

# Een maatschappelijke kosten-baten analyse van een verbeterde tractie-energievoorziening

Uitwerking van de alternatieven 3kV en 1,5kV ECO

Van

Eigenaar ProRail, NS

Versie 1.0

Datum 20 april 2018

Bestand Rapport ProRail en NS onderwerp MKBA 3kV.doc

Onderwerp MKBA Tractie energievoorziening

Status Definitief

## Samenvatting

In Europa wordt voor tractie energievoorziening (TEV) 1,5kV en 3kV gelijkspanning en 15kV en 25kV wisselspanning gehanteerd. Alleen in Nederland en op secundaire lijnen in Frankrijk wordt met een TEV van 1,5kV gereden. Verhoging van de TEV draagt door het grotere vermogen en verlaagde netverliezen bij aan duurzaamheidsdoelstellingen in de spoorsector, aan capaciteitsverruiming voor toekomstige vervoersknelpunten en het verkorten van reistijden. Vanwege de hoge ombouwkosten en langdurige ombouwperiode zijn 15kV en 25kV in een eerder stadium als alternatief afgevalen.

Voor deze MKBA zijn de varianten 1,5kV ECO en 3kV als verbetering van de TEV onderzocht op basis van meerdere theoretische studies. Door in een volgende fase toegepaste aannames te valideren, een gedetailleerder technisch ontwerp te maken of een praktijkproef uit te voeren, kan de incasseerbaarheid van de baten nader worden bepaald.

### 3kV

Het verhogen van de TEV naar 3kV leidt tot de volgende bevindingen en aannames.

- 3kV levert een verwachte energiebesparing van 19,5% op.
- 3kV zorgt voor een groter vermogen zodat materieel na iedere haltering sneller kan accelereren dan bij 1,5kV. Deze winst wordt met name boven 70 km/uur gehaald. Dit levert o.a. reistijdwinst op voor reizigers en maakt dat minder materieel ingezet hoeft te worden.
- Er wordt uitgegaan van een migratiescenario waarin alle onderstations vanaf 2023 worden omgebouwd, zodat in het jaar 2030 stapsgewijs omgeschakeld kan worden naar 3kV.
- In dit migratiescenario wordt het materieelpark bicourant uitgevoerd om vanaf 2030 de anderhalf jaar durende migratie op beide spanningen te kunnen rijden.
- Nieuw te bestellen materieel, mits tijdens transitieperiode ingezet, wordt met een meerprijs aangeschaft met bicourante functionaliteit.
- De grootste risico's voor 3kV zijn:
  1. Tekort aan materieel gedurende de ombouw
  2. Geen of te late toelating van materieel doordat bestaand materieel moet voldoen aan een nieuw strenger toetskader.
  3. Verminderde operationele performance door o.a. uitval en storingen door spanningssluizen, zitplaatsreductie door toevoeging massa/ruimte, uitval van treinen door verminderde betrouwbaarheid, kinderziektes, ontwerpfouten en mogelijk beperkte praktijktestmogelijkheden.
  4. Beperkte resources en absorptievermogen organisaties
  5. Interfaces met andere projecten en systemen

### 1,5kV ECO

In dit alternatief blijft de spanning gelijk aan de huidige TEV, maar worden maatregelen in de infra getroffen om het energieverlies bij het transport van elektriciteit tegen te gaan en een deel van de remenergie nuttig her te gebruiken (recuperatie).

- 1,5kV ECO levert een verwachte energiebesparing van 9% op.
- 1,5kV ECO levert geen rijtijdwinst op.
- Er is uitgegaan van een ombouwperiode van 2022 tot 2025.
- In deze variant wordt alleen de infrastructuur geoptimaliseerd.
- Materieel wordt niet gewijzigd omdat 65% van het materieel in 2025 al optimaal recupereert. Het overig materieel wordt niet aangepast omdat de ombouwkosten niet opwegen tegen de extra energiebaten.
- Het grootste risico voor deze variant is de uitloop van nachtelijke buitendienststellingen.

In tabel S.1 is het totaaloverzicht van kosten en baten weergegeven in zowel het hoge als lage groeiscenario van CPB en PBL (2015) voor de twee varianten voor verbetering van de TEV. Voor de kostenberekening van 3kV is voor de ombouw van NS materieel gerekend met een bandbreedte, omdat er per treintype nog geen integraal concept ontwerp gemaakt is. Dit leidt tot een minimum en een maximum kostentotaal.

Tabel S.1 Overzicht kosten en baten (Netto Contante Waarde 2020, prijspeil 2017, mln. €)

	Hoog		Laag	
	1,5kV ECO	3kV	1,5kV ECO	3kV
<b>Totaal kosten</b>	<b>105</b>	<b>[1.570, 1.950] + PM</b>	<b>105</b>	<b>[1.570, 1.950] + PM</b>
<b>Totaal baten</b>	<b>370</b>	<b>1.515 + PM</b>	<b>290</b>	<b>1.215 + PM</b>
<b>Saldo</b>	<b>265</b>	<b>[-435, -55] + PM</b>	<b>185</b>	<b>[-735, -355] + PM</b>
<b>Baten-kosten verhouding</b>	<b>3,5</b>	<b>1,0 – 0,8</b>	<b>2,8</b>	<b>0,8 – 0,6</b>
<b>IRR</b>	<b>18%</b>	<b>4% - 2,9%</b>	<b>13%</b>	<b>3% - 1%</b>

Het saldo voor 1,5kV ECO is in zowel hoog als laag scenario positief. Het saldo voor 3kV is in beide scenario's negatief.

Merk op dat niet alle risico's gekwantificeerd zijn en dat voor 3kV meerdere geïdentificeerde baten als PM post zijn geadresseerd. Een mogelijke capaciteitsverruiming voor toekomstige vervoersknelpunten en mogelijke extra reistijdwinsten zijn daarvan de belangrijkste.

Daarnaast laten gevoeligheidsanalyses zien wat de effecten zijn van ogenschijnlijk kleine variatie in rijtijdwinsten. Een afwijking van 1 seconde rijtijdwinst per haltering leidt tot €100 miljoen baten (NCW) meer of minder. Enkele procentpunten afwijking in energiebesparing resulteert in een vergelijkbaar verschil. De aannames die leiden tot de vaststelling van deze waarden zijn daarom cruciaal voor de uitkomsten van de MKBA.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Aanleiding	6
1.2	Keuze voor verder onderzoek naar 3kV en 1,5kV ECO	6
1.3	Vraagstelling	8
1.4	Doel MKBA	8
1.5	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Probleemanalyse, nulalternatief en projectalternatieven</b>	<b>9</b>
2.1	Beleidsdoelstellingen	9
2.2	Nulalternatief	11
2.3	Projectalternatieven	12
<b>3</b>	<b>Risico's en samenhang met andere projecten</b>	<b>15</b>
3.1	Kwalitatieve verkenning van de meest kritische risico's	15
3.2	Risicobeheersing	16
3.3	Nadere verkenning samenhang met andere projecten en programma's	17
<b>4</b>	<b>Kosten en baten: algemene uitgangspunten en berekeningswijze</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Kosten</b>	<b>21</b>
5.1	Infrastructuur	21
5.2	Vermeden investeringen	21
5.3	Materieel NS	21
5.4	Materieel regionale vervoerders en goederenmaterieel	22
5.5	Beheer, onderhoud, exploitatie infra, regionale vervoerders en goederenmaterieel	22
5.6	Beheer, onderhoud NS	22
5.7	Programmakosten	23
5.8	Conclusie	23
<b>6</b>	<b>Baten</b>	<b>24</b>
6.1	Rijtijdwinst	24
6.2	Energiebaten	28
6.3	Niet gekwantificeerde effecten 3kV	31
6.4	Conclusie	33
<b>7</b>	<b>Totaaloverzicht en gevoeligheidsanalyses</b>	<b>34</b>
7.1	Overzicht kosten en baten	34
7.2	Gevoeligheidsanalyses	35
7.3	Conclusie	35
<b>Literatuurlijst</b>	<b>36</b>	
<b>Bijlage 1</b>	<b>Overzicht van beleidsdoelstellingen rijk en sector</b>	<b>37</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Overzicht van niet toegepaste inframeetregelen</b>	<b>39</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Overzicht ombouwvarianten Infrastructuur naar 3kV</b>	<b>41</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Migratierisico's, migratiestrategie en omschakelplan</b>	<b>43</b>

<b>Bijlage 5</b>	<b>Kostenraming voor de ombouw van infrastructuur</b>	<b>47</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>Berekening rijtijdwinsten en extra reizigers</b>	<b>49</b>
<b>Bijlage 7</b>	<b>Simulaties energiebesparing en rijtijdwinst</b>	<b>53</b>
<b>Bijlage 8</b>	<b>Tabel met fysieke effecten in 2040</b>	<b>57</b>
<b>Bijlage 9</b>	<b>Uitgangspunten kosten voor materieelombouw 3kV</b>	<b>58</b>

## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

De aanpassing van de Tractie Energievoorziening (TEV) is al langer onderwerp van discussie. De spanning is op dit moment 1,5kV gelijkspanning. In Europese standaarden worden daarnaast 3kV gelijkspanning en 15kV en 25kV wisselspanning gehanteerd. In de jaren '90 zijn er diverse onderzoeken uitgevoerd naar een mogelijke verandering van de huidige TEV. In 2001 is een uitgebreide verkenning uitgevoerd, waaruit bleek dat aanpassing van de TEV noodzakelijk was met het oog op de toen verwachte ontwikkeling van het railverkeerssysteem. Hoewel de inzichten hierover zijn gewijzigd, is de conclusie van deze verkenning herbevestigd in een analyse van ProRail (2012).

Aandacht voor een alternatieve TEV is de laatste jaren gegroeid door o.a.:

1. *Een groeiend besef van noodzakelijke verduurzaming van de samenleving:*
  - o Doelstellingen op het gebied van energiebesparing en duurzame energie zijn vastgelegd in het Nationale Energie-Akkoord (SER, 2013)
  - o Duurzaamheidsdoelstellingen zijn vastgelegd door het Rijk in de Lange Termijn Spooragenda (Ministerie van IenM, 2013)
  - o Verduurzaming van de spoorsector is een van de strategische doelstellingen van NS (NS, 2016) en ProRail (ProRail Asset Management (ProRail, 2010)
2. *Verwachte vervoersknelpunten vanaf het jaar 2030:* De Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (Ministerie van IenM, 2017) signaleert een toename van vervoersknelpunten vanaf 2030 door een verdere groei van reizigersaantallen. Dit leidt tot een toenemende vervoersbehoefte die binnen het huidige systeem niet geaccommodeerd kan worden. Ook na doorvoering van Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) en ERTMS. Hetzelfde beeld ontstaat uit de studie Toekomstbeeld OV (Toekomstbeeld OV, Overstappen naar 2040, 2016)
3. *Implementatie en ambities van de spoorsector voor de verhoging van de snelheid en hoogfrequente dienstregeling, zoals ontwikkeld in PHS en Spoorlags Beter* (NS, 2016).

### 1.2 Keuze voor verder onderzoek naar 3kV en 1,5kV ECO

Er zijn vier TEV-varianten in Europa, beschreven in de TSI-richtlijnen. Voor alle vier de varianten is in 2012 door ProRail een Quick Scan uitgevoerd naar de voor- en nadelen:

1. 25kV – wisselstroom (wordt ook gehanteerd op de HSL en Betuwelijn)
2. 15kV – wisselstroom
3. 3kV – gelijkstroom
4. 1,5kV – gelijkstroom

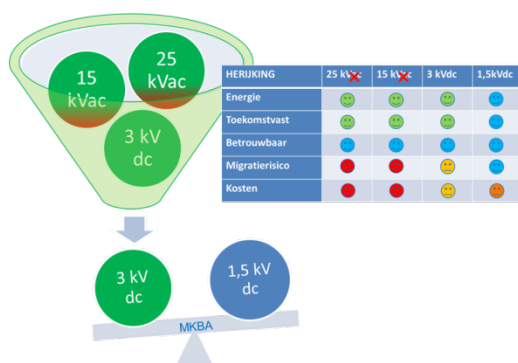
Uit deze studie bleek dat opwaarderen van het huidige TEV-systeem naar 15kV of 25kV zowel technisch, exploitatief als organisatorisch complex zou zijn en hoge investeringen vergt (>10 miljard euro). Deze conclusie is bevestigd in een recentere studie van NS (NS, 2017), waarin is geconcludeerd dat de ombouw van de infrastructuur naar 25kV veel ingrijpender is dan naar 3kV. Gedurende een periode van ~10 jaar zouden grote delen van de operatie niet uitvoerbaar zijn doordat het TEV-systeem volledig omgebouwd moet worden. Noodzakelijk is hierbij dat een deel van de kunstwerken wordt aangepast: bruggen, stations, et cetera. Ombouw naar 15kV vergt eenzelfde ingrijpende aanpassing van de infrastructuur. Dit levert gedurende een lange periode grote hinder voor de reizigers. Daarom is besloten om 25kV en 15kV af te laten vallen als mogelijke oplossingsrichting.

Twee alternatieven lijken kansrijk:

- 3kV; verhoging van de TEV naar 3kV is een duurzame maatregel die kan bijdragen aan capaciteitsverruiming voor toekomstige vervoersknelpunten. Een hoger vermogen en verminderde netverliezen kunnen bijdragen aan het vergroten van de capaciteit en het verkorten van reistijden. Bovendien kan het via energiebesparing resulteren in lagere energiekosten en reductie van CO<sub>2</sub>-emissies.
- 1,5kV ECO; dit is een alternatief voor de huidige 1,5kV TEV waarmee er minder energieverlies optreedt, zowel bij het transport van elektriciteit door de bovenleidingen als verhoogde recuperatie van het treinmaterieel bij het afremmen. Dit alternatief kan ook resulteren in lagere energiekosten en lagere CO<sub>2</sub>-emissies.

De inschatting in 2012 (ProRail, 2012) was dat het 3kV-systeem kosteneffectiever zou zijn dan 1,5kV ECO, omdat daarmee meer positieve effecten (grotere energiebesparing, rijtijdbaten en capaciteitsbaten) gerealiseerd kunnen worden. Daartegenover staan hogere investeringen en een groter migratierisico.

**Figuur 1.1: Resultaten Quick Scananalyse**



Bron: ..ProRail (2012)

Teneinde antwoord te kunnen geven op de vraag welke variant de voorkeur verdient – vasthouden aan 1,5kV, opwaarderen naar 1,5kV ECO of migreren naar 3kV – is daarop door de sector een Maatschappelijke Kosten-Batenanalyse (MKBA) opgesteld. Vervoerders zijn betrokken sinds 2013. Eind 2015 is een eerste versie van de MKBA aangeboden aan het Ministerie van IenM en het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) dat de MKBA heeft beoordeeld. Belangrijke aanbeveling van het KiM was om de MKBA op te stellen volgens standaard MKBA richtlijnen.

Naar aanleiding van voortschrijdende inzichten over de ontwikkeling van het railverkeersysteem, de ontwikkeling van het materieelpark, de groeiende belangstelling voor de verduurzaming van Nederland en de complexe portefeuille aan rail gerelateerde projecten, programma’s en productontwikkelingen (PHS, ERTMS, etc.), is besloten de MKBA in 2017 te actualiseren.

De MKBA is opgesteld conform het ‘Kader KBA bij MIRT Verkenningen’ (Ministerie van IenM, 2012). Hierbij geldt echter dat dit project niet in het Meerjarenprogramma Infrastructuur en Transport (MIRT) opgenomen is en dus een eigen proces volgt. Ook is dit geen standaard railproject zoals in het format in het Kader is uitgewerkt en bevindt het project zich in een

vroege onderzoeksfase, waardoor nog niet alle aspecten in detail zijn uitgewerkt. De gemaakte keuzes worden in dit rapport zo transparant mogelijk gemaakt.

### 1.3 Vraagstelling

Wat zijn de, conform de voorgeschreven MKBA-methodiek uitgewerkte, positieve en negatieve effecten op de kosten, de exploitatie-opbrengsten, de reizigers en het milieu van het vervangen van de huidige TEV door 1,5kV ECO of 3kV systeem?

### 1.4 Doel MKBA

Doel van dit rapport is het maken van een welvaart economische analyse van alle effecten die optreden als gevolg van het aanpassen van de TEV naar 1,5kV ECO of 3kV. Hierbij staan de volgende vragen centraal:

1. Wat zijn de **baten** van 1,5kV ECO en 3kV en in hoeverre kunnen deze gerealiseerd worden?
2. Wat zijn de **kosten** van een transitie naar 1,5kV ECO of 3kV?
3. In hoeverre is de transitie naar 1,5kV ECO of 3kV **maakbaar** en wat zijn de belangrijkste **risico's**?

### 1.5 Leeswijzer

De belangrijkste conclusies en bevindingen zijn samengevat aan het begin van dit rapport. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de uitgangspunten van het nulalternatief en de beide projectalternatieven. Hoofdstuk 3 geeft een kort overzicht van de belangrijkste risico's van een transitie naar 3kV of 1,5kV ECO en de samenhang met ander projecten en programma's. Hoofdstuk 4 behelst de uitgangspunten en berekenwijze van de batens en kosten en hoofdstuk 5 omvat de afzonderlijke kosten en batens en de waardering daarvan. Het slothoofdstuk 6 geeft de resultaten weer en de gevoeligheidsanalyses.

Nadere uitwerkingen, toelichtingen en verantwoording van gebruikte kengetallen zijn opgenomen in de bijlagen bij dit rapport.



## 2 Probleemanalyse, nulalternatief en projectalternatieven

Dit hoofdstuk behandelt de relatie tussen de beleidsdoelstellingen van de Rijksoverheid en van de spoorsector rond het vraagstuk van de ontwikkeling van de TEV op het spoorwegnet. Vervolgens komen de uitgangspunten van de drie alternatieven aan de orde: de nulvariant (handhaven van huidige 1,5kV systeem), een gemodificeerd 1,5kV systeem (1,5kV ECO) en 3kV. Bekeken wordt wat de gevolgen van de alternatieven zijn voor de infrastructuur, de materieelvloot en de migratie.

### 2.1 Beleidsdoelstellingen

#### *Energiebeleid*

In het Nationale Energie-Akkoord (SER, 2013) zijn de doelstellingen vastgelegd op het gebied van energiebesparing en duurzame energie. De algemene (wereldwijde) doelstelling is om de temperatuurstijging te beperken tot 2 graden. De EU heeft zich in de recente Parijs-akkoorden gecommitteerd om in 2030 de CO<sub>2</sub>-emissies met 40% en in 2050 met 80-95% terug te dringen.

Het aandeel van de spoorsector is op macroniveau relatief klein (CE Delft, 2016): de sector gebruikt zo'n 1% van de energie in Nederland. Een groot deel van de gebruikte energie is elektriciteit, de belangrijkste gebruiker is NS. Sinds begin 2017 is de ingekochte energie van NS 'groen' oftewel opgewekt met CO<sub>2</sub>-neutrale bronnen. Dat neemt niet weg dat het verder reduceren van het energiegebruik bijdraagt aan de landelijke en wereldwijde doelstellingen, zeker als dit op een kosteneffectieve wijze kan.

#### *De LTSA, ProRail en NS*

Tabel 2.1 geeft een samenvatting van de belangrijkste doelstellingen welke zijn vastgelegd door het Rijk in de Lange Termijn Spoor Agenda (Ministerie van IenM, 2013) en/ of welke zijn opgenomen in de beleidsdoelstellingen van NS (NS, 2016) en/ of ProRail (ProRail, 2010). De laatste kolom in Tabel 2.1 geeft aan hoe een alternatieve TEV (3kV en 1,5kV ECO) kan bijdragen aan deze doelstellingen (duurzamer vervoer, hogere punctualiteit en groter capaciteit op het spoor). Voor een gedetailleerdere analyse van de beleidsdoelstellingen wordt verwezen naar 0.

**Tabel 2.1** Mogelijke bijdrage aan doelstellingen van Rijk en sector

Doelstelling	Beleidsdoelstellingen			Deels te behalen door:
	LTSA <sup>1)</sup>	ProRail	NS	
Verduurzaming vervoer	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Reductie CO<sub>2</sub>:</b> Minder transportverlies en meer recuperatie tijdens remmen</li> <li><b>Afname energieverbruik:</b> Minder transportverlies en meer recuperatie tijdens remmen</li> </ul>
Vergroten punctualiteit	✓ <sup>3)</sup>	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>3kV: Hogere aanzetversnelling:</b> alleen te behalen indien zelfde dienstregeling wordt gereden (en rijtijdspeeling wordt gecreëerd)</li> </ul>

Vergroten capaciteit	✓ <sup>3)</sup>	x	✓ <sup>4)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>3kV: Meer treinen op het spoor:</b> Hoger vermogen van 12 MW (3kV/4000A) i.p.v. 6MW (1,5kV/4000A). Grotere inzetbaarheid treinen / langere treinen mogelijk zonder overbelasting energietoevoer t.o.v. 1,5kV</li> <li>• <b>3kV: Meer treinen per dag op het spoor:</b> Rijtijdwinst verwacht door hogere aanzetsnelheid waardoor extra composities per dag ingezet kunnen worden</li> </ul>
Verhogen veiligheid	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>3kV: Verlaging van de spoorstaaf aarde spanning</b> Op het spoor mogen geen elektrische spanningen optreden die een gevaar vormen voor de omgeving. Het verhogen van de bovenleidingspanning zal, bij gelijkblijvende vervoersomvang, een verlaging van deze spoorstaaf aarde spanning tot gevolg hebben. Veiligheid wordt hiermee verhoogd.</li> </ul>
Overige, bijv. betrouwbaar spoor m.b.t. storingen, transparantie)	✓	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>3kV: minder infra componenten benodigd:</b> 3 kV is in principe robuuster dan 1,5 kV ECO. Vanwege het feit dat er minder componenten benodigd zijn die kunnen falen. Voor 1,5 kV ECO geldt dat er componenten toegevoegd (denk aan koppelen van de bovenleiding) gaan worden die betrouwbaarheid verlagend kunnen uitpakken.</li> </ul>

1): LTSA: Lange Termijn Spooragenda (Ministerie van IenM, 2013)

2): In het Nationale Energie-Akkoord (SER, 2013) zijn de doelstellingen vastgelegd op het gebied van duurzame energie

3): Onderdeel van LTSA doelstelling: "kwaliteit (reistijd en betrouwbaarheid) van het spoorproduct verbeteren"

4): Onderdeel van NS doelstelling: "klanttevredenheid"

#### Relatie met verkenningen op de lange termijn

De Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (NMCA) (Ministerie van IenM, 2017) signaleert de knelpunten die op langere termijn (2030, 2040) ontstaan. De NMCA hanteert hierbij dezelfde uitgangspunten als deze MKBA: dezelfde Welvaart en Leefomgeving (WLO) scenario's en (PHS) dienstregeling geldt als uitgangspunt.

