

# **RAPPORT INNOVATIE ANALYSE SMART MAINTENANCE INFRASECTOR 2024**

Datum: 20 december 2024

## INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding .....	3
2	Methodiek en updateproces .....	5
3	Onderzoeksresultaten .....	7
3.1	Korte termijn bijscholing (0 - 1 jaar).....	8
3.2	Middellange termijn bijscholing (1 - 3 jaar).....	9
3.3	Lange termijn bijscholing (3 - 5 jaar) .....	11
3.4	Belangrijke overige technieken, (sociale) innovaties en kerntaken .....	11
3.5	Veranderingen onderwerpen .....	12
4	Validatie.....	14
5	Conclusies .....	15
6	Aanbevelingen.....	17
	Bijlage A Methodiek Analyse en ranking technologieën .....	18
A.1	Opzet en werking model .....	18
A.2	Innovatiesysteem en marktfases .....	18
A.3	Type innovatie.....	21
A.4	Functies van het innovatiesysteem.....	22
A.5	Ranking oude matrix .....	28
A.6	Analyse bijscholingsaanbod .....	29
A.7	Analyse gaps bijscholingsaanbod.....	30
A.8	Indeling technologieën .....	31
	Bijlage B Technieken, (sociale) innovaties en kerntaken voor smart maintenance .....	34
B.1	Fysieke werkelijkheid.....	34
B.2	Digitale werkelijkheid .....	36
B.3	Organisatie, proces en informatie.....	36

## 1 INLEIDING

Een leven lang ontwikkelen is een cruciale factor voor het actueel houden van de kennis van medewerkers in de infrasector, nu en in de toekomst. Alleen dan kan de sector opgaves die op haar afkomen naar behoren invullen. Het actueel houden van kennis en vaardigheden vereist dat bijscholing van goede kwaliteit is en aansluit bij de huidige en opkomende technologieën die toegepast worden in de sector.



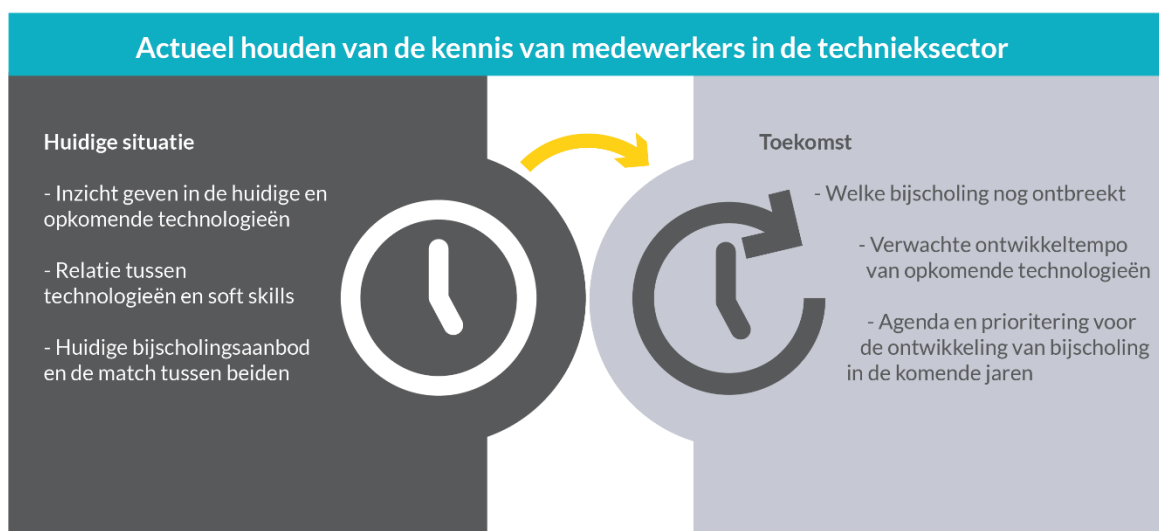
Afb. 1.1. Visualisatie van cruciale factoren voor het actueel houden van kennis van medewerkers in de technieksector.

In het afgelopen decennium hebben we voor diverse duurzame technieken gezien hoe proactieve en anticyclische ontwikkeling van bijscholing vakmensen ondersteunt in de ontwikkeling van vakbekwaamheid. Ook zien we dat snelle opschaling van bijscholing mede hierdoor mogelijk wordt gemaakt. Om proactief en anticyclisch te werken aan de ontwikkeling van bijscholingsaanbod is goed zicht op de nabije toekomst en het al beschikbare bijscholingsaanbod nodig.

Doel van de Innovatie Analyse voor de infrasector is inzicht geven in de huidige en opkomende technologieën, (sociale) innovaties en kerntaken, de relatie tussen technologieën en *soft skills* (met name de transversale<sup>1</sup> competenties), het huidige bijscholingsaanbod en de match ertussen. Het resultaat geeft inzicht in welke bijscholing nog ontbreekt en het verwachte ontwikkeltempo van opkomende technieken en innovaties en is daarmee een agenda en prioritering voor de ontwikkeling van bijscholing in de komende jaren.

---

<sup>1</sup> Transversale competenties zijn nodig om te kunnen samenwerken tussen verschillende sectoren, organisaties en/of overheden; ook wel genoemd een cross-sectorale aanpak van een multidisciplinair vraagstuk (bijvoorbeeld de energietransitie/digitalisering in de economie).



Afb. 1.2. Onderzoeksgebieden rapport

Na presentatie en bespreking in diverse validatiesessies worden de resultaten voor korte en middellange termijn voorzien van een kwalitatieve duiding. Dit om naast de cijfermatige ranking inzicht te geven in mogelijke oplossingen voor een mismatch tussen de opkomende vraag en het bestaande bijscholingsaanbod.

### Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft hoe het updateproces heeft plaatsgevonden.

Hoofdstuk 3 geeft de onderzoeksresultaten weer, gericht op de korte, middellange en lange termijn.

Hoofdstuk 4 beschrijft het validatieproces.

Hoofdstuk 5 en 6 bevatten conclusies en aanbevelingen.

De onderliggende methodiek voor het inventariseren en analyseren wordt toegelicht in bijlage A.

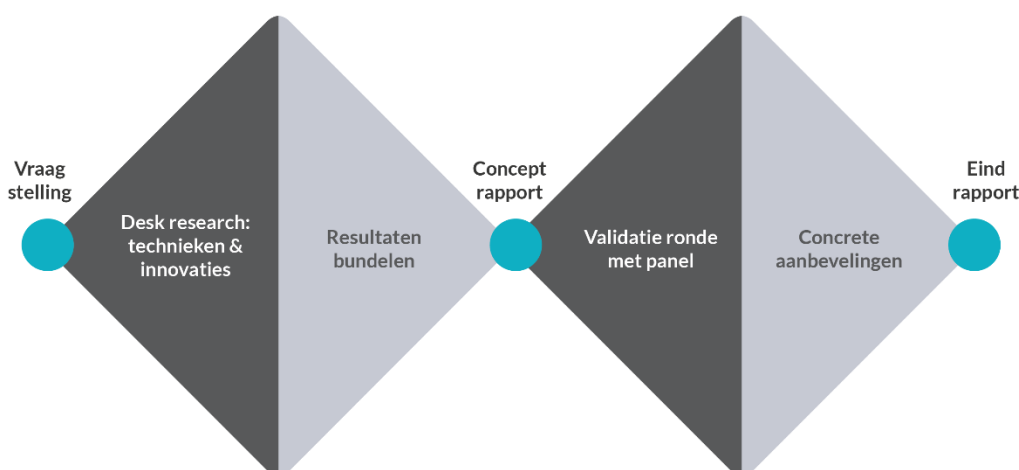
Alle innovaties in het rapport staan toegelicht in bijlage B.

In een separate Excel-spreadsheet is de methode in de praktijk gebracht en is de inventarisatie en analyse uitgevoerd voor ongeveer 30 relevante technologieën en ontwikkelingen. Om de Excel te kunnen begrijpen is het aangeraden de methodiek van bijlage A door te nemen.

## 2 METHODIEK EN UPDATEPROCES

Dit onderzoek is uitgevoerd op basis van een methodiek die uitgebreid wordt beschreven in bijlage A.

Het resultaat is gebaseerd op de inschattingen die zijn gemaakt tijdens samenstelling van de matrix. Dit betekent dat het een momentopname betreft die regelmatig (2-jaarlijks) geüpdatet moet worden om actueel te blijven. Voor een dergelijke update is het van groot belang om zo onafhankelijk mogelijk de criteria in te vullen. Dit volgens de beschrijving van de criteria in bijlage A en de Excel spreadsheet. Om de eigen inschattingen te valideren zijn de resultaten besproken met experts en daarna bijgesteld (zie onderstaand stap 5).



Afb. 2.1: Visualisatie van onderzoeksproces, dit proces wordt gekenmerkt door het divergerende en convergerende karakter.

### Stap 1 - Vooronderzoek

Voorafgaand aan de uitvoering van het onderzoek, is een vooronderzoek uitgevoerd in de vorm van het in kaart brengen van beroepen en specialismen en een skillsmapping. Uit dit vooronderzoek bleek dat de transitie van de infrasector sterk versnelt. Er is helder geworden dat smart maintenance een belangrijke rol speelt in de sector en dat hier goed over nagedacht moet worden, zeker met tekorten op de arbeidsmarkt blijkt digitalisering een belangrijke stap.

### Stap 2 – Doorontwikkeling van het analyse-model

Op basis van de evaluatie is het model geactualiseerd met de huidige stand van zaken.

### Stap 3 – Analyse van technologieën

Voor het verzamelen, analyseren en waarderen van de technologieën is gewerkt met de systematiek van divergeren en convergeren: eerst breed verkennen en daarna selecteren op wat relevant is.

---

Voor het divergerende deel van het onderzoek is een vooronderzoek gedaan door middel van gesprekken met partners.

In het convergerende deel van de analyse zijn alle technologieën en kennisgebieden beoordeeld op basis van beschikbare kennis en ervaring binnen ISSO en afgenomen interviews. Na analyse zijn diverse ontwikkelingen en technieken samengevoegd. Ook zijn technologieën komen te vervallen die niet door de analyse konden of die niet belangrijk geacht worden in deze context.

#### **Stap 4 – Resultaten rangschikken**

Op basis van de analyse heeft een rangschikking plaatsgevonden van de technologieën op basis van de urgentie om hier goed opleidingsaanbod bij te ontwikkelen. Hierbij is onderscheid gemaakt naar de termijn waarop voor de betreffende technologie nodig is dat er opleiding beschikbaar is. De resultaten zijn opgenomen in hoofdstuk 3.

#### **Stap 5 – Finetuning met stakeholders**

Een onderzoek van deze omvang en geldend voor zo'n groot speelveld aan stakeholders, kan niet vanuit één gezichtspunt worden opgesteld. Daarom is een aantal validatiesessies gehouden, waarvan de resultaten zijn weergegeven in hoofdstuk 3, 4, 5 en 6. Met deze activiteiten is niet alleen gewerkt aan het finetunen van de onderzoeksresultaten, maar ook aan het creëren van draagvlak om in de toekomst sector breed met de onderzoeksresultaten aan de slag te gaan.

### 3 ONDERZOEKSRESULTATEN

Het resultaat van dit onderzoek is een overzicht met technieken, (sociale) innovaties en kerntaken waarvoor geldt dat binnen een bepaalde termijn voldoende bijscholingsaanbod ontwikkeld moet zijn om kennisgaps in de (nabije) toekomst te voorkomen. De methode bestaat uit verschillende lagen, gefocust op de marktrijpheid, de innovatierijpheid en de beschikbaarheid van bijscholing. De verschillende aspecten uit de analyse kunnen in de bijgeleverde spreadsheet los bekeken worden door handmatig sorteringen aan te brengen. De onderzoeksresultaten zijn opgesplitst in de resultaten voor de korte, middellange en lange termijn.

