

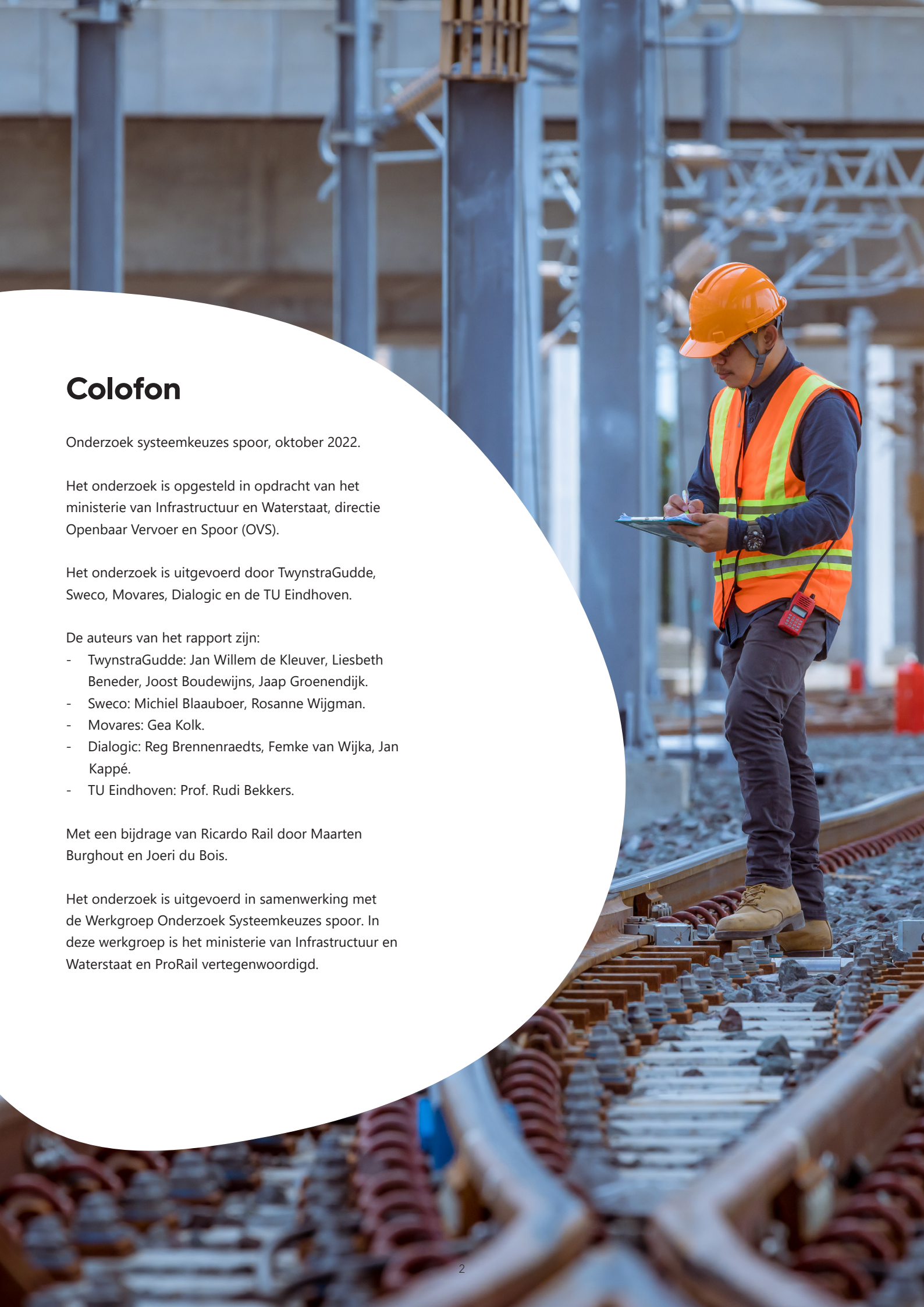
TwynstraGudde

RAPPORT

Digitale transitie voor een toekomstbestendig spoor

Onderzoek systeemkeuzes spoor

SWECO Movares dialogic TU/e EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Colofon

Onderzoek systeemkeuzes spoor, oktober 2022.

Het onderzoek is opgesteld in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, directie Openbaar Vervoer en Spoor (OVS).

Het onderzoek is uitgevoerd door TwynstraGudde, Sweco, Movares, Dialogic en de TU Eindhoven.

De auteurs van het rapport zijn:
- TwynstraGudde: Jan Willem de Kleuver, Liesbeth Beneder, Joost Boudewijns, Jaap Groenendijk.
- Sweco: Michiel Blaauboer, Rosanne Wijgman.
- Movares: Gea Kolk.
- Dialogic: Reg Brennenraedts, Femke van Wijka, Jan Kappé.
- TU Eindhoven: Prof. Rudi Bekkers.

Met een bijdrage van Ricardo Rail door Maarten Burghout en Joeri du Bois.

Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met de Werkgroep Onderzoek Systeemkeuzes spoor. In deze werkgroep is het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en ProRail vertegenwoordigd.

Inhoudsopgave

Management Samenvatting 4

1. Inleiding 7
1.1. Digitale transitie voor een toekomstbestendig spoor 7
1.2. Doel van het onderzoek 8
1.3. Aanpak en verantwoording 8
1.4. Leeswijzer 9

2. Definities en kaders onderzoek 10
2.1. Definities 10
2.2. Analysekader 10
2.3. Operationalisering van doelen en ambities 11
2.4. Invloed van Europese ontwikkelingen 12

3. Analyse per systeemsprong 15
3.1. Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS hybride level 3) 15
3.2. Verkeersmanagement (TMS) 16
3.3. Automatische treinbesturing (ATO) 17
3.4. 5G-telecommunicatie (FRMCS) 18
3.5. Aanpassing van de tractie- en energievoorziening (3kV) 19
3.6. Conclusie: bijdrage van de systeemsprongen aan de doelen 20

4. Samenhang van de systeemsprongen 23
4.1. Ontwikkeling van de systeemsprongen in de tijd 23
4.2. Onderlinge samenhang 24
4.3. Conclusies 25

5. Keuzeruimte systeemsprongen 26
5.1. Systeemkeuzes in de tijd 26
5.2. Systeemkeuzes naar plaats 29

6. Sturingsprincipes en prioritering 31
6.1. Prioriteren op capaciteit 31
6.2. Prioriteren op kosteneffectiviteit 33
6.3. Prioriteren op maakbaarheid 36
6.4. Routekaart met besluitvorming 39

7. Conclusies en advies 41
7.1. Conclusies van het onderzoek 41
7.2. Advies en vervolgonderzoek 46

Bijlagen 48

Management Samenvatting

Het personen- en goederenvervoer op het spoor groeit substantieel. De verwachting is dat tot 2040 het personenvervoer zal toenemen met 18-40% en het goederenvervoer met 32-55%[1]. Om deze groei te kunnen accommoderen is een doorontwikkeling nodig van het huidige spoornetwerk, waardoor capaciteitsknelpunten worden voorkomen en een bijdrage geleverd wordt aan een betere bereikbaarheid. De digitale transitie op het spoor is hiervoor onmisbaar. Het biedt de mogelijkheid om extra capaciteit op het bestaande netwerk te realiseren en extra investeringen – door nieuwe spoorinfrastructuur – te vermijden. Deze transitie is al ingezet. De vraag is hoe deze digitale transitie vorm kan krijgen en welke systeemkeuzes tot 2040 hiervoor nodig zijn.

Dit rapport is het resultaat van een onderzoek[2] naar vijf systeemsprongen in de digitale transitie van het spoor. Deze uiteenlopende systeemsprongen kunnen – al dan niet in combinatie – toegepast worden om een betere benutting van het spoornetwerk te realiseren. Voor iedere systeemsprong is informatie beschikbaar, maar het ontbreekt aan een overkoepelend beeld van de samenhang tussen en de potentie van de systeemsprongen. Het onderzoek maakt nut en noodzaak van de vijf systeemsprongen – individueel en in samenhang – inzichtelijk en biedt inzicht in prioritering en keuzes. De uitkomsten zijn ondersteunend bij de te nemen besluiten – door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en ProRail – over de inrichting van de digitale transitie op het spoor.

De volgende vijf systeemsprongen zijn onderzocht:

Systeemsprong	Toelichting
Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS[3] hybride level 3)	Een treinbeveiligingssysteem dat gericht is op korte beveiligingsblokken, waardoor treinen veilig vlak achter elkaar kunnen rijden.
Verkeersmanagement (TMS[4])	Meerdere systemen die de logistieke besturing en bijsturing van treinen slimmer en meer automatisch (vaak real-time) maken.
Automatische treinbesturing (ATO[5])	Een systeem dat automatische besturing (o.a. optrekken en afremmen) van een trein mogelijk maakt. Hiermee kan een trein zelfstandig de dienstregeling uitvoeren, halteren bij stations en rangeerbewegingen op emplacementen maken.
5G-telecommunicatie (FRMCS[6])	Een telecommunicatiesysteem gebaseerd op 5G-technologie, dat de mogelijkheid biedt om snel data uit te wisselen.
Tractie- en energievoorziening (3kV[7])	Een tractie-energievoorziening die meer vermogen biedt bij een gelijkblijvend aantal onderstations, waardoor meer treinen tegelijkertijd kunnen optrekken en hogere snelheden op het spoor mogelijk zijn en energie te besparen is.

1. Tweede kamer, Integrale Mobiliteitsanalyse, 2020/2021, 31305, nr. 328.
2. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, directie Openbaar Vervoer & Spoor en is door een consortium onder leiding van TwynstraGudde, dat bestaat uit ingenieursbureau Sweco, ingenieursbureau Movares, onderzoeksbureau Dialogic en de Technische Universiteit Eindhoven.
3. ERTMS is een afkoring voor 'European Rail Traffic Management System' en ETCS is een afkorting voor 'European Train Control Systeem'.
4. TMS is een afkorting voor 'Traffic Management Systemen'.
5. ATO is een afkorting voor 'Automatic Train Operation'.
6. FRMCS is een afkorting voor 'Future Railway Mobile Communication System'.
7. 3kV: verhogen bovenleidingspanning naar 3 kilovolt.

In het rapport is beschreven:

- Wat iedere systeemsprong is en welke bijdragen het kan leveren aan de doelen en ambities van het spoor. Dit is geoperationaliseerd in het vergroten van de capaciteit, interoperabiliteit en betrouwbaarheid, duurzaamheid en veiligheid.
- Wat de samenhang is tussen de vijf systeemsprongen op basis van (technische) afhankelijkheid en de mogelijkheden voor synergie voor optimale benutting van het spoor.
- Welke hoofdkeuzes er te maken zijn in de digitale transitie en welke gevolgen deze hebben. Voor keuzes naar tijd gaat het om het zelf ontwikkelingen van nieuwe technologie, wachten tot buurlanden technologie ontwikkelen of wachten tot het laatste moment van vervanging, dan wel Europese verplichting. Voor keuzes naar plaats gaat het om landelijke inzet over het hele spoornetwerk, lokale inzet met mogelijke uitbreiding of enkel inzet op specifieke trajecten.
- Hoe middels prioritering in de vijf systeemsprongen de digitale transitie wordt ingezet. Er is rekening gehouden met organisatorische aspecten, zoals kennisopbouw, onderzoek en investeringsbesluiten. Ook is er een routekaart voor besluitvorming opgesteld.

Er zijn twee aanvullende rapportages opgesteld. De eerste bevat een uitgebreide technisch analyse van de systeemsprongen. De tweede bevat een vergelijking met wat de spoorsector kan leren van digitale transities in andere sectoren.

Uitkomsten onderzoek

De systeemsprongen hebben de potentie om een bijdrage te leveren aan de doelen en ambities in het kader van het Toekomstbeeld OV 2040 en Modal Shift voor goederen. De systeemsprongen zijn, uitgezonderd Tractie- en energievoorziening (3kV), technologieën die een grote ontwikkelopgave hebben, voordat deze geïmplementeerd kunnen worden en er effecten optreden. Drie van de vijf systeemsprongen leveren een significante bijdrage aan de doelen voor **capaciteit** 2040. Dit zijn Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3), Automatische treinbesturing (ATO) en Verkeersmanagement (TMS). Maar gezien de omvang van de opgave is het niet reëel dat enkel de systeemsprongen deze opgave kunnen realiseren. 5G-telecommunicatie (FRMCS) levert geen directe bijdrage aan het vergroten van de capaciteit, en de baten van Tractie- en energievoorziening (3kV) kunnen bij inzet pas na 2040 geëffectueerd worden. De inzet op de systeemsprongen verhoogt of verlaagt niet noodzakelijk de **interoperabiliteit** met buurlanden. De impact op betrouwbaarheid, veiligheid en duurzaamheid verschilt sterk per systeemsprong.

De vijf systeemsprongen hebben minder onderlinge technische afhankelijkheden dan aan de start van dit onderzoek verwacht. Uitgaande van de aanwezigheid van ERTMS level 2 op het spoor, zijn Verkeersmanagement TMS en Automatische treinbesturing (ATO) aan elkaar verbonden om daarmee over constant up-to-date informatie te beschikken, en wordt 5G-telecommunicatie FRMCS pas voorwaardelijk bij de hogere toepassingsniveaus van ATO. De **geringe technische samenhang** tussen de systeemsprongen maakt dat er relatief veel keuzeruimte is of en hoe de individuele systeemsprongen verder te ontwikkelen en te implementeren. Om **synergievoordelen** te behalen – en daarmee toe te werken naar een optimale benutting van het spoor – is er wel een sterke samenhang in de uitrol van de diverse systeemsprongen nodig. Bijvoorbeeld door te kiezen voor slimme combinaties voor de implementatie van de systemen in het materieel. De levensduur van het materieel is enige tientallen jaren. In die periode vindt enige keren groot onderhoud of renovatie plaats.

Vanuit **Europese wet- en regelgeving** is er maar één systeemsprong, waarvan duidelijk is dat deze voor 2040 gerealiseerd dient te zijn. Dit betreft de implementatie van 5G-telecommunicatie FRMCS. Deze dient naar verwachting in 2036 gerealiseerd te zijn en de implementatie kan op zijn vroegst in 2029 starten. Er is hierbij dus een beperkte keuzevrijheid vanwege deze wettelijke verplichting door Europese regelgeving.

Aansluiten op de ontwikkeling van digitale transitie in andere landen is essentieel. Inzetten op hele nieuwe ontwikkelingen zonder afstemming heeft als risico dat andere landen mogelijk niet volgen en kiezen voor andere systemen. Daarnaast geldt ook dat sterk vasthouden aan **nationale specificaties** de inkoop van nieuwe technologie duur maakt en er ook tijdverlies optreedt wanneer ‘nieuwe technologie’ aangepast dient te worden aan de Nederlandse specificaties. Daarbij geldt ook dat, als Nederland afwachtend is en volgend is op de technologische ontwikkeling van systeemsprongen in buurlanden, de potentiële bijdrage van de vijf systeemsprongen aan de doelen en ambities op het spoor niet tijdig gerealiseerd worden. Het is dan ook belangrijk om af te stemmen met buurlanden en op beleidsniveau actief in te zetten op gezamenlijke ontwikkeling en specificaties.

In het onderzoek is een routekaart uitgewerkt op basis van drie mogelijke **sturingsprincipes**: maximale capaciteitswinst, kosteneffectief capaciteitswinst en maakbaarheid. Om **maximale capaciteitswinst** in 2040 te bereiken lijkt Nederland in te moeten zetten om vier van de vijf systeemsprongen te ontwikkelen en te implementeren. Het sturingsprincipe **kosteneffectieve capaciteitswinst** in 2040 gaat uit van de inzet van drie van de vijf systeemsprongen. De investeringen in digitalisering zijn hoog, maar infrastructurele investeringen zijn naar verwachting in veel gevallen nog hoger. En in het sturingsprincipe **maakbaarheid** worden afwegingen gemaakt op basis van operationele overwegingen, zoals beschikbare capaciteit, de hoeveelheid buitendienststellingen die systeemsprongen oplevert of van de onttrekking van materieel die de inzet van een systeemsprong vraagt. De inzet is om niet parallel, maar opvolgend de systeemsprongen te ontwikkelen en te implementeren. Het effect hiervan is, dat de capaciteitsdoelstellingen later dan 2040 behaald worden.

Het onderzoek maakt echter ook duidelijk dat er nog veel onzekerheden zijn ten aanzien van deze nieuwe technologieën. De baten én kosten die deze systeemsprongen vragen zijn nog niet in alle gevallen volledig duidelijk. Dit geldt zeker wanneer het gaat om het combineren van verschillende technologieën. Daartegenover staat dat **snelheid in besluitvorming** over deze systeemsprongen cruciaal is om de benodigde capaciteitswinst voor 2040 te realiseren.

Aanbevelingen

We benoemen een aantal relevante aanbevelingen:

- Zorg dat er op korte termijn een keuze gemaakt wordt op welke wijze ingezet wordt op nieuwe ontwikkelingen in digitalisering en communiceer deze keuze met de betrokken partijen.
- Welk richting er ook wordt gekozen, het is zinvol om als ministerie van Infrastructuur en Waterstaat gericht beleid te ontwikkelen om nationale specificaties goed in lijn te brengen met andere Europese specificaties voor het spoor. Meer uniformiteit in specificaties maakt het inkopen van nieuwe technologie voor de toekomst goedkoper. Zeker in het geval van digitalisering is dit belangrijk, want dit zal vaker moeten worden vervangen dan infrastructuur.
- Als er meer dan één systeemsprong gerealiseerd wordt op het spoor, kies er dan voor om een Masterplan Digitalisering Spoor te ontwikkelen. Dit helpt om in de toekomst gericht investeringsbesluiten te kunnen nemen en om een integraal plan te maken voor de implementatiewerkzaamheden die deze systeemsprongen vragen.
- Onderzoek de mogelijkheden om met Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) aan te sluiten op het huidige Programma ERTMS. Hier is mogelijk efficiencywinst te behalen in het slim combineren van de uitrol van werkzaamheden.
- Ontwikkel een roadmap van de gewenste ontwikkelingen in Verkeersmanagement (TMS) en creëer besef van de urgentie hiervan voor een centrale datagestuurde ontwikkeling, die het inzetten van capaciteit mogelijk maakt.
- Tractie- en energievoorziening (3kV) kan mogelijk een relevante bijdrage leveren na 2040. Indien dat het geval blijkt, dan vraagt dat wel om rekening te houden met besluiten voor 2040, zodat de spoorsector zich hierop kan voorbereiden.
- Richt de implementatie van systeemsprongen zo in – door het jaarlijks actualiseren van de voortgang op de systeemsprongen – dat deze zo goed mogelijk mee kan ontwikkelen met de technologische ontwikkelingen die in hoog tempo doorgaan.

1. Inleiding

1.1. Digitale transitie voor een toekomst-bestendig spoor

Het personen- en goederenvervoer op het spoor groeit substantieel. Uit de integrale mobiliteitsanalyse van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat blijkt dat naar verwachting tot 2040 het personenvervoer zal toenemen met 18-40% en het goederenvervoer met 32-55%[1].
Om de ruimtelijk-economische opgave op het gebied van wonen, werken en recreëren te accommoderen is een doorgroei nodig van het huidige spoornetwerk om capaciteitsknelpunten op te lossen en bij te dragen aan een betere bereikbaarheid tussen de economische kerngebieden van Nederland[2]. Hoewel de COVID pandemie enige onzekerheid heeft geschapen over de exacte groei, gaan we vooralsnog wel van deze capaciteitsanalyse uit.

De ambities en de verwachte groei van (inter)nationaal-, regionaal- en goederenvervoer zorgen in de toekomst voor een toename aan knelpunten op het spoor, zeker op de drukke delen in het netwerk. Het is een grote uitdaging voor het huidige spoornetwerk om de verwachte toename op het spoor aan te kunnen. Het vraagt om inzicht hoe een betere benutting van het netwerk te bereiken en inzicht in investeringskeuzes om de capaciteit te vergroten.

Alle partijen in de spoorsector zijn ervan overtuigd dat een digitale transitie hierin een belangrijke rol speelt, doordat deze de mogelijkheid biedt om extra capaciteit op het bestaande netwerk te realiseren, dus zonder extra beslag fysieke ruimte. Deze digitale transitie is deels ook al ingezet. De vraag is echter hoe deze digitale transitie verder vorm kan krijgen en welke systeemkeuzes het beste gemaakt kunnen worden in de komende jaren.

In de digitale transitie van het spoornetwerk is er een vijftal verschillende technische systeemsprongen die - al dan niet in combinatie - toegepast kunnen worden om de ambities en verwachte groei van het spoornetwerk te realiseren. Voor iedere systeemsprong is informatie beschikbaar, maar het ontbreekt aan een overkoepelend beeld van de samenhang tussen en de potentie van deze systeemsprongen.

Dit onderzoek richt zich op de volgende vijf systeemsprongen:

Systeemsprong	Toelichting
Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS[3] hybride level 3)	Een treinbeveiligingssysteem dat gericht is op korte beveiligingsblokken, waardoor treinen veilig vlak achter elkaar kunnen rijden.
Verkeersmanagement (TMS[4])	Meerdere systemen die de logistieke besturing en bijsturing van treinen slimmer en meer automatisch (vaak real-time) maken.
Automatische treinbesturing (ATO[5])	Een systeem dat automatische besturing (o.a. optrekken en afremmen) van een trein mogelijk maakt. Hiermee kan een trein zelfstandig de dienstregeling uitvoeren, halteren bij stations en rangeerbewegingen op emplacementen maken.
5G-telecommunicatie (FRMCS[6])	Een telecommunicatiesysteem gebaseerd op 5G-technologie dat de mogelijkheid biedt om snel data uit te wisselen.
Tractie- en energievoorziening (3kV[7])	Een tractie-energievoorziening die meer vermogen biedt bij een gelijkblijvend aantal onderstations, waardoor meer treinen tegelijkertijd kunnen optrekken en hogere snelheden op het spoor mogelijk zijn en energie te besparen is.

1. Tweede kamer, Integrale Mobiliteitsanalyse, 2020/2021, 31305, nr. 328.
2. Toekomstbeeld OV 2040, ministerie van IenW, 2021.
3. ERTMS: European Rail Traffic Management System; ETCS: European Train Control Systeem.
4. TMS: Traffic Management Systemen.
5. ATO: Automatic Train Operation.
6. FRMCS:' 'Future Railway Mobile Communication System.
7. 3kV: verhogen bovenleidingspanning naar 3 kilovolt.