De knelpunten op het spoor hebben hierbij voornamelijk betrekking op een capaciteitstekort door een toenemende vraag. Er worden geen oplossingen uitgewerkt – dat kan als vervolgstap gebeuren. 3kV kan wellicht aan de oplossing bijdragen doordat het kan leiden tot capaciteitswinst. Omdat hierover nog geen besluitvorming is, beïnvloedt dit de uitgangspunten van het 3kV project niet.

Hetzelfde geldt voor het Toekomstbeeld OV (Toekomstbeeld OV, Overstappen naar 2040, 2016). Hierin wordt via drie radicale perspectieven verkend hoe het OV-systeem in bijvoorbeeld 2040 zou kunnen functioneren. In de netwerkuitwerking die nu plaatsvindt, is realisatie van 3kV en ERTMS als uitgangspunt genomen. Naast de extra capaciteit die 3kV kan bieden, is 3kV (naast ERTMS) ook nodig om bij verhoging van maximale snelheden (160/200 km/u) langer van deze snelheidsverhoging te profiteren. (ProRail en NS, 2017)

Zoals uit eerdere studies blijkt kan aanpassen van de TEV in potentie bijdragen aan de bovengenoemde beleidsdoelstellingen van het Rijk en de sector. Hiertegenover staan uiteraard

de investeringskosten en de risico's bij de migratie die tijdelijk negatief kunnen uitpakken op de realisatie van deze doelstellingen.

## 2.2 Nulalternatief

Het nulalternatief is de meest waarschijnlijke situatie als de alternatieven niet worden gerealiseerd. Aangezien er reeds besluitvorming is geweest rond PHS en ERTMS, maken deze projecten onderdeel uit van het nulalternatief. Daarnaast wordt aangenomen dat het vervoer zich wat betreft vervoeromvang ontwikkelt conform de zogeheten Welzijn en Leefomgevingsscenario's van CPB en PBL (CPB en PBL, 2015).

Door de planbureaus is een 'hoog' en 'laag' scenario uitgewerkt wat betreft economische en demografische ontwikkelingen. Deze scenario's zijn niet volledig uitgewerkt voor de spoorsector – in deze studie worden daarom extra aannames gedaan. Voor meer details over de algemene uitgangspunten en berekenwijze wordt verwezen naar paragraaf 2.3

De verwachting is dat het materieelpark in 2025 bestaat uit de materieelseries ICM, DDZ, VIRM, SLT, Flirt, SNG, ICNG en eventueel nieuw te bestellen materieel. Hierbij is tussen 2026 – 2029 de uitfasering van ICMm voorzien Zie Figuur 2.1.

De verwachting is dat het materieelpark in 2030 bestaat uit de materieelseries DDZ, VIRM, SLT, Flirt, SNG en ICNG en eventueel nieuw te bestellen materieel. Hierbij is tussen 2030 – 2032 de uitfasering van het DDZ materieel, en tussen 2034 – 2046 de uitfasering van het VIRM materieel voorzien. De SLT wordt naar huidige inzichten vanaf 2039 uitgefaseerd. De uitfasering van deze treinstellen gaat opgevangen worden door de aankoop van nieuw, nog te bestellen, materieel. De verwachting is dat NS in 2030 met ongeveer 964 treinstellen rijdt. NS international beschikt naar verwachting over ongeveer 30 treinstammen in 2030.

**Figuur 2.1: -Materieelpark 2025 en 2030 exclusief materieel van NS internationaal**

Treinstellen 2025 [#]	Treinstellen 2030 [#]	Uitfasering
ICMm 130	ICMm 0	2026- 2029
DDZ 50	DDZ 50	2030-2032
VIRM 178	VIRM 178	2034-2046
SLT 131	SLT 131	2039-2042
Flirt 64	Flirt 64	2060
SNG 118	SNG 118	2060
ICNG 79	ICNG 79	2060
Nieuw 220	Nieuw 350	
<b>Σ 970</b>	<b>Σ 970</b>	

Bron: ..NS MPP (2017)

## 2.3 Projectalternatieven

### *Uitgangspunten*

Voor zowel 3kV als 1,5kV ECO gelden de volgende uitgangspunten:

1. De aanpassing van de TEV heeft betrekking op de huidige geëlektrificeerde lijnen, afgezien van de Betuweroute en HSL.
2. Tijdens de ombouw blijft het spoorstelsel (bijv. infra, ICT) zijn functie vervullen.
3. De snelheden en aantallen treinen wijzigen niet ten opzichte van het nulalternatief.
4. Er wordt aangenomen dat de TEV 'op norm' is (robuust en voldoende capaciteit). Mocht dat niet het geval zijn, dan is aangenomen dat bijbehorende investeringen in het nulalternatief gedaan zijn.
5. Voor de periode van de ombouwperiode en migratie zullen met het Ministerie afspraken gemaakt moeten worden over de tijdelijk verminderde performance door het gebruik van spanningsluizen, aanloopproblemen van aangepaste systemen en tijdelijk verminderde beschikbaarheid van materieel door ombouw naar bi/courant.

### 2.3.1 Projectalternatief 1: 1,5kV ECO

In dit alternatief blijft de spanning gelijk aan de huidige TEV, maar worden er maatregelen genomen om het energieverlies bij het transport van elektriciteit tegen te gaan en een groter deel van de remenergie aan het net terug te geven ('recuperatie').

Uitgangspunten 1,5kV ECO:

1. Tractie-systeem van de trein wordt niet aangepast, alleen de functionaliteit van de elektrodynamische rem (ED-rem) wordt geoptimaliseerd, indien baten opwegen tegen kosten. Per treintype dient een concept integraal ontwerp te worden gemaakt om de haalbaarheid impact op kosten functionaliteit, ombouw en baten vast te stellen.
2. Niet aangepast materieel kan op 1,5 ECO systeem blijven rijden maar levert geen extra baten op ten opzichte van het nulalternatief. Er is dus alleen een kosten-baten koppeling tussen materieel en infra en geen technische afhankelijkheid.

### *Infrastructuurmaatregelen*

Koppeling van de bovenleidingen bij meersporigheid. Dit verlaagt de transportweerstand en daarmee het energieverlies. Hierdoor wordt de recuperatie efficiënter en het netverlies kleiner.

### *Materieel/Vloot NS*

Ongeveer 90% van het materieelpark is naar verwachting voorzien van ED-remmen in 2025 (DDZ, VIRM, SLT, Flirt, SNG, ICNG en nieuw materieel). Echter kan voor 25% hiervan de ED-rem nog geoptimaliseerd worden om meer recuperatie-energie terug te leveren:

- SLT, Flirt, SNG, ICNG en nieuw materieel (~ 65%): naar verwachting in 2025 al voorzien van de geoptimaliseerde functionaliteit van de ED-rem. Door de aanpassingen in de infra, wordt recuperatie efficiënter.
- DDZ en VIRM (~ 25%): Het is nu nog onbekend of de ED-rem van DDZ al preferent is. De DDM is later toegevoegd waardoor het mogelijk voorzien is van benodigde rembesturing. Ook de VIRM kan nog geoptimaliseerd worden om meer recuperatie-energie terug te leveren. Hiervoor dient het remsysteem te worden aangepast of een geheel nieuw remsysteem te worden ingebouwd. De kosten voor de ombouw van DDZ en VIRM wegen naar verwachting niet op tegen de extra baten tot uitstroming materieel, waardoor naar verwachting niet alle energiebesparingen behaald kunnen worden.

Voor ongeveer 10% van het materieelpark (ICM) is een ED-rem niet mogelijk, omdat de chopperinstallatie van ICM niet kan terugvoeden en daardoor een geheel nieuwe

chopperinstallatie vereist is. Ombouw is niet wenselijk door hoge verwachte ombouwkosten en de korte restlevensduur van ICM.

Bovenstaande inschattingen zijn echter eerste inzichten en per treintype dient een concept integraal ontwerp te worden gemaakt om de haalbaarheid en impact op haalbaarheid kosten, functionaliteit en ombouw vast te stellen. Daarom wordt er in deze MKBA vanuit gegaan dat (ICM daargelaten) 100% van bovengenoemde extra recuperatie-energie behaald kan worden met de materieelvloot in 2025. De mogelijk gemiste extra baten ten opzichte van het nulalternatief zullen naar verwachting beperkt zijn doordat DDZ al in 2030 uitstroomt en VIRM en DDZ, hoewel niet geoptimaliseerd, wel energie recupereren.

#### *Migratie*

Er is naar verwachting 3 jaar nodig om de infraombouw uit te voeren. Uitgegaan wordt van transitie vanaf 2022.

#### *Alternatieve energiebesparende infrastructuurmaatregelen*

Een aantal andere energiebesparende inframaatregelen is om diverse redenen niet sec toepasbaar op 3kV en zijn meer algemeen van aard en daarom niet in dit alternatief opgenomen (Harve, 2012); zie voor een samenvatting Bijlage 2).

De maatregelen zijn niet allemaal uitgewerkt op haalbaarheid. Complexiteit is dat de geïntariseerde maatregelen niet complementair zijn en van toepassing onder bepaalde lokale condities. Er is derhalve geen sprake van 1 maatregel die landelijke uitgevoerd kan worden).

### **2.3.2 Projectalternatief 2: 3kV**

In dit projectalternatief worden eerst alle onderstations omschakelbaar en treinen bicourant gemaakt. Dit betekent dat de treinen zowel onder de huidige 1,5kV spanning als de nieuwe 3kV spanning moeten kunnen functioneren en er geen 'deelparken' ontstaan die het voor NS complex maken de materieelinzet te optimaliseren. De onderstations kunnen per deelgebied binnen een weekend omgeschakeld worden. Hierbij zullen tussen deelgebieden wel tijdelijke spanningssluzen aangelegd moeten worden. Op deze manier kan het systeem tijdens de ombouw blijven functioneren en kan tijdens de migratie op beide spanningen gereden worden.

#### *Infrastructuurmaatregelen*

Er zijn diverse opties om de onderstations ('tractiegroepen') voor een dubbele spanning geschikt te maken. Ook zijn er diverse ombouwvarianten onderling vergeleken. Op basis van de analyse van ProRail (ProRail, 2014) is als voorkeursvariant de optie met nieuwe tractiegroepen aangedragen, waarbij twee 1,5kV groepen omgebouwd worden tot één 3kV groep. Voor PHS baanvakken geldt dat beide tractiegroepen behouden blijven, maar dat deze 3kV worden. Naar verwachting zal het ombouwen van de infra ~10 jaar in beslag nemen. Het koppelen van bovenleidingen (zoals in het 1,5kV ECO alternatief) heeft bij een spanning van 3kV geen groot effect meer en maakt geen onderdeel uit van dit alternatief. In Bijlage 3 zijn de ombouwvarianten voor de infrastructuur en opties nader toegelicht.

#### *Materieelvloot NS*

Uitgangspunten voor ombouw materieel voor 3kV:

1. Bestaande materieelvloot tot en met ICNG ombouwen naar bicourante treinen (zie Figuur 2.1)
2. Huidige tractie-installatie blijft gehandhaafd dus geen volledige optimalisatie naar 3kV

3. Treinen blijven bicourant tot einde levensduur
4. Baanvaknelheid van 140km/uur, net als bij MKBA van ERTMS
5. Nieuw aan te schaffen materieel (<2030) moet bicourant gespecificeerd zijn
6. Per treintype dient een concept integraal ontwerp te worden gemaakt om de haalbaarheid en impact op haalbaarheid kosten, functionaliteit en ombouw vast te stellen.

Het materieel van NS (excl. NS internationaal) bestaat in 2030 uit minimaal 6 materieelseries afkomstig van verschillende fabrikanten. Het ontwerp van deze materieelseries verschilt onderling. Daarom zal de ombouw van de tractie-installatie voor iedere materieelserie apart uitgewerkt moeten worden en dient er per treintype een concept integraal ontwerp gemaakt te worden. In dit geval zal er per treintype dienen te worden uitgewerkt hoe de aangepaste tractie-installatie in de trein geïntegreerd wordt en de bijbehorende impact op haalbaarheid binnen nieuwe toelatingseisen, kosten, functionaliteit en baten vast te stellen. Bicourant maken van het materieelpark vertaalt zich, in samenspraak met de betreffende fabrikant, op hoofdlijnen in de volgende werkzaamheden:

1. Aapassen van het ontwerp van hoogspanning en omvormer inclusief koeling
2. Integreren van bovenstaande systemen in de trein waarbij eventuele bestaande functionaliteit van de trein geraakt kan worden
3. Testen en opnieuw toelaten tegen actueel toetskader
4. Onttrekken van materieel in verband met testen en ombouw

De treinen van NS international hoeven naar verwachting niet 3kV geschikt gemaakt te worden en zijn daarom ook niet meegenomen in de kostenberekening. Deze treinen zijn wel meegenomen bij het berekenen van de baten.

Er zijn diverse opties om treinen om te bouwen naar bicourant materieel. Zie 0 voor een overzicht met gedetailleerdere uitgangspunten voor de materieelombouw. Een integrale impactanalyse op toetsingskader / haalbaarheid is echter noodzakelijk.

### *Migratie*

Er zijn diverse mogelijkheden om de migratie uit te voeren, zie Bijlage 4. De uiteindelijke planning dient nog gemaakt te worden, maar uitgangspunt voor deze MKBA is dat de transitie vanaf 2030 plaatsvindt.

Het is niet mogelijk om in één keer in het gehele land om te schakelen. Uit de analyse van ProRail (ProRail, 2014) blijkt dat dit volgens de huidige inzichten het best in 12 fasen (met elke keer zo'n 20-25 onderstations) kan gebeuren. Dit omschakelplan is toegelicht in Bijlage 4. Bij de uiteindelijke implementatie dient dit uiteraard nader bekeken te worden, ook in samenhang met andere projecten, zoals PHS en ERTMS.

Tijdens weekenden wordt de infrastructuur in één van de 12 gebieden omgeschakeld naar 3kV spanning. Tussen gebieden met de oude en nieuwe spanning worden tijdelijke spanningsluizen gerealiseerd. Op deze manier kan tijdens de migratieperiode al het materieel in het gehele land rijden en kan de dienstregeling gewoon gereden worden. Het gebruik van spanningsluizen kan gevolgen hebben voor de punctualiteit en uitval van treinen. Deze situatie doet zich voor gedurende de migratieperiode. De totale omschakeling zal ongeveer anderhalf jaar in beslag zal nemen. Het is echter nog onduidelijk welke handelingen rijdend personeel moet verrichten tijdens een spanningstransitie (in de spanningsluizen) en welke impact en risico's op de vervoersprestatie dit met zich meebrengt.

### 3 Risico's en samenhang met andere projecten

In dit hoofdstuk volgt een inventarisatie van de grootste risico's bij het realiseren van de alternatieven 3kV en 1,5kV ECO, die zijn verkend in een gezamenlijke workshop met experts van ProRail en NS. Vervolgens worden maatregelen besproken om deze risico's te mitigeren. Voor meer details wordt verwezen naar Bijlage 4 en de referenties: NS Risicoanalyse 3kV en 1,5kV ECO (NS, 2017) en ProRail migratiestudie (ProRail, 2014). Tot slot wordt dieper ingegaan op de samenhang met andere projecten en programma's, op basis van workshops in 2017 met experts van ProRail, NS en I&M.

De risico's die hier zijn geïdentificeerd zijn niet gekwantificeerd als onderdeel van de MKBA. Daarmee is de impact van de genoemde risico's op de kosten en baten van de verschillende oplossingsrichtingen op voorhand niet aan te geven. Dit is als een PM post in paragraaf 5.7 opgenomen bij Programmakosten. Het kwantificeren van risico's dient in een vervolgfase nader beschouwd te worden.

#### 3.1 Kwalitatieve verkenning van de meest kritische risico's

##### *Transitie naar 1,5kV ECO*

De risico's van het 1,5kV ECO alternatief zijn minder groot dan bij ombouw naar 3 kV en zijn daarom minder diepgaand geanalyseerd. Het grootste risico dat vooralsnog is vastgesteld is het risico van uitloop van nachtelijke buitendienststellingen. Baanvakken worden buiten dienst gesteld voor aanpassingen en er bestaat altijd een kans op uitloop van werkzaamheden.

##### *Transitie naar 3kV*

De overgang naar 3kV betreft een migratie van aanzienlijke omvang, zowel met betrekking tot treinen als infra. Door experts zijn hierbij als grootste risico's vastgesteld:

1. Tekort aan materieel: gedurende de ombouw is een aantal treinen permanent onttrokken aan de reguliere dienst.
2. Geen of te late toelating van materieel: vanwege mogelijke overschrijding van de aslast door toevoeging componenten en toename van max. aantal passagiers per m<sup>2</sup> en nieuwe toelating omdat oud materieel moet voldoen aan de strengere eisen van nu.
3. Verminderde operationele performance:
  - a. uitval en storingen door spanningsluizen: verkeerde plaatsing of bedieningsfouten;
  - b. zitplaatsreductie door toevoeging massa/ruimte; oud materieel blijft bicourant waardoor reductie in zitplaatsen blijvend is tot einde levensduur;
  - c. tijdelijk punctualiteitsverlies onder 1,5kV tijdens ombouw: extra massa van bicourante treinen leidt tot een lagere aanzetversnelling, remvertraging en max. snelheid kan niet of later gehaald worden wat gevolgen heeft voor de dienstregeling;
  - d. uitval van treinen door verminderde betrouwbaarheid, kinderziektes, ontwerpfouten en mogelijk beperkte praktijktestmogelijkheden.
4. Beperkte resources en absorptievermogen organisaties: vooral kennis van elektrotechniek is schaars, zowel bij ProRail en NS als op de markt. Voor technisch uitdagende projecten wordt gevist in dezelfde vijver. Daarnaast hebben organisaties moeite met teveel veranderingen tegelijkertijd.
5. Interfaces met andere projecten en systemen: vooral van toepassing bij gelijktijdige ombouw in het materieel. Systemen kunnen elkaar wederzijds nadelig beïnvloeden, hierdoor is extra kans op kinderziektes en complexe situatie voor de machinist indien de omschakelfase gelijk valt met implementatie van bijvoorbeeld ERTMS. Zie ook

paragraaf 3.3 voor een beschrijving van grote projecten en programma's die mogelijk gelijktijdig lopen.

6. Afhankelijkheid van vele stakeholders: voornamelijk overige vervoerders en materieelleveranciers. Het ombouwen van materieel moet door dezelfde leverancier gebeuren, want anders vervalt de productaansprakelijkheid. Er kan natuurlijk ook de keus gemaakt worden om deze productaansprakelijkheid bewust te laten vervallen, wat wel enkele risico's met zich meebrengt.
7. Overschrijding geluidsemissienormen op emplacementen: extra geluidsemissie door plaatsing van koelingselementen en omvormers in bicourante treinen.

### 3.2 Risicobeheersing

Risicobeheersing dient over het algemeen plaats te vinden door zorgvuldig voorbereiden en plannen, tijdig testen van componenten en integrale systemen, tijdige opleidingsplannen en oefeningen zoals omschakeloefeningen.

Beheersmaatregelen die in kaart zijn gebracht voor de grootste risico's van 3kV zijn:

1. Beperkte beschikbaarheid materieel: geleidelijk langer ombouwen of tijdig extra bicourante inzetten of rijden met deelparken. Deze maatregelen hebben consequenties voor logistiek, bereikbaarheid van de werkplaatsen en machinisten.
2. Geen of te late toelating: een aantal maatregelen zijn: tijdig verkennen en starten met voorbereiden van het materieeltoelatingsdossier; eerder nieuw materieel bicourant laten uitvoeren – voor de HCT is besluit voor 1 maart 2018 noodzakelijk; hogere aslasten tijdelijk toestaan.
3. Verminderde performance:
  - a. uitval en storingen door spanningsluizen: omschakelplan infra laten aansluiten op de materieelomloop o.a. door goed onderzoek m.b.t. logische plaatsing/waar mogelijk automatiseren of operatie waarbij geen spanningsluizen gepasseerd hoeven te worden door deelparken;
  - b. zitplaatsreductie: hogere aslasten toestaan door ProRail of meer treinstellen aanschaffen;
  - c. tijdelijk punctualiteitsverlies: buffers dienstregeling tijdelijk iets verruimen, wat leidt tot capaciteitsverlies
  - d. verminderde betrouwbaarheid: RAMS specificeren en voldoende testen.

Algemeen: verwachtingen managen en afspraken maken met concessieverlener, nieuw te bestellen materieel optimaliseren voor 3kV en slechts deel materieelpark bicourant maken en rest over op 3kV na uitfasering.
4. Beperkte resources en absorptievermogen organisaties: prioriteren van projecten door portfolioboard; extra kennis werven en opleiden.
5. Interfaces met andere projecten: technische eisen zoals EMC en immuniteit specificeren, de eisen valideren en goede afstemming met andere projecten.
6. Afhankelijkheid van vele stakeholders: voornamelijk overige vervoerders en materieelleveranciers. Maatregelen: alleen nieuw materieel op 3kV en eerder afschrijven oud materieel.
7. Te hoge geluidsemissie op opstelrein: geluid beperkende maatregelen, meer opstelrein creëren, afstemmen met partijen buiten project en aanvragen wijziging vergunning.