Voor dit onderzoek “Innovatie Analyse smart maintenance infrasector” is vooral de termijn waarop geïnvesteerd moet worden een belangrijk criterium. Door een combinatie te maken van innovatierijpheid, verwachte ontwikkelingssnelheid en de beschikbare bijscholing kunnen er uitspraken gedaan worden voor ontwikkeling van bijscholing op korte, middellange en lange termijn. De termijnen waarbinnen geïnvesteerd moet worden in bijscholing zijn gedefinieerd in drie categorieën:

- Korte termijn van 0 tot 1 jaar;
- Middellange termijn van 1 tot 3 jaar;
- Lange termijn van 3 tot 5 jaar.

In onderstaande tabellen zijn de resultaten gesorteerd op basis van 3 thema’s: Fysieke werkelijkheid, digitale werkelijkheid en organisatie, proces en informatie.

In een aparte tabel is voor iedere techniek, (sociale) innovatie en kerntaak een kwalitatieve beschrijving van het resultaat en de context opgenomen. Dit om verdere prioritering voor opname in jaarplannen en begrotingen te onderbouwen.



Afb. 3.1. Lagen van de toegepaste Innovatie Analyse methode.

### 3.1 KORTE TERMIJN BIJSCHOLING (0 - 1 JAAR)

De prioritering voor de korte termijn is weergegeven in tabel 3.1. In tabel 3.2 wordt meer context gegeven voor de desbetreffende innovaties.

Tabel 3.1 Prioritering korte termijn bijscholing (0 - 1 jaar)

Techniek	Maatwerk kennisoverdracht	Bijscholing op aanvraag	Bijscholing breed beschikbaar	Deel van regulier onderwijs
<b>Fysieke werkelijkheid</b>				
Inzet sensoren t.b.v. smart maintenance (selectie meetpunten en technisch specificeren)	Ja	Ja	Nee	Nee
<b>Digitale werkelijkheid</b>				
Data-analyse rondom de asset	Ja	Ja	Gedeeltelijk	Nee
<b>Organisatie, proces en informatie</b>				
Informatiestandaarden selecteren (voor eigen organisatie)	Ja	Gedeeltelijk	Nee	Nee
Ketensamenwerking bevorderen	Ja	Gedeeltelijk	Nee	Nee
Kennisbehoud en -overdracht van taciete kennis	Ja	Gedeeltelijk	Gedeeltelijk	N.v.t.
Best practices vastleggen	Ja	Ja	Gedeeltelijk	Nee
Innovatie stimulatie (organisatorisch ruimte creëren om te experimenteren)	Ja	Ja	Gedeeltelijk	Gedeeltelijk
Informereren stakeholders (externe communicatie)	Ja	Ja	Nee	Nee

Een aantal van de hierboven genoemde onderwerpen komen niet terug in de onderstaande tabel, voor deze technieken is korte termijn bijscholing van groter belang maar hier is op het moment geen investering in nodig. Het gaat hierbij om de volgende:

- Data-analyse rondom de asset;
- Informatiestandaarden selecteren (voor eigen organisatie);
- Best practices vastleggen;
- Informeren stakeholders (externe communicatie).

De kennis voor bovenstaande technieken is genoeg op orde dat deze niet bovenaan in de prioriteitenlijst komen, de kennis is aanwezig en wordt actief gedeeld alleen nog niet iedereen heeft de beschikbare kennis gevonden. Het kan nog wel nuttig zijn om de beschikbare kennis actief te promoten.

Tabel 3.2 gaat dieper in op de prioritering van de nog niet genoemde technieken, (sociale) innovaties en innovaties.

Tabel 3.2 Context korte termijn bijscholing (0 - 1 jaar)

Korte termijn investering (0-1 jaar)	Context prioriteit en ontwikkelingspanning
<b>Fysieke werkelijkheid</b>	
Inzet sensoren t.b.v. smart maintenance	Dit is afhankelijk van het soort sensor en de toepassing ervan. In de praktijk is te zien dat dit bij de meeste sensoren goed gaat en dit geen knelpunt vormt. Alleen voor specifieke toepassingen vormt



(selectie meetpunten en technisch specificeren)	dit een uitzondering. Voor het grootste deel wordt hier al in geïnvesteerd en loopt dit al goed. Voor de sensoren waarvoor dit niet goed loopt is in de praktijk te zien dat deze niet altijd de data leveren die gewenst zou zijn. De kennis is hiervan niet altijd even goed op orde waardoor de verwachtingen verkeerd liggen en deze niet goed in de functionele specificatie passen. Meer ervaring opdoen met deze sensoren en verschillende toepassingen zou hierbij kunnen helpen.
<b>Organisatie, proces en informatie</b>	
Ketensamenwerking bevorderen (stakeholders)	De motivatie in de praktijk is hiervoor aanwezig. Partijen en stakeholders stappen enthousiast in nieuwe samenwerkingen. Dit enthousiasme neemt alleen in het proces af. De wet- en regelgeving en contracten die ten grondslag liggen aan deze samenwerking, gecombineerd met gelimiteerde kennis bij de opdrachtgever, limiteren de vrijheid en mogelijkheden. Er moet goed naar de onderliggende redenen gekeken worden waarom dit enthousiasme in de praktijk afneemt, zodat dit proces versterkt kan worden en de transitie soepeler kan verlopen. Open communicatie en samenwerking kunnen sterke middelen zijn om tot de bron van dit probleem te komen.
Kennisbehoud en -overdracht taciete kennis	<p>Dit is zeer belangrijk om goed in te regelen. Het aanbod aan nieuwe vakmensen in de markt is krap en de vergrijzing neemt toe. Uit de praktijk komt terug dat dit een van de redenen is dat de sector overstapt op datagedreven werken, omdat dit veel werkzaamheden waar ervaringskennis voor nodig is versimpeld. Dit is een goede ontwikkeling. Het kunnen ervaren, voelen en aanhoren van de conditie vergt jarenlange ervaring, wat de nieuwe generatie niet zomaar tot zich kan nemen.</p> <p>De sector lijkt zich in een impasse te bevinden, met de keuze tussen de focus op taciete kennis of op gezamenlijke implementatie van smart maintenance. De conservatieve natuur/identiteit van de infrasector lijkt geen optimale bodem voor data gedreven asset management/smart maintenance. Wanneer een bedrijfscultuur conservatief is en blijft, dan zou het beste ingezet kunnen worden op het behouden van taciete kennis. Als dit niet het geval is en toch de keuze voor smart maintenance gemaakt wordt, dan moet er actief gestuurd worden op cultuur van het bedrijf. Dit lijkt een groot dilemma in de sector op het moment, waar ook beter eerder dan later een antwoord voor moet komen. Duidelijke visie lijkt bij sommige delen in de sector te ontbreken, de keuze wordt niet gemaakt en beide implementaties blijven achter waardoor maar een beperkt resultaat wordt behaald. De focus zou moeten liggen op het maken van de keuze en tegelijkertijd om een goede oplossing te vinden om de benodigde kennis in de overgang niet verloren te laten gaan.</p>
Innovatie stimulatie (ruimte creëren om te experimenteren)	<p>Niet alle bedrijven zijn even ver met deze innovatie, sommige bedrijven zijn erg ver en andere juist helemaal niet. Wanneer een bedrijf hier nog niet ver mee is en er gekozen wordt voor smart maintenance, dan is hiervoor extra aandacht nodig om deze transitie succesvol te laten verlopen. Zie 'Kennisbehoud en -overdracht taciete kennis' voor meer informatie.</p> <p>Een groeiende groep is bezig met pilots en proeftuinen. Een belangrijk onderscheid in dit vraagstuk is ook aan welke kant innovatie binnen een bedrijf nodig is, denk aan vanuit het bedrijf zelf (is er ruimte om te innoveren) of vanuit de mens (hoe activeer/begeleid je mensen naar dit gedachtengoed).</p>

### 3.2 MIDDELLANGE TERMIJN BIJSCHOLING (1 - 3 JAAR)

De prioritering voor de middellange termijn is weergegeven in tabel 3.3. In tabel 3.4 wordt meer context gegeven voor de desbetreffende innovaties.

Tabel 3.3 Prioritering middellange termijn bijscholing (1 - 3 jaar)

Techniek	Maatwerk kennisoverdracht	Bijscholing op aanvraag	Bijscholing breed beschikbaar	Deel van regulier onderwijs
<b>Fysieke werkelijkheid</b>				
Functioneel specificeren (definiëren van je meetbehoefte)	Gedeeltelijk	Nee	Nee	Nee

Data validatie (samenwerking data en fysieke werkelijkheid)	Ja	Gedeeltelijk	Gedeeltelijk	Nee
Reverse engineering (relaties onderzoeken in bestaande objecten)	Gedeeltelijk	Nee	Nee	Nee
<b>Digitale werkelijkheid</b>				
Werken met dashboards (interpreteren en toepassen in praktijk)	Ja	Gedeeltelijk	Nee	Nee
<b>Organisatie, proces en informatie</b>				
Verandermanagement implementeren (draagvlak voor smart maintenance creëren in organisatie)	Ja	Ja	Nee	Nee
Leercultuur bevorderen (in organisatie)	Ja	Ja	Nee	Nee
Tolk functie tussen verschillende disciplines (vakjargon)	Nee	Nee	Nee	Nee

Tabel 3.4 gaat dieper in op de prioritering van de technieken, (sociale) innovaties en innovaties.

Tabel 3.4 Context middellange termijn bijscholing (1 - 3 jaar)

Middellange termijn investering (1 - 3 jaar)	Context prioriteit en ontwikkelingspanning
<b>Fysieke werkelijkheid</b>	
Functioneel specificeren (definiëren van je meetbehoefte)	Dit is een belangrijke vaardigheid voor smart maintenance. Uit de praktijk komt terug dat dit nogal eens misgaat en dat sensoren niet de verwachte resultaten geven, door ontbrekende kennis zijn de verwachtingen van tevoren niet goed waardoor de resultaten tegenvallen. Dit is hoofdzakelijk het geval voor niet standaard toegepaste producten.
Data validatie (samenwerking data en fysieke werkelijkheid)	Dit is een competentie die ontstaat door de samenwerking tussen techneuten en data analisten. Er moet een gezamenlijke taal ontwikkeld worden tussen beide disciplines die op het moment nog niet uitontwikkeld is. Dit kan concrete vorm krijgen door middel van 'Tolk functie tussen verschillende disciplines (vakjargon)'. Als dit niet gebeurt dan kan het als resultaat geven dat er ruis op de lijn zit en er verkeerde afspraken gemaakt worden, waardoor er een verschil tussen de theorie en praktijk ontstaat.
Reverse engineering (relaties onderzoeken in bestaande objecten)	Dit is een doorlopend leerproces en deels afhankelijk van data-analyses uit eerdergenoemde onderwerpen.
<b>Digitale werkelijkheid</b>	
Werken met dashboards (interpreteren en toepassen in praktijk)	Een belangrijke vaardigheid om te leren omgaan met de grote hoeveelheid data die beschikbaar is uit verschillende assets. Het heeft een redelijke leercurve om te leren omgaan met grote hoeveelheden data, en te kunnen onderscheiden wat relevante data is en wat niet en hoe deze data vervolgens te interpreteren. Of hoe het dashboard dit moet doen voor de gebruiker. Een voorbeeld uit de praktijk is dat van bijvoorbeeld 400 assets alleen de tien assets getoond worden die de meeste storingen vertonen.
<b>Organisatie, proces en informatie</b>	
Verandermanagement implementeren (draagvlak voor smart maintenance creëren in organisatie)	Het overgaan naar datagedreven werken vraagt veel aanpassingen in zowel werkzaamheden als houdingen van werknemers en werkgevers. Verandering gaat vrijwel altijd gepaard met een initiële weerstand die doorbroken moet worden. Faciliterende elementen, zoals in dit geval common practices en theorieën over verandermanagement zullen niet direct de perfecte oplossing bieden, maar geven wel opties die relatief goed toe te passen kunnen zijn en het proces ondersteunen.
Leercultuur bevorderen (in organisatie)	Door de huidige cultuur en voorgang van smart maintenance wordt dit minder gedaan dan gewenst. In de praktijk houdt dit innovatie tegen, die later in het proces van veel meerwaarde zou kunnen zijn. Hier komt langzaam verandering in. Deze innovatie moet in de gaten gehouden worden, maar er is wel vooruitgang.