1.2. Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is om een overkoepelend beeld te vormen van de potentie van en samenhang tussen de vijf systeemsprongen en om te komen tot een migratiepad dat helpt om keuzes te maken voor de digitale transitie. Het onderzoek maakt nut en noodzaak van de vijf systeemsprongen individueel en in samenhang inzichtelijk en biedt daarmee inzicht voor een prioritering en keuzes. De uitkomsten moeten besluitvorming over de systeemsprongen door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat mogelijk maken.

Onderzoeksvragen systeemkeuzes spoor:

A. Wat zijn de potenties van verschillende systeemsprongen in het kader van de Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 en de Modal Shift voor goederen?
B. Hoe verhouden de verschillende systeemsprongen zich tot elkaar? Wat is de toegevoegde waarde (maatschappelijke baten en spin-offs) van sprongen ten opzichte van elkaar? Zijn migratiepaden te combineren (synergiewinsten), zijn ze voorwaardelijk voor elkaar en bestaat een maatgevende volgorde? Welke impact heeft een keuze op fysieke architectuur, materieel en datastromen?
C. Wat is het Europees beleid? Hoe zijn de ontwikkelingen in andere landen? Hoe gaan we om met open toegang interoperabiliteit/nationale specificaties?
D. Hoe ziet een potentiële migratie naar de toekomst eruit teneinde stapsgewijs te vernieuwen? Wat zijn verschillende scenario's om doelen van de Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 en de Modal Shift voor goederen te bereiken? In hoeverre moeten systemen worden gestapeld om doelen te bereiken in de Randstad, goederencorridors of juist de verbindingen naar de landsdelen?
E. Wanneer is per systeemkeuze/systeemsprong uiterlijk besluitvorming nodig, waarom dán en met welk minimaal informatieprofiel?

1.3. Aanpak en verantwoording

Het onderzoek is in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat uitgevoerd door een consortium bestaande uit TwynstraGudde, Sweco, Movares, Dialogic en TU Eindhoven. Aan de basis van deze eindrapportage ligt een technische rapportage waarin de analyse van de systeemsprongen nader is uitgewerkt en toegelicht. Deze technische analyse is uitgevoerd door ingenieursbureaus Sweco, Movares en Ricardo. Ook is er een rapportage opgesteld om de vergelijking te leggen met de digitale transitie in andere sectoren. Deze rapportage is opgesteld door Dialogic en de TU Eindhoven en is opgenomen als bijlage bij dit onderzoek.

Bij de uitvoering van het onderzoek heeft een werkgroep van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en ProRail het onderzoek voorzien van input en feedback, de onderzoekers hebben zelfstandig en op eigen verantwoordelijkheid gewerkt. Er hebben interviews plaatsgevonden met experts van ProRail voor iedere individuele systeemsprong. De sector is op de hoogte gebracht van het onderzoek en gevraagd naar een eerste reactie op de analyse via twee bijeenkomsten met vervoerders. We baseren ons op informatie die nog deels concept is of nog in discussie. Voortschrijdend inzicht kan grote invloed hebben op de conclusies.

Er zijn ook kleinere afhankelijkheden en complexe relaties. We hebben ons gericht op de grote afhankelijkheden en de vraag of deze blokkerend zijn voor de te maken keuzes.

In dit onderzoek staan nieuwe technologische mogelijkheden voor het spoor centraal. Deze technologieën zijn nog in ontwikkeling en daardoor is nog niet alle benodigde informatie bekend, wat nader onderzoek vergt om ontbrekende informatie te verkrijgen. Hier is getracht zo zorgvuldig mogelijk mee om te gaan.

Voor dit onderzoek zijn de volgende fasen doorlopen.

Fase	Toelichting
Fase 1: Inventariseren	De beschikbare kennis voor deze opdracht is verzameld, waarbij het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, ProRail, vervoerders (personen- en goederenvervoer) en concessieverleners gevraagd zijn om alle relevante informatie aan te leveren. Gezamenlijk met de opdrachtgever zijn de kaders van het onderzoek bepaald en de doelen en ambities voor het spoor zijn in beeld gebracht. Ook is gestart met het selecteren van andere sectoren om van te leren: de luchtvaart, de haven, telecom en snelweginfrastructuur.
Fase 2: Onderzoeken	Aan de hand van een analysekader zijn de verschillende systeemsprongen geanalyseerd en de feiten gestructureerd. Die analyse is uitgevoerd op basis van beschikbare documentatie, interviews met experts en verrijkingssessies met vervoerders en concessieverleners. Daarbij zijn de mogelijkheden voor synergie in de transitiefase in beeld gebracht. Er hebben interviews plaatsgevonden met in de vorige stap geselecteerde sectoren om lessen voor migratie op te halen.
Fase 3: Verkenning	Om te verkennen welke keuzes er te maken zijn voor de vijf systeemsprongen voor het spoor zijn er verschillende mogelijkheden in beeld gebracht. Aan de hand van deze mogelijkheden is verkend wat deze keuzes kunnen opleveren voor de gestelde doelen en ambities van het Toekomstbeeld OV 2040 en Modal Shift voor goederen.
Fase 4: Migratiepad	Er is toegewerkt naar een adaptief migratiepad met behulp van de conclusies die de verkenning van keuzes en scenario's hebben opgeleverd. De verschillende scenario's zijn verrijkt met lessen uit andere sectoren.
Fase 5: Rapportage	Er is in deze fase een concept en een definitieve rapportage opgesteld en opgeleverd. De conceptrapportage is in de werkgroep besproken en ook heeft afzonderlijk met de opdrachtgever afstemming plaatsgevonden over de rapportage. Review reacties zijn verzameld en er is per reactie door het projectteam beoordeeld hoe deze opmerkingen te verwerken in de eindrapportage.

1.4. Leeswijzer

Deze rapportage kent de volgende opbouw. In **hoofdstuk twee** worden de gehanteerde definities en kaders voor dit onderzoek beschreven, het analysekader toegelicht en de Europese ontwikkelingen geschetst. **Hoofdstuk drie** gaat nader in op de vijf systeemsprongen. Het geeft per systeemsprong een beschrijving wat het is en licht toe welke bijdrage het kan leveren aan de doelen en ambities van het spoor. **Hoofdstuk vier** beschrijft hoe de vijf systeemsprongen zich tot elkaar verhouden en hoe ze onderling afhankelijk van elkaar zijn. **Hoofdstuk vijf** verkent verschillende keuzemogelijkheden ten aanzien van de vijf systeemsprongen en schetst een aantal mogelijke scenario's. **Hoofdstuk zes** benoemt de sturingsprincipes van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de betekenis hiervan vertaald naar een routekaart. Dit leidt tot een adaptief migratiepad met besluitvormingsmomenten. Tot slot in **hoofdstuk 7** zijn de conclusies uit dit onderzoek benoemt. Het hoofdstuk eindigt met een aantal aanbevelingen en een agenda voor vervolgonderzoek.

Door het rapport heen zijn in **'boxen'** de belangrijkste lessen van het **leren van andere sectoren** verwerkt.

2. Definities en kaders onderzoek

Dit hoofdstuk beschrijft voor een goed begrip de gehanteerde definities en kaders voor dit onderzoek. Daarnaast gaat dit hoofdstuk in op het analysekader dat ontwikkeld is om de verschillende systeemsprongen te onderzoeken. De bijdrage die de systeemsprongen kunnen leveren aan de doelen en ambities van het spoor spelen hierbij een belangrijke rol.

2.1. Definities

In dit onderzoek worden verschillende begrippen gebruikt. De belangrijkste zijn: een systeem, een systeemsprong, een systeemkeuze. Daarnaast worden ook de termen migratiestrategie en migratiepad gebruikt.

Onder een **(spoor)systeem** verstaan wij het samenhangend geheel van infrastructuur rijdend materieel en andere materiële en immateriële assets. Een **systeemsprong** is een innovatietraject dat beoogt de schaarse capaciteit van het systeem beter te benutten. Ze hebben een significante invloed op de gehele infrastructuur en het gebruik ervan door verschillende actoren. In systeemsprongen zitten keuzes die impact hebben op het systeem, dit noemen we **systeemkeuzes**.

Er wordt daarnaast gesproken over de term **migratiestrategie.** Dit is de wijze waarop een systeemsprong wordt geïmplementeerd in het huidige spoornetwerk. Een migratiestrategie maakt duidelijk welke stappen hiervoor genomen moeten worden. Deze stappen zijn niet alleen maar technisch, maar omvatten onder meer ook onderzoek en het besluitvormingsproces van investeringen dat nodig is om deze migratie te kunnen realiseren.

Er wordt in dit onderzoek toegewerkt naar een **migratiepad**. De systeemsprongen zijn omgeven met veel onzekerheid. Veel nieuwe technologie is nog in ontwikkeling en er is nog niet bekend hoe de verschillende systeemsprongen met elkaar interfereren en welke bijdrage het totaal van deze systemen oplevert. Een **adaptief migratiepad** erkent deze complexiteit en onzekerheid.

2.2. Analysekader

Er is een analysekader gebruikt om de systeemsprongen onderling vergelijkbaar te maken. De systeemsprongen kennen specifieke technische en organisatorische kenmerken. De beschikbare informatie per systeemsprong verschilt ook sterk in hoeveelheid en in robuustheid. Het analysekader maakt het mogelijk om de beschikbare informatie per systeemsprong inzichtelijk te maken en deze onderling met elkaar te kunnen vergelijken. Daarnaast geeft de systematische aanpak aan op welke onderdelen er per systeemsprong informatie ontbreekt.

Het analysekader toegepast per systeemsprong bevat de volgende onderwerpen:

- Een korte beschrijving van de systeemsprong **(wat is het?)**.
- Een overzicht van de **technische systeemkeuzes**.
- Randvoorwaarden en afhankelijkheden.
- **Bijdrage aan doelen en ambities:**
  - Voorzien in toename **capaciteit/efficiënter** gebruik infrastructuur.
  - Internationaal verkeer passagiers en goederen.
  - Overige effecten van de systeemsprong.
- Internationale ontwikkeling.
  - Wat doet het buitenland en waarom is dat voor ons van belang?
- Beslisinformatie.
  - Opties voor **migratiestrategie.**
  - **Tijd, geld, risico's** voor investeringsbeslissing.
  - Onzekerheden.
  - Eventuele andere relevante bevindingen.

Voor een uitgebreide versie van het analysekader zie het technisch rapport.

2.3. Operationalisering van doelen en ambities

In het analysekader zijn de potentie van de systeemsprongen om de doelen en ambities voor het spoor te realiseren als volgt geoperationaliseerd:

1. De mate waarin de systeemsprongen bijdragen aan het *vergroten van de capaciteit*, geoperationaliseerd in *opvolgtijdwinst, bufferwinst en rijtijdwinst.*
2. De mate waarin de systeemsprongen bijdragen aan de interoperabiliteit voor het *bevorderen van het internationaal verkeer* en het *bevorderen van de Modal Shift voor goederen.*
3. De overige effecten van de systeemsprongen; onder andere de bijdrage aan *betrouwbaarheid, duurzaamheid en veiligheid.*

In deze analyse ligt de focus op de bijdrage die systeemsprongen kunnen leveren aan het vergroten van de capaciteit. Om deze reden is dit apart uitgelicht. Het vergroten van de capaciteit is echter een breed begrip dat draait om de operationele en infrastructurele beperkingen aan het ontwikkelen van een dienstregeling. De focus ligt op het verhogen van de capaciteit door het minimaliseren van operationele beperkingen voor de dienstregeling vertaald in de volgende operationele aspecten:

- *Opvolgtijdwinst (kortere opvolgtijden):* hoe dichter treinen achter elkaar kunnen rijden hoe meer capaciteit er op hetzelfde spoor is. Met name op emplacementen speelt ook 'afhandelingstijd': de procestijd die nodig is om te keren of materieel te verplaatsen.
- *Bufferwinst (nauwkeurigheid):* de dienstregeling bevat een buffer om afwijkingen op te kunnen vangen. Deze buffer in de planning kan verlaagd worden als de dienstregeling nauwkeurig gevolgd wordt.
- *Rijtijdwinst:* de capaciteit van een baanvak kan toenemen door de winst in de rijtijd te creëren omdat het baanvak hierdoor sneller vrijkomt. Er wordt hier gekeken naar het aanzetten (eerder op baanvaksnelheid rijden), afremmen (het later remmen en dus langer op baanvaksnelheid rijden) en snelheid (verhogen van de maximum snelheud).

Daarnaast is ook gekeken naar operationele randvoorwaarden. Deze zijn noodzakelijk om de capaciteitsmogelijkheden die gecreëerd worden ook daadwerkelijk te kunnen benutten. Zoals voldoende tractievermogen om meer treinen tegelijkertijd te laten rijden of om sneller op te kunnen trekken. Meer capaciteit is ook pas effectief als deze zinvol ingezet kan worden in de dienstregeling en deze dienstregeling effectief bestuurd kan worden. Daarvoor kunnen ook infrastructurele randvoorwaarden gelden, zoals voldoende baanstabiliteit of het verwijderen van gelijkvloerse overwegen voor hoge snelheden. Dit is met name relevant voor het verhogen van de snelheid.

Box 1. Leren van andere sectoren: Ontwikkel holistische aanpak die niet stopt bij fysieke schaarste

Het is belangrijk om bij grote innovatietrajecten in transportsectoren niet alleen te kijken naar de schaarstes in fysieke capaciteit. Maatschappelijke ontwikkelingen en uitdagingen kunnen leiden tot nieuwe schaarstes of een nieuwe prioritering in schaarstes, doordat publieke belangen veranderen. Bij de andere sectoren die onderzocht zijn, kwam naar voren dat andere schaarstes zoals emissies, geluidsruimte, maar ook arbeidskrachten als even belangrijk al dan niet belangrijker werden ervaren. Beschouw de verschillende schaarsten op een geïntegreerde, holistische wijze als het om systeemsprongen gaat.

In het geval van luchthaven-casus gaven betrokkenen aan dat de schaarstes in emissies en geluidsruimte momenteel als veel drukkender worden ervaren dan de schaarstes in de infrastructuur (luchtroutes, landingsbanen, gates).
Innovatieprojecten in de luchtvaart waren in het verleden vooral gericht op één enkel publiek belang, bijvoorbeeld geluidsoverlast. Huidige projecten worden vrijwel altijd beoordeeld vanuit een meer holistisch beeld dat alle relevante publieke belangen adresseert. Als het gaat om innovaties speelt veiligheid, een ander publiek belang, vaak een grotere rol dan enkel als randvoorwaarde; een project dat bijvoorbeeld puur gericht is op het vergroten van veiligheid kan de effectiviteit van andere systeemsprongen weer vergroten omdat veiligheidsmarges in andere subsystemen potentieel omlaag gebracht kunnen worden.

2.4. Invloed van Europese ontwikkelingen

De mogelijkheden voor de verschillende systeemsprongen worden ingekaderd door het Europees beleid. Specifiek het beleid ten aanzien van open toegang en interoperabiliteit speelt een rol voor de verschillende systeemsprongen en bepaalt mede de mogelijkheden van deze nieuwe technologieën. Europees beleid hangt ook samen met de nationale specificaties die in ieder land gehanteerd worden. De consequenties van Europees beleid voor de verschillende systeemsprongen komen in latere hoofdstukken meer concreet terug. De belangrijkste Europese ontwikkelingen en aandachtspunten in beleid worden hier beschreven.

Europese ontwikkelingen: onderzoek en innovatie spoor

Op het niveau van de Europese Unie lopen er veel ontwikkelingen om het spoor te ontwikkelen. Het huidige Europese onderzoeks- en innovatieprogramma heet Europe's Rail Joint Undertaking (afgekort als EU Rail) en is deel van het Horizon Europe programma dat van 2020 tot 2027 loopt. EU Rail zet in op zowel de transitie naar duurzaamheid als de digitale transitie van de spoorsector.

Het programma streeft naar verschillende doelen waaronder het verbeteren van de prestaties, capaciteit en een meer geharmoniseerde benadering om het spoor te ontwikkelen.

Het ontwikkelen van verkeersmanagement en automatische treinbesturing staan centraal als twee van de vijf prioriteitsgebieden. Daarnaast wordt er gefocust op digitaal assetmanagement, het ontwikkelen van vrachtvervoer en kosteneffectieve regionale lijnen.

EU Rail kent verschillende pijlers. De pijler van het systeem (het coördineren van ontwikkelingen, integreren in bestaande systemen, ontwikkelen architectuur van het railsysteem) en de pijler gericht op innovatie (bevat alle fases van de innovatiecyclus waarin transformatieve concepten ontwikkeld en getest worden). Het doel is om de Technical Readiness Level (TRL) van innovaties te verhogen en de ontwikkeling van specificaties te versnellen. Naast de twee pijlers wordt ook een werkgroep (Deployment Group) ingericht om te adviseren over implementatie. Vanuit Nederland nemen diverse medewerkers van NS, ProRail en andere stakeholders deel aan deze werkgroepen.



Figuur 1. Europe's Rail bron: presentatie Europe's Rail ProRail en NS

Open toegang

Nieuwe Europese regelgeving zet in op open toegang. Dit maakt het mogelijk voor (internationale) spoorvervoerders om zowel internationale als binnenlandse diensten voor het personen- en goederenvervoer voor eigen risico en zonder concessie op het spoor aan te bieden. Dit geldt ook op trajecten die onderdeel zijn van een concessie, maar waar een vervoerder ruimte ziet voor extra aanbod. Dit recht op open toegang biedt potentieel kansen voor de reiziger. Zo kan concurrentie op het spoor onder meer leiden tot lagere prijzen en het kan in potentie leiden tot meer innovatieve producten. Een spoornetwerk met verschillende vervoerders kan echter ook complexer worden en minder gemakkelijk. Ook kan het zonder aanvullende maatregelen negatieve gevolgen hebben voor de punctualiteit van het netwerk als er bijvoorbeeld verouderd materieel of materieel met een langere in- en of uitstaptijd gebruikt wordt. Dit geldt ook voor een complexere be- en bijsturing rond bijvoorbeeld rangeerterreinen.

Bij open toegang is interoperabiliteit extra belangrijk. Unieke nationale systemen werken beperkend voor nieuwe toetreders. Om open toegang te bevorderen moeten alle systemen in het materieel zoveel mogelijk gelijk zijn aan de systemen die in de buurlanden gebruikt worden.

Interoperabiliteit

Een belangrijk doel van Europees beleid ten aanzien van het spoornetwerk is om te komen tot een gedeeld en toegankelijk Europees spoorwegennetwerk. Het grensoverschrijdend vervoer van personen en goederen moet vergemakkelijkt worden. Het ontwikkelen van infrastructuur waar verschillende soorten materieel over kunnen rijden is daarbij essentieel. Er wordt daarom op Europees niveau ingezet op het vastleggen van Technische Specificaties voor Interoperabiliteit (TSI) van het spoor. Dit maakt het mogelijk dat spoorwegvoertuigen over het hele spoorwegnetwerk in Europa kunnen rijden. TSI's zullen voortdurend in ontwikkeling blijven om in te spelen op nieuwe wensen en technische mogelijkheden voor het spoor. Nieuwe technologie en daarmee nieuwe vormen van infrastructuur en materieel dat hiervoor nodig is vraagt om te voldoen aan de Europese eisen ten aanzien van interoperabiliteit.

De relatie tussen de systeemsprongen en interoperabiliteit:

- Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3): Dit leidt niet tot beperkingen van de interoperabiliteit, ook treinen zonder Hybrid Level 3 en Trein Integriteitsbewaking kunnen gebruik maken van het spoor.
- Verkeersmanagement (TMS): Dit stelt geen bijzondere eisen aan het materieel en is daarmee geen beperking; voor een goede verkeersregeling is internationale afstemming in functionele zin wel noodzakelijk.
- Automatische treinbesturing (ATO): Dit is geen beperking van de interoperabiliteit, ook treinen zonder ATO kunnen gebruik maken van het spoor; bij niet-compatibele versies van ATO kan geen gebruik gemaakt worden van ATO, maar kan de trein wel gebruik maken van het spoor.
- 5G-telecommunicatie (FRMCS): Interoperabiliteit wordt afgedwongen door de TSI. Aandachtspunt hierbij is dat de specificaties van FRMCS nog niet vastliggen. Daardoor kunnen verschillende niet-compatibele versies ontstaan, die interoperabiliteit tegenwerken.
- Tractie- en energievoorziening (3kV): Het overschakelen op een ander tractie-energievoorzieningssysteem kan de interoperabiliteit met omringende landen vergroten. Zo kent België 3kV gelijkstroom, Duitsland 15kV wisselstroom en Frankrijk 25kV wisselstroom. Een deel van het goederenmaterieel is geschikt voor de verschillende systemen.

Impact van nationale specificaties op Europese ontwikkelingen

Er zijn diverse redenen waarom landen hun eigen specificaties en systemen ontwikkeld hebben. Deels omdat ieder land zijn eigen (spoor)kenmerken heeft maar ook bijvoorbeeld vanwege militaire en economische argumenten. Bijvoorbeeld door de Marshallhulp na de tweede wereldoorlog zijn niet alleen Amerikaanse systemen in Nederland geïntroduceerd maar is Nederland ook het enige land in Europa gebaseerd op de Amerikaanse beveiligingsfilosofie. Veranderen en aanpassen aan elkaar vergt forse investeringen, veel energie en het raamwerk is complex. Dit maakt dat het moeilijk is om te komen tot één Europees systeem van specificaties. Het vraagt om afspraken op Europees niveau te maken, maar vooral ook om op nationaal niveau keuzes te maken op beleidsniveau om meer in lijn met EU-normen het spoor vorm te geven.

Box 2. Leren van andere sectoren: Het belang van internationaal innoveren

Grote innovatietrajecten kunnen (kosten)efficiënter worden ingericht als deze gezamenlijk met andere landen kunnen worden gekocht of vormgegeven. Nationaal opereren in grote infrastructuurinnovaties kan zorgen voor hogere aanschafprijzen en/of hogere kosten in het afstemmen van verschillende netwerken op elkaar. Door gebruik te maken van off-the-shelf oplossingen, gebaseerd op internationale standaarden worden kosten aanzienlijk lager.

In het geval van de snelwegcasus werd samengewerkt met het Verenigd Koninkrijk in een gemeenschappelijke aanbesteding voor de implementatie van een verkeersmanagementsysteem. Hiervoor was het niet nodig dat zij hetzelfde eindresultaat nastreefden, maar samen konden er betere inkoopvoorwaarden bepaald worden. Daarnaast kan internationale samenwerking positief bijdragen aan standaardisatie in een sector, wat efficiëntie kan opleveren. Voor de spoorwegcasus betekent dit dat het relevant is om waar mogelijk internationaal samen te werken en nationale 'specialiteiten' te vermijden, om kosten te kunnen drukken.

