

TNO innovation
for life

ProRail



ROADMAP 5G VOOR HET SPOOR

CHARLOTTE SMIT, PIETER NOOREN, ADRIAN PAIS (TNO)

DECEMBER 2020

› MANAGEMENT SAMENVATTING (1/3)

INLEIDING

- › ProRail heeft TNO gevraagd om een verkenning te maken van 5G voor het spoor. Deze verkenning is onderdeel van ProRail's Strategische Technologie Verkenningen (STV's) naar sleuteltechnologieën die van belang zijn voor het beantwoorden van de grote uitdagingen voor het spoor in de komende decennia.
- › De centrale vraag is wat 5G kan betekenen op cruciale gebieden zoals verhogen van de capaciteit en betrouwbaarheid, kostenverlaging en verduurzaming. De vervolgvraag is hoe 5G daarvoor kan worden ingezet door ProRail en andere spoorpartijen.
- › Een bekende spoortoepassing voor 5G is de vervanging van GSM-R door de 5G-opvolger FRMCS, maar 5G voor spoor gaat veel breder dan dat. In de STV-aanpak is daarom een brede reeks toepassingsgebieden voor het spoor onderzocht.
- › Stakeholders van binnen en buiten het spoor zijn betrokken via een 'Meeting of Minds'. Daarna zijn strategische roadmaps en aanbevelingen voor de periode 2020 tot 2030 geformuleerd. In de roadmaps staat welke stappen ondernomen kunnen worden om te profiteren van 5G.
- › Dit document richt zich op de **strategische roadmaps** en de **belangrijkste conclusies en aanbevelingen**.

› MANAGEMENT SAMENVATTING (2/3)

DE MEEST RELEVANT 5G TOEPASSINGEN VAN VOOR HET SPOOR

- › Drie toepassingsgebieden komen als meest relevant naar voren uit de desk research en validatie tijdens de Meeting of Minds:
 - › **Digital rail operations** die vragen om hoge betrouwbaarheid van de communicatie. Denk aan Automatic Train Operations (ATO), operational voice communicatie, en European Rail Traffic Management System (ERTMS).
 - › **Stations use cases** vragen om hoge bandbreedte en sensoren, bijvoorbeeld Gigabit internet voor reizigers, beveiligingscamera's en bodycams van personeel, en asset management van objecten.
 - › **Asset management baan** om te profiteren van verbeterde asset performance, hogere betrouwbaarheid en minder ongeplande onbeschikbaarheid. Denk aan intelligente sensoren langs de baan om data te verzamelen voor predictive maintenance en augmented reality/videocommunicatie om ter plekke te adviseren over herstel- en onderhoudswerk.

ROADMAPS

- › Voor ieder van deze toepassingsgebieden is een roadmap opgezet. De roadmaps geven de belangrijkste stappen weer die voor de komende jaren nodig zijn op het gebied van use case ontwikkeling, samenwerking en techniek. Op weg naar de realisatie van 5G voor het spoor volgen alle roadmaps een proces in drie stappen: **Verkenning, trials en uitrol van technologie**.
- › In de roadmaps komen nadrukkelijk verschillende samenwerkingen met stakeholders binnen en buiten het spoor naar voren.
- › Meerdere 5G inzetmodellen zijn mogelijk, waaronder een eigen lokaal of spoordekkend netwerk, inkoop van een 5G netwerk slice en inkoop van een standaard dienst. Voor het uitwerken van de optimale mix van 5G inzetmodellen is het nodig om de toepassingsgebieden verder uit te diepen, zoals aanbevolen in de roadmaps.

› MANAGEMENT SAMENVATTING (3/3)

CONCLUSIES

- › **5G is van belang voor ProRail en de Spoorsector en vereist nu actie**
 - › Nederlandse en Europese spoorpartijen geven al kleur aan de 5G uitrol, de mobiele operators leggen hun 5G netwerken aan
 - › Met de vele partijen dreigt er divergentie en versnippering van aanpak
- › **5G heeft brede impact op trein, baan en station met veel toepassingsgebieden**
 - › Voor een toekomstvast spoor is 5G cruciaal; bij Digital rail operations, Gigabit internet, en Asset Management
- › **ProRail en de Spoorsector sturen mee in de optimale mix van 5G inzetopties**
 - › Verschillende opties voor inzet van 5G zijn relevant voor verschillende toepassingsgebieden en locaties
 - › De technische en commerciële haalbaarheid volgt uit overleg en onderhandeling tussen spoorpartijen, mobiele operators en solution providers
- › **Samenwerking is cruciaal in 5G voor het spoor**
 - › Alleen samen met andere stakeholders kan kostefficiënte innovatie, ontwikkeling, en uitrol van 5G plaatsvinden

AANBEVELINGEN

- › **Zet een ProRail 5G programma op**

Noodzakelijk voor het sturen en coördineren van de 5G-ontwikkeling ProRail-breed.
- › **Zet daarnaast in op een Nationale 5G voor Spoor Alliantie**

Door de Alliantie zal de spoorsector optimaal profiteren van 5G en worden divergentie en duplicatie voorkomen

› PROJECTGEGEVENS

STRATEGISCHE TECHNOLOGIEVERKENNING 5G

Titel	Strategische technologieverkenning 5G – Roadmap 5G voor het spoor
Auteurs	Pieter Nooren, Adrian Pais en Charlotte Smit
Reviewers	Toon Norp, Rik Poulus en Berry Vetjens
Rapportnummer	TNO 2020 R12157
Projectnummer	060.40274
Versie	v04
Datum	18-12-2020
Opdrachtgever	ProRail
Contactpersonen bij opdrachtgever	Thijs Cloosterman, Luuk van Woudenberg

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

› INLEIDING STRATEGISCHE TECHNOLOGIEVERKENNING 5G

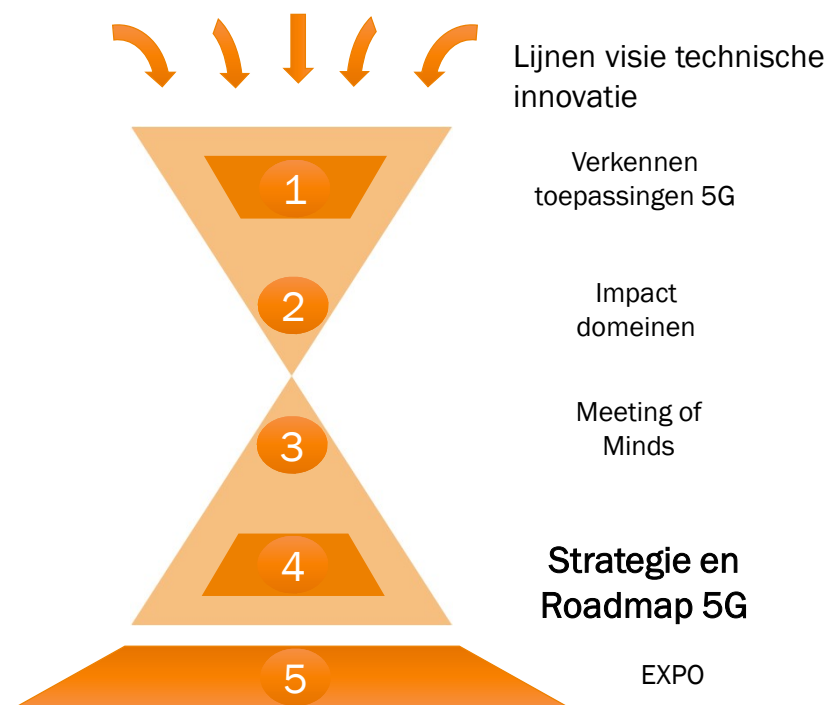
STRATEGISCHE TECHNOLOGIEVERKENNINGEN

- › Om grote uitdagingen op het spoor van de komende decennia aan te kunnen, zoals groei in mobiliteitsvraag, klimaatambities, vervangingsopgave, en hogere betrouwbaarheid tegen lagere kosten, kan het spoor profiteren van technologische ontwikkelingen. Hiervoor zijn Strategische Technologie Verkenningen (STV's) opgezet: verkenningen van nieuwe sleuteltechnologieën (techniek welke meerdere strategische doelstellingen raakt) die grote impact gaan hebben op het spoor.

5G VOOR HET SPOOR

- › Het huidige GSM-R is aan het eind van de technologische levensduur. Doelstelling van de Europese spoorweginindustrie is om GSM-R uiterlijk 2030 te hebben vervangen door 5G technologie.
- › 5G voor het Spoor gaat veel breder dan vervanging van GSM-R. Binnen de STV 5G wordt inzicht verkregen in wat de nieuwe 5G technologische ontwikkeling inhoudt, wat de beloften en uitdagingen zijn, wat de technologie kan betekenen in kader van de grote uitdagingen die het spoor heeft en welke stappen ondernomen dienen te worden om de vruchten te kunnen plukken voor de verder ontwikkeling van het spoor.

› AANPAK STRATEGISCHE TECHNOLOGIEVERKENNING 5G (1/3)



Dit document richt zich op de **strategie en roadmap 5G**.

Daaraan liggen verschillende eerdere stappen ten grondslag:

- › Een verkenning van toepassingen (met focus op de spoorsector) en een specificering van impactdomeinen;
- › De vraag 'Wat is 5G' (uitgewerkt in een 4-pager);
- › Een stakeholderanalyse;
- › Een *Meeting of Minds*, waaraan 14 externe bedrijven hebben deelgenomen, om gezamenlijk naar dit vraagstuk te kijken

(Stappen beschreven op de twee volgende slides)

Onderliggende documenten

- › De verkenning van toepassingen, 4-pager over '5G in de spoorsector' en de stakeholderanalyse zijn als aparte deliverables opgeleverd.
- › De slides en betrokken bedrijven uit de *Meeting of Minds* zijn in appendix A (de slides) en B (de bedrijven) toegevoegd

› AANPAK STRATEGISCHE TECHNOLOGIEVERKENNING 5G (2/3)

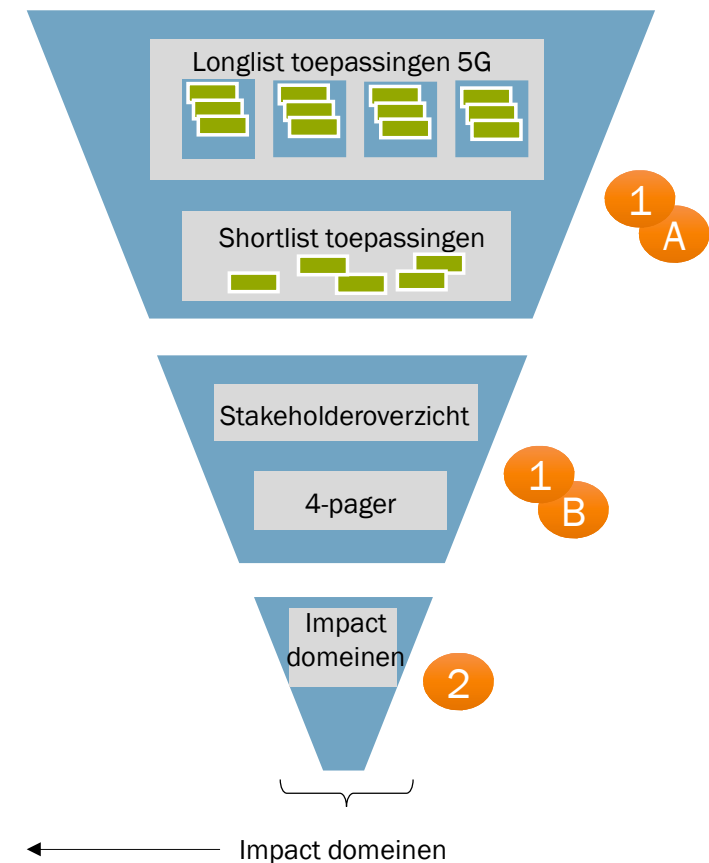
Om tot resultaten en een roadmap 5G te komen is de volgende aanpak gevolgd:

- 1A. Er is een brede verkenning gedaan van toepassingen van 5G binnen de spoorsector. Via een longlist aan toepassingen is een shortlist met meest impactvolle toepassingen opgesteld.
- 1B. In de verkenning is ook is ingezoomd op de vraag 'Wat is 5G' en 'wie is hierbij betrokken?'. Deze vragen zijn uitgewerkt in een 4-pager en stakeholderoverzicht.
2. De belangrijkste toepassingen zijn gecategoriseerd in een matrix naar spoordomein en technische eisen aan de 5G communicatie.