Tolk functie tussen verschillende disciplines (vakjargon)	Dit is een zeer belangrijke innovatie, alleen nog lastig om duidelijk in te vullen. De omslag naar datagedreven werken vergt veel nieuwe samenwerkingen tussen verschillende disciplines. Dit benadrukt de urgentie om dit zo goed mogelijk te laten verlopen, zodat er ook geen onnodige frustraties ontstaan. De wil in de markt is aanwezig, maar het is nog niet duidelijk hoe dit moet worden ingevuld.
---	--

### 3.3 LANGE TERMIJN BIJSCHOLING (3 – 5 JAAR)

De volgende technieken, (sociale) innovaties en kerntaken hebben een investeringstermijn van 3 tot 5 jaar. Het is lastig om zo ver van tevoren te kunnen voorspellen of deze onderwerpen in de toekomst daadwerkelijk zo uitkomen als nu gedacht. Deze lijst zou in de komende jaren in de gaten gehouden moeten worden of hier een duidelijke vooruitgang te zien is, maar directe actie is op dit moment nog niet nodig.

Tabel 3.5 Prioritering lange termijn bijscholing (3 - 5 jaar)

Techniek	Maatwerk kennisoverdracht	Bijscholing op aanvraag	Bijscholing breed beschikbaar	Deel van regulier onderwijs
<b>Fysieke werkelijkheid</b>				
Toepassen opkomende/innovatieve mobiele meetapparatuur (drones bijvoorbeeld)	Ja	Nee	Nee	Nee
<b>Digitale werkelijkheid</b>				
Gebruiken digital twin	Ja	Nee	Nee	Nee
Ontwikkelen, valideren en gebruik van algoritmen	Gedeeltelijk	Nee	Nee	Nee

Tabel 3.6 gaat dieper in op de prioritering van de technieken, (sociale) innovaties en innovaties.

Tabel 3.6 Context lange termijn bijscholing (3 - 5 jaar)

Lange termijn investering (3-5 jaar)	Context prioriteit en ontwikkelingspanning
<b>Fysieke werkelijkheid</b>	
Toepassen opkomende/innovatieve mobiele meetapparatuur (drones bijvoorbeeld)	Deze innovatie heeft potentie om veel standaard werkzaamheden weg te nemen of te ondersteunen. Het heeft geen hoge urgentie, maar met het matige aanbod van opkomende vakmensen en het feit dat er veel mensen met pensioen gaan, kan dit toch een gedeelte van de oplossing zijn. Groeiende groep die hier mee bezig is.
<b>Digitale werkelijkheid</b>	
Gebruik digital twin	Het gebruik van een digital twin kan veel meerwaarde met zich meebrengen in de praktijk, maar wordt nog niet veelvuldig toegepast. Wanneer de overige technieken, (sociale) innovaties en kerntaken verder ontwikkeld zijn is de verwachting dat deze techniek ook meer in gebruik zal worden genomen.
Ontwikkelen, valideren en gebruik van algoritmen	Deze innovatie staat nog in de kinderschoenen. Zodra de ontwikkelingen in de sector verder zijn, dan zal deze innovatie een grotere rol gaan spelen.

### 3.4 BELANGRIJKE OVERIGE TECHNIEKEN, (SOCIALE) INNOVATIES EN KERNTAKEN

Alle technieken, (sociale) innovaties en kerntaken uit tabel 3.7 kunnen niet geanalyseerd worden in de innovatie analyse. Deze verschillen te veel per organisatie om hier iets concreets over te kunnen zeggen.

Tabel 3.7 Belangrijke overige technieken, (sociale) innovaties en kerntaken

Techniek/innovatie	Context prioriteit en ontwikkelinspanning
<b>Organisatie, proces en informatie</b>	
<b>Beveiligen datanetwerk (cybersecurity)</b>	Er wordt zwaar op het beveiligen van datanetwerken gestuurd door middel van wet- en regelgeving. Het is op dit moment te situationeel om te versnellen op gebied van bijscholing of investeringen.
<b>Inrichten contracten</b>	Naast dat deze innovatie te verschillend is per organisatie, is deze ook contract specifiek. De contracten zijn veelal eenrichtingsverkeer wat verbetering op de rest van de vlakken in de weg kan zitten. Er is verbetering mogelijk in de contracten wat over de hele linie voor vooruitgang zou kunnen zorgen, door meer vrijheid te bieden om te communiceren en te innoveren.
<b>Bevorderen open kennisdeling</b>	Dit is een belangrijk onderwerp wat de aandacht nodig heeft. Deze innovatie is belangrijker dan het op het eerste gezicht lijkt. De praktijk leert dat wanneer men in hetzelfde proces maar niet in dezelfde fase zitten, dit veel ruis kan geven in de communicatie en vooruitgang in de weg kan zitten.
<b>Werkproces herontwerpen/adapteren (herontwerpen en aanpassen)</b>	Een belangrijk onderwerp, maar dit is te verworven in de identiteit, aanpak en waarden van de specifieke organisatie als je kijkt naar de invulling hiervan.

### 3.5 VERANDERINGEN ONDERWERPEN

Tijdens het proces van de innovatie analyse is een aantal termen en definities gewijzigd, de wijzigingen zijn in Tabel 3.8 te vinden:

Tabel 3.8 Termwijzigingen

Oude term	Nieuwe term	Reden
Inzet sensoren bepalen aan de hand van risicoanalyse asset en kosten/baten	Inzet sensoren t.b.v. smart maintenance (selectie meetpunten en technisch specificeren)	In de analyse komen beide punten op hetzelfde neer en met dezelfde invulling. Deze twee innovaties zijn samengevoegd.
-	Functioneel specificeren	Naast technisch specificeren een belangrijk onderwerp om ook onder de aandacht te brengen.
Toepassen van mobiele meetapparatuur (drones bijvoorbeeld)	Toepassen opkomende/innovatieve mobiele meetapparatuur (drones bijvoorbeeld)	Tekstuele verduidelijking.
Inrichten van datanetwerk hardware (bekabeling, servers e.d.) Beveiligen van het datanetwerk (fysiek en cybersecurity)	Inrichten van datanetwerk (hardware: bekabeling, servers, beveiliging)	Het inrichten en beveiligen van datanetwerken komt in de praktijk op hetzelfde neer, samengevoegd met deze reden.
Analyseren van data, trendanalyses, in context van de asset	Data-analyse rondom de asset	Tekstuele verduidelijking.
Valideren van data in de praktijk ten behoeve van betrouwbare data toepassing.	Data validatie (samenwerking data en fysieke werkelijkheid)	Tekstuele verduidelijking.

Degradatie- en faalmechanismen (her)kennen en onderzoeken (FMECA)	FMECA: Failure Mode Effect & Critical Analysis	Tekstuele verduidelijking.
Relaties onderzoeken via reverse engineering	Reverse engineering (relaties onderzoeken in bestaande objecten)	Tekstuele verduidelijking.
Ontwerpen digital twin	Gebruiken digital twin	Er komen geen duidelijke verschillen uit tussen deze onderwerpen. Deze onderwerpen vormen in de praktijk één proces, de verschillende stappen kunnen niet zonder elkaar. Met deze reden samengevoegd.
Gebruiken digital twin		
Simuleren met digital twin		
Valideren van algoritmen	Ontwikkelen, valideren en gebruik van algoritmen	Deze onderwerpen vormen in de praktijk één proces, de verschillende stappen kunnen niet zonder elkaar.
Ontwikkelen van algoritmen		
Data filteren en prioriteren	-	Komt te vervallen, omdat deze op hetzelfde neerkomt als data-analyse.
Inrichten data toegankelijkheid	Inrichten data toegankelijkheid (intern)	Deze twee onderwerpen lopen te veel uit elkaar om samen te kunnen behandelen.
	Inrichten data toegankelijkheid (extern)	
Juridisch inrichten eigendom van data	-	Komt te vervallen, omdat deze op hetzelfde neerkomt als contracten.
Databeheer op organisatieniveau	-	Komt te vervallen, omdat deze op hetzelfde neerkomt als data-analyse en -validatie.
Bevorderen van samenwerken op basis van vertrouwen en open kennisdeling/ <b>transparantie</b>	Bevorderen open kennisdeling	Tekstuele verduidelijking.
Draagvlak voor smart maintenance in de organisatie creëren, verandermanagement	Verandermanagement implementeren (draagvlak voor smart maintenance creëren in organisatie)	Tekstuele verduidelijking.
Verbinden van stakeholders in de toegevoegde waarde van smart maintenance (waarde creatie)	Ketensamenwerking bevorderen (stakeholders)	Tekstuele verduidelijking.
<b>Ruimte creëren om te experimenteren</b>	Innovatie stimulatie (ruimte creëren om te experimenteren)	Tekstuele verduidelijking.
Herontwerpen van werkprocessen rondom smart maintenance	- Werkproces herontwerpen/adapteren (herontwerpen en aanpassen)	Tekstuele verduidelijking.
Faciliteren van het gesprek (Wat is goed onderhoud, faalkans, acceptatie)	Informerende stakeholders (externe communicatie)	Tekstuele verduidelijking.

---

## 4 VALIDATIE

Na validatie van de resultaten met diverse stakeholders en experts zal in dit hoofdstuk een aanvulling worden gegeven over het validatieproces en de uitkomsten daarvan.

De geïdentificeerde technieken, (sociale) innovaties en kerntaken zijn gedestilleerd van de eerdere onderzoeksfasen van dit Camino project, namelijk de 'beroepen en specialismen' inventarisatie en de 'skillsmapping'. De eerste opzet voor deze innovatie analyse is gedaan door ISSO op basis van deskresearch, met ook de eerdere interviews als context en referentiepunt.

Door middel van validatiesessies met kennisleveranciers is het resultaat aangescherpt. Wat heeft geresulteerd in inzicht in de status van de markt en het bijscholingsaanbod in de infrasector, voor de geselecteerde technieken, (sociale) innovaties en kerntaken.

De resultaten zijn opgenomen in hoofdstuk 3 van dit rapport. Naast de "droge"/ "ruwe" resultaten is de context ook zeer belangrijk om goed in te spelen op de uitdagingen die ervoor datagedreven werken omhoogkomen, omdat dit het meeste zegt over de urgentie en toegevoegde waarde van bepaalde technieken, (sociale) innovaties en kerntaken. Voornamelijk de sociale aspecten van datagedreven asset management krijgen veel meer waarde met deze context.

---

## 5 CONCLUSIES

Het doel van dit onderzoek is het inzicht geven in de huidige en opkomende technologieën, (sociale) innovaties en kerntaken, het huidige bijscholingsaanbod en de match tussen de voorgaande punten. Het resultaat is een compleet overzicht van het verwachte ontwikkeltempo van opkomende technologieën en innovaties en voor welke technieken en innovaties bijscholing nodig is. Dit leidt tot een agenda en prioritering voor ontwikkeling van bijscholing, met aangescherpte programmering op de middellange en lange termijn, voor de periode van 2024 tot 2029.