In hoeverre genoemde beheersmaatregelen uitvoerbaar zijn, zal moeten blijken op basis van gedetailleerde uitwerking. Ook dienen de kans van optreden, impact en kosten van beheersmaatregelen verder in kaart te worden gebracht tijdens de validatiefase.



ProRail en NS zien op dit moment geen blokkerende technische of RAMSHE risico's met betrekking tot de ombouw naar 3kV. Echter, het toevoegen van extra 3kV componenten en eventueel optimaliseren van huidige treinen kan een negatieve invloed hebben op de huidige RAMSHE prestaties. RAMSHE gevolgen voor prestaties zullen in de validatiefase verder uitgezocht moeten worden.

### 3.3 Nadere verkenning samenhang met andere projecten en programma's

Het aanpassen van de TEV heeft invloed op het gehele railnetwerk. Er loopt tegelijkertijd een aantal andere projecten en programma's, waardoor er tal van raakvlakken zijn. Hierdoor kan er enerzijds mogelijk synergie ontstaan doordat wellicht werkzaamheden tegelijkertijd kunnen worden uitgevoerd. Anderzijds kan het de uitvoering ook gecompliceerder maken.

Naast vele kleinere projecten en initiatieven zijn er twee grote projecten. In de eerste plaats betreft dit het Programma Hoogfrequent Spoor (Ministerie van VenW, 2010). Doel van dit project is op de belangrijkste corridors in en van/naar de Randstad het zogeheten spoorboekloos rijden te introduceren voor het reizigersvervoer met 6 Intercity's en 6 sprinters per uur, het goederenvervoer te concentreren en de groei daarvan te accommoderen. Ten tweede is voorzien het Europese beveiligingssysteem ERTMS in te voeren. De realisatie van beide projecten heeft de komende jaren een belangrijke invloed op het spoor en resulteert in tal van grotere en kleinere investeringsprojecten en aanpassingen in zowel de infrastructuur als het materieel.

In hetzelfde jaar hebben ProRail en NS de studie 'Beter en Meer' (ProRail en NS, 2014) opgesteld die een voorstel voor de operationele uitwerking van de LTSA vormt voor de eerste jaren. Dit plan bevat het voorstel voor de invoering van 3kV in combinatie met ERTMS, met als primair doel capaciteit voor de intensievere PHS-dienstregeling te realiseren.

Om deze complexiteit van tegelijkertijd lopende projecten nader te verkennen is een vijftal workshops georganiseerd, waarbij experts en vertegenwoordigers zijn uitgenodigd van het Ministerie van IenM, ProRail en NS. Het betreft de volgende workshops:

1. Synergie 3kV met PHS en Beter & Meer
2. 3kV en het langetermijnperspectief (Toekomstbeeld OV, Overstappen naar 2040, 2016)
3. 3kV in relatie tot de BOV-reeksen (Beheer, Onderhoud, Vervanging)
4. 3kV en de compatibiliteit met andere technische systemen
5. Overall samenvattende workshop

Uit de workshops is gebleken dat de raakvlakken met 1,5kV ECO waarschijnlijk beperkt zijn. Er is geen ombouw van treinen nodig (aangezien ED-rem niet wordt geoptimaliseerd voor recuperatie energie) en er zijn geen tijdelijke spanningssluizen nodig. Er wordt in het navolgende dan ook vooral naar 3kV gekeken. De belangrijkste bevindingen zijn hieronder samengevat.

In verband met Programma Hoogfrequent Spoorvervoer (PHS) en ERTMS zijn er de volgende aandachtspunten.

#### *Migratie en planning PHS*

In verband met PHS en ERTMS zijn er twee aandachtspunten:

1. Synergie met PHS is beperkt mogelijk omdat een groot deel van de PHS-werkzaamheden al gerealiseerd zijn als begonnen wordt met de ombouw naar 3kV. Wellicht zijn er voor 1,5kV ECO wel kansen om werk parallel te laten lopen, omdat dit alternatief op een eerder moment gerealiseerd kan worden.

2. Voor ERTMS geldt dat in de huidige planning rond 2028 grofweg de Randstad minus de regio Rotterdam overgegaan is op ERTMS. Na 2028 is een verdere overgang voorzien, maar hiertoe is nog niet besloten.

Het overgrote deel van het materieel wordt tot 2024 omgebouwd voor ERTMS. Omdat eventuele besluitvorming tot implementatie van 3kV nog op zich laat wachten, kan er wellicht in de laatste jaren sprake zijn van synergie bij de ombouw – maar dit is in praktijk beperkt. Verwacht wordt dat de ombouw van 3kV in 2022 pas start. Extra complicerende factor is dat er slechts een beperkte hoeveelheid deskundig personeel beschikbaar is. Voornamelijk ERTMS en 3kV doen veelal een beroep op hetzelfde type schaarse expertise. In de planning is het van belang hiermee rekening te houden.

Bij de migratie is het wel van belang met ERTMS rekening te houden – het lijkt vooral onwenselijk ERTMS-transitiepunten en tijdelijke (alleen tijdens de migratieperiode) spanningsluizen van 3kV dicht bij elkaar te plannen.

#### *Compatibiliteit met andere systemen*

Zoals ook al kort aangestipt bij de mitigerende maatregelen, is het van belang in praktijkproeven te testen of een veranderde spanning andere systemen (zoals ATB of GRS) beïnvloedt. Het aantonen van goede elektromagnetische compatibiliteit (EMC) met andere systemen, vooral treinbeveiliging, is onderdeel van het benodigde dossier. Daar moet dus in tijd en budget rekening mee gehouden worden. Ook een nieuwe toelating van ILT zal onderdeel zijn van de invoering van omgebouwde treinen en infra (TSI's e.d.).

#### *Beheer en onderhoud infrastructuur*

Er is via de zogeheten BOV-reeksen (Beheer-, Onderhouds- en Vervangingsreeksen) budget gereserveerd voor de TEV. De beheer- en onderhoudskosten zijn hierbij beperkt, maar bij de vervanging kan het gaan om een substantieel bedrag. Als 3kV gerealiseerd wordt, zijn deze vervangingen deels niet nodig.

Verder is van belang dat de TEV niet overal 'op norm' is, hoewel nog niet duidelijk is in welke mate dit het geval is. Eventuele noodzakelijke investeringen hiertoe kunnen wellicht voorkomen worden als 3kV gerealiseerd wordt.

## 4 Kosten en baten: algemene uitgangspunten en berekeningswijze

Na het vaststellen van het nulalternatief en de projectalternatieven en het benoemen van de grootste risico's, kunnen nu de kosten en baten in beeld worden gebracht. Eerst worden de uitgangspunten en berekeningswijzen toegelicht. Vervolgens wordt ingegaan op de investeringskosten, de beheer- en exploitatiekosten en daarna worden de baten besproken. In de hoofdtekst worden de effecten en berekeningswijze beknopt behandeld. Waar relevant zijn gebruikte kentallen en berekeningswijzen in de bijlagen nader toegelicht.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de berekening van de kosten en baten:

1. Bij 1,5kV ECO is ervan uitgegaan dat de realisatie in drie jaar plaatsvindt, in de periode 2022-2024. Bij 3kV is ervan uitgegaan dat de ombouw van infra en materieel 10 jaar in beslag neemt (2020-2029), waarna er een migratieperiode plaatsvindt in 2030 en de eerste helft van 2031. In deze migratieperiode is er een geleidelijke ingroei van de baten aangenomen (in 2030 30%, in 2031 80%).
2. De kosten en baten zijn opgenomen inclusief BTW, conform voorschrift. Om de kosten inclusief BTW te bepalen, is uitgegaan van een gemiddeld BTW percentage van 18,5%. Dit is in het verleden bepaald als gewogen gemiddeld BTW percentage indien de kosten exclusief BTW bepaald zijn. Om te komen tot het prijspeil 2016 zijn de kosten met het inflatiepercentage van 0,3% opgehoogd.
3. Conform voorschrift is er in de berekeningen uitgegaan van een vast prijspeil. Alle kosten en baten zijn omgerekend naar het prijspeil 2017.

### Het hoge en lage scenario

*CPB en PBL (2015) hebben twee scenario's ontwikkeld voor de zichtjaren 2030 en 2050. Dit zijn consistente scenario's voor de gehele fysieke leefomgeving: regionale ontwikkelingen, mobiliteit, klimaat en energie, en landbouw. Deze scenario's zijn 'beleidsarm': er wordt aangenomen dat het huidige beleid voortgezet wordt en er wordt rekening gehouden met projecten waartoe reeds besloten is.*

*Als basis wordt een consistente 'macro omgeving' geschetst, met onder meer demografische en economische ontwikkelingen op wereld-, Europese, nationale en regionale schaal. Hierbij worden consistente aannames gedaan over tal van aspecten zoals de ontwikkeling van de wereldhandel, innovaties en het reizigersgedrag.*

*In het hoge scenario wordt uitgegaan van een gemiddelde economische groei van rond de 2% en een relatief sterke bevolkingsgroei. Voor het spoorvervoer is er sprake van een groei van het personenvervoer (reizigerskilometers) van 32% in 2030 en 42% in 2050 ten opzichte van 2010. Het goederenvervoer stijgt met 43% in 2030 en 122% in 2050.*

*Het lage scenario combineert een lagere economische groei (1% gemiddeld) met een lage bevolkingstoename. Het aantal reizigerskilometers stijgt met 26% tot 2030 en neemt daarna licht af. Het goederenvervoer stijgt met 28% in 2030 en 61% tot 2050.*

*In de MKBA worden de effecten onder beide scenario's doorgerekend. De scenario's hebben effect op diverse batenposten. De reistijdwinsten variëren door de andere aantallen reizigers, maar ook doordat de tijdwaardering zich anders ontwikkelt. Ook zijn de energieprijzen anders in de scenario's, evenals de waardering van de afname van de CO<sub>2</sub>-emissies.*

4. De technische levensduur van de energiesystemen is 40 jaar. Omdat het goed mogelijk is dat er tegen die tijd nieuwe technologieën zijn, is er zekerheidshalve voor gekozen de looptijd van de MKBA tot die tijd te beperken. De baten zijn dus doorgerekend tot en met 2070.
5. De baten zijn berekend onder het hoge en lage WLO-scenario van de planbureaus (CPB en PBL, 2015) conform voorschrift. Gegeven de aard van dit project en de nog beperkte uitwerking van deze scenario's voor het spoor zijn er diverse aannames gedaan, die bij de effecten verder worden toegelicht.
6. De kosten en baten worden via de netto-contante waarde (NCW) methode teruggerekend naar 2020, het eerste jaar waarin aangenomen is dat de investering gedaan wordt. Zie onderstaande tekst box voor een nadere toelichting.
7. De gehanteerde discontovoet (= het gewenste rendement) is 4,5% conform het door het kabinet overgenomen advies van de Werkgroep Discontovoet (Werkgroep Discontovoet, 2015) voor investeringen in publieke infrastructuur met relatief hoge investeringskosten. Conform het advies wordt deze discontovoet toegepast op alle kosten- en batenposten. Voorheen gold voor projecten met als doel een lange termijn duurzaamheidseffect een lagere discontovoet voor posten als CO<sub>2</sub>-emissies. Met het recente advies is deze lagere discontovoet vervallen, maar wordt als compensatie gerekend met een jaarlijkse stijging van de waardering van CO<sub>2</sub>-emissies (zie de desbetreffende paragraaf).
8. De kosten- en batenbedragen opgenomen in de tabellen in deze MKBA zijn afgerond op een veelvoud van 5 miljoen euro.
9. De kosten van het ombouwen en omschakelen van de infra naar 3 kV zijn met een nauwkeurigheid van 20 % bepaald. Hierbij zijn niet opgenomen de ombouwkosten van onderstations die geplaatst worden agv invoering PHS of andere functiewijzigingen. Voor de kosten van ombouw van materieel is met een vaste bandbreedte gerekend voor het hele materieelpark. Marktconsultaties moeten gaan plaatsvinden in een validatiefase. De verwachting is dat er nog optimalisaties kunnen volgen.

#### **Wat is de contante waarde?**

*De MKBA presenteert geldbedragen als contante waarde. De effecten worden in de tijd uitgezet en in geld uitgedrukt. Hierbij wordt geen rekening gehouden met eventuele inflatie: er wordt gerekend met een vast prijspeil.*

*Om de contante waarde te berekenen worden deze bedragen bij elkaar opgeteld. Bedragen verder in de tijd tellen minder zwaar mee. Daarom worden deze verlaagd met de discontovoet van 4,5% (per jaar). Deze discontovoet is te vergelijken met rente. Een bedrag van 100 euro in jaar 2 is in jaar 1 (afgerond) 95,5 euro waard als er op dit bedrag 4,5% rente verdiend wordt. Een bedrag van 100 euro in jaar 3 is minder dan 91 euro waard.*

*Dit betekent bijvoorbeeld voor de investeringskosten dat de contante waarde (die in de MKBA-tabel staat) lager is dan het nominale investeringsbedrag.*

*Op deze manier bepaalt de MKBA of het gewenste rendement op de investering behaald wordt. Als er een rendement van 4,5% is, komt het saldo op '0' uit en de baten-kostenverhouding op 1,0. Als het rendement op de investering hoger is, wordt de MKBA-uitkomst positief. Bij een lager rendement wordt de MKBA-uitkomst negatief.*

## 5 Kosten

### 5.1 Infrastructuur

De NCW kosten van het 1,5kV ECO alternatief zijn geraamd op 104 miljoen euro, inclusief buitendienststellingen en BTW. Deze raming is gebaseerd op de inschatting rond de voorgestelde pilot 'Slim Schakelen' (KEMA, 2010), waarvan de kosten geëxtrapoleerd zijn voor een landelijke uitrol. De raming van de pilot is destijds getoetst door ProRail AKI. Er is naar verwachting drie jaar nodig om het project uit te voeren – de kosten zijn gelijkmatig verdeeld over drie jaar vanaf 2022. In NCW-termen levert dit een bedrag op van 90 miljoen euro.

Voor het 3kV alternatief zijn de geraamde NCW kosten 450 miljoen euro, inclusief buitendienststellingen en BTW. Deze investeringen worden gedaan in een periode van 10 jaar, waarbij de kosten gelijk verdeeld zijn over deze jaren. In NCW-termen levert dit een bedrag op van 370 miljoen euro inclusief BTW. In Bijlage 5 zijn de kostenramingen voor de infrastructuur nader toegelicht, hierin zijn de kosten voor buitendienststellingen niet meegenomen.

### 5.2 Vermeden investeringen

Op dit moment is de TEV niet in het gehele netwerk 'op norm', wat betekent dat er investeringen gedaan zouden moeten worden om het systeem weer aan de normen te laten voldoen. Het is op dit moment niet bekend in hoeverre dit het geval is en of er budget gereserveerd wordt om dit te realiseren. Realisatie van 3kV zou een deel van deze investeringen wellicht onnodig kunnen maken.

In het nulalternatief wordt verder 121 miljoen euro (inclusief BTW) geïnvesteerd om de energievoorziening dusdanig aan te passen dat de intensievere PHS-dienstregeling gereden kan worden. Het zou kunnen dat vanwege de relatief korte overbruggingstijd bepaalde investeringen in het TEV niet gedaan hoeven te worden. Of dit het geval is, is nu niet aan te geven, daarom zijn eventueel te vermijden investeringen in de MKBA als PM post meegenomen.

### 5.3 Materieel NS

#### 3kV

Er is een bandbreedte opgenomen voor de kostenindicatie van de ombouw van het materieel voor 3kV omdat er per materieelserie nog geen integraal concept ontwerp is voor de ombouw naar bicourante functionaliteit. Kosten zijn daarom geschat o.b.v. een aantal invalshoeken zoals een eerdere studie voor ombouw van VIRM op HSL (ombouw 1,5kV/25kV en inbouw ERTMS) in 2013, een meerprijs voor de ICNG voor 1,5kV/3kV/25kV op basis van een tender in het voorjaar van 2016 en beperkte marktconsultatie.

Het ontwerp van de verschillende materieelseries verschilt onderling. Daarom zal de ombouw van de tractie-installatie voor iedere materieelserie apart uitgewerkt moeten worden. Zie Hoofdstuk 2.3 en Bijlage 9 voor een overzicht met uitgangspunten voor de materieelombouw. Een integrale impactanalyse op toetsingskader en haalbaarheid is ook noodzakelijk.

De kosten voor de ombouw van het materieel voor 3kV van NS zijn geschat tussen 0,8 –1,2 miljoen euro per treinstel voor 614 treinstellen. In 2030 zullen ongeveer 350 extra treinstellen besteld zijn, waarvoor de meerprijs voor bestellen van bicourant materieel geschat is op ongeveer 600 duizend euro. In totaal bedragen de geschatte investeringskosten in materieel in NCW-termen tussen 695 – 940 miljoen euro inclusief BTW (18,5%).

#### *1,5kV ECO*

Materieelkosten voor 1,5kV ECO zijn geschat op 0 euro omdat ~65% van materieel al beschikt over geoptimaliseerde ED-remmen om volledige recuperatie-baten te behalen in 2025. Ongeveer 35% van de vloot beschikt nog niet over geoptimaliseerde remmen, maar de kosten voor het maken van de aanpassingen wegen niet op tegen de extra baten. Daarom zullen geen aanpassingen worden gemaakt aan het materieel (voor meer informatie over uitgangspunten wordt verwezen naar Hoofdstuk 2.3).

#### **5.4 Materieel regionale vervoerders en goederenmaterieel**

##### *3kV materieel regioliijnen en goederenmaterieel*

De voorlopige kostenraming voor de ombouw van het materieel voor 3kV voor regionale vervoerders bedraagt 40 miljoen euro, exclusief BTW. Deze schatting is gebaseerd op 33 stuk Stadler GTW en 8 stuks Protos (MKBA 2015). De kosten zijn exclusief onttrekkingskosten.

De kostenraming voor de ombouw van het materieel voor 3kV voor goederenmaterieel bedraagt 25 miljoen euro, exclusief BTW.

In totaal bedragen de geschatte investeringskosten in materieel voor regionale vervoerders en goederenmaterieel in NCW-termen 65 miljoen euro inclusief BTW.

##### *1,5kV ECO*

Ook bij dit materieel wordt ervan uitgegaan dat de opbrengsten van eventueel ombouwen niet opwegen tegen de opbrengsten.

#### **5.5 Beheer, onderhoud, exploitatie infra, regionale vervoerders en goederenmaterieel**

Bij 1,5kV ECO levert dit 15 miljoen euro (NCW) aan kosten op voor de infrastructuur. Er zijn geen extra B&O kosten voor regionale vervoerders en goederen voorzien voor 1,5kV ECO.

Er is geen expliciete raming gemaakt van de extra beheer-, onderhouds- en exploitatiekosten. In de MKBA van 2015 is ervan uitgegaan dat deze kosten 1% bedragen van de investeringskosten per jaar, bij zowel de infrastructuur als het materieel voor regionale vervoerders en goederenmaterieel vanaf respectievelijk 2025 en 2031.

De NCW voor de B&O kosten van 3kV voor het materieel van regionale vervoerders en goederenmaterieel bedraagt 10 miljoen euro.

Bij 3kV is 40 miljoen euro opgenomen voor B&O van de infrastructuur. In deze NCW berekening is de nominale besparing van 21 miljoen euro opgenomen, want bij 3kV is aangenomen dat in de periode 2020-2029 de helft van de voorziene vervanging van relevante TEV-onderdelen niet plaatsvindt, maar dat er maatregelen genomen worden die de levensduur verlengen.

#### **5.6 Beheer, onderhoud NS**

Er is ook geen expliciete raming gemaakt van de extra beheer- en onderhoudskosten voor NS, maar er is uitgegaan van de onderhoudskosten van de huidige vloot en op basis van het huidige inzetmodel. Deze kosten bedragen 5% van de investeringskosten per jaar vanaf 2031; ongeveer 40 - 55 miljoen euro per jaar.

Aangezien materieel tussen 2030 en 2070 (bijv. VIRM, SLT) uitstroomt, en zal worden vervangen door nieuw mono courant materieel, zijn de extra beheer-, onderhouds- en exploitatiekosten voor deze materieelseries nihil.

Er is daarom voor de kostenschatting uitgegaan van 96% van de kosten in 2031-2040, ongeveer 69% in 2040-2050 en ongeveer 43% in 2050-2017. Deze ruwe schatting van de beheer-, onderhouds- en exploitatiekosten moet echter gevalideerd worden en kan pas inzichtelijk gemaakt worden als de impact van ombouw op het materieel inzichtelijk is.

In totaal bedragen de geschatte extra beheer-, onderhouds- en exploitatiekosten voor NS in NCW-termen 390 - 525 miljoen euro inclusief BTW.

### 5.7 Programmakosten

Programmakosten zijn als PM-post meegenomen in de kosten. Deze kosten omvatten onder andere de organisatiekosten van het programma, de mogelijke kosten voor onttrekking van materieel voor ombouw en andere kosten van risico's die ten gevolge van de migratie naar 3kV kunnen optreden.

### 5.8 Conclusie

De hierboven genoemde bedragen zijn samengevat in onderstaande tabel. In totaal bedragen de kosten van het 1,5kV ECO alternatief 105 miljoen euro (NCW) en bedragen de kosten van het 3kV alternatief tussen EUR 1.570 – EUR 1.950 miljoen euro. Bij 3kV is mogelijk sprake van vermeden investeringen, afhankelijk van de planning van zowel dit project als de realisatie en invoering van PHS.

Kostenberekeningen zijn gedaan op basis van uitgangspunten genoemd in Hoofdstuk 2. NS en ProRail dienen elk nog een eigen business case te maken voor de berekening van de daadwerkelijke opbrengsten en kosten.

