
ONDERZOEKSRAPPORT

Variantenonderzoek naar de meest geschikte laadtechniek om laden tijdens het rijden mogelijk te maken en hoe deze techniek te integreren in een veilig en goed functionerend wegontwerp voor de Energy Highway N59

Auteur Jorgen Janse

Opdrachtgever Sweco Nederland B.V.
Buitenruststraat 225
4337 ER Middelburg
Nederland

AFSTUDEEROPDRACHT
CIVIELE TECHNIEK

Afstudeerbegeleider R. Koops

Afstudeerdocent A. Repko

Datum 14-01-2018

ONDERZOEKSRAPPORT

Variantenonderzoek naar de meest geschikte laadtechniek om laden tijdens het rijden mogelijk te maken en hoe deze techniek te integreren in een veilig en goed functionerend wegontwerp voor de Energy Highway N59

Auteur Jurgen Janse

Opdrachtgever Sweco Nederland B.V.
Buitenruststraat 225
4337 ER Middelburg
Nederland

AFSTUDEEROPDRACHT
CIVIELE TECHNIEK

Afstudeerbegeleider R. Koops

Afstudeerdocent A. Repko

Datum 14-01-2018

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport ‘Variantenonderzoek naar en ontwerp van het geïntegreerd laden tijdens het rijden in het wegontwerp van de energy highway N59’. Dit onderzoeksrapport is geschreven naar aanleiding van het afstudeerproces voor de opleiding Civiele techniek, welke ik volg aan de HZ University of Applied Sciences. Het afstudeerproces is uitgevoerd bij Sweco Nederland B.V. Met dit onderzoeksrapport informeer ik u over de aanleiding van het onderzoek, de gebruikte onderzoeksmethode en de onderzoeksresultaten volgend uit het onderzoek.

In dit onderzoeksrapport zijn alle onderzoeksresultaten samengevoegd van het onderzoek “Variantenonderzoek naar en ontwerp van het geïntegreerd laden tijdens het rijden in het wegontwerp van de energy highway N59” wat bestaat uit APPENDIX 1 “Project Huidige Situatie Analyse”, APPENDIX 2 “Programma van Eisen” en APPENDIX 3 “Varianten Studie”. Het resultaat van dit onderzoek beschrijft een variant welke het mogelijk maakt om laden tijdens het rijden te integreren in het wegontwerp van de Energy Highway N59.

Dit onderzoeksrapport is gerealiseerd bij de afdeling Techniek van Sweco Nederland B.V., vestiging Middelburg. Bij dezen wil ik graag mijn afstudeerbegeleider dhr. R. Koops, de teammanager mevr. I. Vink en vanuit de onderwijsinstelling dhr. A. Repko bedanken voor de begeleiding tijdens het afstudeerproces. Daarnaast wil ik dhr. R. de Bruijn bedanken voor het ter beschikking stellen van zijn expertise op het gebied van duurzaamheid. Ook wil ik dhr. M. de Voogd bedanken voor de begeleiding met het ontwerpprogramma Civil3D en dhr. M. Platje voor de constructieve begeleiding.

Dit rapport is uitgegeven op 14 januari 2018 te Middelburg.

Jurgen Janse

Middelburg, 14 januari 2018

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	8
1. Inleiding	9
1.1 Aanleiding van het onderzoek.....	10
1.2 Probleemstelling.....	11
1.3 Doelstelling.....	11
1.4 Onderzoeksvragen.....	12
1.5 Leeswijzer	13
2. Theoretisch kader.....	14
2.1 Huidige situatie.....	14
2.1.1 Verkeersintensiteit op de N59.....	15
2.1.2 Verkeersveiligheid	15
2.1.3 Beschouwde traject tijdens het onderzoek.....	16
2.1.4 Bus-routes N59	18
2.2 Elektrisch rijden	20
2.2.1 Werking van elektrisch rijden.....	20
2.2.2 Standaard methoden elektrisch laden	20
2.3 Efficiëntie.....	21
2.4 Mogelijke technieken dynamisch laden	21
2.4.1 Conductief stroomoverdracht (pantograafladen).....	24
2.4.2 Magnetische resonantie inductie (inductielade).....	25
2.5 Wegontwerp.....	28
2.6 Programma van Eisen.....	28
2.6.1 Eisen actoren	29
3. Methode.....	31
3.1 Onderzoeksstrategieën	32
3.2 Onderzoeksinstrumenten.....	32
3.3 Projectactiviteiten	33
3.4 Scope van het onderzoek	37
3.5 Beschouwde varianten	38
3.6 Aanpak varianten vergelijking	38
3.6.1 Criteria voor varianten vergelijking.....	38
3.6.2 Wegingen per criteria voor varianten vergelijking.....	40
3.6.3 Score-toekenning voor varianten vergelijking	44
	4

4.	Resultaten.....	45
4.1	Varianten vergelijking volgens Multi Criteria Analyse	45
4.2	Gevoeligheidsanalyse Multi Criteria Analyse	47
4.3	Hoe wordt het laadsysteem geïntegreerd in het wegontwerp?	48
4.3.1	Exacte locatie implementatie laadsysteem.....	48
4.3.2	Herontwerp dwarsprofiel ten behoeve van veiligheid N59	51
4.3.3	Ontwerpaannames geïntegreerd laadsysteem in hernieuwd wegontwerp	52
4.3.4	Beheer en onderhoud	56
4.3.5	Effect van het ontwerp.....	57
4.3.6	Kosten.....	58
5.	Discussie	59
6.	Conclusie	62
7.	Aanbevelingen	64
8.	Literatuurlijst	66
	Bijlagen	70
	Bijlage 1 - Mindmap.....	71
	Bijlage 2 – Bus-karakteristieken	73
	Bijlage 3 - Geregistreerde ongelukken 2012-2015 N59	75
	Bijlage 4 – Geregistreerde ongevallen bij de provincies Zuid-Holland en Zeeland	76
	Bijlage 5 – Uitwerking mogelijke technieken dynamisch laden	84
	Bijlage 6 – Functionele en technische eisen.....	98
	Bijlage 7 - Gevoeligheidsanalyse	102
	Bijlage 8 - Dwarsprofiel en bovenaanzicht geïmplementeerd inductielaadsysteem.....	103

Bijlagen

Appendix 1	Project huidige situatie analyse
Appendix 2	Programma van eisen
Appendix 3	Varianten studie
Appendix Extra opdracht	

Figurenlijst

Figuur 1: Traject N59	14
Figuur 2: Geregistreerde ongelukken 2012-2015 N59 (Pont, 2015) (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2017)	16
Figuur 3: Traject Zierikzee - Bruinisse N59	17
Figuur 4: Lengte van het traject Zierikzee – Bruinisse N59	17
Figuur 5: Obstakels traject Zierikzee – Bruinisse N59	18
Figuur 6: Buslijn 395; Zierikzee – Rotterdam, Zuidplein.....	18
Figuur 7: Buslijn 133; Middelburg – Oude-Tonge	19
Figuur 8: Illustratieve weergave pantograaf laden verwerkt in wegontwerp	24
Figuur 9: Visuele weergave van dynamisch pantograaf laden	24
Figuur 10: Componenten pantograaf laden.....	25
Figuur 11: Illustratieve weergave inductieladen verwerkt in wegontwerp	26
Figuur 12: Visuele weergave van dynamisch inductie laden (Perik, 2013)	26
Figuur 13: Componenten inductieladen (Perik, 2013)	27
Figuur 14: Schematische weergave methode	31
Figuur 15: Laadtraject vanaf rotonde Zierikzee (6,8 km)	50
Figuur 16: Laadtraject vanaf rotonde Bruinisse (6,8 km)	50
Figuur 17: Normale afmetingen wegontwerp gebiedsontsluitingsweg type 2 1x2 (CROW, 2005)	52
Figuur 18: Primaire spoelen in segmenten van 4 meter (Beeldens, Hauspie, Perik, & Boonen, 2017)	53
Figuur 19: Wegopbouw met geïntegreerd inductiemodule	54
Figuur 20: Inductielaadsysteem verdeeld in verschillende segmenten	55
Figuur 21: VDL Citea SLF-120 Electric (VDL)	74
Figuur 22: Geregistreerde ongelukken 2012-2015 N59 (Pont, 2015) (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2017)	75
Figuur 23: Schematische weergave inductieve stroom-overdracht (Chetvorno, 2014)	84
Figuur 24: Vergelijking inductie met resonante inductie (PowerbyProxi, 2015)	84
Figuur 25: Schematische weergave magnetische resonantie inductie (Chetvorno, 2014).....	85
Figuur 26: Globale weergave implementatie in wegontwerp magnetische resonantie inductie (Utah State University, 2015)	86
Figuur 27: Schematische weergave laserOngeldige bron opgegeven.	87
Figuur 28: Schematische weergave microgolven Ongeldige bron opgegeven.	88
Figuur 29: Globale weergave implementatie in wegontwerp - laser, microgolven.....	88
Figuur 30: Globale weergave implementatie in wegontwerp -microgolven (Mehrotra, 2014).....	89
Figuur 31: Schematische weergave radiogolven (Ma, 2010)	90
Figuur 32: Globale weergave implementatie in wegontwerp - radiogolven	90
Figuur 33: Schematisch weergave werking elektrisch veld (Ma, 2010)	91
Figuur 34: Schematische weergave capacatieve stroom-overdracht (Mi, 2015).....	92
Figuur 35: Globale weergave implementatie in wegontwerp - Capacatieve stroom-overdracht	92
Figuur 36: Schematische weergave mechanische kracht generator (Induction Generator, 2017)	93
Figuur 37: Schematische weergave mechanische stroom-overdracht (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)	94
Figuur 38: Schematische weergave conductief stroom-overdracht door middel van een pantograaf en bovenleiding (Macroplan, 2015)	95
Figuur 39: Siemens eHighway infograph (Siemens, 2017)	96
Figuur 40: Bus met sleepconductie (Elways, 2016).....	96
Figuur 41: Werking sleepconductie (Elways, 2016)	97

Tabellenlijst

Tabel 1: Trajecten N59	14
Tabel 2: Verkeersintensiteit N59 2011-2016 (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2017)	15
Tabel 3: Overzicht en beoordeling methoden dynamisch laden (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)	22
Tabel 4: Overzicht methoden dynamisch laden (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)	22
Tabel 5: Aantal rijstroken traject N59	28
Tabel 6: Betrokken actoren	29
Tabel 7: Criteria ten behoeve van varianten vergelijking volgens Multi Criteria Analyse	39
Tabel 8: Rangschikking op weging criteria ten behoeve van varianten vergelijking volgens Multi Criteria Analyse	40
Tabel 9: Criteria MCA met wegingsfactoren	43
Tabel 10: Uitwerking Multi Criteria Analyse	46
Tabel 11: Lengte laadtraject in gunstig en ongunstige situatie.....	49
Tabel 12: Bus specificaties Citea SLF-120 Electric	73
Tabel 13: Motorspecificaties Citea SLF-120 Electric.....	73
Tabel 14: Batterijspecificaties Citea SLF-120 Electric.....	74
Tabel 15: Overzicht draadloos stroom overdracht elektrisch veld techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013).....	85
Tabel 16: Overzicht draadloos magnetisch resonantie inductie techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)	86
Tabel 17: Overzicht draadloos lazer, microgolven techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)	88
Tabel 18: Overzicht draadloos radiogolven techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)	90
Tabel 19: Overzicht draadloos capacitieve stroom-overdracht techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)	92
Tabel 20: Overzicht draadloos mechanische stroom-overdracht techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013).....	94
Tabel 21: Overzicht draadloos conductief stroom-overdracht techniek (Siemens, 2017)	95

Samenvatting

De provincies Zuid-Holland en Zeeland en de gemeentes Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland hebben samen de ambitie om de N59 om te vormen tot een duurzame, goed functionerende en veilige weg. Deze ambitie voor de N59 wordt beschouwd als “De Energy Highway N59”. Dit in combinatie met de ontwikkelingen op het gebied van duurzaamheid, vormt de aanleiding voor dit onderzoek.

In dit onderzoek wordt onderzoek verricht naar de mogelijkheid om laden tijdens het rijden te implementeren in het wegontwerp van de N59 en naar het verbeteren van het veiligheidsprofiel.

De onderzoeksvraag waarop in dit onderzoek getracht is antwoord te krijgen, luidt:

“Welke laadtechniek is het meest geschikt om laden tijdens het rijden mogelijk te maken en hoe kan deze techniek worden geïntegreerd in een veilig en goed functionerend wegontwerp voor de Energy Highway N59?”

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden is gestart met het onderzoeken van de huidige situatie van de N59. Hierbij wordt onderzocht waarom de provincies en gemeentes de nadrukkelijke wens hebben de N59 om te vormen tot een goed functionerende en veilige weg.

Uit onderzoek van de huidige situatie blijkt dat de N59 bekend staat als relatief onveilige weg. Dit wordt verklaard door de hoeveelheid ongelukken die plaatsvindt op de weg. Hiervan blijken inhaalmanoeuvres, het al dan niet vrijwillig op de verkeerde weghelft belanden, de belangrijkste oorzaak. Doordat verkeerveiligheidsanalyse geen eenduidig knelpunt aantoonde wordt vastgesteld dat de N59 in zijn geheel niet veilig genoeg is en een herontwerp van het wegontwerp genoodzaakt is.

Om vervolgens te kunnen beantwoorden welke laadtechniek het meest geschikt is om laden tijdens het rijden mogelijk te maken, wordt er onderzoek verricht naar dynamische laadtechnieken.

Uit onderzoek blijken er acht potentiële technieken te zijn welke laden tijdens het rijden mogelijk zouden kunnen maken. Door het bestuderen van de acht laadtechnieken kan al snel de eerste conclusie worden getrokken. Twee van de acht laadtechnieken blijken werkelijk de potentie te hebben om laden tijdens het rijden mogelijk te maken. Bij de overige zes laadtechnieken schort het aan de juiste specificaties op het aspecten als overdrachtsvermogen, overdrachtsefficiëntie en overdrachtsafstand. De overgebleven twee laadtechnieken met potentie om dynamisch te kunnen laden zijn:

- Conductief stroomoverdracht -> genaamd: “Pantograafladen”
- Magnetische resonantie inductie -> genaamd: “Inductieladen”

Beide technieken worden als varianten gedefinieerd. Om te bepalen welke variant het meest geschikt is voor de toepassing van dynamisch laden, worden de varianten verder uitgewerkt. De uitwerking wordt praktisch beschouwd door de varianten toe te passen bij het streekvervoer. Na de uitwerking worden de varianten vergeleken op basis van een Multi Criteria Analyse (MCA). De uitkomst van de vergelijking wordt geverifieerd aan de hand van een gevoeligheidsanalyse. Hierbij wordt een ongunstige situatie geschetst voor de meest geschikte variant volgens het resultaat van de Multi Criteria Analyse.

Uit de variantenvergelijking volgt dat magnetische resonantie inductie (inductieladen) de meest geschikte manier is om laden tijdens het rijden te integreren in het wegontwerp van de Energy Highway N59. Dit wordt bevestigd door de gevoeligheidsanalyse, waar een ongunstige situatie voor inductieladen wordt beschouwd en desondanks blijkt dat dit de meest geschikte toepassing is.

1. Inleiding

De wereld is aan het veranderen, verandering om de wereld te redden. Het klimaat heeft het zwaar te verduren. Hedendaags worden er zoveel broeikasgassen uitgestoten dat de trend waarmee nu geleefd wordt niet kan worden doorgezet. De omgang met de het klimaat dient te veranderen wil de aarde leefbaar blijven. Deze gedachten dringen steeds meer door bij overheden. Wereldwijd ontwikkelt zich een belangrijke trend, genaamd **duurzaamheid**.

Duurzaamheid wordt door (World Commission on Environment and Development Verenigde Naties, 1987) omschreven als *“Duurzame ontwikkeling is ontwikkeling die aansluit op de behoeften van de huidige bewoners van de aarde zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen”*

Technische ontwikkelingen spelen bij deze trend een belangrijke rol. Eén van die technische ontwikkelingen is de omslag van het gebruik van fossiele brandstof naar elektrische energie. De technieken voor zowel de opwekking van energie als het gebruik van energie veranderen snel.

Door de toenemende **behoefte aan mobiliteit** groeit het aantal kilometers dat wordt afgelegd. De negatieve kanten van deze behoefte zijn bekend: luchtverontreiniging, geluidsoverlast, dichtslibbende wegen en een vergaande afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, waarvan de bronnen schaarser worden. (Vondeling & Syrier, 2009)

De **mobilitatsrevolutie** gaat hand in hand met de technische ontwikkelingen en de **energierevolutie**. De snelle ontwikkelingen op dit gebied kunnen oplossingen bieden voor grote **maatschappelijke problemen** zoals klimaatverandering, verslechtering van luchtkwaliteit en de eindigheid van fossiele brandstoffen. (Groenhuijsen & Rijpert, 2016)

De Rijksoverheid heeft als doel gesteld en daarvoor een overeenkomst getekend om vanaf 2025 een **“zero emissie”** beleid te voeren op het gebied van openbaar vervoer. Dit houdt in dat vanaf dat moment het openbaar vervoer vrij zal zijn van schadelijke uitlaatgassen.

Naast de noodzaak om deze maatschappelijke problemen een halt toe te roepen, blijft de behoefte aan mobiliteit bestaan. Door technische ontwikkelingen te combineren met een **hernieuwde denkwijze** over het gebruik van mobiliteit kan het positieve effect worden vergroot. Deze hernieuwde denkwijze over het gebruik van mobiliteit richt zich vooral op **efficiënt gebruik van voertuigen**. De tijd dat een voertuig stil staat moet daarbij teruggedrongen worden.

Dit onderzoek is gebaseerd op het gebruik van bovenstaande dikgedrukte kernbegrippen. Door het combineren van deze begrippen ontstaat er een beeld van een probleem en handvatten waarmee dit probleem kan worden aangepakt.

Deze nieuwe manier van denken leidt tot een tal van innovatieve ideeën. Eén daarvan wordt beschouwd in dit onderzoek: Het integreren in het wegontwerp van laden tijdens het rijden (dynamisch laden) van elektrische voertuigen. Dit sluit aan bij de ambitie van de provincies Zuid-Holland en Zeeland en de gemeentes Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland voor de N59 doordat de aspecten duurzaamheid, functionaliteit en veiligheid hierin verwerkt zijn.

1.1 Aanleiding van het onderzoek

De provincies Zuid-Holland en Zeeland en de gemeentes Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland hebben samen de ambitie om de N59 om te vormen tot een duurzame, goed functionerende en veilige weg. Deze ambitie voor de N59 wordt beschouwd als “De Energy Highway N59”.

De wens van de provincies en gemeentes sluit aan bij de trend duurzaamheid die tegenwoordig steeds belangrijker wordt.

De Energy Highway N59 is een project van de provincie Zuid-Holland. Hierbij wordt de N59 aangepakt omdat de weg bekend staat als verkeersonveilige weg, door de hoeveelheid ernstige ongelukken die hier gebeuren. Daarnaast kan de weg de toenemende verkeersintensiteit door zowel werk- als toeristisch verkeer niet aan. Vanwege deze problemen en de wens voor een duurzaam toekomstbeeld hebben de provincies Zuid-Holland en Zeeland en de gemeentes Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland samen de ambitie geformuleerd om de N59 om te vormen tot een duurzame, goed functionerende en veilige weg.

