorm betreft het plaatsen van een onderstation. Vanwege onbekendheid omtrent de toekomstige groei van het vervoer en daarmee de toename van vermogen/stroom, is niet te bepalen van hoeveel reductie aan mitigerende maatregelen er sprake zal zijn. Mogelijk geeft de nog uit te voeren netanalyse daar mee inzicht in.
Niet-gemonetariseerde effecten (negatief)	
Treinbaan-interface: baanstabiliteit, bovenleidingen en aanzetbeperkingen	Bij een migratie naar 3kV zijn treinen tijdens de migratie zwaarder en zetten ze permanent harder aan. Daarnaast gelden voor de interface tussen pantograaf en bovenleiding andere eisen. Om deze aanpassingen in de infrastructuur te faciliteren, zijn randvoorwaardelijke investeringen nodig waartoe nog niet is besloten. Deze investeringen kunnen om een andere reden dan 3kV nodig zijn en zijn daarom dus geen onderdeel van de MKBA. Voor elk van deze onderwerpen is als onderdeel van het onderzoek naar tractie energievoorziening (STEV) een apart memo opgesteld, waarin de probleemstelling en oplossingsrichtingen zijn beschreven.
Impact spanningsluizen	Gedurende de migratieperiode zijn er spanningsluizen op het HRN. Deze hebben een negatieve impact op de prestaties van materieel en van de TEV. De mate van impact is onbekend. Deze impact is niet gemonetariseerd. De negatieve impact op de prestaties van het materieel is tweeledig. Ten eerste leiden spanningsluizen tot een lagere betrouwbaarheid van de operatie, omdat treinen erin kunnen stranden. Dit leidt tot een lagere punctualiteit op het spoor. Ten tweede leiden het op- en afnemen van pantografen -nodig om de spanningsluis te passeren- tot extra slijtage en daarbij horende onderhoudskosten. De negatieve impact op prestaties van de TEV zit hem in het 'opbreken' van het netwerk, waardoor minder recuperatie mogelijk is en waardoor spanningsverliezen toenemen.
Impact inzet deelparken	Gedurende de migratie rijdt NS met deelparken 1,5kV en bi-courante deelparken. Dit leidt tot 'snijverliezen' in het materieelpark, waardoor NS meer materieel nodig heeft. Een hogere materieelbehoefte leidt tot extra benodigde behandel- & opstelcapaciteit en dus kapitale investeringen. Daarnaast leidt de beperkte inzetbaarheid van 1,5kV-materieel tot een minder efficiënte inzet, waardoor dit materieel meer leeg-materieel-ritten moet maken met bijhorende operationele kosten en energieverbruik. Daarnaast leiden deelparken tot minder flexibiliteit in het inzetten van materieel. Dit uit zich in slechtere materieelinzet bij evenementen en buitendienststellingen. Bij evenementen worden normaal gesproken uit andere landsdelen extra materieel gehaald om de hogere reizigersvolumes te vervoeren. Bij deelparken is dit niet of beperkt mogelijk. Hetzelfde geldt voor buitendienststellingen door werkzaamheden: de omreisroutes moeten dan versterkt worden, wat beperkt mogelijk is bij deelparken.

Materieel-investering goederen-vervoerders	Een overstap van 1,5kV naar 3kV resulteert naar verwachting ook voor goederenvervoerders in additionele investeringskosten in het treinmaterieel. Zoals beschreven in hoofdstuk 3 is er in deze MKBA alleen voor NS en de regiovervoerders een inschatting gemaakt van deze investeringskosten.
Niet-gemonetariseerde effecten (niet in te schatten)	
Impact energiezuinig rijden	Voor de energiebaten is uitgegaan van recuperatie. NS leidt haar machinisten op om energiezuinig te rijden, waarbij machinisten uitrollen in plaats van afremmen. Het uitrollen gebeurt in de speling die in de dienstregeling is ingebouwd, deze speling blijft bestaan bij sneller aanzetten onder 3kV. Dit is niet meegenomen in de ondergrens van de gevoeligheidsanalyse, hiermee kan de ondergrens nog aanzienlijk lager uitvallen. Hoe meer machinisten uitrollen, hoe minder energiewinst van 3kV te incasseren is.

VERTROUWELIJK

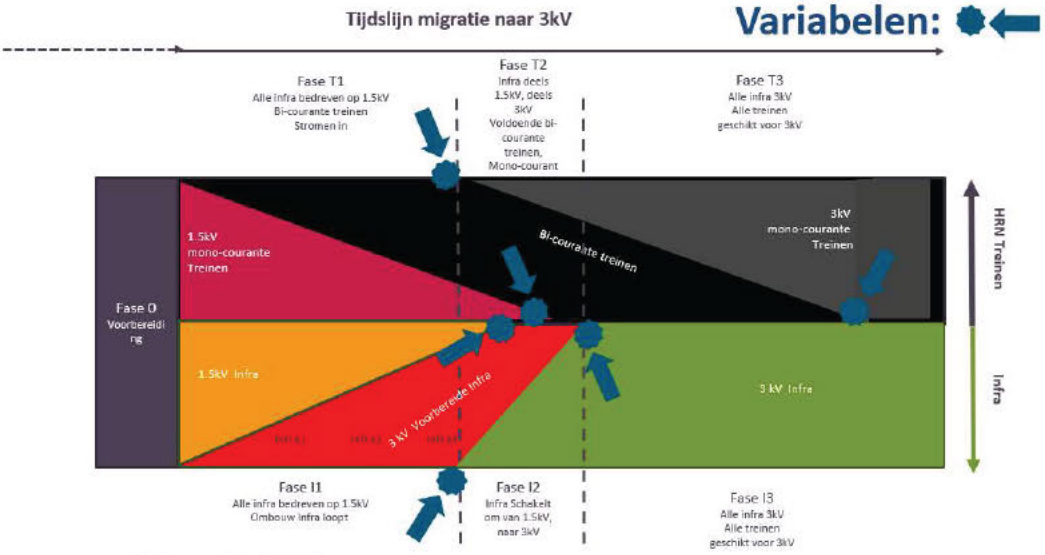
Bijlage 2 Migratiescenario

Deze bijlage beschrijft de totstandkoming en opzet van het migratiescenario dat is gebruikt als basis voor de MKBA.

Het migratiescenario beschrijft in welke stappen zowel het materieel als de infrastructuur geschikt wordt gemaakt voor rijden onder 3kV. Figuur B2.1 geeft de belangrijkste variabelen daarin weer:

- De bovenste helft van de figuur is een weergave van de treinen: aan de start van de migratie zijn deze alleen geschikt voor 1,5kV (mono-courant), dan volgt een periode met steeds meer treinen die voor zowel 1,5kV als voor 3kV geschikt zijn (bi-courant) en ten slotte zijn alle treinen mono-courant 3kV.
- De onderste helft van de figuur is een weergave van de infrastructuur: aan de start van de migratie zijn onderstations alleen geschikt voor 1,5kV (mono-courant), vervolgens worden de onderstations voorbereid op 3kV (ombouwen) en ten slotte worden de onderstations omgeschakeld naar 3kV.

Figuur B2.1 Overzicht migratiescenario



Uit de figuur is op te maken dat er drie fases ontstaan:

1. Fase T1: waarbij alle treinen onder 1,5kV rijden
2. Fase T2: een deel van de infrastructuur is 1,5kV en een deel van de treinen zijn voor beide systemen geschikt
3. Fase T3: alle infrastructuur is onder 3kV gebracht en alle treinen zijn daarvoor geschikt. Een deel van de treinen is nog bi-courant

Het doel van de migratie is een optimale maatschappelijke kosten-baten verhouding te vinden. Dat wordt bereikt door T2 zo kort mogelijk te laten zijn. In die fase is immers veel materieel bi-courant met bijbehorende nadelen (hogere gewichten, hogere onderhoudskosten) en zijn er veel spanningssluizen met bijbehorende operationele impact. In deze fase zijn de meeste kosten al gemaakt, maar de baten nog niet volledig.

Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de ontwikkeling van de migratiestrategie:

1. De migratie is landelijk, dat wil zeggen één uniform tractie energie voorzieningsysteem, exclusief HSL en Betuweroute.
2. Na inbouw ERTMS start de 3kV-retrofit van bestaand materieel. Dit kan niet gelijktijdig, vanwege reeds lopende aanbesteding en risicoprofiel voor ERTMS-leveranciers. Ook om te voorkomen dat er 2x engineering en 2x prototyping voor 3kV wordt uitgevoerd, is ten minste 1 ERTMS-treinstel nodig.
3. Voor de doorlooptijd van aanbesteding + engineering + prototyping + testen & toelaten is per serie minimaal 4 jaar nodig m.u.v. ICNG waar engineering kan worden ingekort dankzij de ontwikkeling van ICNG-België.
4. Er kunnen niet meerdere series van 1 type (SPR, DD) tegelijkertijd worden onttrokken aan de exploitatie. NB: veel gelijktijdige onttrekking leidt tot niet-maakbaarheid vanwege werkplaatscapaciteit, engineeringscapaciteit en dip in zitplaatskans.
5. Retrofitten van DDZ en ICM naar 3kV is niet zinvol en haalbaar, want eerst mogelijke 3kV-baanvak is niet beschikbaar vóór einde levensduur (2030) van deze series.
6. SLT en VIRM leunen zwaarder op NS TreinModernisering en NS Techniek qua kennis en kunnen dus waarschijnlijk niet tegelijkertijd omgebouwd worden.
7. De eerste bestellingen (base-order) DDNG is mono 1,5kV en moeten worden omgebouwd. Vervolgorders kunnen naar verwachting direct bi-courant worden geplaatst bij leverancier.
8. Het omschakelen vindt plaats tijdens een buitendienststelling van enkele dagen en beperkt zich tot maximaal 25 onderstations per omschakelgebied.
9. 3kV deelnetten worden door spanningssluizen elektrisch gescheiden van de aangrenzende 1,5k deelnetten.
10. Met betrekking tot het materieel is aangenomen dat eind 2022 een realisatiebesluit 3kV is genomen, inclusief dekkende financiering. Er is aangenomen dat in 2023 wordt gestart met de aanbesteding en voorbereiding.

Stappenplan naar een migratiescenario

De migratie naar 3kV is een wisselwerking tussen ombouw van materieel, ombouw en omschakelen van infrastructuur en treinenloop/ logistiek. De migratiestrategie is opgesteld in een aantal workshops met experts op verschillende vakgebieden. De migratiestrategie is in vier stappen opgebouwd:

1. Materieel, zonder restricties vanuit logistiek of infrastructuur. Er is alleen gekeken hoe snel al het materieel geschikt kan zijn voor 3kV.
2. Logistiek: het bepalen van 3kV-gebieden (tijdelijke deelnetten) waarop een realistische treinenloop mogelijk is, die aansluit bij de ontwikkelde ombouwscenario's van materieel uit stap 1. Hierbij is geen rekening gehouden met restricties vanuit de infrastructuur.
3. Infrastructuur: het bepalen van de fasering van de ombouw en het omschakelen van de infrastructuur die aansluit bij de ontwikkelde logistieke scenario's van stap 2.
4. Controleren of de drie stappen (materieel, logistiek, infrastructuur) leiden tot een integraal maakbaar scenario en of de optimale strategie is bereikt.

VERTROUWELIJK

5. Later uit te voeren: verificatie en verfijning van de migratiestrategie met andere vervoerders. De verwachting is dat dit niet tot een wezenlijk andere migratiestrategie zal leiden.

Ten tijde van de workshops zijn kennis en inzichten uit eerder onderzoek- voor zover relevant – gebruikt. Met name voor de infra migratie zijn in het verleden al diverse onderzoeken uitgevoerd ten behoeve van de MKBA 2014/2018 en het onderwerp Voorbereid Bouwen.

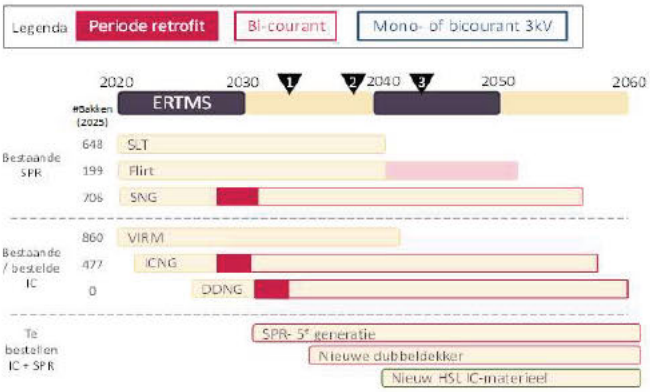
<u>Stap 1: materieel</u>

Er zijn twee manieren om voldoende geschikt 3kV-materieel te verkrijgen: ofwel retrofitten van bestaand materieel ofwel nieuw materieel bestellen. Het bepalen van de optimale materieelstrategie is gestart met twee uiterste scenario's: (i) zo snel mogelijk alle materieel retrofitten en (ii) geen bestaand materieel retrofitten. Daarna is een tussenvariant (iii) onderzocht waarbij niet alle materieel wordt geretrofit.

i. Snelst mogelijke migratie naar 3kV: in dit scenario moeten de series SLT, VIRM, FLIRT, ICNG, SNG en DDNG worden geretrofit. Met de gestelde randvoorwaarden dat er maximaal één serie per treintype (SPR of DD) tegelijkertijd kan worden geretrofit, leidt dit ertoe dat SLT en VIRM circa 6 jaar voor einde levensduur zijn geretrofit. Op basis van ervaringen met ERTMS, waarbij DDZ en ICM niet worden geretrofit met ETCS, is te concluderen dat retrofit van SLT en VIRM niet haalbaar is. Immers, de retrofit naar 3kV is kostbaarder en risicovoller dan de retrofit met ETCS. Daarmee is scenario 1 'alle materieel z.s.m. ombouwen' bij voorbaat niet realistisch.
ii. Geen bestaand materieel retrofitten: met als achterliggende gedachte dat retrofitten kostbaar en risicovol is en zo veel mogelijk voorkomen dient te worden. De migratie naar 3kV wordt gerealiseerd door aanschaf van bi-courant materieel en later mono-courant materieel. Deze strategie leidt ertoe dat er 1,5kV-baanvakken blijven tot en met medio 2050, vanwege levensduur SNG, en pas na 2050 omgeschakeld kan worden naar 3kV. Daarmee is het onwaarschijnlijk dat er al mono-courant 3kV-materieel kan instromen voor 2050. Gelet op deze (te) lange tijdslijn is dit migratiescenario niet aantrekkelijk.
iii. Strategie 3 vindt een balans tussen het te retrofitten materieel en nieuw te bestellen materieel. Deze strategie is gebaseerd op de inzichten uit de strategieën i en ii. In deze strategie worden de 'NG'-series (Sprinter Nieuwe Generatie, Intercity Nieuwe Generatie en DubbelDekker Nieuwe Generatie) omgebouwd. Het technisch risico hiervan is relatief beperkt, omdat deze series bij bestelling gespecificeerd zijn als 'voorbereid op 3kV'. Bovendien maakt de rest-levensduur na eerst mogelijke ombouw een investering in 3kV te verantwoorden. Voor de FLIRT-vloot is na een aparte analyse bepaald dat deze tussen 2040 en 2044 wordt geretrofit. Het late retrofitten heeft een betere kosten-baten-verhouding dan het materieel vervroegd afschrijven en dan het uitstellen van de migratie van de laatste baanvakken naar 3kV.

VERTROUWELIJK

Figuur B2.2: migratiescenario iii balans tussen retrofit en nieuw te bestellen rollend materieel.



<u>Stap 2: logistiek</u>

Voor de voorkeurstrategie iii is bepaald welke deelnetten mogelijk en/of noodzakelijk zijn gegeven het beschikbare 1,5kV en 3kV materieel. Zie figuur B2.3 voor een overzicht.

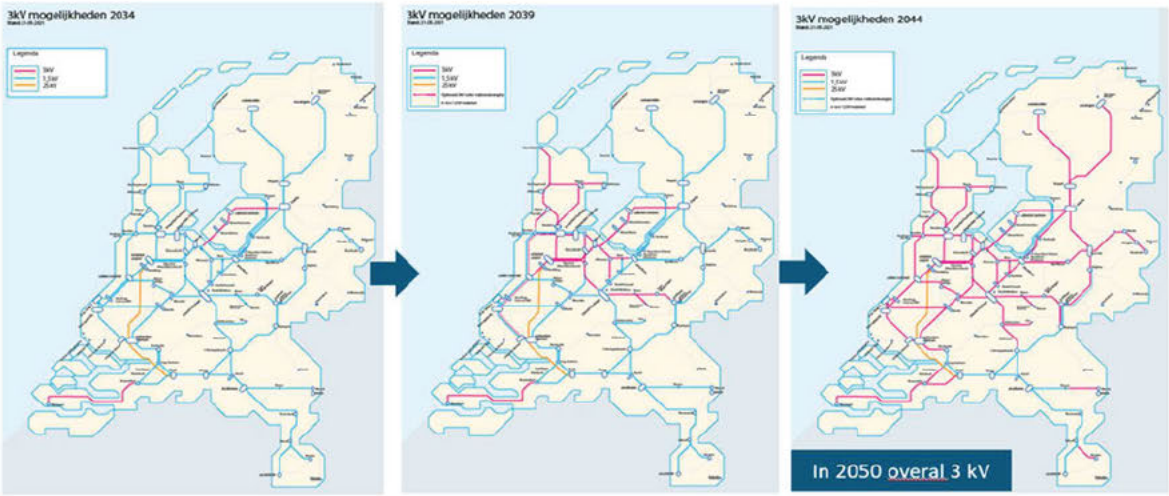
Vanaf 2034 kunnen de Hanzelijn en de Zeeuwse lijn omgeschakeld worden naar 3kV. Er is dan voldoende SNG, ICNG en DDNG materieel omgebouwd om op deze lijnen te kunnen rijden. Dit resulteert voor NS in een beperking van de inzetbaarheid van het overige materieel.

Vanaf 2039 kunnen dan nog drie deelnetten omgeschakeld worden naar 3kV. Dat is Noord-Holland boven het Noordzeekanaal, deel van de randstad ten Noordwesten van de lijn Utrecht-Amersfoort aangesloten op de Hanzelijn, en het deelnet tussen Utrecht en Arnhem. De as van Groningen + Leeuwarden naar Rotterdam, inclusief heel oost Nederland blijft 1,5kV, zodat daar SLT en VIRM (die niet worden geretrofit) ingezet kunnen worden.

Van 2044 kan dan vanuit het oogpunt van beschikbaar 3kV materieel (mono- of bi-courant) de rest van de infra omgeschakeld worden naar 3kV, met uitzondering van het gebied ten Zuidoosten van de lijn Nijmegen-Den Bosch-Breda. Dit gebied dient nog op 1,5kV te worden bedreven t.b.v. de Flirt. Wanneer de FLIRT is geretrofit, kan ook dit laatste deel overschakelen.

Vanaf 2050 is bij deze migratiestrategie heel het land omgeschakeld naar 3kV. Deels bereden door mono-courant materieel en deels bi-courant materieel.

Figuur B2.3: migratie in deelnetten vanaf 2034, vanaf 2039 en vanaf 2044.



In deze migratie is geen rekening gehouden met goederenvervoerders of andere personenvervoerders. Dit dient in een latere fase te gebeuren.

VERTROUWELIJK

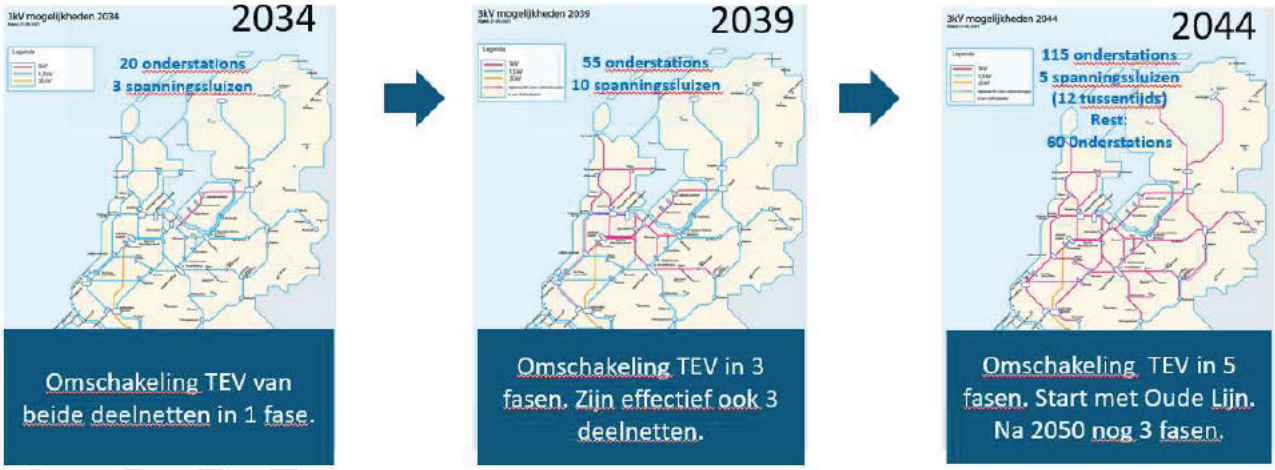
Stap 3: infrastructuur

Onderstations en schakelstations

Tijdens de infra-expertmeeting (ProRail & NS, 2021b) bleek dat de fasering van de ombouw en het omschakelen van de energie infrastructuur niet belemmerend en beperkend behoeft te zijn om de gewenste deelnetten tijdig te realiseren. De voorkeursstrategie iii voor de ombouw van het materieel kan dus worden gerealiseerd door de tractie energie infrastructuur. Het ombouwen en het omschakelen van de tractie energie infrastructuur dient gefaseerd te worden uitgevoerd. Dit omdat het omschakelen tijdens een buiten dienststelling van enkele dagen beperkt is tot maximaal 25 onderstations in een omschakelgebied (NB. de landelijke energie infrastructuur bevat circa 255 onderstations). Deelnetten kunnen een omvang hebben zodanig dat het deelnet niet in één keer omgeschakeld kan worden. Daarom worden deelnetten opgedeeld in omschakelgebieden, die zo snel mogelijk na elkaar worden omgeschakeld. Alle onderstations binnen een omschakelgebied zullen binnen één buitendienststelling omgeschakeld worden. Er gelden de volgende aantal omschakelgebieden per deelnet, zie ook figuur B2.4:

- Het van 2034 voorziene deelnet bestaat twee omschakelgebieden.
- Het van 2039 voorziene deelnet bestaat drie omschakelgebieden.
- Het van 2044 voorziene deelnet bestaat acht omschakelgebieden.
- Het van 2050 voorziene deelnet bestaat drie omschakelgebieden.

Figuur B2.4: impact van de migratie op de tractie energie infrastructuur in deelneten en fasering



Voor de ombouw van onderstations zijn drie werkbare opties beschikbaar. Op hoofdlijnen betreft dat:

- nieuwe 3kV onderstations bouwen op nieuwe locaties zo dicht mogelijk bij het bestaande 1,5kV onderstation.
- ombouwen van het bestaande 1,5kV onderstation naar een 3kV onderstation, waarbij tijdens de ombouw gebruik wordt gemaakt van een mobiel (tijdelijk) onderstation.
- vernieuwen van het bestaande 1,5kV onderstation naar een onderstation met 2 spanningsmogelijkheden, 1,5kV en 3kV. Tijdens het vernieuwen wordt gebruik gemaakt van een mobiel (tijdelijk) onderstation.

Voor de MKBA wordt ervan uit gegaan dat 90% van de bestaande 1,5kV onderstations wordt omgebouwd naar een 3kV onderstation, waarbij tijdens de ombouw gebruik wordt gemaakt van een mobiel (tijdelijk) onderstation en in 10% van de gevallen een nieuw 3kV onderstations wordt gebouwd op een nieuwe locatie zo dicht mogelijk bij het bestaande 1,5kV onderstation.

Ombouw en omschakelen van bovenleiding & draagconstructies

Conform memo ([redacted] et al, 2021) is de bestaande 1,5kV bovenleiding geschikt om ook op 3kV te worden bedreven. Uitgezonderd zijn twee componenten:

1. Overspanningsafleiders (OSA): Deze dienen in de huidige bovenleiding bij overspanningen door te slaan, zodanig dat overspanningen afgeleid worden. Deze moeten allemaal vervangen worden voor 3kV geschikte overspanningsafleiders.
2. Het veelal toegepaste draagkabelsteunpunt (draagkabelbok = isolator in bovenleiding) voldoet qua spanning-aarde afstanden niet aan voorgeschreven isolatie-afstanden.

Verder wordt een voorbehoud gemaakt voor kunstwerken: bij de overgang naar een hogere spanning (3kVdc) kan bij kunstwerken een probleem ontstaan m.b.t. de benodigde afstand van de spanning voerende bovenleidingdelen en de aarde van het kunstwerk. Mocht de afstand te beperkt zijn kan worden volstaan met het aanbrengen van een overspanningsafleider. In de kostenopgave is met het de bovenstaande rekening gehouden.

<u>Risico's bij migratiestrategie</u>

Tijdens de workshops zijn de volgende mitigeerbare risico's benoemd:

- In 2022 start de aanbesteding en voorbereiding van de materieelombouw. Dit is een zeer optimistische aanname met een hoog risicoprofiel.
- Ontwerp, specificatie en dimensionering 3kV onderstation is niet vastgesteld/vrijgegeven door ProRail. Voor deze migratie is deze standaard (nog) niet relevant. Deze migratie neemt aan dat 3kV technologie ruimschoots voorhanden is daar het als standaard is vastgelegd in een Technische Specificatie Interoperabiliteit (denk aan landen als België, Polen, Italië, Tsjechië waar 3kV de standaard is). Risicoprofiel is laag.
- De aansluitcontracten met de netbeheerders dienen te worden aangepast op vermoedelijk hogere piekbelasting. Naar alle waarschijnlijkheid is deze hogere piekbelasting voor de 10kV kabel van ProRail geen probleem. Risicoprofiel gemiddeld.
- In de migratiestrategie is ervan uit gegaan dat ERTMS aanwezig is. Indien dit niet het geval zijn mogelijke mitigerende maatregelen nodig om de compatibiliteit met treinbeveiligingssystemen te waarborgen. Dit zal extra investeringen vergen en/of leiden tot niet incasseerbare baten. Hierbij valt met name te noemen de mogelijke beperkingen die samenhangen met de toegelaten maximale versnellingen in relatie tot overwegen.
- Nadere afstemming met goederen vervoerders. Risicoprofiel laag
- Nadere afstemming met regionale vervoerder. Risicoprofiel laag.

VERTROUWELIJK

Bijlage 3 NS Business Case

Algemeen

1. De aangeleverde kosten en baten in constante prijzen (prijspeil 2021) zijn omgezet naar nominale prijzen middels een jaarlijkse prijsindexering van 2%.
2. De kosten en baten zijn exclusief BTW berekend.
3. De kosten en baten zijn contant gemaakt met een nominale WACC van 6%.
4. Voor de BuCa wordt, net als in de MKBA, een operationele fase aangehouden van 50 jaar vanaf de laatste fase van de transitieperiode (laatste omschakeling) naar 3kV.
5. Voor het kwantificeren van de kosten en baten wordt zoveel mogelijk uitgegaan van de algemene rekentarieven.

Investeringen

Materieel

Het ontwerp van de verschillende materieelseries verschilt onderling. Voor de overgang naar 3KV zal per materieeltype een aparte uitwerking voor de ombouw plaats moeten vinden. Door het ontbreken van een concept ontwerp zijn de ombouwkosten gebaseerd op prijsindicaties van leveranciers en op basis van expert judgement van NS medewerkers. Voor de aantallen is in de basis uitgegaan van het Materieel Park Plan. Het MPP geeft inzicht in de materieelbehoefte voor de komende 10 jaar, voor de resterende zichtperiode is uitgegaan van 1 op 1 vervanging van materieel op bakniveau.

De kosten voor de ombouw van het materieel voor 3kV van NS komen gemiddeld uit op € 1,6 mln. per treinstel voor in totaal 497 treinstellen (excl. internationaal materieel). Voor Internationale treinen zijn de ombouwkosten geschat op € 0,1 mln. per trein (249 treinen) voor softwareaanpassingen, uitzondering hierop is ICNG Duistsland. Voor ICNG Duitsland is tevens de ombouw van de gelijkstroomgedeelte benodigd.

Gedurende de zichtperiode stromen 976 nieuwe treinen in, hiervoor is gerekend met additionele investeringskosten voor nieuwe dubbeldekkers en sprinters van gemiddeld € 0,4 mln. per trein. Voor ICNG en internationale treinen zijn geen additionele investeringskosten berekend.

Werkplaatsen en onderstations

NS heeft 35 werkplaatsen die geschikt gemaakt moeten worden voor 3KV. De geschatte kosten per werkplaats zijn gebaseerd op de investeringskosten die zijn gemaakt voor het voorbereiden van Onderhoudsbedrijf Watergraafsmeer op 3KV.

Daarnaast beschikt NS over 2 onderstations, de kosten hiervoor zijn opgegeven door ProRail.

Additionele moderniseringskosten

Er is geen expliciete raming gemaakt voor de moderniseringskosten. De moderniseringskosten zijn gebaseerd op kengetallen van gemoderniseerde treinseries, zijnde 50% van de investeringslasten. Het percentage van 50% is gebaseerd op een trein die 18 à 19 jaar heeft gereden, het percentage is voor de verschillende treinseries gecorrigeerd naar rato aantal jaren omgebouwd naar 3KV.

VERTROUWELIJK

Daarmee is voor SNG gerekend met 12,5%, voor ICNG en DDNG met 25% en voor nieuw materieel met 50%. Voor de Flirt en internationaal materieel zijn geen additionele moderniseringskosten berekend.

Exploitatiekosten

Onderhoudskosten
Ook voor de exploitatiekosten is geen expliciete raming gemaakt, voor de BuCa is uitgegaan van de onderhoudskosten van de huidige vloot en op basis van het huidige inzetmodel. Deze kosten bedragen 4% van de investeringskosten per jaar.

Personeelskosten
De overgang naar 3KV zal ertoe leiden dat het rijdend- en onderhoudspersoneel hiervoor opgeleid moeten worden. Voor het rijdend personeel zijn de inschattingen gebaseerd op het ervaringsrijden voor ERTMS. Opleiding van onderhoudspersoneel is opgenomen als P.M.- post.

Exploitatiebaten

Energiebaten
De verwachte energieverbruik en energiebesparing is berekend binnen het werkpakket Energie. Voor het aandeel NS (86%) is gebruik gemaakt van de VIVENS verdeelsleutel. De daadwekelijk te incasseren bedragen per jaar zijn afhankelijk van het percentage infra dat is overgeschakeld op 3KV, waarbij is aangenomen dat in 2049 de infra volledig over is op 3KV.

Besparing composities en personeelsminuten

Door invoering van 3kV kan sneller opgetrokken worden dan in het nulalternatief. Als de treinen sneller optrekken kan in eerste instantie op materieel en personeelsminuten bespaard worden, omdat hetzelfde aantal treinkilometers met minder materieel gereden kan worden. De ontstane ruimte op het spoor kan vervolgens benut worden door hoger frequent te rijden, dit leidt tot extra reizigers en extra kosten (meer inzet van treinen). Voor de BuCa en MKBA is ervoor gekozen om de dienstregeling (aantal treinkilometers) gelijk te houden en alleen de besparing op composities en personeelsminuten op te nemen.

De rijtijdwinst is gebaseerd op het aantal aanzetten uit DONS voor de geoptimaliseerde 6-Basis (incl. OV Saal). Voor de gemiddelde treinlengte per compositie en gemiddelde inzet van personeel is gebruik gemaakt van dezelfde dienstregeling.

Uitgaande van gangbare treinfrequenties geldt in theorie dat per 30 minuten rijtijdwinst één compositie bespaard kan worden. Het aantal te besparen composities is afhankelijk van het percentage van infra dat is overgeschakeld op 3KV en materieel dat geschikt is voor 3KV. Aangezien de huidige dienstregeling zodanig is geoptimaliseerd zal alleen rijtijdwinst ertoe leiden, dat meerdere aansluitingen gemist zullen worden. Een herontwerp van de dienstregeling zal nodig zijn er is daarom gerekend met een incasseerbaarheid van 50% van de berekende rijtijdwinst met betrekking tot de besparing op composities personeel.