Box 3. Leren van andere sectoren: Gezamenlijke kennisopbouw met andere sectoren en landen

Verschillende infrastructuuraanbieders lopen tegen vergelijkbare problemen aan. Door samen te werken over sector- of landsgrenzen heen, kunnen relevante kennis en ervaringen uitgewisseld worden. We zien een dergelijke samenwerking bijvoorbeeld in de snelwegcasus tussen Rijkswaterstaat en Highways England, waar ervaringen worden uitgewisseld over vergelijkbare problemen. Tegelijkertijd roepen verschillende infrastructuuraanbieders in gesprekken op om met de infrastructuursector als geheel (fysiek) samen te komen om kennis te delen. IenW kan een initiërende en/of coördinerende rol spelen in het organiseren van dergelijke bijeenkomsten. Zo kan het oplossen van (ruimtelijke) schaarstes efficiënter worden aangepakt.

3. Analyse per systeemsprong

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de analyse per systeemsprong. De vijf systeemsprongen voor het spoor zijn geanalyseerd met behulp van een analysekader. De focus van de analyse ligt op de onderlinge technische afhankelijkheid tussen de vijf systeemsprongen en de bijdrage aan de capaciteit. Daarnaast kunnen de systeemsprongen ook andere positieve effecten hebben, deze worden in paragraaf 3.6.2 en 3.6.3 behandeld. Het technisch rapport bevat een detailuitwerking van het analysekader per systeemsprong, inclusief bronverwijzing.

3.1. Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS hybride level 3)

Wat is het?

European Train Control Systeem (ETCS) als onderdeel van European Rail Traffic Management System (ERTMS) is een Europees systeem voor treinbeveiliging. Dit systeem heeft als doel om één treinbeveiligingssysteem in heel Europa te gebruiken ten behoeve van interoperabiliteit. Het systeem werkt daarvoor in samenhang met TMS (een verkeersmanagementsysteem voor treinen) en GSM-R (voor de communicatie met het verkeersmanagement, in de toekomst FRMCS). Het systeem kent een continue bewaking van de snelheid en de remcurve van treinen. Er zijn verschillende levels binnen ERTMS/ETCS met toenemende mate van digitalisering. Er wordt op dit moment in Nederland gewerkt aan de implementatie van ERTMS-level 2. Voor deze studie is het referentiepunt ERTMS-level 2. ERTMS/ETCS (hybride) level 3 valt niet binnen de scope van de huidige implementatie. Dit betreft een nieuwe ontwikkeling. Waar mogelijk wordt het materieel voor passagiersvervoer voorbereid op ERTMS Hybrid Level 3 door integraliteitsmonitoring in te bouwen, dit is echter nog geen standaard functionaliteit. Hybrid Level 3 hoeft niet landelijk uitgerold te worden, het kan lokaal, regionaal of op specifieke corridors uitgerold worden.

Bijdragen aan doelen en ambities spoor

ERTMS/ETCS hybride level 3 is erop gericht om op een veilige manier meer capaciteit en flexibiliteit mogelijk te maken op het spoor. Hybride Level 3 maakt het mogelijk om met “ERTMS-level 2 met korte blokken” dichter achter elkaar te rijden op plekken waar dit nodig is. Hiervoor is wel een extra investering in de treinen noodzakelijk.

Hybride Level 3 maakt het mogelijk om op hetzelfde baanvak met treinen met en zonder Hybride Level 3 aan boord te rijden. Treinen met deze systemen aan boord kunnen door de kortere blokken dichter op elkaar rijden, waardoor de baanvakcapaciteit verhoogd wordt terwijl treinen zonder, bijvoorbeeld goederentreinen waarin dit moeilijker in te bouwen is, ook kunnen blijven rijden. Met korte blokken/ERTMS Hybrid Level 3 is de infrastructuur veel flexibeler te gebruiken dan met de huidige lange blokken, omdat in de beveiliging de spoorinfrastructuur bloksgewijs wordt vrijgegeven voor de volgende trein. Bij level 2 kunnen ook korte blokken worden gemaakt, maar dit is kostbaar door aanschaf apparatuur en aanleg van bekabeling.

Europees beleid en interoperabiliteit

ERTMS Hybride Level 3 wordt op dit moment via de TSI (TSI CCS) geïntegreerd in de Europese regelgeving. Eerder implementeren dan publicatie van de TSI is niet haalbaar dus zal de TSI gevolgd moeten worden. Treinen met Hybride Level 3 ‘aan boord’ kunnen ook rijden op het spoor (IXL-RBC) zonder en zijn dus interoperabel.

Implementatie

Toelichting op implementatie in materieel, infrastructuur en processen en systemen.	
	Om de opvolgtijdwinst te incasseren moet het materieel lengte en integriteit communiceren. Hiervoor moet het Train Integrity Monitoring (TIM) systeem ingebouwd worden in de treinen (naast de versie van ERTMS die Hybrid Level 3 ondersteunt).
	Invoeren van Hybride Level 3 maakt het mogelijk om fysieke blokken virtueel op te delen in kleinere stukken. Hierdoor is er in de infrastructuur minder detectieapparatuur nodig dan het voorzien van “ERTMS Level 2” met korte blokken.
	In TMS moeten deze virtuele secties zichtbaar gemaakt worden om de treinen effectief te kunnen sturen en de capaciteitswinst te incasseren. Dit is het aanpassen van de configuratie.

3.2. Verkeersmanagement (TMS)

Wat is het?

Voor verkeersmanagementsystemen van treinen wordt de term TMS (Traffic Management System) gebruikt. Het omvat verschillende systemen die (verder) ontwikkeld kunnen worden om het mogelijk te maken om slimmer en meer automatisch de logistieke besturing en bijsturing van treinen te verzorgen. Een dergelijk verkeersmanagementsysteem moet leiden tot het sneller doorrekenen van nieuwe (in veel gevallen real-time) plannen. Hiermee wordt het makkelijker om een integraal en actueel plan voor het treinverkeer te vormen en te communiceren. Het TMS is een landelijk systeembestuurt het landelijk samenhangende netwerk, het kan daardoor niet lokaal, regionaal of voor specifieke corridors worden ingezet.

Bijdrage aan doelen en ambities spoor

Slim verkeersmanagement kan op verschillende wijzen een bijdragen leveren aan de doelen en ambities van het spoor.

- TMS is de weerslag van het gehele treinproces; een optimaal treinproces vraagt een optimaal TMS. TMS moet zodanig worden ingericht dat capaciteitswinst door de systeemsprongen ook daadwerkelijk wordt geïncasseerd.

- Planning en sturing op de seconde: TMS Het plansysteem Donna maakt het nu mogelijk om te plannen op de 1/10e minuut terwijl op postniveau (VOS en PRL, in de operatie) op de minuut gewerkt wordt. Plannen en (bij)sturen op de seconde levert minder buffertijd en rijtijdspeling. Er kunnen daardoor meer treinen in hetzelfde treinbaanvak rijden.

- Beslissingsondersteuning in TMS helpt om na verstoringen de treinenloop sneller te herstellen. De afhandeling van treinen in het geval van storingen wordt beter en voorspelbaarder: er ontstaat minder vertraging en er hoeven minder treinen te worden opgeheven. De leveringszekerheid van treinen wordt daarmee groter.

- Integrale bijsturing: Bij verstoring het mogelijk maken om landelijk optimaal bij te sturen i.p.v. per bediengebied.

- Planning en communicatie t.b.v. ATO: De nog te ontwikkelen ATO-tracksite module van TMS is een essentieel ondersteunend systeem voor het goed functioneren van ATO.

- Met behulp van TMS kan internationaal treinverkeer beter gestroomlijnd worden (bijvoorbeeld betere bijsturing doordat er tijdig informatie beschikbaar is). Het is van belang aan te sluiten bij Europese ontwikkelingen op dit gebied.

Europees beleid en interoperabiliteit

De TMS-pijler van ERTMS is de minst ontwikkelde in Europese normering. De komende jaren wordt hierin een versnelling verwacht. TMS-systemen in verschillende landen hebben een zeer diverse basis. Interoperabiliteit bestaat vooral uit het uitwisselen van informatie over de landsgrenzen. Treinen communiceren niet direct met het TMS-systeem.

Implementatie

Toelichting op implementatie in materieel, infrastructuur en processen en systemen.	
	De implementatie van de TMS is niet aan materiele aanpassingen of wijzigingen gekoppeld.
	De implementatie van de TMS-ontwikkelingen is niet aan infrastructurele aanpassingen of wijzigingen gekoppeld.
	TMS is de weerslag en implementatie van hoe men het treinproces wil regelen. Veranderingen van het treinproces moeten in TMS worden gerealiseerd.

3.3. Automatische treinbesturing (ATO)

Wat is het?

Automatic Train Operation (ATO) behelst de automatische besturing van een trein, zonder de traditionele rol van de machinist. Dit systeem maakt het (uiteindelijk) mogelijk dat een trein onder meer zelfstandig kan optrekken en afremmen, zelfstandig kan halteren bij stations, zelfstandig de dienstregeling kan uitvoeren en op emplacementen rangeerbewegingen kan maken. Er bestaan verschillende niveaus van automatisch rijden voor de trein. Deze variëren van GoA1 tot en met GoA4, waarbij het hoogste niveau de meest vergaande automatisering is.

- Bij GoA1 heeft de machinist de beschikking over verschillende ondersteunende systemen, maar rijdt de machinist de trein zelf.
- Bij GoA2 is er wel een machinist, maar wordt het rijden automatisch uitgevoerd. De machinist heeft alleen nog als taken het sluitproces, het bewaken van de veiligheid op en rondom het spoor (waaronder obstakeldetectie en het tijden bij verstoringen. De machisnist blijft eindverantwoordelijk.
- Bij GoA3 is er geen machinist meer op de trein, wel nog personeel voor het sluiten van de deuren in voor het geval van storingen.
- Bij GoA4 is er geen personeel meer op de trein.

Een specifieke toepassing van ATO GoA4 is het automatisch rangeren: leeg materieel wordt zonder machinist aan boord verplaatst. Dit is geschikt voor het afkoppelen en rangeren en voorbrengen van leeg materieel, ook wordt het opstellen overal op de baan mogelijk. Het ATO-systeem is te gebruiken op lokale lijnen, regionale lijnen of op specifieke corridors. Het systeem vereist geen landelijke uitrol.

Uit de uitgevoerde analyse blijkt dat bij GoA2 de capaciteitstoename van deze systeemsprong wordt bereikt. Daarom is in deze analyse hoofdzakelijk naar de mogelijkheden van GoA2 gekeken.

Bijdragen aan doelen en ambities spoor

ATO GoA2 kan op verschillende wijzen een bijdrage leveren aan de doelen en ambities van het spoor:

- Een ATO GoA2-systeem zorgt voor een nauwkeurigere uitvoering van de dienstregeling, waardoor er minder buffers in de planning nodig zijn.
- Doordat treinen met ATO GoA2 betrouwbaarder kunnen rijden is de verwachting dat de opvolgtijd met ATO GoA2 met 15-30 seconden gereduceerd kan worden.
- ATO kan een bijdrage leveren aan het voorspelbaar versneld stoppen en optrekken van treinen. De verwachting is dat met ATO de halteertijdverlies met 10 seconden verminderd kan worden.
- ATO bevordert de Modal Shift voor goederen doordat de afhankelijkheid en inzet van personeel en daarmee ook de kosten verminderd worden.

Europees beleid en interoperabiliteit

ATO over ERTMS wordt op dit moment via de TSI (TSI CCS) geïntegreerd in de Europese regelgeving. Eerder implementeren dan publicatie van de TSI is niet haalbaar dus zal de TSI gevolgd moeten worden. Treinen met ATO 'aan boord' kunnen ook rijden op spoor (IXL-RBC) zonder en zijn dus interoperabel.

Implementatie

Toelichting op implementatie in materieel, infrastructuur en processen en systemen.	
	Voor rijden met ATO moet het desbetreffende materieel aangepast worden, het ATO-systeem moet de trein automatisch laten aanzetten en remmen. Het omgebouwde materieel kan direct baten opleveren door het nauwkeuriger rijden waardoor lokaal in de dienstregeling buffers en dienstregeling geoptimaliseerd kunnen worden.
	Bij de implementatie van ATO over ERTMS zijn geen infrastructurele aanpassingen noodzakelijk.
	TMS moet worden uitgebreid met een ATO trackside module ten behoeve van de informatievoorziening van en naar de trein. ATO heeft als minimum gegevens nodig m.b.t. de infrastructuur (wissels, hellingen, etc.) en de sturing (tijden, rijwegen, snelheid).

3.4. 5G-telecommunicatie (FRMCS)

Wat is het?

FRMCS is gebaseerd op 5G-technologie. Dit telecommunicatiesysteem voor spoorwegen moet in geheel Nederland het huidige systeem, GSM-R gaan vervangen. FRMCS is geschikt voor toepassingen die afhankelijk zijn van het snel uitwisselen van grote hoeveelheden informatie, zoals videobeelden voor ATO. De specificatie van FRMCS is vastgelegd in de nog vrij te geven TSI CCS en de implementatie wordt daarmee Europees afgedwongen. Een "bestelbare" specificatie wordt in 2025 verwacht. Na het opnemen van FRMCS in de netverklaring krijgen gebruikers 5 jaar de tijd deze te implementeren. Implementatie van FRMCS vereist aanpassingen aan de zendmasten aan de walkant (infrastructuur) en nieuwe communicatieterminals aan de trein-kant.

Bijdragen aan doelen en ambities spoor

FRMCS als vervanger van GSM-R levert op zichzelf geen directe bijdrage aan de doelen en ambities van het spoor. GSM-R is echter technisch verouderd en wordt steeds meer storingsgevoelig. De ondersteuning voor GSM-R in termen van vervangingsapparatuur en kennis is steeds lastiger. Omdat het GSM-R netwerk ook voor reizigersinformatie wordt gebruikt (Info-plus borden), is er weinig ruimte (kanalen) over. Op een bottleneck ontstaat soms een tekort aan capaciteit voor trein-wal communicatie, waardoor treinen moeten wachten op de toestemming om te (gaan) rijden, met vertraging tot gevolg.

Uitbreiding van GSM-R is mogelijk door het plaatsen van extra zendmasten. Dit is echter duur, complex en niet voor de hand liggend voor een systeem dat einde levensduur is. FRMCS kan ondersteuning bieden bij het verder digitaliseren van het spoor. Voor digitalisering is connectiviteit essentieel, zowel tussen treinen onderling, als tussen treinen en infrastructuur: assets kunnen beter en slimmer beheerd worden.

FRMCS is noodzakelijk:

1. Als vervanging van GSM-R, omdat dit systeem einde levensduur nadert.
2. Omdat "Europa" dit naar verwachting voor gaat schrijven in de TSI-CCS.
3. Om alle mogelijkheden van nieuwe technische systemen zoals ATO GoA 3 en 4 optimaal mogelijk te maken.

Europees beleid en interoperabiliteit

FRMCS wordt op dit moment via de TSI (TSI CCS) geïntegreerd in de Europese regelgeving. Eerder implementeren dan publicatie van de TSI is niet haalbaar dus zal de TSI gevolgd moeten worden. Treinen met FRMCS 'aan boord' kunnen ook verbinden via GSMR en zijn dus interoperabel.

Implementatie

Toelichting op implementatie in materieel, infrastructuur en processen en systemen.	
	Het materieel heeft een nieuwe ontvanger nodig om via FRMCS te kunnen communiceren, deze moet ingebouwd worden. Dit kan zowel voor als na de implementatie van het FRMCS-netwerk plaatsvinden wanneer het netwerk naast het bestaande GSM-R netwerk opgebouwd wordt.
	Implementeren van FRMCS vereist aanpassingen van de zendmasten, daarnaast is er geen verandering in de infrastructuur.
	Er zijn geen vereiste significante aanpassingen in de processen bij het implementeren van FRMCS.

3.5. Aanpassing van de tractie- en energievoorziening (3kV)

Wat is het?

Op dit moment is de tractie- energievoorziening van het Nederlandse spoor gebaseerd op een spanning van 1500V DC. De huidige tractievoorziening heeft soms een belemmerende factor doordat het aantal treinen dat tegelijk kan optrekken beperkt is, daarvoor is verzwaring of uitbreiding van het huidige systeem een optie of het systeem vervangen door bijvoorbeeld 3kv. Ook kan onvoldoende energie beschikbaar zijn en de maximale snelheid beperken. Bicourant materieel is duurder en zwaarder, wat impact heeft op de businesscase en de baanstabiliteit. Het verhogen van de spanning naar 3kV maakt het mogelijk om, bij gelijkblijvend aantal onderstations, het vermogen te vergroten maar ook de stroom te verlagen (hetgeen energieverliezen beperkt).

Bijdragen aan doelen en ambities spoor

Een krachtigere tractie- energievoorziening kan op verschillende manieren een bijdrage leveren aan de doelen en ambities van het spoor:

- Met 3kV kan meer vermogen worden geleverd dan bij 1500 V zonder extra onderstations te bouwen.
- 3kV maakt het beter mogelijk om hogere topsnelheden te halen, als ook noodzakelijke aanpassingen aan de baan, de bovenleiding en overwegen zijn gerealiseerd. Snelheden tot 200 km/uur zijn ook met de huidige Tractie en energievoorziening te realiseren, maar hebben dan grote impact op het materieel (hoge slijtage). Ook is dan verzwaring van de bovenleiding noodzakelijk.
- Meer vermogen maakt het sneller accelereren van treinen mogelijk, bij daarvoor geschikt materieel. 3kV kan hiermee de halteerverliestijd verkleinen en kan zorgen voor een verkorting van de opvolgtijden tussen de treinen.
- Meer vermogen vergroot de mogelijkheden om met langere (en daarmee zwaardere treinen) te rijden.
- Meer vermogen worden geleverd zonder extra onderstations te bouwen.
- Het energieverlies (dat optreedt bij het energie-transport) worden verminderd.

Alleen nieuw materieel zal de winst in capaciteit waar kunnen maken. Doordat het nog vele jaren duurt voordat het materieelpark vervangen is zal de genoemde capaciteitswinst niet voor 2040 geïncasseerd kunnen worden. Overige voordelen die 3kV kan bieden is dat verwacht wordt dat deze voorziening een energiebesparing in Nederland van meer dan 14% oplevert. Ook kan energiebesparing gerealiseerd worden wanneer 3kV gekoppeld wordt aan de mogelijkheden van TMS (zorgen dat maximaal optrekvermogen beschikbaar is).

Europees beleid en interoperabiliteit

Er is op dit moment geen wijziging in Europees beleid voor bovenleidingspanning in de maak. In Europa zijn 25KV AC, 15KV AC, 3KV DC en 1,5KV DC allen toegestaan. Veel goederentreinen die internationaal rijden hebben meerdere systemen aan boord. Een overstap naar 3KV zou theoretisch betekenen dat er een interface naar België vervalt. In de praktijk zal er een systeemgrens blijven bestaan maar de transitie voor materieel is eenvoudiger.

Implementatie

Toelichting op implementatie in materieel, infrastructuur en processen en systemen.	
	De investeringen die hiermee gepaard gaan zijn afhankelijk van het treintype vanwege het gewicht en de omvang van de benodigde apparatuur. Ook hangen de investeringen af van de mate waarin de trein na de aanpassing ook daadwerkelijk een groter vermogen of acceleratie krijgt. Materieel kan alleen rijden op een traject als het geschikt is voor de daar gebruikte bovenleidingspanning. De voorkeur heeft multi-courante ombouw zodat het materiaal zowel onder 1.5kV en 3kV kan rijden.
	De infrastructurele aanpassingen bestaan uit het ombouwen van onderstations en diverse kleinere aanpassingen aan componenten. Daarnaast kunnen er afhankelijk van de locatie en migratiestrategie meer of minder spanningssluizen nodig zijn. Elk spoor kan maximaal één bovenleidingspanning aanbieden waardoor keuzes rondom lokalisatie en ombouw complex zijn. Hierin bestaan geen directe afhankelijkheden met ERTMS, TMS, FRMCS en ATO.
	Er zijn verder geen significante aanpassingen in processen noodzakelijk.

3.6. Conclusie: bijdrage van de systeemsprongen aan de doelen

In bovenstaande paragrafen is per systeemsprong beschreven wat het is en welke bijdragen het kan leveren aan de doelen en ambities van het spoor, geoperationaliseerd in het vergroten van de capaciteit, interoperabiliteit en betrouwbaarheid, duurzaamheid en veiligheid.

Bijdragen aan het vergroten van de capaciteit

De belangrijkste bijdrage die deze systeemsprongen leveren is het vergroten van de capaciteit op het spoor zonder nieuwe infrastructuur aan te leggen. In onderstaande tabel zijn de belangrijkste conclusies over de capaciteitsbijdragen van de vijf systeemsprongen samengevat. Het betreft de mate waarin de systeemsprongen bijdragen aan *vergroten van de capaciteit geoperationaliseerd* in *opvolgtijdwinst, bufferwinst en rijtijdwinst.*

Systeemsprong	Ten opzichte van huidig systeem	Opvolgtijdwinst (sneller elkaar opvolgen)	Bufferwinst (minder reserves)	Rijtijdwinst (sneller optrekken, rijden en afremmen)
Treinbeveiliging (ERTMS/ ETCS Hybrid Level 3)	ERTMS/ETCS level 2	Ja	Nee	Nee
Verkeersmanagement (TMS)	Huidige TMS	Nee	Ja	Nee
Automatische treinbesturing (ATO)	Adviserende systemen	Nee	Ja	Ja
5G-telecommunicatie (FRMCS)	**GSM-R**	**Nee**	Nee	Nee
Tractie- en energievoorziening (3kV)	**Versterkt 1.5 kV**	**Nee**	Nee	Ja

Figuur 2. Bijdrage aan capaciteit per systeemsprong



Naast winsten in opvolgtijd, buffer en rijtijd moet TMS geschikt zijn om de gewenste dienstregeling stabiel te sturen en de treinenloop na verstoringen te herstellen. Verder moet er voldoende tractie beschikbaar zijn voor de gewenste dienstregeling.

