

Onderzoeksrapportage

Electric Road Systems

Toekomstverkenning



25 maart 2021

SSU Case team

Fleur Droog
Robbert Messing
Janine Noordam
Sabine Winterberg



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat



SSU Foundation
Accelerating young innovators

Inhoudsopgave

1. Samenvatting	3
2. Introductie	4
2.1. Aanleiding	4
2.2. Introductie technologieën	4
2.3. Onderzoeksvragen en methoden	5
2.4. Scope van het onderzoek	6
3. Methode	7
3.1. <i>Methoden</i>	7
3.1.1. Multi criteria analyse (MCA)	7
3.1.2 Toekomstverwachtingen	9
3.1.3 Beleidsaanbevelingen	9
3.2. <i>Dataverzameling</i>	9
4. Multi-criteria analyse	10
4.1. <i>Technologische ontwikkeling</i>	12
4.1.1 Pilotprojecten	12
4.1.2 Technology Readiness Level	15
4.2. <i>Technische functionaliteit</i>	16
4.2.1 Vermogen en energie efficiency	16
4.2.2 Interoperabiliteit voertuigen	17
4.3. <i>Installatie en onderhoud</i>	17
4.3.1 Aanleg	17
4.3.2 Levensduur technologie	18
4.3.3 Onderhoud	19
4.4. <i>Aanbod (leveranciers)</i>	20
4.4.1 Autofabrikanten/OEMs	20
4.4.2 Infrastructuur	20
4.5. <i>Sturing en regulering</i>	21
4.5.1 Internationale sturing	21
4.5.3 Standaarden	22

4.6. <i>Kosten</i>	23
4.6.1 Aanlegkosten	23
4.6.2 Voertuigkosten	23
4.6.3 Onderhoudskosten	24
4.6. <i>Maatschappelijke aspecten</i>	24
4.6.1 Veiligheid	24
4.6.2 Sociale impact	25
4.7. <i>Overzicht: Voor- en nadelen</i>	26
5. Toekomstverwachtingen	27
5.1 Bovenleiding	27
5.2 Rails	27
5.3 Inductie	28
6. Conclusie en beleidsaanbevelingen	30
Referenties	32
Appendices	35
Appendix I	35
Appendix II	35

1. Samenvatting

Dit onderzoek heeft zich gericht op de ontwikkeling van Electric Road Systems (ERS). Dit zijn systemen in of boven de weg die het dynamisch opladen van zwaar vrachtvervoer mogelijk maken. Er zijn op dit moment drie technologieën die de meeste kans hebben om de nieuwe standaard te worden voor de elektrificatie van het Nederlands zwaar vrachtvervoer met dynamisch laden. Dit zijn de conductieve bovenleiding, conductieve rails en inductie technologieën. Door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is de vraag gesteld welke van deze technologieën het meeste toekomstperspectief biedt voor de periode 2020-2030 en welke beleidsaanbevelingen er op basis hiervan kunnen worden geformuleerd om de ontwikkeling van ERS te stimuleren.

Door middel van een multi-criteria analyse (MCA) zijn deze drie technologieën met elkaar vergeleken op technologisch, economisch en maatschappelijk gebied. Uit de MCA is gebleken op welke gebieden (en voor welke criteria) de technologieën op dit moment nog minder scoren ten opzichte van de twee alternatieven. Vervolgens is er onderzocht welke verbeteringen er binnen deze criteria nog worden verwacht in de periode 2021-2030 en op basis hiervan zijn verschillende beleidsaanbevelingen bepaald. Voor de uitvoering van de MCA, het bepalen van de toekomstverwachtingen en de beleidsdoelen heeft literatuuronderzoek plaatsgevonden en zijn er drie interviews uitgevoerd met betrokken actoren.

De uitkomsten van de MCA laten zien dat de drie technologieën nog relatief dicht bij elkaar in de buurt komen. Inductie scoort op dit moment het beste ten opzichte van de andere twee, met voordelen op gebied van interoperabiliteit, onderhoud en internationale aandacht en nadelen op gebied van vermogen, efficiëntie en aanlegkosten. De bovenleiding technologie heeft een hoger technology readiness level en scoort beter op vermogen, efficiëntie, aanleg en levensduur. Echter is de slechte interoperabiliteit van de technologie een groot nadeel, samen met veiligheid en sociale impact. Rails heeft het slechts gescoord binnen deze MCA, omdat ondanks de lage aanlegkosten per kilometer, de technologie veel nadelen heeft op gebied van veiligheid en er weinig internationale aandacht voor is.

Op basis van deze resultaten blijkt dat er nog geen overduidelijke voorkeur kan worden uitgesproken, omdat iedere technologie belangrijke voor- en nadelen heeft. Er is aanbevolen op basis van deze uitkomst om in de komende jaren nog geen grote investeringen te doen, maar wel te starten met pilotprojecten. Door middel van deze projecten kunnen stakeholders worden betrokken en wordt er meer aandacht op de technologieën gevestigd, wat private investeerders aantrekt.

2. Introductie

2.1. Aanleiding

Met het ondertekenen van het klimaatakkoord in Parijs in 2015 heeft Nederland onder andere de ambitie verkondigd om de gehele transportsector in 2050 klimaatneutraal te laten opereren (Klimaatakkoord, 2019). In 2030 moet daarvoor de CO₂ uitstoot van achterland- en continentaal vervoer al met 30% verminderd zijn ten opzichte van 1990. Op dit moment heeft Nederland nog niet alle stappen gezet die nodig zijn om deze doelstelling te behalen (CBS, 2021).

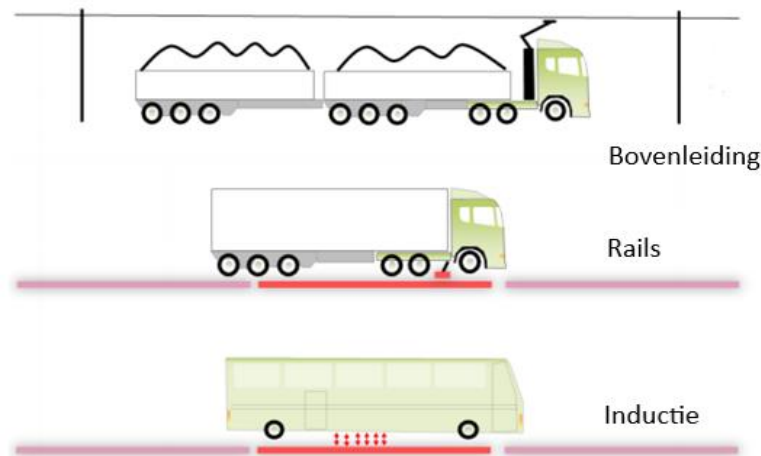
In Nederland wordt de elektrificatie van het wegtransport gezien als een van de belangrijkste ontwikkelingen om de CO₂ emissies in de transportsector te reduceren (Klimaatakkoord, 2019). De meeste elektrische voertuigen worden gevoed door middel van stationaire oplaadsystemen, welke vragen om zware batterijen, zeker voor toepassing bij zwaar vrachtvervoer (Verheggen, 2021). Daarbij komt ook dat het stationair laden veel tijd kost en ook voor piekbelasting zorgt op het elektriciteitsnetwerk (Van den Dool, 2021). Voor de toekomst wordt er daarom gezocht naar verschillende alternatieven om het wegsysteem duurzamer te maken. Een van de mogelijke alternatieven zijn Electric Road Systems (ERS), welke het dynamisch opladen van voertuigen (tijdens het rijden) mogelijk maken (PIARC, 2018). Op dit moment zijn er drie ERS-technologieën die mogelijk de kans maken om de nieuwe standaard te worden voor zwaar vrachtvervoer in Nederland: de bovenleiding, rail en inductie technologie.

Door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - de opdrachtgever van dit onderzoek - is de vraag gesteld welke nieuwe ontwikkelingen er nog worden verwacht voor drie verschillende ERS technologieën in de komende 10 jaar en welke technologie op basis daarvan het meeste toekomstperspectief biedt voor eventuele toepassing op het Nederlandse vrachtverkeer.

2.2. Introductie technologieën

De drie verschillende ERS technologieën zijn weergegeven in figuur 1 (Emré et al., 2020). Deze technologieën vergroten alledrie het bereik van het voertuig, maar moeten altijd in combinatie met een batterij of verbrandingsmotor worden gebruikt zodat zij buiten het ERS netwerk hun weg kunnen vervolgen met in het voertuig opgeslagen energie. De technologieën hebben allemaal hun eigen voor- en nadelen en worden ontwikkeld en op de markt gebracht door verschillende actoren. Onderstaand worden de technologieën één voor één kort toegelicht.

- De **conductieve bovenleiding** technologie gebruikt conductieve lijnen (ook wel bekend als bovenleidingen) boven het voertuig om deze van elektriciteit te voorzien. De elektriciteit wordt overgebracht naar het voertuig door middel van een pantograaf (stroom ontvanger) bovenop het voertuig, welke zich automatisch kan koppelen aan en loskoppelen van de bovenleiding.
- De **conductieve rail** technologie zorgt voor elektriciteitstoevoer naar het voertuig door middel van een rails die verwerkt is in de weg. De elektriciteit wordt overgebracht naar het voertuig door de pick-up arm van de stroom ontvanger onder het voertuig, welke automatisch koppelt aan en loskoppelt van de rails.
- De **inductie** technologie gebruikt een magnetisch veld om elektriciteit draadloos over te brengen naar het voertuig. De elektrische stroom komt vanuit primaire spoelen welke zijn geïnstalleerd in het wegdek en wordt vervolgens ontvangen door secundaire spoelen welke zijn geïnstalleerd onder het voertuig (Emré et al., 2020).



Figuur 1. Bovenleiding, rails en inductie technologieën voor ERS (Emré et al., 2020).

2.3. Onderzoeksvragen en methoden

Om inzichtelijk te maken welk type Electric Road System (ERS) - de bovenleiding, de rail of inductie - het Nederlandse vrachtverkeer het beste van elektriciteit kan gaan voorzien, wordt in dit onderzoek de volgende vraag beantwoord:

"Stel beleidsaanbevelingen op om verdere ontwikkeling van Electric Road Systems (ERS) voor zwaar vrachtvervoer te stimuleren, op basis van de huidige en nog verwachte ontwikkelingen van drie verschillende ERS technologieën - bovenleiding, rails en inductie - voor de periode 2021-2030."

Om deze hoofdvraag te beantwoorden zijn er een aantal deelvragen opgesteld.

- *Bepaal op basis van verschillende technologische, economische en maatschappelijke criteria hoe de technologieën zich tot elkaar verhouden.*
- *Maak inzichtelijk welke verwachtingen er worden gegeven in huidig onderzoek voor eventuele nieuwe ontwikkelingen/oplossingen voor de ERS technologieën in de periode 2021-2030.*
- *Bepaal welke stappen er nog nodig zijn in onderzoek en beleidsvorming om deze drie technologieën zich verder te laten ontwikkelen.*

Door middel van een multi criteria analyse (MCA) worden de technologieën binnen een aantal verschillende technische, economische en maatschappelijke criteria met elkaar vergeleken. Deze methode biedt de mogelijkheid om verschillende technologieën met elkaar te vergelijken op een multi-dimensionele manier. Op basis van de uitkomst van de MCA is er bepaald op op welke gebieden er voor de drie ERS technologieën nog barrières en onzekerheden zijn. Vervolgens is er voor deze technologieën verder onderzocht of hier nog verbeteringen in worden verwacht binnen in de periode 2021-2030. Op basis van de eerder geïdentificeerde barrières, onzekerheden en toekomstverwachtingen zijn er vervolgstappen vastgesteld, welke zijn beschreven in de vorm van beleidsaanbevelingen. Alle zijn beantwoord met behulp van een grootschalig literatuuronderzoek en drie interviews met betrokken actoren; het bedrijf Siemens uit Duitsland, de Zweedse overheidsinstantie Trafikverket en het bedrijf IPT uit Duitsland.