VERTROUWELIJK

Bijlage 4 Rijtijdwinsten

1. Inleiding

ProRail en NS voeren binnen het traject Systeemkeuze Tractie Energievoorziening (STEV) onderzoek uit naar de migratie van het huidige 1,5kV naar een 3kV tractie-energievoorzieningssysteem op het Nederlandse spoornet. Deze memo gaat in de op de reistijdbaten van een eventuele migratie naar 3kV. De reistijdbaten van 3kV worden berekend op basis van de TBOV referentie-dienstregeling PHS 6-basis. De memo heeft als doel op globaal niveau inzicht te geven in het effect van invoering van 3kV op reistijdbaten. Het is daarnaast bedoeld om een aantal uitgangspunten voor de berekening inzichtelijk te maken, ter onderbouwing van de STEV MKBA.

2. Baten van 3kV voor vervoer

Invoering van 3kV leidt tot rijtijdwinst doordat daarvoor geschikte materieeltypes sneller kunnen optrekken dan bij 1,5kV. Hoe groot het voordeel is, hangt af van de te halen maximumsnelheid en het materieel. Hoe hoger de maximumsnelheid, hoe groter het voordeel. De mogelijkheid voor sneller optrekken geeft een aantal baten, via verkorting van rijtijden:

1. Directe reistijdwinsten voor Sprinterreizigers en Intercity-reizigers
2. Exploitatiewinsten, indien composities bespaard kunnen worden

Alleen het onder punt 1 genoemde voordeel van reistijdwinsten kwantificeren we in dit stuk. Daarnaast zijn er secundaire reistijdwinsten voor IC reizigers, doordat uitbuigingen ongedaan gemaakt worden, en er extra mogelijkheden voor optimalisatie van dienstregeling constructies ontstaan ('netwerkeffecten'). Deze secundaire reistijdwinsten worden hier niet kwantitatief opgenomen, waardoor de berekening conservatief te noemen is. De netwerkeffecten worden geanalyseerd in een de dienstregeling-analyse en geduid in het hoofdrapport. Exploitatiewinsten worden gekwantificeerd in de NS business case.

3. Baten

De baten gelden voor treinen met elektrische tractie, die geschikt zijn voor 3kV én waarbij het beschikbaar vermogen kan worden gebruikt voor snellere aanzet – het werkpakket 'materieel' beschrijft per materieeltype welke prestaties verwacht worden. De tijdslijnen waarover de baten kunnen worden geïncasseerd worden uitgewerkt in het werkpakket migratie.
Een berekening op hoofdlijnen van de baten bestaat uit de volgende onderdelen. De berekening is hierna toegelicht. Deze berekening houdt nog geen rekening met de migratie.

Tabel B4.1. Reistijdwinst 3kV met dienstregeling PHS 6-basis

Berekende baten vervoer	Reistijdwinst WLO laag in 2030 (uren/jaar)*	Reistijdwinst WLO hoog in 2030 (uren/jaar)*
Directe Reistijdwinst	6,406,500	6,838,703
Baten Goederen	Niet in kaart gebracht	Niet in kaart gebracht

** o.b.v. 325 werkdagen per jaar*

VERTROUWELIJK

4. Toelichting berekening

De berekening op hoofdlijnen van de baten per jaar bestaat uit twee onderdelen. Als uitgangspunt voor de dienstregeling is PHS 6-basis genomen, conform de uitgangspunten van de MKBA. De twee onderdelen van de berekening zijn: a. winst stoptreinreizigers en IC reizigers, b. winst goederen.

a. Winst stoptreinreizigers en IC reizigers

3kV levert rijtijdwinst op door sneller optrekken van treinen. Om deze rijtijdwinst te vertalen naar reistijdbaten is een verwachte waarde van de tijdwinst per vertrek nodig.

Tijdwinst per vertrek

De tijdwinst per aanzet bij verschillende snelheden is aangeleverd vanuit het werkpakket materieel (Ricardo, 2021b). Aanvullend heeft RHDHV in opdracht van het project simulaties uitgevoerd om de daadwerkelijke rijtijdwinst op de infra te bepalen op basis van de simulatiesoftware Open Track. Hierin zijn lokale maximale snelheden en ook snelheidsbeperkingen door bijvoorbeeld hellingen, overloopwissels en bogen meegenomen. Uit de rijtijdberekeningen blijkt dat de volgende tijdwinsten een goede inschatting geven van de tijdwinst per vertrek:

Tabel B4.2 Tijdwinst per vertrek per materieeltype

Materieel	Tijdwinst per vertrek (s)
Enkeldeks IC (HSL)	16
Dubbeldeks IC	21
Enkeldeks SPR	7
Regionaal	7

Toelichting verwachte tijdwinst per vertrek

De tijdwinsten bij de IC's komen overeen met de aanzettijdwinst naar 140km/u. Dat de verwachte winst op deze waarde uitkomt wordt veroorzaakt doordat twee tegengestelde effecten elkaar opheffen. De verwachte tijdwinst wordt *lager* doordat niet overal dezelfde snelheid geldt (maximale baanvaksnelheid 130km/u komt voor, maar ook lager). De verwachte tijdwinst wordt *hoger* doordat IC's relatief veel tijd verliezen bij een snelheidsbeperking of helling. Dit tijdverlies wordt aanmerkelijk kleiner door het sneller optrekken onder 3kV. Gemiddeld genomen is de winst weer gelijk aan de aanzettijdwinst naar 140km/u. Voor Sprinters en Regionale stoptreinen geldt dat door kortere halte-afstanden vaak de maximum baanvaksnelheid niet wordt gehaald. Ook hebben Sprinters/stoptreinen minder last van tijdverlies bij hellingen etc. vanwege het lagere gewicht. Daardoor valt de verwachte tijdwinst per vertrek uit op het gemiddelde van de aanzettijdwinst bij 100km/u en 140km/u.

De winsten voor goederenmaterieel zijn nog niet bekend en niet opgenomen in de berekening. Voor regionaal materieel geldt de aanname dat de winst vergelijkbaar is met sprinter materieel[7]. Voor regionale lijnen is het uitgangspunt dat reistijdwinst niet op enkelsporige trajecten geïncasseerd kan worden vanwege kruisingsstations. Sneller optrekken vertaalt zich dan in extra robuustheid, die wij hier echter niet kwantificeren.

[7] Voor Flirt materieel komt deze aanname overeen met eerdere berekeningen (Ricardo, 2019).

VERTROUWELIJK

Incasseerbaarheid
De nieuwe rijtijden zullen voor de planner zichtbaar zijn via de rijtijdberekening in DONNA. De reistijdbaten per haltering, kunnen per tiende van een minuut in de geplande dienstregeling geïncasseerd worden, omdat de planningssystemen afronden op tienden minuten. De rijtijdwinst in seconden zal voor de ene trein naar beneden worden afgerond en voor de andere trein naar boven. Omdat het om een zeer groot aantal treinen en halteringen gaat, kan gemiddeld genomen alle rijtijdwinst ook daadwerkelijk in de dienstregeling worden verzilverd.

ERTMS en hogere snelheden
Op enkele baanvakken waar reeds besloten is om ERTMS uit te rollen, kan door het nieuwe beveiligingssysteem de snelheid verhoogd worden tot boven 140km/u. Het gaat om de baanvakken Amsterdam Bijlmer – Utrecht (160km/u), Almere Oostvaarders – Lelystad (160km/u) en Lelystad – Zwolle (200km/u). Omdat 3kV meer winst oplevert bij hogere snelheden, zijn er voor deze baanvakken extra reistijdwinsten te verwachten. Deze extra reistijdwinst is p.m. gehouden in de MKBA.

Van tijdwinst per vertrek naar reistijdbaten
De tijdwinst wordt dan benaderd door:

$$[aantal\ vertrekken\ per\ jaar] \times [aanzettijdwinst\ per\ vertrek] \times [aantal\ reizigers\ in\ trein]$$

Bovenstaand product wordt gesommeerd voor drie materieeltypes: IC enkeldeks, IC dubbeldeks en SPR. De som wordt vermenigvuldigd met de reistijdwaardering in 2030 (€10,22 in WLO Laag en (€10,69 in WLO Hoog).

De bron voor het aantal halteringen is het BUP van de 6basis dienstregeling (model VISUM dat ook is gebruikt voor IMA 2021). Vermenigvuldigd met de frequentie, beide richtingen en het aantal vertrekken per serie. De gehanteerde factor om van BUP naar jaar te komen is 5616.

Wel autonome reizigersgroei, geen extra groei door 3kV
Bij het bepalen van het totaal aantal reizigers, volgen we de IMA-prognoses (I&W, 2021). Dat is enerzijds een overschatting, omdat PHS 6-basis de voorziene reizigersgroei niet kan accommoderen en anderzijds een onderschatting, omdat het aanzuigende effect van de reistijdwinst door 3kV niet wordt meegerekend. Daarmee is de berekening redelijk in balans.

Omrekening naar baten over de looptijd
De volledige baten zijn pas incasseerbaar als alle treinen aanzettijdwinst bereiken en heel Nederland om is naar 3kV.[8] Tijdens de migratieperiode nemen de baten geleidelijk toe met enerzijds het omschakelen van de infrastructuur en anderzijds het instromen van nieuw en/of omgebouwd materieel. Onderstaande tabel laat zien hoe die ingroei verloopt op hoofdlijnen. NB: onderstaande tabel laat het voorkeursscenario zien voor migratie, zoals dat is bepaald in het werkpakket migratie. Bij een andere migratiestrategie, veranderen de incasseerbare baten.

[8] NS geeft aan dat bestaande materieelseries onvoldoende aanzettijdwinst zullen behalen om reistijdwinst te behalen. (NS, 2021).

VERTROUWELIJK

Tabel B4.3: Incasseerbare baten gedurende migratie

	Fase 1 – vanaf 2034	**Fase 2 – vanaf 2039**	**Fase 3 – vanaf 2044**	**Fase 4 – vanaf 2049**	**Fase 5 – vanaf 2055**	**Fase 6 – vanaf 2059**
3kV infrastructuur	Flevolijn, Hanzelijn en Zeeuwse Lijn	Noordwest Nederland	Nederland, excl. Limburg en zuidoost Nederland	Heel Nederland		
Mono 1,5kV materieel (geen baten)	VIRM SLT FLIRT	VIRM SLT	-			
Bi-courant materieel (geen baten)	DDNG SNG				DDNG	-
Bi-courant materieel (wel baten)	ICNG S5G	FLIRT ICNG S5G N.t.b. DD				
Mono 3kV materieel (wel baten)	-		N.t.b. IC enkeldeks N.t.b. volgende materieelgeneraties			
% baten	2%	15%	49%	60%	87%	100%

b. Goederentreinen

Goederentreinen kunnen snelheidswinst boeken bij optrekken. Hoe zwaarder de trein, hoe groter het effect. De winst van snelheid kan worden benaderd met: aantal vertrekken * gemiddelde tijdwinst per vertrek * tonnage * kostenvoordeel per ton. De besparingen zijn niet in kaart gebracht, omdat het aantal vertrekken laag is.

Ook voor goederentreinen geldt dat rijtijdwinst voor de trein zelf ook kan leiden tot minder hinder voor een achter komende Intercity. Daarnaast kunnen zwaardere treinen beter in hun pad blijven en kunnen ingelegd worden in 95 km/h-paden i.p.v. 85 km/h paden. Ook deze baten zijn niet in kaart gebracht. Deze kunnen echter wel significant zijn.

VERTROUWELIJK

Bijlage 5 Energiereductie

Deze bijlage beschrijft de methodologie voor de inschatting van de baten die voortvloeien uit de reductie van het energieverbruik bij de invoering van een 3000 V tractie-energievoorziening. De door ons berekende mogelijke reductie van het energieverbruik bij invoering van een 3000 V tractie-energievoorziening bedraagt 14 % van het energieverbruik ten opzichte van een 1500 V-systeem. Dit resulteert in een reductie van 239 GWh op jaarbasis, uitgaande van het referentiejaar 2030.

De wijze waarop dit resultaat tot stand is gekomen, is in detail beschreven door Ricardo (Ricardo, 2021). In deze fase van het project is voor de bepaling van de reductie van het energieverbruik gebruik gemaakt van sinds 2014 beschikbare netberekeningen en bijbehorende rapportages. De gegevens uit 2014 zijn vergeleken met de uitgangspunten van de basecase op het gebied van:

- Dienstregeling: hoe verhoudt zich de gesimuleerde dienstregeling zich tot het uitgangspunt "PHS 6-basis" van de base-case in 2030;
- Materieelinzet: hoe verhoudt zich de gebruikte materieelinzet zich tot de door NS opgegeven materieelinzet voor 2030.

Door de verschillen in uitgangspunten is geen gebruik gemaakt van de in 2014 berekende reductie van het energieverbruik. In plaats daarvan zijn de berekeningsresultaten opnieuw geïnterpreteerd om te komen tot een reductie van het energieverbruik die past bij de uitgangspunten van de MKBA. Dit resultaat en de wijze waarop deze tot stand is gekomen, is extern getoetst door DNV-GL. In het vervolg van het traject zal deze berekening verder worden aangescherpt, bij voorkeur door gebruik te maken van nieuwe netberekeningen.

In dit hoofdstuk is kort de methode toegelicht die gebruikt is voor het bepalen van de mogelijke reductie van het energieverbruik bij invoering van een 3000 V tractie-energievoorziening. De gehanteerde werkwijze is samengevat in het stroomschema in

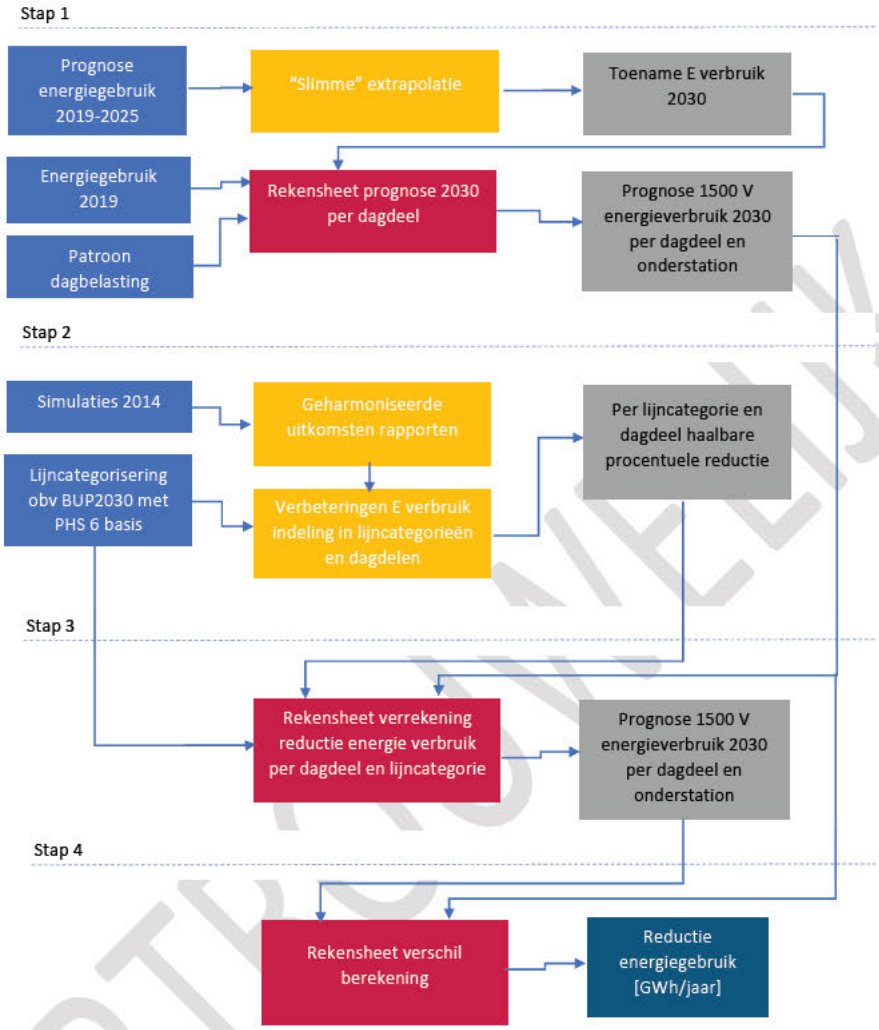
. Onderscheid is hierbij te maken in vier stappen.

In stap 1 is een inschatting gemaakt van het energieverbruik onder 1500 V in 2030. De basis voor deze inschatting is het daadwerkelijk gemeten energiegebruik per kwartier van alle onderstations in 2019[9]. Voor de extrapolatie naar 2030 is gebruik gemaakt van de van ProRail verkregen prognose van het energiegebruik voor het tijdvak 2019-2025. De prognose is tevens onderverdeeld naar onderstation (EAN-code) en dagdeel.

[9] Er is gebruik gemaakt van de meetgegevens van 2019 omdat in 2020 als gevolg van de coronapandemie veel minder treinen gereden hebben, zodat 2019 de meest recente en betrouwbare gegevens oplevert. Het betreft de metergegevens per EAN-code.

VERTROUWELIJK

Figuur B5.1 Aanpak om de besparing in GWh/jaar te bepalen wanneer wordt overgegaan naar 3000 V tractie-energievoorziening in Nederland



In stap 2 is een inschatting gemaakt van de mogelijke reductie van de energieverliezen in de infrastructuur en de mogelijke winst door betere benutting van het recuperatiepotentieel van het materieel. Voor deze inschattingen is gebruik gemaakt van netberekeningen die in opdracht van ProRail zijn uitgevoerd in 2014. In deze netberekeningen zijn voor 1500 V en 3000 V verschillende situaties doorgerekend. De variatie werd met name aangebracht in het berekende baanvak, die gereden dienstregeling en de bijbehorende materieelinzet. Op basis van de uitkomsten van deze rapportages, is door ons de mogelijke reductie van het energieverbruik in procentpunten bepaald. Voor een nauwkeuriger berekening, is de mogelijke winst bepaald voor de verschillende dagdelen en lijncategorieën[10].

In stap 3 en 4 is het verwachte energieverbruik in 2030 bij het gebruik van een 1500 V energie voorziening en de verwachte reducties in procentpunten uit stap 2. Het verschil tussen het verbruik bij 1500 V en 3000 V is de verwachte reductie van het energieverbruik in GWh/jaar.

[10] De lijncategorie staat voor de belasting van de lijn volgens de BUP PHS 6-basis. Er zijn vier categorieën bepaald die het mogelijk maken de verschillen tussen de belasting van de lijnen en de haalbare reductie van het energieverbruik voldoende realistisch te differentiëren.

Essentieel verschil in de aanpak ten opzichte van 2014 is het feit dat de procentuele reductie van de verliezen in de infra en de toename van het recupereren van materieel berekend zijn als functie van:

1. dagdelen voor de treinfrequenties en treinsamenstellingen
2. lijncategorieën van spoorlijnen voor de "treindichtheid"

Ons inziens leidt deze verfijning tot een meer realistische inschatting van de mogelijke reductie van het energieverbruik. Deze uitkomst sluit beter aan bij de uitgangspunten voor de MKBA: een vergelijking tussen 1500 V en 3000 V met modern(er) materieel en een overeengekomen PHS 6-basis dienstregeling, passend bij het jaar 2030. Aangezien er tot 2030 sprake is van een geleidelijke invoering van het PHS-programma, kan voor de MKBA worden gesteld dat de berekende te behalen reductie van het energieverbruik ook geldig is voor jaren na 2030, uitgaande van een gelijkblijvend materieelpark en gelijkblijvende dienstregeling.

Aandachtspunten voor verdere precisering van de energiebaten zijn vastgelegd in een aandachtspunten addendum (ProRail & NS, 2022), behorende bij het rapport *Inschatting reductie in energieverbruik* (Ricardo, 2021).

VERTROUWELIJK

Bijlage 6 Vergelijking MKBA 2018 – MKBA 2022

Deze bijlage beschrijft de belangrijkste verschillen tussen de MKBA die is uitgevoerd in 2018 en de MKBA die is uitgevoerd in 2022.

Aannames

De belangrijkste verschillen in de aannames tussen beide MKBA's zijn hieronder weergegeven:

- In de MKBA 2018 is uitgegaan van één migratiefase, terwijl in de MKBA 2022 is uitgegaan van een gefaseerde migratie die zich uitstrekt over een periode van 20 jaar. Dit heeft impact op zowel de omvang als de tijdslijnen van diverse kosten- en batenposten.
- In de MKBA 2018 is uitgegaan van een kleinere dienstregeling dan in de MKBA 2022. Een grotere dienstregeling (meer treinen) heeft zowel impact op de kosten als op de baten.
- In de MKBA 2018 is uitgegaan van andere materieelkarakteristieken dan in de MKBA 2022. In de MKBA 2018 stamden de materieeluitgangspunten uit een analyse uit 2014 op basis van toenmalig materieel. In de MKBA 2022 is uitgegaan van materieelkarakteristieken van actueel treinmaterieel. Dit heeft met name een positieve impact op aannames over de aanzetsnelheid en daarmee de rijtijdwinsten.
- In de MKBA 2018 is uitgegaan van een operationele fase van 40, in de MKBA 2022 van een operationele fase van 50 jaar. Dit is een gevolg van de gefaseerde migratie die zich uitstrekt over een periode van 20 jaar.
- In de MKBA 2018 zijn levensduurverlenging en voorbereid bouwen niet meegenomen, in de MKBA 2022 wel.
- In de MKBA 2018 is uitgegaan van een aantal andere uitgangspunten m.b.t. de NS BuCa:
    - In de MKBA 2022 is gerekend met meer treinen als gevolg van nieuwe inzichten in het materieel park plan. Tevens zijn de ombouwkosten in de MKBA 2022 gehard door (gedeeltelijke) offertes van leveranciers.
    - In de MKBA 2022 is rekening gehouden met additionele moderniseringskosten, deze zijn in de MKBA 2018 niet opgenomen.
    - In de MKBA 2022 zijn kosten gerekend voor het geschikt maken van de NS werkplaatsen voor 3KV, deze kosten zijn in de MKBA 2018 niet opgenomen.
    - In de MKBA 2022 is voor de additionele onderhoudskosten gerekend met 4% van de (additionele) investeringswaarde, in de MKBA 2018 was dit 5%. Bovendien is in de MKBA 2018 gerekend met een correctiepercentage van 100% tussen 2030-2040, 75% tussen 2040-2050 en 60% tussen 2050-2070. In de MKBA 2022 is gerekend met 100% vanaf 1 jaar na moment van aanschaf/ombouw tot einde levensduur.
- In de MKBA 2018 is uitgegaan van indirecte effecten ter grootte van 15% van de reistijdbaten. In de MKBA 2022 is uitgegaan van een conservatieve inschatting van 7,5% van de reistijdbaten.
- In de MKBA 2018 is gerekend met een reële discontovoet van 4,5%. In de MKBA 2022 is gerekend met de nieuw voorgeschreven reële discontovoet; de standaard reële discontovoet is gezakt naar 2,25%. Hierbij moet worden opgemerkt dat er in de MKBA 2022 verschillende discontovoeten zijn gebruikt - conform de voorschriften - voor het WLO Hoog/Laag scenario en voor vaste, verzonken kosten en niet-lineair verlopende baten.
- In de MKBA 2018 is gerekend in prijspeil 2017, in de MKBA 2022 is gerekend in prijspeil 2021.

VERTROUWELIJK

Resultaten

Figuur B7.1 geeft een overzicht van de resultaten van de MKBA 2018 en de MKBA 2022. Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze vergelijking niet zuiver is omdat er sprake is van verschillende aannames, zoals hierboven beschreven. Per saldo is de baten-kosten ratio van de MKBA 2022 iets hoger (1,05) dan van de MKBA 2018 (0,90).

Tabel B7.1 Vergelijking MKBA 2018 en MKBA 2022

Effect	WLO hoog 2022	WLO hoog 2018
Kosten		
Infrastructuur	389	370
Infra vermeden investeringen	(44)	PM
Materieel – NS ombouw bestaand	671	818
Materieel – NS meerprijs bi-courant	135	
Materieel – NS modernisering	128	
Materieel - regiovervoerders	39	35
Materieel - goederenvervoerders	n.a.	30
Onderhoud - NS	651	909
Totale kosten	**1,969**	**1,760**
Baten		
Reistijdbaten	1,178	675
Energiebaten	458	505
Exploitatie NS - personeelsbaten	98	0
Exploitatie NS - compositiebaten	229	130
Reductie CO2-emissie	15	80
Indirecte effecten	88	100
Totale baten	**2,067**	**1,515**
MKBA-saldo	**97**	**-245**
Baten-Kosten ratio	**1,05**	**0,90**

N.B. In de MKBA 2018 zijn de resultaten gepresenteerd in ranges, in figuur B7.1 zijn de gemiddelde waarden van deze ranges opgenomen.

VERTROUWELIJK

7. Second opinion Mott Mac Donald

mei 2022

MOTT MACDONALD

2nd Opinion Maatschappelijke kosten-baten analyse van 3kV tractie-energievoorziening

Definitief rapport

Mei 2022

Vertrouwelijk

Mott MacDonald
Amsterdamseweg 15
6814 CM Arnhem
PO Box 441
6800 AK Arnhem
The Netherlands

T +31 (0)26 3577 111
mottmac.com/netherlands

Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

2nd Opinion Maatschappelijke kosten-baten analyse van 3kV tractie-energievoorziening

Definitief rapport

Mei 2022

Vertrouwelijk

Registered in Arnhem, The Netherlands
no. 30199525.

Versiebeheer

Versie	Datum	Opsteller	Controle	Vrijgave	Beschrijving
A	06-04-2022	Bescherming pers	Bescherming persoon ijke levens	Bescherming pe	Eerste conceptrapport
B	12-04-2022	Bescherming pers Bescherming persoonlijke leven	Bescherming persoon ijke levens	Bescherming pe	Bevindingen aslasten toegevoegd
C	13-05-2022	Bescherming pers	Bescherming persoon ijke levens	Bescherming pe	Definitief conceptrapport met beoordeling 1,5kV-doorkijk
D	20-05-2022	Bescherming pers	Bescherming persoon ijke levens	Bescherming pe	Definitief rapport

Documentnummer: 207100019 | 1 | D |

Informatieveiligheid:Standaard

Dit document is uitgegeven voor de partij die hiervoor opdracht heeft gegeven en voor de specifieke doeleinden die uitsluitend verband houden met hierboven betitelde project. Andere partijen kunnen zich niet op dit document verlaten en het dient voor geen enkel ander doel te worden gebru kt.

W j aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor de gevolgen van het gebruik van dit document door enige andere partij, noch voor het gebruik ervan voor enig ander doel, noch voor eventuele fouten of omissies in het document als gevolg van een fout of omissie in de door andere partijen aan ons verstrekte gegevens.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie en intellectuele eigendomsrechten. Het dient niet te worden getoond aan andere part jen zonder onze toestemming en de toestemming van de partij die opdracht heeft gegeven voor het document.

Inhoud

Managementsamenvatting 1

1 Inleiding 4
1.1 Achtergrond 4
1.2 Doel van dit rapport 5
1.3 Scope 5
1.4 Leeswijzer 5

2 Algemene indruk 6
2.1 Totaalbeeld 6
2.1.1 TEV in context van het railvervoerssysteem 6
2.1.2 Referentiealternatief en projectalternatief 6
2.1.3 Gemonetariseerde en niet-gemonetariseerde effecten 7
2.2 Aannames en uitgangspunten 9
2.2.1 Zichttermijn 9
2.2.2 Referentiejaar 9
2.3 Gevoeligheidsanalyse 10

3 Specifieke onderwerpen 11
3.1 Rijtijdbaten 11
3.1.1 Algemeen beeld 11
3.1.2 Conclusie 14
3.2 Levensduur infrastructuur 14
3.2.1 Algemeen beeld 14
3.2.2 Verlenging van de levensduur infrastructuur 14
3.2.3 Vervangingsopgave 15
3.3 Baanstabiliteit 15
3.3.1 Algemeen beeld 15
3.3.2 Risico op overschrijding aslasten 15
3.3.3 Aanbevelingen 17

4 Conclusies en aanbevelingen 18
4.1 Conclusies 18
4.1.1 Rijtijdwinst 18
4.1.2 Levensduur infrastructuur 19
4.1.3 Baanstabiliteit en aslasten 19
4.1.4 Totaalbeeld 19
4.2 Aanbevelingen 20

5 Referenties 21

Bijlagen 22

A. Beschouwing referentiealternatief 23

A.1 Beschrijving en uitgangspunten 23
A.2 Onze beoordeling 23
A.3 Conclusie 25

B. Alternatieve TEV op basis van middenspanning gelijkstroom 26

C. Opties voor bi-courant materieel 28

Managementsamenvatting

ProRail en NS hebben in 2021 een nieuwe Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA) voor een update van de Tractie-Energievoorziening (TEV) naar 3kV opgesteld. Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft Mott MacDonald verzocht een 2nd opinion op het resulterende rapport uit te voeren, met specifieke aandacht voor de te behalen rijtijdwinst, levensduur tractie-infrastructuur en de massatoename voor omgebouwd materieel.

Dit rapport beschrijft de review uitgevoerd op de 1.0-versie van de MKBA, waarbij een doorkijk naar de aangepaste resultaten in de 1.1-versie is gegeven. De definitieve resultaten (1.1-versie) zijn niet beoordeeld.

Algemene bevindingen

Allereerst constateren wij dat het TEV-vraagstuk los wordt beoordeeld ten opzichte van andere ontwikkelingen op het spoor (bv. ERTMS, Automatisch rijden) en een referentiejaar van 2030 wordt gebruikt. Omdat een migratie naar 3kV naar verwachting tot 2050 duurt kunnen potentiele baten door synergiën tussen de systemen hoger uitkomen.

Het referentiejaar 2030 beoordelen wij als conservatief. Enerzijds heeft dit een drukkend effect op de directe baten van 3kV, omdat zwaardere dienstregelingen (meer vertrekken) noodzakelijk zijn om de voorziene reizigersgroei te accommoderen. Anderzijds kan dit een onderschatting van de kosten voor 1,5 kV betekenen omdat toekomstige verzwaringen van de 1,5 kV TEV om dergelijke dienstregelingen mogelijk te maken niet worden meegenomen. Bij 3kV zouden dergelijke investeringen mogelijkerwijs niet nodig zijn. Daarom bevelen wij aan om verder onderzoek te doen naar extra baten en investeringen bij zwaardere dienstregelingen. ProRail en NS geven aan dat er onderzoek loopt naar de bovengrens van 1,5 kV. Wij verwachten dat de resultaten hiervan een indicatie kunnen zijn voor een mogelijke technische noodzaak van een systeemsprong.

De zichttermijn is gebaseerd op de levensduur van de tractie-infrastructuur, wat bij een MKBA voor nieuwbouwprojecten een standaardaanpak is. Voor een migratieproject zien wij echter dat deze aanpak een drukkend effect op de kosten/batenverhouding heeft, omdat de grootste kosten éénmalig zijn (migratie). De relevante kosten voor toekomstige vervangingen zouden beperkt zijn, omdat deze slechts het verschil ten opzichte van 1,5kV betreffen. Baten volgend uit rij- en reistijdwinst, energiebesparing en hogere capaciteit lopen in theorie wel tot in het oneindige door. Wij beoordelen de aanpassing van de zichttermijn tussen de 1.0-versie en de 1.1-versie van de MKBA (verschuiven van het startmoment van begin van de migratie naar halverwege de migratie) als een stap die bijdraagt aan een realistischer beeld van de uitkomsten van de MKBA.

Rijtijdwinsten

De materieelkarakteristieken en de daaruit volgende rijtijdwinst per vertrek hebben wij op basis van een beknopte modellering kunnen repliceren en beoordelen wij als realistisch. Wij hebben wel onze bedenkingen bij de extrapolatie naar de baten op landelijke schaal. De baanvakken waaruit de rijtijdwinst bepaald is zijn in onze ogen niet maatgevend voor het landelijke netwerk, met name niet voor de behaalde eindsnelheid (o.b.v. baanvaksnelheid). In de MKBA van 2018 werd hiervoor gecorrigeerd en wij zouden een dergelijke correctie ook in deze studie verwachten. Een dergelijke correctie zou een negatieve impact op de rijtijdwinsten en de resulterende baten hebben.