Bijdragen aan interoperabiliteit voor internationaal verkeer en Modal Shift voor goederen[8]

De mate waarin de systeemsprongen bijdragen aan de interoperabiliteit voor het *bevorderen van het internationaal verkeer* en het *bevorderen van de Modal Shift voor goederen* is als volgt:

Systeemsprong	Ten opzichte van huidig systeem	Interoperabiliteit
Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3)	ERTMS/ETCS level 2	Onder ERTMS/ETCS L2 wordt de interoperabiliteit voor internationaal treinverkeer verhoogd, Hybrid L3 verhoogt dat niet verder.
Verkeers-management (TMS)	Huidige TMS	De ontwikkelingen in TMS zijn voorlopig nationaal gericht, ook vanuit Europa zijn er ontwikkelingen. Momenteel lopen onderzoeksprojecten in het kader van EU-Rail onder andere op het gebied van integrale verdeling van het beheer van de infrastructuur en de verkeersstromen zodat internationaal en goederen treinverkeer beter aangevraagd en verdeeld kan worden.
Automatische treinbesturing (ATO)	Adviserende systemen	Het gebruik van ATO is niet noodzakelijk voor het rijden van de trein. De directe invloed op interoperabiliteit is daarmee beperkt.[9]
5G-telecommunicatie (FRMCS)	GSM-R	Verschillen in de uitvoering van FRMCS en de uitrolstrategie van landen kan de interoperabiliteit in gevaar brengen en daardoor internationale operatie bemoeilijken. Dit geldt zowel voor internationaal reizigers- als goederenvervoer.
Tractie- en energievoorziening (3kV)	Versterkt 1.5 kV (1.8kV)	Het verschil met België wordt opgeheven. Verschil met andere landen blijft, omdat in Europa diverse systemen bestaan.

Figuur 3. Bijdrage aan operabiliteit per systeemsprong

Box 4. Leren van andere sectoren: Daadwerkelijke doorbraak of leidt de systeemsprong tot een nieuwe beperking?

Analyseer vooraf of een systeemsprong die bedoeld was om schaarste weg te nemen niet door een volgende belemmering ongedaan wordt gemaakt. Een voorbeeld hiervan zagen we bij de havencasus, waar grotere en hogere containerboten meer tijd bleken te vergen bij afladen in verband grotere afstanden die kranen moesten overbruggen, waardoor de tijdswinst weer verdampte. Proeven en pilots kunnen helpen dit op tijd inzichtelijk te maken, voordat een systeem groot uitgerold wordt.

8. Dit is een aanvullend inzicht van het onderzoek, geen hoofddoel. De mate van zekerheid van informatie is lager dan bij 3.6.1. capaciteit.
9. Indien ATO wordt ingebouwd in internationale treinen is mogelijk een nieuw toelatingstraject voor deze treinen noodzakelijk in alle landen waar de trein komt. Dit kan een complicerende factor zijn.
10. Dit is een aanvullend inzicht van het onderzoek, geen hoofddoel. De mate van zekerheid van informatie is lager dan bij 3.6.1. capaciteit.

Bijdragen aan overige effecten betrouwbaarheid, duurzaamheid en veiligheid[10]

Naast de capaciteitsbijdrage van de systeemsprongen treden er ook andere effecten op. Het effect van elke afzonderlijke systeemsprong op betrouwbaarheid, duurzaamheid en veiligheid is in kaart gebracht middels het analysekader, zoals uitgelegd in hoofdstuk 2. Daar waar in de analyse geen effecten bekend zijn van de systeemsprong is dit leeggelaten.

Systeemsprong	Ten opzichte van huidig systeem	Betrouwbaarheid	Duurzaamheid	Veiligheid
Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3)	ERTMS/ETCS level 2	Het sneller vrijgeven van het spoor achter integrale treinen zorgt ervoor dat de treinenloop sneller hersteld kan worden bij vertragingen.	N.v.t	N.v.t
Verkeersmanage-ment (TMS)	Huidige TMS	Na verstoringen wordt de treinenloop sneller hersteld. De afhandeling van treinen in geval van storingen wordt voorspelbaarder en er hoeven minder treinen te worden opgeheven.	N.v.t	De spoorwegveiligheid wordt geborgd in de treinbeveiliging. Additioneel kan door het voorkomen van conflicten de kans op ongewone situaties en daarmee de kans op menselijk falen worden verkleind.
Automatische treinbesturing (ATO)	Adviserende systemen	Minder variatie in rijgedrag moet minder verstoring opleveren. Beter inzicht in slijtage van infrastructuur en materieel, daardoor kan onderhoud gericht en tijdig uitgevoerd worden. Wat resulteert in minder uitval of buitendienststellingen door onvoorziene uitval.	Energiebesparing door optimaal enerziezuinig rijden, exacte besparing nog onbekend.	N.v.t
5G-telecommunica-tie (FRMCS)	GSM-R	I.v.m. einde levensduur GSM-R wordt een toename van de verstoringen verwacht. Vervanging van dit systeem is daarom noodzakelijk en verhoogt de betrouwbaarheid.	N.v.t.	N.v.t.
Tractie- en energievoorziening (3kV)	Versterkt 1.5 kV (1.8kV)	N.v.t	Reductie van energiegebruik van 14% ; dit is 240 GWh/jaar op basis van prognose 2030. [15]	N.v.t.

Figuur 4. Bijdragen aan overige effecten betrouwbaarheid, duurzaamheid en veiligheid

4. Samenhang van de systeemsprongen

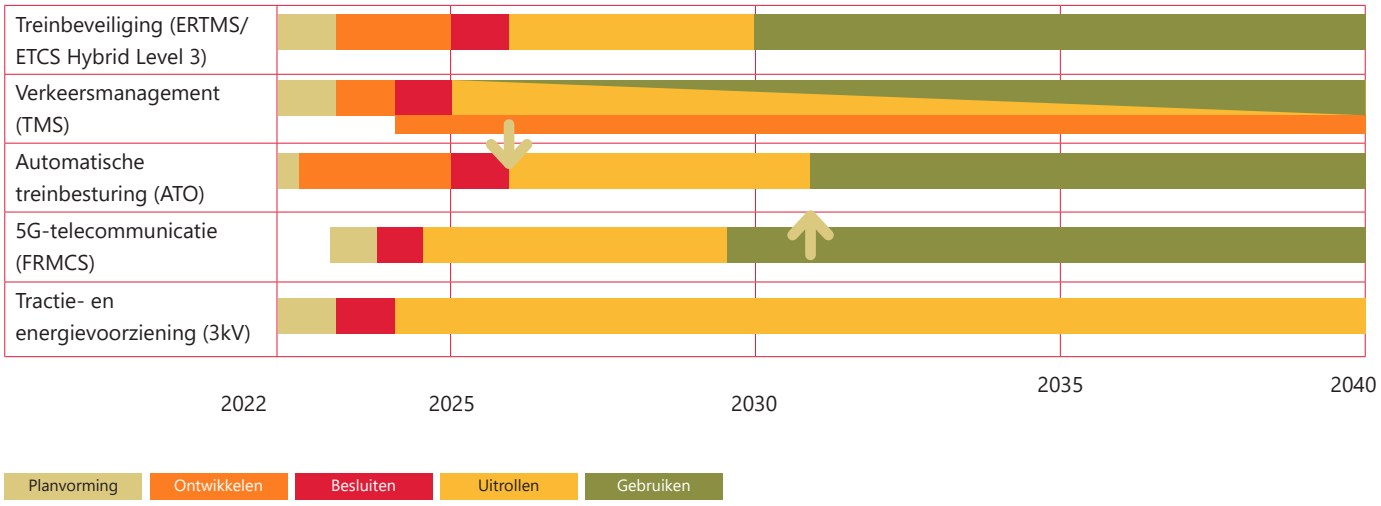
Op basis van de analyse van de afzonderlijke systeemsprongen voor het spoor (hoofdstuk 3) is onderzocht welke afhankelijkheden er bestaan tussen de vijf systeemsprongen en de onderlinge samenhang. In dit hoofdstuk wordt allereerst de ontwikkeling van de systeemsprongen in de tijd geschetst en vervolgens de onderlinge afhankelijkheden in beeld gebracht. Buiten beschouwing gelaten in de analyse zijn afhankelijkheden en randvoorwaarden van overige systemen. Het hoofdstuk eindigt met een aantal belangrijke bevindingen die meegenomen worden in de uitwerking van migratiestrategieën.

Het technisch rapport bevat een uitwerking van de analyse van de samenhang, inclusief bronverwijzing.

4.1. Ontwikkeling van de systeemsprongen in de tijd

Vier van de vijf systeemsprongen betreffen technologieën die nog ontwikkeld moet worden voordat deze volwassen zijn om te kunnen implementeren. De vijfde systeemsprong betreft tractie-en energievoorziening (3kV), deze is al volwassen. Er zijn hierin verschillende keuzemomenten aan te wijzen waarop geïnvesteerd kan worden in een nieuwe technologie evenals op welk moment wordt gekozen om een nieuwe technologie te implementeren.

De verwachting wanneer de technologie klaar is voor implementatie wordt met onderstaande afbeelding in één oogopslag inzichtelijk gemaakt. De start van de implementatie is gedefinieerd op basis van Technology Readiness Level (TRL). TRL-niveau 8 wil zeggen dat de techniek voldoende ontwikkeld is om te implementeren. In onderstaand figuur is per systeemsprong schetsmatig weergegeven wanneer de implementatie zou kunnen starten en van welke andere systeemsprongen deze afhankelijk is.



Figuur 5. Technologische ontwikkeling van de systeemsprongen

4.2. Onderlinge samenhang

De samenhang tussen de systeemsprongen kan als volgt worden gecategoriseerd:

- Geen afhankelijkheid: Er is geen afhankelijkheid tussen de systeemsprongen.
- Technische afhankelijkheid: Er is een randvoorwaardelijke afhankelijkheid tussen de systeemsprongen.
- Synergie: Er zijn mogelijkheden voor synergie voor optimale benutting spoor.

Deze samenhang wordt hieronder toegelicht.

Geen afhankelijkheid

- **Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3):** Dit heeft ten opzichte van ERTMS L2[11] geen afhankelijkheid van andere systeemsprongen. ERTMS L2B3.0 vereist een aanpassing in het Verkeersmanagement (TMS), die aanpassing zorgt echter pas bij Hybrid Level 3 voor capaciteitswinst. De aanpassing zorgt bij ERTMS L2B3.0 niet voor capaciteitswinst.
- **Verkeersmanagement (TMS):** deze systeemspong is in de ontwikkeling en implementatie niet afhankelijk van andere systeemsprongen.
- **5G-telecommunicatie (FRMCS):** kent geen afhankelijkheden van andere systeemsprongen. Deze systeemsprong wordt via EU-regelgeving wettelijk verplicht gemaakt.
- **Tractie- en Energie Voorziening (3kV):** Er is om capaciteit te winnen geen afhankelijkheid van de overige systeemsprongen. Dit geldt ook wanneer er gekozen gaat worden voor 3kV DC, 15kV AC of 25kV AC. Deze systeemsprong kan los van andere sprongen gekozen en geïmplementeerd worden.

Technische afhankelijkheid

- Een ontwikkeling in het **Verkeersmanagement (TMS) voor Automatische treinbesturing (ATO)**. ATO moet kunnen sturen op het actuele plan in de dienstregeling. Daarvoor is TMS informatie is randvoorwaardelijk voor ATO, de andere modules of ontwikkelingen zijn onafhankelijk.
- **5G-telecommunicatie (FRMCS) voor Automatische treinbesturing (ATO).** FRMCS is randvoorwaardelijk om vanaf GoA3 voldoende bandbreedte te bieden voor de benodigde data-uitwisseling (video).

Synergie door optimale benutting spoor

Naast de technische afhankelijkheden zijn er ook verbanden tussen de systeemsprongen met betrekking tot de optimale benutting van de mogelijke systeemsprongen. De winsten in opvolgtijden, buffervermindering en rijtijden van de systeemsprongen 3kV, ERTMS/ETCS hybride level 3 en ATO zijn onafhankelijk van elkaar. De bufferwinst van ATO hangt sterk samen met de ontwikkelingen in TMS.

- **Bufferwinst van Automatische treinbesturing (ATO) en Verkeersmanagement (TMS):** Om met ATO GoA2 naast automatisch rijden ook capaciteitswinst te realiseren moet een trein constant over up-to-date informatie beschikken. Hiervoor is de ontwikkeling van TMS noodzakelijk.

- **De ontwikkeling van Verkeersmanagement (TMS) als voorwaarde voor stabiliteit van dichtere dienstregeling:** Bij een intensiever gebruik van het spoor is het randvoorwaardelijk om de sturing van treinen te optimaliseren. Dit vraagt om TMS verder te ontwikkelen. Om afwijkingen in de dienstregeling goed op te vangen zijn beslissingsondersteunende systemen noodzakelijk.

- **Tractie- en Energie Voorziening (3kV) als voorwaarde voor vermogen van een dichtere dienstregeling:** is voorwaardelijk voor vermogen voor een dichtere dienstregeling. Extra spoorcapaciteit kan alleen benut worden als er voldoende vermogen beschikbaar is voor extra treinen.

11. Overal in dit rapport waar we ERTMS/ETCS Level 2 als referentiepunt noemen, verwijzen we specifiek naar versie ERTMS L2B3.0.

4.3. Conclusies

Vier van de vijf systeemsprongen zijn technisch onafhankelijk te ontwikkelen en te realiseren. Het gaat om Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3), Verkeersmanagement (TMS), 5G-telecommunicatie (FRMCS) Tractie- en Energievoorziening (3kV). Voor de technische ontwikkeling van automatische treinbesturing (ATO) is wel TMS informatie en FRMCS (voor GoA 3 of hoger) randvoorwaardelijk. Het ontbreken van een technische samenhang tussen vier van de vijf systeemsprongen maakt dat er relatief veel keuzeruimte is of en hoe systeemsprongen verder te ontwikkelen en te implementeren.

Voor 5G-telecommunicatie (FRMCS) is er alleen beperkte keuzevrijheid vanwege een wettelijke verplichting door Europese regelgeving. Slechts met het tijdvak van implementatie is enigszins te schuiven. In de Verkeersmanagement (TMS) ontwikkeling is kiezen van een richting binnen de systeemsprong essentieel. Het gaat hierbij om het bestaande systeem updaten, een nieuw systeem ontwikkelen of een buitenlands systeem invoeren. Deze keuze is complex en heeft veel impact op het Nederlandse spoornetwerk.

Er zijn ook systeemsprongen waarbij het voordelig kan zijn om juist vroeg in te zetten op het ontwikkelen van een nieuwe technologie. In het geval van ERTMS/ETCS Hybrid Level 3 lijkt er een voordeel te zijn om vroeg op deze technologie in te zetten, zodat het slim gecombineerd kan worden met de lopende werkzaamheden binnen het Programma ERTMS. Dit biedt de mogelijkheid efficiëntiewinst te realiseren in investeringskosten. Ook kan een snel besluit om in de verdere toekomst een nieuwe technologie toe te passen, de kosten flink beperken. Bij vervanging van materieel en infrastructuur bij einde levensduur kan met toekomstbestendige specificering latere ombouw voorkomen worden.[12]

Op basis van de informatie die op het moment van opstellen van dit rapport beschikbaar is blijkt het niet mogelijk om, naast een bandbreedte, voor de gecombineerde inzet van systeemsprongen aan te geven hoeveel extra capaciteit deze precies kunnen verwezenlijken. Er is nader onderzoek nodig om de bijdrage aan capaciteit verder in kaart te brengen.

Box 5. Leren van andere sectoren: De noodzaak van 'eigen' kennis.

Veel innovatievragen kunnen uitbesteed worden aan externe partijen, maar een minimumniveau aan interne/eigen kennis is noodzakelijk om samen te werken met deze en andere partijen. De relevantie hiervan wordt steeds meer gezien binnen verschillende casussen. In de havencasus is men bijvoorbeeld gezamenlijk kennis aan het ontwikkelen aan de hand van verschillende roadmaps waarbij ook ingezet wordt op het ontwikkelen van wetenschappelijke kennis. Vooral als regiepartij wordt dit als cruciaal gezien om overkoepelend zicht te kunnen houden op de behoeften en mogelijkheden binnen de sector en om hoge kosten door het uitbesteden van kennisvragen zoveel mogelijk te kunnen voorkomen. Ook is de opbouw van voldoende kennis belangrijk om zicht te houden op relevante technologieën in aanpalende sectoren, zoals de toepassing van blockchain op schepen. Het intern ontwikkelen en borgen van kennis kan echter vragen om een cultuuromslag. Daarom is het binnen het spoor belangrijk om na te gaan of er voldoende ruimte is om kennis intern op te bouwen en te borgen, zodat ervoor gezorgd kan worden dat de regiepartij op een efficiënte manier kan sturen in de benodigde systeemsprongen.

12. De keerzijde is het risico op desinvestering als in een later stadium het beleid wijzigt.

5. Keuzeruimte systeemsprongen

Dit hoofdstuk beschrijft welke keuzes er op hoofdlijnen te maken zijn voor de systeemsprongen en welke voor- en nadelen deze keuzes hebben. Deze keuzes kunnen per systeemsprong gemaakt worden en gaan niet over het stelstel van sprongen in het geheel.

5.1. Systeemkeuzes in de tijd

Er worden drie varianten toegelicht om systeemkeuzes te maken gebaseerd op het moment van ontwikkeling.

- Vroeg inzetten op een nieuwe technologie.
- Inzetten als systeemsprong technologisch volwassen is: pas starten met een systeemsprong wanneer deze technologisch klaar is en in buurlanden wordt gebruikt.
- Wachten tot het echt moet: een systeemsprong pas inzetten wanneer wet- en regelgeving het voorschrijven en/of huidige systemen niet meer functioneren.

Variant 1: Vroeg inzetten op een nieuwe technologie

In deze variant wordt ervoor gekozen om in een vroeg stadium in te zetten op een systeemsprong. Het voordeel van deze variant is dat door in een vroeg stadium actief betrokken te zijn het mogelijk is om mee te denken over de specificaties van een nieuwe technologie. Deze betrokkenheid maakt dat de wensen voor het Nederlandse spoor goed meegenomen kunnen worden in de ontwikkeling. Het betekent ook dat er de mogelijkheid is om deze zo snel als mogelijk te implementeren evenals dat het mogelijk wordt om te profiteren van de baten. Het gevolg is dat de systeemsprongen zo snel mogelijk een bijdrage kunnen leveren aan de doelen van Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040. Er is nog veel onzeker aan de nieuwe technologie en er dient nog veel ontwikkeld te worden. De technologie is nog niet volwassen genoeg om al te kunnen implementeren. Het betekent investeren in onderzoek, het doen van pilots en het ontwikkelen van nieuwe technologie. Deze investeringen kunnen helpen om een technologie zo snel mogelijk volwassen te laten worden.

Het voordeel is ook dat door in een vroeg stadium actief betrokken te zijn het mogelijk is om mee te denken over de specificaties van een nieuwe technologie. Deze betrokkenheid maakt dat de wensen voor het Nederlandse spoor goed meegenomen kunnen worden in de ontwikkeling. Het betekent ook dat er de mogelijkheid is om deze zo snel als mogelijk te implementeren evenals dat het mogelijk wordt om te profiteren van de baten. Het gevolg is dat de systeemsprongen zo snel mogelijk een bijdrage kunnen leveren aan de doelen van TBOV 2040.
De voordelen van snel meedoen moeten ook niet overschat worden. Er is nog veel onzeker aan de nieuwe technologie en er dient nog veel ontwikkeld te worden. De technologie is nog niet volwassen genoeg om al te kunnen implementeren. Het betekent investeren in onderzoek, het doen van pilots en het ontwikkelen van nieuwe technologie. Deze investeringen kunnen helpen om een technologie zo snel mogelijk volwassen te laten worden. Nederland is in principe een klein land maar met druk bereden spoor en een grote stem, de invloed op de specificaties is daarmee dan ook substantieel. Een nadeel van vroeg investeren in een systeemsprong is ook dat het inzet (tijd en geld) vraagt terwijl nog niet altijd volledig duidelijk is wat het gaat opleveren. De innovatierisico's zijn echter het grootst wanneer er gekozen wordt om deze nieuwe technologie als een van de eerste landen te implementeren. Naast dat er nog weinig ervaring is met het implementeren van deze nieuwe technologie is het ook onzeker of andere landen zullen volgen en niet toch voor een andere implementatie van de technologie kiezen. Het vroeg implementeren van een innovatieve technologie kan in dat geval op gespannen voet komen te staan met interoperabiliteit. Deze risico's blijven echter in de meeste gevallen beperkt, door de invloed van Europese TSI's die voor iedere systeem op het spoor moet gelden. Tegelijkertijd kan daarbij opgemerkt worden dat TSI's niet in één keer in hun eindversie zijn. De voorlopers lopen daarmee altijd het risico van een al snel achterhaalde versie. Compatibiliteit is daarmee niet altijd gegarandeerd, wanneer andere landen andere keuzes maken.

Variant 2: Inzetten als systeemsprong technologisch volwassen is: pas starten met een systeemsprong wanneer deze technologisch klaar is en in buurlanden wordt gebruikt

Deze keuzevariant is behoudend. Er wordt gewacht tot een nieuwe technologie zich meer ontwikkeld heeft en meer duidelijk is over wat deze kan opleveren. Meer zekerheid ontstaat wanneer er ook ervaringen zijn in Europese (buur) landen met hoe deze technologie het best geïmplementeerd kan worden. Als (buur)landen voor deze nieuwe technologie hebben gekozen geeft dat ook zekerheid dat deze nieuwe technologie interoperabel is met de buurlanden. Wachten tot een technologie in buurlanden is ontwikkeld maakt het mogelijk om deze 'off the shelf' in te kopen.



De grote voordelen van deze meer behoudende variant is dat investeringskosten lager zijn en er meer zekerheid is over wat een systeemsprong kan opleveren. Het nadeel is dat minder eigen sturing uit kunt oefenen op welke systeemsprongen worden ingezet. Het wachten op buurlanden maakt ook dat later gebruik maken van de systeemsprongen een optie is, dit geldt zeker wanneer 'off the shelf' technologie eerst nog aangepast dient te worden aan de Nederlandse specificaties.

Het nadeel van deze variant is dat het dan ook langer duurt voordat de systeemsprongen een bijdrage kunnen leveren aan de doelen en ambities van Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 en Modal Shift voor goederen. Het biedt wel de ruimte om de komende jaren een duidelijk plan uit te lijnen en het spoor (en betrokken stakeholders) goed voor te bereiden op de implementatie van nieuwe technologie.

Variant 3: Wachten tot het echt moet: een systeemsprong pas inzetten wanneer wet- en regelgeving het voorschrijven en/of huidige systemen niet meer functioneren

In deze keuzevariant wordt gewacht tot op Europees niveau is voorgeschreven om een nieuwe systeemsprong in te zetten. Een andere noodzakelijke reden om te kiezen voor de inzet van een systeemsprong is dat de huidige spoortechnieken niet meer werken en vervangen dienen te worden door iets nieuws. Als overheid en sector de doelen en ambities van Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 en of Modal Shift voor goederen wil realiseren dan lijkt deze variant niet echt een logische keuze. Er zijn echter wel een paar belangrijke redenen om deze toch mee te nemen.