2.4. Scope van het onderzoek

De volgende scope is gehanteerd voor dit onderzoek:

- Er zijn verschillende vormen van zwaar vrachtvervoer. Voor dit onderzoek wordt uitgegaan van een trekker met oplegger (categorie N3, >12 ton), welke wordt ingezet voor internationaal transport en rijdt gemiddeld tussen de 400 en 500 km per dag. Dit is op basis vanuit het recent uitgebrachte rapport door Movares (2021). Dit type vrachtwagen is de meest voorkomende vrachtwagen in Nederland en vertegenwoordigt 70% van de markt.
- Dit onderzoek focust zich met name op de technologische en economische criteria, en neemt daarnaast enkele maatschappelijke criteria in overweging. Deze focus is aangebracht omwille van de tijd die staat voor dit onderzoek. Dit neemt dus niet weg dat maatschappelijke en sociale criteria van belang zijn voor eventuele implementatie van deze drie ERS technologieën. Wegens tijdsbeperving zijn externe milieukosten van de verschillende technologieën niet meegenomen in het onderzoek. De impact op het milieu van deze ERS systemen is significant lager dan voor dieselveertuigen. Om de verschillen op gebied van milieu impact tussen de drie alternatieven in kaart te brengen zou een aparte life-cycle assessment (LCA) kunnen worden uitgevoerd. Dit staat o.a. op de agenda 2020-2023 van de Task force 2.2 van de World Road Organisatie (PIARC, 2020).
- Binnen dit onderzoek is er in eerste instantie enkel gefocust op de potentie van dynamische oplaadsystemen. Echter bleek uit de interviews dat stationair opladen op dit moment een steeds grotere concurrentie vormt met de drie onderzochte Electric Road Systems. Deze technologie valt dus buiten de scope van dit onderzoek, maar moet zeker niet worden uitgesloten in eventueel vervolgonderzoek. Dit geldt evenals voor elektrisch vervoer m.b.v. waterstof.
- Het onderzoek maakt met name gebruik van beschikbare informatie binnen en rondom Europa, omdat in deze regio tot nu toe het meeste onderzoek is uitgevoerd naar Electric Road Systems. Daarnaast kunnen Europese landen gemakkelijker vergeleken worden met Nederland en geldt er vaak dezelfde Europese wet- en regelgeving.

3. Methode

In deze sectie wordt er verder ingegaan op de methoden die binnen dit onderzoek zijn gebruikt voor het beantwoorden van de hoofd- en deelvragen. Daarnaast biedt deze inzicht in de manier waarop de datacollectie voor dit onderzoek heeft plaatsgevonden.

3.1. Methoden

De hoofdvraag van dit onderzoek is opgesplitst in drie verschillende deelvragen. Binnen deze sectie wordt er ingegaan op de verschillende methoden die gebruikt zijn voor het beantwoorden van de drie deelvragen in drie stappen. Deze stappen zijn visueel weergegeven in figuur 2.



Figuur 2. Stappen binnen het onderzoek: de MCA, toekomstverwachtingen en beleidsaanbevelingen.

3.1.1. Multi criteria analyse (MCA)

Voor het beantwoorden van de eerste deelvraag is er een multi-criteria analyse gebruikt als beschreven door Troldborg et al. (2014). Deze methode wordt in onderzoek veelvuldig ingezet voor het beoordelen en vergelijken van verschillende duurzame energie technologieën, plannen en beleidsopties in specifieke gebieden en regio's. Deze methode biedt de mogelijkheid om de drie ERS technologieën op een diverse set aan criteria met elkaar te vergelijken. De verschillende stappen voor de uitvoering van de MCA zijn onderstaand verder toegelicht.

Stap 1. Vaststellen van de technologische opties.

De drie technologieën die met elkaar worden vergeleken zijn;

- de conductieve bovenleiding technologie;
- de conductieve rails technologie; en
- de inductie technologie.

Stap 2. Vaststellen van de criteria.

De criteria zijn vastgesteld in samenwerking met de opdrachtgever. De criteria zijn opgedeeld in technologische, economische en maatschappelijke criteria en vallen onder verschillende thema's, zoals weergegeven in tabel 1. Onder het thema technologische ontwikkeling valt onder andere het criterium *technology readiness level (TRL)*, waarvoor de exacte bepaling verder is toegelicht in Appendix I. De meeste criteria zijn kwantitatief gemeten en voor een aantal kwalitatief bepaalde criteria is de totstandkoming van de score verder toegelicht in Appendix II.

Tabel 1: Tabel met criteria per thema en bijbehorende indicatoren

Thema	Criterium	Indicator
Technologische ontwikkeling	Pilotprojecten	Aantal pilot projecten
	Technology readiness level	Kwalitatief (zie Appendix I)
Technische functionaliteit	Vermogen	kW
	Energie efficiëntie	% (well-to-tank)
	Interoperabiliteit	Kwalitatief (zie Appendix II)
Installatie en onderhoud	Complexiteit aanleg	Kwalitatief (zie Appendix II)
	Levensduur	Jaren
	Onderhoud	Frequentie van onderhoud
Wet -en regelgeving	Standaardisatie	Aantal ontbrekende standaarden
	Internationale sturing	Aantal landen dat voorkeur uitspreekt per technologie
Aanbod (leveranciers)	Autofabrikanten	Aantal
	Infrastructuur	Aantal
Kosten	Aanlegkosten	Aanlegkosten/km (één richting)
	Voertuigkosten	Kosten/voertuig
	Onderhoudskosten	Onderhoudskosten/jaar in procenten van de aanlegkosten
Maatschappelijke aspecten	Veiligheid	Kwalitatief (zie Appendix II)
	Sociale impact	Kwalitatief (zie Appendix II)

Stap 3. Effectentabel opstellen

De volgende stap is dat voor elk criterium dient te worden aangegeven of het een kosten, dan wel baten criterium betreft, en wat de meetschaal en de eenheid van het betreffende criterium is. Uit deze exercitie volgt een zogenaamde *effectentabel*. In deze tabel worden de scores voor de verschillende criteria van de verschillende alternatieven ingevuld.

Stap 4. Uitvoering multicriteria analyse

De volgende stap in het beoordelingsproces is de multicriteria analyse. Hier wordt begonnen met de verschillende criteria te *standaardiseren* en krijgen de verschillende criteria een *gewicht*. Niet alle bovenstaande criteria zijn van even groot belang in de bepaling van de potentie van deze drie technologieën. Om die reden krijgt ieder criterium een gewicht toegekend op basis van het belang van dit criterium. De thema's en criteria die binnen dit onderzoek als belangrijker zijn aangemerkt zijn: (1) technologische ontwikkeling, (2) technische functionaliteit en (6) kosten. Standaardiseren is nodig om alle scores, zowel kwantitatief als kwalitatief, goed met elkaar vergelijkbaar te maken. Op basis van deze informatie en keuzes kan dan een volgorde van alternatieven worden berekend.

3.1.2 Toekomstverwachtingen

Op basis van de uitkomsten van de MCA en de daarbij horende effectentabel kunnen conclusies worden getrokken over de huidige stand van zaken omtrent de technologische alternatieven voor ERS. Deze gegevens dienen ook als basis om toekomstverwachtingen te schetsen over de ontwikkelingen binnen ERS. Tevens zijn ook 3 interviews afgenomen met verschillende actoren die zich bezighouden met de ontwikkeling of implementatie van ERS in Europa. Deze combinatie van data zorgt ervoor dat er toekomstverwachtingen kunnen worden vormgegeven over de ontwikkeling van de verschillende ERS technologieën.

3.1.3 Beleidsaanbevelingen

Aan de hand van de uitkomsten van de MCA en de toekomstverwachtingen wordt er gekeken naar geschikte beleidsaanbevelingen. Deze beleidsaanbevelingen zijn dan ook gekozen op een manier dat deze de verdere ontwikkeling van één of meerdere ERS technologieën stimuleren.

3.2. Dataverzameling

De data is verzameld door middel van een grootschalig literatuuronderzoek en enkele interviews met betrokken actoren. Voor de uitvoering van het literatuuronderzoek is gebruik gemaakt van verschillende zoekmachines, waaronder Google Scholar, SCI-HUB, de TU/e Library en de UU Library. Daarnaast zijn er ook bronnen gebruikt afkomstig van de verschillende organisaties die momenteel actief zijn op gebied van ERS, zoals Trafikverket, PIARC, Siemens, COLLERS, FABRIC, IPT en SRF. Als laatste is er nog gebruik gemaakt van nieuwsbronnen en webinars.

Aanvullend op het literatuuronderzoek hebben er drie interviews plaatsgevonden. Deze interviews hebben een richting gegeven aan het onderzoek en daarnaast bijgedragen aan de beeldvorming omtrent de toekomstverwachtingen voor de verschillende ERS technologieën. Een overzicht hiervan is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Overzicht uitgevoerde interviews

Persoon	Organisatie	Gespecialiseerd in	Land
Gerrit Stumpe	Siemens	Bovenleidingen	Duitsland
Björn Hasselgren en Elin Näsström	Trafikverket	Bovenleidingen, rails en inductie	Zweden
Richard van den Dool	IPT	Inductie	Duitsland

4. Multi-criteria analyse

De resultaten van de multicriteria analyse zijn per criterium weergegeven in de effectentabel (tabel 3), en zijn vervolgens onderstaand verder uitgewerkt in een beschrijving per criterium.

Tabel 3. Effectentabel na dataverzameling

Thema	Criterium	Bovenleiding	Rails	Inductie
Technologische ontwikkeling	Pilotprojecten	6	4	6
	Technology readiness level	7 - 8	6 - 7	6 - 7
Technische functionaliteit	Vermogen	200 - 500 kW	200 - 240 kW	180 kW
	Energie efficiëntie	82 - 97%	90 - 97%	90%
	Interoperabiliteit	2/5	4/5	5/5
Installatie en onderhoud	Complexiteit aanleg	2/5	4/5	4/5
	Levensduur	40 jaar	10 - 30 jaar	>25 jaar
	Onderhoud	4/5	2/5	0/5
Sturing- en regelgeving	Standaardisatie	4/5	3/5	2/5
	Internationale sturing	14 landen	12 landen	20 landen
Aanbod (leveranciers)	Autofabrikanten	2 OEMs	2 OEMs	3 OEMs
	Infrastructuur	2/5	3/5	3/5
Kosten	Aanlegkosten/km	€ 1.219.022/km	€ 1.036.114,80/km	€ 1.829.169,92/km
	Voertuigkosten ¹	€ 35.000/voertuig	€ 35.000/voertuig	€ 35.000/voertuig
	Onderhoudskosten/jaar	1% van totale aanlegkosten	2,5% van totale aanlegkosten	0% van totale aanlegkosten
Maatschappelijke aspecten	Veiligheid	2/5	3/5	5/5
	Sociale impact	3/4	4/4	2/4

¹ Enkel bedrag voor batterij wegens gebrek aan data over kostprijs pantograaf (rail) en receivers (inductie). Het bedrag voor pantograaf is €19.000 volgens Movares (2020).