De omslag van het gebruik van fossiele brandstof naar elektrische energie speelt hierbij een belangrijke rol. Door deze technische ontwikkelingen te combineren met een hernieuwde denkwijze over het gebruik van mobiliteit worden de negatieve effecten op het klimaat beperkt. Deze hernieuwde denkwijze over het gebruik van mobiliteit richt zich vooral op efficiënt gebruik van voertuigen. De tijd dat een voertuig stil staat moet daarbij teruggedrongen worden.

1.2 Probleemstelling

De provincie Zuid-Holland ondervindt aan de N59 verschillende problemen. De weg staat bekend als verkeersonveilige weg, door de hoeveelheid ernstige ongelukken die hier gebeuren. Tevens kan de weg de toenemende verkeersintensiteit door zowel werk- als toeristisch verkeer niet aan. Naast de veiligheid en verkeersintensiteit moet er worden ingespeeld op de toekomstige infrastructuur. In deze toekomstige infrastructuur dient rekening gehouden te worden met alternatieven voor fossiele brandstof wegens schaarste van deze brandstof en het vervuilende effect dat de brandstof veroorzaakt met betrekking tot het milieu.

Er dient een nieuw ontwerp te worden gemaakt voor de N59 om deze problemen op te lossen. Tegelijkertijd heeft de provincie Zuid-Holland de ambitie om de N59 om te vormen tot duurzame en goed functionerende weg, waarbij een belangrijke rol is weggelegd voor de economische ontwikkeling van zowel Goeree-Overflakkee als Zeeland. Deze ambitie wordt verwoordt als Energy Highway N59. Hierbij wordt gericht gekeken naar de toekomst, waarbij de visie die Sweco hiervoor ontwikkeld heeft als uitgangspunt wordt genomen. In deze visie van Sweco speelt elektrisch rijden een belangrijke rol.

1.3 Doelstelling

Dit onderzoek heeft als doelstelling om een veilige, duurzame en goed functionerend wegontwerp op te stellen met daarin geïntegreerd een mogelijkheid om elektrische voertuigen op te laden tijdens het rijden.

In het kader van Energy Highway N59 richt dit onderzoek zich op het integreren van een oplaadsysteem welke een elektrisch voertuig dynamisch kan laden. Daarbij dient het dynamische oplaadsysteem geïmplementeerd te worden in het wegontwerp van de N59. De keuze voor het type oplaadsysteem met bijbehorende techniek is afhankelijk van verschillende factoren die worden onderzocht en uitgewerkt in het onderzoek. Tevens zal er rekening gehouden worden met de verkeersveiligheid van de N59.

De combinatie van het dynamisch laden en verkeersveiligheid moet leiden tot een wegontwerp waarbij beide aspecten zijn verwerkt. Hiervoor dient een afweging gemaakt te kunnen worden bij aspecten als toepassing van de techniek, de uitvoering van het wegontwerp met geïntegreerd oplaadsysteem, het onderhoud aan de weg en oplaadsysteem en toekomstbeeld van de weg en het oplaadsysteem.

Dit onderzoek richt zich specifiek op het laden tijdens het rijden van een bus die ingezet wordt in het openbaarvervoer op de N59. De keuze voor de bus wordt gemaakt met als doel het onderzoek in te kaderen tot een bepaalde doelgroep. Daarnaast kan het verbruik worden gespiegeld aan één bepaald type voertuig waardoor er een representatieve vergelijking kan worden gemaakt. De keuze hiervoor is gebaseerd op het “zero emissie” beleid van de Rijksoverheid, wat inhoudt dat in 2025 het openbaar vervoer vrij is van schadelijke uitlaatgassen.

1.4 Onderzoeksvragen

Hoofdvraag

Welke laadtechniek is het meest geschikt om laden tijdens het rijden mogelijk te maken en hoe kan deze techniek worden geïntegreerd in een veilig en goed functionerend wegontwerp voor de Energy Highway N59?

Deelvragen

1. Hoe ziet de huidige situatie van de N59 eruit?
 - 1.1 Hoe ziet de huidige situatie van de N59 eruit?
 - 1.2 Waar op de N59 doen zich probleempunten/knelpunten voor?
 - 1.3 Welke verkeersintensiteit is van toepassing op de N59?
 - 1.4 Welk traject van de N59 wordt beschouwd tijdens dit onderzoek?
 - 1.5 Welke buslijn(en) maken gebruik van de N59?
2. Welke aspecten zijn van belang voor het elektrische laden?
 - 2.1 Welke oplaadsystemen zijn er momenteel beschikbaar?
 - 2.2 Welk impact heeft het systeem op het wegontwerp?
3. Welke aspecten zijn van invloed op het geïntegreerde laadsysteem in het wegontwerp?
 - 3.1 Wat zijn de eisen vanuit de provincie Zuid-Holland?
 - 3.2 Welke veiligheidseisen zijn van toepassing?
 - 3.3 Welke technische eisen zijn van toepassing?
 - 3.4 Welke karakteristieken van een bus zijn van toepassing?
4. Wat is de meest realiseerbare ontwerpvariant op het gebied van geïntegreerd laadsysteem in het wegontwerp?
 - 4.1 Welke varianten worden beschouwd in de variantenstudie?
 - 4.2 In welke mate bepalen welke criteria en risico's de realiseerbaarheid van de ontwerpvariant?
 - 4.3 Hoe ziet de realiseerbaarheid van de beschouwde varianten eruit?
5. Hoe wordt het laadsysteem geïntegreerd in het wegontwerp?
 - 5.1 Op welke exacte locatie wordt het laadsysteem geïntegreerd?
 - 5.2 Hoe wordt de veiligheid op de N59 verbeterd?
 - 5.3 Welke ontwerpaannames volgen uit het onderzoek?
 - 5.4 Hoe ziet het ontwerp eruit?
 - 5.5 Hoe dient het beheer en onderhoud uitgevoerd te worden?
 - 5.6 Welke effecten heeft het ontwerp op de bus(route)?
 - 5.7 Wat zijn de verwachten kosten en baten van het geïntegreerde oplaadsysteem in het wegontwerp?

1.5 Leeswijzer

Literatuur en theorieën die relevant zijn voor het onderzoek zijn beknopt weergegeven in Hoofdstuk 2 Theoretisch kader. De methode van het onderzoek staat beschreven in Hoofdstuk 3 Methode. Hierin wordt de aanpak van het onderzoek, de onderzoeksmethode, onderzoeksinstrumenten en projectactiviteiten beschreven. Vervolgens worden de resultaten van het onderzoek beschreven in Hoofdstuk 4 Resultaten. Hoofdstuk 5 Discussie staat in het teken van de discussie op het eigen onderzoek. Uit de resultaten worden conclusies getrokken die worden beschreven in Hoofdstuk 6 Conclusies. Als laatste wordt in Hoofdstuk 7 Aanbevelingen de betekenis van de onderzoeksresultaten voor het praktijkprobleem beschouwd waarbij aanbevelingen worden gedaan voor toepassing van de resultaten en vervolgonderzoek.

2. Theoretisch kader

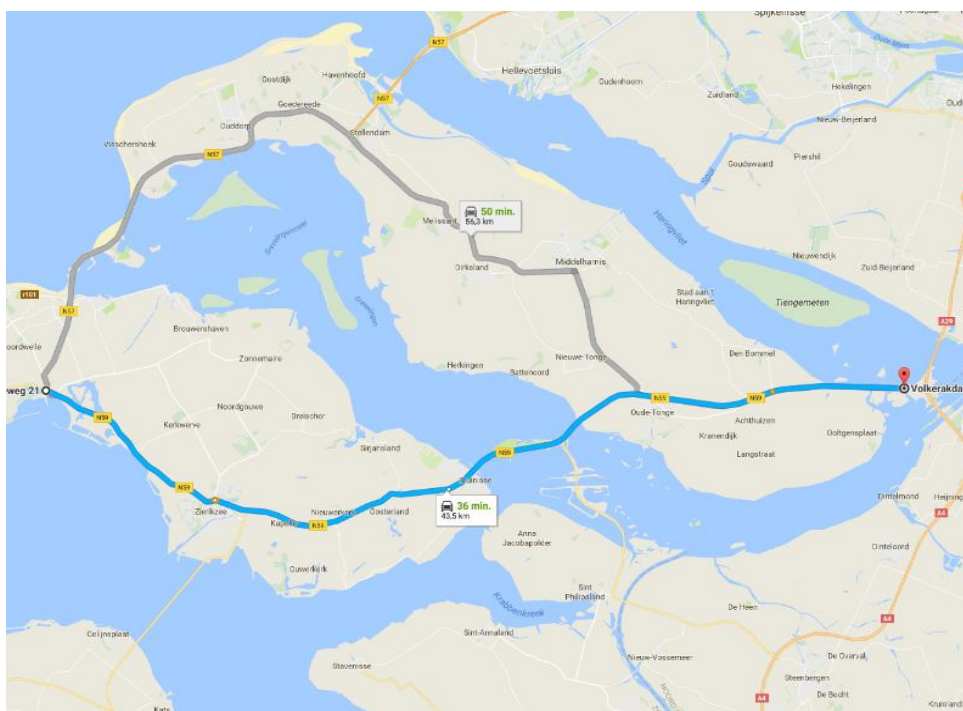
Het theoretisch kader vormt de basis van het onderzoek. Hierin zijn literatuur en theorieën beschreven welke relevant zijn voor het onderzoek. De verzamelde literatuur en theorieën zijn nodig om de onderzoeksvraag en bijbehorende deelvragen te kunnen beantwoorden.

2.1 Huidige situatie

De volledige uitwerking van deze deelvraag is opgenomen in APPENDIX 1 Huidige Situatie Analyse. In deze paragraaf worden de belangrijkste aspecten met betrekking tot de huidige situatie op de N59 beschreven.

De N59 is een rijksweg, wat inhoudt dat de weg eigendom is en in beheer en onderhoud is van een rijksinstantie van de landelijke overheid welke zich bezig houdt met verkeer. In Nederland is dit Rijkswaterstaat. (Wegenwiki, 2016)

De N59, niet-autosnelweg 59, loopt vanaf Serooskerke op Schouwen-Duiveland, met de aansluiting op de N57, via de Grevelingendam tot het knooppunt Hellegatsplein waarna de weg overgaat in de A59, autosnelweg 59.



Figuur 1: Traject N59

De N59 is opgedeeld in twee secties zoals te zien is in onderstaande tabel.

Traject – N59	Aantal rijstroken	Maximumsnelheid
Serooskerke - Bruinisse	2×1	80 km/h
Bruinisse - Knooppunt Hellegatsplein	2×1	100 km/h

Tabel 1: Trajecten N59

2.1.1 Verkeersintensiteit op de N59

De N59 is een belangrijke economische (transport)autoweg voor Goeree-Overflakkee, Schouwen-Duiveland en deels Zeeland.

De drukte op de Nederlandse wegen hangt samen met de seizoenen, stelt het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). December en januari zijn de rustigste maanden op de weg, vanwege vakanties en slecht weer. Waar het in Nederland in het algemeen in de zomermaanden ook rustiger is dan gemiddeld, neemt in deze maanden de verkeersdruk in Zeeland juist toe. Naast de toestroom van toeristen maakt woon- werkverkeer en landbouw-verkeer het hele jaar door gebruik van de N59. (Nederlandse Omroep Stichting, 2017) (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2017)

ONDERWERPEN	VERKEERSINTENSITEITEN RIJKSWEGEN					
PERIODEN	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	Aantal gepasseerde motorvoertuigen per uur					
RIJKSWEG 59 (A59 EN N59)	1 565	1 574	1 610	1 616	1 612	1 665
RIJKSWEG 2 (A2 EN N2)	3 160	3 239	3 329	3 462	3 581	3 626
RIJKSWEG 15 (A15 EN N15)	1 961	1 905	1 912	1 895	1 946	1 963
RIJKSWEG 44 (A44 EN N44)	2 156	2 187	2 142	2 298	2 312	2 340
RIJKSWEG 59 (A59 EN N59)	1 565	1 574	1 610	1 616	1 612	1 665
RIJKSWEG 65 (A65 EN N65)	1 507	1 510	1 564	1 603	1 644	1 656

Tabel 2: Verkeersintensiteit N59 2011-2016 (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2017)

Ter vergelijking zijn enkele andere soortgelijke wegen in Tabel 2 toegevoegd. Hierbij is een duidelijke stijgende trend te zien in de verkeersintensiteit voor zowel de N59 als het landelijke beeld. Aan de hand van deze gegevens wordt aangenomen dat deze trend zich in de komende jaren voortzet en de verkeersintensiteit verder zal stijgen.

2.1.2 Verkeersveiligheid

De N59 wordt beschouwd als een verkeersonveilige weg. Dit wordt veroorzaakt door de vele ongevallen die plaatsvinden op de weg. Het merendeel van de ongevallen wordt veroorzaakt doordat een voertuig van de weg raakt of op de verkeerde weghelft beland. Deze trend is te verklaren door de combinatie van snel en langzaam verkeer dat gezamenlijk gebruik maakt van de weg. Inhaalmanoeuvres worden ingezet met alle gevolgen van dien.

Voor het onderzoek is het van belang om inzichtelijk te maken welke verkeersonveilige situaties zich voordoen en op welke locaties deze situaties zich voordoen. Voor de benodigde gegevens wordt gebruik gemaakt van ongevallen registratie bij de provincies Zuid-Holland en Zeeland (Bijlage 3) en van de website (Pont, 2015) waar alle geregistreerde ongevallen in de periode van 2012-2015 staan geregistreerd volgens Ministerie van Binnenlandse Zaken (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2017) (Bijlage 4).

Volgens (provincie Zuid-Holland, 2016) is de verkeersproblematiek op de N59 van zowel het Zeeuwse deel als het Zuid-Hollandse deel vergelijkbaar met elkaar. De laatste jaren zijn er verschillende ernstige ongelukken te betreuren geweest op de N59. Vaak betrof het auto's die om diverse redenen op de verkeerde weghelft terecht zijn gekomen. Bij een aantal speelden inhaalmanoeuvres een rol.

Echter, volgens de (provincie Zuid-Holland, 2016) is er geen duidelijke trend te zien in de locatie van de ongevallen. De lange termijn ongevallenanalyse bevestigt geen specifieke verkeersonveilige knelpunten (black spots).

Doorstroming

De knelpunten op de N59:

- Aansluiting op de N57
- Rond Zierikzee
- Tussen Zierikzee en Bruinisse
- Tussen de Schaapsweg en het Hellegatsplein
- Geringe breedte van de N59 tussen de Schaapsweg en de verkeerslichten bij Oude-Tonge

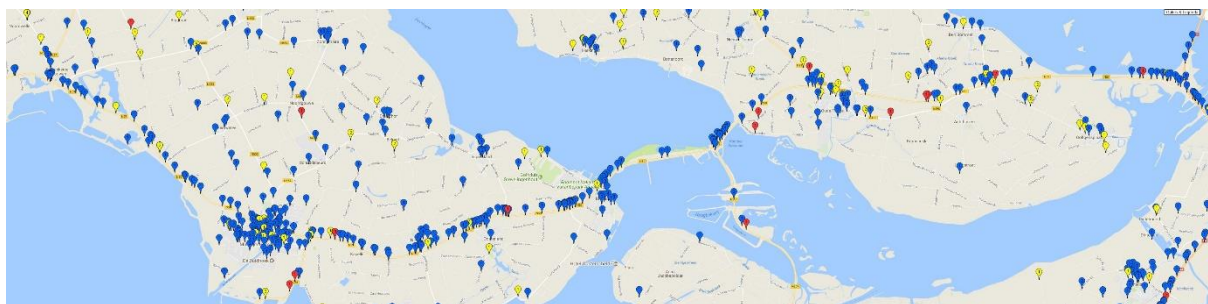
De knelpunten op werkdagen met woon- werkverkeer komen voor tussen Hellegatsplein en de aansluiting Schaapsweg. De problemen zijn met name op de aansluiting N59 - Schaapsweg en het Hellegatsplein. (M.Villierius, Goeree-Overflakkee Verkeersongevallen, 2014) (M.Villierius, Goeree-Overflakkee Verkeersongevallen, 2015)

Cijfers van de provincie Zuid-Holland en Zeeland geven weer dat de capaciteitsproblemen zich voordoen tijdens de ochtendspits op de kruising N59-Schapsweg. Tijdens de avondspits doen de problemen zich voor bij de samenvoeging van verkeer op het Hellegatsplein richting Goeree-Overflakkee waar het te maken krijgt met verkeer vanuit Brabant via de Haringvlietbrug.

Naast de problemen omtrent de spits doen zich problemen voor van recreatieverkeer. Op piekdagen zijn de zondagmiddag/avond en in mindere mate de vrijdagavond richting Rotterdam druk.

Doordat er naast woon- werkverkeer en recreatie verkeer ook langzaam landbouwverkeer de weg kruist, ontstaan er regelmatig gevaarlijke situaties.

Onderstaand een overzichtskaart met geregistreerde ongelukken op de N59 van de periode 2012-2015. In Bijlage 3 is een vergrootte overzichtskaart opgenomen met geregistreerde ongelukken op de N59 van de periode 2012-2015.



Figuur 2: Geregistreerde ongelukken 2012-2015 N59 (Pont, 2015) (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2017)

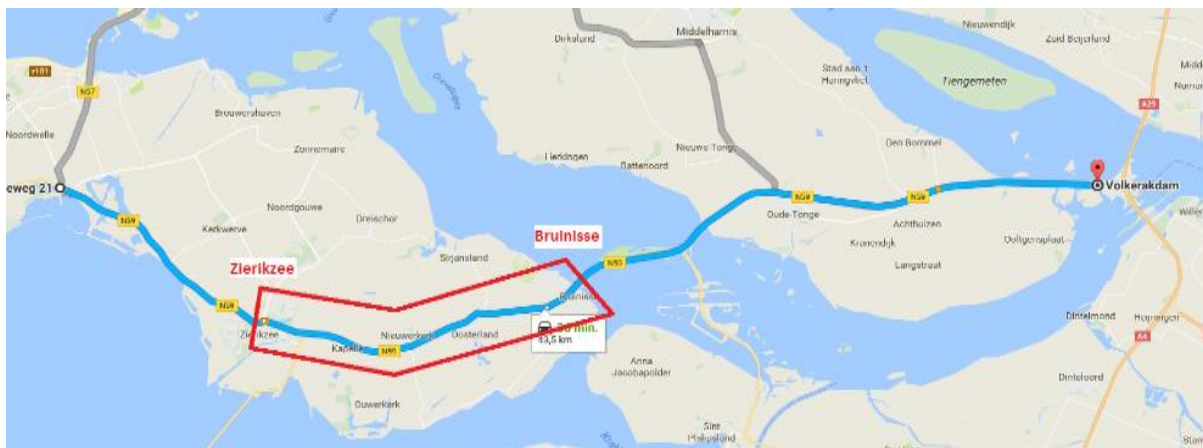
2.1.3 Beschouwde traject tijdens het onderzoek

De keuze voor het beschouwde traject van de N59 wordt gebaseerd op de veiligheid en ongevallen gegevens (Pont, 2015). Hiermee wordt het onderzoek toegespitst op het gedeelte van de N59 dat hier

het meest behoefte aan heeft. Na de uitwerking van het onderzoek kan het resultaat op de gehele N59 worden toegepast.