		Domein		
		Baan	Trein	Station
Eisen aan communicatie	Hoge betrouwbaarheid en zeer korte vertraging →URLCC – Ultra Reliable Low Latency Communication	Robotica met aansturing op afstand	Digital Rail operations: FRMCS, ATO, ERTMS	Robotica voor diensten en beheer
	Hoge bandbreedte →eMBB – Enhanced Mobile Broadband	Camera's langs baan, AR/VR bij onderhoud en calamiteiten	Gigabit train: Internet voor reizigers, camera's vervoerders	Gigabit station: Internet voor reizigers, camera's en videoschermen
	Efficiënt data verzamelen uit veel verschillende sensoren →mMTC – massive Machine Type Communication	Asset management, predictive maintenance	Reizigerstrein als meetrein	Asset management objecten

Figuur 1: Impact domeinen: belangrijkste toepassingen gecategoriseerd naar 'eisen aan de 5G communicatie' en 'Domein'

Verkennen toepassingen 5G & Impactdomeinen



› AANPAK STRATEGISCHE TECHNOLOGIEVERKENNING 5G (3/3)

In de matrix van impactdomeinen zijn de vier meest impactrijke gebieden aangewezen: Digital Rail operations (FRMCS, ATO, ERTMS), Gigabit station (Internet voor reizigers, camera's en videoschermen), Asset management / predictive maintenance en Reizigerstrein als meettrein.

	Baan	Domein	Station
Eisen aan communicatie	Hoge betrouwbaarheid en zeer korte vertraging - 5G NR-LTE - Ultra-Reliable Low Latency Communication	Robotica met aansturing op afstand Digital Rail operations: FRMCS, ATO, ERTMS	Robotica voor diensten en beheer
	Hoge bandbreedte - mMIMO - Enhanced Mobile Broadband	Camera's langs baan; AVVR bij onderhoud en veiligheid	Gigabit train: Internet voor reizigers, camera's en videoschermen
	Efficient data verzamelen uit veel verschillende sensoren - mMTC - massive Machine Type Communication	Asset management, predictive maintenance	Reizigerstrein als meettrein



	Baan	Domein	Station
Eisen aan communicatie	Hoge betrouwbaarheid en zeer korte vertraging - 5G NR-LTE - Ultra-Reliable Low Latency Communication	Robotica met aansturing op afstand Digital Rail operations: FRMCS, ATO, ERTMS	Robotica voor diensten en beheer
	Hoge bandbreedte - mMIMO - Enhanced Mobile Broadband	Camera's langs baan; AVVR bij onderhoud en veiligheid	Gigabit train: Internet voor reizigers, camera's en videoschermen
	Efficient data verzamelen uit veel verschillende sensoren - mMTC - massive Machine Type Communication	Asset management, predictive maintenance	Reizigerstrein als meettrein

3. Er is een Meeting of Minds (MoM) georganiseerd. Hierbij werden stakeholders vanuit verschillende hoeken betrokken met het doel:

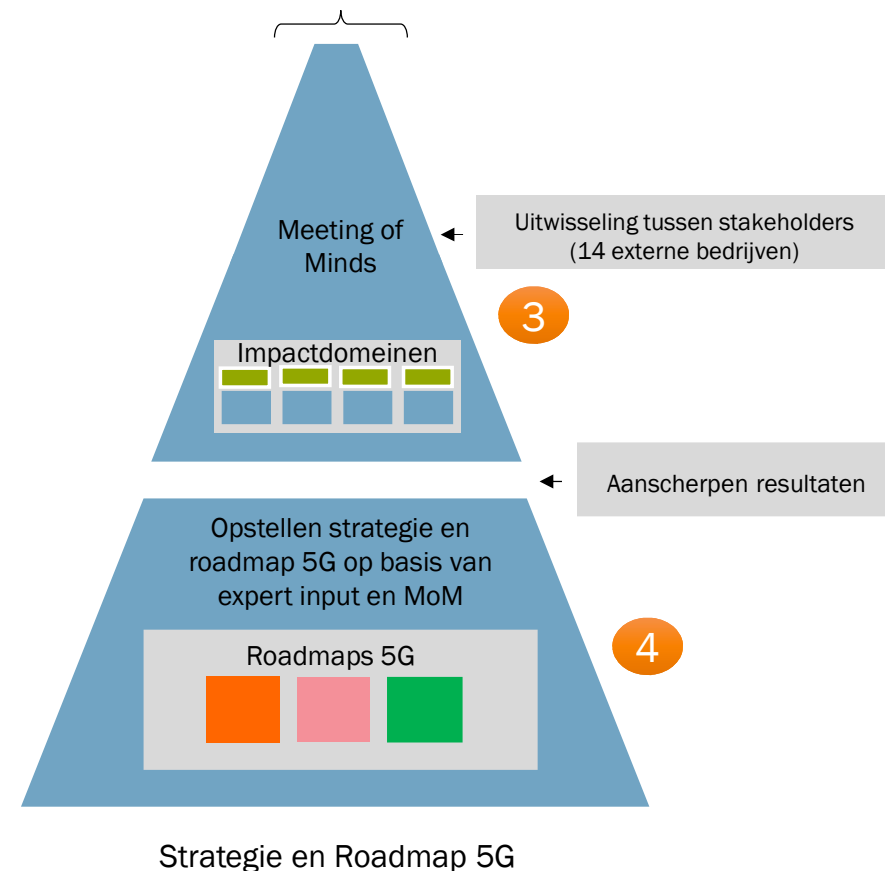
- › Stakeholders te betrekken en mee te nemen in het gedachtengoed;
- › Bevindingen te toetsen en te valideren;
- › En informatie en gedachten van anderen op te halen.

Aan de hand van de MoM zijn de resultaten aangescherpt. Desk research en validatie uit de Meeting of Minds laten daarmee de drie meest relevante groepen 5G use cases voor het spoor zien: Digital rail operations, Station en Asset management baan.

4. Voor de drie meest relevante 5G toepassingsgebieden zijn de 5G roadmaps opgesteld. Ook is een overkoepelend beeld gevormd op basis waarvan deze verkenning strategisch kan verder worden voortgezet.

Impact domeinen: belangrijkste toepassingen gecategoriseerd naar 'eisen aan de 5G communicatie' en 'Domein'

	Baan	Domein	Station
Eisen aan communicatie	Hoge betrouwbaarheid en zeer korte vertraging - 5G NR-LTE - Ultra-Reliable Low Latency Communication	Robotica met aansturing op afstand Digital Rail operations: FRMCS, ATO, ERTMS	Robotica voor diensten en beheer
	Hoge bandbreedte - mMIMO - Enhanced Mobile Broadband	Camera's langs baan; AVVR bij onderhoud en veiligheid	Gigabit train: Internet voor reizigers, camera's en videoschermen
	Efficient data verzamelen uit veel verschillende sensoren - mMTC - massive Machine Type Communication	Asset management, predictive maintenance	Reizigerstrein als meettrein



› DESK RESEARCH EN DE MEETING-OF-MINDS LEVEREN DE TOP-3 VAN MEEST RELEVANTE 5G TOEPASSINGSGEBIEDEN

- › Desk research en validatie tijdens de Meeting of Minds laten zien dat drie groepen 5G toepassingsgebieden voor het spoor het meest relevant zijn, vanwege urgentie of impact:

Toepassingsgebied	Kleuraanduiding
Digital Rail Operations	Oranje
Stations	Roze
Asset management baan	Groen

- › Binnen deze toepassingsgebieden vallen verschillende use cases. Het onderscheid tussen de groepen is gebaseerd op twee assen die ook op lange termijn stabiel zijn: de onderverdeling in de spoordomeinen trein, baan en station en de technische hoofdlijnen van 5G technologie. Hierdoor kunnen door te tijd ook aanvullende use cases worden toegevoegd.
- › Voor ieder van deze toepassingsgebieden is een gedetailleerde 5G roadmap ontwikkeld. Deze roadmaps zijn bedoeld als startpunt voor verdere discussie en ontwikkeling binnen ProRail en de spoorsector. De uiteindelijke roadmaps zullen door de betrokken afdelingen binnen ProRail en andere spoorpartijen worden gemaakt en beheerd.
- › Merk op dat naast 5G verbindingen ook vaste verbindingen zoals glasvezel in veel toepassingsgebieden een nuttige rol kunnen spelen bij niet-mobiele/statische aansluitingen. 5G en glas zijn geen tegengestelden: voor hoge capaciteit 5G is een glasvezel backbone netwerk nodig. Omgekeerd kan een 5G verbinding de capaciteit van een glasaansluiting lokaal flexibeler beschikbaar maken.

› SPOOR USE CASES PROFITEREN OP VERSCHILLENDE MANIEREN VAN 5G

		Domein		
		Baan	Trein	Station
Eisen aan communicatie	Hoge betrouwbaarheid en zeer korte vertraging →URLLC – Ultra Reliable Low Latency Communication	Robotica met aansturing op afstand	Digital Rail operations: ATO, ERTMS over FRMCS →slide 13	Robotica voor diensten en beheer
	Hoge bandbreedte →eMBB – Enhanced Mobile Broadband	Camera's langs baan, AR/VR bij onderhoud en calamiteiten →slide 23	Gigabit train: Internet voor reizigers, camera's vervoerders	Gigabit station: Internet voor reizigers, camera's, videoschermen →slide 19
	Efficiënt data verzamelen uit veel verschillende sensoren →mMTC – massive Machine Type Communication	Asset management, predictive maintenance	Reizigerstrein als meettrein	Asset management objecten

› OPBOUW IN DE ROADMAPS

VERKENNING – TRIALS – UITROL

- › De roadmaps voor Digital Rail Operations, Stations en Asset management baan volgen alle drie de onderstaande opbouw: verkenning – trials - uitrol
- › Deze drie stappen kunnen in de tijd meerdere keren worden doorlopen. Deze iteraties zijn niet weergegeven de roadmaps



- › Verkennen en selecteren use cases en technische eisen
- › Verkennen partners en vormen van coalities
- › Onderzoeken technische mogelijkheden en inzet opties
- › Verkennen business model, regelgeving, data delen

- › Bepalen van trial locaties en proeftuinen, use cases voor trial
- › Definieer trials: doelen, scope, partners, architectuur
- › Uitvoeren trials en destilleren opgedane ervaring en kennis
- › Bundelen kennis en ervaring van verschillend trials