Tabel 5.1 Investerings- en B&O kosten (CW 2020, prijspeil 2017, mln. €)

	1,5kV ECO	3kV
<i>Investeringen</i>		
Infrastructuur	90	370
Vermeden investeringen	-	PM
Programmakosten	PM	PM
Materieel NS	-	695- 940
Materieel overige vervoerders	-	65
<i>Beheer en onderhoud</i>		
Materieel NS	-	390 – 525
Materieel overige vervoerders	-	10
Infrastructuur	15	40
<b>Totaal</b>	<b>105</b>	<b>1.570 – 1.950 + PM</b>

## 6 Baten

De baten van een verbeterde TEV zijn onderverdeeld in drie subcategorieën: rijtijdwinst en daardoor reistijdwinst (paragraaf 6.1), energiebesparing (paragraaf 6.2) en niet-gekwantificeerde effecten (paragraaf 6.3). De rijtijdwinst heeft betrekking op de voordelen die ontstaan omdat treinen met reizigers eerder op de plaats van bestemming kunnen komen. De energiebesparingen vloeien voort uit het feit dat er minder energie verloren gaat bij transport van energie en het aanzetten van de treinen. De niet-gekwantificeerde effecten kunnen afgeleiden zijn van voorgaande twee categorieën, maar zijn slechts kwalitatief omschreven in deze MKBA en daarom in een aparte categorie benoemd. Deze niet-gekwantificeerde baten zijn: grotere treindichtheid mogelijk, meer rijtijdwinst door sneller SLT materieel, reistijdwinsten door minder uitbuigingen, interoperabiliteit met België, imago, betere verkrijgbaarheid materialen, rijtijdwinsten goederenvervoer en een hogere betrouwbaarheid.

### 6.1 Rijtijdwinst

Door invoering van 3kV kan sneller opgetrokken worden dan in het nulalternatief, voor het 1,5kV ECO geldt dit niet (met de huidige treinlengtes).

De rijtijdwinst hangt af van de rijtijdkenmerken van materieel (Lloyd's Register Rail, 2014) en de incasseerbaarheid in de dienstregeling. Voor dat laatste zijn simulaties en aannames gehanteerd (Railinfra Solutions, 2016). Beide componenten zullen hieronder kort toegelicht worden, een uitgebreidere uitleg is te vinden in Bijlage 6.

#### *Rijtijdkenmerken materieel*

Zoals aangegeven zijn de rijtijdkenmerken voor iedere materieelsoort verschillend omdat materieeltypes verschillend presteren onder 3kV. Dit komt doordat:

1. de huidige materieeltypes ontworpen zijn voor 1,5kV en de toename in prestatie afhankelijk is van hoe de materieeltypes precies gebouwd zijn voor 1,5kV door bijvoorbeeld begrensd vermogen of minder aangedreven draaistellen
2. mogelijke beperkingen in de technische en fysieke mogelijkheden bij de ombouw van mono courant materieel naar bicourant materieel beperkend kunnen zijn.

In de berekeningen, toegelicht in Bijlage 6, is een grove afspiegeling van de Nederlandse materieelvloot gebruikt om deze verschillende rijtijdkenmerken goed in beeld te brengen.

#### *Incasseerbaarheid in de dienstregeling*

Er worden twee types incasseerbaarheid gebruikt in dit rapport. De eerste gaat erover of snellere aanzetten ertoe leiden dat treinen sneller op hun volgende knooppuntstation zijn. Het is namelijk waarschijnlijk dat op deze knooppuntstations aansluitingen moeten worden overgenomen, inhalingen gepland staan of overkruisingen met andere treinen moeten plaatsvinden. Om dit te kunnen blijven faciliteren zal de geplande halteertijden op deze knooppuntstations soms verlengd moeten worden met de aanzetwinsten eerder behaald bij de tussengelegen stations. Aangenomen wordt dat die aanzetwinsten 100% incasseerbaar zijn tot aan de knooppuntstations en 50% over de knooppuntstations heen, bij gebrek aan beter inzicht. Deze aanname zorgt ervoor dat er bij knooppuntstations meer betrouwbaarheid ontstaat, aangezien het niet incasseerbare deel van de rijtijdwinst over knooppunten heen ten goede komt aan de buffer.

In de paragraaf over exploitatievoordelen wordt besproken of treinen ook daadwerkelijk sneller op hun eindpunt zijn en daarmee of een verhoogde materieelomloopsnelheid geïncasseerd kan worden. Om op hun eindpunt te komen moeten treinen gemiddeld gezien een aantal keer een knooppuntstation passeren (zoals Utrecht Centraal, Amersfoort of Eindhoven), waarmee



de exploitatievoordelen dus gerelateerd zijn aan het tweede type incasseerbaarheid, en er dus een incasseerbaarheid van 50% is gehanteerd. Anders verwoord, de helft van de aanzetten onder 3kV leidt er toe dat treinen ook daadwerkelijk eerder op hun eindstation zijn, de andere helft leidt slechts tot een eerdere aankomst op een tussenstation (waar de trein vervolgens langer stilstaat om de dienstregelingsstructuur maakbaar te houden).

Met de aangenomen incasseerbaarheid van 100% tot aan alle knooppuntstations is het mogelijk de jaarlijkse rijtijdwinsten te kwantificeren door het jaarlijks aantal aanzetten te vermenigvuldigen met de gemiddelde hoeveelheid seconden rijtijdwinst per aanzet, zoals weergegeven in Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Gemiddelde seconden rijtijdwinst per haltering en aantal halteringen per uur

	Aantal halteringen (per uur)	Tijdwinst per haltering (2030-2045)	Tijdwinst per haltering (2045-2070)
Regionaal elektrisch	443	1s	1s
HSL	13	9s	9s
Intercity	790	9s	9s
Sprinter buiten Randstad	352	7s	9s
Sprinter binnen Randstad	1223	4s	6s

Dit snellere optrekken leidt tot reistijdwinsten voor de passagiers, maar kan ook leiden tot exploitatievoordelen voor de vervoerder. Tevens ontstaan er mogelijkheden om zogeheten uitbuigingen in de dienstregeling ongedaan te maken. Wanneer deze rijtijdwinst niet geïncasseerd kan worden in de dienstregeling, leidt de versnelling tot een grotere buffer en dus hogere punctualiteit. In de volgende paragrafen worden deze voordelen gemonetariseerd.

#### Reistijdwinst bij PHS, ERTMS en 3kV

*Ook bij ERTMS en bij PHS worden reistijdwinsten geboekt. Het is van belang te onderkennen dat deze reistijdwinsten op een verschillende wijze tot stand komen. Doordat het om andere typen reistijdwinsten gaat, kunnen deze onafhankelijk van elkaar gerealiseerd worden.*

- *Bij ERTMS ontstaan rijtijdwinsten doordat de gemiddelde snelheid hoger wordt, en er niet meer gewerkt wordt met de relatief rigide snelheidstreden van het huidige beveiligingssysteem. Ook kunnen treinen elkaar sneller opvolgen. Daartegenover staat bij ERTMS een nadeel op knooppunten doordat het omschakelen van het systeem langer duurt als de rijrichting of treinsamenstelling verandert.*
- *Bij 3kV gaat het om het sneller kunnen optrekken van de treinen. Per haltering is er dus sprake van rijtijdwinst.*
- *Bij PHS ontstaan reistijdwinsten vooral door de hogere frequenties, waardoor wachttijden vermeden kunnen worden.*

#### 6.1.1 Reistijdwinst

De rijtijdwinst zoals gekwantificeerd in de vorige paragraaf leidt tot een kortere reistijd voor passagiers en dus een reistijdwinst welke reizen met de trein aantrekkelijker maakt. In deze paragraaf zullen deze reistijdwinsten of acceleratievoordelen voor passagiers worden gekwantificeerd, ook zullen de opbrengsten van extra reizigers in beeld gebracht worden en de indirecte effecten op de economie geschat worden.

Elke keer dat de treinen optrekken behalen de passagiers onder 3kV reistijdwinst. De verschillende type incasseerbaarheid uitgelegd in de voorgaande paragraaf (100% verondersteld tot knooppuntstations en 50% voor treinen over knooppuntstations heen) hebben ook invloed op de hoeveelheid reistijdwinst van individuele passagiers. Immers, als een passagier over een knooppuntstation heenreist, incasseert ook hij slechts 50% van de rijtijdwinst van de treinen. Dit doordat zijn trein waarschijnlijk langer dan vandaag de dag op dat knooppuntstation stilstaat om bijvoorbeeld aansluitingen te blijven garanderen of een intercity voor te laten. Aangenomen is dus dat daarmee 50% van de eerder behaalde rijtijdwinst van de trein verloren gaat. Aangezien de reistijdwinst van een reiziger hierdoor trajectafhankelijk wordt, is het in dit stadium niet mogelijk om per reiziger vast te stellen wat zijn of haar reistijdwinst is. De gemiddelde incasseerbaarheid van de reistijdwinst voor alle passagiers inschatten op 50% zou een grove onderschatting zijn aangezien veel passagiers niet over een knoop heenreizen maar slechts tot een knooppuntstation en daarmee 100% van rijtijdwinst incasseren als reistijdwinst. Een incasseerbaarheid van 100% van de rijtijdwinst lijkt een overschatting te zijn. Doordat het huidige detailniveau geen beter inzicht kan geven, en een incasseerbaarheid van 100% reëler lijkt te zijn dan 50%, is gerekend met een incasseerbaarheid van 100%. In de validatiefase, wanneer er daadwerkelijk een dienstregeling ontworpen gaat worden onder 3kV, is het mogelijk de reistijdwinst voor passagiers nauwkeuriger in te schatten.

Deze reistijdwinst, verondersteld als 100% van de rijtijdwinst, wordt gekwantificeerd op basis van de tijdwaardering van passagiers. Als basis voor de berekening is uitgegaan van het aantal stops in de PHS dienstregeling en de bezettingsgraad van treinen in 2016. Deze aantallen zijn vervolgens opgehoogd met de toename van het aantal reizigerskilometers in het hoge en lage scenario (CPB en PBL, 2015). De impliciete aanname is dan dat het aantal stops per reizigerskilometer gelijk blijft. De reistijdwaardering en de toename daarvan is berekend op basis van de gegevens van de SEE-website. Voor 2010 is de tijdwaardering 10,18 euro (prijsspeil 2017).

Door de kortere reistijden wordt het treinproduct aantrekkelijker. Hierdoor worden meer reizigers aangetrokken. Op basis van MKBA van ERTMS (MuConsult, 2014) is aangenomen dat 1,5% meer reizigers aangetrokken worden. Via de 'rule of half' leidt dit tot 0,75% aan extra baten. De berekeningen zijn nader toegelicht in Bijlage 6.

In NCW termen levert dit een reistijdwinst op van 675 miljoen in het hoge en 530 miljoen euro in het lage scenario.

Tabel 6.2 Reistijdwinsten 3kV passagiers (CW 2020, prijspeil 2017, mln. €)

	Hoog	Laag
Acceleratievoordeel	675	530

In bovenstaande acceleratievoordeelberekening is aangenomen dat alle reizigers tot een knooppuntstation reist. Echter, reizigers kunnen ook "over knopen heen" reizen. In dit geval, profiteren reizigers niet altijd van de reistijdwinst omdat de kans bestaat dat de halteertijd verlengd moet worden op de knooppuntstations om de dienstregeling structuur (bijv. aansluitingen) maakbaar te houden. In de batenberekening van exploitatievoordeel wordt gerekend met een incasseerbaarheid van 50% over de knopen heen. Dit wordt niet meegenomen in de berekening van acceleratievoordelen, omdat het effect hiervan niet groot

lijkt te zijn. Als er daadwerkelijk een dienstregeling onder 3kV ontworpen is, zijn deze baten beter in te schatten.

### 6.1.2 Exploitatievoordeel

Naast de reistijdwinst die de passagiers hebben en alle afgeleide effecten daarvan door het sneller optrekken van de treinen, bestaan er ook nog exploitatievoordelen door de snellere omloop van materieel en personeel. Zoals eerder gesteld wordt de incasseerbaarheid van deze soort baten verondersteld op 50%. De baten zijn verder onderverdeeld in twee categorieën: besparingen in composities en besparingen in personeelskosten.

#### *Minder composities*

Als de treinen sneller optrekken kan er op materieel bespaard worden, omdat hetzelfde aantal treinkilometers met minder materieel gereden kan worden. Onder een compositie wordt een samenstelling van een aantal treinstellen verstaan welke één trein vormt in de dienstregeling.

Gebaseerd op gangbare treinfrequenties geldt in theorie dat per 30 minuten rijtijdwinst één intercity of regionale treincompositie bespaard kan worden en per 15 minuten rijtijdwinst één sprinter. Uitgaande van de eerdere incasseringskans van 50% kunnen 7 treincomposities bespaard worden. Zie Tabel 6.2 voor een opsplitsing per materieeltype en bijbehorende besparingen. Evenals bij kosten is er gerekend met gemiddeld 18,5% BTW. In zowel het hoge als lage scenario levert dit in NCW termen 130 miljoen aan kostenbesparing op. Gegeven het feit dat het hier grove aannames betreft, is er niet gevarieerd tussen de scenario's.

Tabel 6.3 Compositiebesparingen

	# composities	Besparingen per compositie (€ mln., excl. BTW)
Intercity	2,0	2,2
Sprinter	3,7	1,2
Regionaal	0,2	1

#### *Minder personeelskosten*

Ook het personeel hoeft minder lang doorbetaald te worden omdat de duur van hun diensten gelijkmatig afneemt met de geïncasseerde rijtijdwinst. De impact van deze kostenreductie is echter beperkt en door de afronding per 5 miljoen op 0 gesteld in Tabel 6.4.

#### *Extra reizigers*

De extra reizigers leveren extra opbrengsten op voor de vervoerder, daartegenover staan extra kosten. Op basis van de MKBA ERTMS (MuConsult, 2014) is een grof kengetal afgeleid op basis waarvan deze extra winst bepaald is (zie Bijlage 6 voor een toelichting). Dit leidt tot rond de 20 miljoen in het lage scenario aan extra inkomsten in NCW termen.

Tabel 6.4 Exploitatievoordeel 3kV (CW 2020, prijspeil 2017, mln. €)

	Hoog	Laag
Minder treincomposities	130	130
Minder personeelskosten	0	0
Extra reizigers	25	20
<b>Totaal</b>	<b>155</b>	<b>150</b>

In totaal bedraagt het exploitatievoordeel dankzij de snellere treinomlopen rond de 150 miljoen euro in NCW termen.

### 6.1.3 Indirecte effecten

De reistijdwinsten zoals hierboven bepaald, zijn een eerste-orde effect. Reizigers en vervoerders profiteren hiervan en geven dit door in de economie. Dit leidt tot lagere kosten voor bedrijven voor zover het zakelijke reizen en goederenvervoer betreft. Verder gaat de arbeidsmarkt mogelijk beter functioneren doordat werknemers wellicht bereid zijn verder te reizen om een baan te vervullen. De arbeidsproductiviteit neemt hierdoor toe en de werkloosheid kan afnemen. Bedrijven en andere organisaties, zoals kennisinstellingen, kunnen elkaar tegen lagere kosten bereiken – hierdoor kunnen schaal- en agglomeratievoordelen optreden.

Over de orde van grootte van deze effecten is in het verleden veel discussie geweest. Uiteindelijk is bepaald dat de bereikbaarheidsvoordelen een effect van 0-30% op de reistijdeffecten bedragen, met de kanttekening dat deze in specifieke gevallen ook negatief hoger kunnen uitvallen (CPB en KiM, 2009), (Syconomy, 2015). In MKBA's wordt veelal een percentage van 15% gehanteerd indien deze effecten niet bepaald kunnen worden. Dit is bijvoorbeeld ook het geval in de MKBA van ERTMS (MuConsult, 2014). Toepassing van dit percentage op de reistijdwinsten resulteert in NCW 80-100 miljoen euro aan indirecte effecten.

Tabel 6.5 Indirecte effecten 3kV (CW 2020, prijspeil 2017, mln. €)

	Hoog	Laag
Indirecte effecten	100	80

## 6.2 Energiebaten

Deze paragraaf maakt, wat de energie gerelateerde baten betreft, onderscheid naar minder energiekosten en een reductie van de CO<sub>2</sub> emissie.

### 6.2.1 Minder energiekosten

Arcadis (Arcadis, 2015), zie Bijlage 7, heeft onderzocht hoeveel energiebesparing gerealiseerd kan worden bij beide alternatieven dankzij het afgenomen transportverlies en het teruggeven van remenergie aan het net door het materieel. De energiebesparing kan opgedeeld worden:

- afname van transportverliezen in het bovenleidingnet door:
  - toepassen van dwarskoppelingen (1,5kV ECO)
  - verhogen van de bovenleidingspanning (3kV)
- verbeterde recuperatie van remenergie
  - door aanschaf van nieuw materieel

Bij het 1,5kV ECO alternatief neemt het netto-transportverlies van het reizigersmaterieel van NS af van 11% naar 9,5%, de hoeveelheid recuperatie-energie neemt toe van 8% naar 16%. In totaal levert dit een energiebesparing op van 9,5%.

In het 3kV alternatief nemen de transportverliezen af van 11% naar 4%, het aandeel recuperatie-energie neemt toe van 8% tot 24%. Daartegenover staat 3% extra energiegebruik door het gebruik van het hoger vermogen voor snellere acceleratie. Per saldo levert dit een energiebesparing op van 19,5%, hierbij geldt dat er 20,5% bespaard wordt op PHS-baanvakken en 18% op de overige baanvakken. Hierbij is niet gerekend met nieuw materieel met geoptimaliseerd elektrodynamisch remmen, omdat nog onzeker is wanneer dit materieel

beschikbaar komt. Dit materieel kan 1,5 keer zoveel energie teruggeven aan het net – de energiebesparing op langere termijn zou dan nog groter worden.

De 19,5% is een conservatieve berekening aangezien dit percentage zich aan de onderkant van de bandbreedte bevindt die naar voren kwam uit een benchmark met het energieverbruik in België (ProRail, 2013). Hieruit bleek een mogelijke besparing in Nederland van 15-40%. Zodra er nieuw materieel wordt ingezet, ligt de besparing waarschijnlijk hoger.

Arcadis (Arcadis, 2015) concludeert voor regionale lijnen dat het energieverbruik per saldo niet of nauwelijks afneemt, afhankelijk van de lokale omstandigheden. De beperkte afname is op nationaal niveau niet significant. De energiebesparing bij goederentreinen is niet bepaald, dit betreft een relatief klein aandeel in het totaal aantal ritten. Echter, de energiebesparing per goederentrein is gemiddeld wel hoger door het grote vermogen dat deze treinen verbruiken.

In het hoge scenario wordt op basis van energiesimulaties aangenomen dat het totale energiegebruik op de PHS-trajecten met 50% stijgt als gevolg van de intensievere dienstregeling. Het totale energiegebruik stijgt hierdoor met 20%, waardoor het energiegebruik van rond de 1.400 GWh stijgt naar 1.680 GWh per jaar. In het lage scenario ligt het aantal passagierskilometers in 2030 zo'n 4% lager. Op dit moment is niet bekend of dit betekent dat er minder (lees korter) materieel wordt ingezet. Het inzetten van kortere treinen heeft aanzienlijke invloed op het energieverbruik.

Daarom is een aanname gedaan: 1% minder passagierskilometers leidt tot 0,5% minder energiegebruik. Dit levert voor het lage scenario een jaarlijks energiegebruik op van 1.641 GWh. Voor de lange termijn wordt aangenomen dat het energiegebruik constant blijft: er is sprake van meer reizigers maar ook zuiniger materieel.

De tabel hieronder vat het energiegebruik en de besparing samen. In totaal wordt in het hoge scenario jaarlijks in het 1,5kV ECO alternatief 160 GWh per jaar aan energie bespaard, in het 3kV alternatief is dit 327 GWh. Dit is min of meer gelijk aan het energiegebruik van 93 duizend huishoudens (CE Delft, 2016). In het lage scenario is de besparing een paar procent lager.

Tabel 6.6 Energiegebruik

	Nulalternatief	1,5kV ECO	3kV
<i>Percentage</i>			
NSR	-	-/- 9,5%	-/- 19,5%
Regiolijnen	-	Nihil	Nihil
Goederentreinen	-	PM	PM
<i>GWh/jaar hoog</i>			
NSR	1.680	1.520	1.352
Regiolijnen	Nb	Nihil	Nihil
Goederentreinen	Nb	PM	PM
<i>GWh/jaar laag</i>			
NSR	1.641	1.485	1.321
Regiolijnen	Nb	Nihil	Nihil
Goederentreinen	Nb	PM	PM

Bron percentages: (Arcadis, 2015).

Om consistent te zijn met de scenario's wordt niet uitgegaan van de huidige elektriciteitsprijs, maar uitgegaan van de elektriciteitsprijzen die zijn gegeven in (CPB en PBL, 2016a). In het prijspeil van 2013 loopt dit in het hoge scenario op van 52 euro per MWh in 2013 naar 90 euro in 2030 en 100 euro in 2050. In het lage scenario is dit respectievelijk 67 en 90 euro. Om tot het prijspeil 2017 te komen zijn de prijzen opgehoogd met 1,9% (de inflatie cf. statline in de jaren 2014-2016). De kosten van de distributie door de bovenleiding bedragen 31,92 euro per MWh. Dit is al jaren constant – aangenomen is dat dit bedrag gelijk blijft.

In het 1,5kV ECO alternatief varieert de besparing in NCW-termen tussen de 275 en 320 miljoen euro. Voor 3kV is dit tussen de 435 en 505 miljoen euro (zie de volgende tabel).