Inzichtelijk is geworden voor welke technologieën en vaardigheden de ontwikkeling of herziening van cursusmateriaal prioriteit heeft op korte, middellange en lange termijn.

De volgende onderwerpen moeten in 2024 de hoogste prioritering krijgen:

- Inzet sensoren ten behoeve van smart maintenance (selectie meetpunten en technisch specificeren)
- Ketensamenwerking bevorderen (stakeholders)
- Kennisbehoud en -overdracht van taciete kennis
- Innovatie stimulatie (ruimte creëren om te experimenteren)
- Beveiligen datanetwerk (cybersecurity)

De kennis van de onderstaande technieken is genoeg op orde dat deze niet bovenaan in de prioriteitenlijst komen, de kennis is aanwezig en wordt actief gedeeld alleen nog niet iedereen heeft de beschikbare kennis gevonden. Het kan nog wel nuttig zijn om de beschikbare kennis actief te promoten.

- Data-analyse rondom de asset;
- Informatiestandaarden selecteren (voor eigen organisatie)
- Best practices vastleggen;
- Informeren stakeholders (externe communicatie).

Deze onderwerpen dragen eraan bij om de overgang naar smart maintenance of de focus op taciete kennis verder op gang te brengen en toekomstige ontwikkelingen goed te kunnen ondersteunen.

Punten die in 2025 en de jaren daaropvolgend belangrijk zijn om aandacht aan te besteden zijn als volgt:

- Functioneel specificeren (definiëren van je meetbehoefte)
- Reverse engineering (relaties onderzoeken in bestaande objecten)
- Verandermanagement implementeren (draagvlak voor smart maintenance creëren in organisatie)
- Leercultuur bevorderen (in organisatie)
- Tolk functie tussen verschillende disciplines (vakjargon)
- Inrichten contracten
- Bevorderen open kennisdeling

Deze onderwerpen borduren voort op de bovenstaande onderwerpen, die hogere prioriteit hebben.

Gedurende het hele proces van de innovatieanalyse, de skillsmapping en het in kaart brengen van de beroepen en specialismen kwam meerdere keren naar voren dat de techniek er wel is en dat dit ook op de juiste manieren actueel blijft. De grotere uitdaging komt meer in de vorm van sociale en innovatieve vormen van samenwerken.

Verder lijkt de sector zich in een impasse te bevinden, met de keuze tussen de focus op taciete kennis of op gezamenlijke implementatie van smart maintenance. De conservatieve natuur/identiteit van een deel van de bedrijven in de infrasector lijkt geen optimale bodem voor data gedreven asset management/smart maintenance. Wanneer een bedrijfscultuur conservatief is en blijft, dan zou het beste ingezet kunnen worden op het behouden van taciete kennis. Als dit niet het geval is en toch de keuze voor smart maintenance gemaakt wordt, dan moet er actief gestuurd worden op cultuur van het bedrijf. Dit lijkt een groot dilemma in een deel van de sector op het moment, waar ook beter eerder dan later een antwoord voor moet komen. Duidelijke visie lijkt bij sommige delen in de sector te ontbreken, de keuze wordt niet voor 100% gemaakt en beide implementaties blijven achter waardoor een beperkt resultaat maar wordt behaald. De focus zou moeten liggen op het maken van de keuze en tegelijkertijd om een goede oplossing te vinden om de benodigde kennis in de overgang niet verloren te laten gaan.

Uit het onderzoek blijkt verder ook dat de sector een belangrijk sturend orgaan lijkt te missen dat zich richt op het sectorbreed aansturen van onderwijs, kennisontwikkeling en bijscholing. Het ontbreken van een dergelijk orgaan belemmert de implementatie van onderzoeksresultaten en het doorvoeren van noodzakelijke verbeteringen binnen de sector.

Een dergelijk orgaan kan sectorbrede uitdagingen effectief aanpakken door niet alleen praktische problemen in de praktijk te voorkomen, maar ook door opkomende technieken en trends te signaleren die kennishiaten of toekomstige knelpunten kunnen veroorzaken. Als verbindende schakel tussen onderwijs, praktijk en onderzoek kan het zorgen voor een gecoördineerde en duurzame aanpak van verbeteringen.

Om effectief te zijn zou dit orgaan zich moeten richten op vier kernactiviteiten:

- Monitoren en signaleren: Het identificeren van kennis- en vaardigheidsbehoeften binnen de sector.
- Coördineren: Het opzetten en beheren van initiatieven voor bijscholing en kennisdeling.
- Implementeren: Het vertalen en toepassen van onderzoeksresultaten in de praktijk
- Standaardiseren: Het ontwikkelen van richtlijnen en best practices die breed inzetbaar zijn.



---

## 6 AANBEVELINGEN

Om de matrix up-to-date te houden, adviseren wij om tweejaarlijks de matrix door te nemen op ontwikkelingen en vervolgens de prioritering van bijscholingsontwikkeling. Houd hierbij rekening dat vooral overheidsagenda's en initiatieven voor sterke veranderingen in het beeld kunnen zorgen. Daarnaast is het nuttig om aanpalende sectoren mee te nemen in een toekomstige update, denk hierbij aan netbeheerders, de IT-sector, etc. Dit omdat in de praktijk de samenleving steeds meer verbonden wordt aan de techniek. Zo kan het bereik en het draagvlak van het onderzoek uitgebreid worden.

De algemene vraag die gesteld moet worden is of de focus op overdracht van taciete kennis of op de implementatie van smart maintenance. Afhankelijk van de gemaakte keuze is het advies om op dat gebied meer specialistische trainingen met een focus op effectieve samenwerking en "soft skills" te organiseren.

Bij het toepassen van smart maintenance is het advies om bepaalde beroepen actiever met elkaar laten optrekken, zoals IT, techneuten en data analisten. Dit kan de innovatieslag versnellen. Het gedachtengoed dat mensen specialist zijn op individueel niveau zou gestuurd moeten worden richting het overkoepelende thema van de nieuwe samenwerking. Het is geen competitie maar een samenwerking.

Een goede stimulatie voor innovatie en dus ook smart maintenance kan zijn om aannemers gedeeltelijk eigenaar te maken van contracten. Hiermee trekt iedereen in de keten gelijk op vormt er een stevigere band tussen de aannemer en de klant en de opdrachtgever en de aannemer, wat op zijn beurt weer ruimte geeft voor meer context en betere mogelijkheden de opdracht volledig uit te kunnen voeren.

Om verder te komen in de doorontwikkeling is een duidelijk begrip van wat smart maintenance precies is voor de hele sector erg belangrijk, ook om dit samen te beslissen. De hele sector zit dan meer op één lijn en heeft een duidelijk doel om naartoe te werken en om gezamenlijk standaarden te kiezen die het beste voor de hele sector werken. Op deze manier gaat er ook minder tijd verloren in samenwerkingsverband.

Als laatste adviseren wij om samen met relevante stakeholders een sturend orgaan te ontwikkelen dat zich richt op sectorbreed aansturen van onderwijs, kennisontwikkeling en bijscholing. Dit kan de sector in staat stellen om op een efficiënte, toekomstgerichte manier te investeren in onderwijs en kennisdeling, en zo structurele verbeteringen mogelijk maken.

## BIJLAGE A METHODIEK ANALYSE EN RANKING TECHNOLOGIEËN

Onderstaand is een uitgebreide toelichting opgenomen waarin de opbouw van het model is beschreven.

### A.1 Opzet en werking model

Om inzicht te krijgen in hoe de huidige en verwachte technologieën in de markt staan is een ranking gemaakt. Deze ranking bepaalt voor welke technologieën en kennisgebieden ontwikkeling van opleidingsmateriaal het meest relevant is, op welke termijn en in welke vorm. De ranking is gebaseerd op een aantal criteria, onderverdeeld in innovatiesystemen en marktfases, type innovaties, functies van het innovatiesysteem en criteria op basis van risico's.

Naast de criteria voor de ranking zijn de technologieën en kennisgebieden ook beoordeeld op de beschikbaarheid van opleidingsmateriaal op dit moment. Dit vormt de nulmeting van het beschikbare opleidingsaanbod. Samen met het benodigde opleidingsmateriaal geeft dit aan welk opleidingsmateriaal op genoemde termijn beschikbaar moet zijn.

De gebruikte criteria worden in de volgende paragrafen toegelicht. Bij het opstellen van de criteria is, waar relevant, gebruik gemaakt van een 5-puntsschaal met 'gaten'. Dit omdat het inschalen van de actuele situatie geen exacte wetenschap is. Door met 'gaten' te werken wordt het eenvoudiger mogelijk om de innovaties goed te plaatsen.

Tabel A.1 Scores 2 en 4 zijn 'gaten' voor als de innovatie lastig geplaatst kan worden.

Score	Uitleg	Voorbeeld
1	Product toepassing vereist geen aanpassing.	Nieuw type Cv-ketel, nieuw type benzineauto
2		
3	Product toepassing vraagt om kleine tot middelgrote aanpassingen.	Gebouwbeheersysteem, hybride auto
4		
5	Product is nieuw en niet vergelijkbaar met bestaande producten op de markt.	Brandstofcel, Elektrische auto

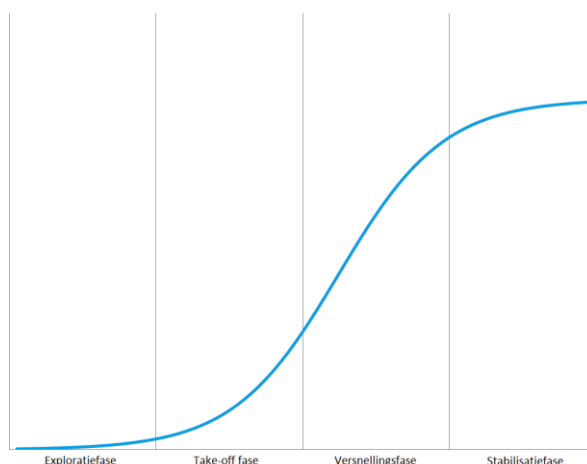
De hieronder uitgewerkte criteria zijn in dezelfde volgorde opgenomen in de spreadsheet.

### A.2 Innovatiesysteem en marktfases

Deze paragraaf beschrijft de gebruikte methode om de ontwikkeling van het innovatiesysteem en de marktfases te beschrijven aan de hand van de marktpenetratie. Hierbij wordt gekeken vanuit marktverzadiging en welke groepen in de markt inmiddels zijn bereikt met de innovatie.

#### Het innovatiesysteem

De ontwikkeling van het innovatiesysteem wordt gebruikt als de maatstaf voor hoever een product is ontwikkeld en hoe deze in de markt staat: de marktpenetratie. De marktpenetratie is de weerspiegeling van het percentage van de beschikbare markt die het betreffende product gebruikt, zie de blauwe lijn in afbeelding A.1. Dit criterium is sterk gerelateerd aan het innovatiesysteem. De benaming van de ontwikkelfases van een innovatiesysteem zijn doorgaans gekoppeld aan de marktpenetratie, zo ook in afbeelding A.1.



Afb. A.1 Grafische weergave van het innovatiesysteem op basis van de marktverzadiging

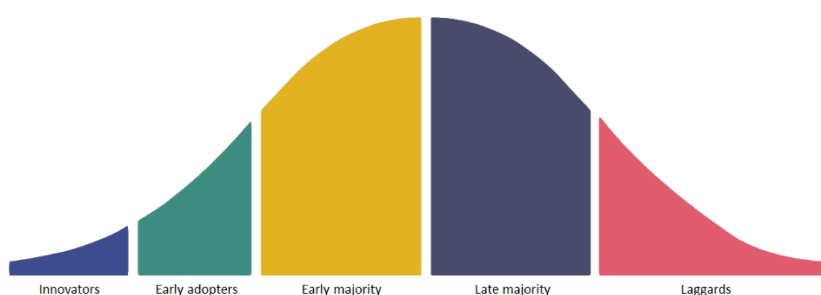
Onderstaand is een korte toelichting gegeven op de verschillende fasen.