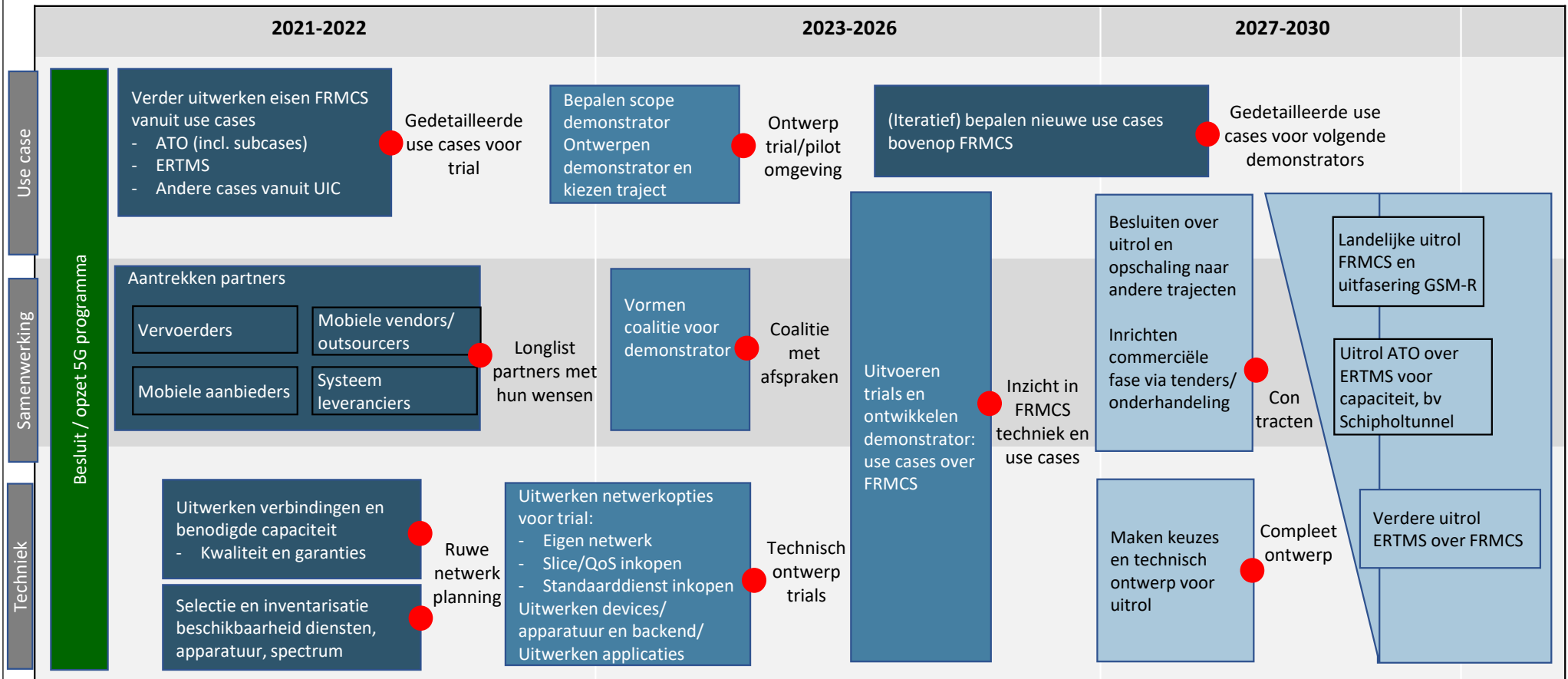
- › Besluiten over en tussen 5G inzetopties op basis van trials
- › Uitvoeren tenders en aanbestedingen, commerciële onderhandelingen
- › Opstellen gedetailleerde uitrolplannen
- › Uitrol van netwerken en diensten

› 5G ROADMAP DIGITAL RAIL OPERATIONS

- › Bij Digital Rail Operations spelen use cases die vragen om hoge betrouwbaarheid van de communicatie, zoals:
 - › Automatic Train Operation (ATO), met daarin verschillende subcases zoals ATO voor het op afstand besturen van treinen op rangeerterreinen en ATO voor het efficiënter benutten en daarmee verhogen van de capaciteit van trajecten, zoals de Schiphol tunnel
 - › Operational voice communicatie tussen machinisten en de wal
 - › ERTMS, de nieuwe generatie beveiliging die ATB opvolgt. Daarnaast ook voor remote aansturen van interlocking.
- › De onderliggende GSM-R infrastructuur voor deze use cases gaat in de periode tot 2030 migreren naar FRMCS, de 5G-gebaseerde opvolger. Deze migratie is overduidelijk de grootste beweging binnen Digital Rail Operations en staat op de agenda van de Europese spoorsector. Omdat de use cases en de FRMCS infrastructuur nauw met elkaar samenhangen worden ze in de roadmap gezamenlijk gepresenteerd.
- › Een uitzondering hierop is ATO op rangeerterreinen. De systemen op rangeerterreinen verschillen van die op de rest van het spoor. Het gebruik van 5G voor ATO op rangeerterreinen kan in eerste instantie parallel worden opgebouwd.

	Domein
	Trein
Hoge betrouwbaarheid en zeer korte vertraging	Digital Rail operations: ATO, ERTMS over FRMCS

5G ROADMAP DIGITAL RAIL OPERATIONS – FRMCS



Legenda: Fases: Verkenning Trials Uitrol

Deliverable: ●

› 5G ROADMAP DIGITAL RAIL OPERATIONS – FRMCS

KARAKTERISTIEKEN FRMCS (1/2)

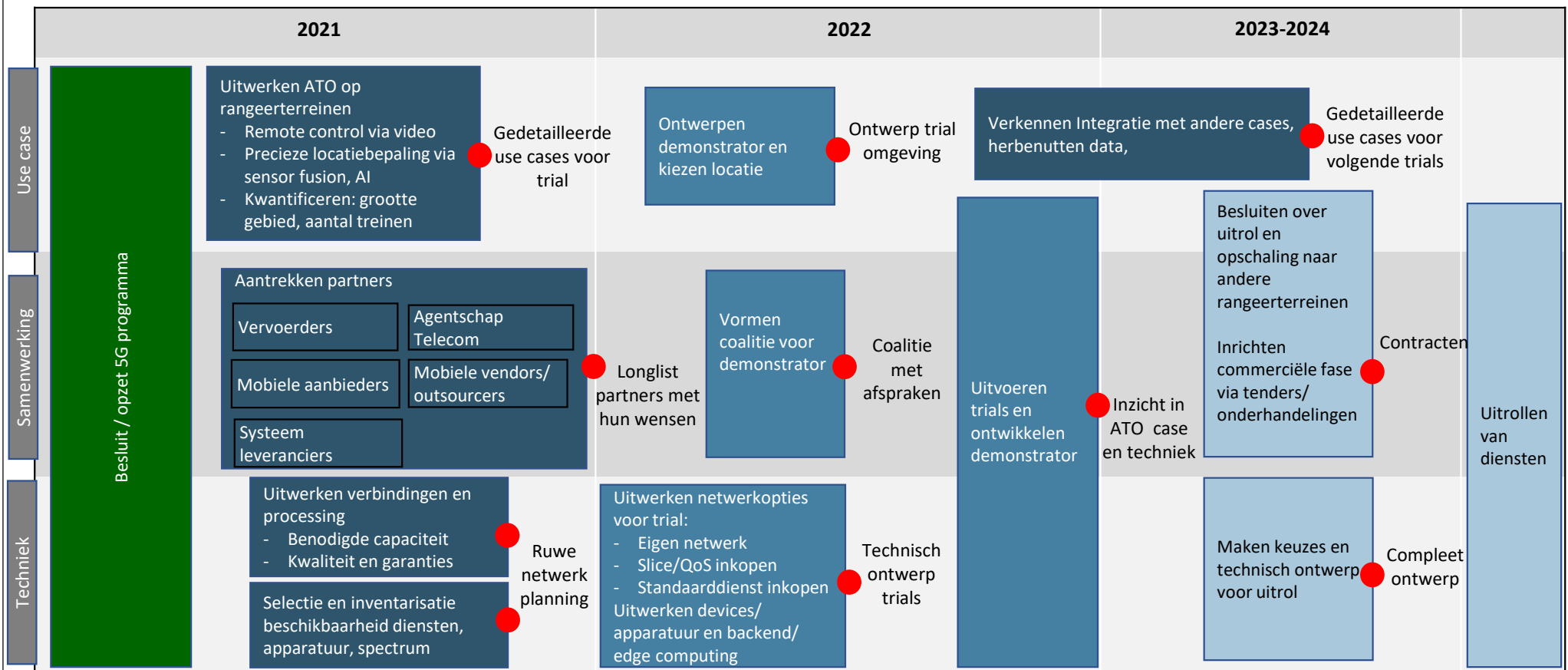
- › De use cases voor FRMCS zijn grondig geïnterpreteerd en beschreven door de UIC. De use cases hebben gemeen dat ze hoge eisen stellen aan de betrouwbaarheid van het onderliggende communicatienetwerk. Op andere gebieden, zoals de benodigde bandbreedte, variëren de eisen sterk. Het is cruciaal om de eisen van de use cases zoals ProRail en de vervoerders die in Nederland verwachten precies in beeld te brengen, omdat ze bepalend zijn voor de keuze tussen FRMCS/5G inzetopties.
- › Voor ERTMS is de benodigde bandbreedte bescheiden. Het gaat typisch om berichten van 100-300 bytes tussen trein en wal, die combineren tot een gemiddelde bandbreedte van rond de 1 kbit/s. Een gegarandeerde bandbreedte van 4 kbit/s is afdoende voor ERTMS. De eisen aan de maximale vertraging zijn beperkt, een seconde is aanvaardbaar.
- › Voor ATO hangt de benodigde bandbreedte af van de Grade of Automation (GoA) en speciaal van de vraag of de use case om het gebruik van real-time video voor besturing op afstand vraagt. Zonder video is de benodigde bandbreedte beperkt, met video wordt deze orde 100-1000 keer hoger tot bijvoorbeeld 5 Mbit/s. Dit punt vraagt om een grondige gezamenlijke analyse van ProRail en de vervoerders.
- › Naar verwachting is het in 2025 mogelijk om een FRMCS demonstrator te realiseren op een Nederlands baanvak, bijvoorbeeld de Hanselijn. ATO en ERTMS zijn relevante use cases om in deze demonstrator op te nemen
- › Merk op dat ATO en ERTMS in deze opzet beiden van FRMCS gebruik maken, maar technisch in essentie gescheiden zijn. Beide use cases gebruiken FRMCS voor communicatie tussen hun eigen treinsystemen en backend systemen. Op use case niveau zijn ze wel gerelateerd: ATO beweegt zich binnen de ruimte toestaan door het ERTMS beveiligingssysteem.
- › ERTMS maakt op dit moment op bepaalde trajecten gebruik maken van GSM-R, ATO (zonder video) zou dat ook kunnen. Deze kunnen de referentiecasi voor de FRMCS demonstrator vormen.
- › ProRail kan samen met de betrokken partijen bepalen of de trial meteen wordt opgezet als pilot of zelfs eerste deployment.

› 5G ROADMAP DIGITAL RAIL OPERATIONS – FRMCS

KARAKTERISTIEKEN FRMCS (2/2)

- › Voor een spoordekkend FRMCS netwerk bestaan op hoofdlijnen drie inzetopties.
 - › Eigen spoordekkend netwerk (Private Network). Hierbij beheert ProRail een 5G-netwerk op basis eigen opstelpunten langs het spoor, zoals het huidige GSM-R netwerk. Naast het spectrum dat nu beschikbaar is voor GSM-R in de 900 MHz band (2 x 4 MHz) kan ProRail daarbij waarschijnlijk gebruik maken van nieuw spectrum in de 1900 MHz band (10 MHz). In deze optie heeft ProRail volledige controle over het FRMCS netwerk. Nadelen zijn de kosten die gepaard gaan met het (laten) beheren van het netwerk. Daarnaast is het met de beperkte hoeveelheid spectrum waarschijnlijk niet mogelijk om videodiensten te ondersteunen. Verder bestaat het risico op een relatief beperkt en kostbaar aanbod devices omdat de spoor specifieke frequentiebanden wellicht niet ondersteund worden in de 5G chipsets gebruikt in de massamarkt.
 - › Netwerkslice of QoS van mobiele operators (Hybrid Network – eigen slice op Public Network). ProRail neemt deze dienst (al dan niet samen met andere spoorpartijen) af van een mobiele operator. Daarbij is het aan ProRail om de precieze eisen op het gebied van betrouwbaarheid en bandbreedte te bepalen en dan te bespreken en te onderhandelen met de mobiele operator. De dekking van deze dienst is een aandachtspunt omdat de dekking van mobiele operators zich in eerste instantie richt op de plaatsen waar veel gebruikers zijn. Ondanks de hogere overheids eisen aan de dekking van mobiele netwerken is het goed mogelijk dat delen van het spoor buiten de dekking vallen. Voor het verder verhogen van de betrouwbaarheid is een suboptie om de netwerkslice of QoS dienst bij twee of meer operators af te nemen.
 - › Standaard mobiele diensten van mobiele operators (Public Network). Dit is in eerste instantie geen voorkeursoptie. Het sowieso nodig om de standaarddienst bij twee of meer operators in te kopen om de kwetsbaarheid voor het wegvallen van één netwerk op te vangen. Ook dan moet nog kritisch worden geanalyseerd of de betrouwbaarheid voldoende gegarandeerd kan worden, in verschillende scenario's voor de netwerkbelasting. Ook het punt van de dekking speelt hier.
- › Bij alle drie de opties spelen de opstelpunten van waaruit FRMCS dekking kan worden geleverd een belangrijke rol. Hierbij kunnen ook combinaties gemaakt worden van opstelpunten van ProRail en de mobiele operators.
- › Trials en uitrol van FRMCS in Europa via combinaties van deze opties worden uitgebreid bekeken door EIM en CER in hun Strategic Deployment Agenda, ProRail is hierbij betrokken. Daarnaast is in 2020 het Europese project 5GRail van start gegaan dat zich specifiek richt op lab en field trials van FRMCS