Tabel 4: Standaardisatie scores (ongewogen) en gewogen somming

Thema	Criterium	Gew.	Bovenleiding		Rails		Inductie	
			Ong.	Gew.	Ong.	Gew.	Ong.	Gew.
Technologische ontwikkeling	Pilotprojecten	3,00%	1,00	0,030	0,67	0,020	1,00	0,030
	Technology readiness level	15,00%	1,00	0,150	0,87	0,130	0,87	0,130
Technische functionaliteit	Geleverd vermogen	6,00%	1,00	0,060	0,63	0,038	0,51	0,031
	Energie efficiëntie	6,00%	0,96	0,057	1,00	0,060	0,97	0,058
	Interoperabiliteit	4,00%	0,40	0,016	0,80	0,032	1,00	0,040
Installatie en onderhoud	Complexiteit aanleg	4,00%	0,50	0,020	0,00	0,000	0,00	0,000
	Levensduur	6,00%	1,00	0,060	0,50	0,030	0,63	0,038
	Onderhoud	4,00%	0,00	0,000	0,50	0,020	1,00	0,040
Sturing- en regelgeving	Standaardisatie	4,00%	1,00	0,040	0,75	0,030	0,75	0,030
	Internationale sturing	10,00%	0,70	0,070	0,60	0,060	1,00	0,100
Aanbod (leveranciers)	Autofabrikanten (OEMs)	5,00%	0,67	0,033	0,67	0,033	1,00	0,050
	Infrastructuur	5,00%	0,67	0,033	1,00	0,050	1,00	0,050
Kosten	Aanlegkosten	10,00%	0,33	0,033	0,43	0,043	0,00	0,000
	Voertuigkosten	4,00%	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
	Onderhoudskosten	4,00%	0,60	0,024	0,00	0,000	0,60	0,024
Maatschappelijke aspecten	Veiligheid	5,00%	0,40	0,020	0,60	0,030	1,00	0,050
	Sociale impact	5,00%	0,33	0,017	0,00	0,000	0,67	0,033
Totaal		100%		0,664		0,576		0,704

4.1. Technologische ontwikkeling

4.1.1 Pilotprojecten

Bovenleiding

Voor bovenleiding hebben zes pilotprojecten met zwaar vrachtverkeer plaatsgevonden, welke allemaal zijn uitgevoerd door Siemens.

1. *Project ENUBA : Berlin Proof of Concept (2010-2012)*

In Duitsland was Siemens begonnen met de ontwikkeling van de eHighway in 2010. Er werden conceptuele testen uitgevoerd welke gefinancierd zijn door het federale ministerie voor milieu en nucleaire veiligheid (BMU). Deze conceptuele testen gingen onder de projectnaam ENUBA. De eerste testen hierbij werden uitgevoerd op een verlaten militaire basis ten oosten van Berlijn, waar nu op grote schaal zonne-energie werd opgewekt. Hier werd een 2,1 kilometer lange testbaan aangelegd, waarop het eerste pilotproject van Siemens, het Berlin Proof of Concept pilot project, is uitgevoerd. Voor dit project zijn twee Daimler vrachtwagens aangepast. (G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 4 maart 2021)

2. *Project ENUBA 2: eHighway Californië (2017)*

Siemens is vervolgens een samenwerking aangegaan met Scania als OEM voor vrachtwagens in het project ENUBA 2. Bij beiden projecten werden Scania's *Heavy Goods Vehicles* (HGVs) gebruikt. Het eHighway pilotproject in Californië werd uitgevoerd in 2017. De 1,6 kilometer lange testbaan werd aangelegd op een industrieel haventerrein. Er werden hierbij 3 vrachtwagens gebruikt en uit deze tests bleek een energie efficiëntie van 80-85% (PIARC, 2018).

3. *Project ENUBA 2: eHighway E16 Stockholm (2019)*

Ook werd er een pilotproject in Zweden uitgevoerd, van 2016 tot 2019. Deze demonstratie vond plaats op een 2 kilometer lang traject van de E16 snelweg bij Stockholm. Hierbij werd ook getest in winterse omstandigheden met veel sneeuw en ijs (G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 4 maart 2021).

De volgende stap was om de werking van eHighway toe te passen om drukbezette snelwegen. Dit werd gedaan met hybride vrachtwagens op twee verschillende wegen, in de projecten ELISA en FESH:

4. *Project ELISA: eHighway op drukbezette snelweg (2019)*

Pilotproject ELISA vond plaats op de A5 Autobahn tussen Frankfurt Airport en Darmstadt/Weiterstadt (Hessen Mobile; n.d.; G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 4 maart 2021). Het ging om een 5 kilometer lang traject, met aan beiden kanten van de weg een bovenleidingsysteem. Hierbij is getest met vijf vrachtwagens tegelijk. Het traject zal verlengt worden met 7 kilometer in een richting en zal ook meer vrachtwagens krijgen (6 hybride vrachtwagens extra en 1 BEV vrachtwagen).

5. *Project FESH: eHighway op drukbezette snelweg (2019)*

Pilotproject FESH vond plaats op de A1 Autobahn tussen Sleeswijk en Holstein (E-highway.de, n.d.). Een traject van 5 kilometer, beiden kanten op, werd hier aangelegd. De rijbaan opende eind 2019 en er wordt hier getest met vijf vrachtwagens (G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 4 maart 2021). Volgens G. Stumpe (persoonlijke communicatie, 4 maart 2021) lagen de grootste uitdagingen en leermomenten bij deze pilot in de logistieke aanpak.

6. *Project eWayBW: eHighway op nationale wegen (2021)*

Het pilotproject eWayBW op de nationale weg B462 tussen Baden en Württemberg is nog in opbouw (eWayBW, n.d.; G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 4 maart 2021). Het zou volgens de planning in de zomer van 2021 in gebruik kunnen worden gesteld. Hierbij zullen vijf hybride vrachtwagens worden gebruikt.

Rails

Voor de conductieve rails hebben er vier verschillende projecten met zwaar vrachtverkeer plaatsgevonden met verschillende technologieën door Alstom, Elways, Honda en ElonRoad.

1. *Project Volvo en Alstom: APS*

Project door Volvo met met door Alstom ontwikkelde APS technologie (Emre et al, 2015; Gustavson en Lindgren, 2020). Alstom heeft een energiesysteem voor trams ontwikkeld, dat elektriciteit levert via een derde rail op grondniveau, daarmee bovenleidingen overbodig worden gemaakt. Dit systeem gaat onder de naam *Aesthetic Power Supply (APS)*. Dit systeem is vervolgens gebruikt als basis bij het door Alstom ontwikkelde ERS systeem dat twee rails in het wegdek omvat. AB Volvo heeft hiervoor vervolgens collector-armen ontwikkeld voor zware transportvoertuigen. Hiermee zijn tests uitgevoerd op een testterrein van Volvo in Zweden. De testbaan is een 400 meter lange rechte weg (Emre et al, 2015). De voertuig integratie is uitgevoerd in het kader van het onderzoeksproject Slide-In. (Gustavson & Lindgren, 2020)

2. *Project eRoad Arlanda (2018)*

Elways heeft een rail systeem ontwikkeld dat voor zowel personenauto's als HGV's geschikt is (PIARC, 2018). In de aanwezigheid van een geëlektrificeerde rail zal de omgekeerde stroomafnemer aan de onderkant van het voertuig zich verlengen om zich aan te sluiten op de geleidende kanalen in de rail. Als de bestuurder een plotselinge beweging maakt, trekt de stroomafnemer zich meteen in. Een tekortkoming die zich bij dit systeem voordoet, is het feit dat het alleen geschikt is voor hoge snelheids wegen met specifieke geometrische vereisten. Het systeem kan bijvoorbeeld niet worden aangelegd op wegen met bochten. Verder, waarschuwt de detectie van vreemde voorwerpen op de weg de bestuurder alleen en wordt de stroomafnemer niet automatisch ingetrokken. Daarnaast kan het systeem niet gebruikt worden als de weg onder water ligt. Een ander nadeel is dat niet alleen het deel waar een elektrisch voertuig overheen gaat geëlektrificeerd wordt, maar ook de wegdelen hier voor en achter. Dit kan gevaarlijke situaties opleveren (PIARC, 2018).

3. *Project HPDC*

In 2014 begon Honda R&D de ontwikkeling het rail systeem High Power Dynamic Charging (HPDC). Anders dan bij andere systemen, ligt de rails niet in het wegdek, maar is deze aan de vangrail vastgemaakt. De stroomafnemer strekt zich dus uit naar de zijkant, waar deze zich koppelt aan de positieve en negatieve kanalen van de rail. Sinds deze ontwikkeling heeft Honda vier prototypes gedemonstreerd op een testbaan van 300 meter. Hier is uitgebreid getest met verschillende ladingen en in verschillende omstandigheden. Hieruit bleek dat er tot 1,3 meter afstand tussen het voertuig en de rail stroom kan worden opgewekt. Informatie over de prestatie van dit systeem is beperkt. Het systeem lijkt nog in de vroege fases van ontwikkeling te zijn, met een lage technologische looptijd (PIARC, 2018).

4. *Project ElonRoad*

ElonRoad AB heeft samen met Lund Universiteit een ERS rail systeem ontworpen en dit getest op een testterrein in Lund in Zweden. Dit systeem heeft op dit moment nog enkele beperkingen. Ten eerste ligt de rails boven de oppervlakte, waardoor deze een gevaar kan vormen voor voertuigen en motoren die met hoge snelheid van baan veranderen. Ten tweede heeft het systeem alleen een test op een testbaan ondergaan, en wordt het nog niet als bruikbaar gezien voor demonstratie op publieke wegen. Daarnaast vereisen de korte stukken rail die bij dit systeem gebruikt zijn extra onderhoud en veiligheidscontrole (PIARC, 2018).

Inductie

Er zijn verschillende pilotprojecten uitgevoerd voor de inductie technologie, en momenteel worden er steeds meer testen uitgevoerd met zwaar vrachtverkeer (PIARC, 2018). Dit gebeurt met de technologieën van Primove IPV en Electreon. De Primove technologie is recentelijk overgenomen door IPT (R. van den Dool, persoonlijke communicatie, 12 maart 2021).

1. *Project Bombardier & Scania: Primove (2013)*

In 2013 heeft Bombardier met de Primove technologie een Scania eTruck draadloos dynamisch opgeladen met een energie overdracht van 180 kW. De energie efficiënte was 90% van het netwerk tot de batterij, wat betekent dat de Scania vrachtwagen continu 160 kW ontving (PIARC, 2018; R. Van den Dool, persoonlijke communicatie, 12 maart 2020).

2. *Project SEAT group: IPV (2014)*

Draadloze dynamische energie overdracht werd vanaf 2014 getest in Italië door de SEAT Group (Emré et al., 2014). Het voertuig kon maximaal 80 km per uur rijden zodat maximale efficiëntie kon worden behaald. Elk segment is 25 meter lang en daardoor kan het voertuig energie verzamelen voor 1,124 seconden per segment. De energieoverdracht kan oplopen tot 100 kW, maar zal meestal eerder rond de 30-50 kW opereren zodat interoperabiliteit mogelijk is. De gemiddelde efficiëntie was 70-80%. Dit systeem heeft een levensduur van 10-15 jaar voor de koperen spoelen en 20 jaar voor het gehele systeem (Emré et al., 2014).