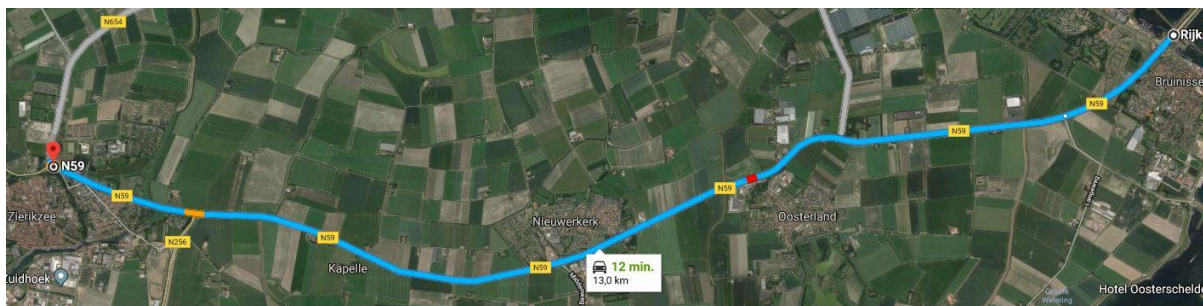
Cijfers van de provincie Zeeland (paragraaf 4.1.2) geven weer dat relatief veel ongelukken gebeuren tussen Zierikzee en Bruinisse. Ook de hoeveelheid ongelukken waarbij het niet enkel bij blikshade blijft, is op dit traject relatief hoog. Dit wordt ondersteund door onderstaande afbeelding met daarop de ongelukken die geregistreerd zijn van de periode 2012 tot en met 2015.

Met bovengenoemde reden omtrent de hoeveelheid ongevallen op het traject Zierikzee – Bruinisse wordt dit als beschouwd traject aangenomen.



Figuur 3: Traject Zierikzee - Bruinisse N59

Het traject heeft een lengte van 13,0 kilometer, gemeten vanaf de rotonde bij Zierikzee tot aan de sluizen bij Bruinisse.



Figuur 4: Lengte van het traject Zierikzee – Bruinisse N59

Het traject Zierikzee – Bruinisse is een gebiedsontsluitingsweg. Op gebiedsontsluitingswegen vindt een uitwisseling tussen verschillende verkeersdeelnemers plaats. Ook deze wegen hebben als functie het vlot laten doorstromen van het verkeer.

Traject Zierikzee - Bruinisse	Aantal rijstroken	Maximumsnelheid
Zierikzee - Bruinisse	2x1	80 km/h

Aan het beschouwde traject van de N59 liggen de woonkernen Zierikzee, Nieuwerkerk, Oosterland en Bruinisse.

	Zierikzee
	Zierikzee-Centrum/Schuddebeurs N654
	Einde Zierikzee
	Goes N256
	Nieuwerkerk
	Oosterland
	Bruinisse
	Grevelingensluis

Figuur 5: Obstakels traject Zierikzee – Bruinisse N59

2.1.4 Bus-routes N59

In dit onderzoek wordt een referentie bus gebruikt om de werking van de laadsystemen te kunnen vergelijken met vastgestelde parameters. De vastgestelde bus in dit onderzoek betreft een bus welke volgens dienstregeling van Connexxion zijn route over de N59 rijdt. In het vooronderzoek is vastgesteld dat de Citea SLF-120 Electric van VDL wordt gehanteerd als referentie voertuig. De karakteristieken van deze bus zijn opgenomen in Bijlage 2.

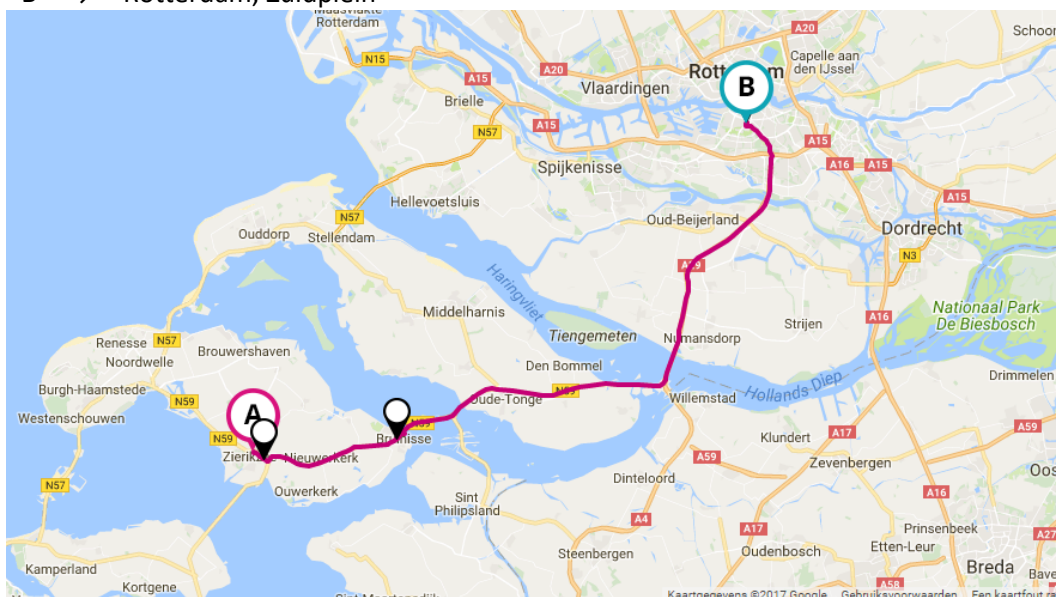
Om te bepalen welke route te bus rijdt, wordt gebruik gemaakt van de dienstregeling (Connexxion, 2017).

Op de N59 wordt gebruik gemaakt van twee dienstregeling met betrekking tot bus-, openbaarvervoer.

Buslijn 395; Zierikzee – Rotterdam, Zuidplein

Deze buslijn verbindt Zierikzee met Rotterdam Zuidplein met enkel een kleine hoeveelheid bushaltes hiertussen. Volgens de dienstregeling doet de bus er 58 minuten over om dit traject af te leggen en tijdens deze rit wordt er 60 kilometer afgelegd. (Connexxion, 2017).

- A → Zierikzee, Busstation
- B → Rotterdam, Zuidplein



Figuur 6: Buslijn 395; Zierikzee – Rotterdam, Zuidplein

Volgens de dienstregeling (Connexxion, 2017) rijden er op het traject Rotterdam – Zierikzee en vice versa in totaal 40 bussen per dag. Tijdens de spitsuren rijden er op het hoogtepunt vijf bussen in een uur waarna dit wordt afgebouwd naar twee per uur en na de spitsuren elk uur een bus.

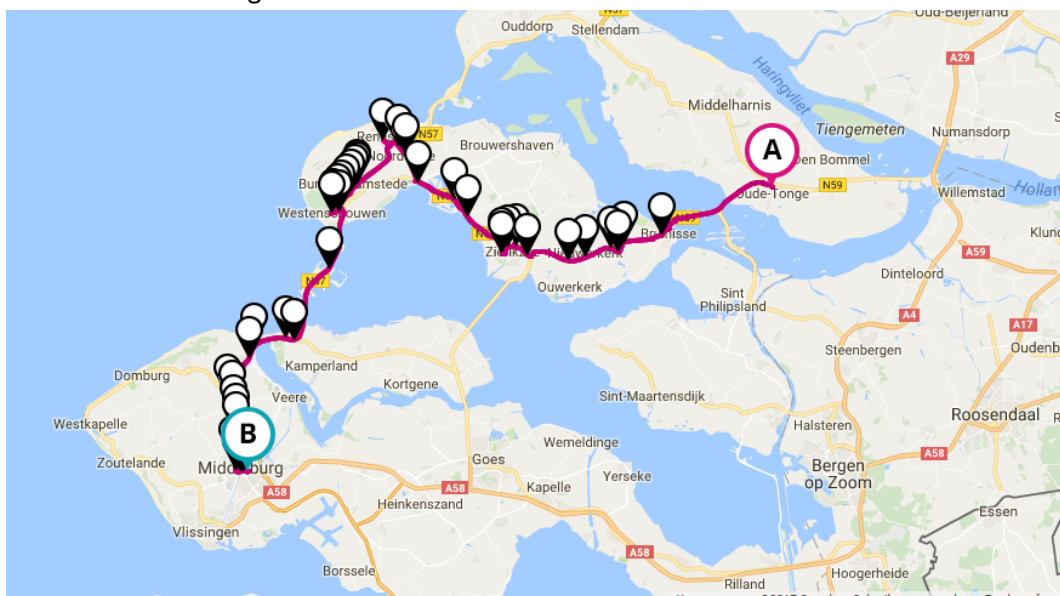
Rotterdam → Zierikzee	–	19 busritten per dag
Zierikzee → Rotterdam	–	21 busritten per dag

Totaal:		40 busritten per dag

Buslijn 133; Oude-Tonge – Middelburg

Deze buslijn verbindt Middelburg met Oude-Tonge met daartussen een grote hoeveelheid bushaltes. Volgens de dienstregeling doet de bus er 109 minuten over om dit traject af te leggen en tijdens deze rit wordt er 75 kilometer afgelegd. (Connexxion, 2017).

- A → Oude-Tonge, Busstation
- B → Middelburg



Figuur 7: Buslijn 133; Middelburg – Oude-Tonge

Volgens de dienstregeling (Connexxion, 2017) rijden er op het traject Oude Tonge – Middelburg en vice versa in totaal 62 bussen per dag. Bijna de gehele dag door rijdt er elk half uur een bus, met als uitzondering de avonduren wanneer er elk uur een bus rijdt.

Oude Tonge → Middelburg	–	31 busritten per dag
Middelburg → Oude Tonge	–	31 busritten per dag

Totaal:		62 busritten per dag

Aan de hand van de dienstregeling kan worden vastgesteld dat 350 dagen per jaar volgens dienstregeling gereden wordt.

2.2 Elektrisch rijden

Het gehele onderzoek om laden tijdens het rijden te integreren in het wegontwerp van de N59 is gebaseerd op elektrisch rijden. Om tot een hernieuwd wegontwerp te komen, spelen verscheidene aspecten een rol. Hierbij kan gedacht worden aan de technische toepassing, de economische impact, de gevolgen voor de automotive industrie, de gevolgen voor de olie-industrie en de toekomstige ontwikkelingen. Het onderzoek en dit deel van het theoretisch kader wordt beperkt tot het beschouwen van de technische toepassing van elektrisch rijden.

2.2.1 Werking van elektrisch rijden

Bij het elektrisch rijden wordt geen gebruik gemaakt van brandstof maar van elektriciteit. Bij elektrisch rijden wordt gebruik gemaakt van een gelijkstroom elektromotor. De gelijkstroom wordt opgeslagen in een accu welke is verwerkt in het voertuig.

Kilowattuur (kWh) is een maatstaf voor energie-inhoud. Kilowattuur (kWh) is een afgeleide van Wattuur (Wh) wat het vermogen aangeeft dat per uur wordt geleverd. 1 kilowatt is 1000 Watt. Watt is een eenheid voor vermogen. (Energieleveranciers.nl, 2017)

Uit onderzoek (Agten, 2012) (Change Magazine, 2016) blijkt dat een elektrische bus een energieverbruik heeft van 0,6 kWh/km tot 1,20 kWh/km. In dit onderzoek wordt voor het verbruik van de elektrische bus 1,1 kWh/km aangenomen. Dit betekent 0,91 kilometer op 1 kWh elektriciteit ofwel 110 kWh per 100 kilometer.

2.2.2 Standaard methoden elektrisch laden

Het opladen van elektrische voertuigen gebeurt vooralsnog uitsluitend via een kabel. Hierbij moet vermeld worden dat er enkele projecten zijn waarbij getest wordt met alternatieven voor het laden van elektrische voertuigen. Deze alternatieven komen ook aan bod verderop in dit theoretisch kader.

2.2.2.1 Laadvermogen

Het laadvermogen is de hoeveelheid energie die per tijdseenheid geladen kan worden. Bij het elektrisch laden wordt laadvermogen uitgedrukt door middel van kilowatt (kW).

2.2.2.2 Laadtijd

De laadtijd is de tijd die nodig is om de accu op te laden. Dit is afhankelijk van capaciteit van de accu (kWh) en het laadvermogen waarmee de accu kan worden opgeladen (kW). (EV Database, 2017)

$$\frac{\text{Accu capaciteit}}{\text{Laadvermogen}} = \text{Laadtijd} \qquad \frac{E}{P} = t \qquad \frac{\text{kWh}}{\text{kW}} = \text{uur}$$

Laadsnelheid

De laadsnelheid geeft aan hoeveel kilometer er per uur (km/u) toegevoegd wordt aan de actieradius van de auto.

$$\frac{\text{Laadvermogen}}{\text{Energieverbruik per 100 km}} = \text{Laadsnelheid}$$

$$\frac{P}{E} = u \quad \frac{\frac{kW}{kWh}}{\frac{100km}{100km}} = km/u$$

Batterij

Alle moderne elektrische voertuigen maken gebruik van Lithium-ion-accu's. Dit type accu heeft een hoge energiedichtheid, zijn milieuvriendelijk en hebben een relatief lange levensduur.

De Lithium-ion-accu's laden op tot ongeveer 80% op volledige laadsnelheid, daarna neemt de oplaadsnelheid drastisch af.

Ontwikkelingen batterij-technologie

Tot op heden zijn de accu's relatief duur in aanschaf omdat de implementatie van elektrische auto in de beginfase is.

Naar mate de productie van elektrische auto's en dus de vraag naar de Lithium-ion-accu's groter wordt, zal de kostprijs gaan dalen.

Simultaan aan de toenemende productie en de prijsdaling ontwikkelt de techniek zich in rap tempo. De compactheid van de batterijen zal verder stijgen. Naarmate de ontwikkelingen zich voortzetten worden de batterijen kleiner met meer capaciteit en goedkoper.

2.3 Efficiëntie

Efficiëntie wordt gemeten als de hoeveelheid vermogen (in percentage) dat wordt overgedragen van de stroombron naar de ontvanger.

$$\text{Efficiëntie} = \frac{\text{Energie uitput}}{\text{Energie input}} * 100\%$$

De energie kan draadloos overgedragen worden door alle niet-metalen materialen zoals hout, plastic, textiel, glas, steen ect. Dit geldt ook voor gas en vloeibare stoffen.

Wanneer een metaal of elektrisch geleidend materiaal, zoals carbon, zich in het magnetisch veld van de energie-overdracht bevindt zal deze energie absorberen wat resulteert in warmte. Tevens heeft dit effect op de efficiëntie van de energie-overdracht. (Powerbyproxi, 2017)

Volgens (McDonald, 2017) ligt de efficiëntie van laden door middel van een stekker rond de 97%. Hierbij wordt gemeten vanaf de stroombron tot aan de batterij van de auto. Deze manier van weergeven van efficiëntie zal in het verdere verloop van dit onderzoek worden gebruikt.

2.4 Mogelijke technieken dynamisch laden

In het onderzoek wordt onderzocht op welke wijze laden tijdens het rijden mogelijk gemaakt kan worden.

In onderstaande tabel is een overzicht weergegeven van de technieken die geschikt zijn voor dynamisch laden. In Hoofdstuk 4 worden de technieken verder beschouwd.

Draadloos	Elektromagnetisch veld	Korte afstand	Inductieve stroom-overdracht
			Magnetische resonantie inductie
		Lange afstand	Lazer, microgolven
			Radiogolven
	Elektrisch veld	Capacitieve stroom-overdracht	
	Mechanische kracht	Mechanische stroom-overdracht	
Contact	Conductief stroom-overdracht	Pantograaf, bovenleiding	
		Sleepbeugel, leidingspoor in de weg	

Tabel 3: Overzicht en beoordeling methoden dynamisch laden (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

In verscheidene onderzoeken zoals (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013); (Perik, 2013) is onderzoek gedaan naar de verschillende mogelijkheden op het gebied van dynamisch laden van elektrische voertuigen.

Elke methode van dynamisch laden is apart uitgewerkt en beschreven in Bijlage 5. Hieraan worden conclusies verbonden over de realiseerbaarheid van de laadtechniek en de implementatie hiervan in een wegontwerp. In onderstaande tabel de conclusies weergegeven. De aspecten waarop de verschillende technieken worden vergeleken zijn: de hoeveelheid stroom die overgedragen kan worden, de overdrachtsafstand welke behaald kan worden, de efficiëntie die behaald kan worden. De laatste twee kolommen geven een samenvatting weer met conclusie of de techniek relevant is voor dit onderzoek.

Energie transport vorm	Techniek		Stroom	Afstand	Efficiëntie	Opmerkingen	Relevant voor onderzoek
Elektromagnetisch veld	Korte afstand	Inductieve stroom-overdracht	Hoog	Laag	Hoog	Afstand is te laag	Nee
		Magnetische resonantie inductie	Hoog	Gemiddeld	Hoog	Geschikt voor draadloos stroom overdracht	Ja
	Lange afstand	Lazer, microgolven	Hoog	Hoog	Hoog	Geschikt voor draadloos stroom overdracht	Nee
		Radiogolven	Hoog	Hoog	Laag	efficiëntie is te laag	Nee
Elektrisch veld	Capacitieve stroom-overdracht		Laag	Laag	Hoog	Stroom en afstand zijn te laag	Nee
Mechanische kracht	Mechanische stroom-overdracht		Hoog	Gemiddeld	Hoog	Geschikt voor draadloos stroom overdracht	Nee
Conductief contact	Conductief stroom-overdracht		Hoog	Gemiddeld	Hoog	Geschikt voor dynamisch stroom overdracht	Ja

Tabel 4: Overzicht methoden dynamisch laden (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

De technieken magnetische resonantie inductie en conductief stroom-overdracht zijn het meest geschikt om toe te passen als dynamische oplaadmethoden voor elektrische voertuigen.

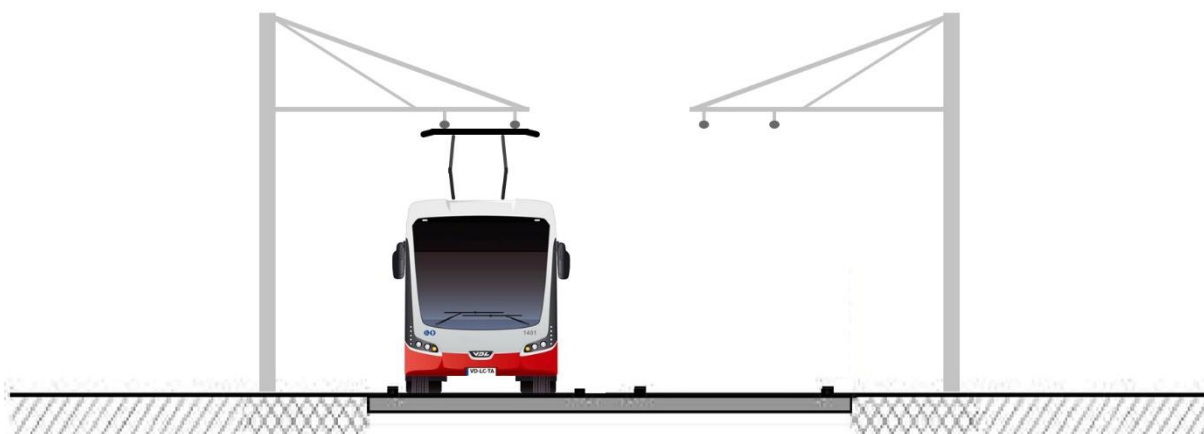
Deze technieken worden in het vervolg van dit onderzoek verder uitgewerkt en vergeleken in de variantenstudie.