- Exploratiefase** In de eerste fase van het ontstaan van een innovatiesysteem wordt gezocht naar nieuwe oplossingen, er kan een product zijn maar dit is nog niet volledig uitontwikkeld.
- Take-off fase** In de take-off fase is duidelijk geworden welke conceptproducten kansrijk zijn. Ook begint duidelijk te worden welke van die producten het meest succesvol is. Dit is het product dat door het merendeel van de bedrijven wordt overgenomen. Dit betekent nog niet dat het product volledig af is. Er zullen in deze fase nog afstemmingen plaatsvinden met de markt om te komen tot het definitieve product. Deze fase tekent zich met de start van de verkoop van een product. Het product gaat de competitie aan met bestaande producten.
- Versnellingsfase** Tijdens de versnellingsfase wordt het product als ware door het grote publiek gevonden. Hier vindt een zodanig snelle groei plaats, dat het een onomkeerbaar proces wordt. De nieuwe technologie is goed ingebed geraakt in de samenleving; er is veel afstemming ontstaan tussen wensen in de samenleving, institutionele structuren en de houding van bedrijven enerzijds en de nieuwe technologie anderzijds. De producten komen in een versnelling van verkoop terecht en het marktaandeel groeit snel.

**Stabilisatiefase** In deze laatste fase heeft het product zijn markt verzadigd, er worden weinig tot geen vernieuwde versies van het product meer in de markt gezet. De innovatie bereikt in deze fase het maximaal haalbare marktaandeel en wordt nu gezien als oude technologie. Het innovatie-systeem is niet meer sterk gericht op verbeteren van de innovatie en mag misschien geen innovatiesysteem meer genoemd worden. Een 'productie- en consumptiesysteem' is er nu een betere aanduiding voor.

### Groepen in de marktpenetratie

Marktverzadiging is een maat voor de marktpenetratie en gaat over de relatie tussen de beschikbare markt voor een product en hoe het product op het moment in de markt staat. In afbeelding A.1 is dit gerelateerd aan de *ontwikkeling* van de innovatie en het systeem. In afbeelding A.2 is de marktpenetratie gerelateerd aan verschillende categorieën kopers of gebruikers, die ieder hun eigen kenmerken hebben. Het oppervlak van de grafiek in afbeelding A.2 staat voor het percentage aan kopers of gebruikers (actoren) wat zich in deze categorie bevindt.



Afb. A.2 Grafische weergave van de marktpenetratie, met oppervlakte van de fasen als percentage

Onderstaand is een korte toelichting gegeven op de verschillende categorieën.

**Innovators (2,5%)** Een kleine groep mensen met visie en verbeelding. Zij steken vaak veel energie, tijd en creativiteit in het zoeken en uitproberen van nieuwe ideeën of spullen en praten daar graag over.

**Early adopters (13,5%)** Mensen die steeds op zoek zijn naar nieuwe ideeën en spullen om daarmee hun voordeel te doen. Zij worden graag gezien als voortrekkers. Ze praten graag over hun vernieuwingen en zijn daarom goede verkondigers van de boodschap van de innovatie.

**Early majority (34%)** Praktisch ingestelde mensen die met mate vernieuwingen omarmen; ze staan open voor iets nieuws, maar dit moet duidelijk voordeel bieden. Meerderheden zijn kostenbewust en houden niet van risico's. Ze hebben een voorkeur voor standaardartikelen met een goede garantie.

**Late majority (34%)** Meer behoudend ingestelde pragmatici die er geen zin in hebben uit de boot te vallen en om die reden de algemene mode en gevestigde praktijken volgen. Ze zijn kostenbewust en terughoudend met het nemen van risico's.

**Laggards (16%)** Blijven zich verzetten tegen nieuwe ideeën of spullen omdat ze daarin te veel risico zien. De laggards zijn vaak gevoelig voor kritiek.

### A.3 Type innovatie

Nieuwe producten stellen vaak nieuwe eisen aan de gebruikers. Het kan zijn dat het product een simpele upgrade is van een al bestaand product, maar het kan ook een compleet nieuw product zijn. In deze paragraaf wordt toegelicht welke categorieën van innovaties onderscheiden worden en wat hierbij de criteria zijn.

De gebruikte indelingen van de innovaties zijn:

- Incrementeel versus radicaal
- Modulair versus systeeminnovatie

Algemeen kan gesteld worden dat bij radicale en systeeminnovaties ingrijpende aanpassingen in de markt nodig zijn voordat ze gebruikt kunnen worden. Bij modulaire en incrementele innovaties zijn deze aanpassingen minimaal: als de innovatie op de markt is, kan de markt deze gelijk gaan gebruiken.

#### Incrementele versus radicale innovatie

Dit criterium geeft de mate aan waarin kennis en vaardigheden van organisaties moeten worden aangepast om de nieuwe technologie te kunnen produceren of toe te passen. In sommige gevallen zal die vereiste aanpassing minimaal zijn; we spreken dan van incrementele innovaties. In andere gevallen zal deze aanpassing juist groot moeten zijn; we spreken dan van radicale innovaties.

In het geval van radicale innovaties kunnen bestaande kennis en vaardigheden in één keer irrelevant worden, denk aan de opkomst en marktpenetratie van de elektrische auto die kennis van onderhoud van brandstofmotoren (op termijn) overbodig maakt. Radicale innovaties berusten op nieuwe wetenschappelijke of technische inzichten. Omdat dit voor veel bestaande bedrijven erg lastig is, bieden radicale innovaties dan ook vaak kansen voor nieuwe bedrijven. Radicale innovaties leiden niet alleen tot nieuwe producten; soms leiden ze door radicaal andere productiemethoden tot een verlaging van de productiekosten van technologie. We spreken dan van een procesinnovatie. Om technologieën te waarderen in deze indeling wordt tabel A.2 gebruikt.

Tabel A.2 Mogelijke scores op het criterium incrementele-/radicale innovatie

Score	Uitleg	Voorbeeld
1	Producttoepassing vereist geen aanpassing.	Nieuw type Cv-ketel, nieuw type benzineauto
2	Producten die niet goed bij 1, maar ook niet bij 3 passen	
3	Product toepassing vraagt om kleine tot middelgrote aanpassingen.	Gebouwbeheersysteem, hybride auto
4	Producten die niet goed bij 3, maar ook niet bij 5 passen	
5	Product is nieuw en niet vergelijkbaar met bestaande producten op de markt.	Brandstofcel, Elektrische auto

#### Modulaire-/systeem innovatie

Deze categorie gaat over de reikwijdte van de vernieuwing van de innovatie: verandert er een component, verandert het systeem of verandert zelfs de infrastructuur waarbinnen de technologie wordt toegepast?

Dit criteria heeft betrekking op de mate waarin aanpassingen nodig zijn in de sociaaleconomische of technische context waarin de nieuwe technologie als het ware ingebed wordt. Bestaande technologieën zijn ingebed in een breed kader van regelgeving, fabrikanten, leveranciers, betrokken partijen, gewoonten, infrastructurele organisatie et cetera. Als de noodzakelijke aanpassing in de sociaaleconomische en/of technische context van de innovatie minimaal is, spreken we van modulaire innovatie. Is deze daarentegen groot, dan hebben we te maken met een systeeminnovatie. Bijvoorbeeld de warmtepomp: er is regelgeving nodig m.b.t. geluidsoverlast en de elektrische infrastructuur moet verzwaard worden om voldoende vermogen te kunnen leveren.

Bij een modulaire innovatie gaat het om slechts enkele partijen die met een verandering te maken krijgen als gevolg van de innovatie; de rest van de sociaaleconomische en technische context kan onveranderd blijven. Bij een systeeminnovatie vraagt de innovatie veel veranderingen van een groot aantal partijen, meestal ook nog tegelijkertijd.

Een mooi voorbeeld van een systeeminnovatie in de bouwsector is het bouwen van huizen op basis van hout, de zogenaamde houtskeletbouw. Deze vorm van huizen bouwen vraagt veranderingen in alle denkbare schakels van de bouwsector, van architecten, materiaalleveranciers, bouwkundigen en bouwvakker tot aannemers. We zien dan ook dat deze vorm van huizen bouwen nauwelijks wordt aangeboden door gevestigde bedrijven, bedrijven die vooral kennis en ervaring hebben met bakstenen stapelen en betongieten. Het zijn specialistische bedrijven, met andere netwerken, die deze bouwvorm aanbieden. Om technologieën te waarderen wordt de indeling uit tabel A.3 gebruikt.

Tabel A.3 Mogelijke scores op het criterium Modulaire-/systeem innovatie

Score	Uitleg	Voorbeeld
1	Partijen hoeven zich niet of nauwelijks aan te passen.	Hoog isolerend glas
2	Innovaties die niet goed bij 1, maar ook niet bij 3 passen	
3	Een deel van de partijen moet zich aanpassen.	Warmtepomp, Decentrale balansventilatie
4	Innovaties die niet goed bij 3, maar ook niet bij 5 passen	
5	De meeste partijen die te maken hebben met het systeem moeten zich aanpassen.	Houtskeletbouw, Nul op de Meter renovaties

#### A.4 Functies van het innovatiesysteem

Lundvall, een van de grondleggers van het innovatiesysteemdenken zegt het als volgt: “De belangrijkste hulpbron in de moderne economie is kennis, en leren is daarin het belangrijkste proces”. De criteria om de impact van ‘leren en kennis’ voor nieuwe technieken goed in kaart te brengen worden hieronder toegelicht. Voor deze criteria is gebruik gemaakt van uitgebreid onderzoek dat is gedaan naar de functies van het innovatiesysteem (Suurs, R. en Hekkert, M).

Deze functies zijn onderstaand beschreven:

1. Ondernemersactiviteiten
2. Kennisontwikkeling
3. Kennisverspreiding
4. Richting geven aan het zoekproces
5. Markt creëren
6. Bronnen voor innovatie
7. Doorbreken van weerstand



Afb. A.3 Weergave van 'functies van het innovatiesysteem'



Afb. A.4 Het boek 'De innovatiemotor'

#### A.4.1 Ondernemersactiviteiten

De ondernemersactiviteiten die binnen het innovatiesysteemen denken belangrijk zijn, bestaan uit: experimenteren door ondernemers, met eerste commerciële projecten, demonstratieprojecten, en activiteiten voor portfolio-uitbreiding met de innovatie.

De rol van de ondernemers is het transformeren van het potentieel van nieuwe kennis, netwerken en markten in concrete acties om nieuwe bedrijfskansen te genereren en daar vervolgens financieel beter van te worden. De klassieke rol van de ondernemer is dus dat deze kennis vertaalt in economische kansen en, uiteindelijk, in succesvol toegepaste innovaties.

Ondernemers en hun activiteiten zijn onmisbaar bij het overwinnen van de fundamentele onzekerheden van beginnende technologieën. Deze onzekerheden komen soms voort uit een gebrek aan informatie maar soms ook uit de onmogelijkheid om alle consequenties van de toepassing van de technologie te overzien. Vaak bestaat er een gebrek aan aansluiting tussen de nieuwe technologie en de sociaal-technische omgeving waarin deze moet worden toegepast. Dit maakt de ontwikkeling van opkomende technologieën onvoorspelbaar, hoewel zij in de loop van de tijd proefondervindelijk kunnen worden aangepast aan de omgeving en omgekeerd. Door te experimenteren wordt er meer kennis opgedaan over het functioneren van de technologie onder verschillende omstandigheden. Zo kunnen reacties van consumenten, overheid, toeleveranciers en concurrenten worden geëvalueerd. Door te experimenteren met nieuwe technologie vinden dus veel leerprocessen plaats.