Levensduur infrastructuur

Een levensduurverlenging van de tractie-apparatuur in onderstations beschouwen wij als niet aannemelijk. Een dergelijke verlenging kan gepaard gaan met relatief hogere investeringskosten, strengere onderhoudseisen en onzekerheid op betrouwbaarheidsaspecten.

Baanstabiliteit en aslasten

Er loopt grootschalig onderzoek naar de baanstabiliteit in Nederland. Hieruit blijkt dat er waarschijnlijk investeringen benodigd zijn om de baanstabiliteit te verbeteren. Mogelijkerwijs is er een relatie met een overgang naar 3kV. Het baanstabiliteitsprobleem kan enerzijds lijden tot aanzienlijke extra kosten wanneer investeringen in de baanstabiliteit ten laste van de TEV komen. Tegelijk kan de baanstabiliteit ook een blokkade blijken voor het incasseren van toekomstige baten die 3kV mogelijk maakt, wanneer bijvoorbeeld capaciteitstoename of snelheidsverhoging niet gerealiseerd kunnen worden.

Wij onderschrijven de bevindingen van NS dat de migratie naar 3kV zal resulteren in een toename van de massa's van het materieel (en daarbij toename van de aslasten):

- De door ons beoordeelde data suggereert dat de SNG na ombouw waarschijnlijk binnen de aslastgrens van 20 ton kan blijven. De marge bij de maatgevende assen is echter beperkt.
- De modificatie van de ICNG zal resulteren in een benadering en mogelijk zelfs beperkte overschrijding van de grens van een aslast van 20 ton. Enige overschrijdingen blijven waarschijnlijk zeer beperkt en vinden alleen plaats bij maximale belading conform EN15663. Wij achten het zeer onwaarschijnlijk dat dergelijke beladingssituaties in de praktijk zullen optreden.

Voor de FLIRT en toekomstige treinseries (inclusief DDNG) zijn nog geen engineering-data beschikbaar en kunnen wij geen concrete conclusies aan verbinden. Wij verwachten wel dat de marge voor de DDNG beperkt zal zijn en onderschrijven het door NS aangegeven risico op overschrijding van de aslasten bij een bi-courante versie.

Bij nieuw aan te besteden materieel kunnen aslastgrenzen voor bi-courante versies als eis worden opgenomen. Dit moet wel beschouwd worden in relatie tot andere eisen die NS stelt aan nieuw materieel. NS streeft naar het aanschaffen van standaard materieelplatformen, zonder ingrijpende wijzigingen op elementaire voertuigaspecten. Eisen voor aslastbeperking kunnen leiden tot aanpassingen van de standaardmodellen, met bijkomende risico's van dien. Ook kan dit resulteren in beperkingen op andere aspecten, zoals reizigerscapaciteit, geïnstalleerd vermogen (en daarmee rijtijden), LCC of totale treinmassa. Een integrale kijk op railvervoersysteemniveau is benodigd om te beoordelen of een beperkte overschrijding van de 20 ton acceptabel is of dat er op andere aspecten compromissen gesloten moeten worden.

Conclusies

Op basis van de beoordeelde aspecten concluderen wij dat er een aanzienlijke onzekerheid rond de resultaten van de MKBA is, waarbij de zichttermijn een duidelijke rol speelt. Voor de baten denken wij dat er duidelijk ruimte is voor hogere baten bij zwaardere dienstregelingen en verdere reizigersgroei, maar dat de huidige bepaalde rijtijdwinsten te optimistisch zijn. De kosten zouden kunnen toenemen wanneer (financiële) risico's van het baanstabiliteitsvraagstuk en additionele randvoorwaardelijke investeringen materialiseren.

Derhalve concluderen wij dat de MKBA geen ondubbelzinnig uitsluitsel over de financiële effecten van een systeemsprong van de TEV naar 3kV geeft en niet als enige onderbouwing van besluitvorming kan dienen. Wij bevelen aan de resultaten van de lopende studies (knelpunten- en netwerkanalyse) mee te nemen en op basis van een gewenst toekomstbeeld en technische (on)mogelijkheden besluitvorming vorm te geven.

Aanvullende beschouwing doorontwikkelen 1,5kV

Aanvullend op de 3kV-MKBA heeft Mott MacDonald een doorkijk voor het doorontwikkelen van de 1,5kV TEV tot 2040 beoordeeld. Deze doorkijk geeft een basaal inzicht in de mogelijke kosten en risico's van het aanhouden van 1,5kV TEV. Echter hanteert deze doorkijk een ander uitgangspunt qua dienstregeling dan de MKBA. Hierdoor is een 1-op-1 vergelijking van investeringskosten niet geheel op zijn plaats.

Uitgaande van het migratiescenario naar 3kV dat na 2030 begint en tot 2050 zal duren, is het aannemelijk dat een groot deel van de investeringen voor functiehandhaving 1,5kV uitgevoerd moeten worden. Tegelijk constateren wij dat er door de lange doorlooptijd een risico is dat ook een deel van de functiewijziging al in 1,5kV gerealiseerd moet worden, omdat dit gebieden betreft die pas na 2040 omgeschakeld worden.

Wij bevelen daarom aan om voor zowel het 1,5kV als 3kV-alternatief de benodigde investeringen na 2030 inzichtelijk te maken op basis van het zelfde vervoersproduct (TBOV2040 of verder vooruit). Dit zou ook de investeringen voor functiewijziging voor 1,5kV moeten omvatten die in het 3kV-alternatief alsnog benodigd zijn. Ten slotte bevelen wij aan de restmarge na 2040 voor beide systemen inzichtelijk te maken.

1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een inleiding tot de 2nd opinion die voor u ligt. Zo worden de achtergrond van de studie, het doel van dit rapport en de scope van het onderzoek uiteengezet.

1.1 Achtergrond

Elektrificatie het Nederlandse spoor begon in het begin van de 20e eeuw. Vanaf de jaren '20 werd er ingezet op grootschalige elektrificatie om de efficiëntie van de spoorlijnen te verhogen. Er werd gekozen voor een systeem van 1500 volt gelijkspanning. 100 jaar later maakt Nederland nog steeds gebruik van dit systeem, ondanks nadelen als relatief hoge transportverliezen en zware bovenleidingconstructies. Met uitzondering van zuidelijk Frankrijk en delen van het VK[1] zijn de meeste spoorwegen in Europa voorzien van alternatieven als 3kV DC, 15kV AC en 25kV AC.

In Nederland wordt er al jaren overwogen om over te stappen op een modernere tractie-energievoorziening (TEV), waardoor meer vermogen voor treinen beschikbaar komt en de transportverliezen afnemen. Dit leidt tot verkorting van rijtijden en verbetering van de duurzaamheid van het spoorvervoer.

Er zijn reeds meerdere studies uitgevoerd naar een spanningsverhoging van de bovenleidingspanning, naar een van de andere Europese alternatieven. In 2014 werd geconcludeerd dat een overstap naar een wisselstroomvariant (15kV of 25kV) technisch complex is en significante aanpassingen aan de infrastructuur vereist. Daardoor vereisen deze alternatieven ook een aanzienlijk hogere investering dan 3kV, waarbij de bovenleidinginfrastructuur grotendeels behouden kan blijven.

In 2014 werd een MKBA uitgevoerd naar de implementatie van 3kV [1], vergeleken met een optimalisatie van het 1500V systeem. Hieruit bleek dat het 3kV-alternatief een betere Netto Contante Waarde (NCW) en een betere baten/kosten verhouding had dan het 1500V-alternatief. In 2018 werd een nieuwe MKBA uitgevoerd [2], maar de resultaten hiervan gaven een tegenovergesteld beeld dan de MKBA van 2014. Tegelijk zijn in het 3kV-alternatief veel baten als PM opgenomen.

Tabel 1.1: Uitkomsten MKBA's 2014 en 2018

	MKBA 2014		MKBA 2018 (Hoog)		MKBA 2018 (Laag)	
	1,5 kV	3 kV	1,5 kV	3 kV	1,5 kV	3 kV
NCW (mi joen €)	113	1074	265	[-435, -55] + PM	185	[-735, -355] + PM
Baten/Kosten verhouding	0,6	1,5	3,5	0,8 – 1,0	2,8	0,6 – 0,8

NS en ProRail zijn een overkoepelend dossier aan het opstellen om besluitvorming over het TEV-vraagstuk mogelijk te maken. Onderdeel hiervan zijn technische analyses, maar ook een aanvullende MKBA. Om een additioneel inzicht te krijgen in de maatschappelijke kosten en baten van een overstap naar 1,5kV naar 3kV is in 2021 een nieuwe MKBA opgesteld, gebaseerd op het verschil tussen 1,5kV en 3kV [3]. De resultaten hiervan resulteerden in de 1.0-versie van de MKBA in een negatieve kosten/batenverhouding voor 3kV in zowel het WLO

[1] In het delen van het Verenigd Koninkrijk wordt er op een aantal spoorwegen gebruik gemaakt van 750V met derde rails.

Laag als het WLO Hoog scenario (zie Tabel 1.2). Een doorkijk naar de 1.1-versie [4] geeft echter een positieve kosten/batenverhouding voor 3kV in het WLO-Hoog scenario, en een negatieve in het WLO-Laag scenario .

Tabel 1.2: Uitkomsten MKBA 2021 (v1.0)

	3 kV (WLO Laag)	3 kV (WLO Hoog)
NCW (mi joen €)	- 576	- 362
Baten/Kosten verhouding	0,77	0,83

1.2 Doel van dit rapport

IenW heeft Mott MacDonald verzocht een second opinion uit te voeren op de MKBA [3]. Het doel van de second opinion is het verkrijgen van aanvullende zekerheid over de MKBA-uitkomsten door het valideren van de relevantste drivers. Die aanvullende zekerheid maakt een vervolgens zorgvuldige voorbereiding van politiek-bestuurlijke besluitvorming over een eventuele systeemkeuze mogelijk. Het is niet de vraag of de MKBA zelf goed in elkaar zit; het betreft alleen de inhoudelijke onderbouwing van deze twee drivers die de uitkomsten beïnvloeden.

Het verzoek was om voornamelijk te kijken naar enkele specifieke onderwerpen, waarvan uit de gevoeligheidsanalyse bleek dat deze een grote impact op de uiteindelijke uitkomst van de MKBA konden hebben (rijtijdwinsten/materieelprestaties en levensduur onderstations) alsmede risico's ten aanzien van baanstabiliteit (massa (bi-courant) materieel).

1.3 Scope

In deze 2nd opinion wordt een algehele indruk van de MKBA gegeven. Daarnaast wordt er in opdracht van IenW specifiek ingezoomd op drie vragen, behorend bij de relevantste drivers uit de MKBA:

- Zijn de aangenomen rijtijdwinsten / materieelprestaties realistisch?
- Is de aanname van een verlenging van de levensduur van tractie-apparatuur in onderstations naar 50 jaar realistisch?
- Is het aannemelijk dat bi-courant materieel de vigerende aslastgrenzen van 20 ton overschrijdt?

Deze 2nd opinion is gebaseerd op versie 1.0 van de MKBA, met een doorkijk naar de belangrijkste wijzigingen en uitkomsten van de 1.1 versie. Het volledige rapport versie 1.1 is niet ter beschikking gesteld aan Mott MacDonald.

Aanvullend op de scope van Mott MacDonald heeft Horvat & Partners een 2nd opinion uitgevoerd op de ombouwkosten van het materieel van NS en de voorgestelde migratiestrategie.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de resultaten van de 2nd opinion die wij hebben uitgevoerd op de MKBA. In hoofdstuk 2 bespreken wij onze algemene indruk wat betreft de onderzochte alternatieven, behandelde effecten, de uitgangspunten en aannames en de gevoeligheidsanalyse. In hoofdstuk 3 gaan we dieper in op de specifieke vragen over rijtijdwinst, levensduur infrastructuur en baanstabiliteit. In hoofdstuk 4 worden de conclusies en aanbevelingen gedaan.

2 Algemene indruk

Dit hoofdstuk beschrijft de algemene indruk van Mott MacDonald ten aanzien van de MKBA TEV versie 1.0. Er wordt ingegaan op algemene uitgangspunten en aannames die onder de MKBA liggen.

2.1 Totaalbeeld

2.1.1 TEV in context van het railvervoerssysteem

Er is gepoogd de MKBA zo zuiver mogelijk uit te voeren voor de aspecten, investeringen en baten die alleen toe te schrijven zijn aan het TEV-vraagstuk. Daarnaast wordt er conform de gehanteerde MKBA-methodiek alleen uitgegaan van reeds voorziene investeringen.

Het railvervoerssysteem is echter een complex en integraal systeem met veel onderlinge afhankelijkheden tussen verschillende subsystemen, delen van de infrastructuur (bv. TEV, treinbeveiliging, spoorlichamen, dienstregelingen), maar ook met de voertuigen. Veranderingen in één systeem kunnen ook aanpassingen aan andere systemen vereisen. Om gewenste verbeteringen van het vervoersproduct te realiseren kunnen systeemsprongen van meerdere subsystemen benodigd zijn. Een integrale kijk is daarom noodzakelijk.

Hierdoor is het ingewikkeld om de investeringen en baten van een systeemsprong van de TEV los te zien van andere ontwikkelingen op het spoor (bv. de lopende implementatie van ERTMS, maar ook toekomstige opties als Automatisch rijden en ERTMS (Hybrid) Level 3). Zowel kosten als baten zijn niet altijd toe te schrijven aan één systeem en bepaalde beperkingen die nu t.a.v. de TEV als kosten worden opgevoerd zouden door een systeemsprong van een ander systeem weg kunnen vallen. Tegelijk kan een systeemsprong in TEV bijdragen in het realiseren van baten van een ander systeem, die in de huidige situatie niet mogelijk zou zijn. Zo maken automatisch rijden en ERTMS (Hybrid) Level 3 zeer korte opvolgtijden mogelijk, maar zou de TEV een beperkende factor kunnen zijn in het daadwerkelijk realiseren hiervan.

In onze ogen is de TEV één van de puzzelstukjes die gelegd moet worden, waarbij de doelstellingen en ambities voor het railvervoerssysteem richtinggevend zijn.

2.1.2 Referentiealternatief en projectalternatief

Uit de MKBA maken wij op dat het referentiealternatief gebaseerd is op besloten investeringen voor de referentiedienstregeling (PHS-6, 2030). Deze dienstregeling kan met zowel 1,5kV als met 3kV gereden worden. Dit draagt positief bij aan de zuiverheid en nauwkeurigheid van de vergelijking tussen de alternatieven. Tegelijk wordt reeds geconstateerd dat deze dienstregeling conservatief is en onvoldoende om de toekomstige reizigersgroei uit de WLO-scenario's te accommoderen. Dit wordt verder besproken in paragraaf 2.2.2 Referentiejaar. Er wordt niet inzichtelijk gemaakt welke additionele investeringen in 1,5kV benodigd zijn om zwaardere dienstregelingen te rijden, noch wanneer het referentiealternatief technisch niet meer kan voldoen aan de vervoersvraag.

Het is aannemelijk dat verdere capaciteitstoename bovenop de PHS-6 2030 dienstregeling additionele investeringen in de 1,5kV TEV vereist. De mate waarop en haalbaarheid hiervan zijn nog onbekend. Uitdagingen liggen niet alleen in de constructie van onderstations en het bijbehorende ruimtebeslag wat in stedelijke omgevingen steeds lastiger kan worden maar ook in de huidige problematiek op het onderliggende energienetwerk. Deze aspecten kunnen er toe leiden dat de kosten voor een extra onderstation steeds verder toenemen.

Wij beoordelen de beschouwing het referentiealternatief als conservatief en korte-termijn gebaseerd. Wij verwachten dat uitbreiding van het 1,5kV TEV-systeem op langere termijn in toenemende mate investeringen zal vereisen. Vanuit de Stuurgroep TEV is een doorkijk opgesteld naar investeringen in 1,5kV TEV t.b.v. TBOV2040 [5], waarin deze verwachting bevestigd wordt. Een nadere beschouwing van deze doorkijk wordt gegeven in bijlage A.

2.1.2.1 Projectalternatief

Op basis van een aantal eerdere studies is 3kV het meest realistisch gebleken als toekomstig alternatief voor de TEV, vergeleken met 15kV AC en 25kV AC. Wij kunnen ons vinden in deze redeneringen, met name ten aanzien van de complexiteit van een netwerkbrede migratie naar een 25kV AC systeem.

Het TEV-vraagstuk loopt al geruime tijd. Inmiddels zijn er andere ontwikkelingen in TEV-systemen, die niet meegenomen zijn in eerdere beoordelingen. Zo wordt er in meerdere landen onderzoek gedaan naar de toepassing van een 9kV DC systeem, wat in potentie de voordelen van 3kV DC en 25kV AC kan combineren. De ontwikkelingen voor een dergelijk systeem staan nog in de kinderschoenen, maar met inachtneming van de mogelijke migratieperiode (2034 en verder) zouden hier kansen kunnen liggen. Wij bevelen daarom aan om het 9kV-alternatief te analyseren.

Bijlage B geeft een introductie tot de aanleiding en voordelen van een 9kV DC systeem.

2.1.3 Gemonetariseerde en niet-gemonetariseerde effecten

In hoofdstuk 4 van het MKBA-rapport wordt een overzicht gegeven van de gemonetariseerde en niet-gemonetariseerde effecten.

Gemonetariseerde effecten

Wij kunnen ons vinden in de gemonetariseerde effecten. Dit zijn de te verwachten effecten voor een systeemsprong van de TEV, en bij de bepaling van kosten en baten is gepoogd zo nauw mogelijk bij het TEV-vraagstuk te blijven.

Echter constateren wij het volgende:

- De kosten voor regiovervoerders zijn gelijk gehouden aan de MKBA uit 2018. Er wordt terecht geconstateerd dat het bepalen van kosten voor ombouw van materieel van regiovervoerders complex is door de timing met concessies. Met het voorziene migratiepad is het aannemelijk dat het huidige 1,5kV-materieel van de regiovervoerders het einde van de levensduur nadert. Hierdoor is er beperkte noodzaak voor ombouw. Derhalve zouden de kosten een overschatting kunnen zijn.

  Tegelijk constateren wij dat er, in tegenstelling tot materieel voor NS, niet gerekend wordt met extra onderhoudskosten. Dit zou een onderschatting kunnen betekenen.
  In het totale beeld van de MKBA veronderstellen wij deze beide punten echter als van beperkte invloed.
- Wij constateren dat in eerdere onderzoeken de energiebesparing een belangrijke driver was om een hogere TEV spanning te onderzoeken. In de huidige versie is deze energiebesparing gemonetariseerd, maar wordt er beperkt stilgestaan bij de kwalitatieve voordelen van een zuiniger TEV-systeem. Hoewel dit deels buiten scope van een zuivere MKBA ligt benadrukken wij de energiebesparing ten gevolge van een spanningsverhoging in het bredere perspectief van de energietransitie en klimaatverandering. De reductie in transportverliezen en betere mogelijkheden voor recuperatie leiden tot een verlaging van het energiegebruik per gereden kilometer. Dit komt ook terug in onze observatie ten aanzien van de gevoeligheid voor de monetarisatie van energiekosten en CO_2.

Niet-gemonetariseerde effecten

In de MKBA wordt een aantal effecten benoemd, maar niet gemonetariseerd. Ook de potentiele kwalitatieve impact wordt niet beschouwd. Hierdoor is het niet in te schatten wat een mogelijk effect hiervan op de onzekerheid van de MKBA in zijn geheel is. Wij bevelen aan voor elk van de niet-gemonitariseerde effecten een inschatting te geven van de waarschijnlijkheid en (financiële) impact die er mogelijk kan optreden.

Wij zien de volgende opvallende zaken bij de baten:

- Een inschatting op basis van *expert judgement* laat zien dat de overstap van 1,5kV naar 3kV mogelijkheid biedt tot het rijden van 4% meer treinkilometers. De basis van de inschatting volgt uit een simulatie van de verwachte afname van de gemiddelde doorlooptijd op een aantal Nederlandse baanvakken.

  Een interessante vraag zou zijn wat de maximale capaciteit op een bepaald baanvak of het gehele netwerk zou zijn onder 1,5kV, en onder 3kV: wanneer kan 1,5kV niet meer aan de vervoersvraag voldoen, terwijl 3kV dit (nog) wel zou kunnen. Wij begrijpen dat een dergelijk onderzoek momenteel wordt uitgevoerd (knel-/breekpuntanalyse).
- Afhankelijk van de migratiestrategie is het mogelijk dat bepaalde investeringen in de 1,5kV TEV niet uitgevoerd hoeven te worden (vermeden investeringen). Het langer in dienst houden van bestaande assets dan voorzien gaat gepaard met additionele onderhoudskosten en uiteindelijk een hoger risico op storingen, maar kort voor de migratie vervangen van 1,5kV assets leidt tot kapitaalvernietiging. Desalniettemin verwachten wij dat er door het slim timen van de vervangingen investeringen vermeden kunnen worden. Dit zal op case-by-case basis bepaald moeten worden. De voorgelegde migratiestrategie is grotendeels gebaseerd op randvoorwaarden vanuit de migratie bij NS, waardoor er mogelijk geen optimale migratie vanuit het levensduuroogpunt van de infrastructuur wordt bereikt.
- Niet benoemd in niet-gemonetariseerde effecten zijn potentiele baten ten gevolge van snelheidsverhogingen die onder 1,5kV niet realiseerbaar zijn. Voor (toekomstige) infrastructuur met een hogere baanvaksnelheid dan 160 km/u voldoet 1,5kV waarschijnlijk niet. Het is mogelijk dergelijke infrastructuur net als de HSL uit te rusten met een 25kV-systeem, maar dit is zeer beperkend voor de inzet van materieel. Wij onderschrijven wel dat dit op het huidige netwerk (m.u.v. de Hanzelijn) niet van toepassing is.
- De toepassing van 1,5kV binnen Europa is buiten Nederland zeer beperkt, terwijl 3kV gangbaarder is. Door deze beperkte afzetmarkt zien wij een risico dat vervangingskosten van 1,5kV-tractieapparatuur in de toekomst toenemen. Dit risico schatten wij voor 3kV lager in. Dit kan resulteren in baten voor 3kV.

Wij constateren het volgende ten aanzien van de kosten:

- Een aantal randvoorwaardelijke investeringen worden benoemd:
  - De baanstabiliteit wordt als grootste risico beschouwd. Dit vraagstuk wordt in paragraaf 3.3 Baanstabiliteit verder besproken.
  - Er worden mogelijke randvoorwaardelijke investeringen benoemd voor aspecten zoals baanligging en aankondigingen van overwegen. Wanneer deze investeringen niet worden uitgevoerd beperkt dit potentieel de incasseerbaarheid van rijtijdbaten (acceleratie). Een vergelijking van de acceleratiecurves bij 1,5kV en 3kV (op basis van de materieelkarakteristieken gebruikt voor de bepaling van de rijtijdswinst, zie paragraaf 3.1.1.2) laat zien dat tot 40km/u er vrijwel geen verschil zichtbaar is[2]. Boven 40 km/u is zichtbaar dat treinen onder 3kV harder aanzetten en een overweg eerder kunnen bereiken, waardoor de huidige aankondigingstijd onvoldoende kan zijn. Aanpassingen

[2] Bij lage snelheden is adhesie maatgevend. Materieel met meer aangedreven assen kan hogere startacceleraties behalen.

aan aankondigingen van overwegen betreffen de spoorbeveiliging waardoor wijzigingen relatief kostbaar zijn. Een inventarisatie kan de totale omvang van dit probleem inzichtelijk maken. Wij zien de implementatie van ERTMS in Nederland als een kans om dergelijke aanpassingen op efficiënte wijze uit te voeren.

  - Er wordt aangenomen dat de bovenleidingsconstructie geschikt is voor 3kV, waarbij in beperkte mate componenten (overspanningsafleiders) vervangen moeten worden. Deze kosten zijn volgens bijlage 2.7 van de MKBA meegenomen in de kosteninschatting. Wij hebben het onderliggend memo beoordeeld en constateren dat de aanpak en aanpassingen ten aanzien van de Overspanningsafleiders bij kunstwerken in lijn met onze verwachtingen zijn. Ten aanzien van de draagkabelsteunpunten kunnen wij ons vinden in de werkhypothese dat dit geen problemen oplevert, vermits de isolatoren voldoen aan de isolatiewaarden conform EN 50124-1 en de afwijkingen van de 150mm spanning-aarde afstand beperkt zijn.
  - Indien in tegenstelling tot het voorgaande uitgangspunt toch wijzigingen aan de bovenleiding nodig blijken te zijn, kan dit grote gevolgen hebben op de uitvoerbaarheid van de migratie en kan dit ook tot extra kosten lijken. Een update van een eerder memo [6] over de geschiktheid is nog in ontwikkeling bij ProRail.

- De impact van spanningssluizen is niet gekwantificeerd. De ervaring met de HSL laat zien dat het ontwerp (m.n. locatie) van spanningssluizen kan leiden tot operationele problemen. Wij zien dat deze problematiek deels ondervangen kan worden in nieuwe treinen waarbij omschakeling automatisch gaat en de kans op bedienfouten kleiner is. Desalniettemin blijven spanningssluizen een risico, en kunnen deze afhankelijk van de locatie ook rijtijden beïnvloeden.

2.2 Aannames en uitgangspunten

2.2.1 Zichttermijn

Er is gekozen om de zichttermijn van de MKBA gelijk te houden aan de verwachte levensduur van de infrastructuur. Er wordt hierdoor gekeken naar één volledige investeringscyclus van de assets met de langste levensduur (onderstations à 40 jaar). De MKBA toont aan dat de grootste kosten aan het begin van de zichtperiode liggen (ombouw materieel + ombouw infrastructuur), terwijl de baten gedurende de gehele operationele fase gerealiseerd worden.

Het TEV-vraagstuk betreft dit een migratievraagstuk, anders dan nieuwe infrastructuur. Hierdoor kan er anders naar de kosten gekeken worden. Immers, de bestaande infrastructuur zou op termijn ook vervangen moeten worden. De hoge investeringen voor de ombouw van materieel en infrastructuur beschouwen wij als eenmalig noodzakelijk. Wanneer de zichtperiode van de MKBA met eenzelfde cyclus verlengd zou worden, verwachten wij dat er geen verschil in kosten tussen vervanging van 1,5kV of 3kV-apparatuur zit. In de deze MKBA, op basis van vergelijking tussen 1,5kV en 3kV, lopen de baten door tot in het oneindige, terwijl er in de toekomst geen noemenswaardige additionele kosten voor uitsluitend de TEV verwacht worden.

Omdat de keuze voor een nieuwe TEV naar waarschijnlijkheid een keuze voor een periode langer dan 50 jaar is, beschouwen wij de zichttermijn als conservatief. Het aanpassen van de zichttermijn tussen versie 1.0 en versie 1.1 is indicatief aan het mogelijke effect van een verdere verlenging.

2.2.2 Referentiejaar

Er is gekozen om de PHS-6 dienstregeling uit referentiejaar 2030 te gebruiken voor het bepalen van de reistijdbaten en de energiebaten. Voor dit referentiejaar zijn de investeringen, materieelbehoefte en geprognosticeerde vervoersvraag beschikbaar. Tegelijk constateren wij

dat dit referentiejaar nog vóór het begin van de migratiefase ligt, en ver voordat de baten volledig geïncasseerd kunnen worden.

Hoewel dit een begrijpelijk uitgangspunt vanuit de MKBA-methodiek is, resulteert dit in ons perspectief in een conservatieve beschouwing van het toekomstige gebruik van het spoor. Voor toekomstige (zwaardere) dienstregelingen, zouden mogelijkerwijs extra investeringen in het 1,5kV systeem nodig kunnen zijn, die onder 3kV niet nodig zouden zijn. Dit zou de extra kosten van 3kV t.o.v. 1,5kV verlagen. Tegelijk ligt het voor de hand dat in zwaardere dienstregelingen ruimte meer rijtijdbaten geïncasseerd kunnen worden. Deze beide aspecten zouden leiden tot een positievere baten/kosten-verhouding.

2.3 Gevoeligheidsanalyse

In de gevoeligheidsanalyse zijn de effecten van aanpassingen in uitgangspunten van de verschillende kosten en baten beoordeeld. Voor de investeringskosten zijn op basis van standaardpercentages aannames ten aanzien van de onder- en bovengrens genomen (+/- 20%). Gegeven de huidige hoog-over kostenbepaling lijken deze percentages aan de lage kant. Een onderbouwing (bijvoorbeeld op basis van een risicoregister) zou hier waarde toevoegen.

Voor de rijtijdwinsten en energiekosten is de gevoeligheidsmarge bepaald op basis van een onderbouwing van de waarden. Voor de rijtijdbaten is dit verder uiteengezet in paragraaf 3.1 Rijtijdbaten. Wat betreft de energiebesparing constateren wij dat de gevoeligheidsmarge alleen volgt uit de kwantitatieve onderbouwing van de besparing en niet ten aanzien van de energieprijs. De energieprijs is bepaald voor het WLO Laag en WLO Hoog scenario. Gegeven recente ontwikkelingen in de energiemarkt zou er een potentieel hoger voordeel zijn voor de baten ten aanzien van de energiebesparing.

3 Specifieke onderwerpen

Het Ministerie heeft Mott MacDonald onderzocht enkele specifieke onderwerpen nader te beoordelen: de rijtijdbaten, de levensduur van de tractie-energievoorziening en potentiele problematiek ten aanzien van de baanstabiliteit. Uit de gevoeligheidsanalyse van de MKBA blijkt dat dit onderwerpen zijn die een grote impact kunnen hebben op uiteindelijke uitkomsten van de MKBA.

3.1 Rijtijdbaten

De reistijdbaten zijn de grootste batenpost in de MKBA. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de resultaten van de MKBA relatief gevoelig zijn voor alternatieve aannames met betrekking tot de rijtijdwinst/materieelprestaties.

3.1.1 Algemeen beeld

De reistijdbaten van de MKBA worden bepaald door:

$$[aantal\ vertrekken\ per\ jaar] * [aanzettijdwinst\ per\ vertrek] * [aantal\ reizigers\ in\ trein] * [reistijdwaardering]$$

3.1.1.1 Aantal vertrekken per jaar en aantal reizigers

Het aantal vertrekken per jaar is bepaald op basis van het basisuurpatroon (BUP) van de PHS-6 Basis dienstregeling. Zoals aangegeven in paragraaf 2.2.2 Referentiejaar is dit de onderliggende dienstregeling voor de MKBA. Echter constateren wij dat dit een conservatieve insteek ten aanzien van de toekomstige rijtijden op kan leveren, doordat het aantal vertrekken in toekomstige dienstregeling mogelijk hoger zal zijn (TBOV2040 en verder). Ook zou in de toekomst de verhouding tussen intercity's en sprinters kunnen wijzigen (8-4 alternatieven) wat weer invloed heeft op de aanzettijdwinst per vertrek.

Ten aanzien van het aantal reizigers wordt geconstateerd dat de in de WLO scenario's geprojecteerde reizigersgroei niet opgevangen kan worden in deze dienstregeling en dat het aantal reizigers zo tot een overschatting leidt (bijlage 4 in de MKBA). Echter wordt elders in de MKBA geconstateerd dat dit een substantiële onderschatting van de rijtijdbaten voorkomt (H3, aanname 6). Ook wordt aangegeven dat de reizigersgroei als gevolg van aantrekkelijkere reistijden niet is meegenomen (onderschatting). Ten aanzien van de MKBA-resultaten zijn dat valide kanttekeningen. Echter, op lange termijn is het wenselijk dat alle reizigersgroei opgevangen kan worden, en zal het aantal reizigers kunnen toenemen.

De reizigersgroei in de WLO-scenario's is tot 2050 meegenomen. Na 2050 is het aantal reizigers als constant verondersteld. Echter zijn de baten pas vanaf 2050 volledig incasseerbaar. Reizigersgroei na 2050 zou 100% incasseerbare baten opleveren. De keuze om geen reizigersgroei na 2050 mee te nemen zou hiermee een onderschatting van de baten kunnen betekenen.

Een analyse van de maximale netwerkcapaciteit onder 1,5kV zou inzicht kunnen bieden in de maximale aantallen reizigers of vertrekken die mogelijk zijn. Hieruit zou kunnen blijven dat op langere termijn de reizigersgroei niet meer onder 1,5kV geaccommodeerd kan worden.