- Magnetische resonantie inductie
- Conductief stroomoverdracht

2.4.1 Conductief stroomoverdracht (pantograafladen)

Een pantograaf is een stroomafnemer welke is gestationeerd op de bus. De pantograaf zorgt ervoor dat tijdens het rijden contact wordt gemaakt en gehouden met een bovenleiding. De bovenleiding is een stroomleiding boven de weg die continue wordt voorzien van stroom. Door contact te maken via de pantograaf met de bovenleiding transporteert de stroom van de verzender naar de ontvanger.

In onderstaande afbeelding zijn de constructies waaraan de bovenleiding zijn bevestigd in grijs weergegeven. De bovenleiding hangt permanent boven het wegdek. Wanneer de bus op het traject rijdt gaat de pantograaf omhoog en wordt er contact gemaakt met de bovenleiding waarna er stroomoverdracht plaats vindt. Wanneer de bus het traject verlaat, verbergt de pantograaf zich weer op het dak van de bus.



Figuur 8: Illustratieve weergave pantograafladen verwerkt in wegontwerp

Om een beeld te vormen van hetgeen bedoeld wordt met het dynamisch laden door middel van een pantograaf en bovenleiding is onderstaande visuele weergave ter verduidelijking gepresenteerd. Hierin is een gedeelte van een weg te zien waarbij enkele meters boven het asfalt een bovenleiding gespannen is. Met de bovenleiding wordt contact gemaakt door middel van een pantograaf welke bevestigd is op het voertuig.



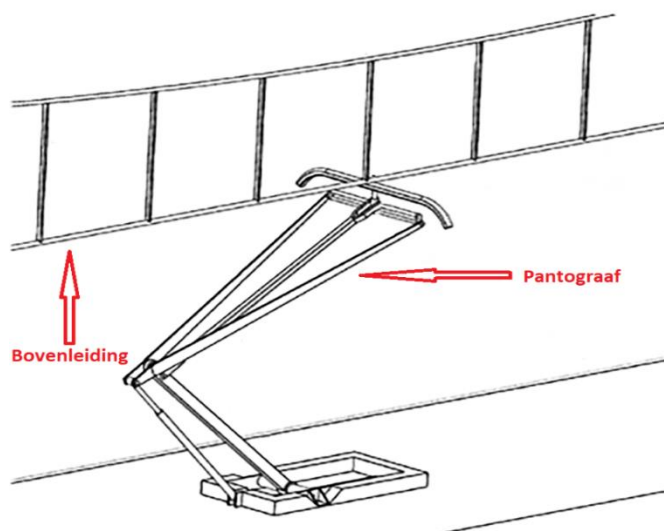
Figuur 9: Visuele weergave van dynamisch pantograaf laden

Het volledige pantograafladen bestaat uit vijf componenten:

- Stroomtoevoer *(buiten beschouwing, i.v.m. projectgrenzen en randvoorwaarden)*
- Bovenleiding [verwerkt in/boven het wegontwerp]
- Pantograaf [verwerkt in het voertuig]
- Besturingssysteem *(buiten beschouwing, i.v.m. projectgrenzen en randvoorwaarden)*
- Vermogenselektronica *(buiten beschouwing, i.v.m. projectgrenzen en randvoorwaarden)*

Twee componenten worden in dit onderzoek binnen beschouwing aangenomen. De bovenleiding en de pantograaf. Dit zijn namelijk de directe componenten die het dynamisch laden mogelijk maken.

De bovenleiding bevindt zich enkele meters boven het asfalt en is voorzien van stroom. Met de bovenleiding wordt contact gemaakt door middel van een pantograaf welke de stroom afneemt van de bovenleiding en overbrengt naar het voertuig. In onderstaand figuur een schetsmatige weergave van een bovenleiding en pantograaf.



Figuur 10: Componenten pantograafladen

2.4.2 Magnetische resonantie inductie (inductielade)

Bij inductieladen wordt stroom aangevoerd naar een spoel welke is verwerkt in de weg. Doordat stroom zich door de spoel begeeft, ontstaat er een magnetisch veld. Door met een gelijk afgestemde spoel, door middel van resonantie, te verwerken in de bus en deze boven de spoel in het wegdek te plaatsen, kan er draadloos stroomoverdracht plaatsvinden. Dit gebeurt doordat de spoel in de bus in het magnetische veld komt van de spoel in de weg. In de bus gebeurt in tegengestelde richting wat er in de spoel in het wegdek gebeurt. De magnetische velden worden opgepikt door de spoel en omgezet in een stroom die vervolgens gebruikt kan worden om de bus te laten rijden.

In onderstaande afbeelding stellen de groene ovalen, de spoelen voor. De spoelen in de weg worden geactiveerd wanneer de bus erboven rijdt en gedeactiveerd als de bus voorbij is. Dit zorgt ervoor dat er geen elektriciteit verspild wordt.



Figuur 11: Illustratieve weergave inductieladen verwerkt in wegontwerp

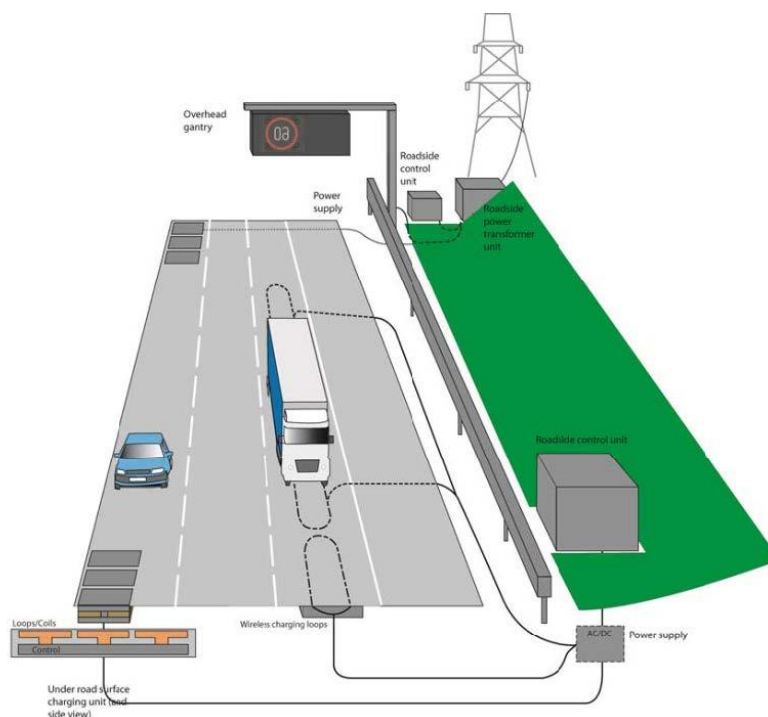
Om een beeld te vormen van hetgeen bedoeld wordt met het dynamisch laden door middel van inductie, is onderstaande visuele weergave ter verduidelijking gepresenteerd. Hierin is een gedeelte van een weg te zien met daarin twee mogelijkheden van inductieladen toegepast in het wegontwerp.

Aan de linker kant is inductieladen voor klein verkeer toegepast met relatief kleine inductiemodules waarin de inductiespoelen zitten verwerkt.

Aan de rechterkant van de weg is inductieladen voor groot verkeer toegepast met relatief grote inductiemodules/lussen.

De afmetingen van deze inductiemodules/inductielussen zijn afhankelijk van de lengte van het voertuig. Hoe langer het voertuig is hoe langer de inductielussen kunnen zijn. Hiermee wordt getracht om zo min mogelijk modules te hoeven aanleggen maar waarbij één enkele module maar door één enkel voertuig wordt gebruikt, in verband met overbelasting.

De keuzes omtrent afmetingen van de inductiemodules zijn verwerkt in APPENDIX 3 en worden verder toegelicht in Hoofdstuk 4.3.3 van dit rapport.

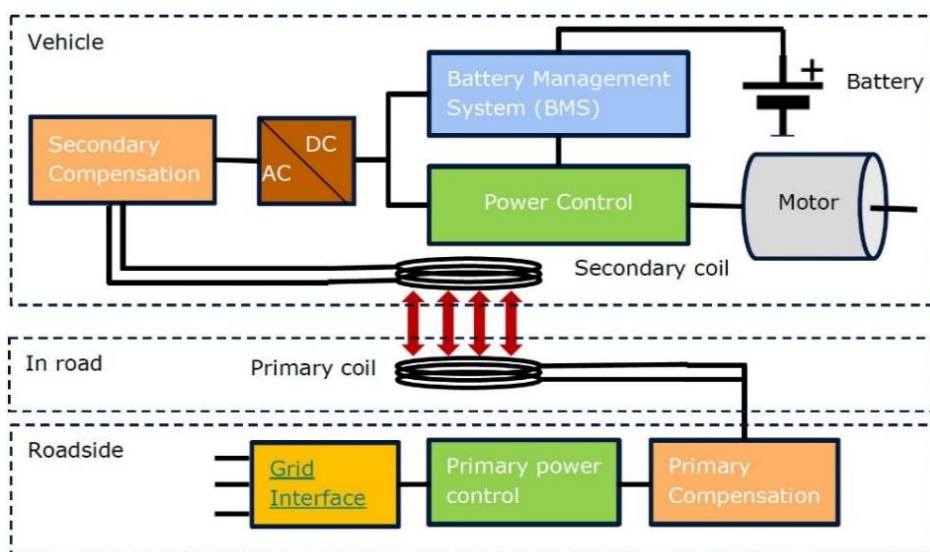


Figuur 12: Visuele weergave van dynamisch inductie laden (Perik, 2013)

Bij het dynamisch laden door middel van inductie is er sprake van vijf componenten die een rol vervullen binnen het laadsysteem, namelijk:

- Stroomtoevoer *(buiten beschouwing, i.v.m. projectgrenzen en randvoorwaarden)*
- Primaire spoel [verwerkt in het wegontwerp]
- Secundair spoel [verwerkt in het voertuig]
- Besturingssysteem *(buiten beschouwing, i.v.m. projectgrenzen en randvoorwaarden)*
- Vermogenselektronica *(buiten beschouwing, i.v.m. projectgrenzen en randvoorwaarden)*

Zoals vermeld wordt in dit onderzoek enkel ingegaan op de primaire en secundair spoel. Echter, dit blijft beperkt tot de basis en bepaling van de afmetingen en specificaties.



Figuur 13: Componenten inductieladen (Perik, 2013)

Voor het wegontwerp is belangrijk om de afmetingen van de te integreren spoelen te bepalen.

De afmetingen van de spoelen zijn afhankelijk van drie factoren:

- Het type system en operationele frequentie.

Inductieladen gebaseerd op magnetische resonantie is effectiever dan standaard inductie en voldoet daarom met kleinere spoelen voor een bepaalde vermogensoverdracht. Daarnaast is het systeem door het toepassen van deze techniek minder gevoelig voor nauwkeurige uitlijning boven het systeem en kan het omgaan met een laterale afwijking van ± 20 centimeter in de x en y richting.

- De hoeveelheid overdrachtsvermogen.

Spoelen die werken met een laag overdrachtsvermogen en laden in lage hoeveelheden zijn kleiner dan spoelen gericht op het laden van bussen die in korte tijd voorzien dienen te worden van een grote hoeveelheid energie en werken met enkele honderden kilowatts. Naast één grote spoel worden in sommige situaties ook meerdere kleine spoelen parallel verbonden om hetzelfde resultaat te bereiken.

- Overdrachtsafstand.

De leegte tussen de primaire en secundaire spoel heeft effect op de grote van de spoelen. Om de hoeveelheid energie en de efficiëntie te behouden naarmate de overdrachtsafstand toeneemt, dienen de afmetingen van de spoelen tevens toe te nemen.

2.5 Wegontwerp

Het ontwerp van de weg wordt gebaseerd op het handboek ontwerpcriteria wegen van de provincie Zuid-Holland (Dienst Beheer Infrastructuur, 2012). In dit handboek staan alle standaarden voor een wegontwerp.

Gesteld kan worden dat de N59 over zijn gehele traject standaard twee rijstroken heeft, waarvan één rijstrook voor beide rijrichting is bestemd. Logisch weergegeven in onderstaande tabel 2x1 rijstroken.

TRAJECT – N59	AANTAL RIJSTROKEN
SEROOSKERKE - BRUINISSE	2x1
BRUINISSE - KNOOPPUNT HELLEGATSPLEIN	2x1

Tabel 5: Aantal rijstroken traject N59

Voor deze zelfde aanduiding wordt in het rapport (Dienst Beheer Infrastructuur, 2012) gesproken over 1x2 rijstroken. De volledige benaming voor dit type weg wordt benoemd als “Dwarsprofiel type II: 1x2 rijstroken”. Dit type weg wordt aangeduid als een gebiedsontsluitingsweg.

Naast een standaard ontwerp voor nieuwbouw wegen bevat (Dienst Beheer Infrastructuur, 2012) ook een standaardopbouw voor het reconstrueren van dit type II gebiedsontsluitingsweg. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen gebiedsontsluitingswegen met een breedte van 7,00 m – 7,50 m en gebiedsontsluitingswegen met een breedte kleiner dan 7,00 m.

2.6 Programma van Eisen

Het programma van Eisen is opgebouwd uit functionele eisen en technische eisen. Functionele eisen definiëren de functie van een gesteld aspect en beschrijven de functionaliteit ervan. Deze eisen komen voort uit actoren. Aan de hand van de functionele eisen kunnen de technische eisen worden bepaald. Deze technische eisen worden bepaald door middel van normen en richtlijnen. Een civiel technisch wegontwerp dient te voldoen aan de richtlijnen opgesteld door het CROW en voor een goed functionerende weg dient voldaan te worden aan de richtlijnen volgens Duurzaam Veilig Verkeer.

Duurzaam Veilig Verkeer is een initiatief van de overheid om de verkeersveiligheid van en op wegen te vergroten. De focus van het initiatief ligt op het voorkomen van ongevallen en het beperken van letsel bij ongevallen.

Duurzaam Veilig Verkeer heeft vijf speerpunten waarmee getracht wordt de veiligheid van de wegen te waarborgen.

- Functionaliteit van wegen
- Homogeniteit van massa, richting en snelheid

- Herkenbaarheid
- Vergevingsgezindheid
- Statusonderkenning

De volledige uitwerking van DVV is te vinden in APPENDIX 3 Hoofdstuk 3.

Onderstaand de relevante CROW publicaties die van toepassing zijn voor dit onderzoek. Aan de hand van de normen en richtlijnen van het CROW worden de technische eisen aan de weg opgesteld. Het CROW is een non-profit kennispartner voor (decentrale) overheden, aannemers en adviesbureaus (CROW, 2017).

- CROW publicatie 202 - Handboek Veilige inrichting van bermen
- CROW publicatie 207 - Richtlijnen voor bebakening en markering van wegen 2015
- CROW publicatie 315 - Basissenmerken wegontwerp – categorisering en inrichting van wegen
- CROW publicatie 315a - Basissenmerken kruispunten en rotondes
- CROW publicatie 328 - Handboek wegontwerp 2013 – Basiscriteria 328
- CROW publicatie 330 - Handboek wegontwerp 2013 – Gebiedsontsluitingswegen

2.6.1 Eisen actoren

Het onderzoek vloeit voort uit een probleem/vraag. Binnen het onderzoek zijn verschillende partijen betrokken, ook wel actoren genoemd. De betrokken actoren binnen dit onderzoek zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Actor	Betrokkenheid bij project
Sweco	Opdrachtnemer Toekomstvisie implementeren
Provincie Zuid-Holland	Opdrachtgever N59 ligt gedeeltelijk binnen de provincie Zuid-Holland
Provincie Zeeland	Opdrachtgever N59 ligt gedeeltelijk binnen de provincie Zeeland
Rijkswaterstaat	Rijkswaterstaat is eigenaar van de N59 en heeft de weg in beheer en onderhoud
Bewoners Schouwen-Duiveland	(Dagelijkse) gebruikers van de N59. De N59 is gedeeltelijk gelegen op Schouwen-Duiveland
Bewoners Goeree-Overflakkee	(Dagelijkse) gebruikers van de N59. De N59 is gedeeltelijk gelegen op Goeree-Overflakkee
Connexxion	Vervoersbedrijf, implementatie van de elektrische bussen op het traject van de N59.

Tabel 6: Betrokken actoren

De betrokken actoren hebben ieder hun eigen belang bij het project. Het belang van het project voor de actoren brengt eisen met zich mee die deze belangen behartigen.

In eerste instantie zijn belangen en daaruit volgende eisen vanuit de opdrachtgevers provincie Zuid-Holland en Zeeland leidend voor het onderzoek. Echter, deze eisen kunnen in overleg met de opdrachtgevers worden toegesneden op de eisen die worden gesteld vanuit andere actoren.

De actoren bewoners van Schouwen-Duiveland en Goeree-Overflakkee zullen in het onderzoek niet worden benaderd. De belangen die zij behartigen zijn bekend bij de opdrachtgevers en worden via hen vastgesteld.

Rijkswaterstaat is de uitvoeringsorganisatie van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Rijkswaterstaat houdt zich bezig met waterbescherming maar ook met het beheer en onderhoud van de rijkswegen. De N59 is een rijksweg en valt onder het beheer en onderhoud van Rijkswaterstaat.

Actor	Eisen
Sweco	1. Het wegontwerp dient geïntegreerd te worden met een innovatief dynamisch laadsysteem; 2. Er dient een varianten-onderzoek plaats te vinden op het gebied van de toepassing van het dynamisch laadsysteem in het wegontwerp; 3. In het onderzoek dient er een vergelijking gemaakt te worden met de huidige situatie waar gebruik wordt gemaakt van fossiele brandstof; 4. Er dient een afweging gemaakt te worden tussen de verschillende dynamische laadsystemen.
Opdrachtgevers Provincie Zuid-Holland & Provincie Zeeland	1. De veiligheid van de N59 dient verbeterd te worden; 2. Het wegontwerp dient te voldoen aan de nieuwste normen en regelgevingen op gebied van verkeer en veiligheid; 3. Het dynamisch laadsysteem dient toepasbaar te zijn voor een bus met minstens evenveel persoons-vervoerscapaciteit als de huidige bus op de N59; 4. Het aspect duurzaamheid dient verwerkt te zijn in het wegontwerp; 5. De N59 dient zijn huidige locatie te behouden; 6. De rijksweg N59 dient een niet-autosnelweg te blijven.
Rijkswaterstaat	1. De veiligheid van de N59 dient verbeterd te worden; 2. Beheer en onderhoud dient uitgevoerd te kunnen worden door Rijkswaterstaat en de complexiteit hiervan dient beperkt te zijn; 3. Ruimtelijke kwaliteit dient gewaarborgd te blijven.
Bewoners Schouwen-Duiveland & Bewoners Goeree-Overflakkee	1. De veiligheid van de N59 dient verbeterd te worden; 2. De N59 dient comfortabel bereden te kunnen worden. Er dienen geen hinderlijke hobbels en schommelingen in het wegontwerp voor te komen; 3. Het laadsysteem dient in alle (weers)omstandigheden betrouwbaar te zijn.
Connexxion	1. Het laadsysteem dient efficiënt in gebruik te zijn; 2. Het laadsysteem dient in alle (weers)omstandigheden betrouwbaar te zijn.