Tabel 6.7 Besparing energiekosten (CW 2020, prijspeil 2017, mln. €)

	Hoog		Laag	
	1,5kV ECO	3kV	1,5kV ECO	3kV
Elektriciteit	240	380	195	315
Distributie	80	125	80	120
<b>Totaal</b>	<b>320</b>	<b>505</b>	<b>275</b>	<b>435</b>

### 6.2.2 Afname CO<sub>2</sub>-emissies

De reductie van het energiegebruik leidt tot een afname van nationale CO<sub>2</sub> -emissies als deze energie niet duurzaam wordt opgewekt en niet geïmporteerd wordt. Sinds begin 2017 koopt NS alle energie duurzaam in. Als de afname van het energiegebruik leidt tot een even grote afname van de duurzame energieproductie, dan is er geen sprake van reductie van emissies. Maar als die productie niet beïnvloed wordt, kan de volledige reductie aan emissies worden meegenomen.

CE Delft (CE Delft, 2016) geeft aan te verwachten dat de CO<sub>2</sub> -productie niet beïnvloed wordt, zodat de totale reductie meegenomen mag worden. Gezien het beperkte aandeel in de totale energieproductie is dit op korte termijn een plausibele aanname – de besparing is ten opzichte van het totale elektriciteitsverbruik zo klein dat deze de wijze van productie niet direct zal beïnvloeden. Aangezien in 2050 80-95% van de totale energieproductie duurzaam geproduceerd wordt is dit echter op de lange termijn geen plausibele aanname. Daarom wordt aangenomen dat in 2030 de reductie van energieverbruik voor 100% leidt tot een afname van 'grijze' energieproductie, in 2050 is dit voor 10% het geval. In tussenliggende jaren neemt dit percentage dan lineair af. Als uitgangspunt voor de reductie is de door CE Delft (2016) aanbevolen factor voor 2030: 0,41 kg/CO<sub>2</sub>/kWh.

Door CPB en PBL (CPB en PBL, 2016a) zijn de prijzen vastgesteld waartegen CO<sub>2</sub> -emissies in de WLO scenario's gewaardeerd worden. In het hoge scenario is het bedrag in 2015 48 euro, oplopend naar 80 euro in 2030 en 160 euro in 2050. In het lage scenario is dit respectievelijk 12, 20 en 40 euro. Aangenomen is dat dit prijspeil 2015 is, daarom zijn de prijzen opgehoogd met een inflatiepercentage van 0,3%. De prijzen in de tussenliggende jaren zijn geïnterpoleerd, na 2050 is de prijs constant verondersteld.

Tabel 6.8 Waardering CO<sub>2</sub> -emissies (CW 2020, prijspeil 2016, mln. €)

	Hoog		Laag	
	1,5kV ECO	3kV	1,5kV ECO	3kV
CO <sub>2</sub> emissies	50	80	15	20

In het hoge scenario resulteren deze aannames in een NCW van 50 miljoen euro voor 1,5kV ECO tot 80 miljoen euro voor 3kV. In het lage scenario is dit 15 tot 20 miljoen euro.

### 6.3 Niet gekwantificeerde effecten 3kV

Naast de hierboven uitgewerkte baten zijn er nog andere effecten, die (nog) niet in detail uitgewerkt of gemonetariseerd zijn. Een doel van de validatiefase zal moeten zijn om deze verder de kwantificeren. Deze effecten gelden alleen voor 3kV, waarbij imagoverbetering door afname van het energiegebruik, in mindere mate ook geldt ook voor 1,5kV ECO. Deze posten worden samen met de andere in dit hoofdstuk uitgewerkte effecten als PM-post opgenomen in de overzichtstabel in de volgende paragraaf.

#### *Grotere treindichtheid mogelijk*

Door het snellere optrekken ontstaat er ook meer ruimte op de infrastructuur. Dit komt doordat rijtijd met 3kV korter is. Snellere goederentreinen leggen een kleiner beslag op de baanvakcapaciteit waardoor goederenpaden beter inpasbaar worden in de dienstregeling. Hierdoor kunnen meer treinen rijden op hetzelfde baanvak of kan er bespaard worden op capaciteitsinvesteringen in de infrastructuur (Railinfra Solutions, 2016). De potentiële capaciteitswinst is groot, echter zal er nader onderzoek plaats moeten vinden naar de dienstregeling van 2030 met 3kV en nieuw materieel om deze capaciteitswinst te kwantificeren. *Potentieel hogere rijtijdwinst door extra module in SLT materieel*

Onder 3kV is er misschien een mogelijkheid voor materieelserie SLT om nog sneller te accelereren wanneer er enkele looddraaistellen vervangen worden door aangedreven draaistellen (Lloyd's Register Rail, 2014). Hierdoor kunnen de rijtijdwinsten verder op lopen en komen de rijkarakteristieken meer in lijn te liggen met het nieuwe sprintermaterieel, zoals de FLIRT en de SNG, waardoor het sprinterpark een meer homogeen karakter krijgt. Of de kosten opwegen tegen de opbrengsten is nog niet bekend.

#### *Reistijdwinsten door minder uitbuigen*

Doordat er treinen met verschillende snelheden op dezelfde baanvakken rijden, is er in de dienstregeling sprake van zogeheten uitbuigingen. Snelle treinen rijden dan langzamer dan toegestaan, gegeven de beschikbare capaciteit per baanvak (bij viersporigheid kunnen de IC's de sprinters inhalen op andere sporen). Doordat sprinters sneller optrekken, kunnen dergelijke uitbuigingen beperkt worden, waardoor extra reistijdwinst behaald kan worden (ProRail, 2014). Door ERTMS treedt dit effect ook op – dit is dan ook meegenomen als batenpost in de MKBA van ERTMS (MuConsult, 2014). Om dubbeltelling te voorkomen mag in deze MKBA alleen het effect na realisatie van ERTMS meegenomen worden. Vanwege de complexiteit is deze analyse nu niet uitgevoerd – daarom is dit als PM-post opgenomen.

#### *Interoperabiliteit met België*

België heeft 3kV als spanning op het net. Bij dit alternatief betekent dit dat de interoperabiliteit van materieel toeneemt. Echter, de verwachting is dat dit niet bijdraagt in significante kostenbesparing of andere voordelen. Daarnaast zijn er op dit moment geen concrete projecten gepland voor een nieuwe verbinding met België.

#### *Imago*

Door het lagere energieverbruik en het snellere systeem kan het imago van de trein verbeteren. Mochten er overigens tijdens de migratie problemen ontstaan, dan kan er ook een negatief effect optreden. Deze post levert geen extra baten op.

*Betere verkrijgbaarheid materialen*

Alleen in Japan, op secundaire lijnen in Frankrijk en in Nederland wordt met 1,5kV gereden. Het verkrijgen van specifieke materialen (bedrading, transformatoren) wordt steeds schaarser en daardoor duurder. Overgaan op een ander systeem (3kV/15kV/25kV) biedt daardoor meer continuïteit en betrouwbaarheid. Ook wordt hiermee een eventuele monopoliepositie door een fabrikant voorkomen.

*Rijtijdwinsten voor goederenvervoer*

Zoals eerder aangegeven zijn de effecten op het goederenvervoer niet kwantitatief bepaald. Ook goederentreinen kunnen sneller optrekken, waardoor de transportkosten verlaagd kunnen worden (Strukton/KNV, 2014). Aangezien goederentreinen een beperkt aantal reguliere stops hebben, zullen deze baten beperkt zijn. Ze zijn als PM-post opgenomen in het MKBA-overzicht.

*Hogere betrouwbaarheid*

Het gedeelte van rijtijdwinst dat niet geïncasseerd kan worden in de dienstregeling, hier verondersteld als 50%, leidt tot een hogere betrouwbaarheid in de dienstregeling. Dit komt doordat de rijtijdwinst die niet verwerkt wordt in een snellere dienstregeling wel beschikbaar komt als extra buffer in de dienstregeling.



## 6.4 Conclusie

De hierboven genoemde bedragen zijn samengevat in onderstaande tabel. In totaal bedragen de baten van het 1,5kV ECO alternatief tussen 290 en 370 miljoen euro (NCW) en bedragen de baten van het 3kV alternatief tussen 1.215 en 1.515 miljoen euro. In onderstaande tabel is onderscheid gemaakt in posten die resulteren in financiële opbrengsten en batenposten die niet resulteren in eigen inkomsten.

Batenberekeningen zijn gedaan op basis van uitgangspunten genoemd in Hoofdstuk 2. NS en ProRail dienen elk nog een eigen business case te maken voor de berekening van de financiële opbrengsten en kosten.

Tabel 6.9 Overzicht NCW van de baten (CW 2020, prijspeil 2017, mln. €)

	Hoog				Laag			
	1,5kV ECO		3kV		1,5kV ECO		3kV	
	Maatsch. euro's	Harde euro's	Maatsch. euro's	Harde euro's	Maatsch. euro's	Harde euro's	Maatsch. euro's	Harde euro's
<b>Reistijdwinst</b>	-	-	<b>675</b>	-	-	-	<b>530</b>	-
<i>Acceleratievoordelen</i>	-	-	675	-	-	-	530	-
<b>Exploitatievoordeel</b>	-	-	-	<b>155</b>	-	-	-	<b>150</b>
<i>Minder composities</i>	-	-	-	130	-	-	-	130
<i>Minder personeelskosten</i>	-	-	-	0	-	-	-	0
<i>Extra reizigers</i>	-	-	-	25	-	-	-	20
<b>Indirecte effecten</b>	-	-	<b>100</b>	-	-	-	<b>80</b>	-
<b>Energiebaten</b>	<b>50</b>	<b>320</b>	<b>80</b>	<b>505</b>	<b>15</b>	<b>275</b>	<b>20</b>	<b>435</b>
<i>Minder energiekosten</i>	-	320	-	505	-	275	-	435
<i>Afname CO<sub>2</sub> -emissie</i>	50	-	80	-	15	-	20	-
<b>Niet-gekwantificeerde baten</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>PM</b>	<b>PM</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>PM</b>	<b>PM</b>
<i>Treindichtheid</i>	-	-	PM	-	-	-	PM	-
<i>Snellere sprinters</i>	-	-	PM	-	-	-	PM	-
<i>Minder uitbuigen</i>	-	-	PM	PM	-	-	PM	PM
<i>Interoperabiliteit</i>	-	-	0	-	-	-	0	-
<i>Imago</i>	-	0	-	0	-	0	-	0
<i>Verkrijgbaarheid materialen</i>	-	-	PM	-	-	-	PM	-
<i>Goederenvervoer</i>	-	-	PM	PM	-	-	PM	PM
<i>Hogere betrouwbaarheid</i>	-	-	PM	PM	-	-	PM	PM
<b>Subtotaal baten</b>	<b>50</b>	<b>320</b>	<b>855</b>	<b>660</b>	<b>15</b>	<b>275</b>	<b>630</b>	<b>585</b>
<b>Totaal baten</b>	<b>370</b>		<b>1.515 + PM</b>		<b>290</b>		<b>1.215 + PM</b>	

## 7 Totaaloverzicht en gevoeligheidsanalyses

Nu alle effecten bepaald en waar mogelijk in geld zijn uitgedrukt kan de tabel opgesteld worden voor het hoge als het lage scenario. Vervolgens worden gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

### 7.1 Overzicht kosten en baten

In onderstaande tabel zijn de kosten en baten in één tabel samengevat. De voorgeschreven tabel met fysieke effecten in 2040 is in Bijlage 8 gepresenteerd.

Tabel 7.1 Overzicht kosten en baten (CW 2020, prijspeil 2017, mln. €)

	Hoog		Laag	
	1,5kV ECO	3kV	1,5kV ECO	3kV
<i>Kosten</i>				
Investering infrastructuur	90	370	90	370
Investering materieel NS	-	695-940	-	695-940
Investering materieel o. vervoerders	-	65	-	65
Vermeden investeringen	-	PM	-	PM
Programmakosten	-	PM	-	PM
B&O infrastructuur	15	40	15	40
B&O materieel NS	-	390-525	-	390-525
B&O materieel overige vervoerders	-	10	-	10
<b>Totaal kosten</b>	<b>105</b>	<b>[1.570, 1.950] + PM</b>	<b>105</b>	<b>[1.570, 1.950] + PM</b>
<i>Baten</i>				
Acceleratievoordelen	-	675	-	530
Extra reizigers	-	25	-	20
Indirecte effecten	-	100	-	80
Minder composities	-	130	-	130
Minder personeelskosten	-	0	-	0
Minder energiekosten	320	505	275	435
Afname CO <sub>2</sub> -emissie	50	80	15	20
Snellere sprinters	-	PM	-	PM
Capaciteitsvergroting	-	PM	-	PM
Minder uitbuigen	-	PM	-	PM
Interoperabiliteit	-	0	-	0
Imago	0	0	0	0
Verkrijgbaarheid materialen	-	PM	-	PM
Goederenvervoer	-	PM	-	PM
Hogere betrouwbaarheid	-	PM	-	PM
<b>Totaal baten</b>	<b>370</b>	<b>1.515 + PM</b>	<b>290</b>	<b>1.215 + PM</b>
<b>Saldo</b>	<b>265</b>	<b>[-435, -55] + PM</b>	<b>185</b>	<b>[-735, -355] + PM</b>
<b>Baten-kosten verhouding</b>	<b>3,5</b>	<b>1,0 – 0,8</b>	<b>2,8</b>	<b>0,8 – 0,6</b>
<b>IRR</b>	<b>18%</b>	<b>4% - 2,9%</b>	<b>13%</b>	<b>3% - 1%</b>
<b>Terugverdientijd (jaren)</b>	<b>9</b>	<b>29 - 34</b>	<b>11</b>	<b>34 - 41</b>

Voor het 1,5kV ECO alternatief geldt dat tegen de kosten van 105 miljoen zo'n 290 tot 370 miljoen euro aan baten staan. Er is dan sprake van een positief saldo van zo'n 185-265 miljoen euro en een baten-kosten (b/k) verhouding van 2,8 - 3,5. Het maatschappelijk rendement bedraagt 13-18%. De terugverdientijd (gerekend vanaf het gereedkomen van het project) is 9-11 jaar.

3kV leidt tot 1.570 miljoen euro aan kosten aan de optimistische kant van de bandbreedte, waartegenover 1.215 miljoen euro in het lage scenario, en 1.515 miljoen euro in het hoge scenario aan baten staan. Het saldo is -355 tot -55 miljoen euro. Dit saldo valt €400 miljoen lager uit aan de pessimistische kant van de bandbreedte voor de kosten. De b/k verhouding is in het lage respectievelijk hoge scenario 0,6 en 1,0. Het maatschappelijk rendement bedraagt 1% - 4%. De terugverdientijd voor 3kV is 29-41 jaar.

Naast de in geld uitgedrukte baten zijn er voor 3kV diverse positieve effecten die niet in geld uitgedrukt zijn en daardoor niet in de saldi en b/k verhouding zijn meegenomen.

## 7.2 Gevoeligheidsanalyses

Gegeven de robuuste uitkomst en het beperkt aantal posten zijn er voor 1,5kV ECO geen gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

Bij 3kV geldt dat, op basis van een vergelijking met België, de energiebesparing op termijn hoger kan uitvallen dan de eerder vastgestelde besparing van 19,5% ten opzichte van het nultarief. Er is echter ook een risico dat de energiebesparing lager uitvalt vanwege het extra gewicht door de toegevoegde componenten. 40% lagere energiebesparing leidt tot €200 miljoen (NCW) hogere energiekosten, terwijl 40% hogere energiebesparing leidt tot een reductie van €200 miljoen. In het lage scenario blijft het saldo ook in dit geval negatief, in het hoge scenario resulteert dit bij kosten aan de onderkant van de bandbreedte in een positief saldo.

Rijtijdwinst is een gevoelige variabele in de berekening van de maatschappelijke baten die we verduidelijken met een voorbeeld. Rekenvoorbeeld: 1 seconde meer of minder rijtijdwinst in de periode 2030 - 2045 leidt tot €100 miljoen meer of minder baten (NCW). De bandbreedte is dan €1.415 – €1.615 miljoen ten opzichte van de totale baten van €1.515 miljoen. Ook in dit geval kunnen zowel het lage als het hoge scenario, positief uitvallen.

Voor een eventueel vervolg is het dus van belang de energiebesparing en reistijdeffecten verder te valideren.

## 7.3 Conclusie

Het totaaloverzicht van kosten en baten laat zien dat 3kV grote investeringen in materieel en infrastructuur vraagt om de baten te realiseren. Naar huidige inzichten is het saldo voor 3kV negatief. Ondanks het positieve saldo voor 1,5kV ECO, is het te voorbarig om op basis hiervan reeds een keuze te maken.

Verhoging van de TEV naar 3kV is een maatregel die mogelijk kan bijdragen aan een capaciteitsverruiming voor toekomstige vervoersknelpunten. Dit belangrijke positieve effect is nog niet gekwantificeerd. Daarnaast laten gevoeligheidsanalyses zien wat de effecten zijn van ogenschijnlijk kleine rijtijdwinsten en variaties in energiebesparing. De aannames die leiden tot de vaststelling van deze waarden zijn daarom cruciaal.

Een validatiefase zal meer zekerheid moeten geven over de technische haalbaarheid en incasseerbaarheid van de baten. Daarnaast zullen planningsscenario's ontwikkeld moeten worden voor de transitie naar 3kV in relatie tot ERTMS en andere strategische projecten, met als uitgangspunt dat beide trajecten niet gelijktijdig plaatsvinden en 3kV na ERTMS plaatsvindt.

## Literatuurlijst

- Strukton/KNV. (2014). *Ombouw Tractie/energievoorziening naar 3 kV gelijkspanning, Impact voor de goederensector*. Den Haag.
- Arcadis. (2014). *Elektrische energiesimulaties ten behoeve van de introductie van tractiespanning 3 kV dc: regiolijnen*. Amersfoort.
- Arcadis. (2015). *Onderzoek invoering 3kV Xandra simulaties*. Amersfoort.
- CE Delft. (2016). *Benchmark 3kV Tractievoeding*. Delft.
- CPB en KiM. (2009). *Het belang van openbaar vervoer, de maatschappelijke effecten op een rij*. Den Haag.
- CPB en PBL. (2015). *Cahier Mobiliteit, Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving*. Den Haag.
- CPB en PBL. (2016a). *Klimaat en Energie, achtergrond document WLO - Welvaart en Leefomgeving Toekomstverkenning 2030 en 2050*. Den Haag.
- Harve, F. t. (2012). *Duurzame Tractie-energievoorziening, Scriptie TopTech Studies Master of Energy Systems*. TU Delft.
- KEMA. (2010). *Pilot slim schakelen*. Arnhem.
- Lloyd's Register Rail. (2014). *Rijtijd en recuperatie karakteristieken, 1500 V versus 3 kV tractie-energievoorziening*. Utrecht.
- Ministerie van IenM. (2012). *Kader KBA bij MIRT Verkenningen*. Den Haag.
- Ministerie van IenM. (2013). *LTSA, Visie, ambities en doelen*. Den Haag.
- Ministerie van IenM. (2014). *European Rail Traffic Management Systems (ERTMS); Basisrapportage*. Den Haag.
- Ministerie van IenM. (2017). *Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse, Hoofdrapport*. Den Haag.
- Ministerie van VenW. (2010). *Rapportage en Voorkeursbeslissing Programma Hoogfrequent Spoor*. Den Haag.
- MuConsult. (2014). *Maatschappelijke Kosten-Batenanalyse ERTMS*. Amersfoort.
- NS. (2016). *Jaarverslag 2015*. Utrecht.
- NS. (2016). *Strategienotitie Spoorwegs Beter*. Utrecht.
- NS. (2017). *Position paper tractie energievoorziening (TEV)*. Utrecht.
- NS. (2017). *Risicoanalyse 3kV en 1,5kV ECO*. Utrecht.
- ProRail. (2009). *Definitieve resultaten systeemstudie TEV Spoorboekloos reizen*. Utrecht.
- ProRail. (2010). *Technisch beleid EV systeem, onderdeel 1: Tractie-energievoorziening 1500 V dc*. Utrecht. Utrecht.
- ProRail. (2012). *Strategische Doelstellingen zoals vastgelegd in Programmaplan 2012-2015*. Utrecht. Utrecht.
- ProRail. (2012). *Toekomstvastheid Tractie-energievoorzieningssysteem 1500 V dc*. Utrecht.
- ProRail. (2013). *Benchmark 3 kV dc systeem België*. Utrecht.
- ProRail. (2013). *Meerjarenplan Duurzaamheid 2013-2015*. Utrecht.
- ProRail. (2014). *Indicatie reistijdbaten 3 kV, intern memo V&D april 2014*. Utrecht .
- ProRail. (2014). *Van 1500 V naar 3 kV; Migratiestudie omschakelen en ombouw TEV infrastructuur, versie 2.2*. Utrecht.
- ProRail en NS. (2014). *Beter & Meer: voorstel voor de operationele uitwerking van de Lange Termijn Spooragenda*. Utrecht.
- ProRail en NS. (2017). *Verslag Workshop 3kV en het lange termijnperspectief (Toekomstbeeld, NMCA)*.
- Railinfra Solutions. (2016). *Conclusies railverkeerssimulatie 3kV, 11 Augustus 2016*. Utrecht.
- SER. (2013). *Nationaal Energieakkoord*. Den Haag.
- Syconomy. (2015). *Inventarisatie KBAs transportinfrastructuur 2001-2014*. Amsterdam.
- (2016). *Toekomstbeeld OV, Overstappen naar 2040*.
- Werkgroep Discontovoet. (2015). *Rapport Werkgroep Discontovoet*.

## Bijlage 1 Overzicht van beleidsdoelstellingen rijk en sector

### *De LTSA*

De Lange Termijn Spooragenda (LTSA); (Ministerie van IenM, 2013) presenteert de beleidsdoelstellingen tot en met het jaar 2028 van het Rijk ten aanzien van het spoorvervoer. Belangrijke doelstellingen zijn:

1. De kwaliteit (zoals reistijd en betrouwbaarheid) van het spoorproduct voor reizigers en verladers verbeteren zodat dit in toenemende mate een aantrekkelijke vervoeroptie is. Hierbij wordt niet alleen gefocust op het spoorvervoer zelf, maar op de gehele deur-tot-deur keten.
2. Verhogen van het veiligheidsniveau.
3. Verduurzaming van het vervoer per trein.