5G ROADMAP DIGITAL RAIL OPERATIONS – ATO RANGEERTERREIN



Legenda: Fases:   

Deliverable: ●

› 5G ROADMAP DIGITAL RAIL OPERATIONS – ATO RANGEERTERREIN

KARAKTERISTIEKEN

- › Bij ATO op rangeerterreinen speelt naast de connectiviteit voor het overbrengen van video en sensorinformatie ook de noodzaak om de informatie uit de verschillende bronnen in de trein en langs de baan te combineren, bijvoorbeeld voor nauwkeurige plaatsbepaling. Bij de inzet van geavanceerde (AI) algoritmen kan dit een flinke lokale processing capaciteit vragen. Via 5G edge computing kan in zulke lokale processing worden voorzien. de mobiele operator kan dan de software die de spoorpartijen (laten) ontwikkelen op de edge draaien.
- › Voor een 5G netwerk rangeerterreinen bestaan op hoofdlijnen drie inzetopties:
 - › Eigen lokaal netwerk. Hierbij beheert ProRail een lokaal 5G-netwerk op basis eigen opstelpunten op het rangeerterrein. In de 3.5 GHz band zijn via Agentschap Telecom licenties voor lokaal gebruik beschikbaar. Deze zijn geschikt voor leveren van hoge bandbreedtes voor real-time video met gebruik van standaard devices en chipsets. Het 5G-netwerk bevat daarnaast lokale processing voor de verwerking van de video en informatie van sensoren en de applicaties voor de besturing van de treinen.
 - › Netwerkslice of QoS van mobiele operators. ProRail neemt deze dienst (al dan niet samen met andere spoorpartijen) af van een mobiele operator. Daarbij is het aan ProRail om de precieze eisen op het gebied van betrouwbaarheid en bandbreedte te bepalen en te onderhandelen met de mobiele operator. Dekking op het rangeerterrein is aandachtspunt, en vraagt wellicht het gebruik van de ProRail opstelpunten door de mobiele operator. Een lokale slice en lokale dekkingsgaranties zijn voor mobiele operators relatief eenvoudiger te leveren dan de spoordekkende slice voor FRMCS in de vorige case. De lokale processing kan door de mobiele operator worden geleverd in de vorm van 5G edge computing.
 - › Standaard mobiele diensten van mobiele operators. Deze optie lijkt op de vorige, maar mist de garanties over betrouwbaarheid en bandbreedte.

› 5G ROADMAP STATIONS

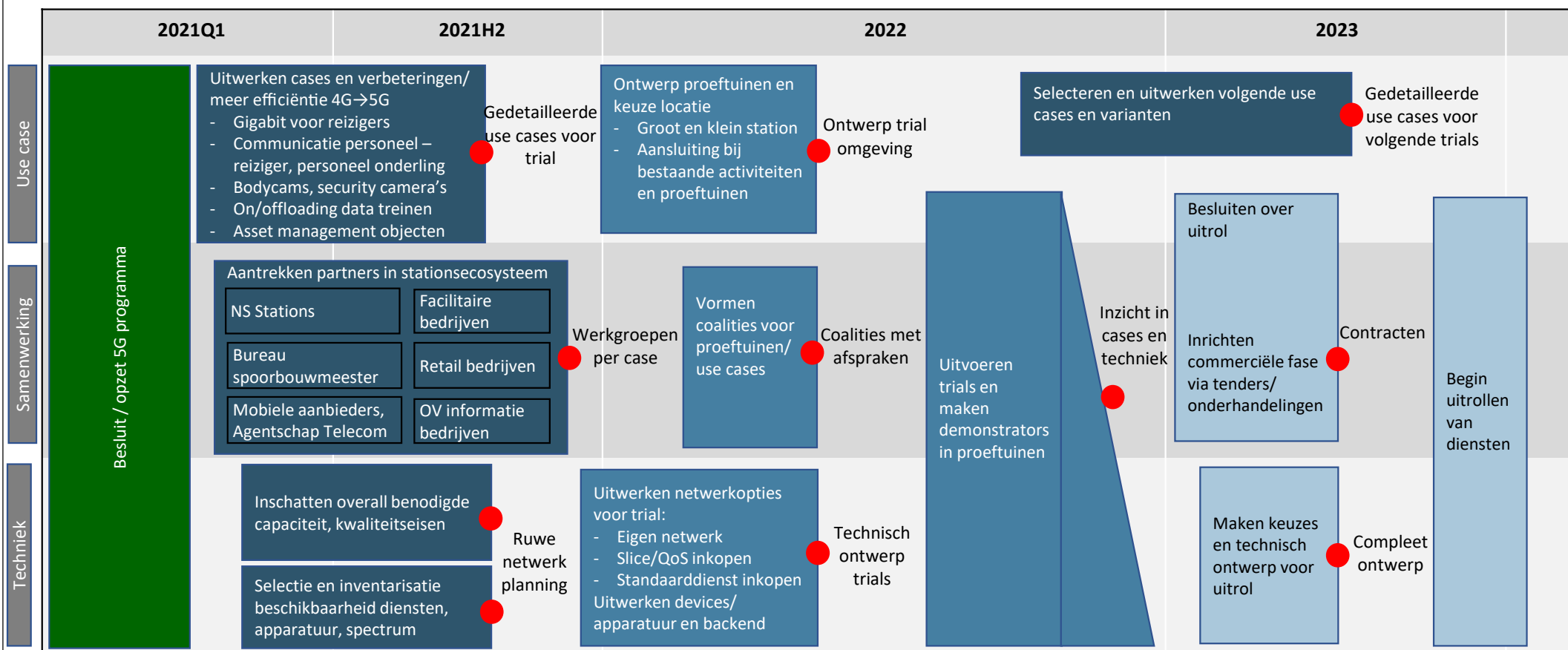
INLEIDING

- › Op stations spelen nu en de komende jaren vooral de use cases met hoge bandbreedte en sensoren. Bijvoorbeeld:
 - › Gigabit internet voor reizigers. Stations horen bij de locaties met de hoogste dichtheden aan mobiele gebruikers, die hun verwachtingspatroon baseren op de snelheid die ze elders krijgen. Het bieden van snel mobiel internet op stations is en blijft daarmee een uitdaging.
 - › (Verplaatsbare) beveiligingscamera's en bodycams van personeel. Vaste camera's worden traditioneel via vaste Ethernet of glas aansluitingen aangesloten. Voor flexibeler inzet is een breedbandige mobiele aansluiting, met afdoende garanties voor bandbreedte, aantrekkelijk. Het live meekijken met bodycams van personeel vraagt om vergelijkbare verbindingen.
 - › Asset management van objecten (roltrappen, liften, prullenbakken) via sensoren. Hierbij gaat het om kleine hoeveelheden data.
 - › Overbrengen van grote hoeveelheden meetdata uit aankomende treinen
- › Het gebruik van verbindingen met hoge betrouwbaarheid voor bijvoorbeeld robotica ligt verder in de toekomst en blijft hier buiten beschouwing

	Domein
	Station
Hoge bandbreedte	Gigabit station: Internet voor reizigers, camera's en videoschermen
Efficiënt data verzamelen uit veel verschillende sensoren	Asset management objecten

STATIONS

5G ROADMAP STATIONS



Legenda: Fases: Verkenning Trials Uitrol

Deliverable: ●

› 5G ROADMAP STATIONS KARAKTERISTIEKEN (1/2)

- › In stations spelen vele use cases met veel betrokken partijen, meer nog dan in de domeinen baan en trein. De samenwerking tussen partijen speelt daardoor een cruciale rol. Demonstrators en trials van samenwerking en techniek kunnen daarom het beste worden gebundeld in een beperkt aantal **proeftuinen** zodat de aanwezigheid van de partijen, de faciliteiten en expertise die zij inbrengen breed kunnen worden getest en doorontwikkeld.
- › De use cases op stations zijn voor een **groot deel al bestaand of bekend**. Snel internet en asset management lopen nu al via 4G. Bij het uitwerken van de cases gaat het daarom naast het bepalen van nieuwe cases ook om het uitbreiden en efficiënter maken van bestaande cases door toepassing van 5G technologie. In de roadmap wordt daarom geschetst hoe in 2021 na besluitvorming op management niveau direct wordt gewerkt aan de use cases, samenwerking en techniek om te komen tot een aantal proeftuinen voor trials voor use cases over 5G in 2022.
- › De **aard en lengte van de trials** zal per use case verschillen. De onderliggende 5G netwerkverbindingen zullen in meerdere use cases en demonstrators gebruikt worden en zijn daardoor een constantere factor.
 - › Voor de use cases die bouwen op het verzamelen van gegevens uit sensoren, bijvoorbeeld asset management, kan in eerste instantie gebruik gemaakt worden van **4G technologie** die voorlopig in die behoefte kan voorzien
 - › Voor use cases die veel capaciteit vragen is de **3.5 Ghz frequentieveiling** relevant, nu gepland voor 2022. Trials met deze frequenties zijn nu al mogelijk met experimenteervergunningen, de geplande veiling zal de aandacht voor deze frequentieband verder vergroten. Het is daarom een natuurlijk onderdeel van trials in 2022.
 - › In de periode na de hier geschetste roadmap komt ook de **26 Ghz band** beschikbaar die lokaal nog meer capaciteit biedt, hieraan kan later aandacht worden besteed.

› 5G ROADMAP STATIONS KARAKTERISTIEKEN (2/2)

- › Op stations speelt een groot aantal use cases met onderling sterk verschillende eisen aan het netwerk. Het is daarom te verwachten dat de verbindingscapaciteit en de verschillende kwaliteitsniveaus daarin gaat worden geleverd door een combinatie van drie 5G inzetopties. De aanbeveling is om deze drie opties naast elkaar te beproeven in een proeftuin.
- › Standaard mobiele diensten van mobiele operators. Dit is een natuurlijke optie voor het leveren van Gigabit mobiel internet aan reizigers. De reizigers nemen deze dienst af bij hun eigen mobiele aanbieder. Voor het bieden van goede dekking op stations hebben de mobiele operators de ProRail opstelpunten en wellicht ook glasverbindingen nodig
- › Netwerkslice of QoS van mobiele operators. Dit is een optie voor diensten die meer garanties vragen dan beschikbaar via standaard diensten, zoals bodycams, security camera's en onderlinge communicatie van het spoorpersoneel. ProRail neemt deze dienst (al dan niet samen met andere spoorpartijen) af van een mobiele operator. Daarbij is het aan ProRail om de precieze eisen op het gebied van betrouwbaarheid en bandbreedte te bepalen en te onderhandelen met de mobiele operator. Ook hier heeft de mobiele operator de ProRail opstelpunten nodig. De dekking van deze dienst is een aandachtspunt omdat de dekking van mobiele operators zich in eerste instantie richt op de plaatsen waar veel reizigers zijn en spoorpartijen vaak juist ook in andere ruimtes verbindingen nodig hebben.
- › Eigen lokaal netwerk. In 5G bestaat deze optie nadrukkelijker dan in 4G, onder meer door de beschikbaarheid van spectrum in de 3.5 Ghz band voor lokale netwerken via Agentschap Telecom. In dit geval beheert ProRail (weer al dan niet samen met andere spoorpartijen) een eigen netwerk dat de verbindingen levert voor de spoor use cases. Het ligt niet voor de hand om hiermee de Gigabit dienst aan reizigers te gaan bieden
- › Deze drie opties raken elkaar fysiek op de ProRail opstelpunten en wellicht ook de ProRail en NS glasinfrastructuur op stations. Daarnaast willen drie mobiele operators hun standaarddiensten aan reizigers bieden. Dit vraagt om coördinatie van technische voorzieningen en vormgeving.