3.1.1.2 Aanzettijdwinst per vertrek

Acceleratiecurves

De aanzettijdwinst per vertrek is in eerste instantie afhankelijk van de acceleratiewaarden op basis van de materieelkarakteristieken. Om de waarden te bepalen is voor de MKBA fictief (toekomstig) materieel samengesteld, in de langste samenstelling (om representatieve waarden voor de spits te verkrijgen). Wij hebben deze waarden geanalyseerd en met behulp van een model op hoog niveau gevalideerd. Hieruit concluderen wij dat:

- Op basis van de hieronder benoemde aannames kunnen wij de rijtijdwinst van een individueel vertrek repliceren. Wij beoordelen de rijtijdwinst o.b.v. de materieelkarakteristieken realistisch.
  - De gebruikte inputparameters zijn deels gebaseerd op huidig materieel en aannemelijk. Ten aanzien van de massa's constateren wij echter het volgende:
    - De gebruikte massatoename tussen een mono-courante 1,5kV en mono-courante 3kV sprinter bedraagt 7,7 ton. Wij nemen aan dat dit zwaardere tractie-systemen omvat om een hoger vermogen mogelijk te maken.
    - De gebruikte massatoename tussen een mono-courante 3kV en een bi-courante sprinter bedraagt 13,2 ton. Wij nemen aan dat deze massatoename voortkomt uit de apparatuur om twee spanningen mogelijk te maken.
    - Vergeleken met de massatoename van mono-courant materieel zouden wij een omgekeerd beeld verwachten, waarbij de grootste massatoename voortkomt uit de toevoeging van extra vermogen. Wij zijn overigens van mening dat dit geen noemenswaardige impact op de modelresultaten heeft.
  - De modelresultaten zijn gebaseerd op een gelijke startaanzet voor de verschillende voltages van een treintype. Er zijn kleine verschillen in de trekkracht om de gewichtstoename te compenseren. Het belangrijkste verschil is het maximale beschikbare vermogen onder 3kV.
- Het uitgangspunt dat voor de SNG en DDNG zijn geen rijtijdbaten te realiseren is aannemelijk, indien de tractiesystemen van deze materieelsoorten volledig op de capabiliteit van 1,5kV zijn afgestemd. Hoewel de DDNG nog in de aanbestedingsfase zit, is het tractie-systeem en geïnstalleerd vermogen een elementair besluit. Zonder gedetailleerde inzichten in de aanbesteding kunnen wij niet beoordelen of een latere optie met een hoger vermogen aanschaft zou kunnen worden. In interviews is aangegeven dat dit geen aannemelijke optie is.

Rijtijdwinst per vertrek

Op basis van de acceleratiecurves wordt het aanzettijdverlies (atv) tot een bepaalde snelheid bepaald. Het verschil in atv tussen 1,5kV en 3kV is de rijtijdwinst die bij 3kV gerealiseerd kan worden.

Door infrastructurele parameters (zoals bogen, snelheidsbeperkingen en lagere baanvaksnelheden) en korte afstanden tussen halteringen wordt niet altijd tot 140 km/u aangezet. Dit heeft een beperkend effect op de rijtijdwinst. In sommige gevallen (bij hellingen) kan er overigens meer winst behaald worden.

Voor de MKBA zijn de rijtijden op twee trajecten (Leiden – Schiphol – Almere – Zwolle en Schiphol – Utrecht – Arnhem) bepaald. Op basis hiervan is in de MKBA geconstateerd dat voor intercity's het atv tot 140km/u representatief is. Voor sprinters is geconstateerd dat door korte afstanden tussen stations een lagere waarde benodigd is. Het gemiddelde tussen het atv tot 100 km/u en 140km/u bleek representatief op deze trajecten.

Wij constateren echter dat de beide onderzochte baanvakken een nominale baanvaksnelheid van 140 km/u hebben, terwijl een aanzienlijk gedeelte van het netwerk een baanvaksnelheid van 130 km/u heeft. Derhalve achten wij het niet mogelijk de bevindingen van de twee gesimuleerde baanvakken te extrapoleren voor het gehele land. In de MKBA van 2018 werd al een verdeling van de bereikte eindsnelheid per treinsoort gemaakt. In minder dan 50% van de intercityvertrekken wordt een snelheid van 140 km/u bereikt. Wij concluderen dat de gehanteerde rijtijdwinst voor intercity's op basis van de aanzet naar 140 km/u een (forse) overschatting is. Ook voor de sprinters lijkt de gehanteerde rijtijdwinst een optimistische schatting.

Ten slotte wordt in de berekening uitgegaan van een volledige incasseerbaarheid van de rijtijdbaten voor iedere reiziger. Echter wordt er ook van uitgegaan dat gemiddeld genomen aansluitingen behouden blijven. Door aansluitingen en overstappen is het niet aannemelijk dat de rijtijdwinst per vertrek door iedere reiziger volledig geïncasseerd kan worden.

Wij raden aan om een gedetailleerde dienstregelingstudie met een voor 3-kV geoptimaliseerde dienstregeling met herkomst-bestemmingsparen uit te voeren om de uiteindelijke reistijdwinst te kunnen bepalen.

3.1.1.3 Reistijdwaardering

In de 1.0 versie van de MKBA wordt voor de reistijdwaardering de basiswaarde in het WLO-Laag scenario in prijspeil 2010 weergegeven, wat een significante onderschatting van de daadwerkelijke reistijdwaardering zou betekenen. Volgens de opstellers van de MKBA zijn in de berekening van de reistijdbaten wel de juiste waarden voor zowel het WLO-Laag als het WLO-Hoog scenario verwerkt. De opstellers van de MKBA geven aan dat dit in de 1.1-versie correct in de tekst wordt opgenomen.

3.1.1.4 Aanvullende opmerkingen

Ingroei van de baten door migraties

Op basis van de migratiestrategie zijn ingroeipercentages voor de incasseerbaarheid van de reistijdwinsten bepaald. Wij hebben de methode op hoog niveau beoordeeld en concluderen dat de resultaten goed onderbouwd zijn.

Niet gemonetariseerde effecten

Er is in de berekeningen geen rekening gehouden met mogelijke snelheidsverhoging. Momenteel hebben slechts enkele baanvakken een hogere baanvaksnelheid dan 140 km/u en bovendien is ERTMS een randvoorwaarde om deze snelheden te incasseren. 3kV maakt hogere snelheden makkelijker mogelijk (boven 160 km/u is onder 1,5kV niet realistisch). Ook voor 160 km/u biedt 3kV al significante aanzettijdwinst.

De te behalen rijtijdwinst voor goederentreinen is PM gehouden. Hier zitten potentieel aanzienlijke baten wanneer meer vermogen per trein beschikbaar komt, zowel door snellere acceleratie als door dat goederentreinen makkelijker in een pad op hogere snelheid kunnen blijven rijden. Wanneer goederentreinen gemiddeld sneller rijden kan dit vervolgens additionele capaciteit voor reizigersvervoer opleveren.

Om de volledige baten te behalen kan het voor bepaalde vervoerders (afhankelijk van de gebruikte locomotieven[3]) echter noodzakelijk zijn om met twee locomotieven te gaan rijden. Dit

[3] Voor een aantal veelgebruikte locomotieven neemt het beschikbare vermogen onder 3kV niet significant toe. Echter kan onder 1,5kV slechts 1 locomotief op vol vermogen rijden, terwijl onder 3kV twee locomotieven een dergelijk vermogen kunnen benutten.

heeft een effect op de exploitatie en business case van vervoerders. Uitgaan van volledige incasseerbaarheid van deze baten is in onze ogen een overschatting.

3.1.2 Conclusie

Wij concluderen dat de resulterende reistijdbaten, binnen de uitgangspunten van de MKBA, aan de hoge kant zijn. Met name de rijtijdwinst per vertrek lijkt te hoog ingeschat. Optimalisatie van dienstregelingen en snelheidsverhogingen kunnen bijdragen aan een betere incasseerbaarheid.

Wij constateren wel dat op lange termijn de baten kunnen toenemen door hogere passagiersaantallen (hoewel er al een groei conform WLO tot 2050 ingecalculeerd is) en zwaardere dienstregelingen met meer vertrekken.

3.2 Levensduur infrastructuur

Vanuit de MKBA-methodiek is de levensduur van de infrastructuur bepalend voor de zichttermijn van de MKBA. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt een verlengde levensduur van de infrastructuur een groot effect te hebben op de uitkomst van de MKBA doordat dit ook de zichttermijn verlengd.

3.2.1 Algemeen beeld

Zoals ook opgenomen in de 1.1-versie van de MKBA, zit een complicerende factor in het brown-field karakter van het TEV-vraagstuk. Enerzijds is er aan de voorkant een migratieperiode in plaats van een vast moment waarop de betreffende infrastructuur in dienst wordt genomen. Anderzijds is het uitgangspunt dat er in het TEV-project geen infrastructuur toegevoegd. Het betreft een eenmalige ombouw van assets, waarbij toekomstige vervangingen relatief ongewijzigd zijn ten opzicht van het referentiescenario.

In de 1.0 versie werd als begin van de zichttermijn van 40 jaar (gelijk aan de levensduur van de onderstations) de start van de migratie genomen. Echter, door de lange duur van de migratie zouden aan het eind van de zichttermijn slechts enkele onderstations aan het eind van hun levensduur zijn, terwijl de laatst vervangen onderstations ongeveer halverwege hun levensduur zijn. De keuze om de zichttermijn van de MKBA daarom aan te passen naar 40 jaar vanaf halverwege de migratiefase draagt daarmee bij aan een realistischer beeld.

3.2.2 Verlenging van de levensduur infrastructuur

De zichttermijn zou verder verlengd kunnen worden als onderstations langer dan 40 jaar mee zouden gaan. Internationaal zien wij echter dat 40 jaar een veelgebruikte bovengrens van de levensduur van onderstations is. Een levensduur van 50 jaar zou theoretisch mogelijk zijn, maar vergt de volgende aandachtspunten:

- Leveranciers moeten aantonen dat zij de gebruikte apparatuur voor een levensduur van 50 jaar kunnen produceren en daarbij aangeven wat voor functionele defecten hebben opgetreden bij deze apparatuur.
- Het is aanbevolen feedback van onderhoudsorganisaties te verzamelen over ervaringen met infrastructuur met een dergelijke levensduur. Belangrijk hierbij zijn ervaringen met defecten aan de isolatie, wat tot vervanging van de apparatuur kan leiden.
- Er moet rekening gehouden worden met de beschikbaarheid van reserveonderdelen, met name tegen het einde van de levensduur. Hier kunnen risico’s aan zitten.
- Het is mogelijk dat de infrastructuur gedurende de levensduur steeds zwaarder belast wordt (zowel elektrisch als thermisch) door toegenomen treinverkeer. Hier moet een geschikt onderhoudsregime voor ingesteld worden.

Hoewel een verlenging van de levensduur naar 50 jaar vanuit technisch oogpunt mogelijk zou zijn, moet hierbij ook rekening gehouden worden met verhoogde investeringen. Zo is het waarschijnlijk dat apparatuur met een levensuur van 50 jaar duurder in aanschaf is vanwege de benodigde kwaliteit. Het is mogelijk dat deze extra investeringen niet opwegen tegen het eerder afschrijven van de apparatuur. Daarnaast kunnen ook de onderhoudskosten toenemen doordat toleranties vanuit levensduurperspectief kleiner worden.

Concluderend zien wij een verlenging van de levensduur van de tractie-energievoorzieningsinfrastructuur naar 50 jaar om de baten van een spanningsverhoging te verbeteren als niet aannemelijk.

3.2.3 Vervangingsopgave

Bij een migratie naar 3kV moet er op lange termijn rekening gehouden worden met de benodigde vervangingen van de infrastructuur. Omdat alle onderstations in een migratieperiode worden omgebouwd is de verwachting dat toekomstige vervangingen in een golfbeweging zullen plaatsvinden. Dit kan financiële en operationele risico's met zich meebrengen ten opzichte van een situatie waarin er een vlakkere vervangingsopgave per jaar ligt. Dit aspect ligt buiten de zichttermijn van de MKBA en is niet inzichtelijk gemaakt. Het is aan te bevelen deze risico's in een vervolgfase verder inzichtelijk te maken.

3.3 Baanstabiliteit

Er loopt een grootschalig onderzoek naar baanstabiliteit in Nederland. Het grootste deel van de baanvakken is geschikt voor aslasten tot 20 ton op baanvaksnelheid. Moderne baanvakken zijn veelal gebouwd op een beladingsklasse met aslasten tot 22,5 ton op baanvaksnelheid. Echter blijkt dat een deel van de veelal oudere baanvakken niet voldoet aan de afkeurwaarde voor de constructieve veiligheid van de geldende beladingsklasse. Het is daardoor aannemelijk dat er sowieso investeringen om de baanstabiliteit te verbeteren benodigd zullen zijn.

3.3.1 Algemeen beeld

Het baanstabiliteitsprobleem kan enerzijds lijden tot aanzienlijke extra kosten voor het TEV-programma wanneer investeringen in de baanstabiliteit ten laste van de TEV komen. Tegelijk kan de baanstabiliteit ook een blokkade blijken voor het incasseren van toekomstige baten die 3kV mogelijk maakt.

De investeringen in baanstabiliteit zouden ten laste van de TEV komen wanneer (bi-courant) 3kV rollend materieel niet binnen de vigerende aslastgrenzen kunnen opereren. Wanneer investeringen in de baanstabiliteit nodig zijn om het zwaardere materieel zonder restricties in te kunnen zetten, zou dit redelijkerwijs toegeschreven kunnen worden aan de migratie naar 3kV. Een alternatief zou inzet van het materieel met restricties kunnen zijn. Echter heeft dit significante impact op de dienstuitvoering van vervoerders en is vanuit dat oogpunt waarschijnlijk onacceptabel.

Wanneer het (omgebouwde) materieel binnen de vigerende aslastgrenzen blijft, voldoet het materieel in principe aan de norm. Indien er als gevolg van de gewichtstoename van het materieel alsnog versterkingen van de baanstabiliteit nodig zijn, zou dit betekenen dat het betreffende baanvak niet voldoet aan de ontwerpbeladingsklasse. Investeringen om de betreffende baanvakken weer op orde te brengen zouden niet toe te schrijven zijn aan de overgang naar 3kV.

3.3.2 Risico op overschrijding aslasten

Wij onderschrijven de bevindingen van NS dat de migratie naar 3kV zal resulteren in een toename van de massa's van het materieel (en daarbij toename van de aslasten):

- Om het huidige rollend materieel geschikt te maken voor 3kV is een retrofit noodzakelijk, waarbij apparatuur wordt toegevoegd om 3kV mogelijk te maken. Dit leidt tot een toename van de aslasten. Voor nieuw, bi-courant materieel zijn er doorgaans drie mogelijkheden. Deze zijn uiteengezet in bijlage C.
- Nieuw, mono-courant 3kV materieel zal bij gelijke ontwerpuitgangspunten hogere massa's hebben dan mono-courant 1,5kV materieel om betere prestaties (acceleratie, topsnelheid) te realiseren. Deze gewichtstoename komt voort uit meer of zwaardere tractiemotoren.

Vrijwel alle moderne NS-treinen zijn gebaseerd op platforms met jacobsdraaistellen (één draaistel waar aan beide zijden een bakuiteinde op rust). Dit ontwerp heeft voordelen op gebied van totale treinmassa, beschikbare passagiersruimte en onderhoudskosten, maar leidt tot hogere aslasten omdat de voertuigmassa over minder assen verdeeld is.

Wij hebben voorlopige engineering-data voor de SNG en de ICNG bekeken[4].

- De massatoename volgend uit de engineering van de leverancier van de SNG (CAF) is in onze ogen aan de hoge kant. Wij verwachten dat deze toename is gebaseerd op een schatting en iets conservatief kan zijn. Op basis van de engineering zien wij enkele mogelijkheden tot beperkte optimalisaties. De aangereikte gegevens en onze bevindingen daarbij suggereren dat een bi-courante SNG waarschijnlijk binnen de aslastgrens van 20 ton kan blijven. De marge bij de maatgevende assen is echter beperkt.
- Voor de ICNG hebben wij zeer beperkt inzicht in de massatoenames en resulterende aslasten gehad. Het is duidelijk dat de modificatie in ieder geval resulteert in een dichte benadering en mogelijk zelfs beperkte overschrijding van de grens van 20 ton. Wij begrijpen dat de leverancier nog optimalisaties in het ontwerp onderzoekt waarmee het uiteindelijke ontwerp volledig aan de norm zou voldoen. Wij hebben de volgende bevindingen:
  - De gemiddelde aslast blijft hoogstwaarschijnlijk onder de 20 ton;
  - Enige overschrijdingen blijven waarschijnlijk beperkt (minder dan 0,2 ton); en
  - Overschrijdingen vinden alleen plaats bij maximale belading conform norm EN15663[5]. Met name voor de ICNG achten wij het onwaarschijnlijk dat een dergelijke belading plaatsvindt.

  De aan ons getoonde getallen en onze bevindingen suggereren dat in normale operationele situaties een overschrijding van de aslast-grens onwaarschijnlijk is. Echter zit er weinig tot geen marge op het ontwerp en volgens de gehanteerde Europese normen bestaat de kans dat de voertuigen net niet voldoen.

Voor de FLIRT en toekomstige treinseries (inclusief DDNG) zijn nog geen engineering-data beschikbaar.

- Volgens het memo geschiktheid baanlichaam [7] voldoet de mono-courante NS FLIRT aan de beladingsklasse van 20 ton. De in Limburg als drielandentrein ingezette FLIRT wordt als tri-courante (1,5kV, 3kV en 15kV AC) referentie benoemd, waarbij wordt aangegeven dat deze niet voldoet aan de aslast-eis. Wij merken wel op dat deze trein ook 15kV AC capabiliteit heeft en dat de apparatuur hiervoor significant zwaarder is dan de apparatuur benodigd voor een 1,5kV-3kV bi-courante trein. Hierdoor zou een 1,5kV-3kV bi-courante versie mogelijk nog wel onder de aslast-grens blijven. Wij kunnen hier zonder inzicht in de onderliggende gegevens echter geen conclusies aan verbinden.

  Voor het in MKBA v1.0 voorgestelde migratiescenario (2b) wordt uitgegaan van het niet ombouwen van de FLIRT, waardoor het aslast-risico in dit scenario niet van toepassing is.

[4] De data voor de ICNG zijn gedurende een MS Teams-interview aan Mott MacDonald getoond. Mott MacDonald heeft deze gegevens niet voor verdere analyse ter beschikking gesteld gekregen.

[5] Infrastructuurbeheerders bepalen welke normwaarde voor belading gehanteerd wordt. Er wordt in Nederland gerekend met 500 kg/m^2 (±6 passagiers/m^2).

- Dubbeldeksmaterieel heeft doorgaans hogere aslasten dan enkeldeksmaterieel. Voor de DDNG is daarom een hybride optie gekozen met enkeldeksbakken waar de tractiemotoren in ondergebracht kunnen worden. Afhankelijk van de configuratie zou de marge voor installatie van 3kV-apparatuur ruimer of beperkter kunnen zijn. Wij onderschrijven het door NS aangegeven risico op overschrijding van de aslasten voor een bi-courante versie, maar meer gegevens zouden nodig zijn om hier een concrete conclusie aan te verbinden.
- Voor nieuw (bi-courant) aan te besteden treinen verwachten wij een lagere massatoename vergeleken met ombouw. Als al bij het ontwerp uitgegaan wordt van een bi-courant model kan er winst behaald worden qua verdeling van apparatuur over de bakken. Daarnaast kunnen onderdelen gecombineerd worden in apparatuurkasten, in plaats van dat bij ombouw kasten worden toegevoegd, met het bijbehorende gewicht. Ook zou er efficiënter met koeling kunnen worden omgegaan. Dit zou mogelijkerwijs van toepassing kunnen zijn op een bi-courante order van de DDNG.
- Bij nieuw aan te besteden materieel zou een aslast van 20 ton als harde eis kunnen worden opgenomen. Dit moet wel bepaald worden in relatie tot andere eisen die NS stelt. NS streeft in onze ogen terecht naar het aanschaffen van standaard materieelplatformen zonder ingrijpende wijzigingen op elementaire voertuigaspecten. Hiermee kan NS een bewezen product voor een goede prijs krijgen. Eisen t.a.v. aslastbeperking vereisen mogelijk aanpassingen ten opzichte van de standaardmodellen met bijbehorende risico's, of resulteren in beperkingen op andere aspecten (waaronder reizigerscapaciteit, geïnstalleerd vermogen (en daarmee rijtijden), LCC of totale treinmassa). Een integrale kijk op railvervoersysteemniveau, inclusief baankant (ProRail) is benodigd om te beoordelen of een beperkte overschrijding van de 20 ton acceptabel is of dat er op andere aspecten compromissen gesloten moeten worden.
- De resultaten en conclusies ten aanzien van de SNG en ICNG zijn niet zonder meer van toepassing op andere treintypes. De oplossing kan voor ieder treintype anders zijn, afhankelijk van de gebruikte tractie-platforms en de beschikbare bouwblokken.

Wij verwachten dat mono-courant 3kV materieel uiteindelijk lichter is dan bi-courant materieel en dat de aslastproblematiek met name van toepassing is zolang bi-courant materieel in dienst is.

3.3.3 Aanbevelingen

Om meer duidelijkheid te verkrijgen over de effecten van mogelijke aslastproblematiek bevelen wij het volgende aan:

- Valideer de massatoename voor ombouw bij de leveranciers met gedetailleerdere gegevens, en kwantificeer de resulterende toename in (specifieke) aslasten. Voor de DDNG zou dit meegenomen moeten worden in het vervolgtraject na de aanbesteding.
- Overweeg tot op welke hoogte de 20 ton aslastgrens een harde bovengrens is, of in welke omstandigheden een beperkte overschrijding acceptabel kan zijn. Hierbij moet meegenomen worden dat de overschrijdingen plaatsvinden onder onwaarschijnlijke beladingsomstandigheden.
- Kwantificeer de consequenties van het rijden met zwaardere treinen als gevolg van de ombouw, zowel voor effecten op slijtage aan spoor en trein alsmede voor het energiegebruik. Beoordeel vervolgens of deze resultaten een noemenswaardige impact op het gehele plaatje van 3kV hebben.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

De MKBA in de huidige vorm geeft een nauw beeld van de mogelijke baten en kosten van een upgrade van de TEV naar 3kV. Echter zien wij dat er een aanzienlijke onzekerheid rond de uitkomsten is, zowel positief als negatief.

Met name de zichttermijn heeft een drukkend effect op de kosten/baten verhouding, omdat de meeste kosten éénmalig zijn (migratie). Toekomstige vervangingen zouden qua kosten beperkt zijn, omdat deze slechts het verschil met 1,5kV betreffen. Baten volgend uit rij- en reistijdwinst en hogere capaciteit lopen in theorie wel tot in het oneindige door.

Het baseren van de baten op een dienstregeling 2030 is in onze ogen conservatief. Er is de mogelijkheid dat de baten hoger uitkomen bij zwaardere dienstregelingen in de toekomst:

- Enerzijds kunnen de voorziene passagiersaantallen niet in de referentiedienstregeling geaccommodeerd worden. Een toename van het aantal treinen om deze groei op te vangen leidt tot hogere baten.
- Anderzijds betreft het een dienstregeling die onder zowel 1,5kV als onder 3kV gereden kan worden. Voor zwaardere dienstregelingen zijn in de toekomst mogelijk extra investeringen in het 1,5kV systeem benodigd, die onder 3kV niet noodzakelijk zijn. Hiermee nemen de kosten van het referentiealternatief toe, wat een positief effect op de kosten/baten-factor van 3kV heeft.

Tegelijk constateren wij ook dat er risico’s bij de migratie naar 3kV horen.

- Indien bi-courante treinen niet aan de vigerende aslastgrenzen voldoen, zal dit tot inzetbeperkingen kunnen leiden, of (aanzienlijke) investeringen in de baanstabiliteit vereisen. Dit risico is nader beschouwd. De hoofdconclusies zijn opgenomen in paragraaf 4.1.3.
- Het uitgangspunt is dat er geen grote wijzigingen aan de bovenleiding uitgevoerd hoeven te worden. Indien dit toch nodig blijkt te zijn kan dit grote gevolgen hebben op de uitvoerbaarheid van de migratie en kan dit ook tot extra kosten lijken. Een update van een eerder memo over de geschiktheid is nog in ontwikkeling bij ProRail.

4.1.1 Rijtijdwinst

De materieelkarakteristieken en de daaruit volgende acceleratiecurves beoordelen wij op basis van een hoog-over modellering als realistisch.

Wij beoordelen de rijtijdwinst per vertrek zoals weergegeven in de MKBA met name voor de intercity’s als te optimistisch. Door lagere baanvaksnelheden in delen van het land zal de winst per vertrek in een deel van de getallen lager uitpakken. In de MKBA van 2018 werd hier voor gecorrigeerd. De daadwerkelijke impact van deze baanvaksnelheden zou middels een landelijke dienstregeling studie gekwantificeerd kunnen worden.

De berekeningen voor de baten van de rijtijdwinst nemen mogelijke snelheidsverhogingen niet mee. Hoewel de potentie hiervan op het huidige netwerk beperkt is (slechts weinig baanvakken zijn geschikt voor een hogere maximumsnelheid), zou dit als gevolg van toekomstige investeringen en beleidskeuzes extra voordeel bij 3kV kunnen opleveren.

Tot 2050 is een reizigersgroei verondersteld, echter kan deze niet in de referentiedienstregeling geaccommodeerd worden. Om de veronderstelde reizigersgroei op te vangen is een zwaardere dienstregeling nodig, wat tot meer vertrekken en daarmee tot hogere reistijdbaten zou leiden.

Omdat door de migratie de baten pas vanaf 2050 volledig incasseerbaar zijn resulteert dit in onze ogen in een onderschatting.

4.1.2 Levensduur infrastructuur

Internationaal gezien komt een levensduur van 40 jaar voor tractie-infrastructuur veel voor, maar wordt ook als bovengrens beschouwd. Wij concluderen dat een levensduurverlenging van de tractie-infrastructuur tot 50 jaar theoretisch mogelijk kan zijn, maar vanuit aspecten als betrouwbaarheid, aanvullende investeringskosten en onderhoud niet aannemelijk is.

4.1.3 Baanstabiliteit en aslasten

De baanstabiliteitsproblematiek kan een zekere impact op de kosten en baten van de TEV hebben. Echter, als bi-courant rollend materieel binnen de vigerende aslastgrenzen blijft is het niet aannemelijk dat investeringen voor de baanstabiliteit ten conto van de TEV komen. Tegelijk zou de baanstabiliteitsproblematiek wel blokkerend kunnen werken voor het incasseren van toekomstige baten die 3kV mogelijk kan maken (waaronder capaciteits- of snelheidsverhoging).

Wij constateren dat de aslastgrens van 20 ton een uitgangspunt is geweest bij de aanschaf van recente materieeltypen, waarbij ombouwmogelijkheid naar 3kV in zeer beperkte mate is meegenomen.

De door ons beoordeelde data suggereert dat de SNG na ombouw tot bi-courant materieel waarschijnlijk binnen de vigerende aslastgrens van 20 ton kan blijven. Bij de ICNG zijn de marges beperkter en is er een kans dat de 20 ton in uitzonderlijke beladingssituaties overschreden wordt. Wij achten het echter onwaarschijnlijk dat dergelijke situaties optreden.

Voor de FLIRT en nog aan te schaffen materieelseries (inclusief DDNG) zijn geen data beschikbaar en hier kunnen wij geen conclusies aan verbinden. Wel zouden bij aanbestedingen eisen ten aanzien van aslasten voor bi-courante versies opgenomen kunnen worden. Echter moet het opnemen van dergelijke eisen beschouwd worden in relatie tot andere aspecten. Wij onderschrijven het streven van NS om zo veel mogelijk met standaardproducten te werken, omdat dit tot lagere kosten en hogere betrouwbaarheid leidt. De aslastgrens als harde eis kan het ook betekenen dat er compromissen ten aanzien van capaciteit, geïnstalleerd vermogen (en daarmee rijtijden), treinmassa of LCC gesloten moeten worden.

4.1.4 Totaalbeeld

Op basis van de beoordeelde aspecten van de MKBA concluderen wij dat er een aanzienlijke onzekerheid rond de resultaten van de MKBA is, waarbij de zichttermijn een duidelijke rol speelt. Ten aanzien van de baten denken wij dat er duidelijk ruimte is voor hogere baten bij zwaardere dienstregelingen en verdere reizigersgroei, maar dat de huidige bepaalde rijtijdwinsten te optimistisch zijn. De verhouding tussen deze zaken zou in meer detail onderzocht moeten worden. De kosten zouden kunnen toenemen wanneer (financiële) risico’s van het baanstabiliteitsvraagstuk en additionele randvoorwaardelijke investeringen materialiseren.

Derhalve concluderen wij dat de MKBA geen ondubbelzinnig uitsluitsel over de financiële effecten van een systeemsprong van de TEV naar 3kV geeft en niet als enige onderbouwing van besluitvorming kan dienen. De technische (on)haalbaarheid van bepaalde toekomstige dienstregelingen / vervoersproducten zou een betere onderlegger van dergelijke besluitvorming zijn, waarbij de MKBA aangeeft dat de financiële implicaties van dergelijke toekomstbeelden rond het nulpunt zou kunnen uitkomen.

Ten slotte merken wij op dat het vraagstuk van de TEV kan niet los gezien worden van andere systeemsprongen. Een onderliggende lange-termijnambitie en strategie zijn essentieel om de

noodzaak voor verschillende systeemsprongen te onderbouwen. Een integrale kijk kan bovendien bijdragen aan het identificeren en het behalen van synergiën van meerdere systeemsprongen.

Alles overziend en op basis van de beschikbare gegevens en onze globale analyse verwachten wij dat de MKBA iets positiever zal uitvallen dan in de beoordeelde versie. Om hier meer zekerheid over te krijgen adviseren wij om onderstaande aanbevelingen uit te voeren.

4.2 Aanbevelingen

Op basis van bovenstaande conclusies en de overige bevindingen van de 2nd opinion bevelen wij het volgende aan:

- Neem de resultaten van lopende studies naar netwerkcapaciteit en knelpuntenanalyses mee als onderbouwing bij besluitvorming. Deze kunnen doorslaggevender blijken dan de MKBA.
- Een integrale blik op de spoorsector kan richtinggevend zijn bij besluitvorming van complexe systeemvraagstukken als dit. Hierbij zou ook gekeken moeten worden naar mogelijke toekomstige systeemsprongen, waaronder bijvoorbeeld Automatisch rijden en ERTMS Hybrid Level 3. Daarom raden wij aan om vanuit een lange-termijn visie of masterplan te bepalen welke systeemsprongen noodzakelijk zijn om gestelde doelen te bereiken.
- Ook Frankrijk onderzoekt een toekomstpad voor het huidige 1,5kV systeem. Het is aan te bevelen ook deze ontwikkelingen te monitoren en zo mogelijk bij aan te sluiten, om te voorkomen dat het 1,5kV systeem in Nederland uniek in Europa wordt.
- Voer een gedetailleerdere dienstregelingstudie uit om de rijtijdbaten voor een landelijke dienstregeling te kwantificeren, waarin gecorrigeerd wordt voor lagere baanvaksnelheden. Het is het overwegen waard om ook de winst in zwaardere dienstregelingen op deze manier te onderzoeken.
- Onderzoek de kans op overschrijding van de vigerende beladingsklasse voor de FLIRT en DDNG en overweeg tot op welke hoogte de grens van 20 ton een harde bovengrens is, met inachtname van de waarschijnlijkheid dat deze in operationele situaties overschreden wordt.