3. *Project ElectReon: Smartroad Gotland (2021)*

Op dit moment (2021) wordt er een project uitgevoerd door ElectReon op het Gotland eiland in Zweden (Kane, 2021). ElectReon is een Israelisch bedrijf gespecialiseerd op dynamisch draadloos opladen. Het project is uitgevoerd op een stuk weg van 1,6 km lang. Het Smartroad Gotland project is 's werelds grootste test track met een inductie technologie (Kane, 2021). Het bedrijf heeft de eerste testen gedaan op segmenten van 200 meter met snelheden tot 60 km per uur. De truck was 40 ton en uitgerust met 5 draadloze modules van 20 kW die een gemiddeld vermogen leverden van 70 kW. Het doel is om snelheden van tot en met 80 km per uur te behalen nu het wegdek sneeuwvrij is. De elektriciteit die gebruikt wordt komt van hernieuwbare energiebronnen (PIARC, 2021).

4. *Project ElectReon en Brebemi Spa (2021)*

Op dit moment is ElectReon bezig met het opzetten van een pilot project van 1 km op een Italiaanse tolweg (A35) in samenwerking met Brebemi Spa, de Italiaanse tolweg operator. Op deze weg zal een zwaargewicht vrachtwagen dynamisch inductief worden opgeladen (World Road Association PIARC, 2021).

5. *Project IPT in Keulen (2021)*

In samenwerking met de Duitse Bundes Ministerie für Verkehr (BMVI), de RWTH (Aken), de ESW en BERGER Bau wordt bij een snelweg in Keulen een stuk omgebouwd tot dynamische snelweg. Deze is bedoeld voor bussen en trucks, en het doel is om een hoge energie overdracht te hebben van 200 kW. Dit is een onderzoeks project en BERGER bau wil standaard modulaire "bouwstenen" ontwikkelen om die vervolgens achter elkaar in de weg te leggen. De verwachte einddatum is 2024 (Van den Dool, R, persoonlijke communicatie, 12 maart 2020)

6. *Project IPT in USA (2021)*

Dit project is een samenwerking met NSF en Espire. Hier worden binnenkort twee wegen omgebouwd zodat ze dynamisch energie kunnen overdragen aan zwaargewicht vervoer (Van den Dool, R, persoonlijke communicatie, 12 maart 2020).

4.1.2 Technology Readiness Level

Tabel 5 geeft een overzicht van de Technology Readiness levels (TRL) voor de verschillende technologieën. De TRLs van de technologie zijn bepaald aan de hand van de tot nu toe uitgevoerde pilot projecten, welke zijn beschreven in 4.1.1 *Pilotprojecten*.

Bovenleiding

Voor bovenleiding zijn er op dit moment 5 grote pilotprojecten uitgevoerd en is er één nog gepland. De technologie heeft zichzelf in de eerste 5 projecten bewezen in relevante omgeving, wat duidt op een TRL level van 7. De grootste uitdaging die door Siemens wordt genoemd is hoe de implementatie logistiek gezien schaalbaar kan worden gemaakt (G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 4 maart 2021). De laatste testen wijzen uit dat er per weg verschillende logistieke problemen zijn, zoals wanneer er akkoord wordt gegeven door de eigenaar, waar de pre-installatie site en waar de sub-stations moeten komen. Om TRL level 8, de grootschalige implementatie mogelijk te maken, moeten er een systeem ontwikkeld worden dat de logistieke planning van deze aanleg voor verschillende typen wegen mogelijk

maakt. Siemens is op dit moment bezig met een softwaresysteem dat dit proces verbetert. (G. Stunpe, persoonlijk communicatie, 4 maart 2021).

Rails

Voor rails zijn er op dit moment 4 pilotprojecten met toepassing op zwaar vrachtvervoer uitgevoerd door verschillende aanbieders. Volgens PIARC (2018) zou er nog een pilot door Alstom worden uitgevoerd in 2020-2021 in Zweden en Frankrijk, maar hier is geen verdere informatie over te vinden. Het systeem is binnen het Elways project getest binnen relevante en grotendeels ook operationele omstandigheden, op een nationale weg door Zweden. Echter is het systeem nog niet gevalideerd onder operationele omstandigheden. Er moet bijvoorbeeld nog ontwikkeling plaatsvinden op gebied van in-road toepassing van de rails systemen. Daarnaast moeten er nog meer getest worden met verschillende weersomstandigheden, voor het geval dat er bijvoorbeeld sneeuw, regen of zout op het wegdek en dus in de rails terecht komt. Omdat de technologie al getest is onder operationele omstandigheden, maar nog niet gevalideerd is er een TRL level van 6-7 toegekend aan de technologie.

Inductie

De inductietechnologie is tot nu in vier pilotprojecten met vrachtwagens getest binnen relevante omstandigheden en heeft zichzelf daarin bewezen. Uit deze projecten kwam naar voren dat er met name nog een uitdaging ligt in het vermogen dat de technologie kan overdragen op het voertuig en de snelheid waarmee het opladen kan plaatsvinden. Om hier verdere stappen in te maken zijn er op dit moment plannen voor twee nieuwe pilots waarin ook onder operationele omstandigheden zal worden getest. Dit betekent dat de technologie klaar is om getest te worden onder operationele omstandigheden, wat duidt op een TRL level van 6-7.

Tabel 5. Technology Readiness Level per technologie

Technology	TRL
Bovenleiding	7-8
Rails	6-7
Inductie	6-7

4.2. Technische functionaliteit

4.2.1 Vermogen en energie efficiency

Bovenleiding

Voor de bovenleiding technologie is er bij de laatste eHighway pilots van Siemens een vermogen van 200 kW waargenomen met een efficiëntie van 90-97% bij een snelheid van 90 km/h. Het is daarnaast aangetoond dat er 500 kW kan worden geleverd, maar wel met een lagere efficiëntie van 85% bij een snelheid tot 80 km/h. (PIARC, 2018)

Rails

Het door Alstom ontwikkelde rails systeem kan tot 126 kW leveren aan het voertuig, met een efficiëntie van 97% op een snelheid van 90 km/h (Emre et al, 2015). Het is ontwikkeld voor zware

transportvoertuigen, maar is ook in staat andere voertuigen te ondersteunen (Gustavson & Lindgren, 2020). De meest recente test van Elways op hun systeem gaf een vermogen van 200 kW met een bijbehorende efficiëntie van 82-95% (PIARC, 2018). Het systeem dat ElonRoad heeft ontwikkeld heeft een vermogen van tot 240 kW met een efficiëntie van 90-97% (PIARC, 2018). Het meest recente prototype van Honda R&D dat is getest op een 300 meter lange testbaan, is in staat om 450 kWh te leveren, met een efficiëntie van 90-95% en snelheden tot 150 km/h (PIARC, 2018).

Inductie

Met de pilot in Gotland is er met behulp van 20 kW modules een vermogen van 70 kW van de weg naar het voertuig getransporteerd middels inductie (Electreon, 2021). IPT heeft in begin 2021 de Primove technologie overgenomen. Deze modules van 35 kW kunnen samen 180 kW overbrengen van de weg naar het voertuig met een efficiëntie van 90% (Van den Dool, R, persoonlijke communicatie, 12 maart 2021).

4.2.2 Interoperabiliteit voertuigen

Bovenleiding

Het doorvoeren van de bovenleiding technologie op andere voertuigen dan vrachtverkeer is erg moeilijk. De bovenleidingen liggen hoog en daardoor kunnen de pantografen van auto's en bestelbussen er niet bij (Emre et al, 2015). Siemens bevestigt dat het gebruik van bovenleidingen niet mogelijk is voor auto's en andere kleinere voertuigen (G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 9 maart 2021). Verder is er door G. Stumpe benoemd dat het bovenleiding systeem toepasbaar is op verschillende typen vrachtwagens (persoonlijke communicatie, 9 maart 2021).

Rails

De technologieën die bij project Slide-in ERS, eRoad Arlanda en Elonroad gebruikt zijn, zijn geschikt voor alle typen voertuigen. HPDC is bedoeld voor alle typen voertuigen maar tot nu toe alleen getest op passagiers auto's (PIARC, 2018). Rails heeft dus een vrij hoge theoretische interoperabiliteit, het is alleen nog niet getest op alle soorten voertuigen.

Inductie

De technologie heeft een hoge interoperabiliteit en zijn dus toe te passen op alle voertuigen. Zo zijn er al veel succesvolle pilotprojecten gedaan voor bussen, auto's, trams en voertuigen voor lichte goederen. (PIARC, 2018; Ollson, 2013). Naast pilotprojecten wordt de inductietechnologie al toegepast op bussen in verschillende steden in de wereld zoals Turijn en Barcelona. Verder wordt de inductie technologie ook toegepast op ferry's en boten. De inductietechnologie kan op alle vrachtwagens worden toegepast (Van den Dool, R, persoonlijke communicatie, 12 maart 2021). Zowel voor vrachtverkeer als voor andere toepassingen begint het aantal pilotprojecten steeds verder toe te nemen.

4.3. Installatie en onderhoud

4.3.1 Aanleg

Bovenleiding

De installatie en het onderhoud van een eHighway-systeem kunnen in twee delen worden onderverdeeld: elektrische installaties buiten de weg (tussenstations) en installatie van masten en

bovenleiding installaties op de weg. De installatieprocedures kunnen sterk lijken op die voor het spoor, maar bij de elektrificatie op de weg moet rekening worden gehouden met de wegafsluitingen. Dit kan in de meeste gevallen gedurende de nacht gebeuren (PIARC, 2018 ; Emré et al, 2015). Een voordeel is dat de e-Highway opgebouwd kan worden zonder het wegdek open te breken. Tijdens het onderhoud van het systeem, zal er zich geen wegversperring voor doen. Een nadeel is dat er plekken zijn waar bovenleiding technologie niet kan worden aangelegd. Dit zijn viaducten, tunnels en andere weggedeelten met beperkte doorrijhoogten of zijruimten (Gustavson, 2019 ; Gustavson & Lindgren, 2020). De installatie van de bovenleiding is dus niet overal mogelijk, maar waar dit wel zo is kan profijt worden gehaald uit het feit dat de procedures lijken op die uit de spoorwegen en dat het systeem kan worden opgebouwd en onderhouden zonder al te veel wegversperring.

Rails

Evenals bij de bovenleiding technologie, kan bij rails gebruik worden gemaakt van kennis en installatieprocedures uit de spoorwegen. Bij de projecten Slide-in ERS, Elonroad en Elways hoeft het asfalt alleen maar in smalle stroken verwijderd te worden op de plekken waar rails, kabels of apparatuur komen. Conductieve rail wordt geplaatst en in contact gebracht met stroomvoorziening. Hierna moet het asfalt moet weer worden aangevuld (PIARC, 2018; Emre et al, 2015). Volgens Siemens verschilt het openbreken van het wegdek per materiaalsoort, en is het openbreken van een betonnen weg niet aan te raden (G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 4 maart 2021). De installatie van rails is dus niet overal makkelijk en zorgt gegarandeerd voor wegversperring, maar waar asfalt ligt zal het mogelijk zijn om alleen stroken wegdek te verwijderen, waardoor de installatie sneller zal verlopen.

Inductie

Voor de aanleg van de technologie worden er koperen spoelen (ElectReon) of primaire wikkelingen per 20 meter (Primove systeem) onder het asfalt aangebracht (Ollson, 2013b; PIARC, 2021). Daarnaast worden in de bodenvloer van het voertuig ontvangers aangebracht die energie direct transporteren naar motor en batterij tijdens het rijden (Ollson, 2013; PIARC, 2021). Voor de aanleg van inductie wegen moeten de bestaande wegen worden opgebroken om de apparatuur te installeren in de weg. Deze technologie is daarom niet compatibel met de huidige infrastructuur van de Nederlandse wegen. Bij het aanleggen worden rijstroken gesloten en dit zorgt voor verandering in het dagelijkse verkeer. ElectReon heeft in Tel Aviv een weg van 1 km geïnstalleerd in iets meer dan 1 dag (Electrive, 2020).