› 5G ROADMAP BAAN

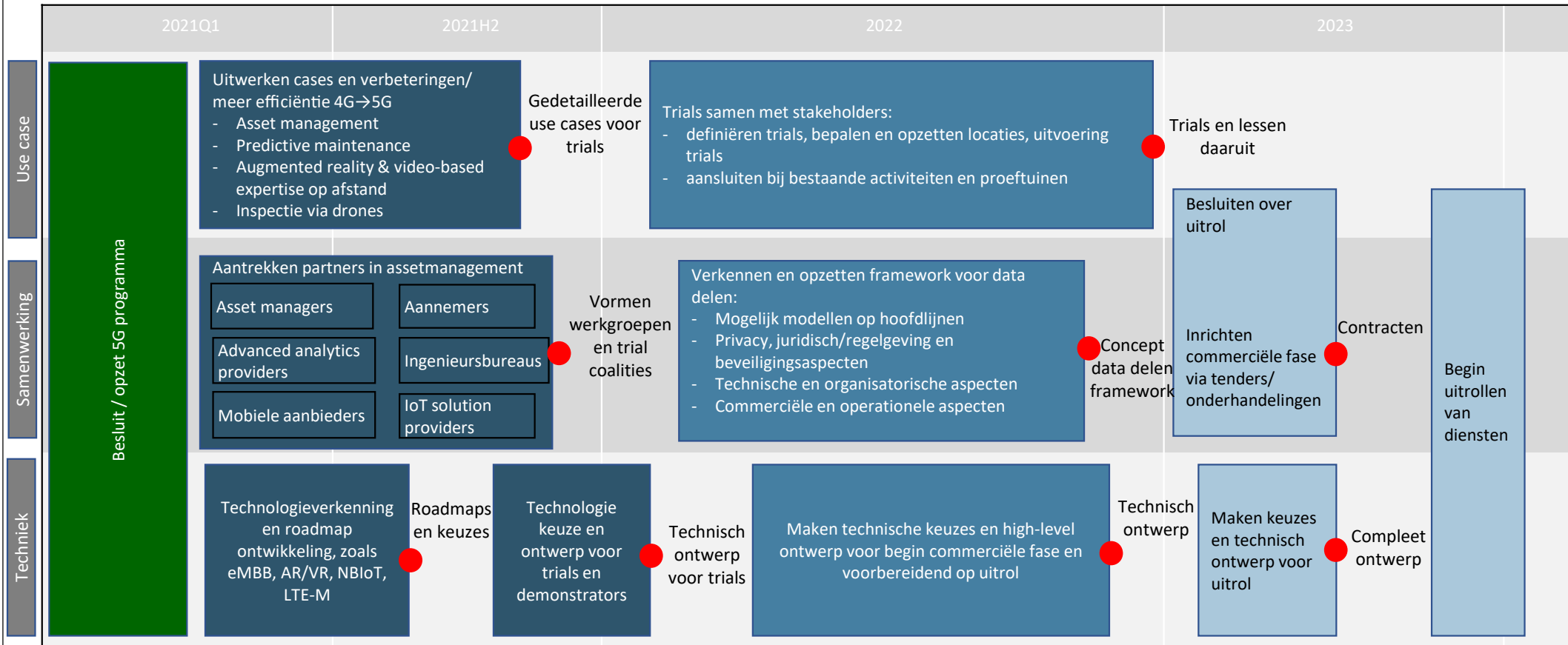
INLEIDING

- › Met 5G kan de spoorsector zijn digitaal asset management, inclusief predictive maintenance, verder uitbouwen en efficiënter maken ten opzichte van de huidige 4G implementaties. Met het doel: verbeterde asset performance, hogere betrouwbaarheid en minder ongeplande onbeschikbaarheid.
- › 5G devices en netwerken bieden aanvullende mogelijkheden en efficiëntie voor het continu monitoren van de baan assets door real-time data te verzamelen met sensoren, camera's op drones en andere mobiele technologieën.
- › Voorbeelden van bestaande en nieuwe asset management toepassingen zijn:
 - › Intelligente sensoren op vaste afstanden langs de baan om temperatuur, beweging en druk te meten voor predictive maintenance, bijvoorbeeld voor het detecteren in afwijkingen in rails.
 - › Real-time asset data gebruikt voor optimaliseren energieverbruik, voorspelling van vertraging.
 - › Augmented reality en videocommunicatie om technische ter plekke te adviseren over herstel- en onderhoudswerk.

ASSET MANAGEMENT BAAN

	Domein
	Baan
Hoge bandbreedte →eMBB – Enhanced Mobile Broadband	Camera's langs baan, AR/VR bij onderhoud en calamiteiten
Efficiënt data verzamelen uit veel verschillende sensoren →mMTC – massive Machine Type Communication	Asset management, predictive maintenance

5G ROADMAP BAAN



Legenda: Fases: Verkenning → Trials → Uitrol

Deliverable: ●

› 5G ROADMAP BAAN KARAKTERISTIEKEN

- › Asset management voor baan gebruikt zowel Mobile Broadband (eMBB) als massive Machine Type Communication (mMTC), ook bekend als Internet of Things (IoT).
 - › eMBB wordt gebruikt voor use cases die een hoge bandbreedte vragen, zoals camera's langs de baan, Augmented Reality en videocommunicatie.
 - › Voor IoT use cases worden zoals NB-IoT en LTE-M gebruikt voor het verzenden van data vanaf een groot aantal sensoren. De data heeft een relatief lage bitrate, daardoor is een lage bandbreedte genoeg. Door een lange accuduur (belofte is tot 10 jaar) kunnen sensoren lange tijd zonder verdere aandacht functioneren.
- › 5G eMBB wordt op dit moment nog niet ingezet in de netwerken van mobiele operators maar kan al wel lokaal worden getrialed met proeflicenties. IoT technologieën geschikt voor de spoor use cases zijn al commercieel beschikbaar. Innovaties voor assetmanagement van de baan loopt nu al, de roadmap bestrijkt daarom een periode van drie jaar van 2021 tot 2023. Hierna zullen verdere ontwikkelingen in 5G de innovatie in IoT verder aanjagen.
- › Vanuit de roadmap voor asset management voor baan volgen twee aanbevelingen:
 - › Er moet dekking zijn over het hele spoornetwerk. Hierbij is het voor ProRail aantrekkelijker om standaarddiensten van mobiele operators in te kopen dan hiervoor een eigen netwerk aan te leggen. Met de mobiele operators moeten worden nagegaan of ze de benodigde dekking en kwaliteit kunnen leveren vanuit hun netwerken.
 - › ProRail en andere partijen moeten een framework voor het delen van data voor asset management opzetten, rekening houdend met privacy, juridische en beveiligingsaspecten. Tijdens de Meeting of Minds in dit project werd het delen van data als de grootste uitdaging gezien voor assetmanagement voor de baan.



› CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

› 5G IS NU VAN BELANG VOOR PRORAIL EN DE SPOORSECTOR

5G → HET IS AL BEGONNEN

- › De uitrol van 5G door de mobiele operators is begonnen en plannen voor nieuwe 5G functies en capaciteit worden gemaakt. Voor ProRail en de spoorsector geeft dit nu de gelegenheid om vanuit de vraagkant de uitrol te beïnvloeden.
- › Op Europees niveau worden nu de strategic deployment agenda's over gebruik van 5G voor spoor gemaakt, waarbij ook de specificaties van FRMCS, de 5G opvolger van GSM-R. Betrokkenheid van ProRail is noodzakelijk om een stempel te drukken op voor het spoor belangrijke 5G inzet modellen

ER DREIGT DIVERGENTIE EN VERSNIPPERING VAN AANPAK

- › Coördinatie is van belang voor een gerichte en efficiënte ontwikkeling van 5G voor Spoor. Door de diversiteit van partijen bestaat een risico op divergentie, en ongewilde duplicatie van trials en infrastructuur.

5G IS BELANGRIJK VOOR TOEKOMSTVAST SPOOR

- › 5G is belangrijk voor het vergroten van de capaciteit en betrouwbaarheid van het spoor (ATO, ERTMS), voor het kostenefficiënter beheer (preventief onderhoud) en voor de ervaring van de reizigers (informatie en snel internet)

› 5G HEEFT BREDE IMPACT OP TREIN, BAAN EN STATION

ROAD MAPS

Voor elk van deze toepassingsgebieden geeft een gedetailleerde 5G roadmap het overzicht van use case verkenning, trials en uitrol.

TREIN

Digital Rail Operations

- › 5G verbindingen met hoge betrouwbaarheid worden gebruikt voor belangrijke use cases als ATO en ERTMS;
- › Migratie van het huidige GSM-R netwerk naar de 5G-opvolger FRMCS.

STATION

Snel internet voor reizigers, asset management via sensoren

- › 5G Gigabit internet voor reizigers en voor beveiligingscamera's en bodycams;
- › 5G Internet of Things verbindingen voor asset management op basis van sensoren voor beheer van roltrappen, liften en andere objecten op stations.

BAAN

Asset management via sensoren, expertise op afstand

- › 5G Internet of Things verbindingen voor sensoren en camera's langs de baan en in drones en gebruikt voor real-time asset management voor onderhoud, reparaties en reactie bij calamiteiten.
- › 5G Gigabit verbindingen voor expertise op afstand via Augmented Reality en hoge-kwaliteit video communicatie.

› PRORAIL EN DE SPOORSECTOR STUREN MEE IN DE OPTIMALE MIX VAN 5G INZETOPTIES

- › Verschillende opties voor inzet van 5G zijn relevant voor verschillende toepassingsgebieden en locaties
 - › Door de nieuwe 5G optie van network slice inkopen en meer mogelijkheden voor een lokaal eigen netwerk is er in 5G meer maatwerk mogelijk dan in 4G
- › De technische en commerciële haalbaarheid volgt uit overleg en onderhandeling tussen spoorpartijen, mobiele operators en solution providers
 - › De precieze 5G behoefte waar de spoorpartijen om vragen volgt uit het verder uitdiepen van de use cases en hun eisen aan verbindingen

Lokaal eigen netwerk

- › Met frequentie van Agentschap Telecom
- › Standaard/massa markt chipsets en terminals

Spoordekkend eigen netwerk

- › Met spoor specifieke frequentie zoals nu bij GSM-R
- › Specifieke chipsets en terminals

Netwerk slice / Quality of Service inkopen

- › Voor gegarandeerde dekking, bandbreedte, vertraging
- › Lokaal of (waarschijnlijk lastiger) spoordekkend

Standaard dienst inkopen

- › Gigabit breedband, Machine type communication/Internet of Things

› **SAMENWERKING IS CRUCIAAL IN 5G VOOR SPOOR**

5G TOEPASSINGEN WERKEN OVER VERSCHILLENDE BEDRIJVEN HEEN

- › Bij veel van de belangrijke 5G toepassingen zijn meerdere bedrijven betrokken. Samenwerking is nodig om toepassingen te laten werken in de hele spoorketen.

INVESTERINGEN IN INNOVATIE MET 5G VRAGEN OM SAMENWERKING

- › Bij het verkennen van use cases en het uitvoeren van trials sluiten de vragen van de spoorpartijen voor een flink deel op elkaar aan. Door in deze stappen samen te werken renderen de investeringen in innovatie optimaal en wordt onnodige duplicatie van trials en triallocaties voorkomen.

KOSTENEFFICIËNTE UITROL EN GEBRUIK VAN 5G VEREIST SAMENWERKING

- › Door een heldere en eenduidige definiëring van de 5G behoefte door de spoorpartijen samen met mobiele operators en solution providers ontstaat schaalgrootte in de uitrol en wordt ook hier onnodige duplicatie voorkomen.