Het volledige Programma van Eisen bevindt zich in APPENDIX 2 Programma van Eisen. In Bijlage 6 is een overzicht weergegeven met de functionele en technische eisen.

3. Methode

In dit hoofdstuk wordt de methode van onderzoek beschreven. De beschrijving van de methode geeft weer welke stappen er ondernomen worden en op welke manier er tot antwoorden wordt gekomen op de onderzoeksvragen.

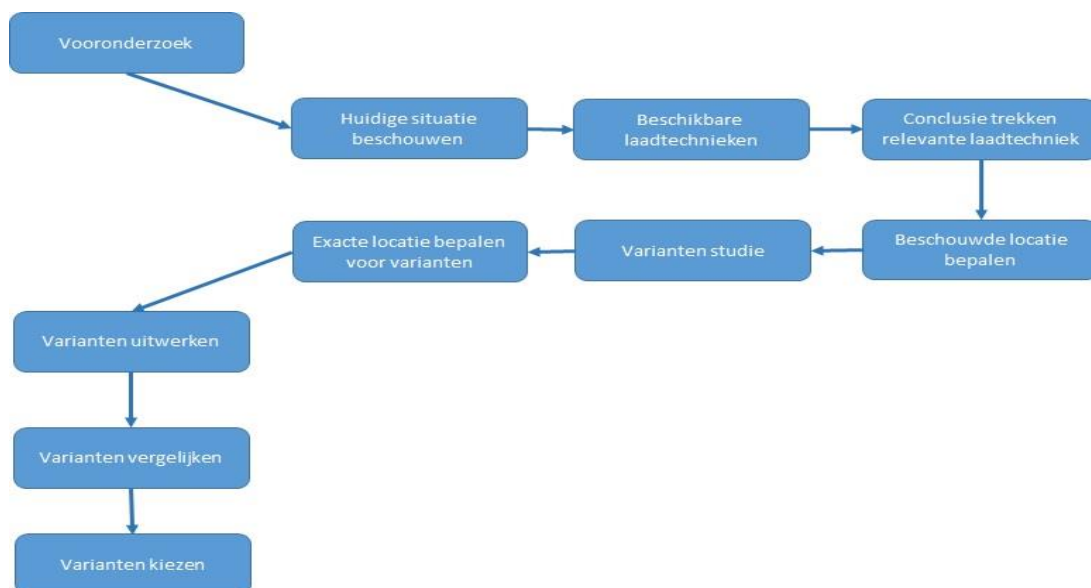
Het onderzoek wordt onderverdeeld in een vooronderzoek en een variantenonderzoek.

Door de uitvoering van het vooronderzoek wordt de benodigde theorie vergaard. Tevens wordt de omvang van het onderzoek bepaald en vastgelegd.

Een belangrijk onderdeel van het vooronderzoek is het theoretisch kader. Hierin worden de huidige situatie, randvoorwaarden en relevante theorieën beschreven en vergeleken. In het theoretisch kader van dit onderzoek worden onder andere de mogelijke technieken voor het dynamisch laden besproken. Om het onderzoek zo spoedig mogelijk toe te spitsen op relevante technieken, worden in het theoretisch kader vroegtijdig conclusies getrokken omtrent de relevantie van de techniek voor het dynamisch laden. Deze conclusies worden onderbouwd aan de hand van de beschikbare theorieën welke vermeld staan in het theoretisch kader.

Dientengevolge blijven er nog twee relevantie technieken over welke vervolgens zullen worden vergeleken door het uitvoeren van een variantenstudie. Er wordt een draadloze variant opgesteld en een variant waarbij gebruik wordt gemaakt van contact. Voor beide techniek van stroom-overdracht (draadloos of via contact) wordt de meest relevante methode geselecteerd. De twee methode worden geselecteerd op basis van bestaande literatuur.

In onderstaande figuur een schematisch overzicht van de stappen die in het onderzoek worden verricht om tot het gewenste resultaat te komen zodanig dat de onderzoeksvraag kan worden beantwoord.



Figuur 14: Schematische weergave methode

Verder worden in dit hoofdstuk de toegepaste onderzoeksstrategieën beschouwd. Daaropvolgend worden de onderzoeksinstrumenten toegelicht die benodigd zijn voor de uitvoering van de onderzoeksstrategieën. Tot slot worden de activiteit toegelicht die er toe moeten leiden dat de deelvragen en uiteindelijk de onderzoeksvraag kan worden beantwoord. Deze toelichting op de activiteiten wordt per deelvraag uitgewerkt.

3.1 Onderzoeksstrategieën

Een onderzoeksstrategie is een manier waarop onderzoek wordt uitgevoerd. Gedurende het gehele afstudeerproces wordt gebruik gemaakt van verschillende manieren van onderzoek doen, verschillende onderzoeksstrategieën worden toegepast.

Onderstaand de beschikbare vormen van onderzoek doen volgens (van Glabbeek, 2011):

- Experiment
- Enquête
- Casestudie
- Actie-onderzoek
- Grounded theory
- Archiefonderzoek
- Literatuuronderzoek

Om tot een praktisch oplossing te komen voor het gestelde probleem dient een **literatuuronderzoek** verricht te worden om relevante informatie te vergaren waarop het onderzoek gebaseerd wordt. Bestaande literatuur kan in het onderzoek worden gebruikt ter onderbouwing van de keuzes die gemaakt worden. Het literatuuronderzoek wordt grotendeels vastgelegd in het theoretisch kader. Daarnaast zal gebruik worden gemaakt van **enquêtes** om rechtstreeks informatie te ontvangen van experts. Verschillende onderzoekers, instanties en bedrijven doen onderzoek naar de ontwikkelingen op het gebied van elektrisch rijden. Ten behoeve van het literatuuronderzoek en het resterende onderzoek worden enkele personen geïnterviewd om hun kennis te kunnen gebruiken in dit onderzoek. Door te interviewen wordt op een snellere manier informatie vergaard en kan tijdens het interview direct worden doorgevraagd.

De variantenstudie is een vorm van onderzoeken op basis van **experiment** waarbij met verschillende varianten wordt geëxperimenteerd om de beste variant te kunnen bepalen. Deze experimenten worden binnen een gecontroleerde omgeving verricht waarbij verschillende varianten worden vergeleken en met antwoorden op de hoe- en waaromvragen een onderscheid wordt gemaakt tussen de varianten.

Tijdens het uitwerken van de varianten zal gebruik worden gemaakt van zowel **casestudie** als **experiment**. Bij deze onderzoeksstrategieën wordt gebruik gemaakt van bestaande pilotprojecten ter onderbouwing van de resultaten en conclusies. De verschillende vormen van onderzoek zullen afwisselend worden gebruikt. Uit de variantenstudie is één specifieke dynamische oplaad-techniek bepaald die verder zal worden uitgewerkt en dient te worden toegepast in een wegontwerp. Door casestudie worden vergelijkbare onderzoeken geraadpleegd. Met behulp van experiment zullen afwegingen worden gemaakt op detailniveau om binnen de gekozen techniek tot het ultieme ontwerp te komen.

3.2 Onderzoeksinstrumenten

Een onderzoeksinstrument is een manier waarop een onderzoekstrategie wordt uitgevoerd om tot het gewenste resultaat te komen.

Om de juiste onderzoeksinstrumenten te kunnen bepalen dient de onderzoeksmethode vastgesteld te worden. Onderscheid wordt gemaakt tussen kwantitatief en kwalitatief onderzoek.

- Kwantitatief onderzoek is gericht op cijfermatige onderbouwing;
- Kwalitatief is gericht op wensen, ervaringen, meningen en behoeften.

Om het onderzoek voldoende draagkrachtig te laten zijn zal het onderzoek (grotendeels) kwantitatief zijn. Hierbij kan in de onderbouwing gerefereerd worden naar feitelijke cijfers.

Voor kwantitatieve onderzoek zijn de volgende onderzoeksinstrumenten (allesovermarktonderzoek.nl, 2017):

- Schriftelijk onderzoek
- Face-to-face onderzoek
- Telefonisch onderzoek
- Interactive voice response
- Online-onderzoek
- Observatie & registratie

Gedurende het onderzoek zal wisselend gebruik worden gemaakt van **schriftelijk onderzoek**, **face-to-face onderzoek**, **telefonisch onderzoek** en **online-onderzoek**. Schriftelijk onderzoek zal voornamelijk gebruikt worden tijdens het literatuuronderzoek waarbij gebruik wordt gemaakt van rapporten en boeken. Schriftelijk onderzoek wordt toegepast omdat hiermee zelfstandig de benodigde informatie kan worden verzameld. Deze informatie kan op elk moment worden geraadpleegd. Zowel face-to-face onderzoek als telefonisch onderzoek zal gebruikt worden bij de onderzoeksstrategie enquête waarbij interviews worden afgenomen met personen om kennis te vergaren. Deze informatie komt rechtstreeks van de bron, de experts. Van deze onderzoeksinstrumenten wordt gebruik gemaakt omdat de personen rechtstreeks concrete uitleg kunnen geven en waar nodig de informatie verduidelijken. Bij online-onderzoek wordt net als bij schriftelijk onderzoek gebruik gemaakt van rapporten. Ook wordt er gebruik gemaakt van het internet om deze rapporten te verkrijgen, omdat de meeste informatie online wordt vastgelegd waardoor het mogelijk is om in korte tijd veel informatie te vergaren.

3.3 Projectactiviteiten

In deze paragraaf worden de activiteiten besproken welke worden verricht om tot het antwoord te geraken op de deelvragen. Hierbij wordt per deelvraag uitgewerkt welke activiteit wordt verricht en welk onderzoeksinstrument hierbij wordt gehanteerd.

Deelvraag 1: Hoe ziet de huidige situatie van de N59 eruit?

Gestart wordt met het bepalen van de locatie waarop het onderzoek zich richt. Deze locatie wordt vastgesteld en gedefinieerd. Wanneer de locatie bekend is kan de situatie worden beschouwt. Hierbij wordt de situatie van de N59 belicht en de omgeving wordt in kaart gebracht. Er zal onderzoek gedaan worden naar probleempunten/knelpunten, verkeersintensiteit, de buslijn welke gebruik maakt van de N59 en het beschouwde traject van de N59. Dit allen zal worden verricht aan de hand van kaarten van de omgeving, informatie van de provincie Zuid-Holland en Zeeland en Rijkswaterstaat.

Onderzoeksinstrumenten: Face-to-face onderzoek, telefonisch onderzoek en online-onderzoek.

Omdat er veel informatie bij externe partij aanwezig is wordt Face-to-face onderzoek en telefonisch onderzoek toegepast om deze informatie direct te vergaren van deze partijen. Door de directe één-

op-één communicatie wordt de informatie sneller bemachtigd en waar nodig kan direct om verduidelijking worden gevraagd. Daarnaast wordt online-onderzoek toegepast om de beschikbare informatie welke online is gepubliceerd te vergaren. De instanties hebben verscheidene publicaties online staan die kunnen geraadpleegd.

Eindproduct deelvraag 1:

Het eindproduct van deelvraag 1 is (gedeeltelijk) APPENDIX 1 Project huidige situatieanalyse, waarin het onderzoek is vastgelegd naar probleempunten/knelpunten, verkeersintensiteit, de buslijn die gebruik maakt van de N59 en het beschouwde traject van de N59. Het onderzoek wordt ingekaderd en alle relevante informatie omtrent de huidige situatie van het onderzoek wordt beschreven.

Deelvraag 2: Welke aspecten zijn van belang voor het elektrische laden?

Om een beeld te schetsen van de situatie waarin het laden tijdens het rijden zich hedendaags bevindt worden de beschikbare oplaadsystemen in kaart gebracht. Relevante projecten op het gebied van statisch en dynamisch pantograafladen en inductieladen worden belicht. Deze projecten worden als referentie projecten beschouwd. De informatie zal vergaard worden door middel van de onderzoeksrapporten van de referentieprojecten en telefonisch contact met de bedrijven die laadtechnieken toepassen.

Onderzoeksinstrumenten: Face-to-face onderzoek, telefonisch onderzoek en online-onderzoek.

Omdat er veel informatie bij externe partij aanwezig is, wordt Face-to-face onderzoek en telefonisch onderzoek toegepast om deze informatie direct te vergaren van deze partijen. Door de directe één-op-één communicatie wordt de informatie sneller bemachtigd en waar nodig kan direct om verduidelijking worden gevraagd. Daarnaast wordt online-onderzoek toegepast om de beschikbare informatie die online is gepubliceerd te vergaren. De instanties hebben verscheidene publicaties online staan die kunnen geraadpleegd.

Eindproduct deelvraag 2:

Het eindproduct van deelvraag 1 is (gedeeltelijk) APPENDIX 1 Project huidige situatieanalyse, waarin het onderzoek wordt ingekaderd en alle relevante informatie omtrent elektrische oplaadsystemen wordt beschreven. Daarnaast is APPENDIX 3 een (gedeeltelijk) eindproduct, waarin de impact van het oplaadsysteem op het wegontwerp is uitgewerkt.

Deelvraag 3: Welke aspecten zijn van invloed op het geïntegreerde laadsysteem in het wegontwerp?

In het onderzoek dient rekening gehouden te worden met de eisen van de betrokken actoren. De eisen vanuit de actoren en de normen en richtlijnen, functionele eisen, kunnen worden vertaald naar technische eisen van het wegontwerp. Daarnaast worden technische eisen aan het laadsysteem opgesteld. Deze eisen worden afgeleid uit de referentieprojecten die van toepassing zijn voor het gestelde laadsysteem. Het verkrijgen van de informatie gebeurt door middel van het raadplegen van standaarden en het telefonisch contact dan wel mailcontact te leggen met personen van de provincies Zuid-Holland en Zeeland. Om de veiligheid te verbeteren worden de veiligheidseisen van zowel het wegontwerp als het laadsysteem in beeld gebracht en beschreven. Deze informatie voor het

wegontwerp wordt vergaard door online raadplegen van de CROW Kennisbank en in overleg met een wegontwerp expert van Sweco.

Onderzoeksinstrumenten: Face-to-face onderzoek, telefonisch onderzoek en online-onderzoek.

Omdat de wensen en eisen van actoren belangrijk zijn wordt Face-to-face onderzoek en telefonisch onderzoek toegepast om de informatie direct te vergaren. Door de directe één-op-één communicatie wordt de informatie sneller bemachtigd en waar nodig kan direct om verduidelijking worden gevraagd. Daarnaast wordt online-onderzoek toegepast om de beschikbare informatie welke online is gepubliceerd te vergaren. De instanties hebben verscheidene publicaties online staan die kunnen geraadpleegd.

Eindproduct deelvraag 3:

Het eindproduct van deelvraag 3 is APPENDIX 2 Programma van Eisen, waarin het onderzoek wordt ingekaderd en vastgesteld aan de hand van eisen vanuit normen en richtlijnen, provincie Zuid-Holland en Zeeland en Rijkswaterstaat. Daarnaast is APPENDIX 1 een (gedeeltelijk) eindproduct, waarin de huidige situatie wordt belicht en tevens de karakteristieken van de bus worden vastgesteld.

Deelvraag 4: Wat is de meest realiseerbare ontwerpvariant op het gebied van geïntegreerd dynamische laadsysteem in het wegontwerp?

Twee varianten om laden tijdens het rijden te integreren in het wegontwerp van de Energy Highway N59 worden vergeleken. De afwegingen om de keuze van de varianten te bepalen zijn gemaakt aan de hand van informatie en resultaten uit de referentieprojecten. Om de afweging te kunnen maken welke variant het meest geschikt is, worden criteria opgesteld waarmee de varianten zullen worden vergeleken. De criteria zijn opgesteld aan de hand van opgedane kennis uit de referentieprojecten waarna in overleg met een expert van Sweco, op het gebied van Asset Management & Sustainability, de criteria zijn vastgesteld. Bij het opstellen van de criteria wordt gelet op het gehele proces van ontwerp, uitvoering, onderhoud en toekomst. De varianten worden uitgewerkt op de betreffende onderwerpen gelijk aan die van de opgestelde criteria. De uitwerking van de varianten wordt gebaseerd op informatie uit de referentieprojecten en op basis van telefonisch-, mail- en verbaal contact met Rijkswaterstaat en bedrijven die de laadsystemen leveren en implementeren. Uiteindelijk wordt aan de hand van een Multi Criteria Analyse de vergelijking gemaakt tussen de verschillende varianten waaruit volgt welke variant het meest geschikt is voor de toepassing op de N59.

Onderzoeksinstrumenten: Face-to-face onderzoek, telefonisch onderzoek en online-onderzoek.

Omdat er veel informatie bij externe partij aanwezig is, wordt Face-to-face onderzoek en telefonisch onderzoek toegepast om deze informatie direct te vergaren van deze partijen. Door de directe één-op-één communicatie wordt de informatie sneller bemachtigd en waar nodig kan direct om verduidelijking worden gevraagd. Daarnaast wordt online-onderzoek toegepast om de beschikbare informatie welke online is gepubliceerd te vergaren. De instanties hebben verscheidene publicaties online staan die kunnen geraadpleegd.

Eindproduct deelvraag 4:

Het eindproduct van deelvraag 4 is APPENDIX 3 Varianten Studie, waarin de beschouwde varianten worden beschreven, uitgewerkt en uiteindelijk vergeleken door middel van een Multi Criteria Analyse.

Deelvraag 5: Hoe wordt het laadsysteem geïntegreerd in het wegontwerp?

Wanneer het meeste geschikte laadsysteem is vastgesteld, kan verder worden gegaan met de implementatie hiervan in het wegontwerp. Hierbij komt de bepaling van de exacte locatie van de toepassing van het laadsysteem op het beschouwde traject. Deze uitwerking vindt plaats door verschillende mogelijke locaties te vergelijken met elkaar en het opstellen van voor- en nadelen van de gestelde locatie. De keuze wordt gebaseerd op de mogelijkheid tot efficiënt laden tijdens het rijden gerelateerd aan de lengte van de implementatie en de kosten aan het laadsysteem. De veiligheid van de N59 wordt geanalyseerd in de huidige situatie. Om tot een hernieuwd ontwerp te geraken waarbij de veiligheid op de N59 verbeterd, worden normen en richtlijnen van het CROW geraadpleegd middels online-onderzoek. Tevens wordt er intern overleg gepleegd met een expert op het gebied van wegontwerp. Hierbij wordt de huidige situatieanalyse gespiegeld en worden verbeterpunten vastgesteld. De uitwerking van de varianten wordt gebaseerd op normen en richtlijnen, referentieprojecten, het raadplegen van experts en online-onderzoek. Door deze informatie te bundelen kan er een gedetailleerde uitwerking van de variant worden opgesteld. Aan de hand van de uitwerking van de variant worden ter verduidelijking principe tekeningen en civieltechnische ontwerptekeningen opgesteld. Deze tekening zijn gericht op de veiligheid van de N59 (dwarsprofiel en de implementatie van het laadsysteem in het wegontwerp (dwarsprofiel, langsdoorsnede, bovenaanzicht en principe details).