Naast vele kleinere projecten en initiatieven zijn er twee grote projecten. In de eerste plaats betreft dit het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS); (Ministerie van VenW, 2010). Doel van dit project is op de belangrijkste corridors in en van/naar de Randstad het zogeheten spoorboekloos rijden te introduceren voor het reizigersvervoer (6 Intercity's per uur), het goederenvervoer te concentreren en de groei daarvan te accommoderen.

Tevens is voorzien het Europese beveiligingssysteem ERTMS in te voeren, wat naar verwachting de veiligheid verhoogt, resulteert in reistijdwinsten en leidt tot een grotere capaciteit op de infrastructuur (Ministerie van IenM, 2014). De realisatie van beide projecten heeft de komende jaren een belangrijke invloed op het spoor en resulteert in tal van grotere en kleinere investeringsprojecten en aanpassingen.

In hetzelfde jaar (2014) hebben ProRail en NS de studie 'Beter en Meer' (ProRail en NS, 2014) opgesteld die een voorstel voor de operationele uitwerking van de LTSA vormt voor de eerste jaren. Dit plan bevat het voorstel voor de invoering van 3kV in combinatie met ERTMS, met als primair doel capaciteit voor de intensievere PHS-dienstregeling te realiseren. In hoofdstuk 3 is meer informatie over deze projecten opgenomen.

### *ProRail*

De doelstellingen van ProRail zijn:

1. *Veilig* spoor: door het terugdringen van roodseinpassages, het beperken van het aantal riskante en onbeveiligde overwegen en door voorwaarden te scheppen voor veilig werken.
2. *Betrouwbaar* spoor: voorkomen van vermijdbare verstoringen, door meer en beter preventief onderhoud te laten plegen aan het spoor, alert te reageren bij verstoringen en scherpe analyses te maken van terugkerende storingen.
3. *Punctueel* spoor: het streefpercentage is 95%, het mag in elk geval niet lager zijn dan 85%. Dit is te bereiken door een dienstregeling te maken die in de praktijk goed uitvoerbaar is en door samen met vervoerders de prestaties op het spoor te verbeteren.
4. *Duurzaam* spoor: 30% efficiënter energieverbruik door meer innovatieve spoortechnologie in te zetten, duurzame materialen te gebruiken en duurzame stations te ontwikkelen. Doel is tevens de hoogste CO<sub>2</sub> -prestatieladder (niveau 5) te behouden (ProRail, 2013).
5. *Transparantie*: zichtbaar maken wat we doen, waarom en met welk resultaat, onder meer door de dagelijkse prestaties te laten zien via een online dashboard.

Mede op basis van een afspraak met het Ministerie uit 2001 heeft ProRail Asset Management (ProRail, 2010) aangegeven dat het van belang is opnieuw na te gaan welk TEV-systeem het best bij kan dragen aan de duurzaamheidsdoelstellingen, vooral wat betreft verliezen bij het transport van elektriciteit.

NS

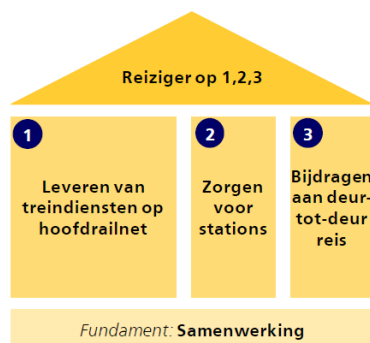
NS heeft drie doelstellingen, opgenomen in Spoorlags Beter (NS, 2016):

1. *Duurzaam*: de trein als substituuat van autovervoer is de meest duurzame vorm van lange afstandsmobiliteit. NS werkt continu aan de verdere verduurzaming.
2. *Veilig*: de trein is een veilig vervoermiddel. NS werkt samen met ProRail en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu om de veiligheid verder te vergroten.
3. *Zonder file*: de trein is het enige grote vervoermiddel dat in principe ongehinderd doordringt tot in het hart van binnensteden. NS werkt aan het verbeteren van de deur-tot-deurreis zodat de treinreis niet alleen zonder file, maar ook drempelloos is. Daarbij houdt NS ook rekening met de *toekomstvastheid* van de trein.

Naast deze drie doelen focust NS op de realisatie van de afgesproken concessie KPI's in 2019, ook vastgelegd in Spoorlags Beter (NS, 2016) en jaarverslag (NS, 2016):

1. *Betere prestaties op het hoofdrailnet*
  - a. **Klanttevredenheid**
    - i. Algemeen klantoordeel
    - ii. Sociale veiligheid
    - iii. Vervoerscapaciteit
  - b. **Duurzaamheid**
  - c. **Reizigerspunctualiteit**
2. *Stations van wereldklasse*
  - a. **Klantoordeel stations**
3. *Bijdragen aan een betere deur-tot-deurreis*
  - a. **Reisinformatie** (in de treinketen en bij ontregelingen in trein en op station)

**Figuur b1.1: Kernactiviteiten van NS**



Bron: ..NS Spoorslag Beter (NS, 2016).

NS (NS, 2016) heeft als doelen vastgesteld het energieverbruik te willen terugdringen, zowel om kosten te besparen als ter verduurzaming van het vervoersysteem. Daarnaast is vervoerscapaciteit een belangrijk component van klanttevredenheid - een van de belangrijkste strategische doelstellingen van NS.

## Bijlage 2 Overzicht van niet toegepaste inframaatregelen

In Ten Harve (Harve, 2012) is een overzicht gegeven van mogelijke energiebesparende maatregelen en maatregelen die energiebesparing kunnen faciliteren. Deze maatregelen zijn van belang als het doel is de energiebesparing te maximaliseren; voor de keuze van de toepassing in de alternatieven gaat het om de optimale mix aan maatregelen. Voornamelijk onder het 3kV systeem hebben veel van de genoemde maatregelen veelal minder toegevoegde waarde. Deze maatregelen zijn daarom in de projectalternatieven niet meegenomen. Voor de volledigheid worden ze hieronder kort beschreven.

### *Onderstations bijplaatsen*

Door het bijplaatsen van een onderstation wordt het transportverlies verlaagd. In 2009 is een studie (ProRail, 2009) verricht naar de economische haalbaarheid van het bijplaatsen van een onderstation en/of het ombouwen van schakelstations naar onderstations. De resultaten van deze studie komen op het volgende neer:

- Er is een relatief beperkt aantal locaties (10 stuks) waarvoor deze maatregel zinvol is.
- Het besparingspotentieel dat hiermee bereikt kan worden is ongeveer 1% (15 GW) van de landelijke hoeveelheid energie; 1,5 mln./jaar. Indien de bovenleiding wordt dwars gekoppeld is de extra bijdrage aanzienlijk minder.
- De bijbehorende investering is ongeveer 17 miljoen euro en veel minder efficiënt dan dwarskoppelen of de overgang naar 3kV.

### *Parallel schakelen retourleiding*

Naast het parallel schakelen van de bovenleiding kan bij dubbel- en meersporigheid ook de retourleiding worden gekoppeld om de transportweerstand te verlagen, waardoor het transportverlies wordt gereduceerd.

### *Terugvoedende onderstations*

Terugvoedende onderstations zijn geen energiebesparende maatregelen, maar een facilitaire maatregel om de energiebesparing als gevolg van recupereren mogelijk te maken. In de simulatie van de TEV met maximaal recupererend materieel zijn ook terugvoedende stations meegenomen. Uit simulaties blijkt dat in veel situaties de mate waarin wordt teruggevoed in het 3kV alternatief verwaarloosbaar is.

Mogelijk dat bij specifieke knooppunten niet alle recuperatie kan worden opgenomen. Dan zou terugvoeden een optie kunnen zijn om de energie terug te leveren. Locatie specifieke analyses zijn buiten deze studie gelaten. Daarnaast vraagt deze maatregel voor een goede bedrijfsvoering wel een technologische ontwikkeling.

### *Energieopslag langs het spoor*

Energieopslag is geen energiebesparende maatregel, maar een facilitaire maatregel om de energiebesparing als gevolg van recupereren mogelijk te maken. In plaats van het terug leveren van energie zou deze ook opgeslagen kunnen worden. De situatie is verder echter identiek aan de maatregel met terugvoedende onderstations met als extra nadeel dat het rendement van het totale systeem lager uit zal vallen.

### *Energieverliezen in componenten versneld reduceren*

De kosteneffectiviteit van deze maatregel ligt in dezelfde orde als van het bijplaatsen van onderstations. Voor ombouw is de energiebesparing te gering. Bij nieuwbouw is dit wel mee te nemen. Dit geldt in de ombouwvariant met nieuwe tractiegroepen.

*Rendementsverbetering van de tractie-installatie in de trein (1,5kV)*

Het ontwerp van de tractie-installatie in de trein is de afgelopen jaren qua rendement sterk verbeterd naar bijna 90%. Hierbij hoort een optimale instelling. Dat is nu nog niet overal het geval. Tijdens onderhoud van de installatie kan dit opnieuw worden ingeregeld en zal dat een energiebesparing opleveren. Deze maatregel zal echter niet onderscheidend zijn voor de keuze tussen de alternatieven en wordt daarom niet meegenomen. Bovendien is in de simulaties al uitgegaan van in de nabije toekomst beschikbare hogere rendementen.

*Zuinig rijden volgend aan optimale recuperatie (nader onderzoek is hierop gewenst)*

Onder 'Zuinig rijden' dient te worden verstaan dat de machinist zich bewust is van het gebruik van elektrische energie. Deze bewustwording wordt gebruikt om zuiniger te rijden door de trein langzamer op een station te laten binnenkomen door eerder de stroomafname te beperken en af te remmen op de lucht- en rolweerstand. Binnen UIC wordt dit 'eco-driving level 1, 2' genoemd. Het besparingsvoorstel is eenvoudig in te voeren door een instructie aan machinist en boordapparatuur te plaatsen (denk hierbij aan meters).

Bij zuinig rijden wordt de snelheid echter langzaam afgebouwd door nagenoeg niet te remmen. Voor recupereren is het nodig om snelheid te houden en krachtig te remmen. Deze tegenstrijdigheid vraagt om een keuze. Een deel van de bijdrage aan energiebesparing door recupereren wordt door het inzetten op zuinig rijden tenietgedaan. Daarnaast zal inzetten op maximaliseren van recuperatie het beste passen bij het toekomstige metro-vervoersmodel (Harve, 2012)



## Bijlage 3 Overzicht ombouwvarianten Infrastructuur naar 3kV

### Opties en varianten

Bij de introductie van 3kV gelijkspanning in Nederland zijn er diverse mogelijkheden om de migratie naar een dubbele spanning (3kV) in de onderstations uit te voeren. Voor de ombouw binnen de onderstations zijn de tractiegroepen (transformator en gelijkrichter) en de gelijkstroomverdeelinrichting van belang. De tractiegroepen vormen de primaire spanning (doorgaans 10kV 50 Hz) om naar 1,5kV gelijkspanning. Deze tractiegroepen moeten zodanig worden gewijzigd dat de uitkomende spanning verdubbelt.

Een aantal kansrijke varianten zijn verkend en beoordeeld op criteria als functionaliteit, kosten, betrouwbaarheid, beschikbaarheid en veiligheid. Drie ombouwvarianten worden haalbaar geacht:

1. Gelijkrichters in serie zetten waardoor de spanning wordt verdubbeld.
2. Plaatsen van een extra set-up transformator die de spanning verdubbelt.
3. Nieuwbouw van 3kV-tractiegroepen.

De risico's van deze ombouwvarianten zijn geïdentificeerd en onderling vergeleken. In de migratiestudie (ProRail, 2014) worden genoemde analyse en beoordeling behandeld. De variant met nieuwe tractiegroepen is de voorkeursvariant, omdat hier geen bijzondere risico's aan verbonden zijn, deze tot de hoogste graad van standaardisatie en toekomstvastheid leidt en het minst duur is in termen van migratiekosten.

De omvang van de ombouw van de onderstations met nieuwe tractiegroepen ten behoeve van spanningsverhoging is afhankelijk van het vervoersscenario en de robuustheid die gewenst is (zie hieronder). De volgende mogelijkheden voor de omvang van de ombouw dienen zich aan:

1. Alle onderstations en het aantal groepen daarin handhaven en uitvoeren in 3kV. Dit is de meest robuuste oplossing. Echter, voor de 'niet- PHS-corridors' ontstaat er een overmatige betrouwbaarheid en capaciteit.
2. Alle onderstations met twee 1,5kV dc-groepen worden omgebouwd tot een onderstation met één 3kV dc-groep. Ook bij onderstations met meer dan twee 1,5kV dc-groepen zal het aantal groepen na ombouw minder zijn. Uitzondering zijn de 'PHS- corridors'. Het aantal groepen per onderstation zal daar ongewijzigd blijven. Deze variant kent geen redundantie voor de 'niet-PHS-corridors'.

In onderstaande tabel worden deze opties in samenhang geïllustreerd.

Tabel b3.1. Opties voor de ombouw naar 3kV met nieuwe groepen

Ombouwmogelijkheden naar 3kV	Variant 1 Ombouw op basis van "Identiek aantal groepen bij 3kV als bij 1,5kV"	Variant 2 Ombouw op basis van "2 groepen 1,5kV dc wordt 1 groep 3kV dc m.u.v. de PHS corridors"
Indicatie robuustheid	Betrouwbaarheid hoger dan vereist op 'niet-PHS corridors'	Toereikend en betrouwbaar

In deze MKBA zal variant 2 (ombouw volgens het principe van “2 groepen 1,5kV dc wordt 1 groep 3kV dc”) worden gebruikt, met uitzondering van de onderstations op de PHS corridors.

De werkzaamheden voor de bovenleiding zijn relatief beperkt. Bijna alle isolatoren zijn geschikt voor 3kV. Leidingonderbrekers en overspanningsafleiders moeten worden vervangen. Eventuele aanpassingen kunnen vooraf worden uitgevoerd. Vanwege de verhoogde spanning is het waarschijnlijk dat extra overspanningsafleiders ter plaatse van kunstwerken aangebracht moeten worden.

### **Robuustheid van het 3kV systeem**

Naast energie-efficiëntie heeft ook robuustheid van de TEV waarde voor de infrabeheerder. Onder deze term wordt verstaan dat de TEV bij toenemende vervoersvraag nog in staat is te voldoen aan specifieke criteria. De belangrijkste aspecten hierbij zijn:

- Betrouwbaarheid. Het in staat zijn te voldoen aan het N-1 criterium.
- Persoonlijke veiligheid. Het in staat zijn te voldoen aan de eisen met betrekking tot aanraakspanningen (spoorstaaf-aarde spanningen).
- Capaciteit. De ruimte in capaciteit is in hoge mate een afgeleide van de twee bovengenoemde aspecten. Toenemende vervoersintensiteit zal tot extra investeringen leiden in relatie tot de betrouwbaarheid en de aanraakspanningen.

Uit de studie van Arcadis (Arcadis, 2015) blijkt dat door de ombouw naar 3kV de tractievoeding robuuster en toekomst vast wordt. De overgang van een 1,5kV naar een 3kV-systeem levert marge qua aanraakspanning. Bij een verhoogde prestatie onder 3kV wordt daarmee ruimte gegeven voor intensivering van de dienstregeling of door niet alle 1,5kV-groepen van onderstations om te bouwen naar 3kV. Indien alle onderstations volledig worden omgebouwd, wordt de grenstoestand pas bereikt bij een vermogensvraag die twee keer hoger ligt dan de huidige vraag, met enkele zeer lokale uitzonderingen. Hier kunnen locatie-afhankelijke maatregelen getroffen worden.

Verder blijkt met betrekking tot de betrouwbaarheid van het systeem (N-1) dat dit bij 3kV beter wordt om dat bij uitval van een onderstation naastliggende onderstations aanzienlijk beter (lees: op grotere afstand) de uitval kunnen opvangen dan onder 1,5kV. Daardoor ontstaat ruimte om niet alle onderstations of groepen van onderstations om te bouwen. Uit de simulaties van Arcadis (Arcadis, 2014), (Arcadis, 2015) en eerder (KEMA, 2010) blijkt dat voor de ombouw van een onderstation veelal één 3kV groep toereikend is i.p.v. de huidige twee 1,5kV tractiegroepen. Voor het scenario Intensief vervoer is dit niet het geval. Voor de PHS-corridors zullen ook twee tractiegroepen gehandhaafd moeten blijven voor 3kV.

### **Maatregelen ten behoeve van het parallel schakelen**

Door bij dubbel- en meersporigheid de bovenleiding te koppelen wordt de transportweerstand verlaagd. Het transportverlies zal hierdoor worden gereduceerd en de mogelijkheden voor recuperatie zullen worden vergroot. Op zich zijn deze maatregelen eenvoudig uit te voeren. Voorwaarden vanuit de bedrijfsvoering vereisen dat extra op afstand gestuurde schakelaars nodig zijn bij de koppelingen. Na analyse is gebleken dat dit bij 3kV geen groot effect meer heeft, omdat door de spanningsverhoging op zich al veel efficiënter wordt gebruikt. Het tweede doel van het aanbrengen van de koppelingen is om recuperatie-energie te faciliteren. Dat zal vooral lokaal het geval zijn. Hierom maakt deze maatregel geen onderdeel uit van het 3kV alternatief.

## Bijlage 4 Migratierisico's, migratiestrategie en omschakelplan

Deze bijlage geeft een samenvatting van het rapport met de migratiestudie over het omschakelen en ombouwen van de TEV naar 3kV dc (ProRail, 2014).

### Migratierisico's en migratiestrategie van de ombouw naar 3kV

Deze deelstudie is uitgevoerd door een werkgroep. Met behulp van expert workshops zijn de risico's van zowel ombouw als het omschakelen geïnterpreteerd. De studie beperkt zich tot de infrastructuur. Bij de introductie van 3kV in Nederland zijn er diverse mogelijkheden om de migratie uit te voeren. Het doel van deze studie is de kosten van de migratie naar 3kV inzichtelijk te maken voor het deelaspect infrastructuur, in het bijzonder van de TEV. Uitgangspunt hierbij is dat de betrouwbaarheid van het te migreren deel gelijk blijft aan de huidige betrouwbaarheid.

In het onderzoek wordt bij de migratie onderscheid gemaakt in:

- het omschakelen;
- het ombouwen.

Het omschakelen is het daadwerkelijk wijzigen van de tractiespanning. Na het omschakelen rijden de treinen op 3kV.

Het ombouwen richt zich op modificatie van bestaande 1,5kV assets (tractievoeding en bovenleiding) naar een situatie waarbij de nominale spanning 3kV zal zijn. Het ombouwen is de voorbereidingsfase voor het omschakelen. In deze fase blijft de tractiespanning nog steeds 1,5kV, maar worden er werkzaamheden uitgevoerd om in een relatief korte tijd om te schakelen.

#### Ombouwen infrastructuur

Voor de ombouw van de tractiegroepen (transformator en gelijkrichter) zijn een aantal varianten verkend en beoordeeld op criteria als functionaliteit, kosten en RAMS. Drie ombouwvarianten worden haalbaar geacht:

1. Gelijkrichters in serie zetten.
2. Plaatsen van een extra set-up transformator die de spanning verdubbelt.
3. Nieuwbouw van de tractiegroepen.

De risico's van deze ombouwvarianten zijn geïdentificeerd.

Voor de ombouw van de gelijkstroomverdeelinrichting (GVI) is de isolatieafstand als significant risico geïdentificeerd. Dit risico is (nog) niet gemitigeerd. Het onderzoek loopt nog. Mogelijke uitkomsten zijn:

1. Meer ruimte reserveren voor de GVI (inclusief alle installatietechnische en civiele wijzigingen in het onderstation).
2. Modificatie van de bluskap (inclusief ontwikkelingskosten, testen en vervangen).
3. Wijzigen van de transformator ter beperking van het kortsluitvermogen.

De laatste variant "Nieuwbouw van tractiegroepen" heeft in deze fase de voorkeur. Deze variant is 15-20% duurder, maar kent niet de risico's die de andere varianten nog hebben.

De ombouw van de bovenleiding is beperkt tot het vervangen van de leidingonderbrekers en overspanningsafleiders. Bij kunstwerken zullen extra overspanningsafleiders geplaatst moeten worden. De overige componenten zijn ook voor 3kV geschikt.

De doorlooptijd van de ombouw, dat wil zeggen de voorbereidende werkzaamheden in de onderstations, wordt geschat op 10 jaar. De doorlooptijd van omschakeling wordt geschat op één jaar.

### **Omschakelen infrastructuur: concept migratieplan**

In deze paragraaf worden scenario's voor het omschakelen van 1,5kV naar 3kV verkend en één scenario wordt verder uitgewerkt.

Er zijn grofweg drie omschakelscenario's denkbaar:

1. Scenario 1: in één keer om.
2. Scenario 2: omschakelen per onderstation.
3. Scenario 3: per puzzelstuk: geleidelijk, in stappen omschakelen.

In het eerste scenario worden in één buitendienststelling alle onderstations tegelijk omgeschakeld. Ook het materieel wordt in deze periode omgeschakeld. Daarna wordt de treindienst hervat. In feite betekent dit dat zowel infra als materieel per "muisklik" omgeschakeld worden. Gelet op de aantallen onderstations, het materieel en de beschikbare menskracht zijn voor dit scenario eenmalige investeringen nodig, die in geen enkele verhouding tot de baten staan.

Het tweede scenario is het tegenovergestelde van scenario 1. Hier wordt per buitendienststelling een onderstation omgeschakeld. Als een "olievlek" breidt het 3 kV-gebied zich over het land uit. Op de 1,5kV / 3kV-zonegrens wordt een spanningssluis geplaatst. Het omschakelen van de infra is in dit scenario leidend. Zowel het materieel als de treindienst past zich aan door de nieuwe 3kV-voedingsgebieden te berijden met bicourant (rijdend omgeschakelbaar) materieel. Dit tweede scenario kenmerkt zich door een lange doorlooptijd.