› AANBEVELINGEN

AANPAK VAN 5G BINNEN HET SPOOR

5G zal de komende jaren verregaande gevolgen hebben voor het spoor en de hele ProRail-organisatie. Sturing en coördinatie is nodig om besluitvorming en investeringen te optimaliseren en duplicatie en fragmentatie te voorkomen.

Om dit te laten slagen is zowel binnen de ProRail organisatie als in de bredere context sturing en coördinatie nodig. TNO adviseert daarvoor drie aanbevelingen:

ZET EEN INTERN 5G PROGRAMMA OP

- › Een **intern 5G programma** is noodzakelijk voor het aansturen en coördineren van de 5G-ontwikkeling ProRail-breed.

ZET DAARNAAST IN OP EEN NATIONALE 5G VOOR SPOOR ALLIANTIE

- › Een **Nationale 5G voor spoor alliantie** zal de spoorsector optimaal laten profiteren van 5G en divergentie en duplicatie in use cases, techniek, veiligheid en gezondheid ontwikkelingen te voorkomen.

ZORG VOOR INTEGRALE STURING OP DE STRATEGISCHE AMBITIES

- › Een **integrale sturing** is noodzakelijk om de benodigde (eco-)systeem verandering in goede banen te leiden. Het is belangrijk om de impact van de benodigde innovaties goed in kaart te brengen en te bepalen wat eerst en wat parallel c.q. serieel kan worden opgepakt.

› AANBEVELING 1: INTERN 5G PROGRAMMA

TNO adviseert ProRail om een **intern ProRail 5G-programma** op te zetten.

- › **Doel:** sturen en coördineren van 5G-ontwikkelingen ProRail-breed.
- › **Waarom?** 5G zal de komende jaren verregaande gevolgen hebben voor de hele ProRail-organisatie. Interne sturing en coördinatie is nodig om besluitvorming en investeringen te optimaliseren en duplicatie en fragmentatie te voorkomen.
- › **Scope van het 5G-programma** kunnen de volgende activiteiten bevatten:
 - › Sturing en coördinatie, 5G-verkenning, pilots / living labs, planning en implementatie, inventariseren van al lopende 5G-activiteiten bij ProRail, planning van benodigde inzet en financiën, het coördineren van partnerschappen met nationale en Europese 5G-initiatieven o.a. m.b.t. de techniek, veiligheid en gezondheid, het ontwikkelen van plannen voor uitrol, en value / business case analyse.
- › Een passende **organisatiestructuur** en **middelen** zijn essentieel.
 - › Programma moet inclusief en overkoepelend zijn en de hele organisatie bestrijken.
 - › Het is ons aanraden om dit programma vanuit de afdeling Innovatie & Technologische Ontwikkeling te besturen.
 - › Minimaal gerund door een Programmamanager, Use Case Manager en Trial Manager.
 - › In het programmateam nemen experts van ProRail-eenheden deel, bijv. vanuit de ICT (Techniek en architectuur), de Asset Management & stations afdeling gericht op de roadmap Asset mngt & Baan en de V&D en VL afdeling gericht op roadmap Digital Rail Operations genoemde cases.
- › Vervolgstappen:
 - › Werk het programma in het eerste kwartaal van 2021 verder uit met het oog op het opzetten ervan in het tweede kwartaal van 2021.
 - › Verwerven van het nodige budget, expertise en middelen voor het programma.
 - › TNO kan ProRail assisteren bij het opzetten van het programma en ook als adviseur deelnemen in het programma.

› AANBEVELING 2:

NATIONALE 5G VOOR SPOOR ALLIANTIE (1/2)

TNO adviseert ProRail om in samenwerking met andere stakeholders een **Nationale 5G voor spoor alliantie** op te zetten.

- › Uit de Meeting of Minds en roadmaps komt het grote belang van samenwerking naar voren. Om die samenwerking goed in gang te zetten en daarna te sturen is het advies aan ProRail om in te zetten op een nationale alliantie.
 - › Multi-stakeholder samenwerking met institutionele leden of partners. Samenstelling nog uit te werken, te denken valt aan ProRail, NS, Arriva, 5G partners, kennis- en onderzoekspartners zoals TNO & TU-Delft.
 - › Link met andere regionale of industrie hubs, zoals 5Groningen, Delft 5G DoloT field lab om aan te sluiten bij overkoepelende doelen mbt 5G.
 - › Funding: bijvoorbeeld via deelnamevergoedingen van partners en nationale en Europese subsidies (EFRO, MinlenW, MinEZK).
 - › Aansluiting bij nationale initiatieven en regelingen met betrekking tot de cyberveiligheid en gezondheidsaspecten van 5G. Voor cyberveiligheid bestaan beveiligingsmaatregelen voor telecom operators van het ministerie van EZK. Voor gezondheidsaspecten van 5G bestaat het Kennisplatform ElektroMagnetische Velden.
 - › Vanuit de alliantie werken ook tenminste een onafhankelijke Programmamanager, Partners en Use case Manager en Trials Manager.
- › Scope van de Nationale 5G voor spoor alliantie.
 - › Pre-commerciële 5G innovatie voor de spoorsector.
 - › Stimuleren en maken van 5G use cases en applicaties, met startups, ondernemers en studenten.
 - › Kennisdeling en disseminatie: gezamenlijke ontwikkeling van roadmaps en best practices.
 - › 5G trials met de partners en regionale 5G innovatie hubs.
 - › Verkennen van waardeproposities en business modellen.

› AANBEVELING 2:

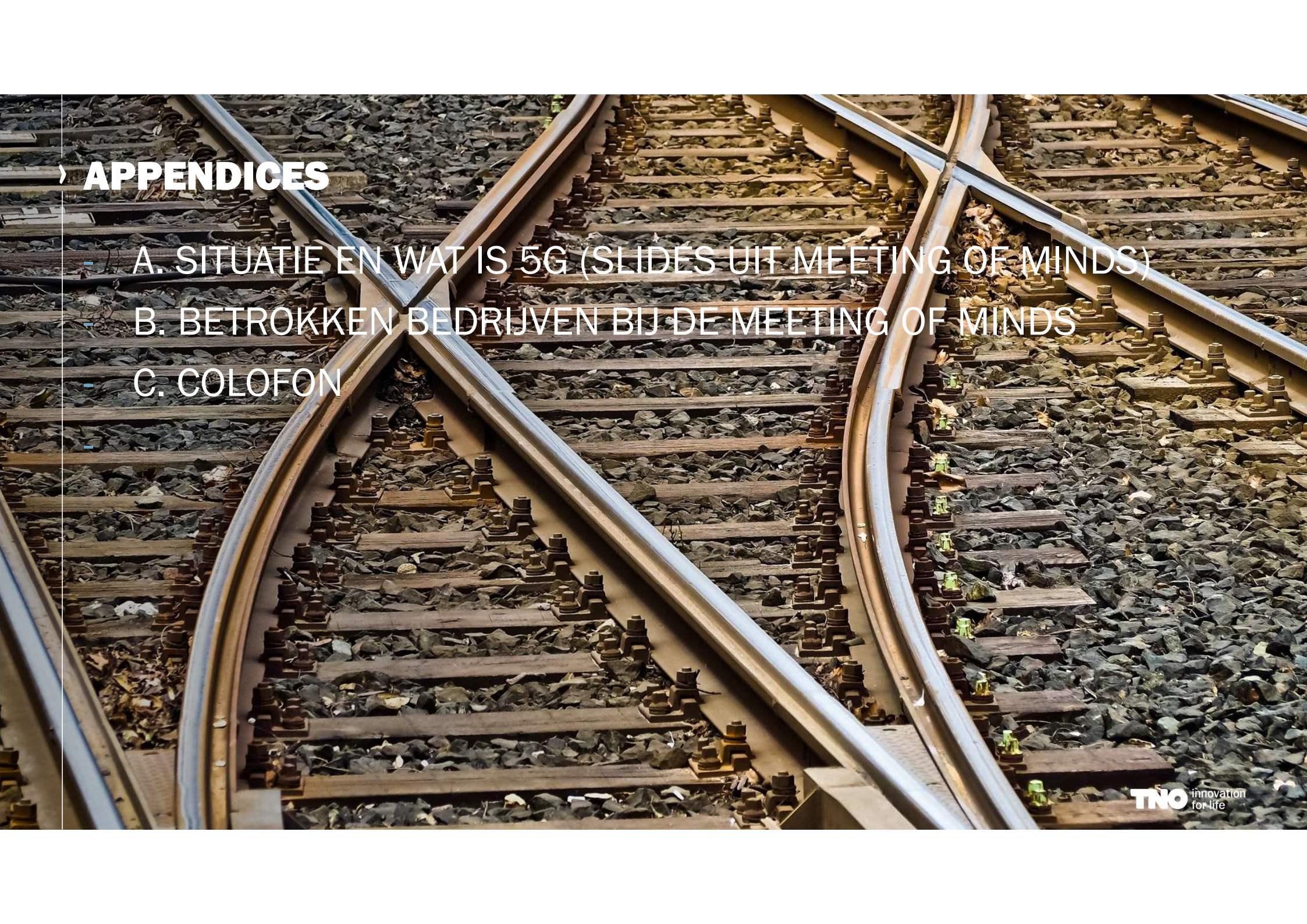
NATIONALE 5G VOOR SPOOR ALLIANTIE (2/2)

- › Een nationale 5G voor spoor alliantie kan het best vanuit een **onafhankelijke entiteit** worden uitgevoerd. Dit zorgt ervoor dat de partners een gelijkwaardige uitgangspositie en invloed hebben en voorkomt een perceptie van vooringenomen sturing die kan bestaan als één partij de 5G ontwikkeling leidt.
 - › De gezamenlijke aanpak kan zorgen voor efficiëntie, schaalvoordelen en helpen om ongewenste divergentie te voorkomen. Het maakt het ook eenvoudiger om regionale, nationale of EU funding aan te trekken in aanvulling op de bedrijfsbijdragen.
 - › Het is een aanpak die zich bewezen heeft in andere innovatie hubs als 5Groningen en verschillende Smart Industry hubs.
 - › Als de alliantie breed genoeg is in deelnemers ontstaat het gewicht om namens de hele spoorsector te spreken.
 - › Vanuit de alliantie kan ook worden meegestuurd in de Europese ontwikkeling van 5G inzetmodellen voor spoor via deelname in UIC, EIM nodig en Shift2Rail2.
 - › Het is ons aanraden om de alliantie vanuit de afdeling Innovatie & Technologische Ontwikkeling te initiëren.
- › Vervolgstappen:
 - › Onderzoek de interesse van andere belanghebbenden in de spoorwegsector om deze alliantie te vormen, bijv. NS, Arriva.
 - › TNO kan ProRail assisteren bij het opzetten van deze alliantie zoals we dit voor 5Groningen hebben gedaan.
 - › De vorming en deelname van deze alliantie kan vallen onder de reikwijdte van het Interne ProRail 5G programma

› **AANBEVELING 3:**

INTEGRALE STURING OP DE STRATEGISCHE AMBITIES

- › De technologie 5G is één van de innovaties waarmee de strategische ambities in het spoor behaald kunnen worden.
- › Naast 5G zijn er diverse andere innovaties en systeem veranderingen benodigd om de gewenste transitie in het spoor (Digitale, Energie en Circulaire) te bereiken. Het is noodzakelijk om de impact van deze veranderingen goed in kaart te brengen zodat er een eenduidig en gedeeld beeld ontstaat waarop met de strategische partners gestuurd kan worden.
- › Dit moet resulteren in een roadmap van alle gewenste veranderingen (gezet in tijd en volgordelijkheid) en een besturingsmethodiek (Orchestrating Innovation / Systems2systems) waarmee sturing ontstaat op de gewenste transitie in de keten. Dit in verband met verschillende transitie die spelen, relaties tussen programma's en impact op elkaar.
- › Het is ons aanraden om het komen tot de roadmap en juiste besturingsmethodiek vanuit de afdeling Innovatie & Technologische Ontwikkeling te initiëren en te verbinden met het IenW / ProRail / NS Spoor visie traject zodat het een onderdeel wordt hiervan ter sturing van de transitie.
- › Vervolgstappen:
 - › Maak het komen tot de roadmap en implementeren van de besturingsmethodiek onderdeel van het spoor visie traject met IenW en NS.
 - › TNO kan ProRail assisteren bij het voorgeven van de roadmap en de keuze voor de besturingsmethodiek. TNO heeft ruimte ervaring in het begeleiden van systeem transitie.
 - › De roadmap zal sturing geven aan de programmering van het Interne 5G programma en Nationale 5G Spoor Alliantie.