Om de aanwezigheid van de ondernemersactiviteit te waarderen wordt gebruik gemaakt van de scores in tabel A.4. Het aantal (pilot-)projecten en experimenten vormt hier het criterium.

Tabel A.4 Mogelijke scores voor de aanwezigheid van de functie Ondernemersactiviteiten

Score	Uitleg
1	Slechts enkele bedrijven experimenteren met het product/de technologie.
2	
3	Een groeiende groep bedrijven draaien pilots of experimenten voor het product/de technologie.
4	
5	Er worden veel pilots of experimenten voor het product/de technologie gestart.

#### A.4.2 Kennisontwikkeling

Kennisontwikkeling gebeurt via studies, laboratoriumexperimenten, pilots, *communities of practice* en leren in de praktijk

De belangrijkste vormen van leren zijn zoekend leren en ervaringsleren ('learning-by-searching' en 'learning-by-doing'). Zoekend leren is vooral het kennisontwikkelingsproces dat plaatsvindt aan universiteiten en onderzoekslaboratoria van bedrijven en onderzoeksinstituten. Het betreft zuiver wetenschappelijk onderzoek en toepassingsgericht onderzoek: Research and Development (R&D). Ervaringsleren is een ander proces. Het gaat hier om leren in de praktijk. Door met de technologie te werken, die te gebruiken dan wel te observeren in de praktijk, wordt kennis vergaard die niet in de laboratoria wordt gegenereerd. Bij ervaringsleren is de gebruiker van de innovatie van groot belang. Deze gebruiker wordt direct geconfronteerd met de plus- en minpunten van de innovatie. Technologieontwikkelaars dienen dan ook te leren van de ervaringen van de gebruiker om de innovatie te verbeteren zodat volgende generaties van de innovatie minder gebreken vertonen en beter zijn afgestemd op de wensen van de gebruiker.

Kennisontwikkeling is verbonden met het scheppen van variëteit in het innovatiesysteem: bij een krachtige kennisontwikkeling komen steeds meer keuzemogelijkheden beschikbaar, zowel in termen van technologieën als van mogelijke toepassingen. Deze variatie is goed om te ontdekken welk ontwerp van een nieuwe technologie wel en welk ontwerp niet geschikt is voor verdere ontwikkeling. Oneindig veel



variatie is daarentegen problematisch, omdat verdere ontwikkeling middelen vergen en middelen niet in oneindige mate aanwezig zijn. Na een periode van variatie is dan ook selectie nodig.

Om aan te geven hoe dicht op de praktijk de kennisontwikkeling plaats vindt, wordt gebruik gemaakt van de scores in tabel A.5.

*Tabel A.5 Kennisontwikkeling score*

Score	Uitleg
1	Kennisontwikkeling vindt vooral plaats aan universiteiten en onderzoekslaboratoria van bedrijven en onderzoeksinstellingen.
2	
3	Steeds meer bedrijven zetten de technologie in om te leren in de praktijk. De variatie van toepassingsmogelijkheden groeit.
4	
5	Een grote groep bedrijven zet de technologie in om te leren in de praktijk.

### A.4.3 Kennisverspreiding

Kennisdiffusie is de kennisuitwisseling in netwerken.

De kenmerkende organisatiestructuur van een technologisch innovatiesysteem is een netwerk. Het is het geheel van partijen dat gezamenlijk werkt aan de ontwikkeling van nieuwe technologie. Via kennisuitwisseling worden de leerprocessen zoals hierboven beschreven versneld en tot een hoger niveau gebracht. Het grote belang van kennisuitwisseling heeft dan ook geleid tot een apart begrip: interactief leren.

In een innovatiesysteem vindt innovatie alleen plaats als deelnemers met verschillende achtergronden met elkaar in contact treden. Gebruiksleren is een speciale vorm van interactief leren, waarbij het leren plaatsvindt door het uitwisselen van kennis tussen producenten en gebruikers van nieuwe technologie (dit wordt ook wel her-uitvinding genoemd).

Naast geld zijn er voldoende goede mensen nodig om een innovatietraject verder te brengen. Een innovatieve economie is dan ook alleen maar mogelijk met een goed functionerend onderwijssysteem. Aangezien opleidingen afhankelijk zijn van kennis is de functie 'kennisontwikkeling' van direct belang voor een goede invulling van deze functie. Waar voor een land het gemiddelde opleidingsniveau van groot belang is, is voor een specifiek innovatietraject van belang dat er specialisten op alle opleidingsniveaus aanwezig zijn die baanbrekend (praktijk) onderzoek en (praktische) implementatie kunnen verrichten. Als een innovatietraject sterk afwijkt van bestaande onderzoekslijnen en curricula dan is deze vaak lastig te agenderen en te financieren.

*Tabel A.6 Kennisdiffusie/kennisverspreiding score*

Score	Uitleg
1	Er is weinig tot geen kennis beschikbaar.
2	

3	Kennis is beperkt beschikbaar voor zelfstudie en opleidingen. Producenten en gebruikers leren steeds vaker van elkaar.
4	
5	Kennis is breed beschikbaar, zowel zelfstudie als opleidingen. Ervaringen van gebruikers worden door producenten actief benut voor verbetering.

#### A.4.4 Richting geven aan het zoekproces

Aan het zoekproces wordt richting gegeven door het 'managen' van verwachtingen, beloften en beleidsdoelen en de resultaten uit de overige functies.

Als een bekende gevestigde partij duidelijk maakt toekomst te zien in de nieuwe technologie en dat onderbouwt met de aankondiging van een aanzienlijke investering, dan wordt de nieuwe technologie direct gezien als een geloofwaardiger alternatief.

Ook overheden kunnen bijdragen aan richting geven. Dit kan op een generieke manier door bijvoorbeeld het formuleren van klimaatdoelstellingen. Hiermee komt een breed scala aan energiezuinige of duurzame energie-innovaties in een gunstig daglicht te staan. Doelstellingen kunnen specifiek geformuleerd worden, zoals een duurzame energiedoelstelling of een technologie-specifieke doelstelling. Hoe meer het duidelijk wordt dat de overheid echt serieus is in het behalen van de gestelde doelen, hoe beter de marktkansen voor de nieuwe technologie worden ingeschat, en hoe sterker dit bijdraagt aan het richtinggevend proces.

Het verloop van een maatschappelijke discussie rond nieuwe technologie is heel bepalend voor een positieve vorm of negatieve vorm van richting geven.

Tabel A.7 Richting geven aan het zoekproces score

Score	Uitleg
1	Er wordt bijna geen richting gegeven aan het zoekproces.
2	
3	Zowel bedrijven als overheden geven aan dat de innovatie een positieve bijdrage aan de economie of de maatschappij kan geven.
4	
5	De maatschappelijke discussie aangejaagd door bedrijven en overheden levert een positieve bijdrage aan acceptatie van de innovatie

N.B. In deze versie van de analyse is dit criterium vanwege de grote mate van subjectiviteit en onzekerheid niet meegenomen in de ranking. Wel valt op dat dit criterium regelmatig innovaties belemmert of sterk versnelt. Bijvoorbeeld door het wel of niet aanpassen van wet- en regelgeving.

#### A.4.5 Marktvorming

Creëren van markten, bijvoorbeeld door marktstimuleringsbeleid en belastingvrijstellingen.

In het algemeen kunnen baanbrekende innovaties de concurrentie met bestaande technologieën niet aan. Om baanbrekende innovaties te stimuleren is het daarom noodzakelijk om kunstmatig (niche)markten te creëren. Dit bijvoorbeeld door subsidies, campagnes en belastingvrijstelling.

Tabel A.8 Marktvorming score

Score	Uitleg
1	Er wordt niet op marktforming gestuurd.
2	
3	Er wordt beperkt op marktforming gestuurd.
4	
5	Er wordt actief op marktforming gestuurd.

#### A.4.6 Mobiliseren van middelen/Bronnen voor innovatie

Mobiliseren van middelen, bijvoorbeeld in de vorm van subsidies, venture capital, uren, kennis of investeringen.

Deze functie heeft betrekking op de toewijzing van financiële en personele hulpmiddelen. Voor de ontwikkeling van een innovatiesysteem is het ter beschikking komen van zulke hulpmiddelen een absolute voorwaarde. Een opkomend innovatiesysteem kan zich niet ontwikkelen zonder geld, apparatuur en gekwalificeerde vakmensen.

Hier komen grote onzekerheden ten aanzien van het slagen van de technologie samen met een enorme behoefte aan kapitaal. Dit is dan doorgaans ook een erg moeilijke fase in het innovatietraject. Door de spanning tussen een grote investeringsbehoefte en nog weinig zicht op de slaagkans wordt deze fase wel eens aangeduid als de 'vallei des doods'. Hier sneuvelt een groot aandeel van alle innovatietrajecten. Als we de vallei des doods projecteren op de fasen in de opbouw van een innovatiesysteem dan bevindt deze zich rond het begin van de take-off fase en rond het moment waarop de early majority gaat aanhaken.

Tabel A.9 Mobiliseren van middelen score

Score	Uitleg
1	Er wordt bijna niet geïnvesteerd in de nieuwe techniek.
2	
3	Er wordt door een groeiende groep bedrijven in de nieuwe techniek geïnvesteerd.
4	
5	Er wordt volop geïnvesteerd in de nieuwe techniek.

#### A.4.7 Ondersteuning door belangengroepen, doorbreken van weerstand

Creëren van legitimiteit door middel van onder andere lobbyactiviteiten en adviezen.

De opkomst van een technologie leidt veelal tot weerstand van belanghebbenden bij bestaande technologieën. Om het innovatiesysteem verder te ontwikkelen moet tegenspel worden geboden aan deze weerstand. Dit kan gebeuren door druk uit te oefenen ter verandering van de bestaande institutionele structuur, door het voeren van politieke lobby's en het geven van adviezen ten behoeve van de opkomende technologie.

Tabel A.10 Ondersteuning door belangengroepen score weergave

Score	Uitleg
1	Er is bijna geen ondersteuning van belangengroepen
2	
3	Er wordt door een groeiende groep activisten gelobbyd voor het product
4	
5	Er wordt actief gelobbyd voor het product

### A.5 Ranking oude matrix

In de editie 2018 van dit onderzoek is gebruik gemaakt van andere ranking-criteria dan in het onderzoek van 2020 en 2023. De nu gebruikte matrix dekt de vraag naar inzicht in opleidingen en marktpositionering beter. Enkele punten uit de eerder gebruikte matrix zijn ook opgenomen in de huidige matrix. Deze worden hieronder uitgelegd.

#### Problemen in de praktijk

Of het toepassen van het product in de praktijk met enige regelmaat misgaat.

Voor sommige producten is er te weinig kennis en/of kunnen beschikbaar om ze goed toe te kunnen passen. Dit leidt in de praktijk tot slecht of niet functionerende installaties of componenten. Deze problemen kunnen verschillende oorzaken hebben, denk aan een slechte kennisontwikkeling, geen kennisdiffusie, een te snel groeiende markt of geen ondernemersactiviteiten.

Tabel A.11 Problemen in de praktijk score

Score	Uitleg	Voorbeeld
1	Er zijn bijna geen problemen in de praktijk	
2		
3	Er komen regelmatig problemen voor	Lage temperatuurverwarming
4		
5	Er zijn vaak problemen in de praktijk	Warmtepompsystemen

#### Impact op de gezondheid

Kan de techniek bij het niet goed toepassen gevolgen hebben voor de gezondheid? En in welke mate?