4.3.2 Levensduur technologie

Er is gekeken naar de levensduur van de verschillende technologieën. Hierbij is het van belang om rekening te houden met de termijn waarbinnen het wegdek in elk geval vervangen wordt. De vraag hierbij is dus of het haalbaar is om het aangelegde ERS systeem te vervangen als het wegdek vervangen wordt. Als het wegdek eerder vervangen moet worden dan het ERS systeem, is er een kans dat onderdelen van het systeem verplaatst worden terwijl ze nog goed werken. De meest voorkomende vorm van asfalt die op de Nederlandse snelwegen gebruikt wordt, is zeer open asfaltbeton (zoab). Gemiddeld is de levensduur van duurzaam zoab op de rechterrijstrook 11 jaar en op de linkerrijstrook 17 jaar (Rijkswaterstaat, 2020). Aangezien het ERS systeem binnen dit onderzoek bestemd is voor zwaar beladen vrachtwagens, gaan we uit van de levensduur van de rechter rijstrook van 11 jaar.

Bovenleiding

De technologie voor bovenleiding bestaat uit onderdelen met verschillende levensduur. De bovenleidingen hebben een technische levensduur van 40 jaar. De catenary masts hebben daarentegen een technische levensduur van 50 jaar en de transformers weer van 40 jaar (Schulte & Ny, 2018). Aangezien de onderdelen van de bovenleiding technologie niet direct onder het wegdek van de rijbaan liggen, zou het vervangen van het asfalt en het vervangen van het ERS systeem elkaar niet bijten.

Rails

De technologie gebruikt bij pilotproject ElonRoad heeft een levensduur van 10 jaar. Dit is bijna gelijk aan de levensduur van het asfalt. Wanneer het asfalt van de baan vervangen moet worden, zal het ERS systeem ook meteen vervangen moeten worden. De technologie van Elways kan 20 jaar mee en bij het Slide-in project van Alstom gaan ze uit van een levensduur van 20-30 jaar (PIARC, 2018). Ondanks dat het wegdek na 11 jaar wordt worden vervangen, zal dit niet voor problemen zorgen. Het blijkt namelijk dat het wegdek vervangen kan worden zonder het ERS systeem aan te tasten (PIARC, 2021).

Inductie

De technologie heeft een aangetoonde levensduur van tenminste 25 jaar (Van den Dool, R, persoonlijke communicatie, 12 maart 2020). Omdat er geen mechanische componenten in deze technologie bevinden is de levensduur even hoog als de levensduur van de elektronica die zich bevindt in de technologie (Van den Dool, R, persoonlijke communicatie, 12 maart 2021). Aangezien de inductieplaten onder het wegdek liggen, zullen bij het vervangen van het asfalt na 11 jaar ook de inductieplaten mee moeten worden genomen. Dit is erg ongunstig, aangezien deze nog veel langer mee zou kunnen.

4.3.3 Onderhoud

Overhead Catenary

Het wordt verwacht dat een oppervlakkige onderhoudsbeurt eens in de 10-15 jaar nodig is. Na ongeveer 40 jaar moet het hele systeem vervangen worden (PIARC, 2018 ; Emre et al, 2015).

Rails

De rails is lastig schoon te houden, en hier zou een extra machine voor nodig kunnen zijn (Nordin, 2019). De stroomafnemers moeten na elke 20.000 km moeten worden vervangen. Aan andere onderdelen is weinig onderhoud nodig. De contactpunten van een voertuig moeten elke 10.000 kilometer vervangen worden doordat hier slijtage optreedt. Dit kan gemakkelijk worden geïnspecteerd aangezien de meeste onderdelen zichtbaar en toegankelijk zijn. Het wegdek moet elke 8-15 jaar opnieuw worden aangelegd. De exacte duur is afhankelijk van verkeer en weer (PIARC, 2018 ; Emre et al, 2015 ; Olsson, 2013b).

Inductie

IPT heeft al gedurende lange tijd verschillende projecten met inductie lopen. Doordat de technologie geen mechanische beweging maakt, vindt er geen slijtage plaats. Volgens het interview met IPT heeft geen van de projecten met inductie onderhoud nodig gehad in de afgelopen 20 jaar (Van den Dool, R, persoonlijke communicatie, 12 maart 2020). Om deze reden wordt er vanuit gegaan dat deze technologie geen onderhoud nodig heeft.

4.4. Aanbod (leveranciers)

4.4.1 Autofabrikanten/OEMs

Bovenleiding

Scania, Volvo leveren vrachtwagens waarop een pantograaf is bevestigd om deze geschikt te maken voor de bovenleiding technologie (PIARC, 2018).

Rails

Volvo heeft een project afgerond op het gebied van rails (zie sectie pilotprojecten) maar heeft zich inmiddels teruggetrokken uit de samenwerking. Momenteel zijn Honda en DAF betrokken bij pilotprojecten met rails (PIARC, 2018).

Inductie

Momenteel zijn alleen de autofabrikanten Scania en Seat bezig met het ontwikkelen van de technologie (PIARC, 2018). Volvo is daarnaast recentelijk gaan investeren in Momentum dynamics, een bedrijf dat de inductie technologie levert voor onder andere bussen, vrachtwagens en verschillende andere typen voertuigen (Volvo Group, 2019).

4.4.2 Infrastructuur

Bovenleiding

De infrastructuur van de snelweg bij bovenleiding bestaat uit dezelfde onderdelen als de spoorwegen al bevatten. Hiervoor hoeven dus geen nieuwe leveranciers te komen (G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 9 maart 2021). Iedereen die verstand heeft van complexiteiten van infrastructuur zich zou kunnen inzetten om bovenleiding systemen aan te leggen. Naast Siemens is het Duitse transportbedrijf SWEG op het moment ook bezig met het vertalen van de bovenleiding vanuit trein/tramwegen naar de autoweg. (G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 9 maart 2021).

Rails

Op het gebied van rails volgt uit de pilotprojecten dat Alstom, Elways en ElonRoad momenteel bezig zijn met de productie, ontwikkeling en implementatie van rails infrastructuur. Alstom heeft samen met Volvo de APS technologie op de markt gebracht in 2017 (Alstom, 2017). Het bedrijf levert hetzelfde type rail ook voor tram toepassingen.

Inductie

Er zijn op dit moment meerdere bedrijven die inductie technologie testen en leveren. Binnen Europa zijn de meest bekende aanbieders IPT, ElectReon en Momentum Dynamics. IPT is al meer dan 20 jaar actief op het gebied van draadloos inductief laden en heeft onlangs de technologie van Primove overgenomen (Van den Dool, R., persoonlijke communicatie, 12 maart 2021). ElectReon is een jonger bedrijf en bestaat sinds 2013. De Primove technologie van IPT is zoals eerder vermeldt verder ontwikkeld dan de technologie van ElectReon (Van den Dool, R, persoonlijke communicatie, 12 maart 2021). Deze technologieën kunnen zowel in de binnenstad (lage snelheden) als de snelwegen (hoge snelheden) worden geïmplementeerd. Momentum dynamics is met name bezig binnen de stedelijke omgeving met

testen op bussen en lichte tot medium-zware vrachtwagens. Ze zijn echter van plan om de technologie ook aan te gaan bieden voor zwaar vrachtvervoer.

4.5. Sturing en regulering

4.5.1 Internationale sturing

Een van de grootste obstakels voor ERS systemen is dat er interoperabiliteit nodig is (B. Hasselgren, persoonlijke communicatie, 9 maart 2021). Aangezien de vrachtwagens op internationaal niveau opereren, zal de ontwikkeling hiervan in verschillende landen nodig zijn. Wereldwijd zijn er veel initiatieven voor de ontwikkeling van Electric Road Systems. De World Road Organisation PIARC heeft in 2018 een overzicht gemaakt van alle partijen die op dat moment betrokken waren met ERS. De verdeling in figuur 3 maakt geen onderscheid tussen conductieve bovenleiding of conductieve rails. Het aantal landen per technologie is daarom verder uitgezocht en weergegeven in tabel 6.



Figuur 3. De landen die projecten ondernemen in verschillende ERS technologieën (PIARC, 2018)

Tabel 6. Overzicht aantal landen die projecten ondernemen per technologie.

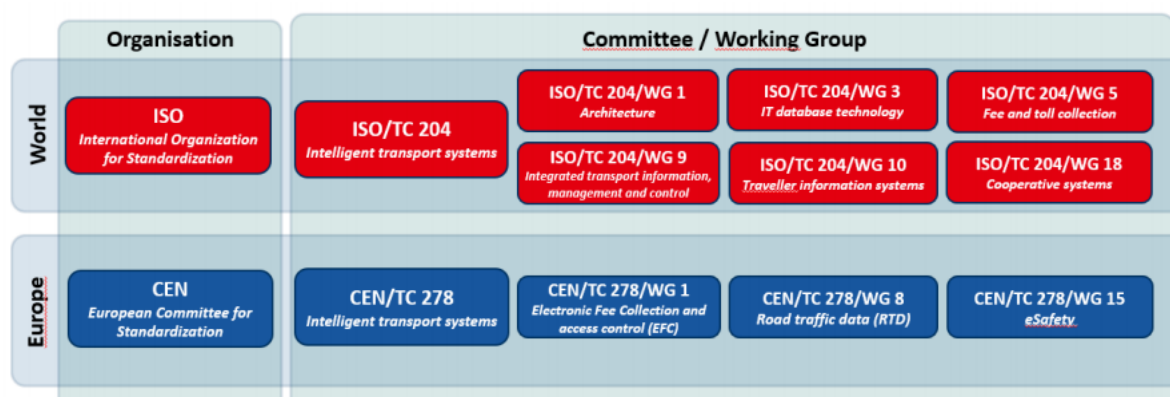
Technologie	Aantal landen	Landen
Bovenleiding	14 landen	VS, India, Maleisië, Japan, Australië, Duitsland, Denemarken, Griekenland, Noorwegen, Zweden, Ierland, Nieuw-Zeeland
Rails	12 landen	VS, India, Maleisië, Japan, Australië, Duitsland, Denemarken, Griekenland, Noorwegen, Zweden, Ierland, Nederland, Portugal, Polen
Inductie	20 landen	China, Pakistan, Nieuw-Zeeland, Israël, VS, Noorwegen, Zweden, Duitsland, Denemarken, Griekenland, Slovenië, Italië, Nederland, België, Frankrijk, Spanje, VK, Maleisië, India, Taiwan

4.5.3 Standaarden

Standaarden zijn essentieel voor de interoperabiliteit, compatibiliteit en competitie van ERS technologieën, en van groot belang voor de verdere inzet van ERS als een veelbelovende oplossing voor de verduurzaming van vrachtvervoer (Almestrand Linné et al., 2020). Er zijn standaarden nodig op gebied van de elektriciteitstoevoer, de weg, elektriciteit overdracht, weggebruik en voertuigen. Op dit moment is de standaardisatie voor ERS nog in een initiële ontwerpfase. In een Zweeds onderzoek door Almestrand Linné et al. (2020) wordt een overzicht gegeven van verschillende standaarden op gebied van intelligent transport systems (ITS) en is aangetoond welke standaarden van toepassing zijn voor ERS. Een overzicht van de wereldwijde en Europees betrokken organisaties voor ITS standaarden is weergegeven in figuur 4. Uit het onderzoek is gebleken dat 111 van de geïdentificeerde standaarden - inclusief standaarden voor elektronische vergoedingen (EFC) - zijn er 99 potentieel toepasbaar voor ERS. Al deze 99 standaarden bleken toepasbaar voor ERS ongeacht de keuze voor een specifieke technologie.