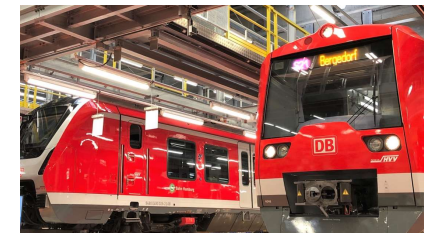
› APPENDICES

- A. SITUATIE EN WAT IS 5G (SLIDES UIT MEETING OF MINDS)
- B. BETROKKEN BEDRIJVEN BIJ DE MEETING OF MINDS
- C. COLOFON

› A. SITUATIE

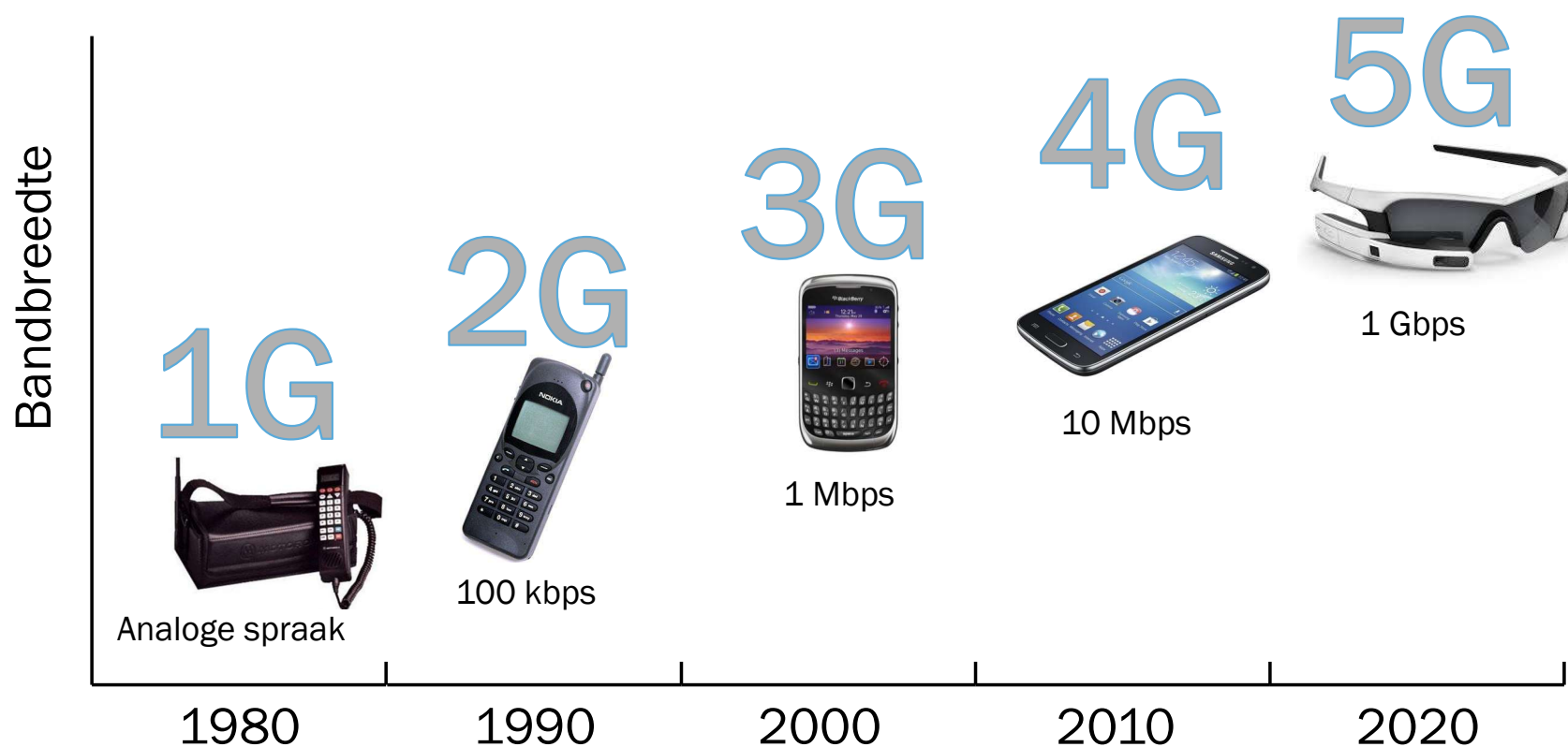
WAT GEBEURT ER AL RONDOM 5G EN HET SPOOR

- › 5G is gekozen als basistechnologie voor de Future Railway Mobile Communication (FRMCS) standaard.
 - › FRMCS wordt ontwikkeld door de Union of International Railways (UIC).
 - › Veel FRMCS specificaties zijn al beschikbaar, zoals user requirements en use cases.
- › Organisaties uit de spoorsector nemen deel in 3GPP om de FRMCS requirements in te brengen in de 5G standaarden.
 - › Voorbeelden van een lopende 3GPP Release-18 studies: “Support of railway smart station services” and “Off-network for rail”.
- › Er zijn meerdere 5G-voor-spoor trials in ontwikkeling
 - › EU/Horizon2020 5G RAIL: Trials gepland in Duitsland en Frankrijk.
 - › Digital S-Bahn Hamburg: het eerste stand-alone 5G systeem voor Automatic Train Operation (ATO), door DB en Nokia.



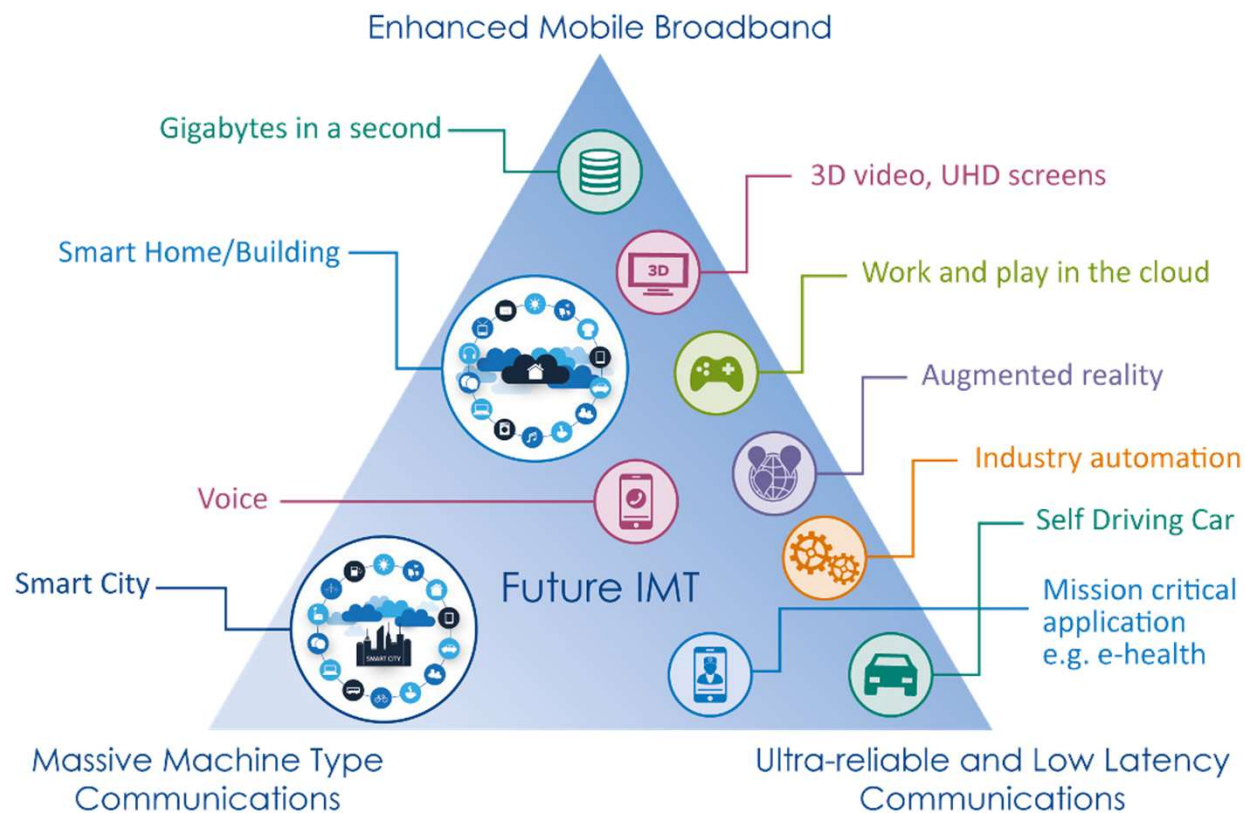
› A. WAT IS 5G

VIJF GENERATIES MOBIELE COMMUNICATIE



› A. WAT IS 5G

5G KAN VERSCHILLENDE SOORTEN VERBINDINGEN LEVEREN

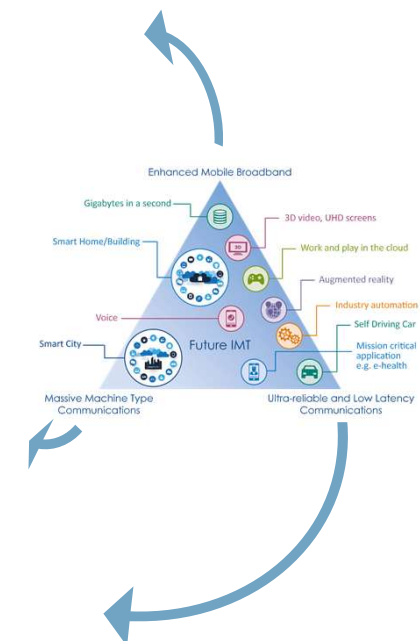


› A. BANDBREEDTE, VERTRAGING EN BETROUWBAARHEID IN HET COMMUNICATIENETWERK VOOR HET SPOOR

Bandbreedte			
Minder dan kilobit/s	Enkele kilobit/s	Enkele Megabit/s	Tientallen - honderden Megabit/s
Sensoren	ERTMS	HD video	Trein met internettende passagiers