Onderzoeksinstrumenten: Schriftelijk onderzoek, face-to-face onderzoek, telefonisch onderzoek en online-onderzoek

Omdat er veel informatie bij externe partij aanwezig is, wordt Face-to-face onderzoek en telefonisch onderzoek toegepast om deze informatie direct te vergaren van deze partijen. Door de directe één-op-één communicatie wordt de informatie sneller bemachtigd en waar nodig kan direct om verduidelijking worden gevraagd. Daarnaast wordt online-onderzoek toegepast om de beschikbare informatie welke online is gepubliceerd te vergaren. De instanties hebben verscheidene publicaties online staan die kunnen geraadpleegd.

Eindproduct deelvraag 5:

Het eindproduct van deelvraag 5 is APPENDIX 3 Varianten Studie, waarin de gekozen variant is beschreven en uitgewerkt.

3.4 Scope van het onderzoek

Het onderzoek richt zicht op de variantenstudie waarin het wegontwerp beschouwt wordt met daarin geïntegreerd het laadsysteem. Hierin worden de varianten beschouwd en vergeleken. In deze varianten studie zullen de technieken worden vergeleken op zowel kwalitatieve als kwantitatieve aspecten. De varianten studie leidt er toe dat er geconcludeerd kan worden welke techniek het relevantst is voor de toepassing als dynamisch laden op deze locatie, in de gestelde omstandigheden.

Door de keuze voor het toepassen van de gekozen techniek zal het vervolg van het onderzoek worden gericht om de verdere uitwerking van de techniek in het ontwerp van de weg. Nagenoeg alle gegevens die benodigd zijn om een realistisch ontwerp te maken volgen uit de variantenstudie. Hiermee kan in het uitwerkingsonderzoek een ontwerp worden gerealiseerd. In dit uitwerkingsonderzoek zal verder worden ingegaan op details omtrent de haalbaarheid, kwalitatieve en kwantitatieve aspecten en de implementatie in het wegontwerp van de N59.

Om de scope te bepalen is een mindmap opgesteld waarin relevante onderwerpen voor dit onderzoek zijn opgenomen. In deze mindmap is met groen aangegeven welke onderdelen zijn verwerkt in dit onderzoek. De mindmap is te vinden in Bijlage 1.

De projectgrenzen geven aan welke activiteiten, processen, handelingen en instanties wel of niet behoren tot het onderzoek. Projectgrenzen waarmee rekening worden gehouden tijdens dit onderzoek zijn:

- Er wordt rekening gehouden met de verkeersveiligheid van de N59;
- Kosten voor de implementatie van het laadsysteem worden beschouwd;
- De complexiteit van het beheer en onderhoud van het laadsysteem wordt globaal beschouwd;
- De impact van de implementatie van het laadsysteem op het wegontwerp wordt beschouwd;
- Het effect van de implementatie van het laadsysteem op de ruimtelijke kwaliteit wordt beschouwd;
- De efficiëntie van de laadsystemen wordt beschouwd;
- De veiligheid van het laadsysteem met betrekking tot het verkeer wordt beschouwd;
- Een gedetailleerde berekening van de efficiëntie van het laadsysteem wordt verricht;
- De haalbaarheid van het laadsysteem wordt beschouwd;
- De impact van het laadsysteem op de bus(route) zal globaal worden beschouwd;
- De nut van de toepassing van het dynamisch laden op het bus-traject wordt beschouwd;
- Er zal een keuze worden gemaakt op het gebied van materiaalgebruik;
- Het beheer en onderhoud van het oplaadsysteem wordt beschouwd;
- De impact op de ruimtelijke kwaliteit wordt beschouwd;
- De uitwerking van de implementatie van het laadsysteem in het wegontwerp wordt beschouwd;
- Er zal een globaal kostenoverzicht worden opgesteld voor de implementatie van het oplaadsysteem in het wegontwerp;

Onderdelen welke niet worden genoemd bij de projectgrenzen vallen buiten het onderzoek.

3.5 Beschouwde varianten

De varianten waarmee het onderzoek wordt uitgevoerd zijn conductief laden door middel van een pantograaf en een bovenleiding, ook wel “pantograafladen” genoemd en elektromagnetisch laden door middel van magnetische resonantie inductie laden, ook wel “inductieladen”. Het vaststellen van de varianten is in Hoofdstuk 2.4 uitgewerkt.

Er is gekozen voor pantograafladen en inductielade omdat deze twee technieken een realistische toepassing kunnen bieden voor het laden tijdens het rijden. Beide technieken beschikken over de mogelijkheid om een relatief grote hoeveelheid stroom over te dragen. Tevens zijn de overdrachtsafstanden die behaald kunnen worden voldoende voor de toepassing gesteld in dit onderzoek. Daarnaast kan er een hoge overdrachtsefficiëntie behaald worden.

3.6 Aanpak varianten vergelijking

De varianten-vergelijking wordt uitgevoerd door middel van een Multi criteria Analyse. Bij een Multi Criteria Analyse wordt een keuze voor een bepaalde variant gebaseerd op een verscheidend aantal criteria. Elk criteria heeft een weging, die de invloed op de gehele keuze aangeeft. Een belangrijk criteria krijgt een hoge weging, een criteria dat minder belangrijk is, krijgt een lagere weging. Door per variant de criteria te voorzien van een score kan uiteindelijk, door het combineren van alle criteria samen, een totaalscore worden opgemaakt. Naast een score wordt de beoordeling van de variant voorzien van een onderbouwing voor een keuze.

In onderstaande paragrafen worden de criteria toegelicht waarop de Multi Criteria Analyse wordt gebaseerd, de wegen per criteria worden toegekend en onderbouwd en de score-toekenning wordt beschreven.

3.6.1 Criteria voor varianten vergelijking

De criteria die gehanteerd worden in de variantenstudie zijn bepaald in samenspraak met experts binnen Sweco. Door gebruik te maken van experts wordt getracht om op basis van kennis de meest relevante criteria te hanteren.

De geselecteerde criteria waar de variantenstudie op gebaseerd zal worden zijn: toepassing, uitvoering, beheer en onderhoud, toekomst. Er is gekozen om deze vier criteria te hanteren met betrekking tot de fases waarin het ontwerp kan verkeren. Er wordt gestart met het ontwerp waarna de uitvoering volgt. Nadat het systeem in de weg geïmplementeerd is, dient het systeem onderhouden te worden. Als laatste wordt de toekomst beschouwd.

De vier criteria zijn opgebouwd uit verschillende sub-criteria. Deze subcriteria zijn aspecten die hoofd-criteria kunnen beïnvloeden en die in ogenschouw genomen moeten worden om de hoofdcriteria correct te kunnen beoordelen

CRITERIA			
Ontwerp	Uitvoering	Onderhoud	Toekomst
Vermogen	Impact op wegontwerp	Beheer en onderhoud	Technologische ontwikkelingen
Efficiëntie	- Integratie in wegontwerp	- Kosten	Toekomstig gebruik
Gebruik	- Impact op omgeving	- Onderhoudstijd	
Veiligheid	Kosten	Levensduur	

Tabel 7: Criteria ten behoeve van varianten vergelijking volgens Multi Criteria Analyse

De onderbouwing voor de keuze van de subcriteria:

Ontwerp

Omdat onderstaande subcriteria een belangrijke rol vervullen binnen het functioneren van het systeem (en op het gebied van duurzaamheid) dienen deze beschouwd te worden tijdens de varianten vergelijking.

- Vermogen
Het vermogen waarmee geladen kan worden, bepaalt het nut van het laden tijdens het rijden. Wanneer het vermogen te laag is, heeft het laden tijdens het rijden geen effect. Een hoog laadvermogen heeft een grote invloed op de geschiktheid van een systeem in het wegontwerp.
- Efficiëntie
In het kader van duurzaamheid is het niet verspillen van energie een belangrijke factor. De efficiëntie van het systeem speelt hierbij een essentiële rol. Hoe efficiënter het systeem de energieoverdracht verricht hoe minder energie er nodig is en bespaard blijft van verspilling.
- Gebruik
De systemen dienen gebruiksvriendelijk te zijn om geadopteerd te worden in de infrastructuur.
- Veiligheid
Het systeem dient veilig gebruikt en toegepast te kunnen worden om realiseerbaar te zijn in het de infrastructuur van de N59.

Uitvoering

Omdat onderstaande subcriteria een belangrijke rol vervullen bij de realisatie van het systeem in het wegontwerp, dienen deze beschouwd te worden tijdens de varianten vergelijking.

- Impact op wegontwerp
De impact op het wegontwerp heeft invloed op vele factoren als ruimtelijke kwaliteit, zicht gebruik ect. waarmee weggebruikers te maken krijgen wanneer ze gebruik maken van de N59. Door de negatieve effecten van deze factoren te beperken, wordt de impact op het wegontwerp verminderd.
- Kosten
De aantrekkelijkheid van het systeem hangt gedeeltelijk samen met de kosten. Hoe eerder het systeem rendabel is, hoe aantrekkelijk het is om een systeem te implementeren.
- Uitvoeringstijd
De tijd die in beslag genomen wordt voor het uitvoeren van de implementatie van het systeem in het wegontwerp, dient in ogenschouw genomen te worden om instanties te kunnen informeren over de realisatietijd.

Onderhoud

Omdat onderstaande subcriteria een belangrijke rol vervullen tijdens het onderhoud en de levensduur van het systeem, dienen deze beschouwd te worden tijdens de varianten vergelijking.

- Beheer en onderhoud
De mate van benodigd onderhoud is een belangrijke factor om in ogenschouw genomen te worden. Hoe minder onderhoud een systeem vereist, hoe minder hinder het verkeer ondervindt van het onderhoud en hoe aantrekkelijk het systeem is voor de uitbater.
- Levensduur
Hoe langer de levensduur van het systeem is, hoe minder vaak een systeem vervangen dient te worden. Het vervangen van het systeem heeft een negatief effect op de kosten, verkeer en wegontwerp.

Toekomst

Omdat onderstaande subcriteria een belangrijke rol vervullen in het systeem (en op het gebied van duurzaamheid) dienen deze beschouwd te worden tijdens de varianten vergelijking.

- Technologische ontwikkelingen
De mogelijkheden om in de toekomst op fossiele brandstof te blijven rijden, zijn beperkt. Daarentegen heeft elektrisch rijden de potentie om een grote plek in te nemen in de vervoersmarkt. Door de technologische ontwikkelingen op het gebied van het laadsysteem te beschouwen, kan de potentie in ontwikkeling worden ingeschat.
- Toekomstig gebruik
Door het beschouwen van de potentiële gebruikers van het systeem, kan toekomstig gebruik worden ingeschat. Een laadsysteem met potentie tot ontwikkeling voor meerdere weggebruikers is aantrekkelijker voor implementatie.

3.6.2 Wegingen per criteria voor varianten vergelijking

In Tabel 8 de criteria gerangschikt van hoge naar lage weging op basis van belangrijkheid. Deze tabel wordt gevolgd door Tabel 9 met onderbouwing voor de toegekende wegingen.

Criteria	Eenheid	Range	Weging	Ranking
Veiligheid	-	-	17%	1
Impact op wegontwerp	-	-	17%	1
Efficiëntie	%	0-100	14%	2
Vermogen	kW	0-200	13%	3
Beheer en onderhoud	€	0-1.000.000	11%	4
Toekomstig gebruik	-	-	10%	5
Levensduur	Jaar	0-50	6%	6
Technologische ontwikkelingen	-	-	5%	7
Kosten	€	0-10.000.000	4%	8
Gebruik	-	-	3%	9

Tabel 8: Rangschikking op weging criteria ten behoeve van varianten vergelijking volgens Multi Criteria Analyse

Criteria nummer	Criteria	Eenheid	Range	Weging	Ranking	Weging-keuze onderbouwing
Criteria 1	<u>Ontwerp</u>			45%		
Subcriteria 1.1	Vermogen	kW	0-200	13%	3	De keuze voor het implementeren van een dynamisch laadsysteem is afhankelijk van het nut van het laden tijdens het rijden. Wanneer het vermogen te laag is, heeft het laden tijdens het rijden geen effect. Een hoog laadvermogen heeft een grote invloed op de geschiktheid van een systeem in het wegontwerp. Met deze reden krijgt het vermogen een hoge wegingsfactor. De wegingsfactor bevindt zich net onder die van veiligheid, impact op wegontwerp en efficiëntie.
Subcriteria 1.2	Efficiëntie	%	0-100	14%	2	Onder duurzaamheid valt gebruik van materiaal maar daarnaast ook het niet verspillen van energie. De efficiëntie van het systeem speelt hierbij een essentiële rol. Hoe efficiënter het systeem de energieoverdracht verricht hoe minder energie er nodig is en bespaard blijft van verspilling. Met deze reden krijgt ook efficiëntie een hoge wegingsfactor en komt deze factor net boven de weging van vermogen uit.
Subcriteria 1.3	Gebruik	-	-	3%	9	De laadsystemen die in de weg geïmplanteerd kunnen gaan worden, zijn in een eerder stadium al onderworpen aan een selectie op toepasbaarheid. Dit heeft een directe relatie met het gebruik. De systemen zijn gebruiksvriendelijk waardoor er bij de vergelijking voor het ideale systeem minder aandacht nodig is voor het aspect gebruik. Met dit als reden krijgt dit subcriterium een lage weging.

Subcriteria 1.4	Veiligheid	-	-	17%	1	In de probleemstelling en doelstelling van dit onderzoek staat beschreven wat verwacht wordt van dit onderzoek, namelijk een veilige, duurzame en goed functionerend wegontwerp met daarin een mogelijkheid voor elektrische voertuigen om te laden tijdens het rijden. Hierin is veiligheid nadrukkelijk benoemd. Ook in de uitwerking van de probleemstelling blijkt dat de veiligheid op de N59 verbeterd dient te worden vanwege het aantal gevaarlijke situaties en ongevallen die ontstaan. Wegens bovengenoemde redenen krijgt dit subcriterium een hoge wegingsfactor.
Criteria 2	<u>Uitvoering</u>			23%		
Subcriteria 2.1	Impact op wegontwerp	-	-	17%	1	In de probleemstelling en doelstelling van dit onderzoek staat beschreven wat verwacht wordt van dit onderzoek, namelijk een veilige, duurzame en goed functionerend wegontwerp met daarin een mogelijkheid voor elektrische voertuigen om te laden tijdens het rijden. Het integreren van de mogelijkheid om te laden tijdens het rijden, wordt nadrukkelijk benoemd en is een belangrijk onderdeel van dit onderzoek. De impact op het wegontwerp heeft invloed op vele randfactoren waarmee de weggebruikers te maken krijgen wanneer ze gebruik maken van de N59. Wegens bovengenoemde redenen krijgt dit subcriterium net als veiligheid een hoge wegingsfactor.
Subcriteria 2.2	Kosten	€	0-10.000.000	4%	8	Voor duurzame ontwikkelingen is over het algemeen meer geld beschikbaar wanneer de ontwikkeling potentie heeft om in de toekomst van waarde te zijn. Hiervan moeten de actoren overtuigd worden om het extra geld te kunnen investeren. Om deze reden worden de kosten beschouwd als een minder belangrijke factor en krijgt daarom een relatief lage weging.

Criteria 3		<u>Onderhoud</u>		17%		
Subcriteria 3.1	Beheer en onderhoud	€	0-1.000.000	11%	4	Een belangrijke eis vanuit Rijkswaterstaat, de eigenaar van de weg, is de beschikbaarheid van de weg en een geïmplementeerd laadsysteem voor beheer en onderhoud. Vanwege de eis vanuit deze actor wordt er een hoge waarde gehecht aan deze behoefte voor beheer en onderhoud. Vandaar de hoge wegingsfactor die net onder die van efficiëntie valt vanwege het in eerste instantie functioneren van het systeem zonder beheer en onderhoud. Uiteraard is beheer en onderhoud wel essentieel voor het blijven functioneren vandaar hoge weging.
Subcriteria 3.2	Levensduur	Jaar	0-50	6%	6	De tijdsduur waarin het laadsysteem functioneel kan, zijn speelt in eerste instantie nog geen rol. Dit verschijnsel komt pas na enkele jaren aan het licht. Daarnaast is het afhankelijk van het beheer en onderhoud. Echter, de levensduur is dusdanig belangrijk dat het een gemiddelde wegingsfactor krijgt.
Criteria 4		<u>Toekomst</u>		15%		
Subcriteria 4.1	Technologische ontwikkelingen	-	-	5%	7	De staat van de huidige systemen oefent op dit moment een grote invloed uit op de keuze voor een systeem. Echter, er dient wel gekeken te worden naar het toekomstig gebruik van de systemen. De technologische ontwikkelingen op het gebied van elektrisch rijden en laden zijn de laatste jaren in een stroomversnelling gekomen. Het perspectief van de systemen gericht op toekomstig gebruik dienen meegenomen te worden in de vergelijking. Hierbij speelt de ontwikkelingsmogelijkheid een belangrijke rol. Toch krijgt technologische ontwikkelingen een relatief lage weging in verband met de grote mate van subjectiviteit van dit onderwerp.
Subcriteria 4.2	Toekomstig gebruik	-	-	10%	5	Voor de verdere adaptatie en toepassing van het laden tijdens het rijden, speelt toekomstig gebruik een belangrijke rol. In hoeverre is het systeem erop gericht om in de toekomst in te spelen om meerdere gebruikers van verschillende gebruikerscategorieën. Hierbij speelt potentie van het laadsysteem een belangrijke rol. Wegens bovengenoemde redenen krijgt toekomstig gebruik een bovengemiddelde wegingsfactor.

Tabel 9: Criteria MCA met wegingsfactoren

3.6.3 Score-toekenning voor varianten vergelijking

De uiteindelijke vergelijking zal worden samengevoegd en overzichtelijk worden weergegeven door middel van Multi Criteria Analyse (MCA). Hierin worden de criteria gewaardeerd op belangrijkheid door middel van een waarde toekenning uitgedrukt in percentages. De varianten worden op waarde geschat voor elk afzonderlijke criteria. Dit gebeurt door middel van een score toekenning van 0 tot 10, waarbij het cijfer 0 het slechtst is en cijfer 10 het best.

De waarde van een criteria wordt, waar mogelijk, kwantitatief vastgesteld binnen de 10 punten.

Een voorbeeld van deze kwantitatieve score-toekenning wordt op basis van efficiëntie getoond:

Als eis is een minimale efficiëntie van 90% als minimaal vereist volgens het Programma van Eisen. Hierbij wordt gesteld dat 90% een score-toekenning van 0 punten is. Elk procent meer dan 90% is een punt waard. Een (fictieve) efficiëntie van 95,3% levert een score toekenning van 5,3 punten op.

Alle criteria die gekwantificeerd kunnen worden, worden voorzien van een eigen scoreverdeling volgens bovenstaand voorbeeld.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd.

4.1 Varianten vergelijking volgens Multi Criteria Analyse

In deze paragraaf wordt de Multi Criteria Analyse uitgevoerd. Hierbij worden waarden aan de criteria toegekend. Deze waarden oefenen effect uit op de weging van een criterium. Door alle criteria te waarderen kan met behulp van de uitvoering van de Multi Criteria Analyse wordt bepaald welke variant het meest geschikt is voor het toepassen in het gestelde project.