Om de verschillen tussen de drie ERS technologieën op gebied van standaarden aan te tonen, moet er worden gekeken welke standaarden er nog nodig zijn voor implementatie van deze technologieën. De grootste uitdaging op gebied van standaardisatie voor ERS is op dit moment interoperabiliteit, zoals beschreven in 4.2.2 Interoperabiliteit. Op dit moment zijn er nog geen standaarden of regulaties beschikbaar die hier een oplossing voor bieden (PIARC, 2018). Voor de bovenleiding technologie wordt interoperabiliteit niet als een vereiste gezien en zijn standaarden voor elektriciteit overdracht aanwezig vanuit de toepassing binnen het treinverkeer (G.Stumpe, persoonlijke communicatie, 9 maart 2021). Er zijn onder anderen al Europese standaarden voor de plaatsing van de bovenleidingen. Deze houden in dat de bovenleidingen op 5,5 meter hoogte moeten hangen, met een onderlinge afstand van 0,6 meter (Olsson, 2013a).

Voor rails verwachten we dat er eveneens minder nieuwe standaarden nodig zullen zijn, aangezien deze technologie ook al in de spoorwegen toe wordt gepast. Er is echter geen literatuur gevonden om dit te kunnen bevestigen. Voor inductie is er op dit moment de IEC 61980, een standaard voor inductieve elektriciteit overdracht naar elektrische voertuigen, maar deze is nog in ontwikkeling. Ook op gebied van communicatie zijn er standaarden nodig. Hiervoor zou de bestaande standaard ISO/IEC 15118 kunnen worden gebruikt, welke gaat over de communicatie tussen voertuigen en oplaadapparatuur. (PIARC, 2018)



Figuur 4. Overzicht van wereldwijde en Europese standaard organisaties met standaarden voor ITS (en ERS).

4.6. Kosten

4.6.1 Aanlegkosten

Vanuit Trafikverket is een schatting voor de aanlegkosten aangeleverd voor 2030, welke is weergegeven in tabel 7. Deze variabele is als enige voor 2030 genomen omdat er geen eenduidige getallen zijn voor de kosten momenteel. Dit heeft geen invloed op de uitkomst van de MCA. De totstandkoming van deze kosten is opgenomen in een Zweeds rapport, welke binnenkort door Trafikverket wordt uitgebracht (Trafikverket, 2021). Bij het opsturen van de data uit tabel 7 is verder nog aangegeven dat de kosten voor inductie op het moment nog erg onzeker zijn.

Tevens is er een voorspelling gemaakt voor de bezettingsgraad die er in 2030 nodig is voor voertuigen om succesvol gebruik te maken van het ERS over een traject. Niet het gehele traject hoeft geëlektrificeerd te worden om het ERS te laten functioneren. De kosten vermenigvuldigd met de bezettingsgraad laten de totale aanlegkosten per kilometer zien. De uitkomsten hiervan zijn weergegeven in tabel 8.

Tabel 7: huidige aanlegkosten componenten per ERS systeem

	Techniek en installatie	Wegaanpassing	Elektriciteitsnetwerk langs weg	Totaal
Bovenleiding	€ 2.352.000,00	€ 513.520,00	€ 617.400,00	€3.482.920,00
Rails	€ 1.078.000,00	€ 17.640,00	€ 450.800,00	€1.546.440,00
Inductie	€ 882.000,00	€ 170.411,02	€ 980.000,00	€2.032.411,02

Tabel 8: Bezettingsgraad en totale aanlegkosten per kilometer²

	Bezettingsgraad van traject	Totaal
Bovenleiding	35%	€ 1.219.022,00
Rails	67%	€ 1.036.114,80
Inductie	90%	€ 1.829.169,92

4.6.2 Voertuigkosten

Volgens Trafikverket (2021) zijn de voertuigkosten per ERS systeem niet significant verschillend. De kosten voor de batterij worden geraamd op € 35.000 per voertuig. Dit is voor een 300 kWh battery zodat de desbetreffende truck ook buiten het ERS systeem kan rijden. De onzekerheid qua kosten is hierbij de grootte van de batterij. Voor een 150 kWh batterij wordt € 20.000 geschat terwijl een 600 kWh batterij van € 75.000 ook tot de opties behoort (Trafikverket, 2021).

Vanwege beperkte beschikking over de kosten die de pantograaf (bovenleiding en rails) en de receiver (inductie) met zich meedragen, zijn voor voertuigkosten alleen de batterij kosten meegenomen

² De bezettingsgraad en kosteninschatting per km uit tabel 8 zijn gebaseerd op een Zweeds onderzoek van Trafikverket (2020). De bezettingsgraad die nodig is binnen Nederland kan hier dus nog van afwijken.

in de MCA. Aangezien deze niet verschillen tussen de drie technologieën, zal dit criterium niet van invloed zijn.

4.6.3 Onderhoudskosten

Gebaseerd op Olsson (2013), Taljegard et al. (2020) en PIARC (2018) zijn de volgende onderhoudspercentages per jaar verkregen. Dit is een percentage van de aanschafkosten. Voor overhead catenary, rails en inductief is dit respectievelijk 1, 2.5 en 1 procent.

4.6. Maatschappelijke aspecten

4.6.1 Veiligheid

De subcriteria die zijn gebruikt om de veiligheid van de verschillende ERS technologieën te bepalen zijn in tabel 9 weergegeven. Hierbij staat per technologie een kruis in het geval van eventuele onveiligheid en een vinkje indien de technologie voor dit subcriteria als veilig wordt gezien.

Tabel 9. Veiligheid

Subcriteria	Bovenleiding	Rails	Inductie
Veiligheid voertuigen op de weg	✓	✗	✓
Gezichtsveld bestuurder	✗	✓	✓
Bereikbaarheid voor noodhulp	✗	✓	✓
Impact gezondheid	✓	✓	✓
Gevoeligheid weersomstandigheden	✗	✗	✓

Bovenleiding

Aangezien er bij bovenleidingen geen sprake is van aanpassingen aan het wegdek, zal de veiligheid voor voertuigen op de weg ongeschaad blijven. Wel kan de bovenleiding een beperking in het gezichtsveld van de bestuurder veroorzaken (PIARC, 2018). Een ander probleem dat zich bij conductive bovenleidingen voor kan doen is de mogelijke belemmering van noodhulpen, zoals bijvoorbeeld noodhelikopters (PIARC, 2018). Verder zal er geen blootstelling aan elektromagnetische straling zijn, waardoor er geen negatieve invloed zal zijn op de gezondheid van gebruikers van het systeem. Uit persoonlijke communicatie met IPT (R. van den Dool, 12 maart 2021) is gebleken dat water, sneeuw en zeewind problemen met roest en bevroren componenten kunnen veroorzaken bij het bovenleidingsysteem. Ook zou sneeuw op de weg voor problemen zorgen met positionering van de vrachtwagen onder de bovenleidingen.

Rails

Er is twijfel over de veiligheid voor bestuurders van motorvoertuigen en voertuigen die met hoge snelheden over een railsysteem heen rijden (PIARC, 2018). Hiervan is vooral sprake bij de technologie

van Elonroad en Alstom, aangezien deze een stukje boven het wegdek liggen. Echter kan de rail technologie überhaupt zorgen voor meer gladheid.

De rails technologie veroorzaakt geen beperking in het gezichtsveld van de bestuurder. Aangezien de technologie geen onderdelen bevat die een obstakel zouden kunnen vormen voor noodhulpen, is de bereikbaarheid hiervoor goed. Ook wordt de elektromagnetische straling verwacht binnen de richtlijnen te liggen en hierdoor zal de gezondheid van de gebruikers gewaarborgd worden (Emre et al, 2015). Een nadeel dat bij de rail technologie van Elways naar voren kwam, is dat deze nog niet bruikbaar is op het moment dat de weg onder water ligt (PIARC, 2018). Bij de technologie van ElonRoad schijnt dit geen probleem te zijn. Elonroad is bezig met een ploegmachine voor winteronderhoud (PIARC, 2018). Bij Alstom is het systeem alleen onder laboratorium omstandigheden getest en het is dus niet duidelijk of invloed van weersomstandigheden hier een rol speelt. Dit wordt wel verwacht (PIARC, 2018).

Inductie

De inductie technologie wordt onder het wegdek aangelegd, en zal hierdoor zowel de veiligheid van weggebruikers als het gezichtsveld van de bestuurder niet beïnvloeden. Ook de bereikbaarheid voor nooddiensten zal hierdoor hetzelfde blijven. De meeste bezorgdheid rondom de technologie komt door de hoge waarden van magnetische flux die door de dunne lucht spleet komt. Echter, de uitgebreide ontwikkeling van de technologie kan verzekeren dat deze magnetische velden niet onveilig zijn voor mensen. De magnetische velden worden beperkt tot zeer direct nabijheid van de pick up onder de truck. Mensen kunnen dus niet blootgesteld worden aan hoge magnetische velden. Daarenboven zou een persoon maar aan zeer kleine hoeveelheden magnetische velden worden blootgesteld en deze hoeveelheden zitten ver onder de standaard blootstellingslimieten (Wu et al. 2011; Olsson, 2013).

De inductie technologie is ontworpen om te opereren in temperaturen tussen -40 en +40 graden (Olsson, 2013). Voor Nederland is dit dus geschikt. Inductie is ook geschikt voor vochtigheid variërend van 0% tot 100%. Het is ongevoelig voor weersomstandigheden en heeft aantoonend gewerkt in sneeuw, zand and milde overstromingen (Olsson, 2013). Dit maakt de technologie veilig in vele weersomstandigheden.

4.6.2 Sociale impact

De sociale impact van de technologieën is meegenomen door te kijken naar visuele impact, geluidsoverlast en verkeersopstoppingen bij onderhoud of plaatsing, zoals weergegeven in tabel 10. De rails technologie scoort hiervoor het minst en de inductie technologie het best. Een kruis betekent een negatieve impact, een vinkje is geen of positieve impact.

Tabel 10. Sociale impact (PIARC, 2018)

Subcriteria	Bovenleiding	Rails	Inductie
Visuele impact	✘	✘	✓
Geluidsoverlast	✘	✘	✓
Verkeersopstopping bij aanleg/onderhoud	✓	✘	✘

4.7. Overzicht: Voor- en nadelen

De punten waarop de technologieën beter of slechter scoorden dan de twee alternatieven zijn hieronder uitgelicht in tabel 11 als voor- en nadelen. De punten waarop een technologie slechter scoorde dan de anderen (nadelen per technologie) zijn gebruikt voor verder onderzoek naar toekomstverwachtingen.

Tabel 11. Voor- en nadelen van de drie ERS technologieën.

Bovenleiding	Rails	Inductie
<ul style="list-style-type: none">+ Hoog TRL level+ Hoog vermogen en efficiëntie+ Lange levensduur+ Lage complexiteit aanleg	<ul style="list-style-type: none">+ Lage aanlegkosten	<ul style="list-style-type: none">+ Veel pilotprojecten+ Veel internationale aandacht+ Hoge interoperabiliteit+ Geen noodzaak tot onderhoud aangetoond
<ul style="list-style-type: none">- Lage interoperabiliteit- Minder veilig- Redelijk grote sociale impact	<ul style="list-style-type: none">- Weinig internationale aandacht- Weinig pilotprojecten- Minder veilig- Grote sociale impact	<ul style="list-style-type: none">- Laag vermogen en efficiëntie- Hoge aanlegkosten

5. Toekomstverwachtingen

In tabel 11 is eerder een overzicht gegeven van de criteria waarop de drie technologieën goed en minder goed scoren ten opzichte van de andere twee alternatieven. In de volgende sectie worden de nadelen per technologie verder toegelicht en is er voor deze specifieke criteria per technologie gekeken welke ontwikkelingen er nog worden verwacht in de periode tot aan 2030.