Tabel A.12 Impact op de gezondheid score

Score	Uitleg	Voorbeeld
1	Er zijn geen gezondheidsgevolgen bij foute toepassing	Zonnewarmte
2		
3	De gezondheidsgevolgen bij het niet goed toepassen van de techniek zijn matig	Lage temperatuurverwarming
4		
5	De gezondheidsgevolgen bij het niet goed toepassen van de techniek zijn ernstig tot zeer ernstig	Ventilatie, rookgasafvoer

## **A.6 Analyse bijscholingsaanbod**

Het bijscholingsaanbod is voor vier beschikbaarheidsniveaus voorzien van een ranking. De ranking geeft weer in welke mate de bijscholing van de betreffende technologie op dat niveau beschikbaar is. Elk criterium heeft als antwoord ja, nee of gedeeltelijk, waar gedeeltelijk kan betekenen dat de kennis over de techniek buiten de installatietechniek ligt of dat er maar klein aantal aanbieders zijn. Onderstaand volgt eerst een omschrijving van de niveaus, daarna volgt de tabel met de keuzeopties voor de ranking.

### **Maatwerk kennisoverdracht**

Op dit niveau van bijscholingsaanbod is er geen breed toegankelijke bijscholing beschikbaar, wel maatwerk kennisoverdracht door experts/pioniers. Er is (zeer) weinig en vaak lastig vindbaar aanbod beschikbaar. Het kan lastig zijn om goede en slechte kwaliteit in de bijscholingspraktijk van elkaar te onderscheiden. Dit kan voor problemen zorgen in de verdere ontwikkeling en het in gebruik nemen van een technologie. De ervaringsdeskundigen of experts bieden meestal hun kennis aan vanuit enthousiasme, als lobby of in de vorm van consultancy.

### **Bijscholing op aanvraag**

Op dit niveau van bijscholingsaanbod is er bijscholing beschikbaar op aanvraag en als maatwerk. De bijscholing wordt vaak gegeven door enthousiaste early adopters, bij projecten betrokken experts of 'adviesbureaus'. Dit zijn over het algemeen de zogenaamde 'first followers'. De bijscholing is vaak beschikbaar tegen adviesvergoeding en/of als marketing.

Bijscholing wordt in deze fase ook wel georganiseerd als 'versneller' van markt-adaptatie, bijvoorbeeld trainingen over de Energie Prestatie Vergoeding of de nZEB-tool (met open inschrijving/als onderdeel van een congres of seminar).

Bij onderwerpen die door technologie-aanbieders belangrijk worden gevonden ontstaan in deze fase vaak korte basiscursussen (halve dag-sessies/eind middag of begin avond sessies). Proactieve branches stellen in deze fase ook eindtermen voor bijscholing, toetsing van bijscholing en cursusmateriaal op. Dit om snel kwalitatief goed aanbod en erkenning te organiseren. In het regulier onderwijs wordt de ontwikkeling door enthousiaste en bevlogen docenten opgepakt. Dit vaak als onderdeel van een projectweek.

Eén of enkele aanbieders van bijscholing spelen actief in op dit onderwerp.

### **Bijscholing breed beschikbaar**

Bijscholing is breed beschikbaar, zowel als open inschrijving als in-company maatwerk. De bijscholing wordt meestal verzorgd door partijen die eerst early adopter waren.

Bij onderwerpen die een groter marktaandeel hebben/krijgen wordt veel gewerkt met train-de-trainer en met inhuur van freelancers. De concurrentie neemt toe en de kosten voor het inhuren van trainers neemt af. Werken met erkende vakmensen gaat steeds vaker voordelen opleveren in aanbestedingen en offerte-trajecten. Er zijn meerdere tot veel aanbieders met vergelijkbaar en concurrerend aanbod. Ook scholen bieden trainingen aan voor bijscholing.

In deze fase worden in het regulier onderwijs de nieuwe technieken benut in bijvoorbeeld keuzedelen, zodat leerlingen er bewust voor kunnen kiezen (verdieping/verbreding). Uitgevers voor het onderwijs beginnen thema-katernen uit te brengen.

### **Bijscholing deel van regulier onderwijs**

Bijscholing is breed beschikbaar. Via kwalificatie dossiers wordt de bijscholing ingebed in het regulier onderwijs. Er is door de mainstream aanbieders van bijscholing een stevige concurrentie op prijs.

### **Keuzeopties ranking**

Voor de ranking is bewust gekozen voor een beperkt aantal keuzeopties. Deze staan in tabel A.13.

*Tabel A.13 Keuzeopties ranking beschikbaarheid bijscholing*

Optie	Binnen:
Ja	Op dit niveau is bijscholing breed beschikbaar en goed toegankelijk
Nee	Op dit niveau is bijscholing niet beschikbaar
Gedeeltelijk	Op dit niveau is bijscholing beschikbaar toegankelijk, maar onvoldoende
N.v.t.	Voor deze technologie is dit bijscholing op dit niveau niet relevant

## **A.7 Analyse gaps bijscholingsaanbod**

De beschikbare technologieën zijn in beeld gebracht met de analyse criteria voor het ranken van innovaties, zoals beschreven in hoofdstuk A.2. Het beschikbare bijscholingsaanbod is in beeld gebracht met de analyse-criteria uit hoofdstuk A.7.

De gaps in het bijscholingsaanbod gerelateerd aan de ranking technische innovaties kunnen inzichtelijk gemaakt worden op basis van een gecombineerde analyse. Bij deze analyse is de urgentie vanuit de innovatie-analyse gecombineerd met de mate van beschikbaarheid van bijscholing.

Hierbij is gekozen voor een combinatie van de fase van het innovatiesysteem, de mate van kennisdiffusie en de beschikbaarheid van het bijscholingsaanbod. Onderstaande tabel toont de relatie tussen de drie.

*Tabel A.14 Relatie tussen criteria voor bepaling van investeringstermijn*

Fase innovatiesysteem	Bijscholing breed beschikbaar	Kennisdiffusie	Benodigde investering in bijscholing
Versnelling of stabilisatie	Nee	≤3	Korte termijn
Take-off	Nee	≤3	Middellange termijn
Exploratie	Nee	≤3	Lange termijn

Deze criteria bepalen gezamenlijk binnen welke termijn investering nodig is om het kennisniveau op peil te krijgen. Neem als voorbeeld luchtdicht bouwen, deze techniek zit in de versnellingsfase van het innovatiesysteem, bijscholing is niet breed beschikbaar en de kennisdiffusie zit op niveau 3. Voor deze techniek is het belangrijk dat er binnen korte termijn kennis beschikbaar komt. Gebeurt dit niet dan wordt

de techniek uiteindelijk te vaak toegepast zonder de benodigde kennis in huis te hebben, met alle gevolgen van dien.

De termijnen zijn gebaseerd op basis van de ervaring die is opgedaan in de eerdere uitvoeringen van dit onderzoek. Onderstaande tabel A.15 laat de termijnen zien, gekoppeld aan de termijn waarop geïnvesteerd moet worden.

Tabel A.15 Termijnen en binnen welke termijn geïnvesteerd moet worden

Benodigde investering in bijscholing:	Binnen:
Korte termijn	0 - 1 jaar
Middellange termijn	1 - 2 jaar
Lange termijn	2 - 5 jaar

Naast de bovengenoemde criteria zijn er ook nog een aantal andere manieren toegepast om onderscheid te kunnen maken tussen de technieken in dezelfde termijn. Deze manieren zijn als filters toegevoegd aan het Excel-bestand.

Een eerste manier is nagaan of een techniek snel opkomend is. Als een techniek bijvoorbeeld snel opkomend is dan zal deze techniek hoger op de prioriteitenlijst staan dan een techniek die dat niet is. De criteria hiervoor zijn opgenomen in tabel A.16.

Tabel A.16 Criteria voor technieken om snel opkomend te zijn

Een techniek is snel opkomend als:		
Marktvorming	>3	Het tempo van marktvorming hoog ligt
Mobiliseren van middelen	>3	Er goed wordt geïnvesteerd in de ontwikkeling
Ondersteuning door belangengroepen	>3	De lobby/het maatschappelijke draagvlak groeit

Een tweede manier om extra onderscheid te kunnen maken tussen de technieken is of bijscholing over het algemeen van groter belang is. Tabel A.17 laat zien aan de hand van welke criteria deze conclusie wordt getrokken.

Tabel A.17 Criteria voor technieken waarbij bijscholing van groter belang is

Bijscholing is van groter belang als:		
Incrementeel/radicaal	>3	Er sprake is van een radicale innovatie, hiervoor is meer kennis en kunde nodig
Modulair/systeem	>3	Er sprake is van een systeem innovatie, hiervoor is meer kennis en kunde nodig
Problemen in de praktijk	>3	Er sprake is van een radicale innovatie, hiervoor is er kennis en kunde te kort'

## A.8 Indeling technologieën

Bij deze vierde versie van het onderzoek bleek dat het aantal technologieën dat in de analyse is betrokken, flink is toegenomen. Om in de ranking makkelijker te kunnen filteren en zoeken is daarom

een indeling aangebracht. Deze indeling biedt de mogelijkheid om te zoeken aan de hand van de volgende kenmerken: bouwtype, CONNECT2030 en toepassing. Deze zijn in de spreadsheet aan het begin van de regel opgenomen, direct na de omschrijving van de technologie. In de analyse op gaps in het bijscholingsaanbod spelen deze verder geen rol.

In het kenmerk bouwtype kan worden gezocht op de categorieën W, U en W/U. Deze afkortingen staan voor woningbouw, utiliteitsbouw en woning- & utiliteitsbouw.

De thema's uit CONNECT2030 zijn toegevoegd en vervangen de programmalijnen uit Connect2025. Naast het overkoepelende thema 'Toekomstbestendigheid' zijn er vijf thema's geïdentificeerd die de grootste impact hebben op de technieksector en haar rol binnen Nederland, op weg naar 2030.

- Overall en altijd energie – Over de enorme opgave, de doordachte inzet van alle opties en het belang van regie en samenwerking.
- Gezond, schoon en veilig – Over balanceren binnen grenzen, beter maken en beter organiseren en het collectieve besef van verandering.
- Circulaire wereld – Over de grenzen aan groei en over de kansen achter deze ingrijpende uitdagingen.
- Volwassen digitalisering – Over digitalisering over, de volgende versnelling en over meedoen of achterblijven.
- Human capital – Over ongekende krapte, echt anders boeien en binden van professionals, en over nieuwe krachten.

We stellen dat toekomstbestendigheid een ventrale rol speelt in de mindset voor CONNECT 2030. Het vormt het overkoepelende thema dat overheden, organisaties en bedrijven helpt om zich voor te bereiden op de onzekerheid die complexe systemen (en met elkaar vervlochten uitdagingen) van nature hebben. Het gaat over een attitude die weergeeft dat de toekomst niet precies voorspeld kan worden, maar dat je er als organisatie wel op kan voorbereiden dat het anders is dan vandaag.

Naast het bouwtype en de thema's van CONNECT2030 is er ook het kenmerk toepassing toegevoegd als filterkenmerk. Het kenmerk 'toepassing' kent de categorieën als beschreven in onderstaande tabel (elke toepassing is een cluster).

*Tabel A.18 Toepassingsgebieden voor snelle filtering van resultaten op diverse thema's*

Toepassing	Uitleg
Energietransitie	Het overgaan van fossiele brandstof naar duurzame energiebronnen, met alle aspecten daar omheen. Denk hierbij niet alleen aan de energie opwekkers maar ook aan algehele verduurzaming van een woning/gebouw.
Energieopslag	(Duurzame) Opslag van energie, bijvoorbeeld warmtebatterijen of waterstofopslag.
Gezond binnen	Alles wat te maken heeft met binnenmilieu, zoals ventilatie, fijnstof en luchtdicht bouwen.
Innovaties in energieopwekking	Nieuwe technieken in de energieopwekking, zoals waterstofverwarming en adiabatische koeling.