Het derde scenario is een compromis tussen bovengenoemde twee scenario's. Clusters van onderstations worden in een buitendienststelling omgeschakeld. Voor zowel menscapaciteit, infra, materieel als de treindienst dient naar een optimum gezocht in de omvang van het om te schakelen gebied.

Uit de workshops kwam een voorkeur voor het derde scenario naar voren. De eerste twee scenario's zijn vanuit operationeel standpunt niet realistisch.

#### *Infradeel*

- Duur van ombouw en omschakeling wordt bepaald door beschikbare menscapaciteit met voldoende kennis en kunde.
- Ombouwperiode (voorbereid bouwen) duurt circa 10 jaar.
- Omschakeling van 6 tot 12 onderstations in één weekeinde (buitendienststelling) is haalbaar.
- Alle ombouwwerkzaamheden zijn gereed of de benodigde wijzigingen zijn in ombouwpakketten ter plaatse.
- Omschakelgebieden bestaan uit 20 tot maximaal 25 onderstations. Operationeel betekent dit dat in dit gebied 10 onderstations omgeschakeld zullen worden

waarbij gebruik wordt gemaakt van N-1 marge<sup>1</sup>. In de tijd na omschakeling zullen de overige onderstations omgeschakeld worden zodat voldaan gaat worden aan de n-1 marge.

- Het verder bijschakelen van onderstations kan in de loop van de opvolgende weken worden gedaan.
- Bij voorkeur worden eerst die onderstations omgeschakeld die een overcapaciteit hebben.
- Onderstations bij knooppunten of splitsingen hebben de voorkeur om als eerste omgeschakeld te worden, omdat daar meerdere baanvakken gevoed kunnen worden.

#### *Materieeldeel*

- Het volledige materieelpark is multi-courant (1,5kV en 3kV) voordat met het omschakelen wordt begonnen. Het rollend materieel is dus rijdend omgeschakelbaar.

#### *Spanningssluisdeel*

- De spanningssluisen zijn geplaatst op de vrije baan, niet op knooppunten.
- De spanningssluisen worden dicht bij het laatste 1,5kV-onderstation gebouwd en bij voorkeur op een 1- of 2-sporig baanvak.
- De stroomafnemer passage bij de spanningssluis gebeurt automatisch (geen handeling door machinist).

Op basis van de aannames, uitgangspunten en de uitvoeringsvorm van de spanningssluis wordt een concept omschakelplan opgesteld. Deze bestaat uit een gebiedsindeling en een fasering. Elk gebied kan in principe los van elkaar omgeschakeld worden mits gescheiden door spanningssluisen. De locaties van de spanningssluisen voor elk omschakelgebied zijn opgegeven. Nederland wordt in 12 omschakelgebieden ingedeeld. Hieronder is de hoofdlijn van het omschakelplan opgenomen.

Hierbij moet met nadruk worden opgemerkt dat de voorgestelde gebiedsindeling en fasering een optimum is tussen de belangen van de infra (samenhangende gebieden), de treindienst (samenhangende corridors om hinderlijke sluispassages te voorkomen) en de bedrijfseconomie (te incasseren baten). In dit voorgestelde plan ligt de nadruk op samenhangende TEV-gebieden.

Voor de corridors gewijze ombouw is naar aanleiding van een tweede workshop om twee hoofdredenen besloten deze optie niet uit te werken:

- Navraag bij vervoerders (NSR) geeft aan dat een deels omgebouwd materieelpark als niet haalbaar en niet wenselijk wordt beschouwd.
- De positionering van spanningssluisen is niet vrij te kiezen en zal tot meer spanningssluisen leiden en tot gecompliceerde situaties.

---

<sup>1</sup> In de 1,5kV situatie zit er redundantie in de voeding, het zogenaamde N-1 principe. De betrouwbaarheid die in het systeem zit kan op verschillende manieren worden benut bij de overgang naar een dubbele spanning. Als er in een onderstation voldoende reserve aanwezig is, kan de helft van een onderstation met twee tractiegroepen worden omgebouwd naar 3kV en bij het omschakelmoment worden ingeschakeld. Daarna kan de tweede groep worden omgebouwd. De reserve is ook te gebruiken door niet alle onderstations om te bouwen maar slechts een deel. Na het omschakelen kan dan de rest worden omgebouwd. In de situatie dat het TEV-net is omgeschakeld naar 3kV, is het mogelijk dat niet alle onderstations en schakelstations noodzakelijk zijn. Met een simulatie kan de uiteindelijke opzet worden beoordeeld. In dit onderzoek zijn deze gegevens niet bekend en geldt als uitgangspunt dat alle onderstations en schakelstations van het huidige 1,5kV net worden omgebouwd. Er wordt geen rekening gehouden met al bekende projecten in uitvoering of in ontwerp. Hierdoor kunnen er onderstations bijkomen maar ook afvallen. De effecten hiervan zullen marginaal zijn voor dit onderzoek.

Indien de nadruk gaat liggen op andere criteria kunnen de grenzen en aantallen van de gebieden wijzigen. Het concept omschakelplan zal dan ook afgestemd moeten worden met alle relevante betrokken partijen. Deze toetsing valt buiten de scope van dit onderzoek.

### **Migratie van het materieel**

Op 12 juni 2013 is de workshop "Impact 3kV op materieel" gehouden. Deze workshop had tot doel risico's en mitigerende maatregelen te inventariseren, die samenhangen met de ombouw van 1,5kV dc-materieel naar bicourant materieel dat ook geschikt is voor 3kV dc. Bij deze workshop waren vertegenwoordigers van diverse partijen uit de sector aanwezig. Er is een aantal financiële risico's vastgesteld van technische aard, welke geadresseerd zijn in de kostenraming. Daarnaast zijn er risico's die, bijvoorbeeld door proefneming, nog verder verkend en uitgewerkt dienen te worden tijdens de volgende onderzoeksfase.

Voorwaarde voor een juiste afstemming op de migratie van de infrastructuur is dat de ombouw naar Multi courant materieel plaatsvindt, voordat van omschakelen van de infra naar 3kV sprake kan zijn.

### **Conclusies ten aanzien van migratiestrategie**

Er is een aantal financiële risico's vastgesteld van technische aard, die geadresseerd zijn in de kostenraming. Daarnaast zijn er risico's die nog verder uitgekristalliseerd dienen te worden tijdens de volgende onderzoeksfase (bijv. door proefneming).

Voor het omschakelen zijn de mogelijkheden verkend. Eén alternatief is realistisch, waarbij sprake is van een geleidelijke, gebieds gewijze migratie. De aannames, uitgangspunten en raakvlakken zijn hierbij vastgesteld. Twee belangrijke consequenties zijn het plaatsen van tijdelijke spanningssluizen en gebruik maken van bicourant rollend materieel.

Op basis van de resultaten (inclusief de daarbij behorende geïdentificeerde en gemigreerde risico's) zijn de kosten van de migratie van de TEV-infrastructuur van 1,5kV naar 3kV geschat. De meerwaarde van deze studie is vooral de onderverdeling van de verschillende ombouw- en omschakelkosten.

## **Migratierisico's 1,5kV dc ECO**

### *Migratie infrastructuur*

De essentie van deze migratie betreft het koppelen van de bovenleiding waardoor de elektrische transportweerstand verlaagt. Voorwaarden vanuit de bedrijfsvoering vereisen extra op afstand gestuurde schakelaars bij de koppelingen.

Op zich zijn deze maatregelen uit te voeren. Het ligt voor de hand per voedingssectie of een nader te bepalen aantal voedingssecties de aanpassingen geleidelijk in het hele land in te voeren. De implementatie van de koppelingen zal circa 5 jaar in beslag nemen (KEMA, 2010).

De risico's die met deze ombouw beheerst dienen te worden zijn naar verwachting van mindere omvang dan bij een migratie naar 3kV (KEMA, 2010). Gezien de aard van de ombouw wordt ervan uitgegaan dat er geen blokkerende technische en/of RAMS-risico's zijn.

## Bijlage 5 Kostenraming voor de ombouw van infrastructuur

In de migratieworkshop zijn de kostenposten gedefinieerd om tot een 20% nauwkeurige begroting te komen. In het rapport "Van 1500 V naar 3 kV; Migratiestudie omschakelen en ombouwen TEV infrastructuur" (ProRail, 2014) is een overzicht opgenomen met standaard kostenposten ten behoeve van kostenraming van de ombouwvarianten naar 3kV. De met AKI afgestemde kosten zijn inclusief:

- onvoorzien 20%
- extra beheerkosten i.v.m. tijdelijke situaties 1%
- opslag voor eenmalige- en algemene bouwplaats kosten 12%
- opslag voor Algemene kosten, Winst en Risico (AKWR) 13%
- PEAT kosten 17,55% (13,75% AK-dekking + 3,8% planstudie fase)

Voor de kostenraming zijn de drie hoofdvarianten en een mixvariant onderscheiden:

- gelijkrichters in serie zetten
- step-up trafo achter de tractietransformator
- nieuwbouw tractiegroepen
- een mix van bovenstaande: 6-puls groepen vervangen door nieuwbouw 12-puls groepen en vervolgens de gelijkrichters van de 12-puls groepen bij het omschakelen in serie zetten

Het uitgangspunt bij deze opzet is dat de geïnterpreteerde risico's zo veel mogelijk worden gekapitaliseerd door een oplossing te kiezen die zowel betrouwbaar als te rammen is. Er zijn echter een paar uitzonderingen van risico's die ofwel nog niet kunnen worden afgeprijsd of die niet, of slechts indicatief, in de raming en post "onvoorzien" zijn opgenomen:

- In de variant van het in serie schakelen van gelijkrichters wordt één secundaire wikkeling van de trafo opgetild met 1,8kV dc. De gevolgen hiervan op bijvoorbeeld de levensduur van de trafo is niet bekend. Dit risico treedt niet op bij de voorkeursvariant.
- In de variant met de set-up trafo moet ruimte worden gevonden voor deze trafo's. Het plaatsen van deze trafo op de bestaande trafo geeft een probleem met het gewicht, maar ook de afmeting in hoogte. Een inpandige plaatsing vraagt om voldoende ruimtebeslag en is slechts in een paar locaties mogelijk. Een positie naast de bestaande trafo zal ook niet overal mogelijk zijn en vraagt om een aparte fundering en een olieopvangbak. Dit risico treedt niet op bij de voorkeursvariant.
- Vooral het hergebruik van de GVI is nog niet zeker, dit risico geldt in mindere mate voor de varianten "nieuw" en "step-up". Dit vraagt nader onderzoek, maar is naar verwachting technisch beheersbaar. Echter, in verband met de aansprakelijkheidsgarantie van de leverancier dient een nadere risicoafweging plaats te vinden. Vanwege de hoge mate van technische haalbaarheid zijn hier geen extra kosten meegenomen.
- In principe zijn de 1,5kV dc kabels geschikt voor gebruik in 3kV. Om dit vast te stellen zijn tests nodig op basis van een representatieve steekproef. Daarnaast is voor de leidingonderbrekers ervan uitgegaan dat ze alle vervangen moeten worden. Tests kunnen daar uit wijzen dat besparing mogelijk is. Optimalisering van de kosteninzage zal leren dat er kostenverhogende en -verlagende aspecten zijn.
- Bijna alle werkzaamheden kunnen buiten PVR (m.u.v. werkzaamheden aan bovenleiding) en zonder beïnvloeding van het treinverkeer worden uitgevoerd of kunnen als voorbereiding in de reguliere nachtgaten worden uitgevoerd. Alleen bij het omschakelen zal een groter gebied spanningsloos zijn. De kosten voor vervangend vervoer (ten tijde van de buitendienststelling) zoals bussen of de inzet van dieseltreinen is niet kwantitatief opgenomen.

Tabel b5.1. Overzicht kostenramingen (exclusief BTW)

Variant		Kosten	
1 variant GR in serie	ombouwkosten	€	211.642.322
	omschakelkosten	€	15.114.172
	extra beheer kosten	€	-
	<b>Totaal</b>	<b>€</b>	<b>226.756.494</b>
2 variant stepup	ombouwkosten	€	241.322.192
	omschakelkosten	€	8.812.011
	extra beheer kosten	€	-
	<b>Totaal</b>	<b>€</b>	<b>250.134.203</b>
3 nieuw tractie groepen	ombouwkosten	€	339.784.381
	omschakelkosten	€	15.060.405
	extra beheer kosten	€	-
	<b>Totaal</b>	<b>€</b>	<b>354.844.786</b>

De omvang van de ombouw van de onderstations met nieuwe tractiegroepen ten behoeve van spanningsverhoging is afhankelijk van het vervoersscenario en de robuustheid die gewenst is, nader toegelicht in Bijlage 3. De volgende ombouwmogelijkheden dienen zich aan:

1. Alle onderstations en het aantal groepen daarin handhaven en uitvoeren in 3kV. Dit is de meest robuuste oplossing. Echter voor de niet-PHS corridors ontstaat er een overmatige betrouwbaarheid.
2. Alle andere onderstations met twee 1,5kV dc-groepen worden omgebouwd tot een onderstation met één 3kV dc-groep. Ook bij onderstations met meer dan twee 1,5kV dc-groepen zal het aantal groepen na ombouw minder zijn. Uitzondering zijn de PHS-corridors. Het aantal groepen per onderstation zal daar ongewijzigd blijven. Deze variant kent geen overbodige betrouwbaarheid voor de niet-PHS-corridors.
3. Een alternatief om investeringskosten te besparen is de variant om alle onderstations met twee 1,5kV dc-groepen om bouwen tot een onderstation met één 3kV dc-groep. Bij onderstations met meer dan twee 1,5kV dc-groepen zal het aantal groepen na ombouw minder zijn. Deze oplossing is mogelijk indien het systeem op de PHS-baanvakken, in combinatie met het materieel, wordt voorzien van stroombegrenzing voor de situaties waarin een onderstation uitvalt. Dit zal in minder dan 1% van de gevallen tot situaties kunnen leiden waarin sprake is van enige prestatievermindering van de treinen. Deze oplossing zal in deze analyse niet verder worden uitgewerkt.

In onderstaande tabel zijn de ombouwkosten van verschillende mogelijkheden weergegeven.

Tabel b5.2. Ombouwkosten per variant

Ombouwkosten in mln. euro	Ombouw op basis van "Identiek aantal groepen bij 3kV als bij 1,5kV"	Ombouw op basis van "2 groepen 1,5kV dc wordt 1 groep 3kV dc" m.u.v. de PHS-corridors	Ombouw op basis van principe "2 groepen 1,5kV dc wordt 1 groep 3kV dc"
	398 (Niet noodzakelijk)	354	335 (Met stroombegrenzing zonder maatregelen in de trein)



## Bijlage 6 Berekening rijtijdwinsten en extra reizigers

Zoals eerder verklaard hangt de rijtijdwinst af van de materieelkarakteristieken en incasseerbaarheid in de dienstregeling.

### Materieelkarakteristieken

Om een grove afspiegeling van de Nederlandse vloot te maken is het materieelpark verondersteld zoals weergegeven in tabel b6.1. Voor het HSL materieelpark is VIRM verondersteld bij gebrek aan inzicht in het toekomstige ICNG-materieel. In het sprintersegment is een gedetailleerde vlootsamenstelling gehanteerd omdat de te verwachten baten daar het grootst zijn. De afkorting BMT staat voor 'Bench Mark Train' en representeert een nieuwe, voor 3kV geoptimaliseerde trein. Het IC en HSL segment zal in de toekomst betere rijeigenschappen voor 3kV bevatten dan de huidige VIRM treinstellen, verwacht wordt dat er extra rijtijdwinst kan worden gerealiseerd. De extra rijtijdwinst van het nog nieuw te bestellen IC materieel zal in de validatiefase moeten worden vastgesteld.

Tabel b6.1 Samenstelling materieelpark (op basis van Materieel Park Plan NS 2016)

	Materieelpark 2030-2045	%	Materieelpark 2045-2070	%
Regionaal elektrisch	GTW-E	100%	GTW-E	100%
HSL	VIRM	100%	VIRM	100%
Intercity	VIRM	100%	VIRM	100%
Sprinter	SLT	43%	SLT	0%
	SNG	38%	SNG	25%
	FLIRT	19%	FLIRT	12%
	BMT	0%	BMT	63%

Op basis van het onderzoek van Lloyd's Register (Lloyd's Register Rail, 2014) is er gekeken wat de rijtijdwinst per aanzet per materieeltype onder 3kV kan zijn in vergelijking met dezelfde aanzet onder 1,5kV. Daarbij is verschil gemaakt voor aanzetten naar 80, 100, 120, 130, 140 en 160 km/u, zie tabel b6.2. Een belangrijke randvoorwaarde is dat de infrastructuur geschikt gemaakt wordt om deze snelle acceleraties te faciliteren, aangezien het FLIRT materieel momenteel al begrensd is door de minimale aanrijtijd van overwegen. Bij gebrek aan een referentie van BMT materieel onder 1,5kV is de rijtijdwinst voor BMT genomen ten opzichte van het FLIRT onder 1,5kV, gezien dit momenteel het best presenterende materieel in Nederland is.

Tabel b6.2 Seconden rijtijdwinst per aanzetversnelling per materieelcompositie

	80 km/u	100 km/u	120 km/u	130 km/u	140 km/u	160 km/u
GTW-E-6	0	1	2	2	3	-
VIRM-6	2	4	8	10	13	21
SLT-16	1	2	5	7	9	14
SNG-12	0	2	5	8	10	16
FLIRT-12	0	3	7	9	12	19
BMT-12	0	4	8	11	14	17

Bron: -Afgeleiden op basis van (Lloyd's Register Rail, 2014)

### *Incasseerbaarheid in de dienstregeling*

Alhoewel er in de hoofdtekst al is verondersteld dat de incasseerbaarheid tussen de knooppuntstations 100% is, doet de maximale rijtijdwinst bij een aanzet naar 140 km/u zich niet bij elke haltering voor. Dit omdat er door de baanvaksnelheid of korte halteafstanden niet altijd opgetrokken kan worden naar 140 km/u. Er is niet gekeken naar aanzetten naar 160 km/u. Om te bepalen wat een aannemelijke aanzetwinst is voor een gemiddeld vertrek van een treinsort is het snelheidsprofiel van een aantal willekeurig gekozen trajecten geanalyseerd. In de dienstregeling 2017 gereden met SNG of SLT onder 1,5kV (series 4000, 3000, 8100, 2200, 700, 1500, 7800, 5600, 5100, 4300 en 7600). Door de aanzetten te categoriseren naar eindsnelheid kan een verdeling van de aanzetten afgeleid worden, zie tabel b6.3. Voor HSL is een "Intercity" aanzetpatroon aangenomen, voor regionaal verkeer een "Sprinter binnen Randstad" patroon. Het onderstaande tabel is als volgt te lezen: 26% van de "Sprinter binnen Randstad" behalen een maximale snelheid van 80km/u, 21%haalt 100km/u, et cetera.

Tabel b6.3 Verdeling van bereikte eindsnelheid tussen twee haltes

	80 km/u	100 km/u	120 km/u	130 km/u	140 km/u	160 km/u
Regionaal Elektrisch	26%	21%	18%	19%	16%	-
HSL	15%	15%	10%	15%	44%	-
Intercity	15%	15%	10%	15%	44%	-
Sprinter buiten Randstad	9%	11%	11%	34%	34%	-
Sprinter binnen Randstad	26%	21%	18%	19%	16%	-

Door de gegevens uit tabellen b6.1, b6.2 en b6.3 te combineren, kan er een gemiddelde rijtijdwinst per aanzet berekend worden waarin het materieelpark, bijbehorende materieelkarakteristieken én een afspiegeling van de verschillende eindsnelheden op baanvakken meegenomen is, zie tabel b6.4. De verschillen in tijdswinsten in onderstaande 2 perioden komt doordat omgebouwd materieel uitstroomt en wordt vervangen door nieuw, sneller materieel. Hierbij moet worden opgemerkt dat de potentie in tijdswinst voor de nieuw te bestellen intercity materieel misschien hoger is dan hieronder is beschreven, omdat er alleen een gedetailleerde materieeltype uitsplitsing is gemaakt in het sprintersegment.

Tabel b6.4 Gemiddelde seconden rijtijdwinst per haltering

	Tijdswinst per haltering (2030-2045)	Tijdswinst per haltering (2045-2070)
Regionaal elektrisch	1s	1s
HSL	9s	9s
Intercity	9s	9s
Sprinter buiten Randstad	7s	9s
Sprinter binnen Randstad	4s	6s

### **Reistijdwinsten**

De reistijdwinsten voor passagiers als gevolg van de rijtijdwinsten hierboven uitgelegd zijn als volgt bepaald:

- Op basis van de huidige situatie is aangenomen dat de gemiddelde bezetting van een Intercity en HSL 165 passagiers is, de gemiddelde bezetting van een sprinter en een regionale trein is 70 passagiers.

- Het aantal vertrekken per uur is bepaald uit de PHS dienstregeling.
- Er is vanuit gegaan dat de dienstregeling 6000 uur per jaar gereden wordt (16 uur per dag).
- De gemiddelde rijtijdwinst per haltering per treintype afgeleid in de vorige paragraaf is vermenigvuldigd met het aantal vertrekken in een jaar.

Op basis hiervan is de potentiële reistijdwinst voor passagiers in 2015 bepaald. De jaarlijkse stijging van het aantal reizigerskilometers is bepaald op basis van het aantal reizigerskilometers in de WLO-scenario's – er is op basis van CPB & PBL (2015) een gemiddeld jaarlijks groeipercentage berekend (zie de volgende tabel).