5.1 Bovenleiding

Interoperabiliteit

Interoperabiliteit is het vermogen van elektrische wegsystemen om elk elektrisch voertuig aan te drijven, ongeacht het voertuigtype. Zoals eerder aangegeven is de technologie voor bovenleidingen slecht te gebruiken voor lagere voertuigen, aangezien deze niet met de pantograaf aan de bovenleiding kunnen worden gekoppeld. Op dit moment wordt er door de grootste aanbieder van de technologie, Siemens, niet gekeken naar eventuele toepassing van de technologie naast vrachtvervoer (G. Stumpe, persoonlijke communicatie, 9 maart 2021). De reden hiervoor is dat er wordt aangenomen dat er goede alternatieven voor de elektrificatie van deze voertuigen zijn naast ERS, zoals batterijen. Daarnaast is er ook geen wetenschappelijk onderzoek gevonden waaruit blijkt dat er op dit moment gewerkt wordt aan een manier waarop de bovenleiding toepasbaar kan zijn voor andere voertuigtypen dan vrachtwagens.

Veiligheid

De veiligheid van bovenleidingen is als minder goed beoordeeld omdat de technologie slecht scoorde op de beperking van het gezichtsveld van de bestuurder, de belemmering die de bovenleidingen kunnen vormen voor eventuele toegang door noodhulpverleners zoals noodhelikopters en problemen met de positionering van vrachtwagens onder bovenleidingen in geval dat er sneeuw op de weg ligt. Vanuit wetenschappelijk onderzoek zijn er geen ontwikkelingen verwacht op deze punten, waardoor veiligheid ook in 2030 een belangrijke overweging moet blijven.

Sociale impact

De sociale impact van de ERS technologieën is bepaald aan de hand van drie indicatoren: de visuele impact, geluidsoverlast en verkeersopstopping bij aanleg/onderhoud. De bovenleiding technologie scoorde negatief op zowel visuele impact als geluidsoverlast. Allereerst beïnvloeden de bovenleidingen het ruimtelijk beeld van de weg sterk, en hier is geen verbetering in te verwachten. De geluidsoverlast van het wegverkeer zal sterk dalen door de komst van ERS systemen doordat er geen interne verbranding meer plaatsvindt in het voertuig (PIARC, 2020). Echter geeft in het geval van bovenleidingen de beweging van de pantograaf langs de bovenleiding wel een geluid, dat voor weggebruikers als storend kan worden ervaren (PIARC, 2018).

5.2 Rails

Pilotprojecten

Voor on-road en in-road rails technologieën hebben er op dit moment vier verschillende pilotprojecten plaatsgevonden. Alstom is bezig met het plannen van een 550 meter lange test track in Frankrijk, samen met Vedecom Institute en Franse partners. Hierbij zal de veiligheid, functionaliteit en het onderhoud van de technologie getest worden met middelzware en lichte vrachtwagens. Dit staat gepland voor

2021 tot 2023. Alstom is van plan om tussen 2022 en 2024 te werken aan een demonstratie met verschillende soorten voertuigen op een Franse snelweg. Zij zeggen in 2025 klaar te zijn voor inzet van rail technologie op grote schaal. (PIARC, 2021) Deze twee geplande pilotprojecten hebben geen directe betrekking op zwaar vrachtvervoer, maar zullen de ontwikkeling van de rail technologie wel kunnen stimuleren. Er zijn verder geen andere geplande pilotprojecten gevonden.

Internationale aandacht

Internationaal gezien zijn er op dit moment 12 landen bezig (geweest) met projecten voor rails. Met name Frankrijk is een voorstander van de technologie en heeft om die reden twee nieuwe piloprojecten gepland (PIARC, 2021). Alstom verwacht rond 2025 klaar te zijn voor de inzet van de rails technologie in Europa, het is echter niet duidelijk of dit ook voor vrachtvervoer geldt (PIARC, 2021). Dit kan echter wel voor een grotere internationale aandacht kunnen zorgen.

Veiligheid

Net als voor de bovenleiding technologie is er ook bij rails een mindere score voor de veiligheid gegeven. De redenen hiervoor waren dat er gevaar op de weg kan ontstaan voor bestuurders van motorvoertuigen. Op dit moment wordt er echter wel door Alstom gewerkt aan een in-road systeem (PIARC, 2021). Daarnaast is er een probleem met betrekking tot weersomstandigheden. Uit pilots is tot nu toe gebleken dat indien er sneeuw of water op de rail terecht komt, het systeem duidelijk minder goed tot niet meer functioneert. Dit is een van de grootste nadelen van de rails technologie, en daardoor zijn er wel partijen met oplossingen bezig. Zo wordt er gewerkt aan een systeem dat de rails schoon kan houden door Alstom (PIARC, 2021).

Sociale impact

Zoals eerder aangegeven is de sociale impact van de ERS technologieën is bepaald aan de hand van drie indicatoren. De rails technologie scoorde negatief op alle drie, dus zowel visuele impact, geluidsoverlast en verkeersopstopping bij aanleg/onderhoud. De visuele impact is minder dan voor bijvoorbeeld bovenleiding. Verder wordt geluidsoverlast ook benoemd in een interview door G. Stumpe (persoonlijke communicatie, 4 maart 2021) als een belangrijke negatief aspect van de technologie. In het geval van onderhoud moet de weg worden opengeboken. Op geen van deze aspecten is significante verbetering verwacht.

5.3 Inductie

Geleverd vermogen

Het hoogste vermogen wordt op dit moment geleverd door de Primove technologie van IPT, welke 180 kW door middel van 35 kW modules over kan brengen van de weg naar het voertuig. Binnen de geplande pilot in Keulen wordt er met een energieoverdracht van 200 kW getest. Door technologie is daardoor ook het meest geschikt voor een toepassing op zwaar vrachtvervoer. Verder heeft IPT onlangs een 5-jarig technische roadmap ontwikkeld om de draadloos dynamisch inductie technologie verder te ontwikkelen, waaronder voor toepassing op zwaar vrachtvervoer (R. van den Dool, persoonlijke communicatie, 12 maart 2021). Dit houdt in dat de er wordt gewerkt aan een nieuw platform waar de producten zijn gebaseerd op 85 kHz, terwijl de afgelopen 15 jaar 20 kHz is gebruikt. Voor statisch laden kan dit leiden tot een energieoverdracht van 350 - 400 kW in de komende 3-4 jaar. Voor dynamisch laden wordt er ook vooruitgang verwacht, maar het is nog onzeker hoe snel dit zal gaan (R. van den Dool, persoonlijke communicatie, 12 maart 2021).

Ook nieuwkomer ElectReon verwacht binnen enkele jaren door middel van hun 20 kW modules minstens 125 kW te kunnen leveren met een energie efficiëntie van 90% (Electrive, 2020). Het vermogen kan eventueel zelfs oplopen tot 200 kW, maar daarvoor zijn er grote en zware secundaire spoelen nodig aan boord (Emre et al., 2014). Verder is er met dit vermogen ook nog niet getest op *on-road* omstandigheden (PIARC, 2018). Deze ontwikkelingen laten zien dat er veel progressie wordt geboekt omtrent inductie, en dat de score op dit gebied dus nog kan verbeteren.

Aanlegkosten

De aanlegkosten voor inductie (€1.8 mln) liggen op dit moment nog relatief hoog ten opzichte van de andere twee technologieën (€1.0 mln en €1.2 mln). De voornaamste reden is dat er voor inductie op dit moment nog een zeer hoge bezettingsgraad nodig is om voldoende vermogen te kunnen leveren. Indien deze bezettingsgraad naar beneden gaat, dan is er de verwachting dat ook de aanlegkosten fors naar beneden zullen gaan.

6. Conclusie en beleidsaanbevelingen

Dit onderzoek draagt bij aan het beantwoorden van de vraag " *welke beleidsaanbevelingen nodig zijn om verdere ontwikkeling van Electric Road Systems (ERS) voor zwaar vrachtvervoer te stimuleren, op basis van de huidige en nog verwachte ontwikkelingen van drie verschillende ERS technologieën - bovenleiding, rails en inductie - voor de periode 2021-2030.*". Om deze vraag in volledigheid te kunnen beantwoorden is er eerst een antwoord geformuleerd op de eerste twee deelvragen, welke een inzicht geven in de verwachte ontwikkelingen voor de drie verschillende ERS technologieën voor de periode 2021-2030. Vervolgens wordt op basis van deze uitkomst een antwoord gegeven op de laatste deelvraag en hoofdvraag, welke beleidsaanbevelingen bijdragen aan verdere ontwikkeling van ERS.

De scores van de MCA zijn voor bovenleiding, rails en inductie respectievelijk 0,664, 0,576 en 0,704. Uit deze scores kan worden opgemaakt dat inductie op dit moment de beste score behaalt. Inductie biedt in veel gevallen voordelen ten opzichte van de andere twee alternatieven, zoals de grote internationale aandacht, hoge interoperabiliteit en de lage noodzaak voor tussentijds onderhoud. Steeds meer aanbieders van de technologie stappen nu ook in de markt voor vrachtvervoer en plannen nieuwe pilots om dit gebied te verkennen. De enige twee nadelen van de technologie zijn dat deze op dit moment nog het laagste vermogen biedt en de hoogste aanlegkosten heeft. Belangrijk is dat hierin wordt meegenomen dat de aanlegkosten zo hoog zijn door de hoge bezettingsgraad van 90% die nu wordt aangenomen voor implementatie op de weg. Deze bezettingsgraad zal naar waarschijnlijkheid dalen zodra er meer elektriciteit kan worden overgebracht, wat betekent dat voertuigen langer zonder laden kunnen.

Vlak na inductie komt de bovenleiding technologie uit op een tweede plek volgens de uitkomsten van de MCA. Deze technologie heeft op dit moment een aantal voordelen ten opzichte van inductie en rails, zoals dat het vermogen en de efficiëntie relatief beter zijn voor deze technologie, wat de schaalbaarheid vergroot. Daarnaast heeft de bovenleiding ERS een lange levensduur van 40 jaar en hoeft de weg niet opengebroken te worden voor de aanleg. De bovenleiding technologie presteert slechter dan de alternatieven op gebied van interoperabiliteit, aangezien deze technologie niet geschikt is en wordt voor toepassing op andere voertuigtypen. Daarnaast zijn er zorgen over de veiligheid in geval van slechte/winterse weersomstandigheden, noodhulp en slecht zicht van de bestuurder. Ondanks dat de technologie op zichzelf het duurst is, zorgt de lage benodigde bezettingsgraad van 35% ervoor dat de aanlegkosten per km meevallen.

Voor rails lijken er uit dit onderzoek meer nadelen dan voordelen naar voren te komen. Ondanks dat de aanlegkosten per kilometer als laagst van de drie worden ingeschat, zijn er bij deze technologie een aantal zorgen met betrekking tot veiligheid. De rails moet namelijk altijd schoon gehouden worden, ook in geval van slechte weersomstandigheden. Verder zijn er al een paar jaar geen projecten meer geweest voor deze technologie en lijkt er – op Frankrijk na – weinig internationale aandacht voor de technologie te zijn. Voor andere criteria scoorde de technologie over het algemeen gemiddeld, waardoor deze zeker niet uit het oog verloren moet raken.