5 Referenties

[1] Introductie 3 kV dc tractie energievoorziening. Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse. ProRail. Versie 3.1, 14-10-14.
[2] Een maatschappelijke kosten-baten analyse van een verbeterde tractie-energievoorziening. Uitwerking van de alternatieven 3kV en 1,5kV ECO. ProRail, NS. Versie 1.0, 20-04-2018.
[3] Maatschappelijke kosten-baten analyse van 3kV tractie energievoorziening. ProRail, NS, Versie 1.0, 20-10-2021.
[4] Presentatie met doorkijk naar v1.1 van MKBA STEV. ProRail, NS. Concept, 02-2022.
[5] STEV | Aanpak en resultaat kostenprognose 1500V t.b.v. TBOV2040. v1.0, 27 juli 2021
[6] Memo Geschiktheid bovenleiding voor 3kVdc. ProRail AM EV. 14-06-2021.
[7] Memo Invloed van baanstabiliteit op het besluit ombouw Tractie Energie Voorziening 3 kV. ProRail en NS. Datum onbekend.

Bijlagen

A. Beschouwing referentiealternatief 23
B. Alternatieve TEV op basis van middenspanning gelijkstroom 26
C. Opties voor bi-courant materieel 28

A. Beschouwing referentiealternatief

Op verzoek van IenW heeft Mott MacDonald nader naar aanvullende informatie over het 1,5kV referentiealternatief gekeken. Dit betreft een doorkijk naar investeringen in de 1,5kV TEV om TBOV2040 mogelijk te maken[6]. Deze aanvullende investeringen vallen buiten de scope van de MKBA omdat dit voor een deel nog niet besloten investeringen omvat en op een nog conceptuele dienstregeling is gebaseerd.

A.1 Beschrijving en uitgangspunten

De investeringskosten voor de 1,5kV TEV voor TBOV2040 zijn bepaald vanuit de perspectieven van Functiehandhaving (HV) en Functiewijziging (FW), benodigd voor de 8/4 dienstregeling met extra treinen rondom Amsterdam en Schiphol. Deze dienstregeling is gebaseerd op "Robuuste Basis Stap 2" uit het TBOV, en uitdrukkelijk anders dan de in de MKBA als basis gebruikte dienstregeling.

De kosten voor functiehandhaving (FH) zijn gebaseerd op de reeds bestaande lange-termijn reeks tot 2040. De kosten voor functiewijziging (FW) zijn middels expert-panels bepaald op basis van te implementeren (standaard)varianten op geïdentificeerde knelpunten. Ten slotte zijn er aanvullende investeringen bepaald voor het faciliteren van een snelheidsverhoging naar 160 km/u op enkele baanvakken en voor elektrificatie van enkele corridors.

Op basis van de geanalyseerde dienstregeling blijkt dat bijna de helft van de onderstations (180 van de 367) aangepast moet worden. Op een enkele locatie is een volledig nieuw onderstation benodigd.

De volgende resulterende investeringskosten zijn bepaald:

Tabel A.1: Investeringskosten 1,5kV t.b.v. TBOV2040

Investering	Kosten
Functiehandhaving (t/m 2040)	€ 352 mi joen
Functiewijziging	€ 612 mi joen (+/- 20%)
Optioneel: snelheidsverhoging	€ 12 miljoen (+/- 20%)
Optioneel: nieuwe elektrificatie	€ 62 miljoen (+/- 20%)

Bron: Doorkijk kostenprognose 1,5kV t.b.v. TBOV2040 [6]

De optionele kosten voor nieuwe elektrificatie staan grotendeels los van het gekozen scenario. Wij gaan hier verder niet op in.

Beheer- en onderhoudskosten zijn niet inbegrepen. Daarnaast zijn er een aantal aanvullende kosten (thermische knelpunten in het retourcircuit, 1,5kV voedingskabels en oplossen aanraakspanning) niet meegenomen.

A.2 Onze beoordeling

De expert-analyse is in een beperkt tijdsbestek uitgevoerd en de resultaten lijken op pragmatische manier bepaald. Dit is begrijpelijk gezien de fase van het proces waarin deze analyse is uitgevoerd. Er is gebruik gemaakt van een aantal beschikbare bronnen waarbij door de expert-panels een vertaalslag naar 2040 is gemaakt.

[6] STEV | Aanpak en resultaat kostenprognose 1500V t.b.v. TBOV2040. v1.0, 27 juli 2021.

Beoordeling kosteninschatting

Daarnaast valt ons het kostenverschil per locatie tussen de migratie naar 3kV en de functiewijziging 1,5kV op:

Tabel A.2: Kosten per onder- of schakelstation voor beide scenario's

Scenario	Totale kosten	Kosten per onder/schakelstation
Functiewijziging 1,5kV	€ 612 miljoen	€ 3,4 miljoen (o.b.v. FW 180 OS/SS)
Ombouw 3kV [1]	€ 396 miljoen (ex. tijdelijke maatregelen)	€ 1,1 miljoen

Opmerking: de kosten van de ombouw 3kV zijn gebaseerd op de waarden uit de MKBA v1.0.

In de 3kV MKBA v1.0 worden geen details van de opbouw van de kosten gegeven. Ook voor het 1,5kV is slechts een lijst met varianten weergegeven, niet hoe vaak iedere variant toegepast wordt. Onder de varianten zijn er een aantal waarvan wij verwachten dat deze gedeeltelijk ook van toepassing kunnen zijn in het 3kV-scenario (bijvoorbeeld toevoegen/verzwaren HS-voedingskabel). Een diepgaander inzicht in de opbouw van de kosten (zowel in 1,5kV als 3kV) zou hier meer duidelijkheid in verschaffen.

Bij het bepalen van de aan te passen onder- en schakelstations is het van belang ook de effecten op omliggende onderstations te overwegen. Mogelijkerwijs moeten hier ook aanpassingen aan uitgevoerd worden. Het is niet inzichtelijk in hoeverre deze overweging is meegenomen in de kosteninschatting.

Onderhoudskosten zijn ook in de MKBA niet specifiek meegenomen, omdat er geen verschil wordt verwacht tussen onderhoud aan een 1,5kV of een 3kV onderstation. Wanneer de hoeveelheid apparatuur echter significant toeneemt als gevolg van de functiewijziging 1,5kV zou dit een effect kunnen hebben op de jaarlijkse onderhoudskosten.

De investeringen voor de snelheidsverhoging zijn exclusief aanpassingen aan de bovenleiding. Wij verwachten dat de benoemde investeringskosten voor 1,5kV mogelijk niet volledig van toepassing zijn onder 3kV.

De niet-gemonetariseerde kosten benoemd in de doorkijk zijn naar onze mening terechte punten die op een enig moment in het proces inzichtelijk moeten worden. Deze punten zien wij ook in de 3kV-MKBA als niet-gemonetariseerde effecten terug. Het is waard te benoemen dat het punt ten aanzien van de aanraakspanning onder 3kV een potentieel positief effect kan hebben, terwijl dit onder 1,5kV uitbreiding negatief is.

Beoordeling overige aandachtspunten uit doorkijk

Er wordt terecht opgemerkt dat een deel van de investeringen (in ieder geval functiehandhaving op korte termijn) uitgevoerd moet worden, onafhankelijk van het gekozen toekomstpad. Afhankelijk van het 3kV-migratiescenario en -tijdspad kan de functiehandhaving geoptimaliseerd worden (als vermeden investering bij migratie naar 3kV). De mate waarin dit mogelijk is, is gekwantificeerd in de MKBA v1.1.

Er wordt aangegeven dat de benoemde investeringen voldoende zijn om de TBOV2040 onder 1,5kV mogelijk te maken. Echter wordt ook de kanttekening geplaatst dat er na 2040 verdere investeringen benodigd zijn om groei mogelijk te blijven maken. Wij onderschrijven de aanbeveling uit de doorkijken dat eenzelfde beeld van de restmarge onder 3kV inzichtelijke gemaakt zou moeten worden.

Aansluitend op het voorgaande punt benadrukken wij dat de schattingen gebaseerd zijn op een TBOV2040-dienstregeling uitgaande van een beleidsarm groeiscenario. Indien er beleidsmatig ingezet wordt op een hardere groei van OV-gebruik, dan zouden de benodigde investeringen in het 1,5kV-scenario hoger uit kunnen vallen.

De in de doorkijk benoemde bevinding dat het realiseren van vervoersgroei rondom Schiphol onder 1,5kV zeer kritisch is, met name door de uitdaging qua inpasbaarheid van extra onderstations in de Schipholtunnel, baart ons zorgen. Dit zou ook impact kunnen hebben op de uitvoerbaarheid van de migratie naar 3kV. In het in de MKBA voorgestelde migratiescenario wordt de Schipholtunnel voor 2040 omgeschakeld, waardoor de realisatie van vervoersgroei onder 3kV opgevangen dient te worden.

A.3 Conclusie

Wij concluderen dat de doorkijk naar 2040 in 1,5kV een basaal inzicht geeft in de mogelijke kosten en risico's van het aanhouden van 1,5kV TEV. Echter is het van groot belang te beseffen dat deze doorkijk een ander uitgangspunt hanteert dan de MKBA. Hierdoor is een 1-op-1 vergelijking van investeringskosten niet geheel op zijn plaats.

Met in acht name van het voorgaande zijn wij desalniettemin verbaasd over het verschil in investeringskosten tussen functiewijziging onder 1,5kV en totale migratie naar 3kV en wij kunnen dit met het beschikbare detailniveau niet verklaren.

Op basis van het migratiescenario naar 3kV dat na 2030 begint en tot 2050 zal duren, is het aannemelijk dat in ieder geval een groot deel van de investeringen voor functiehandhaving 1,5kV uitgevoerd moeten worden. Tegelijk constateren wij dat er door de lange doorlooptijd een risico is dat een deel van de functiewijziging al in 1,5kV gerealiseerd moet worden, omdat dit gebieden betreft die pas na 2040 omgeschakeld worden.

Deze conclusie geeft nogmaals de discrepantie in de MKBA weer, waarbij er op basis van een dienstregeling voor 2030 wordt gekeken naar een migratie die daarna uitgevoerd wordt en tot 2050 kan duren. Het is een gegeven dat de dienstregeling 2030 onder 1,5kV gereden wordt, maar ook latere uitbreidingen van de vervoerscapaciteit zullen deels al onder 1,5kV gerealiseerd moeten worden.

Wij bevelen daarom het volgende aan:

- Inventariseer eventuele meerkosten voor het realiseren van de TBOV2040 dienstregeling in 3kV (ten opzichte van het de referentiedienstregeling in de MKBA) en maak deze kosten inzichtelijk. Zo kan er een eerlijkere vergelijking gemaakt worden.
- Koppel de functiewijzigingsinvesteringen geografisch aan de migratiescenario's, zodat inzichtelijk wordt welke FW-investeringen vermeden worden bij migratie naar 3kV, en welke in zekere mate alsnog uitgevoerd moeten worden.
- Onderzoek de restmarge na 2040 voor zowel 3kV en 1,5kV. Dit geeft een beeld van de toekomstvastheid van beide oplossingen. Dit zou ook uitgevoerd kunnen worden in relatie tot bepaalde beleidsopties.

B. Alternatieve TEV op basis van middenspanning gelijkstroom

De bestaande gelijkstroomsystemen zijn sinds 1915 in gebruik. Vandaag de dag zijn er in de EU 9.200 km lijnen met 1,5 kV uitgerust en 38.000 km lijnen met 3 kV.

In landen met 1,5 kV (Frankrijk) of 3 kV (Polen, Italië) TEV systemen, worden deze systemen als niet geschikt gevonden voor spoorlijnen met intensief treinverkeer en/of hogere snelheden. Met mogelijkheden die de introductie van ERTMS biedt, zoekt men naar alternatieven voor TEV systemen om de voordelen van ERTMS beter te kunnen gebruiken.

De beschikbare technologie voor elektronische apparaten met hoog vermogen gebaseerd op transistoren is intussen volwassen genoeg om de inzet van nieuwe, effectievere gelijkstroomnetwerken op middenspanning (MVDC - Medium Voltage Direct Current) met volledige schakel- en beveiligingsautomatisering te onderzoeken en te definiëren, als alternatief voor 25kV 50Hz wisselspanningsnetwerken.

Op 2 juli 2018 heeft SNCF de resultaten van een studie over een 9kV DC TEV bij de UIC Workshop “Energy efficient Infrastructures” [7] gepresenteerd. Dit nieuwe 9 kV DC-elektrificatiesysteem combineert de voordelen van een 3kV DC en een 25kV/50hZ systeem en wordt gepresenteerd als een kans voor de spoorwegsector.

Ook in Polen zijn intussen voorstellen voor een gefaseerde migratie naar 9kV DC TEV uitgewerkt [8].

Bovendien was het 9 kV DC systeem binnen het Shift2Rail programma geanalyseerd als onderdeel van het FUNDRES (Future Unified DC Railway Electrification System) project. De resultaten van het project waren gepresenteerd in een Workshop op 18 januari 2022 [9].

Het doel van het FUNDRES project is een verdere ontwikkeling en analyse van de 9kV DC TEV door een consortium van onderzoekers uit Frankrijk en Italië. Vergeleken met de klassieke AC-netwerken zijn de MVDC-netwerken over het algemeen energiezuiniger en vergemakkelijken ze de onderlinge koppeling van bronnen, opslag en verbruikers. Binnen FUNDRES zijn verschillende scenario’s ontwikkeld en experimenteel op laboratoriumniveau gevalideerd. De digital twin van FUNDRES biedt de mogelijkheid om het gedrag en de effecten van het voorgestelde 9kV DC systeem te voorspellen.

Waarom is het 9kV systeem onderzocht?

- Om de voordelen van de bestaande TEV-systemen te combineren:
  - stroomverdeling tussen onderstations
  - driefasige voeding van het openbare net
  - eenvoudige boordstroomomvormer in materieel
  - lichtere bovenleiding (reductie van het doorsnede-oppervlak tot 70%; een besparing van 20 M€ per 100 km) en geen inductieve spanningsval
- Vermogenselektronica is volwassen genoeg

[7] New Medium Voltage DC railway electrification system, UIC, 2 juli 2018 (Présentation PowerPoint (uic.org))
[8] Prezentacja programu PowerPoint (arp.pl); onderzoeksvoorstel voor Spoor 2023 programme
[9] Presentations for FUNDRES project final webinar on 18 January 2022 - FUNDRES project (fundres-project.eu)

  - bewezen HVDC-omvormers bestaan (tot 800 kV en 3 GW)
  - MV-drivers voor industriële motoren (6-10 kV) zijn breed beschikbaar
  - SIC-vermogenshalfgeleiders maken de realisatie van compacte MV-tractieomvormers mogelijk
  - Solid state DC-stroomonderbrekers zijn voor HVDC-netten afgestemd
- Een echte doorbraak voor de toekomst van het spoorvervoer
  - een oplossing voor de landen die nog geen geëlektrificeerde lijnen hebben
  - een oplossing voor de vernieuwing van gelijkstroomlijnen (besparing van materiaal, verhoging van de energie-efficiëntie (met ~6%))
  - eenvoudigere integratie van hernieuwbare energiebronnen en opslagelementen (MVDC smart grid)

De verwachte voordelen voor 9 kV DC zijn:

- Vereenvoudiging van onboard apparatuur voor rollend materieel vergeleken met 25 kV AC
- Minder impact op de omgeving dan 25 kV AC (bijvoorbeeld op gebied van EMC)
- Hogere snelheden dan 250 km/u mogelijk
- Meer capaciteit dan bij 1,5 of 3 KV
- Gemakkelijkere connectiviteit met:
  - hernieuwbare energiebronnen en
  - opslagapparaten
- Minder kosten door:
  - Grotere afstanden tussen bovenleidingmasten mogelijk, vergelijkbaar met die van AC-systemen
  - Grotere afstanden tussen onderstations mogelijk (ca. 60% minder geïnstalleerd vermogen), vergelijkbaar met die van AC-systemen
  - Makkelijker onderhoud
  - Minder energiegebruik (2 GWh besparing per jaar voor een lijn van 100 km (ongeveer 150 k€ per jaar))
  - Eenvoudigere migratie van 1,5 kv of 3 kV naar 9 kV DC dan naar 25 kV AC

Met behulp van Digital Twins zijn de simulaties van 9kV DC TEV op lijnen in Frankrijk en Italië gesimuleerd:

- Bordeaux-Hendaye (SNCF onderzoek)
- Rome-Florence (FUNDRES project)

Naar verwachting zullen de resultaten van de bovenstaande onderzoeken door de industrie en de standaardisatie gremia (CENELEC) worden gebruikt.

Wij bevelen aan om de nationale en internationale ontwikkelingen rondom 9 kV DC TEV goed te volgen. De drie grootste nationale DC TEV spoornetwerken (Frankrijk, Italië en Polen) zijn bezig om de mogelijkheden van MVDC te analyseren en een 9kV-systeem als toekomstige TEV te overwegen.

C. Opties voor bi-courant materieel

Om meerdere spanningen mogelijk te maken zijn er voor bi-courant materieel meerdere opties:

1. Installeer DC-DC omzetters, waarbij de tractie-apparatuur altijd op 1 spanning werkt (doorgaans 1500V). De spanning uit de bovenleiding wordt dan verhoogd of verlaagd wanneer deze anders is dan waar de tractie-apparatuur op gebouwd is. Deze aanpak vereist het plaatsen van een omzetter, meestal in de buurt van de pantograaf.
2. Ontwerp de tractie-keten voor 3kV, waarbij de prestaties onder 1,5kV gereduceerd zijn. In dit geval is het tractie-systeem volledig ontworpen op 3kV, maar functioneert het ook met een input-spanning van 1,5kV. De prestaties zullen dan wel substantieel slechter zijn.
3. Ontwerp een tractie-keten om onder zowel 1,5kV als 3kV maximaal te presteren. Dit is mogelijk, maar resulteert in een toename van de massa van de tractie-apparatuur om de brede spanningsrange te faciliteren.

mottmac.com/netherlands

8. Second opinion Horvat

april 2022

Horvat & Partners

www.horvat.nl

Review investeringskosten materieel MKBA 3kV

Definitief

Horvat & Partners

Horvat & Partners B.V.
Oude Delft 49
2611 BC Delft

Postadres
Postbus 3300
2601 DH Delft

+31 (0)85 750 50 50
info@horvat.nl
www.horvat.nl

Horvat & Partners ondersteunt publieke opdrachtgevers in de infrastructuur met audits, evaluaties en door middel van advies. Dit doen wij altijd vanuit een onafhankelijke rol: wij hebben geen belang bij de uitkomsten van ons werk. Voor ons betekent dit onder andere dat we niet voor opdrachtnemende partijen zoals aannemers werken en alleen medewerkers bij klanten detacheren als we zeker zijn dat dit onze onafhankelijkheid niet aantast.

Dit rapport is opgesteld in opdracht van mevr. Bescherming persoon en dhr. Bescherming persoonlijke van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Review investeringskosten materieel MKBA 3kV

Definitief

ir. Bescherming persoonlijke levenssfeer
ir. Bescherming persoonlijke levenss
ir. Bescherming persoo
ir. Bescherming persoonlijke levenssfee

Voor akkoord: ir. Bescherming persoonlijke levenssfeer

Rapportnummer: 21028-R-001

Delft, april 2022

Inhoudsopgave

1 Inleiding 3

1.1 Aanleiding 3

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen 3

1.3 Aanpak, scope en werkzaamheden 4

1.4 Leeswijzer 5

2 Context MKBA 7

2.1 Opzet MKBA 7

2.2 Opzet migratiestrategie 8

2.3 Investeringskosten materieel 11

3 Bevindingen 14

3.1 MKBA 14

3.2 Migratiestrategie 17

3.3 Investeringskosten materieel 19

4 Conclusie 24

4.1 MKBA 24

4.2 Migratiestrategie 25

4.3 Kosten materieel 25

5 Aanbevelingen 27

5.1 Afweging systeemwijziging 27

5.2 MKBA 27

5.3 Migratiestrategie en kosten materieel 28

Bijlage A Referentielijst 30

A.1 Documentenlijst 30

A.2 Interviews 30

Bijlage B Afkortingen en begrippen 31

Bijlage C Algemene uitgangspunten MKBA 32

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In Europa komen vier verschillende systemen voor tractie energievoorziening (TEV) voor spoorsystemen voor, te weten: 1,5kV en 3kV DC (gelijkspanning) en 15kV en 25kV AC (wisselspanning). In Nederland wordt een 1,5kV DC systeem gehanteerd. Uitzondering daarop is het 25kV AC systeem voor het goederenvervoer op de Betuweroute en op de hogesnelheidstrajecten. Het 1,5kV-systeem loopt in de toekomst bij groei van het aantal treinen mogelijk tegen capaciteitsgrenzen aan. Bij gebruik van een van de andere TEV-systemen kunnen treinen sneller optrekken en mogelijk korter achter elkaar rijden. Dit maakt een capaciteitsvergroting van het spoor mogelijk. Daarnaast is een systeem met hogere spanning energie-efficiënter doordat er bij gelijk gebruik minder energieverlies optreedt en er meer recuperatie van remenergie mogelijk is.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) heeft daarom aan ProRail de opdracht gegeven om in nauwe samenwerking met NS een studietraject te starten om een fundamentele systeemkeuze te maken voor de toekomstige tractie energievoorziening. Het doel van dit studietraject is om te zorgen voor een gedegen en gedragen advies om een beleidsmatige keuze te kunnen laten maken tussen mogelijke alternatieven voor TEV op het Nederlandse spoor. Het 3kV-systeem is op basis van een multi-criteria analyse naar voren gekomen als meest kansrijke alternatief voor het huidige 1,5kV-systeem.[20] Daarop is voor het scenario van migratie naar een 3kV-systeem een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) opgesteld.

I&W heeft behoefte aan meer inzicht in de betrouwbaarheid van de MKBA en laat daarom verschillende reviews uitvoeren op de drie onderdelen van de MKBA die het meest bepalend blijken voor de uitkomst:

1. rijtijdwinst/materieelprestaties;
2. investeringen in het materieel;
3. de levensduur van de infrastructuur.

I&W heeft Horvat & Partners gevraagd om de geraamde kosten van de investeringen in het materieel te toetsen. Mott MacDonald is gevraagd een review uit te voeren op de andere twee onderdelen. Dit rapport beschrijft de resultaten van de review op de investeringskosten in het materieel.

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

De doelstelling van de review is om aanvullend inzicht te verkrijgen in de betrouwbaarheid van de geraamde investeringskosten in materieel benodigd bij migratie naar een 3kV-systeem. Dit inzicht in nodig voor de politiek-bestuurlijke besluitvorming over de systeemkeuze voor TEV.

We vertalen deze doelstelling in de volgende onderzoeksvragen:

1. Geeft de MKBA globaal genomen voldoende houvast voor de politiek-bestuurlijke besluitvorming over de systeemkeuze voor een 3kV-systeem?

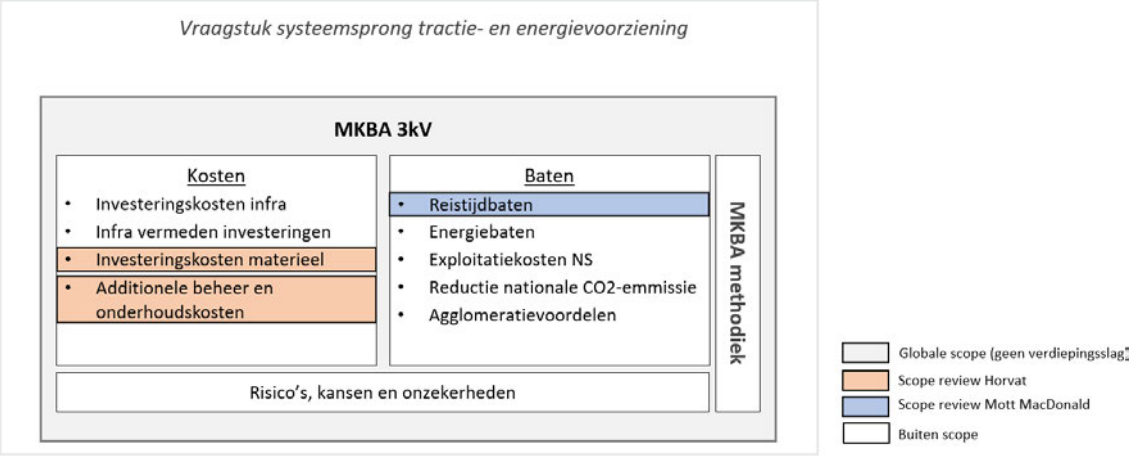
2. Welke implementatiestrategie (aanpak, startmoment, doorlooptijd) is gekozen voor het vervangen en/of ombouwen van materieel bij migratie naar een 3kV TEV-systeem? Is

het aannemelijk dat de gekozen migratiestrategie als uitgangspunt voor de MKBA resulteert in een effectieve en efficiënte overstap op 3kV?

3. Zijn de geraamde investeringskosten voor het materieel gegeven dit scenario betrouwbaar en volledig gezien de fase van het onderzoek[1]?
   a. Is de raming compleet; ontbreken er geen delen van de scope die redelijkerwijs opgenomen en begroot hadden kunnen worden?
   b. Is de raming betrouwbaar wat betreft de gebruikte hoeveelheden, prijzen en percentages (zoals nader te detailleren, engineering) en passend (ook qua bandbreedte) gezien de fase van het onderzoek?
   c. Is voor de risico's een realistische, redelijke en onderbouwde reservering opgenomen, passend bij de fase en complexiteit van het project?

1.3 Aanpak, scope en werkzaamheden

Onze review richt zich op de investeringskosten van het materieel zoals geraamd in de MKBA. Deze omvatten de materieelkosten (verwerving of ombouw) van NS, de regiovervoerders en de goederenvervoerders. Onze review is een second opinion, wat betekent dat we de kosten in de MKBA beoordelen die reeds zijn geraamd. Figuur 1 bevat een overzicht van de scope van onze review. In deze figuur hebben we ook aangegeven welke onderdelen scope zijn van het onderzoek door Mott MacDonald.



Figuur 1: Overzicht scope van onze review.

Wij beoordelen MKBA versie 1.0 waarvan de finale versie in oktober 2021 beschikbaar is gekomen. Deze kent een negatieve netto contante waarde van € 363 mln. en € 576 mln. voor respectievelijk het WLO hoog en WLO laag scenario. De kosten in de MKBA zijn gebaseerd op de investeringskosten voor het materieel uit de BuCa NS. We beoordelen de kosten voor zover ze in de MKBA zijn opgenomen. De exacte aansluiting van de BuCa op de MKBA valt buiten de scope van dit onderzoek. We hebben ook niet de benodigde informatie ontvangen om dit te kunnen onderzoeken.

Gelijktijdig met de uitvoering van deze review wordt de MKBA doorontwikkeld tot versie v1.1. Waar we uitgaan van uitgangspunten van MKBA versie 1.1, benoemen wij dit expliciet in dit rapport.

[1] De fase van het onderzoek bevindt zich (in termen van de MIRT-systematiek) vóór de verkenningsfase. We zullen de kostenraming in de MKBA als zodanig beoordelen.

Wij hebben de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

1. Intake: overleg waarin we met vertegenwoordigers van I&W, ProRail en NS de aanpak, scope, benodigde documenten en planning hebben vastgesteld (25 januari 2022). Mott MacDonald was ook aanwezig bij deze intake om de scope van de verschillende reviews op elkaar af te kunnen stemmen.

2. Documentenanalyse: het analyseren van de ontvangen documenten. Zie de documentenlijst in Bijlage A.

3. Interne werksessies: het voorbereiden van de externe interviews en/of werksessies en analyseren van de uitkomsten om tot bevindingen te komen met ons team.

4. Interviews met de volgende rolhouders binnen het migratietraject:
   a. NS netwerkstrateeg (Bescherming persoonlijke lev), ProRail energievoorziening/netbeheer (Bescherming per) en adviseur DNV namens ProRail (Bescherming persoonlijke lev) op 14 februari 2022 over de gekozen migratiestrategie voor het ombouwen en/of vervangen van het materieel.
   b. NS netwerkstrateeg (Bescherming persoonlijke lev) en RHDHV econoom (Bescherming persoonlijke levenssfeer) op 16 februari 2022, en ProRail energievoorziening specialist (Bescherming persoonlijke levenssfeer) op 28 februari 2022 over de opzet en belangrijkste uitgangspunten van de MKBA.
   c. NS business controller (Bescherming persoonlijke levenssfe) en NS Techniek specialist (Bescherming persoonlijke levenssfeer) op 21 februari 2022 over de opzet en uitgangspunten van de BuCa NS voor de kosten van het materieel.
   d. NS ass. technisch projectmanager SNG (Bescherming persoonlijke levenssfeer) en NS projectmanager Bescherming persoonlijke levenssfeer) op 23 februari 2022 over de opbouw van de ombouwkosten van de SNG-treinserie.

5. Gesprekken met een aantal leveranciers om een aantal specifieke kostenschattingen en bevindingen te toetsen.

6. Opstellen concept rapport: het opstellen van een concept rapport met daarin de voorlopige bevindingen, conclusies en aanbevelingen volgend uit de analyse.

De volgende werkzaamheden zullen wij nog uitvoeren:

7. Bespreken concept rapport: overleg waarin we het concept rapport bespreken met de opdrachtgever vanuit I&W, ProRail en NS. Mott MacDonald zal hier ook bij aanwezig zijn.

8. Opstellen definitief rapport: het verwerken van het ontvangen commentaar in een definitieve rapportage.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is opgesteld voor een lezerspubliek dat betrokken is bij het migratietraject 3kV en gaat ervan uit dat de lezer een zekere basiskennis heeft van dit traject inclusief de MKBA en BuCa NS.

Het vervolg van dit rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 van dit rapport bevat een korte beschrijving van de opzet van: i) de MKBA, ii) de migratiestrategie en iii) de investeringskosten van het materieel. Hoofdstuk 3 bevat onze bevindingen ten aanzien van deze drie onderwerpen. Hoofdstuk 4 bevat onze conclusies en Hoofdstuk 5 onze aanbevelingen.

In dit rapport verwijzen we naar documenten middels [nummer] en naar de overleggen middels [V-nummer]. Bijlage A bevat een overzicht van de gerefereerde documenten en overleggen. Bijlage B bevat een overzicht van de in dit rapport gebruikte afkortingen. Bijlage C

bevat een overzicht van de algemene uitgangspunten die zijn gehanteerd bij het opstellen van MKBA versie 1.0.

Waar we in deze notitie kosten vermelden, zijn deze inclusief btw. Wij voeren geen correcties voor het prijspeil door op de bedragen uit ramingen. Voor de betreffende prijspeilen verwijzen wij naar de onderliggende documenten zoals benoemd in de referentielijst.

2 Context MKBA

In dit hoofdstuk beschrijven we op hoofdlijnen de opzet en uitgangspunten van de MKBA (Paragraaf 2.1) en de migratiestrategie (Paragraaf 2.2). Vervolgens gaan we in op de investeringskosten voor het materieel op basis van de BuCa NS (Paragraaf 2.3) waar de kosten materieel in de MKBA op zijn gebaseerd.

2.1 Opzet MKBA

De maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) is onderdeel van een onderzoekstraject van ProRail en NS i.o.v. I&W. Deze MKBA bevindt zich in de MIRT-systematiek vóór de verkenningsfase. De analyse is opgesteld om inzicht te verkrijgen in de maatschappelijke kosten en baten bij een migratie van een tractie energievoorziening van 1,5kV gelijkspanning (nulalternatief) naar 3kV gelijkspanning (projectalternatief) en de operationalisering hiervan.[03]

Bijlage C bevat de belangrijkste algemene uitgangspunten die bij het opstellen van de MKBA gehanteerd zijn. De twee voor onze review belangrijkste uitgangspunten zijn dat: i) de MKBA uitgaat van 'besloten beleid' waardoor één van de aannames is dat de dienstregeling ongewijzigd blijft (PHS 6 basis), en ii) de zichtperiode van de MKBA 50 jaar is (2034-2083), gebaseerd op de technische levensduur van de infrastructurele investeringen (MKBA v1.1).[2]

Het projectalternatief 3kV is berekend onder het hoge en lage WLO-scenario. De MKBA resulteert in een negatieve netto contante waarde van respectievelijk € 362 mln. en € 576 mln. in het WLO hoog en WLO laag scenario.

Effecten
De MKBA is opgebouwd uit positieve effecten (baten) en negatieve effecten (kosten). De volgende effecten zijn gemonetariseerd in de MKBA, zie Tabel 1. De vermeden investeringskosten van de infra en de investeringskosten van het materieel van de goederenvervoerders zijn als 'PM'-post opgenomen.