In onderstaande Tabel 10 de uitwerking van de Multi Criteria Analyse.

In APPENDIX 3 Hoofdstuk 8.2 wordt de volledige uitwerking van de Multi Criteria Analyse weergegeven. Hierbij wordt verwezen naar Bijlage III van APPENDIX 3 waarin een overzicht is weergegeven met de waarderingen per variant per subcriterium waarbij de toegekende waarde wordt gemotiveerd, onderbouwd en toegelicht.

Multi Criteria Analyse

				Score toekenning (0-10)		Waarde berekening	
Criteria nummer	Criteria	Score-range	Weging	Pantograafladen	Inductieladen	Pantograafladen	Inductieladen
Criteria 1	<u>Ontwerp</u>		47%				
Subcriteria 1.1	Vermogen	0-10	13%	6	9	0,78	1,17
Subcriteria 1.2	Efficiëntie	0-10	14%	7	0	0,98	0,00
Subcriteria 1.3	Gebruik	0-10	3%	10	10	0,30	0,30
Subcriteria 1.4	Veiligheid	0-10	17%	7	10	1,19	1,70
Criteria 2	<u>Uitvoering</u>		21%				
Subcriteria 2.1	Impact op wegontwerp	0-10	17%	4	8	0,68	1,36
Subcriteria 2.2	Kosten	0-10	4%	7,8	5,5	0,31	0,22
Criteria 3	<u>Onderhoud</u>		17%				
Subcriteria 3.1	Beheer en onderhoud	0-10	11%	6	8	0,66	0,88
Subcriteria 3.2	Levensduur	0-10	6%	9	8	0,54	0,48
Criteria 4	<u>Toekomst</u>		15%				
Subcriteria 4.1	Technologische ontwikkelingen	0-10	5%	3	8	0,15	0,40
Subcriteria 4.2	Toekomstig gebruik	0-10	10%	3	8	0,30	0,80
						5,89	7,31

Tabel 10: Uitwerking Multi Criteria Analyse

Conclusie Multi Criteria Analyse:

Uit de Multi Criteria Analyse kan worden geconcludeerd dat op basis van de vastgestelde criteria, inductieladen boven pantograaf laden wordt verkozen om te implementeren in het wegontwerp van de N59.

4.2 Gevoeligheidsanalyse Multi Criteria Analyse

Ter validatie van de variantenvergelijking volgens de Multi Criteria analyse wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij worden enkele onderdelen waarover een aanname is gedaan, in een ongunstige situatie beschouwd.

Criteria die in de gevoeligheidsanalyse in ongunstige situatie worden beschouwd zijn: vermogen, kosten, levensduur, technologische ontwikkelingen en toekomstig gebruik.

Voor de gevoeligheidsanalyse wordt de waarde van inductieladen verlaagd naar de waarde van de pantograaf laden of wanneer pantograaf laden een hogere waarde heeft, wordt de waarde van inductieladen verlaagd met 30%.

In Bijlage 7 is de gevoeligheidsanalyse weergegeven. In Appendix 3 Hoofdstuk 8.2.1 is deze gevoeligheidsanalyse volledig uitgewerkt.

Conclusie gevoeligheidsanalyse:

Uit de gevoeligheidsanalyse kan worden geconcludeerd dat zelfs in een ongunstige situatie inductieladen boven pantograaf laden wordt verkozen om te implementeren in het wegontwerp van de N59. Dit betekent dat de MCA correct is uitgevoerd omdat hieruit dezelfde conclusie wordt getrokken.

4.3 Hoe wordt het laadsysteem geïntegreerd in het wegontwerp?

In dit hoofdstuk wordt de implementatie van het inductielaadsysteem in het wegontwerp beschreven. Hierbij wordt de exacte locatie bepaald, het dwarsprofiel van de N59 wordt herontworpen volgens de normen en richtlijnen, er worden ontwerpaannames beschreven voor de implementatie in het wegontwerp, beheer en onderhoud aspecten worden beschreven, het effect op het ontwerp en de kosten komen aanbod.

Er is bewust voor gekozen om de implementatie van het laadsysteem te beschouwen na voltooiing van de variantenvergelijking. Reden hiervoor is de vergelijkbaarheid van de werking van de beschouwde varianten als laadsysteem. Beide varianten dienen op dezelfde locaties te worden geïmplementeerd. Door de implementatie te beschouwen na de variantenvergelijking kan de verkozen variant specifiekier worden uitgewerkt op de exacte locatie.

4.3.1 Exacte locatie implementatie laadsysteem

De implementatie van het laadsysteem wordt in deze paragraaf exact gedefinieerd. Hierbij wordt verwezen naar APPENDIX 3 Hoofdstuk 9.2.1 waar de volledige uitwerking van de exacte locatie van implementatie beschreven staat.

Vastgesteld wordt dat wanneer er vanaf Zierikzee naar Bruinisse wordt gereden, gestart wordt met het laadtraject direct na de rotonde van Zierikzee. In tegen gestelde richting, van Bruinisse naar Zierikzee, wordt gestart met het laadtraject bij de rotonde van Bruinisse. De reden voor deze keuze is dat door te starten bij de rotondes wordt ingespeeld op de gegarandeerde snelheidsvermindering van de bus die optreedt bij het rijden op een rotonde. Wanneer de bus de rotonde verlaat is de snelheid laag en kan er langere tijd contact worden gemaakt met het inductielaadsysteem in de weg en is er een kortere afstand nodig om te laden dan bij een hoge snelheid. Na de rotonde en het optrekken naar de maximale snelheid zal het laden meer tijd in beslag nemen en het laadtraject toenemen.

Ter indicatie van de functionaliteit van het laden tijdens het rijden is in APPENDIX 3 bijlage II uitgewerkt hoeveel procent van het beschouwde traject Zierikzee – Bruinisse (N59) voorzien dient te worden om dit traject te rijden met een elektrische bus waarbij het geladen vermogen in de batterij gelijk is aan het begin en het eind van het traject (SOC). Dit houdt in dat de bus net zoveel kilometers kan afleggen op zijn batterij na het rijden van het dynamisch laadtraject als waarmee de bus het traject begon.

Uit de variantenvergelijking door middel van de Multi Criteria Analyse is geconcludeerd dat inductieladen wordt geïmplementeerd. Hieronder zijn beknopt de kwantitatieve gegevens omtrent de implementatie van inductieladen weergegeven. Voor de volledige uitwerking en vastgestelde parameters wordt verwezen naar APPENDIX 3 Bijlage II.

De situaties die zijn beschouwt gaan uit van gunstig en ongunstig.

- Een gunstige situatie houdt in dat er gestart wordt vanaf de rotonde, de maximale snelheid bereikt wordt waarna bij iedere passerende kruisingen met stoplichten afgeremd dient te worden vanwege de stoplichten die rood licht tonen. Nadat tot stilstand is gekomen gaan de stoplichten op groen waarna weer opgetrokken kan worden tot maximale snelheid.
- Een ongunstige situatie houdt in dat er gestart wordt vanaf de rotonde, de maximale snelheid bereikt wordt en deze behouden kan worden gedurende het gehele laadtraject. Dit houdt in

dat de stoplichten op de gepasseerde kruisingen op groen staan, doorgereden kan worden en dus geen snelheidsvermindering optreed.

(vermeld dient te worden dat een gunstige situatie voor het laden juist in werkelijkheid ongunstig is voor de reistijd van de bus omdat er langer over het traject gereden wordt. Het langer rijden over het traject betekent langer laden wat verklaart waarom de situatie als gunstig wordt bestempeld.)

De situaties tussen gunstig en ongunstig worden buiten beschouwing gelaten met als reden dat er vele scenario's mogelijk zijn en omwille van de tijd van het afstudeerproces wordt gekozen om de twee uiterste situaties te beschouwen.

Gezien vanaf de rotonde bij Zierikzee richting Bruinisse zijn de volgende kruisingen met stoplichten voorzien, waarmee rekening gehouden wordt:

- Kruising bij Nieuwerkerk, op 5,6 kilometer;
- Kruising bij Oosterland, op 7,8 kilometer.

Zoals eerder vermeld in paragraaf 4.1.4 heeft het beschouwde traject tussen Zierikzee – Bruinisse een lengte van 13,0 kilometer.

Start traject		Lengte implementatie traject inductieladen	Procentuele lengte t.o.v. beschouwt traject
Ronde Zierikzee	Gunstig	6,4 km	49%
	Ongunstig	6,8 km	52%
Ronde Bruinisse	Gunstig	6,4 km	49%
	Ongunstig	6,8 km	52%

Tabel 11: Lengte laadtraject in gunstig en ongunstige situatie

Omdat er niet uitgegaan kan worden van de gunstigste situatie waarbij de bus op alle kruisingen altijd moet stoppen voor rood licht, wordt vastgesteld dat de ongunstige situatie wordt gehanteerd.

Voor de berekening van het benodigde aantal kWh om de SOC gelijk te houden aan het begin en het eind van het traject wordt verwezen naar APPENDIX 3 Hoofdstuk 9.

Conclusie omtrent de exacte locatie en lengte van het traject wat voorzien wordt van het inductielaadsysteem:

- Vanaf de rotonde van Zierikzee 6,8 kilometer richting Bruinisse (Figuur 15);
- Vanaf de rotonde van Bruinisse 6,8 kilometer richting Zierikzee (Figuur 16).



Figuur 15: Laadtraject vanaf rotonde Zierikzee (6,8 km)



Figuur 16: Laadtraject vanaf rotonde Bruinisse (6,8 km)

4.3.2 Herontwerp dwarsprofiel ten behoeve van veiligheid N59

De veiligheid van de N59 is één van de primaire redenen voor het starten van dit onderzoek. Om deze reden is in het programma van eisen (APPENDIX 2) opgenomen dat het hernieuwde wegsysteem de verkeersveiligheid dient te verbeteren conform de principes van Duurzaam Veilig Verkeer (DVV).

Duurzaam Veilig Verkeer is een initiatief van de overheid om de verkeersveiligheid van en op wegen te vergroten. De focus van het initiatief ligt op het voorkomen van ongevallen en het beperken van letsel bij ongevallen.

Duurzaam Veilig Verkeer heeft vijf speerpunten waarmee getracht wordt de veiligheid van de wegen te waarborgen.

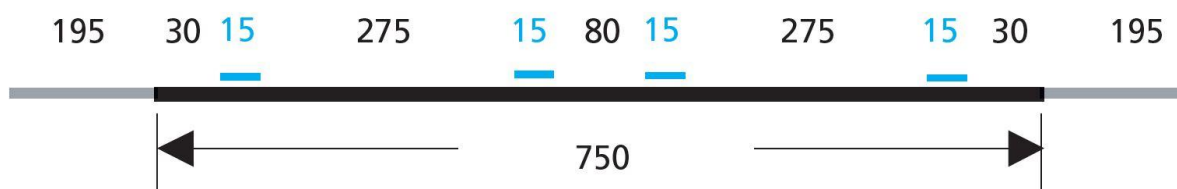
- Functionaliteit van wegen. De functie van de wegen dienen duidelijk en eenduidig te zijn. Wegen zijn gecategoriseerd als stroomwegen, gebiedsontsluitingswegen of erftoegangswegen.
- Homogeniteit van massa, richting en snelheid. Conflicten tussen lichte verkeersdeelnemers en zware verkeersdeelnemers, tussen weggebruikers met groot snelheidsverschil en tussen weggebruikers uit verschillende richtingen dienen voorkomen te worden.
- Herkenbaarheid. Het wegbeeld dient herkenbaar te zijn, zodat weggebruikers weten om welke categorie weg het gaat. Wegmarkering moet uniform zijn zodat het verkeer weet wat de regels op de weg zijn.
- Vergevingsgezindheid. Er dienen maatregelen te worden getroffen die ernstig letsel bij een ongeval kunnen voorkomen. Denk hierbij aan het veilig inrichten van bermen en de beschermende werking van voertuigen.
- Statusonderkenning. Weggebruikers dienen hun eigen taakbekwaamheid te kunnen inschatten. Zelfoverschatting is veel voorkomende bron van gevaar.

De speerpunten van Duurzaam Veilig Verkeer komen overeen met de gestelde situatie op de N59. Zo wordt de functionaliteit en de eenduidigheid van de weg niet over het gehele traject gehanteerd. De N59 hanteert verschil in snelheid gedurende het traject. Dit zorgt voor niet eenduidige situaties waarbij snelheden niet correct worden nageleefd wat resulteert in gevaarlijke situaties.

Oplossing voor dit probleem is de N59 wat een gebiedsontsluitingsweg is, zo te houden maar met een eenduidige snelheid van 80 km/h. Dit resulteert in een vloeiendere doorstroming voor alle weggebruikers en minder oponthoud door langzamer verkeer wat regelmatig resulteerde in inhaalacties en gevaarlijke situaties.

Daarnaast is het wegontwerp niet over het gehele traject eenduidig. Dit veroorzaakt (visueel) ongemak voor verkeersdeelnemers. Het gemiddelde wegontwerp van de N59 voldoet aan de minimale afmetingen volgens de CROW richtlijnen. Echter, er kan gesteld worden dat er verscheidene locaties op de N59 zijn die zich beneden de gemiddelde dwarsprofiel afmetingen bevinden. In Appendix 1 is de huidige situatie beschreven waarbij het gemiddelde dwarsprofiel is uitgewerkt.

Om het wegontwerp veiliger te maken wordt het dwarsprofiel van de N59 geconstrueerd volgens de normale afmetingen van een gebiedsontsluitingsweg volgens de CROW richtlijnen. Onderstaand de afmetingen van een normaal dwarsprofiel van de N59.



Figuur 17: Normale afmetingen wegontwerp gebiedsontsluitingsweg type 2 1x2 (CROW, 2005)

Nog een verbeterpunt van de N59 is de homogeniteit van massa, richting en snelheid. Naast de N59 is aan beide zijden een parallelweg gelegen. Deze parallelwegen hebben op meerdere locaties op de N59 een oversteekmogelijkheid. Hierdoor wordt de homogeniteit in zowel snelheid als richting belemmerd wat gevaarlijke situaties kan veroorzaken. Om deze reden worden de oversteekplaatsen van de parallelwegen verwijderd en zal de uitwisseling van de N59 en de parallelwegen enkel nog te voltooien zijn via de kruisingen en rotondes.

Het speerpunt vergevingsgezindheid bevat onder meer de verbetering van de bermen. Dit wordt in het nieuwe wegontwerp van de N59 opgevangen door verharde bermen toe te passen door middel van grasbetontegels. De grasbetontegels zorgen voor een draagkrachtige laag wanneer er van het asfalt wordt afgeweken. Echter zoals de naam doet vermoeden zijn de grasbetontegels overgroeid/doorgroeit met gras wat zorgt voor de uitstraling van een gewone grasberm.

Naast de verbreding van het wegontwerp wordt de primaire oorzaak van de meeste ongelukken in ogenschouw genomen. Uit het vooronderzoek en de huidige situatieanalyse blijken inhaalmanoeuvres, het al dan niet vrijwillig op de verkeerde weghelft belanden, de belangrijkste oorzaak van ongelukken op de N59. Om weggebruikers te ontmoedigen, worden in plaats van een grasberm, volgens de ideale situatie van de CROW richtlijnen, ribbelstrepen als rijrichtingscheidingen toegepast. Dit zorgt voor een trillen- en geluidseffect wanneer deze gepasseerd worden. Tevens zijn deze ribbelstrepen dusdanig oncomfortabel dat het niet uitnodigt om eroverheen te rijden.

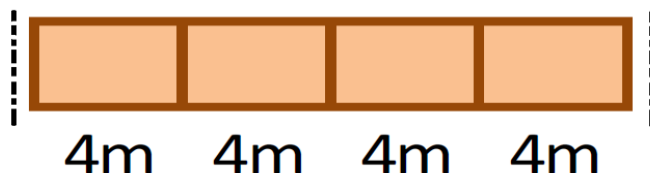
De volledige uitwerking omtrent de verbetering van de veiligheid is beschreven in APPENDIX 3 Hoofdstuk 3.

4.3.3 Ontwerpaannames geïntegreerd laadsysteem in hernieuwd wegontwerp

In deze paragraaf worden de belangrijkste aspecten omtrent het ontwerp van het inductielaadsysteem vermeld. Voor de volledige uitwerking van de ontwerpaannames wordt verwezen naar APPENDIX 3 Hoofdstuk 6 waar inductieladen volledig wordt uitgewerkt.

Onderdelen die aanbod komen zijn vermogen van het laadsysteem, efficiëntie van het laadsysteem, het gebruiken van het laadsysteem en de veiligheid.

Uit onderzoek (Beeldens, Hauspie, Perik, & Boonen, 2017) naar de toepassing van de primaire spoel in een asfaltweg, blijkt de opbouw van spoelen in segmenten van vier meter het meest kostefficiënt te zijn. Omdat in het Programma van Eisen is opgenomen dat het laadsysteem efficiënt dient te zijn, wordt voor deze toepassing gekozen.



Figuur 18: Primaire spoelen in segmenten van 4 meter (Beeldens, Hauspie, Perik, & Boonen, 2017)

Het vermogen waarmee geladen kan worden, is afhankelijk van drie factoren, laadcapaciteit waarmee het voertuig geladen kan worden, de laadcapaciteit welke geleverd kan worden door het inductielaadsysteem en de capaciteit van het achterliggend elektriciteitsnetwerk. Zowel de laadcapaciteit van het voertuig als de capaciteit van het elektriciteitsnetwerk worden buiten beschouwing gelaten. De reden hiervoor is dat de systemen die worden geïmplementeerd als maatgevend worden gehouden waar de twee andere factoren op zullen worden aangepast. Echter, er zal wel rekening worden gehouden met de twee factoren door middel van het inschatten of het vastgestelde vermogen van het inductielaadsysteem ook realiseerbaar wordt geacht voor de laadcapaciteit van het voertuig dan wel de netwerkcapaciteit.

Gebaseerd op onderzoeken die gericht zijn op de afmetingen van de spoelen kan worden geconcludeerd dat de meest gebruikte secundaire spoel afmetingen variëren van 40 cm x 40 cm tot 220 cm x 90 cm en de dikte varieert tussen 8 cm en 12 cm.

Gegevens uit de praktijk omtrent het OLEV inductiesysteem door KAIST (KAIST, 2013) laten zien dat het toepassen van een 180 kW inductiesysteem haalbaar is. Vergelijkend met de standaard vermogens waarmee hedendaags geladen wordt, is dit een hoog vermogen.

Daarnaast wordt bij het in het onderzoeksproject (Olsson, 2013) een statisch inductiesysteem van Primove Bombardier toegepast en met succes getest in de praktijk welke een vermogen van 180 kW levert.

In het kader van hoog vermogen, korte afstand, word er gekozen om een voor een 180 kW inductiesysteem, vergelijkbaar met het dynamisch inductiesysteem van OLEV.

Hiermee wordt voldaan aan de gestelde eis van minimaal vermogen aan het laadsysteem van 100 kW in het programma van eisen.

Efficiëntie speelt een belangrijke rol bij draadloze stroomoverdracht. Doordat bij de techniek inductie gebruik wordt gemaakt van resonantie, wordt de overdracht efficiëntie vergroot.