Innovaties in energiedistributie	Nieuwe technieken in de energiedistributie, zoals bijvoorbeeld collectieve koudenetten en intelligente laadsystemen.
Klimaatadaptatie	Alle mogelijkheden om veranderingen in het klimaat (te veel of te weinig neerslag, extreem klimaat, temperatureilanden, etc.) op te vangen, zoals groene gevels, blauwe daken en hemel-/grijswatersystemen.
Industrialisatie en prefabricage	De vernieuwing van het productieproces binnen de installatietechniek, denk hierbij aan loze leidingen in nieuwbouw of aan serie energierenovaties.
Digitalisering (gebouw)	Automatisering en monitoring van gebouwen en installaties, denk hierbij aan sensorregelingen van verlichting en het monitoren van installaties.
Digitalisering (proces)	Digitale inrichting van (werk)processen, zoals het werken met een VR-bril of digitale tools (apps op de bouwplaats).
Circulariteit	Het beperken en hergebruiken van grondstoffen, denk hierbij aan adaptief bouwen/installeren of het materialenpaspoort.

## BIJLAGE B TECHNIEKEN, (SOCIALE) INNOVATIES EN KERNTAKEN VOOR SMART MAINTENANCE

Om grip te krijgen op de breedte van ‘smart maintenance in de infrasector’ is gaandeweg het project een indeling gemaakt in drie domeinen, die helpen bij het concreet maken van de verschillende specialismen die bij datagedreven onderhoud komen kijken. De innovaties die we in dit project hebben geïdentificeerd en die een rol spelen in smart maintenance zijn weergegeven in dit hoofdstuk, ingedeeld per hiervoor genoemd domein.

### B.1 FYSIEKE WERKELIJKHEID

De fysieke werkelijkheid omvat alles wat we tastbaar kunnen zien, waarnemen, vastpakken. Van een kunstwerk tot een kabel, sensor of drone. Ook elektrotechniek en IT hardware behoort hiertoe. Dit is uiteindelijk de ‘wereld’ waar smart maintenance om draait: de daadwerkelijke tunnel, sluis, spoorbrug waar mensen gebruik van maken en die een functioneel doel heeft. Tabel B.1 geeft een overzicht van de technieken, (sociale) innovaties en kerntaken in het domein fysieke werkelijkheid.

*Tabel B.0.1 Technieken, (sociale) innovaties en kerntaken in domein fysieke werkelijkheid*

Fysieke werkelijkheid	
Techniek/innovatie	Beschrijving
Inzet sensoren t.b.v. smart maintenance (selectie meetpunten en technisch specificeren)	Voor een asset bepalen waar sensoren gewenst zijn op basis van informatiebehoefte en risicoanalyse. Specificeren van benodigde componenten. Vergt kennis van type asset en productinformatie leveranciers.
Functioneel specificeren (het definiëren van je meetbehoefte)	
Toepassen van opkomende/innovatieve mobiele meetapparatuur (drones bijvoorbeeld)	Conditiemeting en inspectie. Vergt planning inzet van materieel en afstemming met de omgeving. Wetgeving kan hierin beperkend zijn.
Inrichten van datanetwerk (hardware: bekabeling, servers)	Realiseren IT-hardware om data te verzenden en op te halen, vooral bij continue dataverzameling worden er hoge eisen aan het netwerk gesteld.
Data-analyse rondom de asset	Meetdata analyseren en interpreteren. Dit vergt uitgebreide kennis van de asset en de omgeving en kennis van de bandbreedte, historische waarden en trends.
Data validatie (samenwerking data en fysieke werkelijkheid)	Het valideren van data in de fysieke asset. Samenwerking tussen ‘datakant’ en ‘fysieke werkelijkheid’ is hierin essentieel. Vergt begrip en kennis van de fysieke asset.
FMECA: Failure Mode Effect & Critical Analysis	Inzicht in faalmechanismen en welke aanwijzingen een voorspellende waarde hebben, bijvoorbeeld door middel van FMECA (Failure Mode Effect & Critical analysis). Belangrijke voorwaarde is kennis van degradatieprocessen en hoe kun je deze voorspellen.

---

Reverse engineering (relaties onderzoeken in bestaande objecten)	Het bepalen van relaties in bestaande objecten en de toepasbaarheid van gegenereerde data bepalen.
--	--

## B.2 DIGITALE WERKELIJKHEID

Om de fysieke objecten te kunnen bedienen, te laten functioneren en te monitoren is sprake van continue gegevensverzameling, -verwerking en -verzending. Denk aan een weggedeelte dat met een signalering boven de rijbaan wordt afgesloten wanneer er een ongeval heeft plaatsgevonden. Er is sprake geweest van het verzamelen en verwerken van data (constatering ongeval), de opvolging met een actie (rijbaan sluiten) en verzending van een signaal naar het matrixbord boven de weg. Digitale datatoepassingen, zoals sensoren, kunnen werkzaamheden door mensen vervangen maar ook nieuwe toepassingen mogelijk maken. Er is continu sprake van het genereren, verwerken en betekenis geven aan data. Dit hebben we de digitale werkelijkheid genoemd. Tabel B.2 geeft een overzicht van de technieken, (sociale) innovaties en kerntaken in het domein digitale werkelijkheid.

Tabel B.0.2 Technieken, (sociale) innovaties en kerntaken in domein digitale werkelijkheid

Digitale werkelijkheid	
Techniek/innovatie	Beschrijving
Gebruiken Digital Twin	Het ontwerpen, creëren en gebruiken van een Digital Twin. Om analyses en voorspellingen te kunnen uitvoeren en voor het ontwikkelen van simulaties om verschillende scenario's te testen.
Ontwikkelen, valideren en gebruik van algoritmen	Het ontwikkelen en valideren van algoritmen. Dit met behulp van AI om patronen te leren ontdekken met een voorspellende waarde en met praktijktesten met als doel een betrouwbaar algoritme. Op basis van kennis en expertise de waarde van door AI gegenereerde trends en relaties kunnen beoordelen.
Ontwikkelen van dashboards	Het visualiseren van data in dashboards voor verschillende interne doelgroepen, zowel strategisch, tactisch als operationeel
Werken met dashboards (interpreteren en toepassen in de praktijk)	Op de juiste wijze interpreteren van via dashboards aangeleverde informatie. Inzicht in wat dashboards laten zien maar ook wat deze niet laten zien.

## B.3 ORGANISATIE, PROCES EN INFORMATIE

Alle activiteiten die nodig zijn voor ontwerp, realisatie, inspectie, monitoring en onderhoud van de fysieke en digitale werkelijkheid worden uitgevoerd door organisaties en de mensen die daar werken. Hierin spelen organisatie, beleid, management, processen, richtlijnen, competenties etc. een belangrijke rol. Tabel B.3 geeft een overzicht van de technieken, (sociale) innovaties en kerntaken in het domein organisatie, proces en informatie.

Tabel B.3 Technieken, (sociale) innovaties en kerntaken in domein organisatie, proces en informatie

ORGANISATIE, PROCES EN INFORMATIE	
Techniek/Innovatie	Beschrijving
Informatiestandaarden selecteren (voor eigen organisatie)	Informatiestandaarden selecteren en inzetten ten behoeve van uniforme en consistente opslag en uitwisseling van data.

Informatiestandaarden implementeren (voor eigen organisatie)	Implementeren van het werken met uniforme standaarden in de organisatie en samen met stakeholders.
Inrichten data toegankelijkheid (intern)	Inrichten van de toegankelijkheid van data voor intern gebruik in de organisatie (softwarematig)
Inrichten data toegankelijkheid (extern)	Inrichten van de toegankelijkheid van data voor extern gebruik voor verschillende partijen (asset owner, beheerder, aannemer etc.)
Beveiligen datanetwerk (cybersecurity)	Beveiliging van netwerken tegen ongewenste inbreuk van buitenaf.
Inrichten contracten (voor smart maintenance)	Contracten opstellen die “gewenst gedrag belonen en ongewenst gedrag beperken”. Langjarige contracten bevatten nu vaak te weinig incentives om ‘smarter te worden.
LCA (Kwantitatief waarde bepalen voor smart maintenance)	Het kwantitatief meten en aantonen van de economische voordelen van smart maintenance.
LCC (Kwalitatief waarde bepalen)	Het kwalitatief meten en aantonen van de economische voordelen van smart maintenance.
Bevorderen open kennisdeling	Bevorderen open samenwerking waarbij vertrouwen een belangrijke rol speelt. 'Dichttimmeren' van contracten kan innovatie belemmeren.
Verandermanagement implementeren (draagvlak voor smart maintenance creëren in organisatie)	Datagedreven AM vraagt om communicatie tussen de verschillende lagen van de organisatie. Implementatie vergt een strategische visie en geleidelijke organisatieverandering.
Ketensamenwerking bevorderen (stakeholders)	Partijen meenemen in de waarde van voorspellend onderhoud
Kennisbehoud en -overdracht van taciete kennis	Het vastleggen en delen van moeilijk te verwoorden kennis. Dit is kennis die niet is vastgelegd in documenten of handleidingen, maar die wordt opgedaan door ervaring en intuïtie
Best practices vastleggen	Het documenteren van de beste werkwijzen binnen de organisatie. Dit zijn de beproefde methoden die het meest effectief en efficiënt zijn gebleken voor het uitvoeren van taken of het bereiken van doelen.
Innovatie stimulatie (ruimte creëren om te experimenteren)	Het stimuleren van innovatie door medewerkers de vrijheid te geven om nieuwe ideeën te proberen en te experimenteren. Dit kan betekenen dat er tijd en middelen worden vrijgemaakt voor onderzoek en ontwikkeling, of dat er een cultuur wordt gecreëerd waarin fouten worden gezien als leermomenten in plaats van mislukkingen.
Leercultuur bevorderen (in organisatie)	Het creëren van een omgeving waarin leren en ontwikkeling worden gewaardeerd en aangemoedigd.
Werkproces herontwerpen/adapteren (herontwerpen en aanpassen)	Het aanpassen van werkprocessen om optimaal gebruik te maken van smart maintenance-technologieën.

---

Tolk functie tussen verschillende disciplines (vakjargon)	Het kunnen begrijpen van verschillende vaktalen (jargon) en achtergronden om zo het contact soepeler en efficiënter (modereren) te laten verlopen.
Informereren stakeholders (externe communicatie)	Het begeleiden van discussies over smart maintenance met verschillende stakeholders. Dit omvat het bespreken van wat goed onderhoud is, wat de acceptabele faalkans is en hoe smart maintenance kan worden geaccepteerd binnen de organisatie

## Colofon

Dit kennisproduct is opgesteld en gecontroleerd conform de procedures uit ISO 19650. Deze norm voorziet in verschillende momenten en vormen van validatie die de vastgelegde kennis ondergaat tijdens het ontwikkelproces.

De realisatie en validatie van dit rapport werd verzorgd door:

Rapporteur(s)	Dennis van der Kooij Irene van Veelen Mike Perik	ISSO ISSO ISSO
Leesgroep (validatiesessies)	Paul Brincker, lobbyist, BAM Valerie de gallou, Hoogheemraadschap Tjeerd de Jong, Programmamanager datagedreven asset management, RWS Vincent Hubbers, IFM Gilbert Westdorp, Senior adviseur, RWS	Leden stuurgroep Camino
Redactie en vrijgave voor publicatie	Marco Hofman	ISSO

De Innovatie Analyse smart maintenance infrasector 2023/2024 is uitgevoerd door ISSO in opdracht van Wij Techniek voor CAMINO. In nauwe afstemming met Hellonewday en CAMINO stuurgroepleden.

Dit kennisproduct is opgesteld met financiële ondersteuning van:

Wij Techniek	<Logo>
--------------	--------