Het grote voordeel van deze keuze is dat in het geval van Europese wet- en regelgeving het duidelijk is dat alle Europese landen dezelfde nieuwe technologie moeten implementeren. Het maakt het ook makkelijker om investeringsbudget te krijgen voor een systeemsprong: het is duidelijk dat dit noodzakelijk is. De investeringskosten zijn lager dan bij vroeg inzetten en er is meer zekerheid over wat een systeemsprong kan opleveren.

Het grote nadeel van deze variant is dat wachten tot het verplicht wordt het lang duurt voordat er gebruik gemaakt kan worden van de mogelijkheden van systeemsprongen om doelen en ambities van de Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 en Modal Shift voor goederen te behalen. Een ander nadeel is dat met lang wachten het risico optreedt in de 'tussentijd' incompatibele keuzes te maken en investeringen te doen die het later moeilijker en of duurder maken om een systeemsprong alsnog te implementeren. Daarnaast wordt implementatie in veel gevallen duurder wanneer 'te laat' wordt begonnen met de voorbereidingen en realisatie. Zeker wanneer er veel tijdsdruk is om een vastgestelde tijd te behalen. Een aandachtspunt is dan ook in deze variant om op tijd te beginnen met de voorbereidingen.

Deze drie keuzevarianten levert het volgende beeld op voor de verschillende systeemsprongen.

Systeemsprong	Variant 1: Vroeg inzetten op een nieuwe technologie	Variant 2: Inzetten als systeemsprong technologisch volwassen is	Variant 3: Wachten tot het echt moet	Opmerkingen
Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3)	Inzetten op innovatie/ als één van de eersten inzetten op hybrid level 3 is nog mogelijk. Mogelijk kan er nog worden gestuurd om de functionaliteit/ implementatie optimaal aan te laten sluiten op de Nederlandse situatie.	Technisch gereed (TRL) naar verwachting in 2027. Verwachting implementatie in (buur)landen: rond 2040.	Er is hier geen vastgesteld moment voor.	Voor ERTMS hybrid level 3 loont het om hier vroeg op in te zetten, want dit maakt dat investeringskosten lager uitvallen vanwege het combineren met het huidige ERTMS-programma.
Verkeersmanage-ment (TMS)	Inzetten op innovatie is mogelijk.	TMS bestaat uit verschillende modules. Sommige zijn nu al beschikbaar anderen worden nog ontwikkeld. Er zijn Europese ontwikkelingen naar een gemeenschappelijke architectuur.	Idem	
Automatische treinbesturing (ATO)	Inzetten op innovatie/ snel aansluiten bij lopende ontwikkelingen. Vervoerders zien hierin een interessante businesscase.	Technisch gereed (TRL) naar verwachting in 2025. Meerdere landen zijn nu al aan het testen. Verwachting implementatie in (buur)landen: rond 2040.	Idem	
5G-telecommuni-catie (FRMCS)	Inzetten op innovatie is nog mogelijk. De industrie is deze technologie nu aan het ontwikkelen. Mogelijk kan er nog worden gestuurd om de functionaliteit/implementatie optimaal aan te laten sluiten op de Nederlandse situatie.	Verwachting is dat technologie vanaf 2025 gespecificeerd is. Verwachting implementatie in (buur)landen: rond 2036.	EU-regelgeving schrijft voor start realisatie FRMCS 5 jaar na publicatie in netverklaring.	FRMCS is de enige systeemsprong waar we vanuit wettelijke verplichtingen op in moeten zetten
Tractie- en energievoorziening (3kV)	N.v.t.	In principe nu al technisch gereed (TRL)	Idem	

Figuur 6. Drie keuzevarianten gebaseerd op het moment van ontwikkeling

5.2. Systeemkeuzes naar plaats

Het investeren in systeemsprongen kan niet alleen in de tijd van een systeemsprong variëren. Er kan ook een keuze gemaakt worden om een systeemsprong landelijk of daarentegen juist op specifieke trajecten in te zetten. In het Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 en Modal Shift voor goederen worden verschillende knooppunten (bijvoorbeeld SAAL, A2, A12) genoemd waarvoor het wenselijk is om deze op te lossen. Een deel van deze knooppunten kan niet met infrastructurele maatregelen opgelost worden. Hier kan de inzet van de systeemsprongen mogelijk wel een oplossing bieden. Een mogelijkheid daarbij is om in plaats van het hele spoornetwerk te vernieuwen ook te kijken of er gericht op specifieke lijnen of stukken spoor technologische aanpassingen gedaan kunnen worden. Bijvoorbeeld om specifiek de internationale corridors te versterken of om op specifieke lijnen het mogelijk te maken meer treinen te laten rijden bijvoorbeeld door het verhogen van de rijtijdsnelheid of hoe dicht ze achter elkaar kunnen rijden door middel van digitalisering. Voorbeelden van specifieke trajecten zijn bijvoorbeeld het HSL-traject en de Betuwelijn waar bepaalde systeemkeuzes gemaakt zijn die verschillen van de rest van het Nederlandse spoor (zoals 25kV AC voeding).

Systeemsprongen landelijk inzetten

In deze variant wordt ervoor gekozen om de mogelijkheden van systeemsprongen in te zetten voor het hele spoornetwerk. Het voordeel is dat overal geprofiteerd kan worden van de baten van de nieuwe technologie. Het betekent ook dat de techniek van het spoor overal gelijk is en het materieel overal aan dezelfde (hoge) eisen dient te voldoen en vervolgens ook overal kan rijden. Het nadeel is dat de inzet van de systeemsprongen mogelijk niet overal noodzakelijk zijn en hier wel kosten voor gemaakt moeten worden en het ook tijdsintensief is om deze in het hele land te implementeren ten op zichte van enkel implementeren op specifiek geselecteerde stukken spoor.

Systeemsprongen op specifieke trajecten inzetten om knelpunten op te lossen

Het kan in sommige gevallen lonen om een systeemsprong gericht in te zetten op specifieke stukken van het spoor. Het voordeel van deze keuze is dat echt wordt gekeken wat er nodig is op een stuk van het spoor en de mogelijkheden van de systeemsprongen hierop afgestemd worden. Het voordeel is ook dat niet het hele spoornetwerk aangepast hoeft te worden, maar alleen daar waar het echt nodig is. Het nadeel is dat het voor deze lokale oplossingen ook aanpassingen aan materieel vraagt en dat er verschillende systemen (in infrastructuur en materieel) gaan bestaan. Dit kan weer nieuwe problemen opleveren voor de doorstroom op het spoor in Nederland. Het maakt de logistieke aansturing ook extra complex.

Als het gaat om het realiseren van specifieke varianten, zoals genoemd in het Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040, zoals het vergroten van de capaciteit in de Randstad, het versterken van de internationale goederencorridors of een snelle aansluiting tussen de landsdelen – dan kan er in principe voor gekozen worden om alleen voor deze stukken de nieuwe systeemsprongen in te zetten.

Systeemsprongen eerst op specifieke locaties inzetten om daarna landelijk uit te rollen

Een tussenvariant is om ervoor te kiezen eerst op specifieke trajecten een nieuwe technologie uit te rollen en als dat goed functioneert deze uit te breiden naar landelijk niveau. Het voordeel is dat kan leren van nieuwe technologie op kleine schaal (en dan niet alleen leren van de implementatie, maar ook van de feitelijke baten en de mate waarin weer andere beperkende factoren optreden, zie ook box 2) voordat deze landelijk uitgerold wordt en dat de kosten meer uitgespreid kunnen worden in de tijd. Het duurt echter wel langer voordat je op nationaal niveau kan profiteren van de baten.

Tot slot is het hierbij belangrijk om op te merken dat de afweging om een systeemsprong landelijk of gericht in te zetten niet voor alle systeemsprongen mogelijk is. Sommige systeemsprongen kunnen alleen landelijk worden ingezet. Onderstaande tabel laat zien welke keuzemogelijkheden er zijn per systeemsprong.

Systeemsprong	Landelijk	Lokaal	Opmerkingen
Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3)	X	X	Dit kan zowel landelijk als lokaal worden ingevoerd.
Verkeersmanagement (TMS)	X		Dit kan alleen landelijk ingevoerd worden.
Automatische treinbesturing (ATO)	X	X	Dit kan zowel landelijk als lokaal worden ingevoerd.
5G-telecommunicatie (FRMCS)	X		Dit moet landelijk ingevoerd worden vanuit EU-regelgeving.
Tractie- en energievoorziening (3kV)	X		Materieelinzet is het meest flexibel wanneer het landelijk ingezet kan worden. Het is daarom zeer wenselijk om TEV landelijk gelijk te houden. Lokale uitrol betekent voor het materieel of een beperkte inzet of het bi-courant maken van het materieel. In de infra betekent dit spanningssluizen bij elke spannings-overgang.

Figuur 7. Landelijk of lokale inzet systeemsprong

Box 6. Leren van andere sectoren: Grote, gelijktijdige systeemtransitie vs. graduele/selectieve inzet van innovaties

Systeemsprongen hoeven of kunnen niet altijd in het gehele systeem in één keer doorgevoerd te worden, maar kunnen ook stap voor stap doorgevoerd worden. In het geval van de telecomcasus werden innovaties bijvoorbeeld eerst ingezet op plekken met urgente schaarstes in het radiospectrum. Door iedere keer een innovatie in te zetten op een specifieke locatie waar een schaarste zichtbaar is, kan uiteindelijk gezorgd worden voor voldoende capaciteit in het hele systeem. Dit kan echter ook leiden tot uitdagingen in het verbinden van verschillende locaties: als bijvoorbeeld een grondige afstemming tussen verschillende operators in het grensnetwerk niet mogelijk is, verlaagt dit de totale systeemcapaciteit aanzienlijk. Bij het gradueel implementeren van systeemsprongen moet dus de vraag gesteld worden of het mogelijk is om belangrijke systeemsprongen in een deel van de infrastructuur geïmplementeerd kunnen worden. Kun je compartimenteren, bijvoorbeeld door middel van corridors? Wat zijn dan de kosten (in de brede zin van het woord: flexibiliteit, functionaliteit, risico verstoringen, etc.)? Kan er slimmer nagedacht worden over 'backward compatibility' zodat, structureel of incidenteel, bestaande legacy systemen gebruikt blijven worden?

In het geval van het spoor kan dit betekenen dat het gradueel inzetten van systeemsprongen een versnelling kan betekenen in het vergroten van de capaciteit als er een sterke behoefte is aan het oplossen van een schaarste. Hierbij moet echter wel rekening gehouden worden met de uitdagingen die dit op kan leveren bij het op elkaar laten aansluiten van verschillende locaties of systemen. Daarom is het van belang om vanuit het totale systeem te kijken naar de mogelijke innovaties op losse locaties of systemen, om zo waar rendabel gradueel én efficiënt systeemsprongen door te voeren.

6. Sturingsprincipes en prioritering

In het vorige hoofdstuk zijn de mogelijkheden voor het spoor verkend. In dit hoofdstuk wordt een adaptief routepad uitgewerkt om de doelen te bereiken. Het hiervoor zijn sturingprincipes opgesteld, die gebruikt worden als handreiking in de routekaart. De mogelijkheden die volgen uit de sturingsprincipes zijn niet alleen maar technisch van aard, maar omvatten ook organisatorische aspecten zoals kennisopbouw, onderzoek en investeringsbesluiten die nodig zijn om de migratie te kunnen realiseren.

Er zijn drie verschillende sturingsprincipes voor de toekomst van het spoor. En deze hebben impact op de inzet van de systeemsprongen. Het gaat om:

- Capaciteit: Gericht op maximale capaciteitswinst.
- Kosteneffectiviteit: Gericht op kosteneffectief capaciteitswinst realiseren.
- Maakbaarheid: Gericht op een operationeel maakbare digitale transitie.

In de volgende paragrafen wordt een uitwerking gemaakt voor de inzet van de systeemsprongen wanneer één van deze drie sturingsprincipes prioriteit heeft.

6.1. Prioriteren op capaciteit

Het sturingsprincipe 'capaciteit' is erop gericht om de capaciteitsdoelstellingen uit het TBOV 204010 en de Modal Shift goederen11 te behalen. De centrale vraag is met welke systeemsprongen de benodigde capaciteitswinst kan worden gegenereerd. Het gaat daarbij primair om het oplossen van de capaciteitsknelpunten voor het personenvervoer en het goederenvervoer om de verwachte groei aan te kunnen. Bij het personenvervoer gaat het om een viertal corridors waar knelpunten zijn. In sommige gevallen kan de snelle realisatie van systeemsprongen bepaalde capaciteitsknelpunten oplossen. Op andere capaciteitsknelpunten zijn echter nog steeds aanvullende maatregelen noodzakelijk om aan de verwachte capaciteitsvraag te voldoen. Als het principe van capaciteit leidend is dan betekent dit dat andere afwegingen, zoals kosten of maakbaarheid, niet of in mindere mate worden meegenomen.

Op andere capaciteitsknelpunten zijn echter nog steeds aanvullende maatregelen noodzakelijk om aan de verwachte capaciteitsvraag te voldoen. Als het principe van capaciteit leidend is dan betekent dit dat andere afwegingen, zoals kosten of maakbaarheid, niet of in mindere mate worden meegenomen.

De uitgangspunten bij prioriteit voor het sturingsprincipe capaciteit zijn:

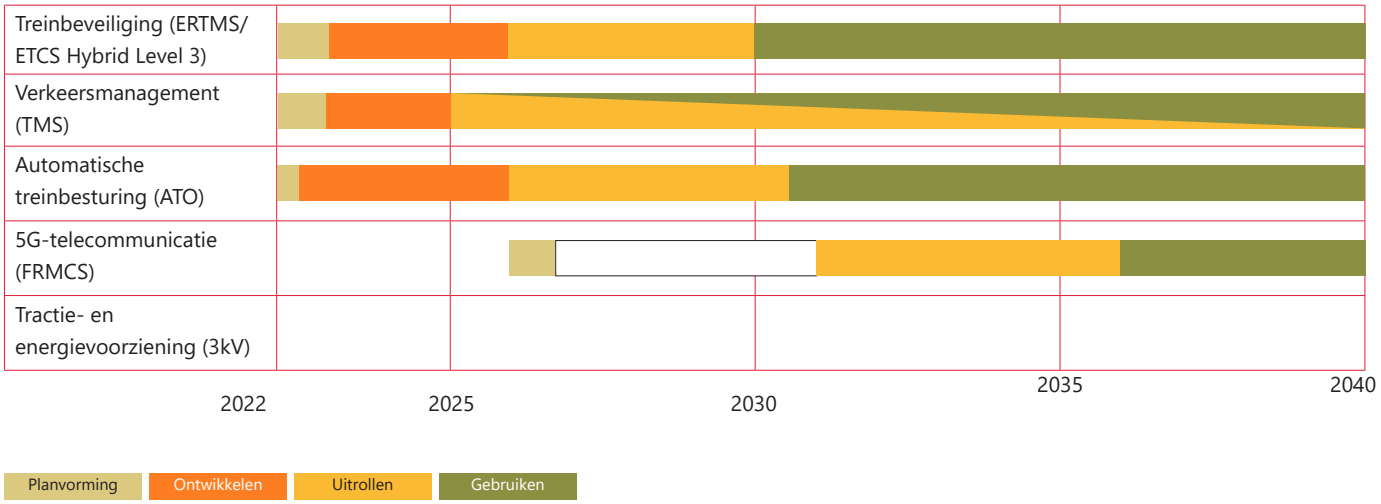
1. Keuze voor de systeemsprongen die een effectieve bijdrage leveren aan benodigde capaciteitswinst.
2. Het zo vroeg mogelijk realiseren van deze baten eerder dan 2040.

Beschrijving routepad capaciteit

Bij een prioritering op de benodigde capaciteitswinst en het zo spoedig mogelijk realiseren van de capaciteitsbaten wordt ingezet op de systeemsprongen Verkeersmanagement (TMS), Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en Automatische treinbesturing (ATO) omdat deze sprongen de grootste en snelste bijdrage leveren aan de capaciteit. Om afhankelijkheid van snelheden van ontwikkeling in andere EU-landen te voorkomen is Nederland aan zet om deze technologie (mede) te ontwikkelen. Vervolgens kan een deel van deze technologie, zoals treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en automatische treinbesturing (ATO), op infrastructuurniveau lokaal uitgerold worden op de capaciteitsknelpunten. Voor het materieel geldt dat het in zijn geheel aangepast wordt op deze systeemsprongen, zodat deze overal op het Nederlandse spoor gebruikt kan worden.

5G-telecommunicatie (FRMCS) is vanuit de EU verplicht, maar levert geen bijdrage aan de capaciteit. Deze dient 5 jaar na publicatie in de netverklaring gerealiseerd te worden. Dit betekent dat er speelruimte is in de startdatum. De inzet hiervan staat zo laat mogelijk gepland om niet te infereren met de systeemsprongen die capaciteitsbaten opleveren. Er dient echter niet tot de uiterste datum mee gewacht te worden gezien de vervangingsopgave van het huidige systeem (GSM-R) en de wens om deze te vernieuwen voor de uitrol van ERTMS vanwege de afnemende betrouwbaarheid van het GSM-R systeem.

Voor de efficiëntiewinst is het aan te raden te onderzoeken hoe de vervanging van materieel voor Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3), Automatische treinbesturing (ATO) en 5G-telecommunicatie (FRMCS) slim gecombineerd kan worden.



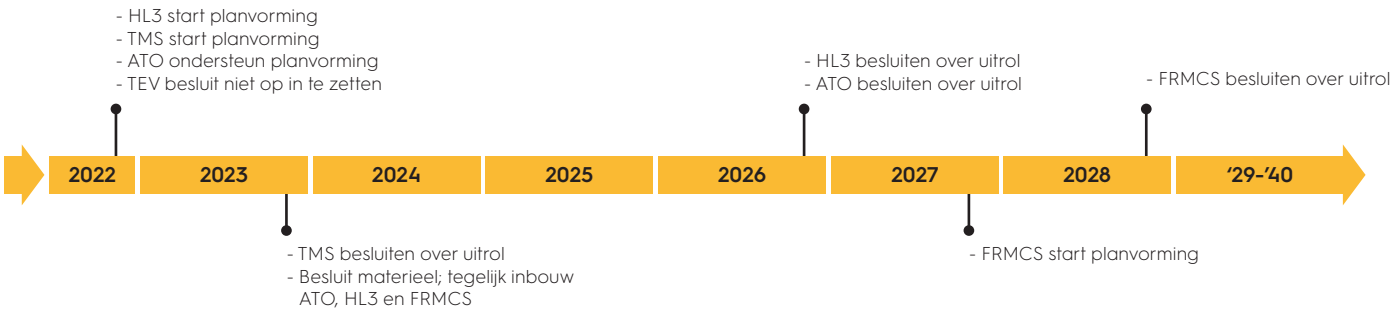
Figuur 8. Schets routepad sturingsprincipe capaciteit

Besluitvorming

Snelheid in besluitvorming is cruciaal. Uitgangspunt is om zo snel mogelijk positief te besluiten voor planvorming en ontwikkelen van de systeemsprongen die de benodigde capaciteitswinst opleveren en negatief te besluiten voor de andere systeemsprongen. Om vervolgens na afronding van planvorming en ontwikkeling direct te starten met uitrollen en deze zo snel als mogelijk uit te voeren.

Effecten

- Doelen: De systeemsprongen kunnen met dit routepad zoveel mogelijk een bijdrage leveren aan de capaciteitsdoelstellingen zoals geformuleerd in het Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 204 en Modal Shift voor goederen. Er blijven echter ook nog infrastructurele oplossingen nodig om de doelstellingen te kunnen halen.
- Onkosten en cashflow: De kosten voor Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3), Automatische treinbesturing (ATO) en Verkeersmanagement (TMS) worden snel gemaakt (deze budgetten zijn zo snel mogelijk nodig) en de kosten voor 5G-telecommunicatie (FRMCS) later. De totale kosten zijn naar verwachting lager dan investeren in infra-uitbreiding voor de benodigde capaciteitswinst.
- Materieel: Er is een efficiëntieslag te behalen bij keuze ten aanzien van materieel inbouw voor Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en Automatische treinbesturing (ATO) (tegelijk naar binnen).
- Andere baten:
  - Duurzaamheid: de systeemsprongen leveren een bijdrage aan Modal Shift voor goederen.
  - Snelheid: geen effect.
  - Interoperabiliteit: negatief op korte termijn, want de systeemsprongen Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en Automatische treinbesturing (ATO) worden eerder geïmplementeerd dan in buurlanden.
  - Veiligheid: geen meetbaar verschil.



Figuur 9. Beslismomenten sturingsprincipe capaciteit

Systeemsprong	Onderbouwing bij sturingsprincipe capaciteit o.b.v. technisch rapport
Treinbeveiliging (ERTMS/ ETCS Hybrid Level 3)	Zo snel mogelijke inzet in aansluiting op het huidige programma ERTMS. Voor Hybrid Level 3 is er nog geen Nederlands ontwikkelplan, maar de verwachting is dat een dergelijk plan in een jaar opgesteld kan worden. Hybrid level 3 is in het Verenigd Koninkrijk in principe al beproefd en lijkt al stabieler dan ATO (GoA level 2). Verwachting is dat de ontwikkeling een jaar sneller kan dan ATO GoA level 2. Na een jaar besluitvorming kan de uitrol starten. Vanuit efficiency-oogpunt is het aan te raden om te onderzoeken of de materieelombouw voor ATO GoA level 2 en Hybrid Level 3 gecombineerd kan worden. Gezien het tijdsverschil tussen Hybrid Level 3 en ATO GoA level 2 zijn er echter beperkingen aan deze combinatiemogelijkheden.
Verkeersmanagement (TMS)	TMS is een verkeersmanagementsysteem waarmee nauwkeuriger het treinverkeer kunt regelen en bijsturen. Er zijn verschillende modules mogelijk die hiervoor ingezet kunnen worden. Een definitief beeld van TMS en welke modules wenselijk zijn om te ontwikkelen in Nederland ligt nog niet vast. Deze dient eerst in de planvorming vastgelegd te worden en ter besluitvorming voorgelegd. Daarna kan de ontwikkeling van de diverse modules pas starten. Omdat het een doorlopend ontwikkelproces is kent dit een proces van ingebruikname en parallel een nieuwe module ontwikkelen.
Automatische treinbesturing (ATO)	Er loopt op dit moment al besluitvorming om te gaan onderzoeken. Een programmaplan ATO is hiervoor in het najaar 2022 gereed. De ontwikkelfase van ATO GoA2 loopt tot 2026. Na een jaar besluitvorming kan de uitrol gaan starten. De uitrolduur is nog niet precies bekend, (er is nu een inschatting gedaan tot 2031), omdat nog niet bekend is op welke locaties (knelpunten/corridors) en met welke GoA (grade of Operation) dit toegepast wordt.
5G-telecommunicatie (FRMCS)	Het levert geen capaciteit dus mag de andere ontwikkelingen die wel capaciteit leveren zo min mogelijk in de weg zitten. EU-regelgeving vereist echter wel dat het in 2036 af moet zijn. De inschatting is dat implementatie binnen 3 jaar te realiseren is, dus er moet uiterlijk in 2033 gestart zijn met de implementatie. Gezien de vervangingsopgave voor het huidige systeem en de wens om FRMCS voor de uitrol van ERTMS gereed te hebben vraagt het om hier toch eerder mee te beginnen. Dit betekent dat de uitrol in 2031-2032 dient te starten. Vijf jaar voor implementatie dient dit in de netverklaring opgenomen te worden dus uiterlijk 2027 dient het besluit genomen te zijn. Er wordt bij deze systeemsprong niet voor gekozen om deze zelf als Nederland (mede) te ontwikkelen. Deze wordt 'off the shelf' ingekocht uit het buitenland.
Tractie- en energievoorziening (3kV)	TEV (3kV) levert ook geen directe bijdrage aan de capaciteit voor 2040, het heeft daarmee vanuit het perspectief van capaciteit voor 2040 geen prioriteit om hier spoedig voor te kiezen.