Kosten	Baten
Investeringskosten infrastructuur	Reistijdbaten[3]
• Ombouwkosten onderstations	
• Omschakelkosten onderstations	
• Ombouwkosten NS-werkplaatsen en -onderstations	
Infra vermeden investeringen	Energiebaten
Investeringskosten NS materieel	Exploitatiekosten NS
• Ombouwkosten bestaande treinen	• Personeelsreductie
• Additionele investeringskosten bi-courante treinen	• Compositiereductie
• Additionele moderniseringskosten omgebouwde en bi-courante treinen	
Investeringskosten materieel regiovervoerders	Reductie nationale CO2-emissie
Investeringskosten materieel goederenvervoerders	Agglomeratievoordelen
Additionele beheer- en onderhoudskosten NS materieel	

Tabel 1: Overzicht gemonetariseerde effecten in de MKBA.

[2] Er is een zichtperiode toegepast van 40 jaar in MKBA v1.0 en 50 jaar in MKBA v1.1. We gaan in dit rapport uit van een zichtperiode van 50 jaar.

[3] Er is een inschatting gemaakt van de rijtijdwinsten van de treinseries onder 3kV ten gevolge van een hogere aanzetsnelheid. De rijtijdwinsten zijn gemonetariseerd naar reistijdbaten op basis van de reistijdwaardering uit de WLO-scenario's.

Het MKBA-rapport beschrijft ook een aantal effecten dat niet is gemonetariseerd, zie Tabel 2. Dit betreft zowel positieve als negatieve effecten. Een voorbeeld van een niet-gemonetariseerd effect zijn randvoorwaardelijke investeringen die mogelijk nodig zijn voor de baanstabiliteit. Door het grotere gewicht van bi-courant materieel ten opzichte van mono-courant materieel, wordt het risico op overschrijding van de maximale aslasten vergroot. Binnen ProRail loopt een apart onderzoeksprogramma 'treinbaaninterface' (TBI) om de problematiek van de baanstabiliteit te onderzoeken.[V-001] Dit onderwerp is geen onderdeel van de MKBA.

Positieve effecten	Negatieve effecten
Capaciteitseffecten onder PHS 6 basis	Randvoorwaardelijke investeringen
Veiligheid spoorstaaf aarde spanning	Impact spanningssluizen
Betrouwbaarheidseffecten	Impact inzet deelparken
Congestiereductie (netbeheer)	Impact energiezuinig rijden
Verbetering voor systeem bovenleiding	Materieelinvestering goederenvervoerders (PM)
Vermeden investeringen (PM)	

Tabel 2: Overzicht niet-gemonetariseerde effecten in de MKBA.

Gevoeligheidsanalyses
In de MKBA zijn zeven gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze analyses zijn bedoeld om inzicht te krijgen in de meest relevante onzekerheden van de MKBA zodat deze verder kunnen worden onderzocht en uitgewerkt in de volgende versie van de MKBA (v1.1). De gevoeligheidsanalyses laten zien dat het MKBA-saldo het meest gevoelig is voor aannames met betrekking tot rijtijdwinsten (materieelprestaties), investeringskosten in het materieel en de verwachte levensduur van de infrastructuur.[03]

Doorontwikkeling MKBA
Tijdens de uitvoering van deze review wordt de MKBA doorontwikkeld tot een v1.1. De belangrijkste verschillen tussen MKBA v1.0 en v1.1 zijn [04]:

- Het verlengen van de zichtperiode van 40 naar 50 jaar. De aanleg van de infra duurt ongeveer 20 jaar. MKBA v1.0 gaat uit van een zichtperiode van 40 jaar die start bij start aanleg infra. MKBA v1.1 gaat uit van een zichtperiode van 50 jaar. Deze start halverwege de aanleg (dus 10 jaar) plus 40 jaar levensduur. Dit heeft een positieve impact op het resultaat van de MKBA.
- Het deels meenemen van vermeden investeringen in de 1,5kV TEV infrastructuur op basis van levensduurverlenging en voorbereid bouwen. Dit heeft een positieve impact op het resultaat van de MKBA.
- Het verlagen van de opslag op de onderhoudskosten van het NS materieel van 5% naar 4%. Dit heeft een positieve impact op het resultaat van de MKBA.
- Geen additionele investeringskosten voor bi-courant materieel na 2049. Alleen meerprijs voor mono-courant 3kV materieel ter hoogte van 1/3^{e} van de meerprijs voor een bi-courante trein (voor het hoger vermogen). Dit heeft een positieve impact op het resultaat van de MKBA.
- Het verwerken van de ombouwkosten van een aantal sprinters 5^{e} generatie dat voor alleen 1,5kV wordt aangeschaft tussen 2028-2031. Dit heeft een negatieve impact op het resultaat van de MKBA.

2.2 Opzet migratiestrategie

De migratie van het TEV van 1,5kV naar 3kV vereist synchronisatie tussen ombouw van materieel, ombouw en omschakelen van infrastructuur, en logistiek. NS en ProRail hebben op basis van workshops met experts een migratiestrategie opgesteld voor het HRN waarbij is

aangenomen dat de regionale en goederenspoorlijnen in te passen zijn in deze strategie. Hierbij zijn twee uitersten en een tussenscenario bekeken. De strategieën zijn [03,05]:

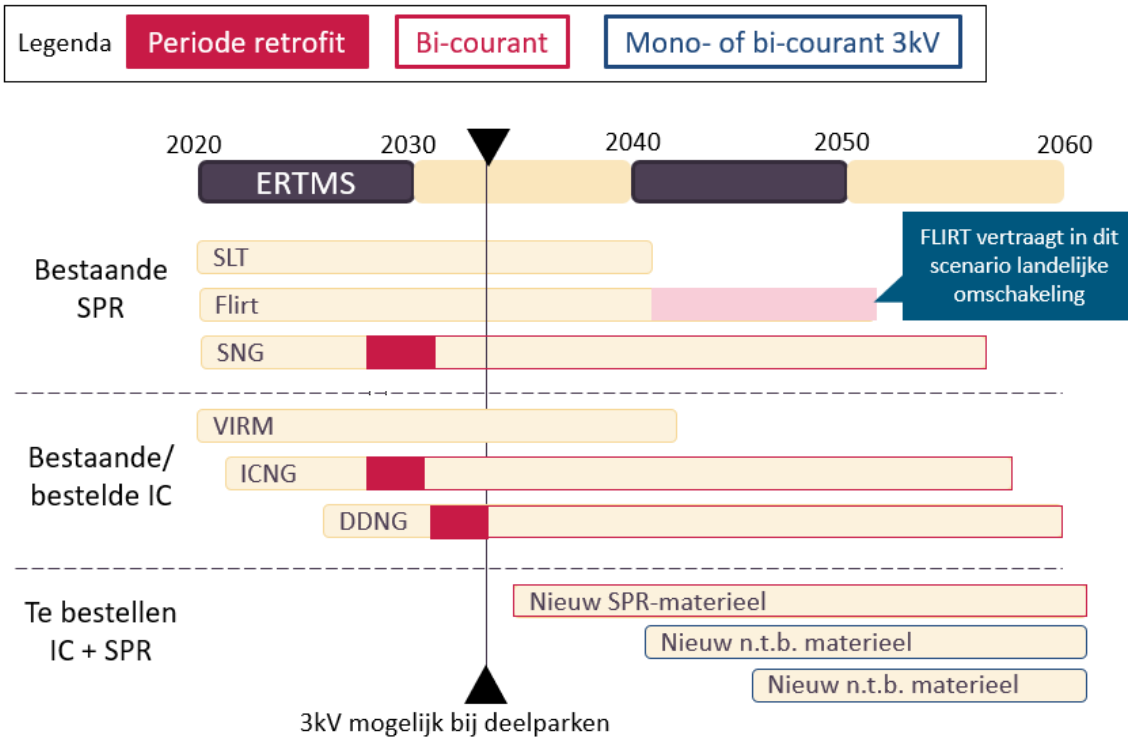
- Scenario 1 gaat uit van zo snel mogelijk migreren naar 3kV. Conclusie is dat dit scenario niet aantrekkelijk is, omdat de SLT en VIRM circa 6 jaar voor het einde van de levensduur zijn omgebouwd. Het technische risicoprofiel van retrofit is bij deze series hoger dan bij nieuwere materieelseries.
- Scenario 2a gaat ervan uit dat er geen retrofit wordt uitgevoerd van bestaand materieel. Conclusie is dat dit scenario niet aantrekkelijk is, omdat er 1,5kV-baanvakken blijven tot op zijn vroegst medio 2050 en mono-courant 3kV-materieel daarna kan instromen (vanwege levensduur SNG).
- Scenario 2b is opgebouwd door een balans te vinden tussen een snelle omschakeling en ombouw/retrofit van het bestaande materieel. In dit scenario worden ICNG, SNG, DDNG en FLIRT[4] omgebouwd. Dit 'tussenscenario' 2b, dat een balans vindt tussen de twee uiterste scenario's, komt naar voren als meest aantrekkelijke strategie. Alleen dit scenario 2b is doorgerekend voor de MKBA.

Scenario 2b

Figuur 2 beschrijft dit scenario. Migratie vindt plaats 'via materieel': eerst wordt het materieel geschikt gemaakt voor zowel 1,5kV als 3kV (bi-courant materieel) en daarna wordt de infrastructuur stapsgewijs omgeschakeld naar 3kV. Het scenario 2b is in drie stappen tot stand gekomen:

- In stap 1 is gekeken naar de fasering van de ombouw van het materieel. Onderzocht is welke materieelseries gezien hun leeftijd nog zinvol omgebouwd kunnen worden naar bi-courant en hoe oudere niet-omgebouwde series zo lang mogelijk in dienst gehouden kunnen worden.
- In stap 2 is de logistiek beschouwd en is gekeken naar welke omlopen met welk materieel gereden kunnen worden. Onder andere op basis hiervan zijn tijdelijke deelnetten bepaald.
- In stap 3 is gefocust op de maakbaarheid van de omschakeling van de infrastructuur, gegeven de beelden vanuit het materieel en de logistiek.

[4] In MKBA v1.0 stond de FLIRT beschreven als openstaande vraag, maar een nadere analyse liet zien dat het ombouwen voor de 10 jaar restlevensduur beter rendeert dan het vervroegd afschrijven en vervangen van de vloot.

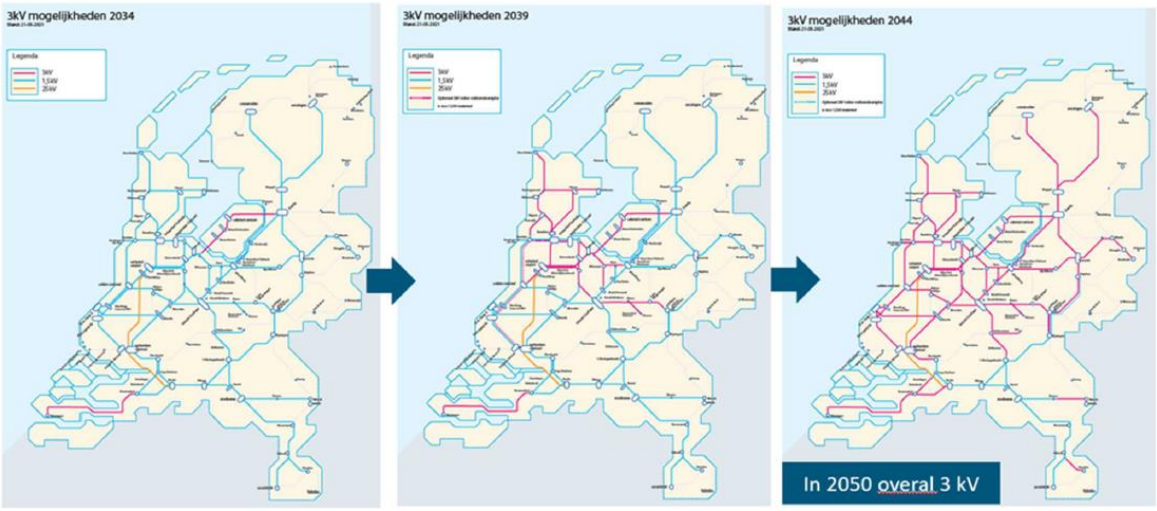


Figuur 2: Overzicht van scenario 2b. [05]

Deelnetten bij scenario 2b
Deelnetten zijn noodzakelijk om binnen redelijke termijn de omschakeling naar 3kV te maken. Heel Nederland tegelijkertijd omschakelen is aan infrazijde niet mogelijk. Dit resulteert in te hoge risico's en te veel hinder door de benodigde buitendienststelling. Ook zou omschakelen dan pas laat beginnen omdat al het materieel eerst geschikt moet zijn voor 3kV. Voorgesteld wordt een omschakeling in vier fasen tussen 2034 en 2054, zie Figuur 3 met een overzicht van de deelnetten.

In 2034 wordt in scenario 2b begonnen met het omschakelen van de Zeeuwse lijn en de Hanzelijn. NS zal twee materieelsoorten (SNG en ICNG) op deze lijnen inzetten. Vanaf 2039 worden de volgende lijnen omgeschakeld, waarbij Oost Nederland nog op 1,5kV blijft rijden met de series SLT en VIRM. Vanaf 2044 wordt ook dit gebied omgeschakeld, met uitzondering van het gebied ten zuidoosten van de lijn Nijmegen-Den Bosch-Breda zodat de FLIRT-serie daar kan blijven rijden tot uitfasering. Vanaf 2050 kan heel Nederland omgeschakeld zijn.

De deelnetten moeten van elkaar gescheiden worden door spanningssluizen, die transitie tussen 1,5kV- en 3kV-deelnetten mogelijk maken. Deze spanningssluizen blijven technisch gezien relatief eenvoudig (DC-DC TEV overgang) en zijn niet te vergelijken met de honderden meters lange en technisch complexe sluizen rond de HSL (DC-AC TEV overgang).



Figuur 3: Overzicht migratie in deelnetten vanaf 2034, 2039 en 2044. Vanaf 2050 is heel Nederland omgeschakeld naar 3kV.[03]

Impact op MKBA
Omdat migratie gefaseerd plaatsvindt, worden twee type ingroeipercentages toegepast op bepaalde kosten en baten in de MKBA [03]:

- Ingroeipercentage 1 voor het geleidelijk migreren naar 3kV infra; de spreiding van de kosten voor infrastructuur en de ingroei van de energiebaten volgens ingroeipercentage 1.
- Ingroeipercentage 2 voor de correctie van de aanname dat een aantal omgebouwde treinseries geen rijtijdwinst genereren onder 3kV. De reistijdbaten kunnen geïncasseerd worden indien materieel rondrijdt dat onder 3kV beter presteert (ICNG en nog te bestellen series). SNG en DDNG genereren geen rijtijdwinsten omdat het beschikbare vermogen daartoe niet toereikend is. Het zou bij deze voertuigconcepten disproportioneel veel investeringen vergen om de tractievermogens te verhogen. De ingroei van de reistijdbaten, compositiebaten en personeelsbaten volgen ingroeipercentage 2.

2.3 Investeringskosten materieel

In de MKBA is onderscheid gemaakt tussen kosten van NS, regiovervoerders en goederenvervoerders. In de volgende paragrafen lichten we deze kosten toe.

2.3.1 NS

NS heeft een business case (BuCa) opgesteld om de kosten en baten van migratie van het materieel naar 3kV inzichtelijk te maken. In de BuCa wordt onderscheid gemaakt in de volgende investeringskosten met betrekking tot het materieel:

- ombouwkosten bestaand materieel;
- additionele investeringskosten nieuw materieel;
- onttrekkingskosten;
- additionele moderniseringskosten;
- additionele onderhoudskosten.

Voor het aantal treinen is uitgegaan van het NS Materieel Park Plan (MPP) dat inzicht geeft in de materieelbehoefte van de komende tien jaar. Er is uitgegaan van één-op-één vervanging van het materieel op bakniveau. Gedurende de migratieperiode is aangenomen dat iedere bak die uitstroomt, wordt vervangen door bi-courant materieel. Vanaf 2049 is dan het volledige 1,5kV materieel uitgestroomd en wordt gerekend met mono-courant 3kV materieel.

We lichten in de volgende paragrafen op hoofdlijnen toe hoe de inschattingen van de NS kosten tot stand zijn gekomen en wat de belangrijkste uitgangspunten zijn.

Ombouwkosten bestaand materieel
De ombouwkosten van het materieel zijn per treinserie inzichtelijk gemaakt en zijn gebaseerd op een combinatie van prijsindicaties van leveranciers en eigen inschattingen ("expert judgement") van NS. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen eenmalige kosten (voor een hele serie) en kosten per treinstel. De eenmalige kosten betreffen de kosten voor engineering, testen en toelating. Voor deze activiteiten wordt een doorlooptijd aangehouden van 2,5 jaar.

Tabel 3 geeft een overzicht hoe deze kosten tot stand zijn gekomen per treinserie. Voor internationaal materieel is aangenomen dat deze treinen voor inzet in omringende landen al beschikken over een 3kV-installatie en de ombouw daarom beperkt is tot een software update.

Treinserie (fabrikant)	Type onderbouwing
SNG (CAF)	Inschatting NS, gebaseerd op technische (geen commerciële) documentatie CAF
FLIRT (Stadler)	Gemiddelde van SNG en ICNG
FLIRT TAG (Stadler)	Gemiddelde van SNG en ICNG (en 50% voor eenmalige kosten)
ICNG (Alstom)	Prijsindicatie van Alstom
DDNG (NTB, in aanbesteding)	Inschatting NS, gebaseerd op prijsindicatie van consortium Siemens/Bombardier voor SLT en gegevens VIRM 25kV
Internationaal materieel	Inschatting NS

Tabel 3: Overzicht van het type onderbouwing waar de ombouwkosten op zijn gebaseerd.

Additionele investeringskosten nieuw materieel
Er worden additionele investeringskosten gerekend voor de aanschaf van een bi-courante trein ten opzichte van een mono-courante 1,5kV-trein. In versie 1.1 van de MKBA worden ook voor de aanschaf van een mono-courante 3kV-trein ten opzichte van een mono-courante 1,5kV trein additionele investeringskosten gerekend vanwege een hoger tractievermogen. Deze kosten worden gerekend voor geplande nieuwe dubbeldekkers en sprinters (sprinter 5^{e} generatie). Er wordt voor de nieuwe dubbeldekker uitgegaan van € 0,5 mln. additionele kosten voor bi-courant materieel per treinstel en 1/3 van deze kosten voor de additionele kosten voor mono-courant 3kV materieel per treinstel, namelijk circa € 0,2 mln. Omdat de sprinter 5^{e} generatie (4 bakken) een andere samenstelling kent dan de nieuwe dubbeldekker (6 bakken), wordt er voor de sprinter 5^{e} generatie een correctie op deze kosten van de nieuwe dubbeldekker toegepast (2/3 van bedragen voor nieuwe dubbeldekker). Dit resulteert in additionele kosten voor bi-courant materieel en mono-courant materieel van respectievelijk € 0,3 mln. en € 0,1 mln. NS heeft aangegeven dat deze kosten intern NS nog afstemming behoeven.[V-003]

Onttrekkingskosten
Onttrekkingskosten betreffen 'stilstandkosten', zoals afschrijving, kapitaallasten, verzekering en vast onderhoud.[09] De onttrekkingskosten per bak per werkdag verschillen per treinserie en worden vermenigvuldigd met de onttrekkingsduur en gemiddelde treinlengte. Er wordt in de BuCa gerekend met vijf weken onttrekking per treinstel, gebaseerd op de DDNG, namelijk drie weken voor de ombouw, één week voor statische testen en één week voor dynamische testen.[11]

Additionele moderniseringskosten
Als een trein halverwege zijn levensduur is, is een volledige modernisering gebruikelijk. De moderniseringskosten worden daarom halverwege de levensduur (na 18 à 19 jaar) gemaakt. Aangenomen wordt dat het ombouwen van materieel of verwerven van duurder materieel

ook leidt tot hogere moderniseringskosten. De additionele moderniseringskosten zijn gebaseerd op een algemene rekenregel dat moderniseringskosten 50% van de investeringskosten bedragen. Deze rekenregel wordt ook toegepast op de investeringen voor ombouw of meerkosten voor aanschaf van duurder materieel. Het percentage is voor de verschillende treinseries wel gecorrigeerd naar rato van het aantal jaren inzet onder 3kV. De gekozen percentages zijn voor SNG 12,5%, voor ICNG en DDNG 25%, en voor nieuw materieel 50%. Als het materieel minder dan 7 jaar meegaat, worden geen additionele moderniseringskosten meegenomen. Daarom zijn voor FLIRT en internationaal materieel geen additionele moderniseringskosten berekend.

Additionele onderhoudskosten
NS gaat uit van 5% van de investeringskosten per jaar voor de additionele onderhoudskosten. NS heeft hiervoor onderzocht wat de totale jaarlijkse onderhoudskosten zijn en heeft deze vergeleken met de investeringswaarde. Dit is gedaan voor FLIRT, ICM, SLT en VIRM. In MKBA v1.1 is dit teruggebracht naar 4% nadat de analyse specifiek was beperkt tot het tractiesysteem.

2.3.2 Regiovervoerders

Er zijn in het verleden verschillende stakeholdersessies geweest met regiovervoerders. Voor de MKBA versie in 2014 is een inschatting van de kosten namens de regiovervoerders aangeleverd door Veolia.[V-005] Dit bedrag voor de investeringskosten van het materieel voor de regiovervoerders is in MKBA v1.0 gecorrigeerd voor het prijspeil en bedraagt circa € 40 mln.[03] Dit bedrag is niet nader onderbouwd.

Er zijn geen onderhoudskosten, moderniseringskosten en onttrekkingskosten opgevoerd door de regiovervoerders.

2.3.3 Goederenvervoerders

De investeringskosten voor het materieel van goederenvervoerders zijn opgenomen als 'PM-post' en zijn daarmee geen onderdeel van de MKBA.

De baten van de goederensector blijven buiten beschouwing. Aangenomen is dat de goederentreinen dezelfde aanzet houden onder 3kV, omdat: i) goederentreinen relatief weinig halteringen maken en daarom minder winst behalen van 3kV, en ii) goederentreinen onder 3kV met twee locs gaan rijden in plaats van één (zowel voor aanzettijd als voor hogere snelheid vasthouden).[V-002] Het MKBA-rapport stelt dat de baten wel significant kunnen zijn, omdat rijtijdwinst voor goederentreinen kan leiden tot minder hinder voor een achter komende reizigerstrein en zwaardere treinen beter in hun pad blijven en daarom kunnen worden ingelegd in 95 km/u-paden in plaats van 85 km/u.[03]

Net als voor de regiovervoerders, zijn er geen additionele onderhoudskosten of andere bijkomende kosten opgenomen voor de goederenvervoerders.

3 Bevindingen

Dit hoofdstuk bevat onze bevindingen van onze review. We hebben de bevindingen verdeeld in drie onderwerpen waar we in de volgende paragrafen op ingaan: i) MKBA, ii) migratiestrategie en iii) investeringskosten materieel.

3.1 MKBA

Onze bevindingen ten aanzien van de MKBA hebben betrekking op de: i) uitgangspunten, ii) compleetheid en iii) bandbreedte van de MKBA.

Uitgangpunten MKBA

1. Door uit te gaan van een gelijkblijvende dienstregeling wordt niet duidelijk of het scenario 1,5kV de verwachte capaciteitsgroei adequaat kan faciliteren. Daarnaast onderschat de MKBA mogelijk de reistijdbaten voor het scenario migratie naar 3kV.
   a. We zien drie mogelijke redenen voor migratie naar 3kV: i) baten die de kosten overstijgen, ii) een technische noodzaak vanwege veroudering van het huidige systeem of iii) een technische noodzaak als 3kV voorwaardelijk blijkt voor verdere capaciteitsgroei. Op basis van de gehouden interviews zien we de eerste en derde reden als mogelijke redenen.
   b. De MKBA gaat uit van 'besloten beleid'. Aangezien er geen besluiten zijn genomen over dienstregelingen na 2030, is aangenomen dat de dienstregeling gelijk blijft (PHS 6 basis).
   c. Bij migratie naar 3kV wordt reistijdwinst geboekt. Voor de berekening van deze reistijdwinst wordt wel gerekend met reizigersgroei. Deze reizigersgroei is gebaseerd op de IMA-prognoses. Het aantal treinreizigers groeit tussen 2030 en 2050 conform het hoge en lage WLO-scenario. Dit betekent dat vanaf 2050 geen groei van reizigers wordt meegenomen. We verwachten dat dit een onderschatting van de baten van migratie naar 3kV is.
   d. Daarnaast staat niet vast dat met 1,5kV daadwerkelijk de reizigersgroei kan worden opgevangen binnen de capaciteit die de gelijkblijvende dienstregeling biedt. Om een goede afweging te maken voor de systeemkeuze van tractie- en energievoorziening, achten wij het noodzakelijk om zowel voor de 1,5kV als de 3kV situatie te beoordelen of daarmee de gewenste capaciteitsgroei kan worden gerealiseerd.

2. De zichtperiode van de MKBA is korter dan gebruikelijk bij een MIRT MKBA. De richtlijnen voor MKBA's schrijven een oneindige zichtperiode voor en vertalen dat in de praktijk naar een zichtperiode van 100 jaar (omdat door toepassing van een discontofactor kosten en baten die verder in de toekomst liggen, nauwelijks meewegen).[01,02] Voor de MKBA 3kV is een kortere zichtperiode van 50 jaar[5] gehanteerd om aan te sluiten op de levensduur van nieuwe onderstations. Wij zien geen aanleiding voor het afwijken van de richtlijnen op dit punt. De kortere zichtperiode leidt tot een te ongunstige uitkomst van de MKBA 3kV.
   a. De MKBA v1.1 hanteert een zichtperiode van 50 jaar die met name is gebaseerd op de levensduur van onderstations. Bij deze aanname kan na 50 jaar besloten worden om over te stappen naar een ander systeem. Hiermee wordt beoogd de beslisonzekerheid voor de periode na 50 jaar buiten de MBKA te houden.
      i. De levensduur van de cruciale onderdelen van de TEV, zoals de onderstations, bedraagt ongeveer 40 jaar.

[5] Er is een zichtperiode toegepast van 40 jaar in MKBA v1.0 en 50 jaar in MKBA v1.1.

ii. De aanleg van de infra duurt ongeveer 20 jaar. MKBA v1.0 ging uit van een zichtperiode van 40 jaar die start bij start aanleg infra. MKBA v1.1 gaat uit van een zichtperiode van 50 jaar. Deze start halverwege de aanleg (dus 10 jaar) plus 40 jaar levensduur

b. De lengte van de zichtperiode is van grote invloed op het resultaat van de MKBA. Het verlengen van de zichtperiode vergroot de baten van het scenario migratie naar 3kV omdat de baten langer doorlopen.

i. In de MKBA worden baten na 2083 niet meegenomen, terwijl deze in het decennium erna nog impact hebben op het resultaat van de MKBA.

ii. Bij een langere zichtperiode worden de baten over een langere periode meegenomen (in de periode 2083 en verder) en valt het resultaat van de MKBA voor migratie naar 3kV positiever uit.

c. Wij zouden een levensduur van 100 jaar verwachten en zien geen adequate onderbouwing om daarvan af te wijken.

i. Er geldt in het algemeen voor MKBA's dat de onzekerheid toeneemt na een aantal decennia. De leidraad [01, 02] schijft voor om in dat geval de uitgangspunten constant te houden. Het beëindigen van de zichtperiode in 2073 of 2083 in de MKBA 3kV is niet in lijn met deze richtlijnen. Vergelijkbare MKBA's van grote infraprojecten gaan uit van een zichtperiode van 100 jaar.

ii. We verwachten dat de kosten van het vervangen van de onderstations niet doorslaggevend zijn in vergelijking met de andere aanpassingen aan infra en materieel die benodigd zijn voor een migratie naar een nieuw systeem. We verwachten dat de kosten voor het vervangen van een 1,5kV-station met een 1,5kV-station ongeveer gelijk zijn als de vervanging van een 3kV-station met een 3kV-station.[V-002] Daarom zien we geen reden om voor de zichtperiode uit te gaan van de levensduur van de onderstations.

3. Er worden verschillende verdisconteringseffecten toegepast bij de MKBA en de BuCa NS om tot de netto contante waarde te komen. Deze werkwijze brengt het risico met zich mee dat een besluit genomen wordt op basis van de MKBA-methodiek en vervolgens de kosten verrekend worden via de BuCa-methodiek, waardoor het resultaat van de MKBA in praktijk anders uitvalt.

a. De BuCa NS en de MKBA hebben andere uitgangpunten en een andere methode gekozen om te bepalen of de baten opwegen tegen de kosten. Beiden hebben dan ook een andere uitkomst voor de netto contante waarde bij dezelfde input.

b. Omdat de reële kasstromen van de BuCa NS de input vormen van de MKBA, levert dit in principe geen problemen op. In de praktijk kunnen wel kleine afrondingsverschillen optreden omdat NS op jaarniveau rekent en in de MKBA wordt uitgegaan van blokken van vijf jaar. Wij hebben het bronbestand van de MKBA niet ontvangen en hebben deze verschillen niet nader kunnen onderzoeken.

c. Wel zien we het risico dat besloten wordt op basis van de MKBA, terwijl de kosten worden verrekend op basis van de BuCa NS. Dit hoeft geen probleem te zijn als alle partijen hier zich van bewust zijn en duidelijke afspraken gemaakt hebben.

Compleetheid MKBA

4. Een aantal grote kostenposten -en baten is geïnventariseerd maar niet gekwantificeerd opgenomen in de MKBA. Dit betreft bijvoorbeeld i) de impact van de hogere aslasten van treinen op baanstabiliteit, ii) (andere) randvoorwaardelijke investeringen om de migratie mogelijk te maken en de baten te incasseren, en iii) vermeden investeringen. Gezien de mogelijk grote impact hiervan op de uitkomst van de MKBA, zouden wij een

kwantificering van deze kosten verwachten, waar nodig op basis van aanvullend onderzoek.

a. De projectorganisatie heeft niet-gemonetariseerde effecten in de MKBA geïnventariseerd en beschreven, maar niet geraamd vanwege de grote onzekerheid hiervan. De effecten zijn daarom geen onderdeel van de uitkomst van de MKBA.

b. De volgende niet-gemonetariseerde effecten kunnen een belangrijk negatief effect hebben op de uitkomst van de MKBA.

   i. De migratie naar 3kV vraagt de inzet van zwaarder materieel wat leidt tot hogere aslasten. Indien deze aslasten de draagkrachtgrenzen overschrijden, zal dit tot kosten leiden om de baan aan te passen. Bij landelijke impact kunnen deze kosten kunnen snel oplopen in de honderden miljoenen en daarnaast heeft dit een grote operationele impact. Mogelijk zijn er naast baanlichamen nog andere randvoorwaardelijke investeringen nodig om de geraamde baten te kunnen incasseren.

   ii. Bij de energiebaten is uitgegaan van recuperatie van remenergie. De baten hiervan kunnen in de praktijk lager uitvallen doordat beleid steeds meer gericht is op energiezuinig rijden (onder andere meer "uitrollen") waardoor zowel het energieverbruik als de te behalen energiewinst bij 3kV lager uit kan vallen.

   iii. Ook is er tijdens de migratie minder recuperatie mogelijk door de benodigde spanningssluizen in het netwerk, waarbij treinen tijdelijk geen tractie hebben. De mate van impact is onbekend en daarom niet meegenomen in de MKBA. De spanningssluizen hebben ook impact op: i) de betrouwbaarheid van de dienstregeling, omdat treinen er in kunnen stranden, en ii) de onderhoudskosten, omdat spanningssluizen leiden tot extra slijtage door het op- en afnemen van de pantograaf.

c. De volgende niet-gemonetariseerde effecten kunnen een belangrijk positief effect hebben op de uitkomst van de MKBA:

   i. De baten bij een capaciteitsvergroting zijn niet meegenomen (zie punt 1).

   ii. Vermeden investeringen die wel onderdeel zijn van het nulalternatief, maar niet van het projectalternatief, zijn niet in beeld gebracht.

d. Wij stellen dat het uitsluiten van deze effecten in de MKBA geen gepaste oplossing is en niet aansluit op de leidraad. Om tot een goede onderbouwing te komen van de MKBA, verwachten we dat alle kosten worden geraamd en de onzekerheid wordt vertaald in een bandbreedte op de raming. Een grote onzekerheid laat zien dat aanvullend onderzoek nodig is om tot betrouwbaardere beslisinformatie te komen. Zie ook bevinding 7 met betrekking tot de bandbreedte.3.17

5. De MKBA bevat geen risicoreservering voor het optreden van voorziene en onvoorziene ongewenste gebeurtenissen bij de migratie naar een 3kV-systeem op programmaniveau. Daarnaast bevat slechts een deel van de onderliggende deelramingen een risicoreservering. Bovendien is het effect van risico's op de baten in de MKBA niet meegenomen. Dat leidt tot een onderschatting van de kosten, overschatting van de baten en daarmee een te gunstige weergave van de uitkomst van de MKBA 3kV. Gezien de huidige fase en complexiteit van het project, zouden wij een risicoreservering verwachten van 30-50%.

   a. Op "programmaniveau" zijn risico's en onvoorzien niet expliciet meegenomen in de MKBA. We zouden hier risico's verwachten met betrekking tot de migratie of op het raakvlak van infrastructuur en materieel. We denken hierbij aan vertraging in de ombouw van de onderstations met gevolgen voor de inzet van het materieel.

   b. In de deelramingen van het materieel is niet altijd duidelijk of en welke risicoreserveringen zijn meegenomen. Zover wij hebben kunnen inzien, is er alleen een beperkte opslag van risico en onvoorzien meegenomen voor de SNG-serie. Dit betreft een risicoreservering voor de technische risico's binnen de scope van de

werkzaamheden voor de ombouw van de SNG (en dus niet op overkoepelend niveau). Zie ook punt 14.

c. Als het 3kV-vraagstuk naar de MIRT-verkenningsfase gaat, zal er expliciet gekeken worden naar risico's en onvoorzien. Voor projecten in de verkenningsfase wordt doorgaans gerekend met circa 30% onvoorzien. Gezien de huidige fase waarin de MKBA 3kV zit en de mate waarin de migratie is uitgewerkt zouden we in totaal circa 30 tot 50% onvoorzien verwachten.