Tabel b6.5 Toename aantal reizigerskilometers per trein

	Laag	Hoog
<i># reiz. kms (mld)</i>		
2010	17	17
2030	21,42	22,45
2050	20,41	24,12
<i>% stijging</i>		
2010-2030	1,16%	1,4%
>2030	-0,24%	0,36%

Bron: Berekeningen obv CPB & PBL (CPB en PBL, 2015).

De tijdwaardering is overgenomen van de SEE-website. De gemiddelde tijdwaardering over alle motieven in 2010 en prijspeil 2010 was 9,29 euro inclusief BTW. De gemiddelde inflatie (CPI) in de jaren 2011-2016 was in totaal 9,9%, zodat dit in prijspeil 2016 10,18 euro is. De jaarlijkse toename hiervan is vervolgens berekend op basis van de gegevens op de SEE-website, zie onderstaande tabel.

Tabel b6.6 Jaarlijkse stijging tijdwaardering

	Laag	Hoog
Tijdwaardering 2010 (pp 2016)	10,18	10,18
2010-2020	0,30%	0,49%
2020-2030	0,66%	0,92%
2030-2040	0,71%	1,15%
> 2050	0,73%	1,04%

Bron Berekeningen obv gegevens RWS-SEE-website.

### Extra reizigers

Het effect van extra reizigers is bepaald op basis van de MKBA van ERTMS (MuConsult, 2014). Dit rapport geeft niet aan hoe dit aantal precies bepaald is, want dit betreft een vertrouwelijke elasticiteit. Er wordt echter wel gerapporteerd met hoeveel procent het aantal reizigers toeneemt. De reistijdwinsten in die MKBA liggen in dezelfde orde van grootte als in deze MKBA. Op basis van de ERTMS-alternatieven is het gemiddelde percentage berekend per miljard euro reistijdwinst. In de ERTMS-alternatieven is dit 1,47% en 1,65%. Als indicatie wordt hier 1,5% gehanteerd. De in de MKBA mee te nemen reistijdwinst wordt bepaald via de Rule of Half: de berekende reistijdwinst van een nieuwe reiziger telt voor de helft van een

reiziger die voorheen al reisde. De reistijdwinst zoals berekend op de hierboven beschreven manier is daarom opgehoogd met 0,75%. De aldus berekende extra reistijdwinst is €32 miljoen in het hoge en €21 miljoen in het lage scenario.

De ERTMS MKBA geeft ook aan dat er door deze extra reizigers, als gevolg van gestegen kaart verkoop, extra winst door de vervoerders wordt gemaakt. Omdat we alleen de extra winst willen berekenen moet van de extra omzet de exploitatiekosten af worden gehaald. De aanname hierbij is (net als in de MKBA van ERTMS) dat er geen extra materieel ingezet wordt, dus dat de bezettingsgraad toeneemt. Op basis van de ERTMS MKBA is bepaald hoeveel extra winst er is per 1 miljard euro reistijdwinst; dit was gemiddeld 37,5 miljoen euro. In deze MKBA is dit als kengetal gebruikt en gerelateerd aan de €675 miljoen reistijdwinst, zie tabel 6.10. Dit levert in het hoge scenario in NCW termen €25 miljoen euro aan extra winst op, in het lage scenario is dit 20 miljoen euro.

## Bijlage 7 Simulaties energiebesparing en rijtijdwinst

*Onderstaande informatie op basis van onderzoek Lloyds (Lloyd's Register Rail, 2014) en Arcadis (Arcadis, 2015). Niet door NS gevalideerd door concept ontwerp per treintype.*

### **Uitgevoerde simulaties ter bepaling van de omvang van de energiebesparing**

Om de baten van recuperatie en rijtijdwinst in de dienstregeling weer te geven zijn drie representatieve infrastructuren geselecteerd om te simuleren met het gevalideerde energieprogramma Xandra (Arcadis, 2015):

1. De Flevolijn en Hanzelijn (Weesp – Lelystad – Zwolle);
2. Knoop Den Bosch (Tilburg – Boxtel – Houten – Ravenstein).
3. Uitgeest – Zaandam.

De Flevolijn is representatief voor de vele haltes op korte afstand van elkaar en de rijtijdwinst op het traject Weesp – Zwolle. De knoop Den Bosch is representatief voor een verknoot netwerk met 4 aansluitende baanvakken. De knoop biedt de mogelijkheid om het terugvoeden van recuperatie-energie in een verknoot netwerk te onderzoeken. De halteafstanden in dit gebied zijn groter dan rond Almere, wat het mogelijk maakt de effectiviteit van recuperatie te onderzoeken. Op Uitgeest – Zaandam kan door rijtijdwinst mogelijk viersporigheid achterwege blijven. Na uitvoering van deze simulatie bleek dat de resultaten vanuit energetisch oogpunt niet bruikbaar bleken en representatief zijn.

De toegepaste dienstregeling bestaat uit BUP2013 zijnde 1 uur in de ochtendspits. Het maximale recuperatiepotentieel van het materieel is onderzocht door beide tractie-alternatieven (1,5kV en 3kV) uit te voeren met onderstations, die vermogen terug kunnen leveren. Hierdoor kan het materieel altijd recupereren, ook wanneer er geen afnemers aanwezig zijn. Ten behoeve van de berekening van het effect van spanningsverhoging op het energieverbruik is de capaciteit om remenergie aan het net terug te leveren bepaald voor een intercity en een sprinter. Als intercity is een trein conform VIRM gebruikt waarbij de eigenschappen om energie terug te leveren (onder 1,5kV en onder 3kV) zijn geoptimaliseerd ("remblending"). SLT is gebruikt als model voor een sprinter, hoewel het vermogen van SLT om remenergie terug te leveren niet optimaal is. Ten tijde van het project is gebleken dat het aandeel elektrisch remmen is onderschat [13]. Daarin wordt aangegeven dat het recuperatievermogen van SLT en VIRM niet optimaal is. Voor 3kV geoptimaliseerd materieel zal op treinniveau ca. 1,5 keer meer energie terug kunnen leveren dan het materieel waar voor deze studie mee is gerekend. Een nieuwe simulatie dient uit te wijzen hoeveel extra energiebesparing dit gaat opleveren.

Er is daarnaast een simulatie van een 1,5kV dc-basisvariant uitgevoerd zonder recuperatie om het verschil met recuperatie te kunnen aangeven. In de huidige dienstregeling rijden ook materieeltypen rond, die niet of minder kunnen recupereren dan de hier toegepaste materieeltypen. Om een vergelijking te kunnen maken tussen de mogelijke energiebesparing op basis van de doorgerekende varianten, is vastgesteld dat het recuperatiepotentieel van het huidige materieel zich op minder dan de helft tussen de twee uitersten – geen recuperatie, maximale recuperatie – bevindt.

Bij de 3kV-uitvoering van het tractievoedingssysteem zijn twee subvarianten beschouwd:

- Ombouw van de bestaande onderstations met (zo veel mogelijk) bestaande componenten;
- Nieuwbouw van tractiegroepen (transformator en gelijkrichter) in bestaande onderstations.

Voor beide 3kV-uitvoeringen wordt een N-1-scenario uitgevoerd, waarbij een gedeelte van de onderstations degradeert tot schakelstation. Dit is nodig om te toetsen of het systeem voldoet

aan de redundantie -eisen, die een voldoende betrouwbaarheidsniveau moeten garanderen. Daarnaast is het effect van de onderstationsweerstand op de aanraakspanning van belang. Om de elektrische veiligheid van personen te kunnen toetsen zijn met de simulaties ook de aanraakspanningen (spoorstaaf-aarde spanningen) vastgesteld.

Op basis van de twee varianten “Weesp – Lelystad – Zwolle” en “Knoop Den Bosch” met 20% goederen is een doorkijk gegeven naar de landelijke invloed van overgang van een 1,5kV naar een 3kV-systeem. Hierbij is het energieverbruik volgens de simulaties gekalibreerd met de werkelijke metingen van de kWh-meter in de twee gebieden. Van alle onderstations is het gemiddeld gemeten maandverbruik bepaald en gesommeerd om het aandeel van de infrastructuurvarianten op het totaalverbruik weer te kunnen geven en een omrekening te kunnen maken naar het landelijke verbruik.

Daarnaast zijn een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor zowel het 1,5kV dc-systeem als het 3kV dc-systeem. Hiervoor is een fictief standaard Cenelec-baanvak gebruikt. Voor de volgende parameters is de gevoeligheidsanalyse uitgevoerd:

- 140 versus 160 km/u;
- variatie van de remvertragingen;
- intensivering van de dienstregeling;
- dwarskoppelen van de bovenleiding;
- uitrollen zonder recuperatie;
- 1,5kV dc met 5 kA maximale stroomsterkte

In aanvulling op deze simulaties zijn deze baanvakken ook gesimuleerd voor intensievere dienstregelingen conform de LTSA (Arcadis, 2014). Hierbij is alleen knooppunt Den Bosch gesimuleerd. Daarnaast is een aantal regioliijnen gesimuleerd, zie Arcadis (2014a).

#### ***Uitgevoerde simulaties ter bepaling van de omvang van de rijtijdwinsten.***

Ter bepaling van de rijtijdwinsten in de dienstregeling zijn simulaties uitgevoerd voor de baanvakken:

- Utrecht-Den Bosch
- De Zaanlijn
- Schiphol-Lelystad.

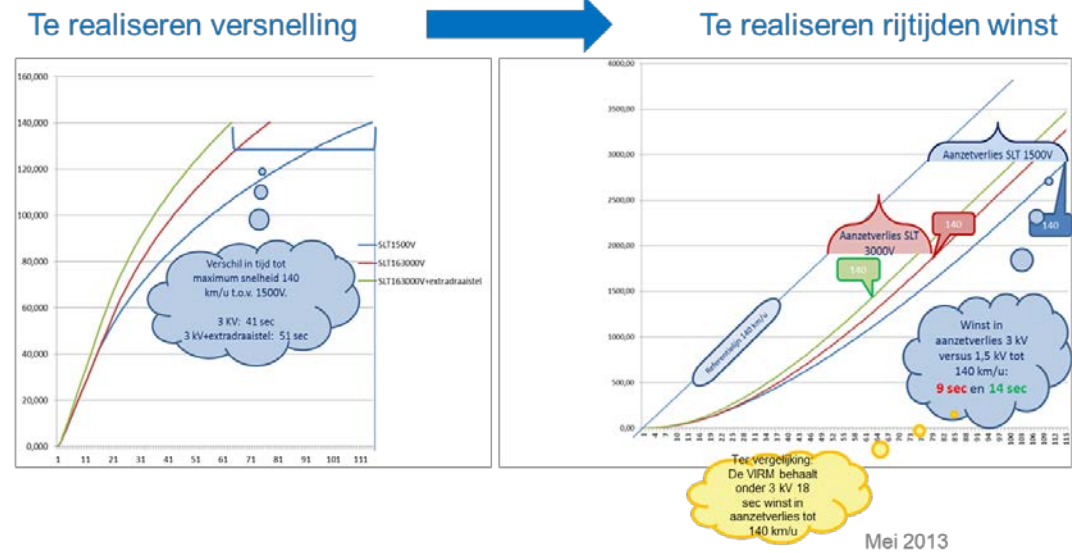
Als input voor deze simulaties heeft het rapport van Lloyd's Register (2014) gediend, waarin onder andere de materieelkenmerken zijn vastgesteld. In deze paragraaf is hiervan een samenvatting opgenomen met betrekking tot het potentieel aan rijtijdwinsten.

Als model voor een intercity zijn de karakteristieken van VIRM gebruikt. Als standaardsprinter is de SLT gebruikt omdat alleen deze uit de sprintervloot ten tijde van de simulatie nog na 2025 in gebruik zal zijn. Omdat o.a. in Duitsland, waar het beschikbare vermogen veel hoger ligt, ook veel snellere sprinters worden gebruikt, zijn niet alleen de karakteristieken van SLT, maar ook die van sprintermaterieel op basis van de in Duitsland gebruikte vermogenskarakteristiek bepaald. Ten aanzien van goederentreinen is gekeken naar samenstellingen die volgens gegevens van ProRail en DB Schenker het meest worden ingezet.

Voor de ombouw voor de 3kV energievoorziening zal SLT van een downchopper van 3kV naar 1200-1950V voorzien moeten worden. Door bij lage vermogensbehoefte (lage snelheid) een lage ingangsspanning aan te bieden, en de ingangsspanning wanneer deze beperkend wordt (in pulstal 1), met de snelheid op te laten lopen, kan bij maximaal vermogen 30% meer spanning op de motoren worden gezet. Samen met het wegvallen van de stroombegrenzing

wordt zo 50% meer vermogen geleverd. Bij het optrekken naar 130, 140 en 160 km/u levert dat respectievelijk 7s, 9s en 13s tijdwinst op. In onderstaande figuur wordt dit gevisualiseerd.

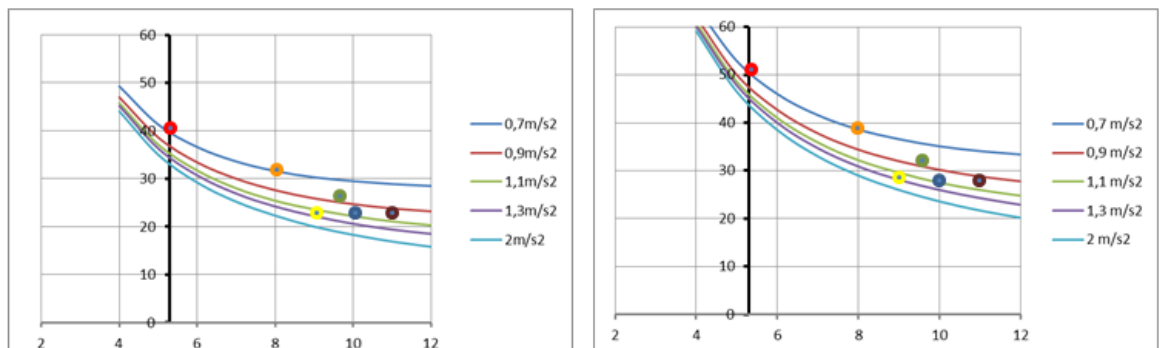
Figuur b6.1. Illustratie rijtijdwinst (reductie aanzetverlies) van een omgebouwde SLT



De in Nederland toegepaste 1,5kV tractie-energievoorziening wordt verder in Europa alleen op secundaire Franse lijnen toegepast. SLT is dan ook speciaal voor de Nederlandse markt ontworpen. Dit houdt onder andere in dat relatief weinig tractievermogen is geïnstalleerd. Een groter vermogen is immers niet beschikbaar. SLT heeft onder 1,5kV een vermogen van 5,4MW beschikbaar, onder 3kV zou dat 8MW worden. Er is onder 3kV in de Nederlandse situatie echter meer vermogen (>12MW) beschikbaar. Dat vermogen is vergelijkbaar met het vermogen onder 15kV in Duitsland. Vanwege de lagere stroomsterkte is in België over het algemeen onder 3kV "slechts" 8MW beschikbaar, die situatie is daarom niet vergelijkbaar.

Enkele in Duitsland gebruikte stoptreinen zijn daarom als referentie bekeken. Deze beschikken over ca. 10MW. Bij optrekken naar 140 en 160 km/u zijn treinen met een dergelijk vermogen respectievelijk 18s en 23s sneller dan SLT onder 1,5kV. Zie ter informatie onderstaande figuur.

Figuur b6.2. Aanzettijdverliezen als functie van aanzetkracht & vermogen bij 140km/u (links) en 160km/u (rechts)



In het overzicht met aanzettijdverliezen naar 140km/u zijn de diverse materieeltypen met een stip aangegeven:

- Rood, SLT huidig: 5,4MW, 0,7m/s<sup>2</sup>
- Oranje, SLT onder 3kV: 8,1MW, 0,7m/s<sup>2</sup>
- Groen, SLT onder 3kV met een extra aangedreven draaistel: 9,7MW, 0,84m/s<sup>2</sup>
- Geel: 9MW, 1,3m/s<sup>2</sup> (tractiekaracteristiek conform Civity)
- Blauw: 10MW, 1,1m/s<sup>2</sup> (tractiekaracteristiek conform Talent2)

Op basis van informatie van DB Schenker en ProRail is een aantal typische goederentreinen geselecteerd. Voor deze goederentreinen zijn de tijdverliezen bij acceleratie en de maximumsnelheden onder 1,5kV en onder 3kV bepaald.

Omdat de meeste goederentreinen met één locomotief worden gereden, is het extra beschikbare vermogen beperkt, daarnaast heeft dat extra vermogen pas effect vanaf ca. 60km/u omdat tot die snelheid onvoldoende assen (adhesie) beschikbaar zijn om het vermogen op de baan te brengen. Voor goederentreinen met één locomotief bedraagt de tijdwinst onder 3kV 1 tot 8 s per aanzet naar 80km/u. Het verschil is klein omdat de locomotieven het hogere beschikbare vermogen pas vanaf ca. 70km/u kunnen opnemen. Boven 80km/u worden de verschillen groter. Vanaf 2400 ton wordt 100km/u onder 1,5kV niet meer bereikt. Voor goederentreinen met twee locomotieven bedraagt de tijdwinst onder 3kV 30 tot 90s per aanzet naar 80km/u. Ook met twee locomotieven wordt 100km/u onder 1,5kV niet bereikt.

Ook bij intercity's vertaalt een hoger beschikbaar vermogen zich in minder tijdverlies bij het optrekken en een hogere maximumsnelheid. Voor het onderzoek is een trein à la VIRM gebruikt, echter zonder de snelheidsbeperking van 160 km/u. Een intercity in maximale treinsamenstelling verliest bij het optrekken naar 160 km/u onder 3kV een halve minuut minder dan onder 1,5kV. Deze tijdwinst is vergelijkbaar met de tijdwinst die wordt geboekt door gedurende 9 km 160 km/u te rijden in plaats van 140 km/u. Het rendement van 160 km/u rijden wordt bij toepassing van 3kV tractie-energievoorziening daarom veel groter.

De uitkomsten zijn de basis geweest voor V&D om de landelijke omvang van de rijtijdwinst in te schatten i.o.m. NS.



## Bijlage 8 Tabel met fysieke effecten in 2040

In onderstaand tabel is een overzicht met niet verdisconteerde effecten in het jaar 2040 opgenomen. Bedragen zijn in miljoenen euro's, tenzij anders omschreven.

Tabel b7.1 Overzicht 'fysieke effecten 2040

	Hoog		Laag	
	1500V ECO	3kV	1500V ECO	3kV
<i>Kosten</i>				
Investering infrastructuur	103	450	103	450
Investering materieel NS	-	839 - 1.134	-	839 - 1.134
Investering materieel o. vervoerders	-	76	-	76
Vermeden investeringen	-	PM	-	PM
B&O infrastructuur	1	4,5	1	5
B&O materieel NS	-	42 - 57	-	42 - 57
B&O materieel overige vervoerders	-	0,8	-	1
Programmakosten	PM	PM	PM	PM
<i>Baten</i>				
Acceleratievoordelen (mln. uur)	-	3,8	-	3,4
Extra reizigers	-	1,9	-	1,6
Indirecte effecten	-	7,5	-	6,2
Minder composities	-	10,7	-	10,7
Minder personeelskosten	-	0,1	-	0,1
Minder energiekosten – elektriciteit	15,5	31,7	12,5	25,6
Minder energiekosten – distributie	5,1	10,5	5,0	10,2
Afname CO <sub>2</sub> –emissie (tons)	30.101	73.874	30.101	73.874
Capaciteitsvergroting	-	PM	-	PM
Minder uitbuigen	-	PM	-	PM
Interoperabiliteit	-	PM	-	PM
Imago	-	PM	-	PM
Verkrijgbaarheid materialen	-	PM	-	PM
Goederenvervoer	-	PM	-	PM
Hogere Betrouwbaarheid	-	PM	-	PM

## **Bijlage 9   Uitgangspunten kosten voor materieelombouw 3kV**

1. Inbouwen technische installatie:
  - DC-DC Chopper toevoegen, incl. besturing en beveiliging van gehele additionele installatie
  - Koelingselementen toevoegen
  - Snelschakelaar toevoegen
  - Hoogspanning keuzeschakelaar / aardingschakelaar toevoegen
  - Isoleren pantograaf (met overspanningsbeveiliging)
  - Gewicht op treinniveau: aanpassingen om te compenseren voor extra gewicht om rem- en tractie-prestaties op niveau te behouden (NTB)
  - Extra lijnfilterspoel toevoegen
2. Aanpassingen casco, draaistel en treinbesturing software, bijvoorbeeld:
  - Versterken en aanpassen casco voor plaatsing toegevoegde componenten
  - Aanpassingen draaistel (bijv. primaire vering, secundair noodveerpakket, stabilisatoren)
  - Treinbesturing software aanpassen
3. Aanpassingen m.b.t. treinintegratie en toelating (nader te onderzoeken):
  - Aanschaffen extra materieel om onttrekking te compenseren
  - Verwijderen zitplaatsen/staanplaatsen ten behoeve van additionele techniek
  - Interieuraanpassingen voor inpassen technisch ruimten extra componenten
  - Geluid beperkende maatregelen langs perron en/ of op opstel terrein. Extra geluid voornamelijk door extra benodigde koeling van de techniek.
  - Aanpassing laagspanningsvoorziening om gevraagd extra vermogen van nieuwe techniek te kunnen leveren (bijv. voor ventilatoren voor de koeling van de techniek)
  - Aanpassing casco om lokaal verzwaarde lasten te kunnen dragen

**Colofon**

Titel	Een maatschappelijke kosten-baten analyse van een verbeterde tractie-energievoorziening Uitwerking van de alternatieven 3kV en 1,5kV ECO
Versie/Datum	1.0/ 20 april 2018
Status	definitief
Van	Karen te Boome, Fedor ter Harve, Arjen Zoeteman (ProRail) Patrick van Beek, Roosmarijn Burghout, Martijn Lanenga, Rob Richelle (NS)