6.2. Prioriteren op kosteneffectiviteit

Het sturingsprincipe 'kosteneffectiviteit' is erop gericht om met zo min mogelijk geld zoveel mogelijk capaciteit te creëren. De centrale vraag is wat de balans tussen investeren in systeemsprongen en gecreëerde capaciteit is. Als dit sturingsprincipe centraal staat dan wordt hoofdzakelijk gekeken welke systeemsprongen het meeste kosteneffectief zijn. Het gaat om beperkte investeringen om op enkele knelpunten capaciteit te creëren met een beperkte set aan systeemsprongen. Met de inzet van die beperkte set aan systeemsprongen kan extra capaciteit gecreëerd worden, dat is echter niet de maximale capaciteit, de capaciteit die nodig is volgens het Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 om de capaciteit die nodig is om knelpunten op te lossen. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de kosten voor infrastructuur en de kosten voor materieel. Als het principe van kosteneffectiviteit leidend is betekent dit dat andere afwegingen, zoals het behalen van doelen en maakbaarheid niet of minder meegewogen kunnen worden.

De uitgangspunten bij prioriteit voor het sturingsprincipe kosteneffectiviteit zijn:

1. Keuze voor de systeemsprongen die de meeste baten per geldeenheid opleveren.
2. Volwassen systemen die (in het buitenland) al ontwikkeld zijn in kopen om onderzoekskosten- en risico's te verminderen.
3. Het maximaal voorkomen van ombouw van materieel door:
   - Materieel dat voor 2040 uitstroomt niet ombouwen.
   - Nieuw materieel dat je inkoopt moet toekomstvast zijn voor de relevante systeemsprongen.
   - Alleen materieel dat dagelijks passeert over de knelpunten dient omgebouwd te worden.

Beschrijving routepad kosteneffectiviteit

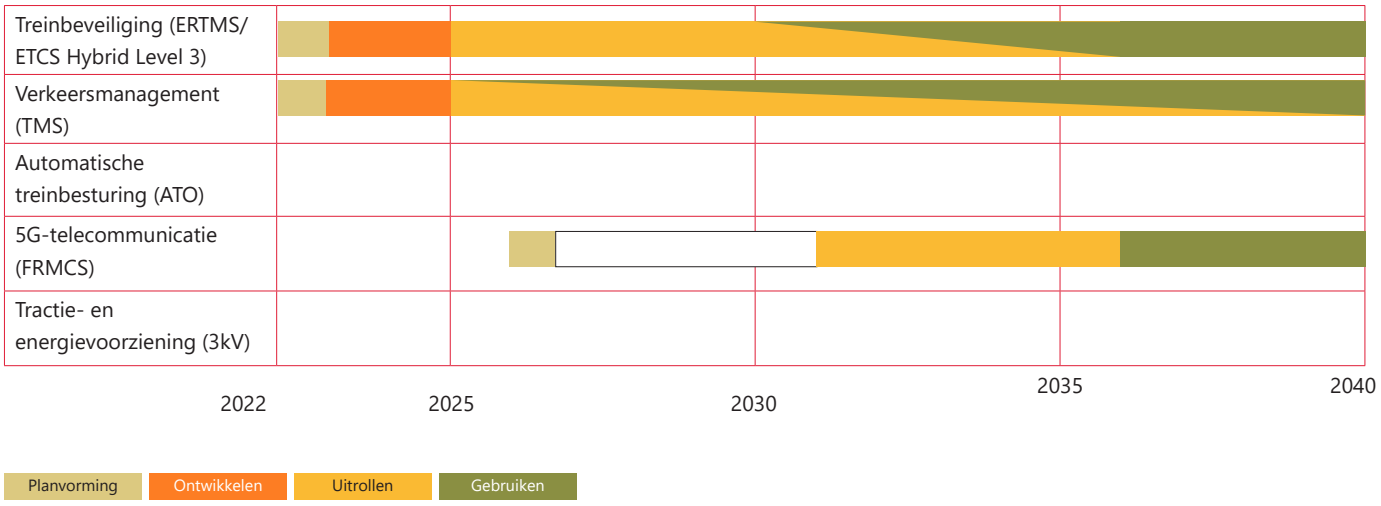
Bij prioritering op kosteneffectiviteit is de keuze voor systeemsprongen die meeste baten per geïnvesteerde euro opleveren. Dit betreft treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en Verkeersmanagement (TMS). Automatische treinbesturing (ATO) en Tractie- en energievoorziening (TEV 3kV) zijn minder kosteneffectief. Deze systeemsprongen worden vanuit kosteneffectiviteit dan ook niet gekozen. TEV 3kV levert vooralsnog weinig capaciteitswinst op, maar brengt wel aanzienlijke kosten met zich mee. ATO geeft naar verwachting minder capaciteitswinst dan ERTMS HI3 en TMS tegen vergelijkbare kosten (orde van grootte).

Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) wordt kosteneffectief wanneer deze juist vroeg wordt ingezet. Deze kan meegenomen worden in de huidige werkzaamheden voor het Programma ERTMS. Daardoor is er geen apart programma voor implementatie nodig, en kunnen werkzaamheden, die al begroot en gepland zijn gebruikt worden voor implementatie. Daardoor zijn de meerkosten alleen die van Hybrid Level 3 ten opzichte van Level 2. Als Level 2 geïmplementeerd wordt met korte blokken levert Hybrid Level 3 een aanzienlijke besparing aan de kosten voor treindetectie.

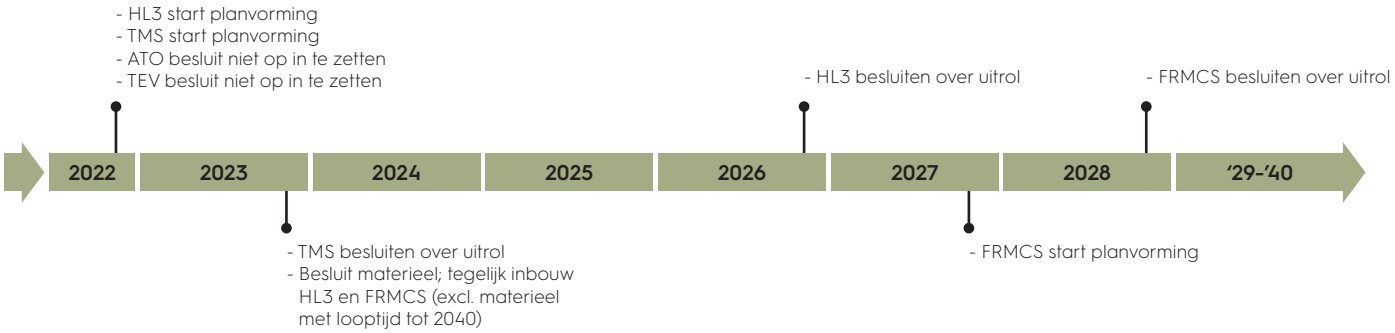
5G-telecommunicatie (FRMCS) is niet kosteneffectief, het levert geen directe bijdrage aan de capaciteit en is niet randvoorwaardelijk voor de vanuit dit principe gekozen systeemsprongen. De sprong is wel wettelijk verplicht en dient uiterlijk in 2036 het huidige GSM-R netwerk vervangen te hebben. Mogelijk nemen de kosten ook af bij latere implementatie. Daarom is de keuze voor een zo laat mogelijk invoering. Door zo min mogelijk materieel om te bouwen (alleen materieel dat na 2040 nog ingezet wordt) en de tijdsplanning van de systeemsprongen hierop af te stemmen én de wijzigingen voor Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en 5G-telecommunicatie (FRMCS) tegelijk in te bouwen kunnen kosten voor materieel aanzienlijk bespaard worden.

Besluitvorming

Zorgvuldige besluitvorming voor een optimale afstemming tussen de systeemsprongen is cruciaal. Uitgangspunt is om zo snel mogelijk positief te besluiten voor planvorming en ontwikkelen van de systeemsprongen die kosteneffectief zijn en negatief besluiten voor de andere systeemsprongen. Om vervolgens na afronding planvorming en ontwikkeling getemporiseerd de uitrol te starten. Bij de uitrol de afweging meenemen om materieel niet direct te vervangen, maar om deze langzaam in te laten stromen om de kosten te beheersen.



Figuur 10. Schets routepad sturingsprincipe kosteneffectiviteit



Figuur 11. Besluitvormingsmomenten sturingsprincipe kosteneffectiviteit

Effecten

- Doelen: als kiezen voor kosteneffectiviteit als leidend principe dan kiezen we voor systeemsprongen die met laagste kosten en hoogste baten gepaard gaan. Met baten gaat het om de capaciteitsdoelen uit het Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 en Modal Shift voor goederen.
- Kosten en cashflow: De kosten worden vroeg gemaakt voor Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en Verkeersmanagement (TMS) om zo snel mogelijk infrakosten te voorkomen. De kosten voor 5G-telecommunicatie (FRMCS) treden later op. De budgetten zijn zo snel mogelijk nodig, maar zijn wel later dan bij sturingsprincipe capaciteit. doordat er niet voor ATO is gekozen en vervanging van materieel kosteneffectieve is.
- Materieel: Door zo min mogelijk om te bouwen (alleen materieel dat na 2040 nog ingezet wordt) en de tijdsplanning van de systeemsprongen hierop af te stemmen én de wijzigingen voor Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en 5G-telecommunicatie (FRMCS) tegelijk in te bouwen kunnen kosten hier bespaard worden.
- Andere baten:
  - Duurzaamheid: bijdrage aan Modal Shift voor goederen is lager dan bij sturingsprincipe capaciteit, bijvoorbeeld om dat er geen ATO treinen op Betuweroute rijden.
  - Snelheid: geen effect.
  - Interoperabiliteit: deels negatief want Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) wordt in Nederland eerder geïmplementeerd dan in buurlanden.
  - Veiligheid: geen meetbaar verschil.



Systeemsprong	Onderbouwing bij sturingsprincipe capaciteit o.b.v. technisch rapport
Treinbeveiliging (ERTMS/ ETCS Hybrid Level 3)	Er wordt zo snel mogelijk ingezet op Hybrid Level 3 in aansluiting bij het huidige programma ERTMS. Voor Hybrid Level 3 is er nog geen Nederlands ontwikkelplan, maar de verwachting is dat een dergelijk plan in een jaar opgesteld kan worden. Na een jaar besluitvorming kan de uitrol starten. Bij dit sturingsprincipe wordt ervoor gekozen om materieel voor de systeemsprongen niet direct om te bouwen voor de systeemsprongen, maar om deze langzamer in te laten stromen. Dit betekent dat de baten van ERTMS Hybrid level 3 niet direct benut kunnen worden.
Verkeersmanagement (TMS)	TMS is een verkeersmanagementsysteem waarmee nauwkeuriger het treinverkeer kunt regelen en bijsturen. Er zijn verschillende modules mogelijk die hiervoor ingezet kunnen worden. Een definitief beeld van TMS en welke modules wenselijk zijn om te ontwikkelen in Nederland ligt nog niet vast. Deze dient eerst in de planvorming vastgelegd te worden en ter besluitvorming voorgelegd. Daarna kan de ontwikkeling van de diverse modules pas starten. Omdat het een doorlopend ontwikkelproces is kent dit een proces van ingebruikname en parallel een nieuwe module ontwikkelen.
Automatische treinbesturing (ATO)	Er wordt vanuit kosteneffectiviteit niet ingezet op ATO GoA 2 omdat dit gezien de kosten niet voldoende bijdraagt aan de baten.
5G-telecommunicatie (FRMCS)	Levert geen capaciteit en vanuit kosteneffectiviteit daarmee niet direct eerste prioriteit. EU-regelgeving vereist echter wel dat het in 2036 af moet zijn. De inschatting is dat implementatie binnen 3 jaar te realiseren is, dus er moet uiterlijk in 2033 gestart zijn met de implementatie. Vijf jaar voor implementatie dient dit in de netverklaring opgenomen te worden dus uiterlijk in 2028 dient het besluit genomen te zijn. Er wordt bij deze systeemsprong niet voor gekozen om deze zelf als Nederland (mede) te ontwikkelen. Deze wordt 'off the shelf' ingekocht uit het buitenland.
Tractie- en energievoorziening (3kV)	TEV (3kV) levert ook geen directe bijdrage aan de benodigde capaciteit voor 2040 en heeft daarom geen prioriteit. Uit oogpunt van toekomstbestendigheid (>2040) kan overwogen worden materieel en infrastructuur hier wel alvast op voor te bereiden bij vervanging. Dit beperkt de kosten van een eventuele migratie in de verdere toekomst, maar heeft het risico van desinvestering bij verandering van beleid of grote vertraging.

6.3. Prioriteren op maakbaarheid

Het sturingsprincipe 'maakbaarheid' kijkt naar de systeemsprongen vanuit operationeel perspectief en laat keuze vooral bepalen door operationele overwegingen, zoals beschikbare capaciteit, de hoeveelheid buitendienststellingen die systeemsprongen opleveren of van de onttrekking van materieel die de inzet van een systeemsprong vraagt.

De gehanteerde uitgangspunten bij prioriteit voor het sturingsprincipe maakbaarheid zijn:

1. Keuze voor effectief omgaan met beschikbaarheid aan kundig personeel en beschikbaarheid van marktpartijen, waaronder technologie leveranciers en industrie partijen voor infrastructureel en materieel.
2. Voorkomen dan wel verminderen van aantal buitendienststellingen.
3. Maximaal combineren van inbouw van materieel.

Het gevolg hiervan is dat volgordelijkheid als strategie wordt gehanteerd.

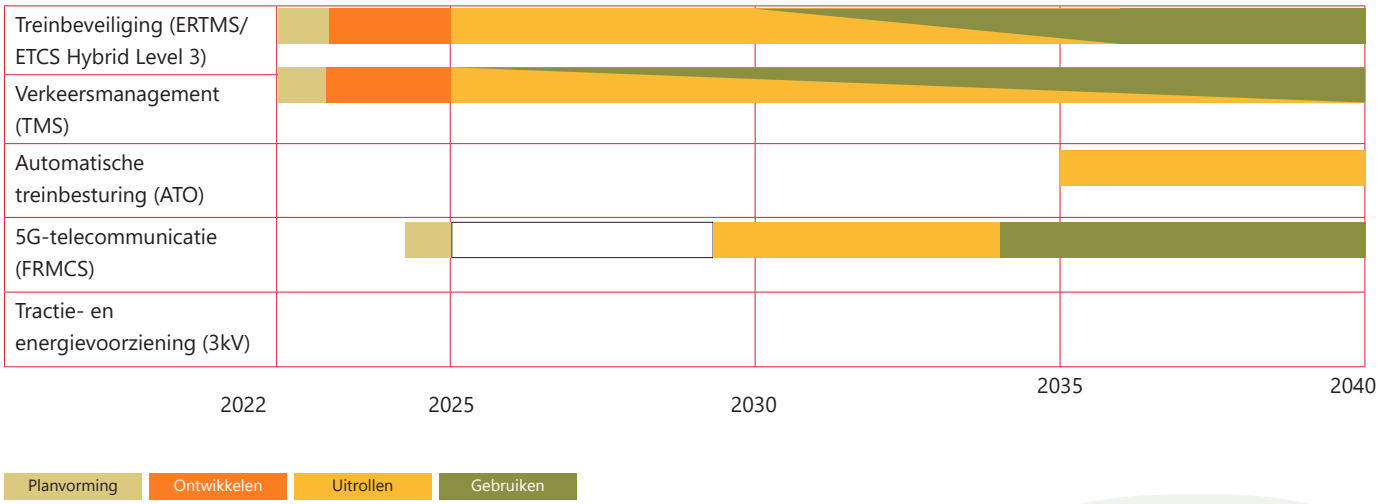
Beschrijving routepad maakbaarheid

Verkeersmanagement (TMS) wordt vanuit dit sturingsprincipe als eerste opgepakt in 2025. Dit vraagt weinig van de ombouw van materieel. Het levert ook weinig buitendienststellingen op. De benodigde expertise hiervoor is hoofdzakelijk een ICT-expertise en deze expertise is verschillend dan voor de overige meer infragerichte systeemsprongen. Wel is IT-capaciteit in het algemeen schaars. Deze systeemsprong kan parallel aan de andere systeemsprongen worden uitgevoerd.

Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) wordt vanuit dit sturingsprincipe als eerste opgepakt in 2025. Deze kennis en kunde is nu al actief binnen het Programma ERTMS en kan aangesproken worden.

De uitrolwerkzaamheden voor treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) worden vanuit dit sturingsprincipe als eerste opgepakt. Wanneer deze in 2025 afnemen wordt ervoor gekozen om de uitrol van 5G-telecommunicatie (FRMCS) omstreeks 2030 te starten. De implementatie hiervan wordt vroeg opgepakt vanwege de vervangingsopgave van het huidige systeem (GSM-r) waar eveneens kennis en kunde voor nodig is, maar dat vanwege de einde levensduur ook tot ongewenste buitendienststellingen kan leiden. Zodra de uitrol van de andere drie systeemsprongen afgerond is kan gestart worden met de uitrol van Automatische treinbesturing (ATO) in 2035.

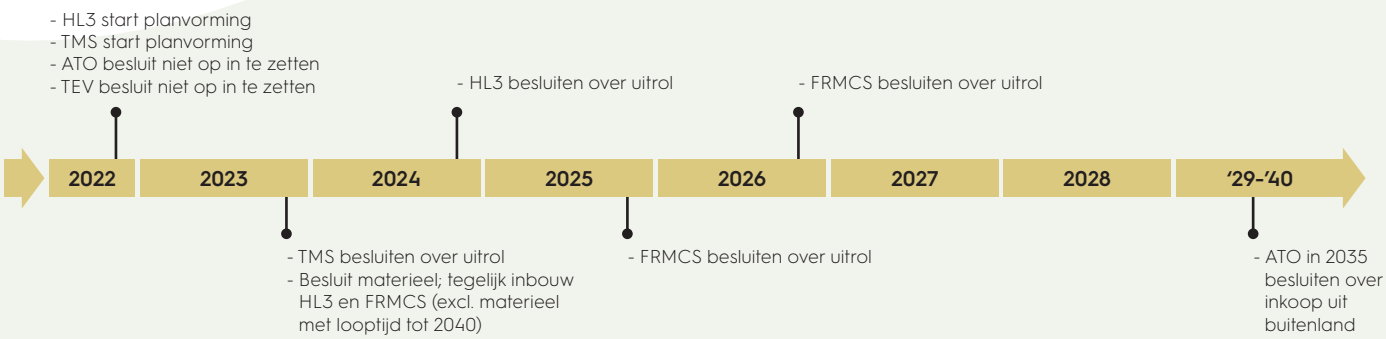
Het ombouwen van materieel voor de systeemsprongen Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en 5G-telecommunicatie (FRMCS) vraagt veel. Het is daarom wenselijk om zoveel mogelijk te wachten tot er nieuw materieel nodig is en deze dan in één keer aan te schaffen met alle benodigde systemen aan boord.



Figuur 12. Schets routepad sturingsprincipe maakbaarheid

Besluitvorming

Volgordelijkheid in besluitvorming over de systeemsprongen is cruciaal. Uitgangspunt is om positief te besluiten voor planvorming en ontwikkelen van de eerste systeemsprongen die bijdragen aan maakbaarheid en negatief te besluiten over de andere systeemsprongen. Daarbij is het uitgangpunt om de uitrol van systeemsprongen zo min mogelijk tegelijk en zoveel mogelijk opvolgend te laten plaatsvinden. Alleen de inzet van Verkeersmanagement (TMS) kan parallel plaatsvinden aan de andere systeemsprongen. Bij de uitrol van de systeemsprongen de afweging meenemen om maximaal te combineren van aanpassingen aan materieel.



Figuur 13. Besluitvormingsmomenten sturingsprincipe maakbaarheid

Effecten

- Doelen: als kiezen voor maakbaarheid als leidend sturingsprincipe is de keuze om systeemsprongen die veel vragen van capaciteit, buitendienststelling en materieel niet tegelijkertijd, maar opvolgend te doen.
- Capaciteit: De baten zijn maximaal, maar komen veel later beschikbaar dan bij sturingsprincipe capaciteit.
- Materieel: Door zo min mogelijk om te bouwen en tijdsplanning hierop af te stemmen kan complexiteit verminderd worden.
- Kosten en cashflow: De budgetten kunnen over een langere periode dan bij het sturingsprincipe capaciteit worden uitgegeven.
- Andere baten:
  - Duurzaamheid: bijdrage aan Modal Shift voor goederen is lager.
  - Snelheid geen effect.
  - Interoperabiliteit: positief en negatief want we bouwen meer standaard maar wel later.
  - Veiligheid geen meetbaar verschil.