6. Aanpassingen aan werktreinen zijn niet geïdentificeerd en gekwantificeerd in de MKBA. We zouden verwachten dat deze kosten op basis van een grove inschatting worden meegenomen. Het ontbreken van deze kostenposten leidt tot een te gunstige weergave van de uitkomst van de MKBA 3kV.
   a. De benodigde aanpassingen van werktreinen zijn niet geïdentificeerd of benoemd onder niet-gemonetariseerde effecten in het MKBA-rapport. Dit betreft een klein aantal treinen, zoals slijptreinen, meettreinen en machines, waarvan engineerskosten per stuk gerekend dienen te worden. Op basis van de stukken constateren dat we dat deze kosten niet in de MKBA zijn meegenomen.
   b. De omvang van deze kosten is beperkt in verhouding tot de reeds geraamde kosten. Een gedetailleerde raming van deze kosten achten wij daarom in deze fase niet nodig. Wel zouden we verwachten dat bovengenoemde posten opgenomen zijn in de MKBA met een grove inschatting.

Bandbreedte MKBA

7. De projectorganisatie heeft de bandbreedte op de raming niet expliciet gekwantificeerd. Wij schatten de onzekerheid op dit moment nog te groot om een gedegen keuze te kunnen maken voor het tractie- en energievoorzieningssysteem.
   a. De projectorganisatie heeft de bandbreedte op de raming niet expliciet gekwantificeerd. Wel zijn enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op basis van onder- en bovengrenzen van enkele posten. Het is nog niet mogelijk om op basis daarvan een bandbreedte af te leiden, omdat de onder- en bovengrenzen van de bandbreedtes in de gevoeligheidsanalyses niet onderbouwd zijn en geen relatie lijken te hebben met het risicoprofiel. Verder geldt dat: i) er geen kansen zijn gekoppeld aan deze onder- en bovengrenzen, ii) er geen combinaties van onzekerheden zijn gesimuleerd, en iii) nog niet alle relevante onzekerheden hierin zijn meegenomen.
   b. De bandbreedte zoals die uit bovenstaande bevindingen naar voren komt, is groter dan de betrouwbaarheidsintervallen die normaliter worden gebruikt in MIRT-trajecten om systeemkeuzes te maken.
   c. Wij achten de bandbreedte verder uitwerken nodig om tot voldoende betrouwbare beslisinformatie te komen om een onderbouwde beslissing te kunnen nemen over de systeemkeuze voor de tractie- en energievoorziening.

3.2 Migratiestrategie

Onze bevindingen ten aanzien van de migratiestrategie hebben betrekking op: i) de relatie met de MKBA en ii) de uitgangspunten van de migratiestrategie.

Relatie migratiestrategie en MKBA

8. De gekozen migratiestrategie volgt logisch uit de gehanteerde uitgangspunten. Echter, bepaalde risico's zijn niet (gekwantificeerd) meegenomen in de keuze voor deze strategie. Mogelijk wijzigt de optimale migratiestrategie als uitgangspunten in de MKBA anders

worden gekozen of risico's worden meegewogen, bijvoorbeeld ten aanzien van de incasseerbaarheid van de rijtijdwinsten.

a. De MKBA is onder andere gebaseerd op uitgangspunten ten aanzien van de incasseerbaarheid van rijtijdwinst en een zichtperiode waarover het resultaat van de MKBA wordt berekend.

b. Gegeven deze uitgangspunten komt scenario 2b naar voren als meest aantrekkelijke migratiestrategie. Dit scenario vormt de balans tussen een snelle omschakeling en kosten voor ombouw van het bestaande materieel.

c. Er is echter nog geen risicodossier opgebouwd waarin kansen en gevolgen zijn geïnventariseerd en gekwantificeerd. We verwachten dat bepaalde risico's gevolgen hebben voor de optimale migratiestrategie. Denk aan risico's als: i) de baten zijn in de praktijk lager dan verwacht, ii) de baten komen in de praktijk later tot uiting door bijvoorbeeld uitloop van het project, of iii) de ombouwkosten van bepaalde materieelseries zijn in de praktijk hoger dan verwacht.

d. In deze gevallen kan scenario 2a (geen retrofit), of een variant op dit scenario, mogelijk aantrekkelijker zijn.

9. Door deelnetten te creëren voor de migratie, kent NS circa 15 jaar lang grote beperkingen bij de materieelinzet. De impact hiervan is niet gekwantificeerd in de MKBA en in onze ogen te summier beschreven onder de niet-gemonetariseerde effecten.

a. Gedurende de migratie kan NS haar vloot minder flexibel inzetten. Materieel kan immers niet meer landelijk ingezet worden. Hierdoor heeft NS bijvoorbeeld minder bijstuurruimte (robuustheid operatie) of minder capaciteit voor treinversterking bij evenementen.

b. Het risico hiervan voor de operationele kwaliteit (punctualiteit en uitval, maar ook details van de dienstregeling) is onderkend en geaccepteerd.

c. De impact van de inzet van deelparken is in onze ogen te summier beschreven in het MKBA-rapport en niet gekwantificeerd. Dit achten we wel relevant.

Uitgangspunten migratiestrategie

10. De migratiestrategie gaat uit van een planning die op punten niet meer haalbaar is of waar het risico van bestaat dat deze niet haalbaar blijken. We zien het risico dat als gevolg hiervan de investeringskosten in het materieel hoger uitvallen.

a. Het MKBA-rapport stelt dat eind 2021 een realisatiebesluit 3kV is genomen, inclusief dekkende financiering. Aangenomen is dat in 2022 de aanbesteding en voorbereiding start. Deze aanname is niet meer van toepassing.

b. Enkele aannames ten aanzien van de snelheid van ombouwen van materieel zijn (mogelijk) achterhaald.

i. De sprinter 5^{e} generatie zou volgens scenario 2b bi-courant worden besteld. Dit uitgangspunt is volgens NS echter achterhaald omdat er niet tijdig een besluit is genomen over migratie naar 3kV. NS kiest er niet voor om zekerheidshalve bi-courant materieel te bestellen, omdat dit niet alleen duurder, maar ook zwaarder is wat het risico voor baanstabiliteit vergroot en potentieel leidt tot verminderde prestaties. Hierdoor wordt de sprinter 5^{e} generatie momenteel op dezelfde manier gespecificeerd als de DDNG-serie. Dit betekent dat deze 1,5kV mono-courant besteld zal worden en pas als het besluit valt, wordt omgebouwd. De extra ombouwkosten voor deze treinserie zijn verwerkt in de nieuwe versie van de BuCa NS.

ii. We zien dit risico ook voor de SNG-serie. De SNG staat in scenario 2b gepland om vanaf 2027 omgebouwd te worden. Dat betekent dat op korte termijn begonnen moet worden met de aanbesteding. Daarnaast is niet zoals bij de

DDNG-serie opgenomen in het contract dat de vervolgorder direct bi-courant moet kunnen worden geleverd.

c. Daarnaast zijn er door ProRail nog geen definitieve 3kV-specificaties opgesteld. Als het besluit genomen wordt om te migreren naar een TEV 3kV, zal er een traject ingericht moeten worden om deze specificaties op te stellen, waarbij ook de maximale stroom (en daarmee het vermogen) definitief moet worden gekozen.

d. Deze risico's hebben een negatieve impact op de investeringskosten in het materieel van NS.

11. Het regionale en goederenvervoer zijn niet meegenomen bij de totstandkoming van de migratiestrategie. Aangenomen is dat deze in te passen zijn, maar hier liggen geen analyses aan ten grondslag. We hebben geen onderbouwing ontvangen van deze aanname.

    a. De migratiestrategie is gebaseerd op het HRN NS. De regionale en goederenspoorlijnen zijn bij het opstellen van de strategie niet geanalyseerd.

    b. Veel regionale netwerken zijn in de praktijk reeds aparte deelnetwerken. Toch is er in de praktijk sprake van samenhang tussen de netwerken (samenloop, overbrengingen van materieel, etc.) die een integrale benadering van migratie vereisen.

    c. Voor goederenvervoerders geldt dat deze hun operatie niet kunnen beperken tot de gekozen corridors en dus veelvuldig te maken zullen krijgen met spanningstransities. De operationele effecten hiervan zijn tot nu toe niet onderzocht.

12. De nadere keuzes voor de invulling binnen de strategie zijn navolgbaar en de gedefinieerde deelnetten in de migratiestrategie achten we logisch. Mogelijk kan de migratiestrategie in de vervolgfasen worden geoptimaliseerd.

    a. De uitwerking van scenario 2b lijkt zorgvuldig tot stand gekomen te zijn en bevat doordachte en navolgbare keuzes rondom het al dan niet ombouwen van bepaalde materieelseries.

    b. Bij het opstellen van de deelnetten is rekening gehouden of de ondersteunende processen nog mogelijk zijn. Bij het inzetgebied voor de SLT en VIRM is er een check gedaan of de series nog op de onderhoudslocaties kunnen komen.[V-001]

    c. Ook onderschrijven we de keuze om in de eerste fase van de migratie de risico's te beheersen door uit te gaan van een klein deelnet met twee spoorlijnen.

    d. De deelnetten zijn bepaald op basis van expert judgement waarvan we de onderbouwing niet hebben ontvangen. Mogelijk kan de migratiestrategie in de vervolgfasen nader worden geoptimaliseerd.

3.3 Investeringskosten materieel

Onze bevindingen ten aanzien van de investeringskosten van het materieel hebben betrekking op: i) compleetheid, ii) betrouwbaarheid en iii) bandbreedte van de raming.

Compleetheid raming

13. De investeringskosten voor het materieel van de goederensector zijn niet meegenomen in de MKBA. We zouden hier wel een inschatting van verwachten in de MKBA.

    a. De goederensector is buiten beschouwing gelaten. De verwachting is dat de investeringskosten in het materieel mee zullen vallen ten opzichte van reizigersmaterieel ook omdat veel goederenmaterieel al multi-courant is (of diesel).

    b. We zouden hier wel een inschatting van verwachten in de MKBA.

    c. In die inschatting zouden we bijvoorbeeld ook kosten verwachten indien bijvoorbeeld specifiek voor het Nederlandse 3kV-systeem een software-aanpassing nodig

is. In dat geval zal deze ook uitgevoerd moeten worden op buitenlands materieel dat ingezet wordt richting Nederland.

14. De aangeleverde BuCa bevat de hoofdonderdelen die we zouden verwachten en lijkt daarmee compleet.
    a. De hoofdonderdelen van de investeringskosten in het materieel zijn opgenomen in de BuCa NS en gekoppeld aan aantallen treinen.
    b. De BuCa NS bevat de hoofdonderdelen die we zouden verwachten en lijkt daarmee compleet.

15. De posten in de BuCa zijn niet conform een uniforme werkwijze (zoals SSK) opgebouwd. Dit maakt de BuCa foutgevoeliger en lastiger te controleren op compleetheid dan wanneer een dergelijke systematiek wel wordt toegepast.
    a. Er zijn alleen opslagen toegepast op de SNG-kosten: i) 25% onvoorzien, ii) 10% projectmanagement CAF over engineering (over de eenmalige kosten), en iii) 10% projectmanagement NS.
    b. Dit maakt de BuCa foutgevoeliger en lastiger te controleren op compleetheid dan wanneer een dergelijke systematiek wel wordt toegepast. We zouden per deelraming een consistente aanpak verwachten qua opbouw en scope.

Betrouwbaarheid raming

16. De in de BuCa gebruikte aantallen treinen zijn afdoende onderbouwd.
    a. De materieelbehoefte waar in de BuCa mee gerekend wordt, zijn op basis van het Materieel Park Plan in beeld gebracht. De aantallen om te bouwen materieel sluiten aan op migratiescenario 2b.
    b. Het volume aan te passen "inkomend" buitenlands reizigersmaterieel (materieelinzet op de Nederlandse routes van NS partners als DB) is nog onzeker. Dit is bijvoorbeeld te zien aan de aangenomen range van treinstellen van ICE BR 408 (Velaro). Dit betreft echter een klein aandeel van de ombouwkosten.

17. We hebben geen adequate onderbouwing van de ombouwkosten ontvangen. De afgegeven kostenniveaus roepen voor ons op punten vragen op waardoor we niet kunnen vaststellen of de kostenramingen betrouwbaar zijn.
    a. We hebben per treinserie de ombouwkosten ontvangen, opgesplitst in eenmalige kosten en kosten per treinstel. De bedragen in de kosteninschatting van NS voor de SNG hebben we niet ontvangen, wel de gehanteerde opslagen.
    b. We kunnen de volgende constateringen niet nader onderzoeken, omdat er geen verdere onderbouwing voor beschikbaar is.
        i. De eenmalige kosten verschillen sterk per materieelserie. De eenmalige ombouwkosten van de SNG zijn respectievelijk circa een factor 4 en een factor 36 groter dan voor de DDNG en ICNG. Deze verschillen zijn slechts deels te verklaren vanuit technische overwegingen of bijvoorbeeld de contractuele situatie. De kosten voor met name SNG lijken disproportioneel.
        ii. De ombouwkosten per treinstel van de ICNG zijn circa een factor 2 groter dan voor de SNG en DDNG. Dit is gebaseerd op een kosteninschatting van Alstom. Deze hoge kosten hebben mogelijk deels een technische verklaring in moeilijkheden met aslasten en beschikbare ruimte.[12]
        iii. Voor de FLIRT-serie wordt uitgegaan van het gemiddelde van de kosten van ICNG en SNG, terwijl de kosten van deze treinseries sterk uit elkaar liggen (een factor 0,5 voor de jaarlijkse kosten en een factor 36 voor de eenmalige kosten). Om deze reden achten we de kosteninschatting voor de FLIRT-serie niet goed onderbouwd.

iv. De inschatting voor DDNG is gebaseerd op indicaties van consortium Siemens/ Bombardier voor een andere treinserie (SLT) en expert judgement van NS. De kwaliteit en diepgang van de indicaties van consortium Siemens/Bombardier waarmee NS kosten geïnventariseerd heeft zijn onbekend. Ook is onduidelijk waarom NS SLT technisch ziet als een passende referentie voor DDNG, terwijl deze materieelserie nog niet besteld is en de fabrikant nog niet bekend is.

c. De verschillen in ombouwkosten tussen de verschillende treinseries zijn deels technisch verklaarbaar, maar deels ook niet. Omdat NS veelal te maken heeft met een 'vendor lock-in', hoeven de ombouwkosten niet lager uit te vallen voor deze niet technisch verklaarbare posten.

i. Alleen de oorspronkelijke fabrikant is redelijkerwijs in staat om de complexe ombouw uit te voeren. Ondanks dat het technisch niet onmogelijk is, geven leveranciers die wij gesproken hebben hierover aan dat het voor hun niet interessant is om materieel van een andere leverancier om te bouwen. De technische risico's worden hoog ingeschat, doordat niet alle details van de ontwerpen van de concurrenten bekend zijn.

ii. Door dit effect van 'vendor lock-in' zijn de ombouwkosten van sommige treinseries mogelijk hoger dan technisch gezien noodzakelijk.

d. We kunnen op basis van de ontvangen informatie en de vragen die dit oproept niet vaststellen dat de ombouwkosten voor materieel betrouwbaar zijn.

18. De onttrekkingskosten per bak per werkdag zijn niet voor alle treinseries duidelijk herleidbaar. Omdat de onttrekkingskosten een klein aandeel vormen van de totale investeringskosten van het materieel, hebben we de bedragen niet nader onderzocht.

a. De onderbouwing van de onttrekkingskosten per dag zijn voor de DDNG gebaseerd op de onttrekking van VIRM (€ 960 per bak per werkdag).

b. Onduidelijk is waar de respectievelijk € 440 en € 700 per bak per werkdag op gebaseerd zijn voor de onttrekkingskosten van SNG/FLIRT en ICNG. Dit lijken interne vuistregels van NS te zijn.

c. We verwachten dat alle kosten onderbouwd en herleidbaar zijn.

19. We achten de onderhoudskosten en moderniseringskosten voor het materieel in de BuCa (en daarmee in de MKBA) onvoldoende onderbouwd, waarschijnlijk te hoog, en methodische te algemeen bepaald.

a. Onvoldoende onderbouwd omdat: NS hanteert 4% en 50% van de verwervingskosten voor respectievelijk de onderhoudskosten en moderniseringskosten. Deze kentallen zijn niet onderbouwd op basis van technische ingrepen / maatregelen met bijbehorende kosten.

b. Waarschijnlijk te hoog omdat:

i. Bij ombouw worden er componenten bijgeplaatst, maar ook componenten weggehaald. Deze verwijderde componenten hoeven niet onderhouden en gemoderniseerd te worden. Deze kostenbesparing is niet meegenomen in de BuCa.

ii. In ombouwkosten zit waarschijnlijk een groter deel installatiekosten voor deze componenten dan in nieuwbouw. Deze 'extra installatiekosten' t.o.v. nieuwbouw zorgen in deze methode ook voor extra onderhoudskosten en moderniseringskosten in de raming.

c. Te algemeen bepaald omdat: de opslag van 50% voor moderniseringskosten lijkt gedaan te zijn op vlootniveau en niet op het niveau van technische systemen van een bepaald materieeltype. We verwachten dat de opslag voor een tractiesysteem anders is dan bijvoorbeeld voor interieur. Dat betekent dat wanneer het aandeel in de kosten van het tractiesysteem versus het interieur tussen treinseries verschilt, dit ook tot andere benodigde opslagen voor modernisering zal leiden.

d. Zowel voor de extra onderhoudskosten als de moderniseringskosten is het naar ons inzicht zo dat een bottom-up benadering, waarin vanuit de techniek onderzocht wordt wat er feitelijk aan meerwerk ontstaat, leidt tot een betrouwbaardere kostenschatting dan de top-down benadering met algemene kentallen. Deze bottom-up benadering zal waarschijnlijk lagere kosten laten zien.

20. De in de BuCa opgenomen additionele investeringskosten voor de aanschaf van een bi-courante trein en een mono-courante 3kV-trein ten opzichte van een mono-courante 1,5kV-trein zijn onvoldoende onderbouwd. Op basis van signalen van leveranciers zijn additionele kosten wel aannemelijk.
    a. Er worden twee additionele investeringskosten gerekend, namelijk: i) de meerprijs voor de aanschaf van een bi-courante trein ten opzichte van een mono-courante 1,5kV-trein, en ii) de meerprijs van een mono-courante 3kV-trein ten opzichte van een mono-courante 1,5kV-trein (MKBA v1.1). Deze kosten worden gerekend voor de DDNG en sprinter 5^{e} generatie.
    b. De additionele investeringskosten zijn ingeschat voor de DDNG-serie door experts van NS. Op basis van deze inschatting zijn ook de additionele investeringskosten berekend voor de sprinter 5^{e} generatie (gecorrigeerd naar treinsamenstelling).
    c. De onderbouwing van deze inschattingen hebben we niet ontvangen. Hierdoor kunnen wij de betrouwbaarheid niet beoordelen.
    d. De meerprijs van een mono-courant 3kV treinstel verklaart NS voornamelijk vanwege de motoren met hogere vermogens. Dit is lijn met de signalen die wij hebben ontvangen vanuit leveranciers.
        i. Op basis van gesprekken met enkele fabrikanten blijkt dat een (beperkte) meerprijs voor mono-courant 3kV materieel t.o.v. mono-courant 1,5kV aannemelijk is, omdat er verbeterde prestaties verwacht worden van een 3kV trein (bijv. sneller optrekken en hogere maximale snelheden). Hierbij moet wel opgemerkt worden dat deze extra kosten niet altijd hoeven op te treden en beperkt zijn.

21. De BuCa NS sluit op punten niet aan op de onderliggende documenten. De impact hiervan op het verwachte kostenniveau achten we echter klein.
    a. We zien verschillen in aantallen treinen, kostprijzen en jaartallen tussen de BuCa NS en de onderbouwing van de DDNG-serie. Dit ligt waarschijnlijk aan een versie verschil. BuCa NS is gebaseerd op Rekentarieven NS 2020/2021 terwijl de BuCa van DDNG gebaseerd is op de rekentarieven van een jaar eerder en deze tarieven jaarlijks worden geüpdatet. Ook krijgt het MPP een jaarlijkse update.[V-003]
        i. De onderbouwing van de kosten voor DDNG gaat uit van 61 treinstellen terwijl de BuCa NS uitgaat van 59 treinstellen.
        ii. De onttrekkingskosten per bak per werkdag zijn respectievelijk € 960 en € 860 in de DDNG BuCa en NS BuCa.
        iii. De eenmalige ombouwkosten in de BuCa van DDNG worden gealloceerd in het eerste jaar van ombouw, waar de BuCa NS uitgaat van 2,5 jaar voorafgaand aan ombouw.
    b. De impact van bovengenoemde verschillen op het resultaat van de MKBA achten we klein.

22. We constateren dat de inschatting van de kosten bij regiovervoerders lager uitvalt dan bij NS. Het is onduidelijk of het verschil het gevolg is van overschatting aan zijde van NS of onderschatting door de regiovervoerders. Het risico bestaat dat de kosten van de regiovervoerders hoger uitvallen (+200% is niet ondenkbaar).
    a. De regiovervoerders hebben ongeveer een factor 10 minder materieel, maar een factor 30 minder kosten. Dit verschil wordt in het MKBA-rapport niet onderbouwd,

behalve dat bij NS wel kosten voor onderhoud en modernisering worden meegenomen en bij de regiovervoerders niet. Ook is de inschatting van de regiovervoerders vermoedelijk op een ander detailniveau gemaakt. Het grote verschil in verwachte kosten is niet te verklaren uit technische verschillen tussen het materieel. Ook de regionale vervoerders beschikken bijvoorbeeld over een relatief grote vloot FLIRT-materieel.

b. Wij onderschrijven het risico dat de kosten van de regiovervoerders in praktijk mogelijk hoger kunnen uitvallen (+200% is niet ondenkbaar).

Bandbreedte raming

23. We achten de aangehouden 20% bandbreedte/variatie in de MKBA op NS materieel en onderhoud niet onderbouwd en te laag. Op basis van de huidige fase en de complexiteit van het project, zouden we een variatiecoëfficiënt van 35-50% passender vinden.
    a. De fase van het onderzoek bevindt zich (in termen van de MIRT-systematiek) voor de verkenningsfase. Er is nog geen overzicht beschikbaar van de technische uitgangspunten van migratie naar 3kV ten aanzien van het materieel, omdat de 3kV-specificatie nog niet vastgesteld is.
    b. De projectorganisatie heeft de bandbreedte op de raming niet expliciet gekwantificeerd. Wel is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de investeringskosten van het materieel van 20%. Dit percentage is niet onderbouwd en lijkt geen directe relatie te hebben met het risicoprofiel.
    c. We zouden op basis van de huidige fase en de complexiteit van het project een variatiecoëfficiënt verwachten van 35-50%.
        i. We baseren ons hierbij onder andere op de referentie wat betreft de variatiecoefficiënt van de leidraad kostenraming ProRail. Deze leidraad stelt voor verkenning bij de analytische fase een variatiecoëfficiënt van 40%.
        ii. We constateren dat de fase en onderbouwing bij 3kV onzekerder is dan je in de analytische fase van een MIRT-verkenning mag verwachten. Daartegenover staat dat materieel mogelijk een lagere bandbreedte/variatie heeft dan infrastructuur.

4 Conclusie

Dit hoofdstuk bevat de conclusies van onze review. We hebben de conclusies verdeeld in drie onderwerpen waar we in de volgende paragrafen op ingaan: i) MKBA, ii) migratiestrategie, en iii) investeringskosten materieel.

4.1 MKBA

Alleen op basis van deze MKBA kan geen conclusie getrokken worden over de vraag of een overgang naar 3kV een juist besluit is. Als de drie mogelijke redenen voor een eventuele overgang zien we: i) baten die de kosten overstijgen, ii) een technische noodzaak vanwege veroudering van het huidige systeem of iii) een technische noodzaak als 3kV voorwaardelijk blijkt voor verdere capaciteitsgroei.

Ten aanzien van het eerste punt, het saldo van kosten en baten, zien we dat MKBA v1.0 negatief is en er nog veel onzekerheden en relevante niet-gemonetariseerde effecten (zowel met een positieve als met een negatieve impact op het resultaat) zijn die nog niet in dit beeld verwerkt zijn. Hierdoor kan (nog) niet geconcludeerd worden dat er sprake is van een positief saldo. De drie grootste effecten op het resultaat zijn:

- De niet-gemonetariseerde effecten uit de MKBA zijn niet meegenomen in MKBA-berekening. De effecten van een aantal niet-gemonetariseerde effecten kunnen groot zijn, zowel positief als negatief. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om: i) de impact van de hogere aslasten van treinen op baanstabiliteit, ii) (andere) randvoorwaardelijke investeringen om de migratie mogelijk te maken en de baten te incasseren, en iii) vermeden investeringen.
- Risico en onvoorzien zijn niet expliciet meegenomen in deze MKBA. Als het 3kV-vraagstuk naar de MIRT-verkenningsfase gaat zal er expliciet gekeken worden naar risico's en onvoorzien. Dit zal de MKBA dan waarschijnlijk negatiever maken. Het gaat hier bijvoorbeeld om: i) het risico dat de ombouwkosten van het materieel hoger uitvallen, door bijvoorbeeld technische complexiteit of door de 'vendor lock-in', ii) het risico dat de kosten bij regiovervoerders hoger uitvallen dan nu is meegenomen en iii) risico's die samenhangen met het niet of minder incasseren van de baten.
- De zichtperiode van de MKBA is 50 jaar. Hiermee worden met name baten buiten deze zichtperiode niet meegenomen. Deze baten zijn nog van kracht indien na 50 jaar niet weer een systeemwijziging voor de tractie- en energievoorziening doorgevoerd wordt. In dit geval wordt de MKBA positiever.

De MKBA bevat weliswaar een gevoeligheidsanalyse op kosten en baten, maar deze is niet afdoende om deze onzekerheden adequaat weer te geven op het resultaat van de MKBA. Dit komt met name door de niet gemonetariseerde effecten. We concluderen als gevolg hiervan dat de MKBA een grote bandbreedte kent, die nu niet inzichtelijk is gemaakt, waar we dit wel zouden verwachten. Ten slotte merken we op over de MKBA dat het resultaat daarvan en de BuCa NS kunnen verschillen als gevolg van andere uitgangspunten ten aanzien van het contant maken van kosten en baten.

Ten aanzien van de tweede en derde mogelijke reden, zien we geen technische noodzaak tot vervanging van het 1,5kV-systeem, bijvoorbeeld vanwege einde systeemlevensduur, en ook niet als gevolg van duidelijk onderbouwde capaciteitsredenen. Voor dit laatste punt is nog onduidelijk waar de capaciteitsgrenzen van het huidige 1,5kV-systeem precies liggen en wanneer deze door vervoersgroei genaderd worden.

4.2 Migratiestrategie

De migratiestrategie sluit over het algemeen goed aan op de MKBA. Ze is navolgbaar en onderbouwd opgebouwd gegeven de uitgangspunten van de MKBA. Hier is een redelijk optimum gevonden tussen enerzijds snelheid van migratie en anderzijds de kosten en risico's die hiermee gepaard gaan. Wel zien we dat de het creëren van deelnetten beperkingen geeft bij de materieelinzet voor NS en dat de impact hiervan niet is gekwantificeerd in de MKBA en in onze ogen te summier beschreven is onder de niet-gemonetariseerde effecten. Ook gaat de migratiestrategie uit van een planning die op punten niet meer haalbaar is of waar het risico van bestaat dat deze niet haalbaar blijken. Het regionale en goederenvervoer zijn niet meegenomen bij de totstandkoming van de migratiestrategie.

Daarnaast is de MKBA gevoelig voor wijzigingen in de migratiestrategie. Als bepaalde risico's zich daadwerkelijk voordoen, kan de migratie er anders uit komen te zien. In uiterste gevallen kan een migratiescenario dat de focus heeft op zo min mogelijk ombouwen mogelijk kosten efficiënter zijn. Het risicoprofiel van hoge baten incasseren tegen hoge kosten maken is immers hoger dan het risicoprofiel van bepaalde kosten niet maken. Specifiek gaat het om de volgende risico's:

- De baten komen in praktijk later tot uiting door bijvoorbeeld uitloop (of latere start) van het project. Bijvoorbeeld doordat de migratiestrategie uitgaat van een planning die op punten niet meer haalbaar is of waar het risico van bestaat dat deze niet haalbaar blijken. We zien het risico dat als gevolg hiervan de investeringskosten in het materieel hoger uitvallen.
- De kosten van het ombouwen van het materieel vallen hoger uit. Bijvoorbeeld doordat de ombouwkosten van regionale vervoerders te laag zijn ingeschat, omdat in de technische complexiteit van de ombouw tegenvalt of door het effect van de 'vendor lock-in'.
- De baten vallen in praktijk tegen. De gevoeligheidsanalyses geven aan dat de baten in praktijk tegen kunnen vallen.

De keuzes voor de deelnetten en fasering lijken doordacht. Het feit dat voorzichtig begonnen wordt met een klein deelnet (twee lijnen) en een beperkt aantal materieeltypen is een effectieve maatregel voor beheersing van de risico's. Te verwachten valt dat gedurende een eventuele migratie de deelnetten en fasering nog kleine wijzigingen zullen ondergaan. Zolang er sprake is van continue afstemming van de materieel- en infrastructuurplannen kan dit de effectiviteit van de migratie bevorderen.

4.3 Kosten materieel

De kosten voor materieel van NS zijn het omvangrijkst. Tot de diepgang die wij hebben kunnen inzien, is de BuCa NS compleet qua scope. De posten in de BuCa zijn niet conform een uniforme werkwijze (zoals SSK) opgebouwd waardoor de BuCa foutgevoeliger is en lastiger te controleren op compleetheid dan wanneer een dergelijke systematiek wel wordt toegepast. De diepgang van de raming van het materieel is grotendeels voldoende voor de fase waarin het vraagstuk 3kV zich bevindt. Omdat we geen nadere onderbouwing hebben ontvangen die aan de deelramingen ten grondslag liggen, hebben we de betrouwbaarheid niet kunnen beoordelen. Wel hebben we de volgende kanttekeningen bij de investeringskosten van NS:

- Ombouwkosten: We hebben geen adequate onderbouwing van de ombouwkosten ontvangen waardoor we niet kunnen vaststellen dat deze kosten betrouwbaar zijn. We zien tussen de ombouwkosten van de verschillende treinseries soms grote verschillen die deels technisch verklaarbaar zijn, maar deels ook niet. Omdat NS veelal te maken heeft met een 'vendor lock-in', omdat alleen de oorspronkelijke fabrikant redelijkerwijs in staat is om de complexe ombouw uit te voeren, hoeven de ombouwkosten niet lager uit te vallen voor deze niet technisch verklaarbare posten.