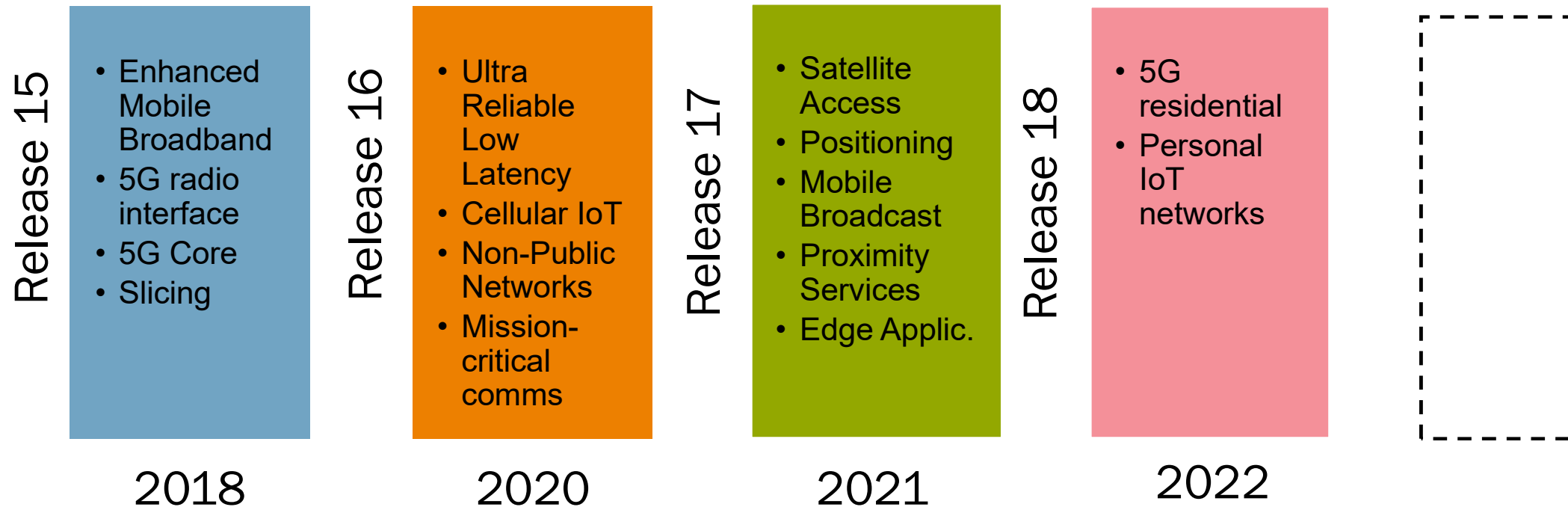
Betrouwbaarheid		
Missiekritisch	Bedrijfskritisch	Standaard
ERTMS	Mobiel internet voor personeel vervoerders	Mobiel internet voor reizigers

Vertraging (Latency)		
Enkele milliseconden	Tientallen milliseconden	Seconden
(fabriek met "discrete automation")	Spraak, Augmented reality video	Temperatuursensor



› A. UITROL

5G STAAT NIET IN ÉÉN KEER: DE ONTWIKKELING VAN STANDAARDEN EN DE UITROL DAARVAN LOPEN NOG JAREN DOOR

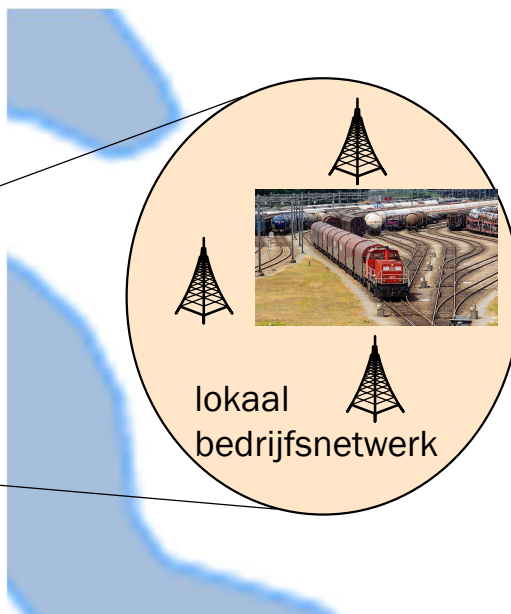


› A. WAAROM LOOPT UITROL BIJ 5G ANDERS DAN BIJ 4G?

1. MEER MOGELIJKHEDEN VOOR LOKALE BEDRIJFSNETWERKEN NAAST DE GROTE PUBLIEKE NETWERKEN



KPN, Vodafone, T-Mobile hebben landelijke frequenties voor de grote publieke 2/3/4/5G netwerken

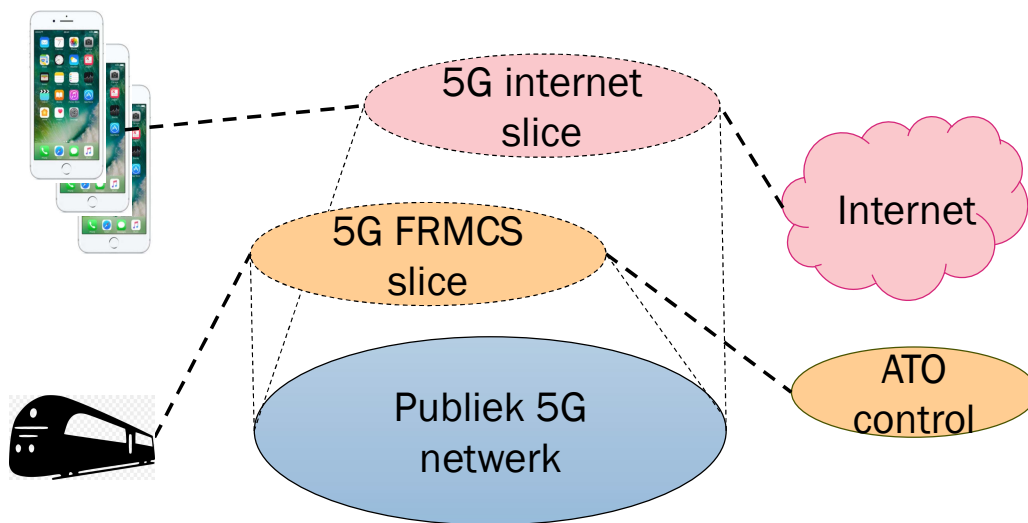


Daarnaast zijn er in 5G goede mogelijkheden voor lokale, private bedrijfsnetwerken

- › Private lokale bedrijfsnetwerken bestaan al jaren
 - › private LTE (4G)
 - › private GSM (2G)
- › In 5G zijn de mogelijkheden ruimer
 - › Meer frequentiespectrum, meer capaciteit
 - › Softwarisatie van netwerkapparatuur
- › Sectoren: industrie, mobiliteit, logistiek, media

› A. WAAROM LOOPT UITROL BIJ 5G ANDERS DAN BIJ 4G?

2. NIEUWE MOGELIJKHEDEN VOOR INKOPEN MAATWERK OP PUBLIEKE NETWERKEN

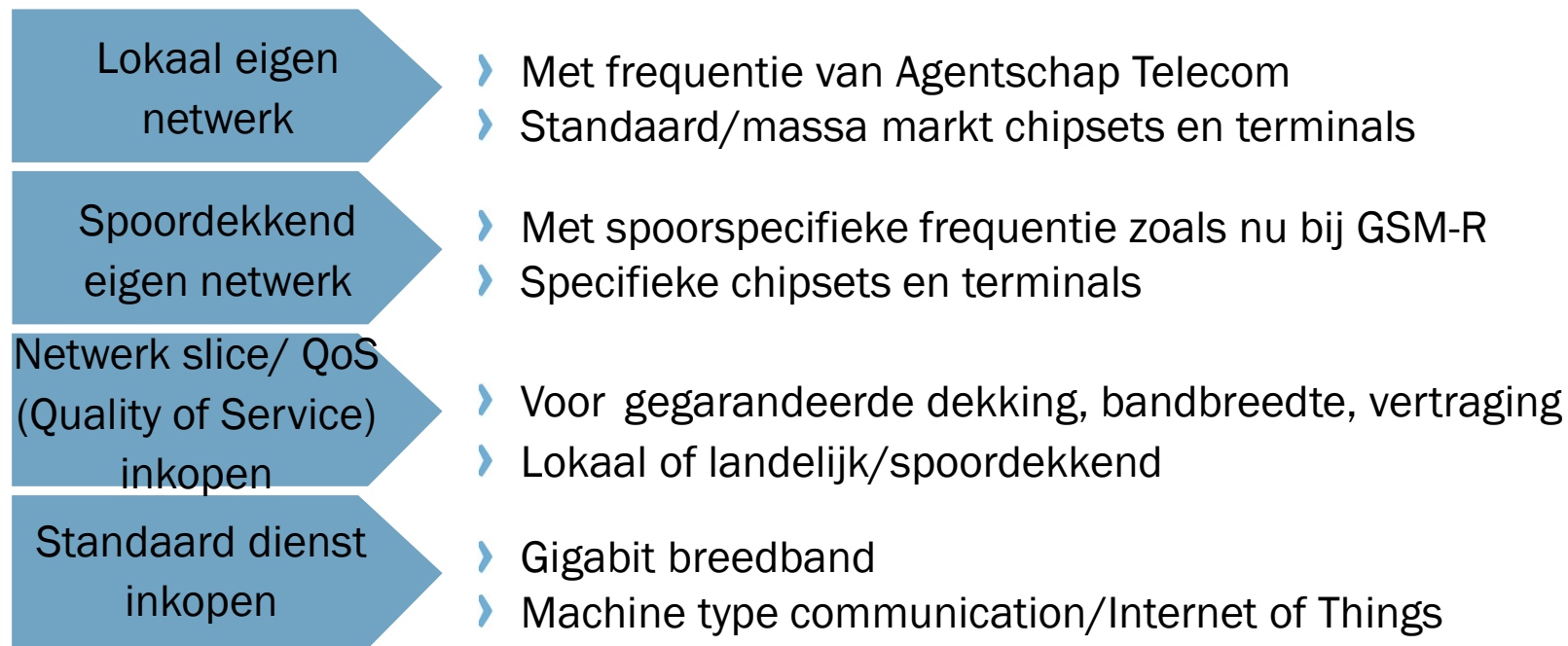


5G richt zich veel sterker dan 4G op het bieden van connectiviteit op maat aan sectoren

- › Network Slicing: meerdere virtuele netwerken maken bovenop fysieke infrastructuur, met per slice garanties over capaciteit
- › Quality of Service (QoS): voorrang voor bepaalde (groepen) applicaties
- › Samen met grotere capaciteit 5G geeft dit nieuwe mogelijkheden voor inkopen maatwerk op publieke netwerken
 - › Dekking op maat
 - › Voorrang voor applicaties
 - › Gegarandeerde bandbreedte
 - › Gegarandeerde lage vertraging

› A. WAAROM LOOPT UITROL BIJ 5G ANDERS DAN BIJ 4G?

HIERDOOR MEER MOGELIJKHEDEN VOOR UITROL/INKOOP



Verwachting: per groep van toepassingsgebieden hebben bepaalde opties de voorkeur. Om alle use cases goed te bedienen is een mix van opties nodig.

› A. BELANGRIJKSTE TOEPASSINGEN GECATEGORISEERD NAAR ‘EISEN AAN DE COMMUNICATIE’ EN ‘DOMEIN’

		Domein		
		Baan	Trein	Station
Eisen aan communicatie	Hoge betrouwbaarheid en zeer korte vertraging →URLCC – Ultra Reliable Low Latency Communication	Robotica met aansturing op afstand	Digital Rail operations: FRMCS, ATO, ERTMS	Robotica voor diensten en beheer
	Hoge bandbreedte →eMBB – Enhanced Mobile Broadband	Camera's langs baan, AR/VR bij onderhoud en calamiteiten	Gigabit train: Internet voor reizigers, camera's vervoerders	Gigabit station: Internet voor reizigers, camera's en videoschermen
	Efficiënt data verzamelen uit veel verschillende sensoren →mMTC – massive Machine Type Communication	Asset management, predictive maintenance	Reizigerstrein als meettrein	Asset management objecten

› **B. BETROKKEN BEDRIJVEN BIJ DE MEETING OF MINDS**

Betrokken externe bedrijven:

1. 5Groningen
2. Alstom
3. Arriva
4. Asset Rail
5. Deutsche Bahn
6. Dual Inventive
7. Fugro
8. Intraffic
9. Movares
10. NS
11. Strukton
12. T-Mobile
13. TNO
14. VodafoneZiggo

Betrokken afdelingen vanuit ProRail:

- › ATO
- › Camino
- › Digital Asset Lab
- › ERTMS
- › ICT
- › Innovatie & Technologische Ontwikkeling
- › Stations

› B. COLOFON

- › Charlotte Smit (TNO) (Projectleider)
- › Adrian Pais (TNO) (kernteam)
- › Pieter Nooren (TNO) (kernteam)
- › Toon Norp (TNO) (Senior Business Consultant, review)
- › Rik Poulus (TNO) (Business development, review)
- › Berry Vetjens (TNO) (Business development, review)

- › Thijs Cloosterman (ProRail, kernteam)
- › Luuk van Woudenberg (ProRail, kernteam)
- › Jos Nooijen (ProRail, input en review)
- › Ewout Schiferli (ProRail, input en review)