Systeemsprong	Onderbouwing bij sturingsprincipe capaciteit o.b.v. technisch rapport
Treinbeveiliging (ERTMS/ ETCS Hybrid Level 3)	Er wordt zo snel mogelijk ingezet op aansluiting bij het huidige programma ERTMS. Voor Hybrid Level 3 is er nog geen Nederlands ontwikkelplan, maar de verwachting is dat een dergelijk plan in een jaar opgesteld kan worden. Na een jaar besluitvorming kan de uitrol starten. Bij dit sturingsprincipe wordt ervoor gekozen om materieel pas aan te passen op de systeemsprongen wanneer deze vervangen dienen te worden. Dit betekent dat de baten van niet direct benut kunnen worden.
Verkeersmanagement (TMS)	TMS is een verkeersmanagementsysteem waarmee nauwkeuriger het treinverkeer kunt regelen en bijsturen. Er zijn verschillende modules mogelijk die hiervoor ingezet kunnen worden. Een definitief beeld van TMS en welke modules wenselijk zijn om te ontwikkelen in Nederland ligt nog niet vast. Deze dient eerst in de planvorming vastgelegd te worden en ter besluitvorming voorgelegd. Daarna kan de ontwikkeling van de diverse modules pas starten. Omdat het een doorlopend ontwikkelproces is kent dit een proces van ingebruikname en parallel een nieuwe module ontwikkelen.
Automatische treinbesturing (ATO)	Er wordt vanuit maakbaarheid pas in een later stadium (2035) ingezet op ATO GoA 2 omdat dit gezien de beschikbare capaciteit niet verstandig is gelijktijdig in te voeren met ERTMS Hybrid Level 3. .
5G-telecommunicatie (FRMCS)	EU- regelgeving vereist dat deze systeemsprong geïmplementeerd moet worden. Vanuit de vervangingsopgaven van het huidige systeem (GSM-r) is het echter wenselijk om hier niet te lang mee te wachten. Het huidige systeem dat einde leven nadert kan tot ongewenste buitendienststellingen leiden. Als Hybrid Level 3 in gebruik genomen kan worden komen personeel vrij voor de invoering van FRMCS. De inschatting is dat de implementatie binnen 3 jaar te realiseren is. Vijf jaar voor implementatie dient dit in de netverklaring opgenomen te worden. Er wordt bij deze systeemsprong niet voor gekozen om deze zelf als Nederland (mede) te ontwikkelen. Deze wordt 'off the shelf' ingekocht uit het buitenland.
Tractie- en energievoorziening (3kV)	TEV (3kV) levert ook geen directe bijdrage aan de capaciteit voor 2040, het heeft daarmee vanuit het perspectief van kosteneffectiviteit geen prioriteit om hier spoedig voor te kiezen.

6.4. Routekaart met besluitvorming

In de voorgaande paragrafen zijn de verschillende sturingsprincipes afzonderlijk uitgewerkt. In de werkelijkheid zullen meerdere sturingsprincipes een rol spelen. In deze paragraaf worden de sturingsprincipes samengenomen om vanuit daar tot een routekaart te komen voor de systeemsprongen.

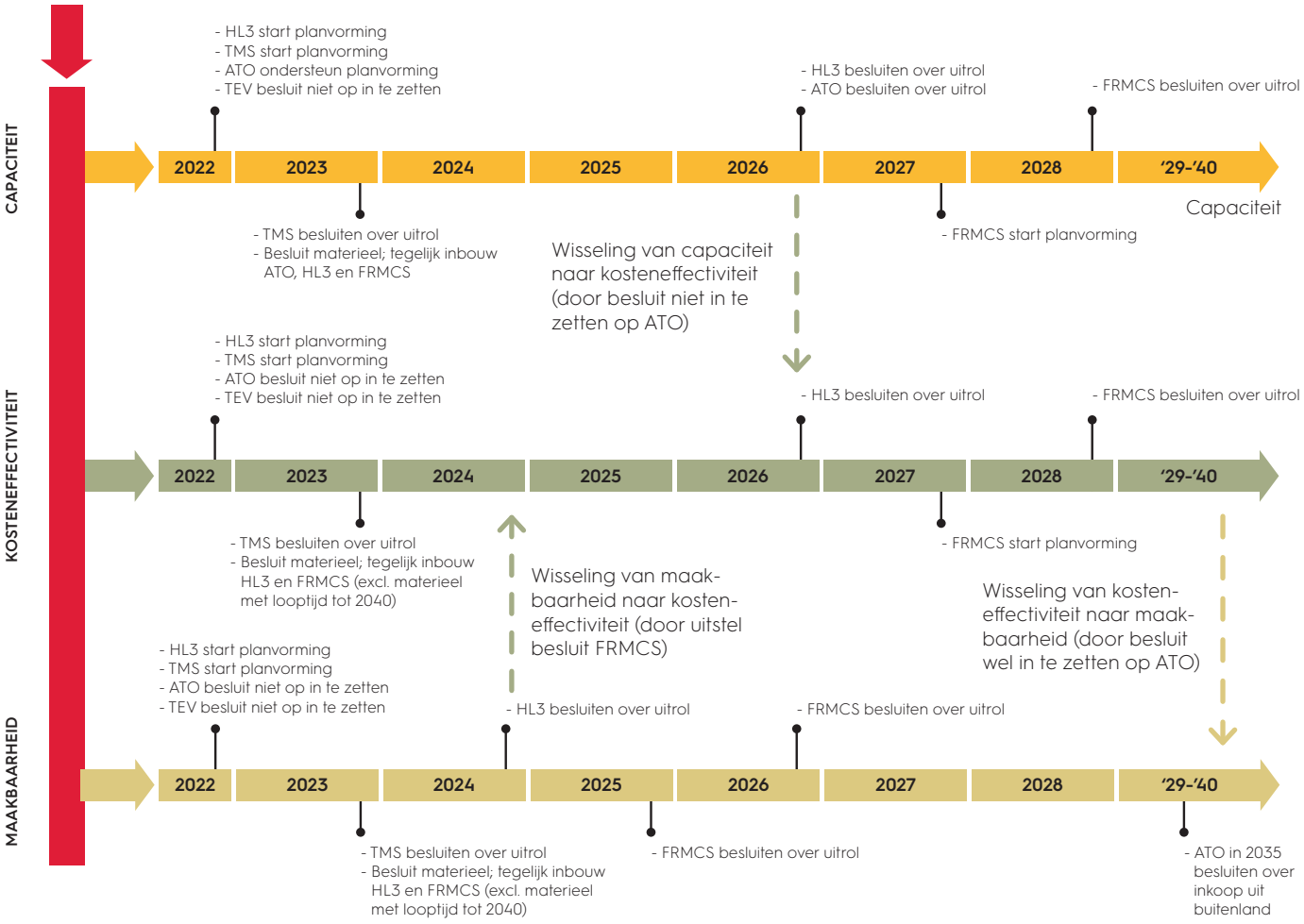
Routekaart voor besluiten over sturingsprincipes

De eerste stap in de routekaart is om een prioritering aan te geven in de sturingsprincipes en hier vervolgens ook op zeer korte termijn besluiten over de systeemsprongen aan te verbinden. Denk dan aan het wel/niet starten van planvorming van een systeemsprong, bijvoorbeeld Verkeersmanagement (TMS), of juist het besluit om niet in te zetten op een systeemsprong, bijvoorbeeld Tractie- en energievoorziening (3kV).

Op de volgende pagina is een routekaart weergegeven met de beslismomenten per sturingsprincipe en in vergelijking tot elkaar.

Neem een besluit over de prioritering van de sturingsprincipes.

Routekaart sturingsprincipes en beslismomenten systeemkeuzes



Figuur 14. Schets routekaart voor besluiten over sturingsprincipes én systeemkeuzes

Toelichting routekaart sturingsprincipes:

Om de mogelijkheid om andere keuzes te maken open te houden, gelden de volgende richtlijnen:

- Een keuze voor sturingsprincipe capaciteit biedt later de mogelijkheid om over te stappen op kosteneffectiviteit én maakbaarheid. Er moeten dan op korte termijn wel (onnodige) onderzoekskosten worden gemaakt.
- Een keuze voor sturingsprincipe kosteneffectiviteit biedt enkel de mogelijkheid om over te stappen naar maakbaarheid en sluit de doelen van sturingsprincipe capaciteit vóór 2040 uit. Het doel kan later in de tijd wel behaald worden.
- Een keuze maken voor maakbaarheid biedt enkel de mogelijkheid om over te stappen op kosteneffectiviteit en sluit capaciteit als sturingsprincipe vóór 2040 uit. Het doel kan later in de tijd wel behaald worden.

Uitstel van besluiten

Indien er op korte termijn (lees 1-2 jaar) geen besluiten worden genomen over de systeemsprongen is het niet mogelijk om tijdig capaciteit te creëren, de systeemsprongen kosteneffectief in te zetten of uit te gaan van tijdige maakbaarheid.

Specifiek kunnen de volgende gevolgen optreden:

- De ontwikkeling van systemen zoals Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en Verkeersmanagement (TMS) wordt later gestart, waardoor de uitrol en ingebruikname hiervan later zijn. Hierdoor treden ook baten later op.
- Alle systeemsprongen en bijbehorende opties blijven 'in de lucht'. Hiermee wordt onderzoekscapaciteit niet gericht inzet. Ook is dit niet kosteneffectief en kunnen er op korte termijn budgetaanvragen verwacht worden voor alle vijf de systeemsprongen.
- Voor Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) geldt de consequentie dat daarmee een belangrijke koppelkans verloren gaat, voor 5G-telecommunicatie (FRMCS) kan de ombouw duurder uitvallen vanwege de korte ombouwperiode en voor Verkeersmanagement (TMS) geldt dat een verouderd systeem in de toekomst mogelijk in hoog tempo vervangen moet gaan worden.

Systeemsprong	Onderbouwing bij sturingsprincipe capaciteit o.b.v. technisch rapport
Treinbeveiliging (ERTMS/ ETCS Hybrid Level 3)	Een besluit voor het inzetten op Hybrid Level 3 brengt de planvorming in versnelling, waardoor de ontwikkeling, uitrol en ingebruikname in aansluiting op het programma ERTMS plaatsvinden.
Verkeersmanagement (TMS)	Een besluit voor het inzetten op TMS kan voor alle sturingsprincipes, een goede modulaire indeling met duidelijke doelen kan ervoor zorgen dat er voor elk sturingsprincipe met TMS baten te realiseren zijn.
Automatische treinbesturing (ATO)	Een besluit voor het wel/niet kiezen voor ATO betekent dat ieder jaar dat je langer wacht met implementatie van ATO, de baten ook later optreden. Dit is ongeveer 5-10 jaar het geval, daarna is het systeem volwassener en mogelijk sneller te implementeren.
5G-telecommunicatie (FRMCS)	Een besluit voor een vroeg of laat moment van ingebruikname van FRMCS heeft gevolgen voor de vervangingsopgaven van het huidige systeem (GSM-r). Het huidige systeem dat einde leven nadert kan tot ongewenste buitendienststellingen leiden.
Tractie- en energievoorziening (3kV)	Bij het besluiten om niet in te zetten op TEV (3kV) dan heeft dit geen gevolgen voor de doelen ten aanzien van capaciteit voor 2040. Mogelijk wel voor doelen na 2040. Dat is geen onderdeel van dit onderzoek.
Toevoeging t.a.v. materieel	Hoe eerder wordt besloten om materieel aan te passen én voor welke systeemsprongen hoe efficiënter dat kan plaatsvinden.

7. Conclusies en advies

Dit hoofdstuk presenteert de conclusies van het onderzoek door antwoord te geven op de onderzoeksvragen. Het hoofdstuk sluit af met enkele aanbevelingen en een onderzoeksagenda voor de digitalisering.

7.1. Conclusies van het onderzoek

A. Wat zijn de potenties van verschillende systeemsprongen in het kader van Toekomstbeeld OV 2040 en de goederenvervoeragenda?

Deze conclusies zijn gebaseerd op hoofdstuk 3.

Het onderzoek laat zien dat alle systeemsprongen de potentie hebben om een bijdrage te leveren aan de doelen en ambities in het kader van het Toekomstbeeld OV 2040 en Modal Shift voor goederen. Die bijdrage kan op moment van schrijven van dit rapport alleen kwalitatief worden geduid.

Capaciteit

De focus van het onderzoek ligt op het vergroten van de capaciteit voor het spoor voor 2040. Hierin kunnen alleen Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3), Automatische treinbesturing (ATO) en Verkeersmanagement (TMS) een significante bijdrage leveren. Onder meer door de opvolgtijden van treinen korter te maken, de bufferwinst te verkleinen of door juist voor rijtijdwinst te zorgen.
Naast winsten in opvolgtijd, buffer- en rijtijd moet Verkeersmanagement (TMS) geschikt zijn om de gewenste dienstregeling stabiel te sturen en de treinenloop na verstoringen te herstellen. Verder moet er voldoende tractie beschikbaar zijn voor de gewenste dienstregeling. De capaciteitsbaten van Tractie- en energievoorziening (3kV) worden pas na 2040 geeffectueerd. 5G-telecommunicatie (FRMCS) levert geen directe bijdrage aan het vergroten van de capaciteit.

Interoperabiliteit

De inzet op de systeemsprongen verhoogt niet noodzakelijk de interoperabiliteit met buurlanden. De inzet op Automatische treinbesturing (ATO) kan complicerend zijn voor interoperabiliteit. Verkeersmanagement (TMS) is in principe een nationaal systeem maar de verwachting is dat er voor TMS-systemen Europese kaders komen (TSI), die de drempels voor grensoverschrijdend railverkeer moeten verlagen.

De inzet op Tractie- en energievoorziening (3kV) vergroot alleen de interoperabiliteit met België. 5G-telecommunicatie (FRMCS) wordt voorgeschreven door Europese regelgeving maar interoperabiliteit met buurlanden is afhankelijk van de uitrolkeuzes die gemaakt worden. Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) verhoogt niet de interoperabiliteit.

Betrouwbaarheid, veiligheid en duurzaamheid

De systeemsprongen Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3), Automatische treinbesturing (ATO), Verkeersmanagement (TMS) en 5G-telecommunicatie (FRMCS) leveren ieder een bijdrage aan het verbeteren van de betrouwbaarheid van het spoor. Tractie- en energievoorziening (3kV) levert geen directe bijdrage aan het vergroten van de betrouwbaarheid. Van de vijf systeemsprongen levert Tractie- en energievoorziening (3kV) en Automatische treinbesturing (ATO) aan duurzaamheid en Verkeersmanagement (TMS) alleen aan het vergroten van de veiligheid.

De systeemsprongen kunnen dus een bijdrage leveren aan de doelen en ambities van Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 en Modal Shift voor goederen en in het bijzonder de doelstellingen voor capaciteitsvergroting in 2040, maar gezien de omvang van de opgave is het niet reëel dat enkel de systeemsprongen deze opgave kan realiseren.

Belangrijk is om deze systeemsprongen vooral te zien als technologische mogelijkheden die een bijdrage kunnen leveren aan het capaciteitsvraagstuk en het oplossen van knelpunten. Deze overwegingen gelden echter ook voor infrastructurele maatregelen aan het spoor. Infrastructurele maatregelen lopen echter steeds meer tegen grenzen aan, terwijl de mogelijkheden van digitalisering nu nog veelal onbenut zijn. De investeringen in digitalisering zijn hoog, maar infrastructurele investeringen zijn in veel gevallen nog hoger.

B. Hoe ziet een potentiële migratie naar de toekomst eruit teneinde stapsgewijs te vernieuwen? Wat zijn verschillende scenario's om doelen van het Toekomstbeeld OV 2040/Modal Shift voor goederen te bereiken? In hoeverre moeten systemen worden gestapeld om doelen te bereiken in de Randstad, goederencorridors of juist de verbindingen naar de landsdelen?

Deze conclusies zijn gebaseerd op hoofdstuk 4.

Technische afhankelijkheden

De vijf systeemsprongen hebben minder onderlinge technische afhankelijkheden dan aan de start van dit onderzoek verwacht. Het ontbreken van een technische samenhang tussen vier van de vijf systeemsprongen maakt dat er relatief veel keuzeruimte is of en hoe de individuele systeemsprongen verder te ontwikkelen en te implementeren.

Vier van de vijf systeemsprongen zijn technisch onafhankelijk te ontwikkelen en te realiseren. Het gaat om Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3), Verkeersmanagement (TMS), 5G-telecommunicatie (FRMCS) Tractie- en Energie Voorziening (3kV).

Voor de technische ontwikkeling van Automatische treinbesturing (ATO) continue up-to-date dienstregeling informatie nodig met Verkeersmanagement (TMS) om de volledige potentie aan capaciteit te benutten. Voor de technische door ontwikkeling van Automatische treinbesturing (ATO) is in de toekomst ook 5G-telecommunicatie (FRMCS) om voldoende bandbreedte te bieden voor de benodigde data-uitwisseling.

Synergie (infra)

Om toe te werken naar een optimale benutting van het spoor is er wel een sterkere samenhang tussen de systeemsprongen. Voor de optimale bufferwinst van Automatische treinbesturing (ATO) is Verkeersmanagement (TMS) een voorwaarde. Ook voor een stabiele dichtere dienstregeling is Verkeersmanagement (TMS) een voorwaarde. En voor voldoende vermogen voor een dichtere dienstregeling is Tractie- en Energie Voorziening (3kV) een voorwaarde.

Verkeersmanagement (TMS) is zowel als zelfstandige systeemsprong belangrijk als voor de ontwikkeling van andere systeemsprongen. Een slim verkeersmanagementsysteem is belangrijk wanneer er intensiever gebruik gemaakt gaat worden van het spoor. Dit vraagt dat er een actuele dienstregeling is en er snel en slim ingespeeld kan worden op verstoringen. Nieuwe ontwikkelingen zoals Automatische treinbesturing (ATO) hebben deze informatie nodig om goed te functioneren. Het ontwikkelen van TMS is ook organisatorisch complex en vraagt dan ook om hier tijdig op in te zetten. Hier is ook een keuze in ontwikkeling. Ofwel het bestaande systeem updaten, een nieuw systeem ontwikkelen of een buitenlands systeem invoeren. Deze keuze is complex en heeft veel impact op het Nederlandse spoornetwerk.

Er zijn ook systeemsprongen waarbij het voordelig kan zijn om juist vroeg in te zetten op het ontwikkelen van een nieuwe technologie. In het geval van ERTMS/ETCS Hybrid Level 3 lijkt er een voordeel te zijn om vroeg op deze technologie in te zetten, zodat het slim gecombineerd kan worden met de lopende werkzaamheden binnen het Programma ERTMS. Dit biedt de mogelijkheid efficiëntiewinst te realiseren in investeringskosten.

Een belangrijk onderscheid voor de mogelijkheden van de systeemsprongen is dat sommige technologieën ook lokaal ingezet kunnen worden. De systeemsprongen die alleen landelijk ingezet kunnen worden in het hele spoornetwerk betreffen Verkeersmanagement (TMS) en 5G-telecommunicatie (FRMCS). Tractie- en Energie Voorziening (3kV) kan in principe ook lokaal ingezet worden, maar dat vraagt wel om hier apart materieel voor in te zetten en wordt daarmee niet als realistisch voor een enkel traject beschouwd.
Voor een specifiek spoor kunnen wel ERTMS/ETCS Hybrid Level 3 en Automatische treinbesturing (ATO) ingezet worden. Dit kan relevant zijn wanneer het gaat om spoortrajecten waar knelpunten zijn, maar infrastructurele maatregelen geen oplossing zijn of mogelijkheden wilt realiseren die in rest van spoornetwerk niet nodig zijn. Denk aan de Randstad, op de internationale corridors of juist de snelle verbinding tussen de landsdelen wilt versterken.

Synergie (materieel))

Ook voor de implementatie van de systemen in het materieel is het van belang om te zoeken naar synergievoordelen. De levensduur van materieel is enige tientallen jaren. In die periode vindt enige keren groot onderhoud of renovatie plaats. ATO, ERTMS Hl3 en FRMCS zijn “inbouwbaar” bij groot onderhoud of renovatie. Wijzigingen in de Tractie (bi-courant of uitsluitend 3kV) kunnen alleen bij nieuwbouw worden gerealiseerd.

C. Wat is het Europees beleid? Hoe zijn de ontwikkelingen in andere landen? Hoe gaan we om met open toegang/ interoperabiliteit/nationale specificaties?

Deze conclusies zijn gebaseerd op hoofdstuk 2, 3 en 4.

Vanuit Europese wet- en regelgeving is er maar één systeemsprong waarvan duidelijk is dat deze voor 2040 gerealiseerd dient te zijn. Dit betreft de implementatie van FRMCS. Deze dient in 2036 gerealiseerd te zijn en de

implementatie kan op zijn vroegst in 2029 starten. Er is dus een beperkte keuzevrijheid vanwege deze wettelijke verplichting door Europese regelgeving. Slechts met het tijdvak van implementatie is enigszins te schuiven.

Om zorg te dragen dat Nederland goed aansluit op andere Europese landen is het wenselijk niet te veel een eigen plan te trekken als het gaat om digitalisering van het spoor. Inzetten op hele nieuwe ontwikkelingen zonder afstemming heeft als risico dat andere landen mogelijk niet volgen en kiezen voor andere systemen. Daarnaast geldt ook dat sterk vasthouden aan nationale specificaties de inkoop van nieuwe technologie duur maakt en er ook tijdsverlies optreedt wanneer 'nieuwe technologie' aangepast dient te worden aan de Nederlandse specificaties. Het is dan ook belangrijk om af te stemmen met buurlanden en vanuit het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat op beleidsniveau actief in te zetten om specificaties meer gelijk te trekken op Europees niveau.

Daar tegenover staat dat als er enkel volgend wordt gehandeld op de technologische ontwikkeling van systeemsprongen in buurlanden, en Nederland dus afwachtend is in de ontwikkeling, dat de potentiële bijdrage van de vijf systeemsprongen aan de doelen en ambities Ontwikkelagenda toekomstbeeld OV 2040 en Modal Shift voor goederen niet voor 2040 gerealiseerd zal worden. Zo is de verwachting is dat Duitsland en Zwitserland pas richting 2040 Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3), Automatische treinbesturing (ATO) en Verkeersmanagement (TMS) hebben geïmplementeerd.

D. Hoe ziet een potentiële migratie naar de toekomst eruit teneinde stapsgewijs te vernieuwen? Wat zijn verschillende scenario's om doelen van het Toekomstbeeld OV 2040/Modal Shift voor goederen te bereiken? In hoeverre moeten systemen worden gestapeld om doelen te bereiken in de Randstad, goederencorridors of juist de verbindingen naar de landsdelen?

Deze conclusies zijn gebaseerd op hoofdstuk 5 en 6.

Er zijn drie migratiepaden opgesteld op basis van een drietal sturingsprincipes: sturen op maximale capaciteitswinst, op maximale kosteneffectiviteit en maximale maakbaarheid. Een keuze in deze sturingsprincipes vormen de basis voor de routekaart voor het spoor. In de routekaart wordt de systeemsprong 5G-telecommunicatie (FRMCS) vanwege EU-verplichtingen randvoorwaardelijk meegenomen en wordt er niet ingezet op Tractie- en Energie Voorziening (3kV), aangezien de capaciteitsbaten pas optreden na 2040.