- Onttrekkingskosten: De onttrekkingskosten per bak per werkdag zijn niet voor alle treinseries duidelijk herleidbaar. Omdat de onttrekkingskosten een klein aandeel vormen van de totale investeringskosten van het materieel, hebben we de bedragen niet nader onderzocht.
- Additionele investeringskosten: De additionele investeringskosten zijn onvoldoende onderbouwd. Op basis van signalen van leveranciers zijn deze kosten aannemelijk vanwege verbeterde prestaties.
- Jaarlijkse onderhoudskosten en moderniseringskosten: De kentallen voor de jaarlijkse onderhoudskosten en moderniseringskosten zijn mede gebaseerd op componenten die bij ombouw worden weggehaald en daardoor niet meer onderhouden / gemoderniseerd hoeven te worden. Deze kostenbesparing is niet meegenomen. Om deze reden beschouwen we de inschatting van NS voor de jaarlijkse onderhoudskosten en moderniseringskosten als bovenkant van een bandbreedte. De onderkant van deze bandbreedte beschouwen wij als nul. Daarnaast lijkt de opslag van 50% voor moderniseringskosten te zijn gedaan op vlootniveau, terwijl deze sterk kan verschillen op het niveau van technische systemen van een bepaald materieeltype waardoor we deze benadering te grof vinden.

Daarnaast constateren we dat risico en onvoorzien beperkt (alleen voor SNG ombouw) niet eenduidig is opgenomen in de kostenonderbouwing van het materieel. Gezien de diepgang van de onderbouwing en de fase van het project zouden wij een risicoreservering van 30% tot 50% verwachten. Het is van belang om risico en onvoorzien wel reëel en eenduidig in deze fase mee te nemen om verrassingen bij de overgang naar MIRT te voorkomen.

De investeringskosten van de goederenvervoerders zijn geen onderdeel van de MKBA en hebben we daarom niet kunnen beoordelen. Ten aanzien van het materieel van de regiovervoerders constateren we dat de kosten voor ombouw opvallend lager zijn ingeschat dan die van gelijksoortig NS materieel. Door het ontbreken van toelichting kunnen we niet nagaan hoe dit verschil is ontstaan. We verwachten dat de regiovervoerders alleen de directe kosten voor ombouw hebben ingeschat en niet de gevolgkosten als hogere onderhouds- of moderniseringskosten.

5 Aanbevelingen

Dit hoofdstuk bevat de aanbevelingen van onze review. We werken hier van grof naar fijn. We hebben de aanbevelingen verdeeld in drie onderwerpen waar we in de volgende paragrafen op ingaan: i) afweging systeemwijziging, ii) MKBA, en iii) migratiestrategie en investeringskosten materieel.

5.1 Afweging systeemwijziging

Werk breder dan de MKBA toe naar een pragmatische, maar integrale gefundeerde afweging voor 3kV die uitlegbaar is in de vorm van een redeneerlijn. Ga in deze redeneerlijn in op de einde levensduur van het huidige systeem, voorwaardelijkheid voor het faciliteren van vervoersgroei en de kosten-baten afweging. Als één van drie redenen op zichzelf al een glasheldere aanleiding geeft om over te gaan op 3kV zijn de andere twee redenen niet nodig. Echter als geen van de redenen 100% overtuigend is, dan moet de som van de onderbouwingen van die redenen voldoende inhoud hebben om een 'politieke afweging' te maken. Bouw de redeneerlijn op in de volgende drie stappen:

Stap 1

Ga hierbij eerst in op het mogelijk naderen van einde levensduur van het huidige systeem (indien voldoende relevant) en haar mogelijk beperkende werking op de mogelijkheden van verdere capaciteitsgroei van het spoorsysteem. Probeer zo goed mogelijk te onderbouwen of en wanneer het spoorsysteem noodzakelijkerwijs dient over te gaan naar een ander tractie- en energievoorzieningssysteem. Mogelijk kan de 'breekpuntanalyse' één van de onderliggers hiervan zijn (nog een lopend onderzoek).

Stap 2

Ga vervolgens in op welk systeem dan het meest geschikt is. Hierbij is de tijdhorizon van stap 1 van belang. Als de noodzaak pas over een lange tijd zal ontstaan, kan dit impact hebben op de meeste logische systeemwijziging. Als er bijvoorbeeld tijd is om bij 'standaardvervangingen' alle bovenleidingportalen en kabels geschikt te maken voor 25kV, geeft de overgang naar 25kV een ander scenario dan wanneer deze tijd er niet is. Onderbouw ook dit deel van de redeneerlijn met onderzoeken. Mogelijk kan hier de 'multi-criteria analyse' gebruikt worden.[20]

Stap 3

Ga hierna in op de kosten en baten van het voorkeurssysteem. Gebruik hier de MKBA als onderligger. Of de MKBA goed onderbouwd en positief moet zijn, hangt af van noodzaak op het gebied van techniek of vervoersgroei. Indien de noodzaak vanuit einde levensduur of vanuit vervoersgroei niet hard gemaakt kan worden, dan moet een aantal elementen uit de MKBA beter onderzocht worden. Deze elementen staan aangegeven in Paragraaf 5.2. Indien de noodzaak vanuit technische of vanuit vervoersgroei noodzaak wel hard gemaakt kan worden, kan de MKBA als indicatie dienen en is verder onderzoek niet noodzakelijk. Wel is het dan nog steeds nodig om expliciet de kanttekeningen te plaatsen in de MKBA op het gebied van risico's en onzekerheden m.b.t. de kosten en baten.

5.2 MKBA

Als er vanuit beschouwing van techniek of gewenste vervoersgroei geen noodzaak tot wijziging aangetoond kan worden, dan is de uitkomst van de MKBA van belang. In dit geval

moeten een aantal elementen beter onderbouwd en/of uitgewerkt worden om een betrouwbaar beeld te geven van de uitkomsten en onzekerheden daarin van de MKBA. Wij adviseren:

1. Bouw een bandbreedte op het resultaat van de MKBA op door op kosten, baten, kansen en risico's een bandbreedte op te nemen. Dit ontbreekt nu (met name) voor de niet gemonetariseerde effecten. Dit kan bijvoorbeeld op basis van expert sessies en mag grof, mits deze grofheid ook weerspiegeld wordt in de aangehouden bandbreedte.

2. Neem capaciteitsvergroting (dienstregelingontwikkeling) mee in het nulscenario (1,5kV) en in het projectalternatief (3kV. Door dit mee te nemen in een hoog en laag scenario zal de ordegrootte van de vermeden investering voor 1,5kV duidelijk worden en daarmee zullen de baten van de overstap naar 3kV realistischer worden in de MKBA. Hierbij kan, uit pragmatisch overwegingen, overwogen worden om in het lage scenario de huidige MKBA te hanteren (dus geen dienstregeling ontwikkeling na 2030).

3. Overweeg om de zichtperiode tot 100 jaar te verlengen.

4. Neem relevante risicoreserveringen op voor alle relevante posten in de MKBA. Kijk hier naar reële percentages voor risico en onvoorzien conform de MIRT-methodiek. Maak hier ook gebruik van de ervaringen vanuit o.a. ERTMS en maak hierbij de risico's zelf ook expliciet. Neem waar mogelijk ook bekende risico's op en kwantificeer deze zodat er naast onbenoemd onvoorzien, ook benoemd onvoorzien in de MKBA wordt opgenomen.

5. Volg de adviezen op bij Paragraaf 5.3 (migratiestrategie en kosten materieel).

6. De kans is groot dat na opvolging van bovenstaande aanbevelingen inzichtelijk is geworden dat de bandbreedte van de MKBA nog groot is. Bepaal dan welke onderzoeksprogramma's gestart (of afgemaakt) moeten worden om de bandbreedtes (waar nodig) terug te brengen naar een acceptabel niveau.

7. Indien er nog diverse vervolgonderzoeken nodig zijn om te bepalen of de overstap naar 3kV wenselijk is of niet, maak dan in de tussentijd een afweging of je de komende jaren wel of niet wil voorsorteren op 3kV. Wees bewust van de 'deadlines' met betrekking tot investeringsmomenten, zoals het bestellen van nieuw materieel en infra vervangingen. Maak dan een afweging of je bereid bent deze meerkosten te dragen en zo een 'verzekering' wil nemen of niet op 3kV.

5.3 Migratiestrategie en kosten materieel

Voor de onderbouwing van de migratiestrategie hebben we de volgende aanbevelingen voor de volgende fase:

8. Neem in de afweging van het optimale migratiescenario ook risico's uit de MKBA mee.

9. Controleer of het huidige migratiescenario nog optimaal is als er wijzigingen in de MKBA zelf plaatsvinden.

10. Maak meerdere varianten voor het aantal en de exacte grenzen van de deelnetten en vergelijk deze op diverse factoren. Naast kosten betreft dit vooral de verwachte kwaliteit van de operatie en de maakbaarheid van ondersteunende processen als opstel en onderhoud. Betrek hierbij ook de regionale vervoerders en de goederensector.

Voor de onderbouwing van de kosten materieel hebben we de volgende aanbevelingen:

11. Ga uniform om met risico en onvoorzien door de raming van het materieel. Baseer je hier op kentallen van voorgaande trajecten, zoals bijvoorbeeld ERTMS. Dit voorkomt verrassingen bij de overgang naar MIRT-systematiek.

12. Baseer ook de bandbreedte/variatie op ervaringen uit voorgaande vergelijkbare trajecten met een vergelijkbaar onderbouwingsniveau, zoals bijvoorbeeld ERTMS.

13. Werk de kosten aan onderhoud en modernisering bottom-up verder uit in de volgende fase door te kijken naar werkelijke onderhoudswerkzaamheden en moderniseringswerkzaamheden.

14. Werk samen met de leverancier aan het verder harden van de prijsindicaties voor het ombouwen. Dit kan gehinderd worden door op contractuele of commerciële hindernissen. In dat geval dienst eerst onderzocht te worden hoe deze verkleind of weggenomen kunnen worden.

15. Onderzoek nader hoe de afhankelijkheid van de oorspronkelijke leverancier van materieel verkleind kan worden en toch enige marktwerking gecreëerd kan worden.

16. Werk ook voor regionale vervoerders en goederenvervoerders de kosten voor ombouw uit samen met de regionale vervoerders en goederenvervoerders.

Bijlage A Referentielijst

A.1 Documentenlijst

Nr.	Omschrijving	Datum	Opsteller
1	Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-baten-analyse	2013	CPB / PBL
2	Werkwijzer MKBA bij MIRT-verkenningen	08-06-2018	Rijkswaterstaat
3	MKBA Rapport – finale versie 1.0	20-10-2021	ProRail, NS, RHDHV
4	TEV MKBA conceptresultaten	09-02-2022	I&W, ProRail, NS
5	Migratiescenario's 3kV, uitkomst workshops STEV 3 en 10 mei 2021	03-05-2021	I&W, ProRail, NS
6	Presentatie Stuurgroep STEV, migratiescenario's 3kV	22-06-2021	I&W, ProRail, NS
7	Uitsnede scenario vergelijking alternatieve migratiescenario's 3kV – conceptresultaten	Ontvangen 15-02-2022	RHDHV
8	3kV slide ombouw complex	Ontvangen 21-02-2022	NS
9	BuCa NS 3kV *(Excel)*	23-07-2021	NS
10	BuCa NS 3kV 1.1 intern *(Excel)*	20-12-2021	NS
11	Onderbouwing kosten DDNG 3kV *(Excel)*	Ontvangen 02-02-2022	NS
12	Kostenindicatie ICNG *(mailwisseling)*	08-12-2019	Alstom
13	SLT – 3kV kosteninschatting consortium *(mailwisseling)*	01-07-2017	Bombardier Transportation
14	SNG kosteninschatting *(mailwisseling)*	15-05-2020	NS
15	Onderbouwing moderniseringskosten *(Excel)*	Ontvangen 02-02-2022	NS
16	Onderbouwing onderhoudskosten *(Excel)*	Ontvangen 02-02-2022	NS
17	Additionele moderniseringskosten *(Excel)*	Ontvangen 08-03-2022	NS
18	RE_TEV onderstations in beheer NS *(mailwisseling)*	06-07-2021	NS
19	Spanningsdammen en -sluizen	Ontvangen 14-02-2022	NS
20	Memo Toekomstvastheid Tractie Energievoorziening 1500V - 2012 v4 1 *(ook wel de MCA genoemd)*	27-04-2012	ProRail

A.2 Interviews

Nr.	Aanwezig	Datum	Locatie
V-001	Bescherming persoon (NS), Bescherming persoonlijke lev (ProRail), Bescherming perso (DNV / ProRail)	14-02-2022	Digitaal, MS Teams
V-002	Bescherming persoon (NS), Bescherming persoonlijke (RHDHV)	16-02-2022	Digitaal, MS Teams
V-003	Bescherming perso (NS), Bescherming persoonlij (NS)	21-02-2022	Digitaal, MS Teams
V-004	Bescherming persoonlijke (NS), Bescherming persoonlijk (NS)	23-02-2022	Digitaal, MS Teams
V-005	Bescherming persoonlijke l (ProRail)	28-02-2022	Digitaal, MS Teams

Bijlage B Afkortingen en begrippen

Afkorting	Betekenis
BuCa	Business Case
DDNG	DubbelDekker Nieuwe Generatie
ERTMS	European Rail Traffic Management System
FLIRT (TAG)	Flinker Leichter Innovativer Regionaltriebzug (Trein Alphen-Gouda)
HRN	Hoofdrailnet
I&W	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
ICM	Intercitymaterieel
ICNG	Intercity Nieuwe Generatie
MIRT	Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport
MKBA	Maatschappelijke kosten-batenanalyse
MPP	Materieel Park Plan
NS	Nederlandse Spoorwegen
PHS	Programma Hoogfrequent Spoorvervoer
SLT	Sprinter Lighttrain
SNG	Sprinter Nieuwe Generatie
TBI	Onderzoeksprogramma Treinbaaninterface
TEV	Tractie Energievoorziening
VIRM	Verlengd InterRegio Materieel

Bijlage C Algemene uitgangspunten MKBA

Deze bijlage bevat de algemene uitgangspunten van MKBA versie 1.0. Deze aannames zijn overgenomen uit Hoofdstuk 3 van het MKBA-rapport.[03]

1. De kosten en baten zijn opgenomen inclusief btw.
   a. Indien effecten exclusief btw zijn geraamd, is een gemiddeld btw-percentage van 18,2% gehanteerd.
2. De kosten en baten zijn opgenomen in constante prijzen met prijspeil 2021.
   a. Indien effecten in een ander prijspeil zijn geraamd, is een prijspeilcorrectie gehanteerd van 1,25% per jaar.
   b. Voor de efficiënte CO2-prijs is een relatieve prijsverandering opgenomen van 3,5% per jaar.
3. De bedragen zijn contant gemaakt naar het jaar 2022 op basis van de voor MKBA's voorgeschreven discontovoeten (Werkgroep Discontovoet, 2020).
   a. Voor de meeste effecten is de standaarddiscontovoet gehanteerd, namelijk 2,65% voor het hoge WLO-scenario en 1,85% voor het lage WLO-scenario.
   b. Uitzonderingen hierop zijn: i) investeringen in infrastructuur, hiervoor is de discontovoet voor vaste, verzonken kosten toegepast, en ii) reistijdbaten en daarvan afgeleide indirecte effecten, hiervoor is de discontovoet voor niet-lineair verlopende baten toegepast.
4. De zichtperiode van de MKBA is 40 jaar, van begin 2034 tot eind 2073. Er is geen sprake is van een restwaarde in het jaar 2073.
5. De kwantificering van de rijtijdwinst en de energiebesparing zijn gebaseerd op een inschatting voor het referentiejaar 2030.
6. De inschatting van de energiebesparing voor het referentiejaar 2030 is gebruikt voor de gehele zichtperiode van de MKBA. Dit is in lijn met de aanname dat er gedurende de gehele zichtperiode wordt gereden met dezelfde dienstregeling; PHS 6 basis.
   a. De inschatting van de rijtijdwinst voor het referentiejaar 2030 kent een groeifactor conform het hoge en het lage WLO-scenario. Omdat de dienstregeling tot het einde van de zichtperiode gelijk blijft, resulteert een toename van het aantal treinreizigers de facto in een hogere gemiddelde treinbezetting.
   b. De MKBA neemt daarmee aan dat de reizigersgroei kan worden opgevangen binnen de capaciteit die de gelijkblijvende dienstregeling biedt. Dit compenseert voor de statische dienstregeling.
7. De projectalternatieven zijn berekend onder het hoge en lage WLO-scenario (CPB & PBL, 2015).
   a. De volgende parameters uit de WLO scenario's zijn gebruikt om onderscheid te creeren tussen het hoge en lage scenario:
      i. Ontwikkeling reizigerskilometers in de trein (I&W, 2021);
      ii. Ontwikkeling reistijdwaardering (SEE, 2016);
      iii. Energieprijs (CPB & PBL, 2016b);
      iv. CO2-prijs (CPB & PBL, 2016a);
      v. Discontovoeten (Werkgroep Discontovoet, 2020).
   b. De WLO-scenario's lopen tot het jaar 2050, de ontwikkeling van al deze parameters tussen 2050 en 2070 is constant verondersteld.

8. Bij de vervoerders (exploitanten) is een splitsing gemaakt tussen NS, regiovervoerders en goederenvervoerders.
   a. Voor NS is een business case opgesteld (BuCa NS).
   b. Voor de regiovervoerders is een inschatting gemaakt van de investeringskosten in het materieel. Er is echter geen separate business case opgesteld.
   c. Voor de goederenvervoerders is er geen inschatting van de investeringskosten in het materieel beschikbaar, noch is er een separate business case opgesteld.

ProRail

PRORAIL
Moreelsepark 3
3511 EP Utrecht

NS
Laan van Puntenburg 100
3511 ER Utrecht

Aan Stuurgroep Systeemkeuze Tractie Energievoorziening

Onderwerp Doorgaan met 1.5kV is nu de juiste keuze
Datum 24 oktober 2022

Beste leden van de stuurgroep STEV,

Na ruim drie jaar studie door ProRail en NS in opdracht van IenW aan de systeemkeuze tractie energievoorziening (STEV), concludeert NS met de huidige kennis dat doorgaan met 1.5kV de meest reizigersvriendelijke keuze is voor het spoor in Nederland. Deze conclusie staat niet op zichzelf, en is een gevolg van onder meer de huidige en verwachte schaarste van middelen voor de spoorsector. In dit memo licht ik de conclusie toe, welke vervolgstappen NS gaat zetten en wat we aan ProRail en IenW vragen.

Kernboodschap: de baten van 3kV zijn gewenst, maar de transitie niet en schaarse middelen kunnen beter voor andere spoorse projecten worden aangewend

NS heeft de ambitie om meer reizigers frequenter en met hogere snelheden te vervoeren op de meest duurzame wijze. De introductie van 3kV zou aan alle ambities een positieve bijdrage leveren (zie kader linksonder). Naast die ambitie wil NS het treinkaartje betaalbaar houden én zien wij een grote schaarste; zowel in geld als in personeel. Een transitie naar 3kV kost circa €1.5 miljard meer dan het uitbreiden van het 1.5kV-netwerk, heeft een negatieve businesscase voor NS, en leidt tot circa 15 jaar hinder en inzetbeperkingen (zie kader rechtsonder). NS kan niet pleiten voor een dergelijke publieke investering met de kennis dat er zelfs voor de basis uit Toekomstbeeld OV (TBOV) onvoldoende budget is.

Cruciaal hierbij is dat uit de door ProRail uitgevoerde breekpuntanalyse blijkt dat 1.5kV de vervoersgroei de komende decennia kan faciliteren. NS verwacht, op basis van de berekende 1.5kV-bovengrens en de reizigersprognoses, dat 1.5kV minimaal t/m circa 2060 de vervoersgroei kan faciliteren. Capaciteit is daarmee geen doorslaggevende reden om op korte termijn te besluiten om een transitie naar 3kV te maken. Daarom concluderen wij op basis van de uitgevoerde bureaustudies dat de kosten en mate van hinder voor reizigers van een transitie niet te verantwoorden zijn, ondanks de verwachte baten van 3kV.

3kV zou een bijdrage aan NS ambities leveren

Onder 3kV is er meer vermogen beschikbaar en is de gemiddelde stroomsterkte lager. Dit leidt tot:

- Een incasseerbare snellere aanzet bij daarvoor (na ombouw) geschikte treinen (Flirt, ICNG en nog te bestellen materieel), waardoor de reistijd afneemt en er meer regelruimte in de dienstregeling komt;
- Een maximale snelheid van HSL-geschikt en internationaal materieel op de Hanzelijn van 200km/u in plaats van 180km/u onder het bestaande 1.5kV. Bij een opwaardering van Amsterdam – Duitse grens geldt hetzelfde;
- Minder energieverlies in de bovenleiding, na eerste schatting jaarlijks circa 14% energie besparing t.o.v. het totale verbruik, vergelijkbaar met het verbruik van ruim 80.000 huishoudens.

Transitie naar 3kV leidt tot hinder

Een transitie naar 3kV kost ca. €2 miljard en leidt tot minstens 15 jaar aan verminderde operationele prestaties en reizigershinder, omdat de benodigde spanningssluizen leiden tot (incidentele) storingen en niet al het materieel meer overal inzetbaar is. Daarnaast is een jarenlange complexe materieelombouw nodig met bijbehorende onttrekking van het materieel. Ook zijn randvoorwaardelijke infra aanpassingen, onder andere voor de baan en overwegen, nodig om de baten van 3kV te kunnen incasseren. We verwachten dat de migratie-periode langer duurt dan genoemde 15 jaar, omdat geen rekening is gehouden met gelijktijdigheid van andere systeemsprongen in de spoorsector (o.a. ATO, FRMCS, ERTMS HL3) en de verder toegenomen schaarste sinds de start van het onderzoek. Het uitbreiden van 1.5kV ten behoeve van groei naar een 8/4-dienstregeling kost circa €500M, kan praktisch zonder reizigershinder en impact op de operationele prestaties.

Consequenties van doorontwikkeling 1.5kV op materieelaanschaf

De keuze voor doorontwikkeling van 1.5kV, en de keuze om in elk geval de komende jaren geen systeemsprong te maken naar 3kV, heeft voorlopig geen implicaties voor de wijze waarop NS haar materieel aanschaft. Bij aanschaf van recente materieelseries heeft NS op eigen initiatief steeds rekening gehouden met de mogelijke komst van 3kV. Dergelijke voorbereidingen zijn beperkt, en leiden tot een beperkte risico-opslag bij leveranciers. NS zal daarom borgen dat een toekomstige keuze voor 3kV vanuit materieelperspectief niet onmogelijk wordt. Mochten er in de toekomst meer significante investeringen nodig blijken aan het materieel om een transitie naar 3kV in de toekomst niet uit te sluiten, zullen deze afwegingen worden besproken met IenW en MinFin, conform huidige afspraken.

Adviezen aan ProRail en IenW: investeer in 1.5kV, zowel voor MLT als voor innovaties

De huidige Tractie Energievoorziening kent knelpunten, waardoor NS de komende jaren beoogde productstappen mogelijk niet kan realiseren. Onderstaande drie adviezen helpen om deze knelpunten nu en op lange termijn op te lossen.

- Ten eerste adviseren we ProRail en IenW deze knelpunten op te lossen. Hierbij vragen we ProRail de huidige schatting van €500M nauwkeuriger vast te stellen, om de verwachte groei tot en met 2040 te faciliteren. Vervolgens vragen we aan IenW om het benodigde budget hiervoor aan te wijzen.
- Ten tweede stellen we voor maximaal in te zetten op doorontwikkelen van 1,5kV en vragen we ProRail om, onder regie van IenW, (bestaande) doorontwikkelingen binnen het 1.5kV TEV systeem nader te onderzoeken, met het oog op het oplossen van de geanalyseerde knelpunten, de verduurzaming van het spoor en de ambitie om op specifieke baanvakken de maximum snelheid te verhogen. Hierbij brengen wij graag onze kennis in, omdat dit een systeemintegratievraagstuk betreft waar de oplossingen op het snijvlak van infra en materieel gevonden moeten worden.
- Ten slotte vragen we aan IenW om, als vervolg op de systeemsprong-analyse van Twynstra Gudde, samen met NS, ProRail, andere vervoerders en concessieverleners een visie op het spoorsysteem van de toekomst te ontwikkelen inclusief haalbaar én betaalbaar migratiepad. Een dergelijke visie maakt het beantwoorden van (politieke) vragen over (andere) systeemkeuzes eenvoudiger en biedt alle partijen een gedeeld handelingsperspectief waarmee in de beleidsontwikkeling en investeringsagenda rekening kan worden gehouden.

Het gereserveerde budget voor een vervolg op STEV kan wat NS betreft doelmatiger worden ingezet voor één van bovenstaande punten, in plaats van verder onderzoek naar 3kV.

Ten slotte: gezamenlijke focus op 1.5kV voor een toekomstbestendig spoorsysteem

NS is ervan overtuigd dat een focus op doorontwikkeling van 1.5kV ten goede komt aan de spoorsector en daarmee aan de reiziger: het levert duidelijkheid, stelt de spoorsector in staat met de schaars beschikbare middelen andere noodzakelijke investeringen te doen en voorkomt een verstorende transitie van meer dan 15 jaar. Bovendien zijn we ervan overtuigd dat Nederland, net als Japan, onder 1.5kV een dicht treinennetwerk kan faciliteren. We kijken uit naar een prettige samenwerking, want we hebben elkaar nodig om het maximale uit 1.5kV te halen om de komende decennia meer reizigers te verwelkomen. Tegelijkertijd sluiten wij niet onze ogen voor de opgaven in de (verdere) toekomst en blijven wij bereid om parallel aan de doorontwikkeling van 1.5kV bij te dragen aan visieontwikkeling voor het spoorsysteem van de toekomst.

Met vriendelijke groet,

Bescherming persoonlijke levenssfeer
NS

Aan de Bescherming persoonlijke levenssfeer
[redacted]
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

Datum	25 oktober 2022	Eigenaar	Bescherming persoonlijke lev
Uw kenmerk	-	Telefoonnummer	
Ons kenmerk/ID	T20160149-563151954-166	Afdeling	Capaciteitsmanagement
Bijlage(n)	Bijlage I STEV Eindrapport juli 2022 Bijlage II Bijlagen STEV Eindrapport juli 2022 Bijlage III STEV Eindmemo NS aug 2022		
Onderwerp	Advies ProRail naar aanleiding van STEV Eindrapport		

Raad van Bestuur

Bezoekadres
Moreelsepark 3
3511 EP Utrecht

Postadres
Postbus 2038
3500 GA Utrecht

www.prorail.nl

Geachte mevrouw Bescherming perso,

In opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft ProRail in samenwerking met NS een onderzoek uitgevoerd naar toekomstige knelpunten op het gebied van tractie energievoorziening (TEV), de elektrische energievoorziening van de treinen, en de opties die er zijn om een toekomstige groei en verduurzaming van het spoor te faciliteren (**beschikking IenW/BSK-2020/1777882**). Dit onderzoek heeft geresulteerd in het eindrapport "Vervolgonderzoek Systeemkeuze Tractie Energievoorziening" (bijlage I en II) en is vastgesteld in juli 2022. Met deze brief adviseert ProRail u over 'Hoe verder met tractie energievoorziening in Nederland?'. NS heeft een afzonderlijk advies uitgebracht. Deze vindt u bijgevoegd (bijlage III). De visie van regiovervoerders en goederenvervoerders vindt u in bijlage II.

Advies

ProRail adviseert naar aanleiding van het onderzoek om op termijn een systeemsprong naar 3kV te maken. Rond 2040 is deze aanpassing noodzakelijk, vanwege de toekomstige mobiliteitsgroei, ontwikkelingen in de energiemarkt, ProRails assetmanagement strategie en duurzaamheidsambities. Tot die tijd is een nieuw tractie systeem niet nodig en niet haalbaar gezien benodigde focus op andere transities (zoals ERTMS) maar ook gezien het feit dat NS recent een deel van haar vloot heeft vervangen of in aanbesteding heeft zonder voorbereiding op 3kV. ProRail gaat er van uit dat het huidige 1.5kV systeem kan worden uitgebreid om meer vermogen te faciliteren. Het lopende tractie (TEV) programma en de investeringen in het 1.5kV netwerk gaan onverkort door om de uitgangspunten van TBOV 2030 te realiseren en de geconstateerde knelpunten om daar te komen in de huidige tractievoorziening op te lossen.

Hieronder vindt u de overwegingen bij dit advies:

Uitkomst STEV onderzoek en ontwikkelingen in de spoorsector:

ProRail ziet, mede naar aanleiding van dit onderzoek, de volgende uitkomsten en ontwikkelingen:

Ontwikkelingen:

- Mobiliteitsgroei maakt meer capaciteit creëren noodzakelijk. ProRail gaat hierbij uit van een mobiliteitsontwikkeling waarbij het reizigersaantal toeneemt met 30% en het goederenvervoer met 50%, maar volgt het tempo van de mobiliteitsontwikkeling uiteraard continu.
- Nieuwe(re) treinen vragen meer vermogen als gevolg van hun hogere gewicht.
- Onderzoek wijst uit dat op dit moment energiedragers op de trein (batterij/ waterstof) als vervanging van bovenleiding nog niet kansrijk zijn voor een landelijke uitrol. De energievraag op het spoor is te groot. Voor een verdere doorontwikkeling van het huidige tractie netwerk is de technologie op dit moment nog onvoldoende ontwikkeld. Ook hier volgt ProRail de trends in duurzaamheid, stroomverbruik van nieuwe treinen, innovaties op het gebied van batterij en waterstof en ontwikkelingen binnen landelijke stroomnetwerken.

Uitkomsten:

- Uit het onderzoek komt naar voren dat er twee reële opties zijn om capaciteit te verhogen: blijven door ontwikkelen van 1.5kV of een migratie naar 3kV.
- De noodzakelijke capaciteitsuitbreiding op het spoor bereikt met het huidige 1.5kV systeem op termijn haar grens. Het omslagpunt valt volgens ProRail inzichten grofweg samen met het kunnen realiseren van de opgaven en ambities zoals opgenomen in de ontwikkelagenda TBOV 2040 (2040 en verder).
- 3kV biedt voordelen voor capaciteitsverhoging en energiebesparing: Met een verhoging (verdubbeling) van het vermogen door 3kV zullen kortere opvolgtijden mogelijk zijn door het sneller kunnen accelereren van materieel.
- Door migratie naar 3kV is een energiebesparing van jaarlijks 14% van het totale energieverbruik te realiseren (vergelijkbaar met jaarlijks verbruik van een stad als Breda).
- De Maatschappelijke Business Case (MKBA) 3kV is (licht) positief.

Vervolg

Het lopende tractie (TEV) programma en de investeringen in het 1.5kV netwerk gaan onverkort door om de uitgangspunten van TBOV 2030 te realiseren en de geconstateerde knelpunten in de huidige tractievoorziening om hier te komen op te lossen.

Om tot een systeemsprong naar 3kV te komen is onder meer nodig dat de voorwaarden daarvan in concessie- of toelatingseisen worden opgenomen. Ook voor de al geplande investeringen in de railinfrastructuur en materieel moet worden voorgesorteerd om een transitie op termijn mogelijk en eenvoudiger te maken. Hiervoor dienen nadere financiële analyses gemaakt te worden, ontwerpvoorschriften te worden aangepast en in modulaire onderstations worden geïnvesteerd die eenvoudig zijn om te bouwen tijdens de migratie. ProRail zal hiervoor verder in gesprek gaan met u, uw ministerie en met de vervoerders zodat er een logische en realistische migratie kan plaats vinden.

ProRail kijkt uit naar uw reactie op dit advies.

Met vriendelijke groet,
namens de Raad van Bestuur,

Bescherming persoonlijke levens