Over het algemeen kan er worden geconcludeerd dat er geen ontzettend duidelijke winnaar uit dit onderzoek naar voren komt. Iedere technologie heeft andere voor- en nadelen, waarvan soms nog verder moet worden aangetoond of deze dat in de komende 10 jaar ook zullen blijven. Ondanks dit, zijn er op basis van de resultaten wel een aantal aanbevelingen geformuleerd.

De beleidsaanbevelingen op basis van de conclusies uit dit onderzoek zijn als volgt:

- Er wordt geadviseerd om op dit moment nog **niet grootschalig te investeren** of in te zetten op één specifieke technologie. Het is momenteel nog te onzeker hoe de drie technologieën zich tot aan 2030 gaan ontwikkelen. Naast dit onderzoek moet ook in acht worden genomen dat andere technologieën en methodieken zoals waterstof en batterijen in ontwikkeling zijn en invloed hebben op het elektrificeren van het vrachtverkeer in Nederland. Zoals ook in meerdere interviews is benoemd, waaronder door het Zweedse Trafikverket, is er over een paar jaar meer duidelijkheid over de technische functionaliteit van inductie en rails. Daardoor wordt het bijvoorbeeld ook gemakkelijker om deze met de bovenleiding technologie te vergelijken.
- Vanuit veel innovatieliteratuur – waaronder theorieën als Stratigic Niche Management – wordt aangegeven dat pilotprojecten een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan verdere technologische ontwikkeling van een technologie, maar ook aan de verzameling van stakeholders. Om de juiste afweging te kunnen maken, moet er dan ook meer informatie beschikbaar komen hoe de technologieën kunnen opereren in Nederland. Wij adviseren om **op kleine schaal te experimenteren** met de verschillende technologieën, waarbij de voorkeur uitgaat naar testen met inductie, vanwege de positieve uitkomst voor de technologie binnen dit onderzoek. Op deze manier kan bijvoorbeeld gekeken worden of inductie het gewenste vermogen en efficiëntie kan bereiken. Een dergelijke pilotproject kan bijvoorbeeld worden opgezet in samenwerking met IPT of Momentum Dynamics.
- Het is belangrijk om de innovaties die de elektrificatie van het Nederlandse wegsysteem bevorderen te stimuleren. Innovaties binnen ERS worden op dit moment met name gestimuleerd door publieke investeringen, omdat er nog geen commercialisatie heeft plaatsgevonden. Alhoewel dit een goede voorbereiding is op de take-off van de technologieën, is het vaak het geval dat innovaties die de huidige paradigma uitdagen terechtkomen in de “Valley of Death”. Dit is de fase waarin een bedrijf stuk loopt tussen onderzoek en succesvolle innovatie. Om dit te voorkomen is een **samenwerking met verschillende stakeholders** uitermate belangrijk.
- Verder is het ook belangrijk dat er een **businessmodel wordt gecreëerd voor ERS**. Daarbij is het van belang dat er een krachtig beleid wordt opgesteld, waarin eisen staan voor businessmodellen en transitie. De ontwikkeling van standaarden zal ook invloed hebben op de competitie tussen bedrijven en ervoor zorgen dat er nieuwe business modellen ontstaan. De eerdergenoemde pilotprojecten zouden daarnaast ook als een testbed kunnen dienen dat eventuele toekomstige investeerders in de technologie aantrekt.

Referenties

Ainalis, D.T., Thorne C., and Cebon D. (juli 2020). Decarbonizing the UK's Long-Haul Road Freight at Minimum Economic Cost. The Centre for Sustainable Road Freight (SRF). Geraadpleegd op 22-02-2021, van www.csrf.ac.uk

CBS. 2021. Hoeveel broeikasgas stoot de transportsector uit? Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd op 14-3-2021 van

<https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-broeikasgassen/hoofdcategorieen/hoeveel-broeikasgas-stoot-de-transportsector-uit-#:~:text=In%202019%20stootte%20de%20Nederlandse,bij%2C%20het%20wegvervoer%2021%20procent.>

eHighway SH (n.d.). Geraadpleegd op 20-02-2021, van

<https://www.ehighway-sh.de/de/ehighway.html>

Electrive (oktober 2020). ElectReon and Eurovia to build wireless electric roads. Geraadpleegd op 28-02-2021, van

<https://www.electrive.com/2020/10/07/electreon-and-eurovia-to-build-wireless-electric-roads/>

Emre, M., Vermaat, P., Naberezhnykh, D., Damousis, Y., Theodoropoulos, T., Cirimele, V en Doni, A. (2015). *Review of existing power transfer solution*: p. 82-87. Geraadpleegd op 03-01-2021, van

http://www.fabric-project.eu/www.fabric-project.eu/images/Deliverables/FABRIC_D33_1_V2_Review_of_existing_charging_solutions_submitted.pdf

eWay BW, (n.d.). Geraadpleegd op 28-02-2021, van <https://ewaybw.de/>

Gustavson, M. (april 2019). *Overview of ERS concepts and complementary technologies*. Geraadpleegd op 01-03-2021, van

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1301679/FULLTEXT01.pdf>

Gustavson, M. & Lindgren, M. (april 2020). *Maturity of power transfer technologies for electric road systems*. Geraadpleegd op 01-03-2021, van

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1414333/FULLTEXT01.pdf>

Hessen Mobile. (n.d.) ELISA. Geraadpleegd op 22-01-2021, van <https://mobil.hessen.de/ELISA>

Kane, M (2021). ElectReon Completes Dynamic Wireless Charging Road For Trucks. *InsideEVs*. Geraadpleegd op 28-02-2021, van

<https://insideevs.com/news/481997/electreon-completes-dynamic-wireless-charging-road-trucks/>

Klimaatakkoord (2019). Mobiliteit. Geraadpleegd op 20-01-2021, van

<https://www.klimaatakkoord.nl/mobiliteit>

Musavi, F., & Eberle, W. (2014). Overview of wireless power transfer technologies for electric vehicle battery charging. *IET Power Electronics*, 7(1), 60-66.

Nordin, L. (2019). Changes to Road Maintenance and Operations on Electric Roads. 3rd Electric Road Systems Conference 2019. Geraadpleegd op 23-02-2021, van <http://media.electricroads.org/2019/04/S2 - Nordin - Changes to Road Maintenance and Operations on Electric Roads.pdf>

Olsson, O. (2013a). *Slide-in Electric Road System: Conductive project report*. Geraadpleegd op 20-02-2021, van <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1131845/FULLTEXT02.pdf>

Olsson, O. (2013b). *Slide-in Electric Road System: Inductive project report*. Geraadpleegd op 20-02-2021, van <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1131846/FULLTEXT02.pdf>

PIARC (2018). Electric Road Systems: A solution for the future? Geraadpleegd op 10-02-2021, van https://www.trafikverket.se/contentassets/2d8f4da1602a497b82ab6368e93baa6a/piarc_elvag.pdf

PIARC. (oktober 2020). Strategic Plan 2020-2023. Geraadpleegd op 24-03-2021, van <https://www.piarc.org/ressources/documents/Strategic-Plans-PIARC-World-Road-Association-2020-2023/a5f541c-32601-Strategic-Plan-2020-2023-PIARC-World-Road-Association-Update-October-2020.pdf>

PIARC. (23 februari 2021). Electric Road Systems - PIARC Online Discussion - 17 February 2021 [video]. Youtube. Geraadpleegd op 28-02-2021, van https://www.youtube.com/watch?v=I5xdJMoz_WA

Rijkswaterstaat. (2020). *Zeer open asfaltbeton*. Geraadpleegd op 20-02-2021, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/aanleg-wegen/zoab.aspx>

Siemens. (december 2019). *Highway electrification for trucks has already started* [Powerpoint]. Geraadpleegd op 10-03-2021, van <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:78f7ac2f-d2e6-46b5-82bb-d15fee791fc6/presentation-eHighway-Sustainable-road-freight-transport.pdf>

Schulte, J., Ny, H. (April 2018). *Electric Road Systems: Strategic Stepping Stone on the Way towards Sustainable Freight Transport?*.

Sundelin, H., Mellquist, A.-C., Linder, M., Gustavsson, M., Börjesson, C., & Pettersson, S. (2017). *Förstudie av affärsekosystem för elvägar*. Geraadpleegd op 26-02-2021, van <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1174203/FULLTEXT01.pdf>

Taljegard, M., Thorson, L., Odenberger, M., & Johnsson, F. (2020). Large-scale implementation of electric road systems: Associated costs and the impact on CO2 emissions. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(8), 606-619.

Trafikverket, (2021) Analysera förutsättningar och planera för utbyggnad av elvägar. ISBN: 978-91-7725-805-6

Verheggen, E. (2021). Scania ziet meer in de batterijen en schrijft de waterstof truck af. *Nieuwsblad Transport*. Opgehaald op 24-03-2021, van <https://www.nieuwsbladtransport.nl/wegvervoer/2021/02/04/scania-ziet-meer-in-batterijen-en-schrijft-de-waterstoftruck-af/?gdpr=accept>

Volvo Group. (15 januari 2019). *Volvo Group Venture Capital invests in wireless electric charging*. Geraadpleegd van <https://www.volvogroup.com/en-en/news/2019/jan/news-3177831.html>

Appendices

Appendix I

Tabel 12. Bepaling TRL levels

TRL 1	Basisprincipes van de benodigde technologieën zijn bekend
TRL 2	Het technologisch concept van de sleutelcomponenten is geformuleerd
TRL 3	Het technologisch concept van sleutelcomponenten is experimenteel aangetoond
TRL 4	De technologie van alle sleutelcomponenten werkt onder laboratoriumcondities
TRL 5	De voor het prototype benodigde technologieën werken onder relevante omstandigheden
TRL 6	Een prototype werkt onder relevante omstandigheden
TRL 7	Een prototype kan getest worden onder operationele omstandigheden
TRL 8	Het systeem is getest en gevalideerd onder de operationele omstandigheden
TRL 9	Klaar voor toepassing

Appendix II

Tabel 13. Uitleg score toekennen aan kwalitatieve criteria

criterium	Score
Interoperabiliteit	<ol style="list-style-type: none">1. Er is één type voertuig is geschikt om het ERS te gebruiken2. Enkele voertuigen zijn geschikt om het ERS te gebruiken3. Enkele voertuigen met verschillende hoogte zijn geschikt om het ERS te gebruiken4. Veel voertuigen van verschillende zijn geschikt om het ERS te gebruiken5. Alle voertuigen kunnen het ERS gebruiken
Complexiteit aanleg	<ol style="list-style-type: none">1. Geen hinder door aanleg2. Weinig hinder door aanleg3. Gemiddeld hinder door aanleg4. Vrij invasieve hinder door aanleg5. Aanleg zorgt voor buitengewoon veel hinder
Veiligheid	<ol style="list-style-type: none">1. Er zijn geen risico's (0 van de 5)2. Er is een klein risico (1 van de 5)3. Er is gemiddeld risico (2 van de 5)4. Er is risico (3 van de 5)5. Er zijn veel meegebrachte risico's (>4/5)
Sociale impact	<ol style="list-style-type: none">1. Geen sociale impact (0 van de 3)

	<ol style="list-style-type: none">2. Kleine sociale impact (1 van de 3)3. Redelijk sociale impact (2 van de 3)4. Grote sociale impact (3 van de 3)
--	--