Gericht op maximale capaciteitswinst

Het sturingsprincipe 'capaciteit' is erop gericht om zo snel als mogelijk de capaciteitsdoelstellingen uit het Ontwikkelagenda Toekomstbeeld OV 2040 en de Modal Shift voor goederen te behalen. Bij een prioritering op de benodigde capaciteitswinst en het zo spoedig mogelijk realiseren van de capaciteitsbaten wordt ingezet op de systeemsprongen Verkeersmanagement (TMS), Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en Automatische treinbesturing (ATO). Snelheid in besluitvorming over deze systeemsprongen is cruciaal om de benodigde capaciteitswinst voor 2040 te realiseren.

Gericht op kosteneffectief capaciteitswinst realiseren
Het sturingsprincipe 'kosteneffectiviteit' is erop gericht om met zo min mogelijk geld zoveel mogelijk capaciteit te creëren. Bij prioritering op kosteneffectiviteit is de keuze voor systeemsprongen die meeste baten per geïnvesteerde euro opleveren. Het gaat om de systeemsprongen Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) en Verkeersmanagement (TMS). Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) wordt kosteneffectief wanneer deze juist vroeg wordt ingezet en meegenomen wordt in het programma ERTMS. Verkeersmanagement (TMS) kent een relatief lage investeringscomponent. Daarnaast kunnen kosten bespaard worden door zo min mogelijk materieel om te bouwen (alleen materieel dat na 2040 nog ingezet wordt) en de tijdsplanning van de systeemsprongen hierop af te stemmen. Zorgvuldigheid in besluitvorming is cruciaal voor een optimale tijdsplanning in de ontwikkeling en samenloop van de systeemsprongen.

Gericht op een maakbare digitale transitie

Het sturingsprincipe 'maakbaarheid' kijkt naar de systeemsprongen vanuit operationeel perspectief en laat keuze vooral bepalen door operationele overwegingen, zoals beschikbare capaciteit, de hoeveelheid buitendienststellingen die systeemsprongen opleveren of van de onttrekking van materieel die de inzet van een systeemsprong vraagt.

Bij een prioritering op maakbaarheid worden de

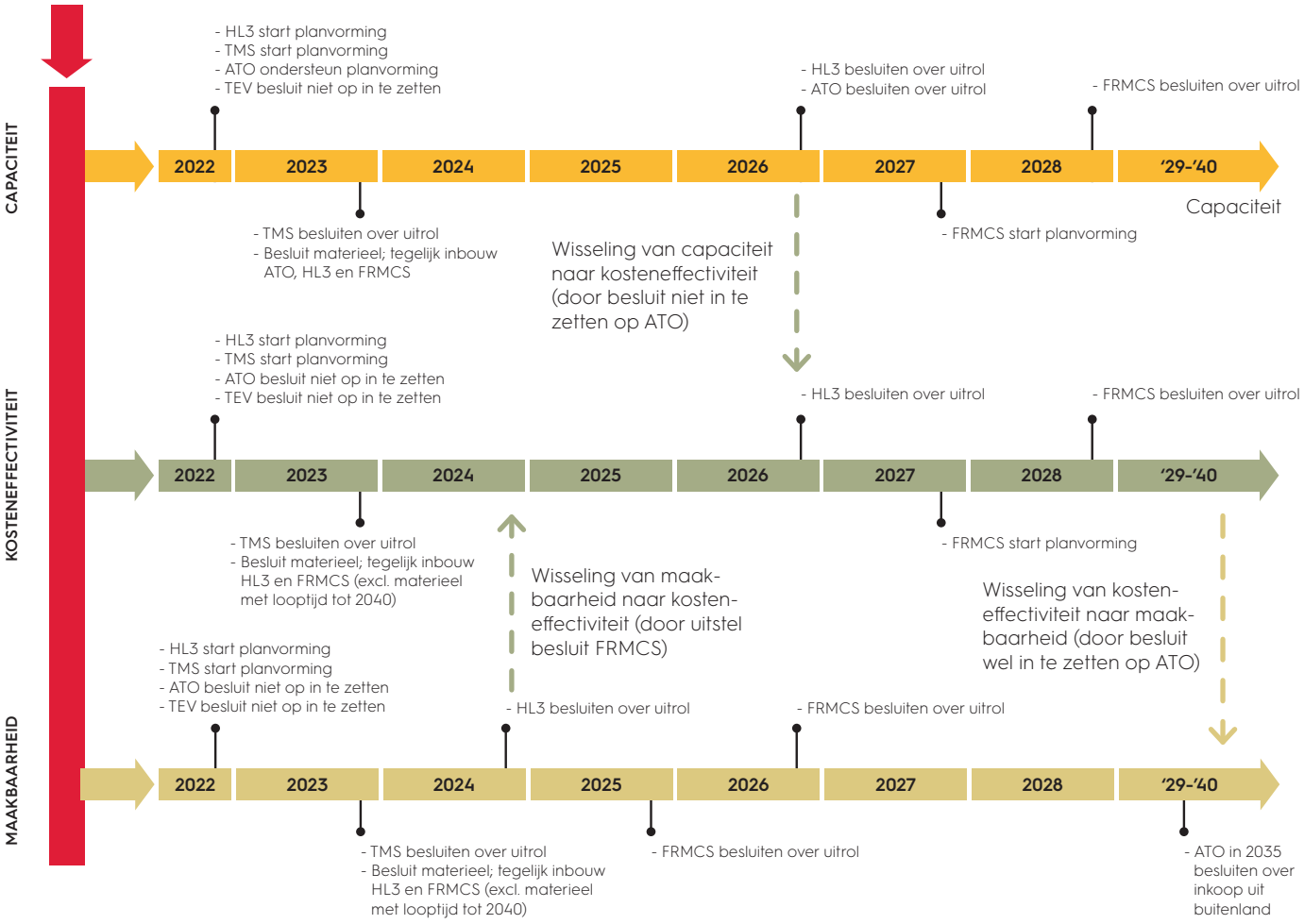
systeemsprongen zo min mogelijk tegelijk en zoveel mogelijk opvolgend ontwikkeld en uitgerold. Alleen de inzet op Verkeersmanagement (TMS) kan parallel plaatsvinden aan de andere systeemsprongen. De volgorde is om Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) tegelijk met Verkeersmanagement (TMS) te ontwikkelen en opvolgend respectievelijk 5G-telecommunicatie (FRMCS) en Automatische treinbesturing (ATO).

Indien er op korte termijn geen keuze wordt gemaakt in de prioritering van de sturingsprincipes en geen besluiten worden genomen over de systeemsprongen is het niet mogelijk om tijdig capaciteit te creëren, de systeemsprongen kosteneffectief in te zetten of uit te gaan van tijdige maakbaarheid. De routekaart is als volgt.

Routekaart om een keuze te maken

Neem een besluit over de prioritering van de sturingsprincipes.

Routekaart sturingsprincipes en beslismomenten systeemkeuzes



Figuur 15. Routekaart sturingsprincipes en beslismomenten systeemkeuzes

E. Wanneer is per systeemkeuze/systeemsprong uiterlijk besluitvorming nodig, waarom dán en met welk minimaal informatieprofiel?

Deze conclusies zijn gebaseerd op hoofdstuk 3, 4 en 6.

Voor de vijf systeemsprongen is op verschillende momenten uiterlijk besluitvorming nodig. Deze besluitvorming is per systeemsprong als volgt o.b.v. het volgende informatieprofiel:

- Keuzes: Welke opties zijn er?
- Tijd: Wanneer een keuze maken?
- Kosten en baten: Wat is de impact op kosten en baten?
- Migratie: Wat zijn natuurlijke momenten voor materieel en infrastructuur?

Systeem-sprong	Besluitvorming per individuele systeemsprong
Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3)	Het inzetten op deze systeemsprong brengt de planvorming in versnelling, waardoor de ontwikkeling, uitrol en gebruik name in aansluiting op het programma ERTMS plaatsvinden. • Keuzes: Besluit wel/niet inzetten op Hybrid Level 3 en op welke wijze materieel aan te passen voor deze systeemsprong. • Tijd: Besluit zo snel mogelijk te starten met planvorming en besluit in 2026 over de uitrol. • Kosten en baten: De investeringskosten zijn hoog voor deze systeemsprong, maar er kan kostenwinst behaald worden door deze vroeg in de tijd te nemen en aan te sluiten op het Programma ERTMS. • Migratie: Besluit hoe ombouw materieel gecombineerd kan worden met andere systeemsprongen (ATO, FRMCS) en hoe lang het mogelijk is te wachten vervanging materieel. Dit heeft consequenties voor wanneer geprofiteerd kan worden van de baten van de systeemsprong, maar ook voor de kosten die vervanging met zich meebrengt.
Verkeersma-nagement (TMS)	Een slim verkeersmanagementsysteem voor het spoor, is in alle gevallen een verstandige investering om meer complexiteit op het spoor aan te kunnen. Een goede modulaire indeling met duidelijke doelen kan ervoor zorgen dat er voor elk sturingsprincipe met TMS baten te realiseren zijn. • Keuzes: Besluit wel/niet in te zetten. • Tijd: Zo snel mogelijk. Start met projectplan voor ontwikkeling dit jaar, zodat uitrol mogelijk is in 2023 of 2024. • Kosten en baten: De investeringskosten van deze systeemsprong zijn naar verwachting beperkt en de baten zijn naar verwachting substantieel. • Migratie: Deze systeemsprong heeft beperkte consequenties voor materieel en infra.
Automatische treinbesturing (ATO)	Ieder jaar dat je langer wacht met implementatie van ATO, zullen de baten ook later optreden. Dit is ongeveer na 5 tot 10 jaar het geval, daarna is het systeem volwassener en mogelijk sneller te implementeren. • Keuzes: Besluit wel/niet te kiezen voor ATO, vervolgens kiezen voor de variant GoA2 (niveau van automatisch rijden), besluiten over moment uitrol en of aanpassing materieel wilt combineren met aanpassingen voor andere systeemsprongen. • Tijd: Zo spoedig mogelijk (2022) een keuze maken of in wilt zetten op ATO of om dit expliciet niet te doen. Als besluit om dit wel te doen dan in 2026 besluiten om wel/niet te starten met uitrol. Indien dit niet doet in 2036 besluiten of ATO vanuit het buitenland wilt inkopen. • Kosten en baten: De kosten voor ATO zijn hoog ten opzichte van de baten voor de capaciteit. • Migratie: Besluit hoe ombouw materieel gecombineerd kan worden met andere systeemsprongen zoals Hybrid Level 3 en FRMCS.
5G-telecommu-nicatie (FRMCS)	Het is wettelijk voorgeschreven vanuit de Europese Unie. Een besluit voor een vroeg of laat moment van ingebruikname heeft gevolgen voor de vervangingsopgaven van het huidige systeem (GSM-r). Het huidige systeem dat einde leven nadert kan tot ongewenste buitendienststellingen leiden. • Keuzes: Besluit wanneer de systeemsprong uitgerold wordt. • Tijd: Uiterlijk in 2027 een besluit nodig over planvorming en uiterlijk in 2028 besluit over uitrol. • Kosten en baten: De baten van FRMCS voor het spoor zijn niet direct hoog, maar ten opzichte van vervangingsopgave huidige systeem GSM-R wel wenselijk in verband met ongewenste buitendienststellingen. • Migratie: In geval dat meerdere systeemsprongen worden geïmplementeerd dan afstemmen met andere systeemsprongen.
Tractie- en energievoorzie-ning (3kV)	Bij het besluiten om niet in te zetten op) dan heeft dit geen gevolgen voor de doelen ten aanzien van capaciteit voor 2040. Mogelijk wel voor doelen na 2040. • Keuzes: Besluit niet in te zetten. • Tijd: Zo snel mogelijk inzetten om besluit te nemen niet in te zetten. • Kosten en baten: De kosten voor TEV (3kV) zijn hoog t.o.v. van de capaciteitsbaten die het voor 2040 het oplevert. • Migratie: Keuze om voor 2040 niet hierop in te zetten.

7.2. Advies en vervolgonderzoek

Deze rapportage biedt inzicht in de verschillende systeemsprongen en hoe deze ingezet kunnen worden voor het spoor. Het adaptief migratiepad helpt om besluiten te nemen voor de toekomst van de digitalisering van het spoor en om migratie strategieën voor de verschillende systeemsprongen vorm te geven. Deze besluiten moeten op politiek-bestuurlijk niveau genomen worden. Op basis van het uitgevoerde onderzoek kunnen er een aantal aanbevelingen gedaan worden.

Aanbevelingen

De eerste stap is het doorgronden van de conclusies van dit onderzoek binnen het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, ProRail en vervolgens met de sector. De tweede stap is handelen door besluiten te nemen per systeemsprong passend bij de routekaart en vervolgens sturing te geven om het doel te bereiken.

Hiervoor zijn de volgende aanbevelingen:

- Zorg dat er op korte termijn een keuze gemaakt wordt op welke wijze ingezet wordt op nieuwe ontwikkelingen digitalisering (niet, wel en zo ja hoe dan (actief of meer behoudend) en communiceer deze keuze met de betrokken partijen.
- Welk richting er ook wordt gekozen, het is zinvol om als het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat gericht beleid te ontwikkelen om nationale specificaties goed in lijn te brengen met andere Europese specificaties voor het spoor. Meer uniformiteit in specificaties maakt het inkopen van nieuwe technologie voor de toekomst goedkoper. Zeker in het geval van digitalisering is dit belangrijk, want dit zal vaker moeten worden vervangen dan infrastructuur.
- Als er meer dan één systeemsprong gerealiseerd wordt op het spoor kies er dan voor om een Masterplan Digitalisering Spoor te ontwikkelen. Dit helpt om in de toekomst gericht investeringsbesluiten te kunnen nemen en om een integraal plan te maken voor de implementatiewerkzaamheden die deze systeemsprongen vragen.
- Onderzoek de mogelijkheden om met Treinbeveiliging (ERTMS/ETCS Hybrid Level 3) aan te sluiten op huidige Programma ERTMS. Hier is mogelijk efficiencywinst te behalen in slim combineren van uitrol werkzaamheden.
- Ontwikkel een roadmap van de gewenste ontwikkelingen in Verkeersmanagement (TMS) en creëer besef van de urgentie hiervan voor een centrale data-gestuurde ontwikkeling die het inzetten van capaciteit mogelijk maakt.
- Richt de implementatie van systeemsprongen zo in, door het jaarlijks actualiseren van de voortgang op de systeemsprongen, dat deze zo goed mogelijk mee kan ontwikkelen met de technologische ontwikkelingen die in hoog tempo doorgaan.
- Tractie- en energievoorziening (3kV) kan mogelijk een relevante bijdrage leveren na 2040. Indien dat het geval blijkt vraagt dat wel om rekening te houden met besluiten voor 2040, zodat de spoorsector zich hierop kan voorbereiden.

Inzichten vanuit de sector

In deze rapportage is hoofdzakelijk gekeken naar de mogelijkheden die de vijf systeemsprongen voor de toekomst van het spoor kunnen hebben. De focus lag daarbij op het vergroten van de capaciteit. Er zijn hierin verschillende stappen en keuzes te maken hoe deze nieuwe technologie te implementeren. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft hier een belangrijke rol in te spelen. De digitalisering van het spoor kan echter niet tot stand komen zonder de inzet van alle betrokken stakeholders bij het spoor. De vervoerders van personen- en goederenvervoer, evenals de infrastructuurbeheerder zijn essentieel om deze transitie tot stand te brengen. Ook het perspectief van de reiziger en de klant die uitkijkt naar zijn goederen spelen daarbij een rol. De belangen en perspectieven van deze stakeholders dienen daarom meegenomen te worden in de keuzes voor de toekomst van het spoor. Een gedeeld beeld en een gemeenschappelijk doel zijn essentieel om de complexe operatie die de digitalisering van het spoor vraagt in goede banen te leiden.

Voor dit onderzoek hebben verschillende verrijkingssessies plaatsgevonden om stakeholders mee te nemen in het onderzoek en perspectieven op te halen bij de betrokken partijen.

De belangrijkste aanbevelingen die betrokken partijen meegaven zijn:

- Voldoende capaciteit en het efficiënt gebruik kunnen maken van het spoor is voor alle partijen belangrijk. Digitalisering moet nooit een doel op zich zijn, maar een middel om dat te bereiken.
- Implementatie van nieuwe technologie op het spoor is complex, zeker wanneer het om digitalisering gaat, en werkzaamheden aan het spoor zijn ingrijpend voor het treinverkeer. Vervoerders geven aan dat in principe alleen het invoeren van 5G-telecommunicatie (FRMCS) al veel vraagt. Het helpt wanneer tijdig duidelijk is hoe de plannen er uit zien zodat ook de betrokken partijen voldoende tijd hebben om hierop te anticiperen en eigen

voorbereidingen te treffen. Het zorgt er ook voor dat er strategischer kan worden ingekocht.
- Een lokale inzet van de systeemsprongen kan een goede strategie zijn om knelpunten op specifieke lijnen en/of stukken spoor aan te pakken. Het is echter wenselijk om deze nieuwe technologie uiteindelijk ook voor het hele spoornetwerk uit te rollen. Dit zorgt ervoor dat er geen lappendeken van verschillende systemen ontstaat. Standaardisering zorgt voor meer efficiëntie in zowel ombouw als operatie.
- Voor alle partijen, maar zeker voor het goederenvervoer is interoperabiliteit heel belangrijk. Het volgen en/of goed met afstemmen buurlanden is belangrijk om zorg te dragen dat internationaal goed kan doorrijden. Goederenvervoerders geven hierbij aan dat het wenselijk is om hierin Duitsland te volgen.
- Vervoerders geven specifiek voor Automatische treinbesturing (ATO) aan dat het hierin ook wenselijk is om verder te kijken dan GoA2 alleen. Juist GoA3 en GoA4 bieden een interessante business case voor vervoerders in verband met de inzet van personeel.
- Goederenvervoerders geven aan bij Tractie- en energievoorziening een voorkeur te hebben voor 25kV i.p.v. 3kV.
- Als er gekozen wordt vanuit het Rijk om in te zetten op digitalisering geven vervoerders aan dat het wenselijk is om duidelijke afspraken te maken over de kosten die dit voor hen met zich meebrengt.

Vervolgonderzoek toekomst digitalisering spoor

De uitkomsten van dit onderzoek naar de vijf systeemsprongen is in lijn met de opdrachtverstrekking is ons onderzoek gebaseerd op de meest recente inzichten zoals beschikbaar bij ProRail, NS en andere relevante partijen. Het onderzoek maakt echter ook duidelijk dat er nog veel onzekerheden zijn ten aanzien van deze nieuwe technologieën. De baten én kosten die deze systeemsprongen vragen zijn nog niet in alle gevallen volledig duidelijk. Dit geldt zeker wanneer het gaat om het combineren van verschillende technologieën.

Vervolgonderzoek naar de digitalisering van het spoor is nodig. De basis voor een onderzoek agenda is als volgt.
- Voor het grootste deel van de vijf systeemsprongen kan indicatief aangegeven worden wat deze kan opleveren. Op basis van huidig onderzoek valt op dit moment ook niet te zeggen wat de effecten van de systeemsprongen zijn wanneer deze gezamenlijk worden ingezet en of de voordelen dan ook cumulatief zijn.
- Er is in vergelijking met de andere systeemsprongen zeer beperkt informatie beschikbaar over Verkeersmanagement (TMS). Aangezien dit een belangrijke systeemsprong is, is het aan te bevelen hier een visie op te ontwikkelen.
- Doe meer onderzoek naar de cumulatieve effecten van systeemsprongen. Kies een aantal relevante knooppunten en simuleer de huidige dienstregeling met diverse combinaties van systeemsprongen. Met de casussen kan op kleinere schaal de synergie van systeemsprongen worden getoetst. Let daarbij ook op verstoringen en hoe snel je die weer kunt oplossen. Onderzoek of beter de cumulatieve effecten van verschillende systeemsprongen in beeld kan brengen.
- De inzet op systeemsprongen vraagt veel van infrastructuur en vervanging materieel. Doe nader onderzoek naar de slimme combinaties die er mogelijk zijn om strategisch inkoop nieuw materieel mogelijk te maken. Onderzoek daarnaast ook wat digitalisering van materieel vraagt op de langere termijn.
- Onderzoek samen met de sector hoe tot een gezamenlijk en werkbare toekomst voor het spoor komt.

Box 7. Leren van andere sectoren: Ontwikkel een gedeelde en transparante innovatiestrategie/visie

Een ver ontwikkelde innovatiestrategie en visievorming kan helpen om afhankelijkheden tussen systeemsprongen en afhankelijkheden van externe factoren in kaart te brengen. Daarnaast kan een transparante strategie, vastgelegd in openbare beleidsdocumenten, (markt)partijen helpen om hun marktactiviteiten af te stemmen op de strategie.

Een voorbeeld van een ver ontwikkelde innovatiestrategie zagen we in de snelwegcasus, met vijf benoemde kerntransities en een plateauplanning. Degenen die verantwoordelijk zijn voor deze vijf transitietrajecten komen eenmaal per maand samen en bespreken onder meer de afstemming en onderlinge afhankelijkheden. Op een systematische wijze werden relevante aspecten in kaart gebracht zoals onderlinge kritische afhankelijkheden/paden, externe afhankelijkheden (bijvoorbeeld van autofabrikanten), de positionering van transities in termen van de s-curve en de (veranderende) samenstelling van het ecosysteem. Het (blijven) ontwikkelen van een dergelijke transitiestrategie kan ook in de spoorsector zorgen voor verbeteringen in het implementeren van systeemsprongen.



Bijlagen

Bijlage 1: Analysekader
Bijlage 2: Systeemkeuzes in drie scenario's
Bijlage 3: Beslisboom migratiepad

Rapportages

Technisch rapport: Onderzoek Systeemkeuzes spoor
Rapport: Leren van andere sectoren

TwynstraGudde adviseert overheid en bedrijfsleven op veel van de grote en urgente thema's van deze tijd. Denk aan veiligheid, diversiteit, digitalisering, mobiliteit, duurzaamheid, energie, financiën en gezondheid. We bieden onze opdrachtgevers unieke, werkbare oplossingen en brengen complexe projecten en programma's tot een goed einde. Iets creëren van blijvende waarde, daar gaan we voor. Daardoor hebben we een directe impact op (toekomstige) maatschappelijke en economische ontwikkelingen. En dus een grote impact op morgen.

TwynstraGudde

Impact op morgen.