Zoals gezegd is er bij de techniek inductieladen geen sprake is van fysiek contact tussen de verzender en ontvanger van de stroom. Dit resulteert tijdens het overbruggen van de contactloze afstand in energieverlies. Het verlies tijdens energie-overdracht is ongeveer 5-30%, wat resulteert in een overdrachtsrendement van ongeveer 70-95%. Het rendement is afhankelijk van een aantal factoren zoals overdrachtsafstand, nauwkeurigheid uitlijning, overdrachtsvermogen.

- Overdrachtsafstand

Met een toenemende overdrachtsafstand neemt de efficiëntie af.

- Nauwkeurigheid uitlijning

Een toenemende daling van de efficiëntie treedt op wanneer er laterale afwijkingen optreden. Een afnemen van de efficiëntie van 8% treedt op bij een laterale afwijking van 20 centimeter en met een maximale aanvaardbare tolerantie van 40 centimeter. (Beeldens, Hauspie, Perik, & Boonen, 2017)

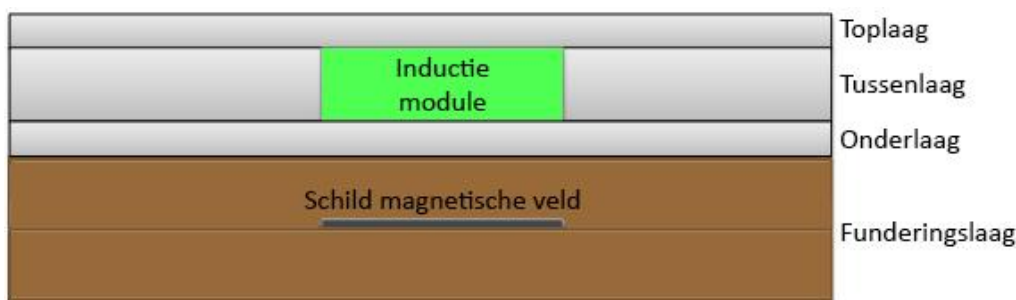
- Overdrachtsvermogen

Er wordt een efficiëntie van 88% behaald bij een vermogen van 40 kW. Bij een vermogen van 160 kW is de efficiëntie 90%. Een stijging van het vermogen naar 180 kW brengt een vermogen van 90-91% met zich mee. Tot op zekere hoogte neemt de efficiëntie toe naarmate het vermogen toeneemt. (Beeldens, Hauspie, Perik, & Boonen, 2017)

Het gehanteerde overdrachtsvermogen voor dit onderzoek zal 90% bedragen.

Inductieladen wordt niet beïnvloed door weersomstandigheden. De stroomoverdracht wordt gewaarborgd onder alle weersomstandigheden zoals ijs, sneeuw, modder, regen en extreme temperaturen.

Tijdens het ontwerpen van de weg dient rekening gehouden te worden met het inductielaadsysteem. Dit met betrekking tot de opbouw in de dwarsprofielen. Hieronder ter illustratie een schematische weergave van de opbouw van de weg met geïmplementeerd inductielaadsysteem.



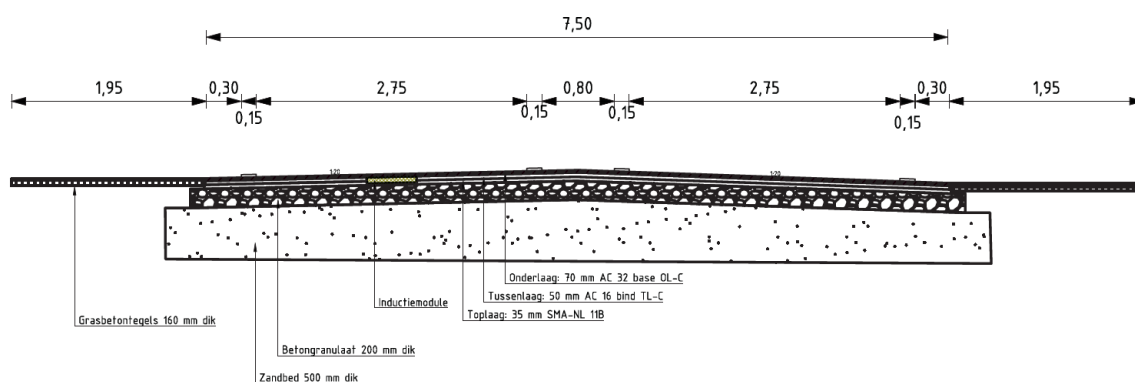
Figuur 19: Wegopbouw met geïntegreerd inductiemodule

In bovenstaand figuur is te zien dat de weg volgens de standaardopbouw wordt volbracht met uitzondering van het plaatsen van de prefab module. Er dient een sleuf vrijgehouden te worden waarin de prefab inductiemodules kunnen worden geplaatst waarna de toplaag de wegopbouw weer compleet maakt.

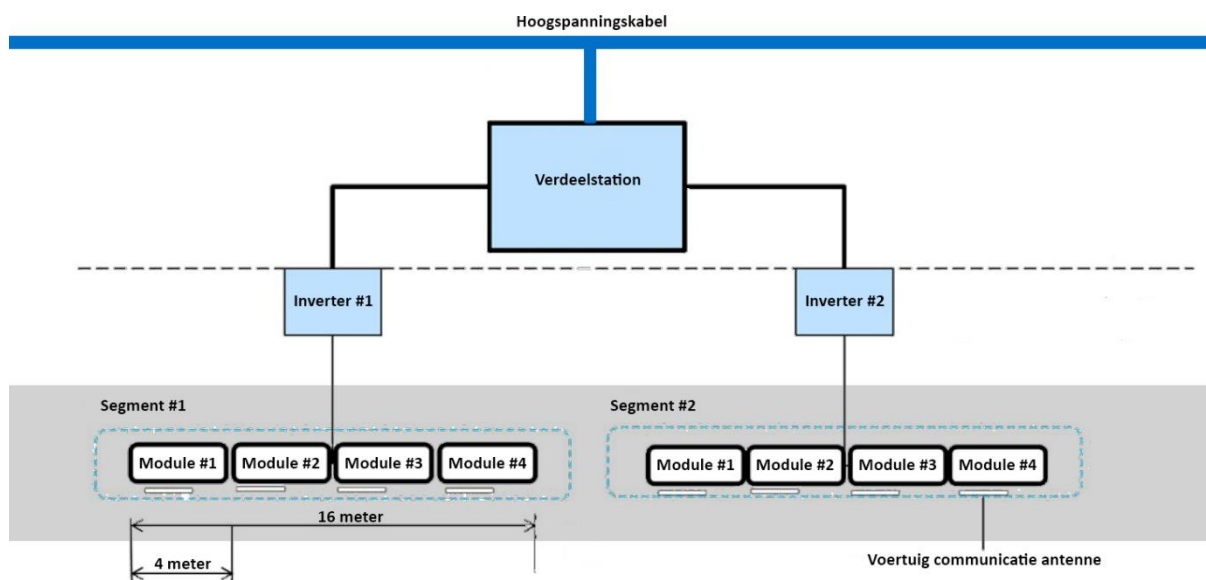
De inductiemodules worden prefab vervaardigd door middel van het verwerken van de inductielussen in een asfaltverharding. Deze dienen met speciale aandacht te worden aangebracht, gelet op de temperatuur van warm asfalt en de maximale toelaatbare temperatuur voor de kabels. Er kan worden gekozen om de modules op te bouwen met koud asfalt.

In het onderzoek (Beeldens, Hauspie, Perik, & Boonen, 2017) zijn metingen verricht naar de structuur en draagkracht van de weg na implementatie van inductiemodules in het wegontwerp. Na implementatie in 2011 zijn in 2014 metingen verricht waaruit de volgende conclusie kan worden getrokken: De vergelijking van de metingen in asfalt tussen 2011 en 2014 tonen aan dat de lastoverdracht tussen de inductiemodules niet drastisch verandert en gemiddeld 65% bedraagt. De verandering van de vervorming onder het wielspoor bleef ook beperkt. Echter, er wordt wel een grote verandering in de vervorming in het midden van de asfalt verharding vastgesteld. Dit duidt op het verlies van adhesie van de topplaat.

In onderstaande afbeelding het hernieuwde dwarsprofiel weergegeven met geïntegreerd inductielaadsysteem. In Bijlage 8 is de oorspronkelijke technische tekening opgenomen.



In onderstaand figuur een bovenaanzicht van de weg met de inductiemodules achtereenvolgens verwerkt.



Figuur 20: Inductielaadsysteem verdeeld in verschillende segmenten

In bovenstaand figuur is te zien dat, zoals eerder aangegeven, de modules 4 meter lang zijn. Er zullen 4 modules van 4 meter worden geplaatst per inverter. Elke inverter levert een vermogen van 180 kW welke, afhankelijk van de locatie van het voertuig, wisselt tussen de modules.

4.3.4 Beheer en onderhoud

Het beheer en onderhoud van het gehele wegsysteem wordt beschouwd. Dit houdt in dat het wegsysteem wordt beschouwd en tevens het inductielaadsysteem dat verwerkt is in de weg. De beschouwing wordt verricht op globaal niveau in verband met de status waarin het onderzoek naar inductieladen zich bevindt. Het inductieladen is een relatief nieuwe techniek, zeker in de infrastructuur, waardoor de implementatietijd nog zeer kort is en er nauwelijks gegevens beschikbaar zijn omtrent onderhoud.

In deze paragraaf een beknopte beschrijving omtrent het beheer en onderhoud aan het wegsysteem. Voor de volledige uitwerking wordt verwezen naar APPENDIX 3 Hoofdstuk 6.3.

Het onderhoud aan het wegsysteem wordt verricht middels onderstaande taken:

- Klein onderhoud, vervangen top-laag om de 8,5 jaar, frequentie 1 keer: - o Vervangen top-laag ZOAB+ incl. indirecte kosten en BTW: €133.000 /km. - Groot onderhoud, vervangen top-laag en onderlaag om de 17 jaar, frequentie 1 keer: - o Vervangen top-laag ZOAB+ en STAB onderlaag incl. indirecte kosten en BTW: €234.000 /km. - Vervangen complete verharding incl. fundering (cunet niet meegenomen) na 34 jaar: - o Vervangingskosten verharding met fundering incl. indirecte kosten en BTW: €750.000 /km. - Jaarlijks vast onderhoud maaiwerk, vegen en verlichting, frequentie 34 keer: - o Kosten vaste onderhoud incl. indirecte kosten en BTW: €7.500 /km/jaar. - <i>Dynamisch verkeersmanagementsystemen, lussen en strooien zijn niet meegenomen.</i>
Tezamen bedraagt het onderhoud en het vervangen, verspreid over de jaren €51.691/km/jaar.

Onderhoud aan het inductielaadsysteem wordt ingeschat op basis van kennis van experts van EYZ Mobility.

- Onderhoud aan inductiesysteem - o Uitgevoerd in combinatie met onderhoud en vervangen top-laag, 1x per 8,5 jaar (klein onderhoud) en 1x per 17 jaar (groot onderhoud). - Specifiek onderhoud en reparatie aan inductiemodule - o Incidenteel onderhoud aan inductiemodule. Toplaag asfalt verwijderen, onderhoud aan inductiemodule, top-laag asfalt aanbrengen. 1x per 2,5 jaar. - Inspectie en onderhoud aan verdeelstations - o Inspectiefrequentie 2x per jaar - Inspectie en onderhoud aan inverters - o Inspectiefrequentie 2x per jaar
--

In de huidige omstandigheden dient na implementatie van de inductiemodules in het asfalt, de top-laag vaker vervangen te worden dan normaal gebruikelijk is (ongeveer eens in de 11 jaar). Doordat er na

enige tijd grote vervorming in het midden van de asfalt verharding optreedt, wat duidt op het verlies van adhesie van de top laag, dient de top laag eerder vervangen te worden. Vervanging van de top laag eens in de 8,5 jaar (klein onderhoud) en eens in de 17 jaar (groot onderhoud) volstaat. Naast de inductiesystemen worden de verdeelstations en inverters gemonitord en onderhouden.

Er zijn geen kosten verbonden aan onderhoudstaken van het inductielaadsysteem omdat hiervan nog geen gegevens beschikbaar zijn.

4.3.5 Effect van het ontwerp

Het effect van het laden tijdens het rijden wordt primair ingezet voor twee redenen:

- Benodigde batterij capaciteit verminderen;
- Efficiënter inzetten van voertuigen.

In paragraaf 4.7.1 is weergegeven dat 52% (6,8 km) van het beschouwde traject Zierikzee – Bruinisse (13,0 km) voorzien dient te worden van inductieladen om het gehele traject van 13,0 kilometer te kunnen overbruggen zonder dat de SOC van de accu (restcapaciteit) is afgenomen in vergelijking met de start van het traject.

Ditzelfde is berekend voor het gehele traject van de N59 te weten 43,6 kilometer. Middels berekeningen in APPENDIX 3 Hoofdstuk 9.2.1 wordt aangetoond dat 22 kilometer, circa 51%, van de gehele N59 voorzien dient te worden van het inductielaadsysteem om dit gestelde doel te behalen.

In APPENDIX 3 Hoofdstuk 9.2.1 en de berekeningen in APPENDIX 3 Bijlage V, worden de buslijnen met inductieladen op de N59 beschouwd. Buslijn 395 heeft een lengte van 60 kilometer, buslijn 133 een lengte van 75 kilometer. Met de N59 volledig voorzien van het inductielaadsysteem kunnen beide buslijnen volledig worden gereden waarbij de SOC van de bus zelfs toeneemt.

Om een beeld te schetsen van de situatie met dynamisch laadsysteem:

De elektrische bus start met het rijden van zijn route en zodra de bus zich op het traject met het dynamische laadsysteem begeeft, start het laden. Dit zorgt ervoor dat de capaciteit in de batterij wordt bijgeladen terwijl er gereden wordt. De lengte van het laad traject zorgt ervoor dat minimaal de capaciteit van voor het naderen van het traject wordt behouden. Wanneer de bus bij het eindstation komt, dient de bus niet bijgeladen te worden en kan direct worden gestart met het rijden van de volgende route.

Het voordeel van het laden tijdens het rijden zit hem in de reductie van noodzakelijke stilstand voor het statisch laden na het afleggen van de route, de reductie in de grootte van de batterij en batterijcapaciteit en de reductie van het aantal in te zetten bussen. Doordat de bussen niet of nauwelijks geladen dienen te worden na het rijden van een volledige route, is de bus direct weer beschikbaar voor een nieuwe cyclus van de route.

Met deze feiten kan worden geconcludeerd dat de capaciteit van de batterij kan worden gereduceerd en dat er minder bussen ingezet hoeven worden.

4.3.6 Kosten

De uitvoeringskosten zijn onderverdeeld in twee soorten kosten. De kosten voor de uitvoering van de weg en de kosten voor de uitvoering van het inductielaadsysteem

De kosten voor de aanleg van de weg zijn bepaald aan de hand van kerngetallen van Rijkswaterstaat. Hierin wordt een globale kostenaanname gedaan waaruit onderstaande waarden kunnen worden herleid.

- Aanleg N-weg (1m +maaiveld) van 2x1 stroken (1 strook heen, 1 strook terug), asfaltverharding + fundering en cunet:
 - Aanleg kosten compleet nieuwe weg inclusief indirecte kosten en BTW: **€1.250.000 /km;**
 - Vastgoed (grond aankoop), inclusief indirecte kosten en BTW: **€1.970.000 /km;**
 - Totaal investeringskosten aanleg compleet nieuwe weg inclusief vastgoed (grond aankoop), indirecte kosten en BTW: **€3.220.000 /km.**
 - *Indirecte kosten zijn: nader te detailleren, AK, W&R, uitvoeringskosten, projectmanagement (ontwerp, EPK en IK), object en project onvoorzien enzovoort.*

Voor dit onderzoek zijn enkele van bovenstaande cijfers relevant. De grondaankoop van met betrekking tot vastgoed is niet aan de orde. Hieruit volgt dat de kosten voor een compleet nieuwe weg inclusief indirecte kosten en BTW **€1.250.000 /km** zullen zijn.

Met betrekking tot de kosten voor de aanleg van het inductiesysteem wordt als referentie onderzoek van de TU Delft en OLEV aangehouden. Volgens het onderzoek van de TU Delft leert dat de kosten voor een dynamisch inductief systeem circa €300.000 - € 500.000 per strekkende kilometer zijn. Dit is exclusief de aanpassingen/inbouw in het voertuig. (Kerkhof & Sloten, 2014)

- Aanleg inductiesysteem op een enkelbaans weg (1 strook)
 - Kosten leverantie inductiesysteem: **€350.000 /km;**
 - Arbeidskosten en materieelkosten voor de aanleg van het bovenleidingsysteem **€100.000 /km;**

De kosten voor de aanleg van het inductiesysteem komen uit op **€450.000 /km.**

Hierbij dient vermeld te worden dat naarmate de productie en leverantie van de inductiesystemen stijgt, de kostprijs zal dalen.

De totale kosten voor het aanleggen van de weg met inductiesysteem komt neer op €1.250.000 /km + €450.000 /km = **€1.700.000 /km**

5. Discussie

In dit hoofdstuk wordt het onderzoek kritisch bekeken. Deze kritische blik wordt geworpen op basis van mogelijke andere interpretaties, verklaringen en visies op basis van literatuur en eigen mening. Er wordt een inschatting gemaakt met betrekking tot zekerheid/feitelijkheid van de resultaten. Hierbij wordt vastgesteld welke resultaten (naar eigen inschatting) goed onderbouwd zijn vastgesteld en welke resultaten zijn vastgesteld met een beperkte onderbouwing of op basis van aannames. Hierdoor kan een inschatting worden gemaakt over de juistheid van het resultaat en of er mogelijk ruimte is voor speling (onjuistheid zit in het resultaat).

Het onderzoek is in gang gezet door de uitvoering van het vooronderzoek. Hierin is uitgebreid onderzoek verricht naar de verschillende technieken welke laden tijdens het rijden mogelijk zouden kunnen maken. De vergelijking van de technieken is verricht aan de hand van twee betrouwbare universitaire onderzoeken (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013) en (Perik, 2013). Daarnaast worden pilotprojecten beschouwd waarin laden tijdens het rijden in gecontroleerde praktijkgerichte onderzoeken wordt getest. Op basis van de gegevens en resultaten van de onderzoeken en de pilotprojecten kan worden vastgesteld dat de feitelijkheid van het vooronderzoek goed is onderbouwd. Vermeld dient te worden dat het onderzoek gebaseerd is op pilotproject, referentieprojecten en rapportages omtrent het statisch en dynamisch laden op een andere wijze dan met een stekker. Doordat de ontwikkelingen in deze technologie zich in een pril stadium bevinden, is er een beperkte hoeveelheid aan informatie beschikbaar. Daardoor is ervoor gekozen om naast het dynamisch laden ook het statische laden als referentie beschouwen en naar inschatting te implementeren als dynamische toepassing. Deze keuze kan een zekere onnauwkeurigheid met zich meebrengen.

Na het vaststellen van de bruikbare technieken om laden tijdens het rijden mogelijk te maken, is verder gegaan met het onderzoek door het analyseren van de huidige situatie.

Bij het analyseren van de probleempunten/knelpunten op de N59 is gebruik gemaakt van een aantal bronnen om ongevallen op de N59 te lokaliseren. Ondanks het gebruik van gegevens omtrent geregistreerde ongevallen van de provincie Zuid-Holland, gegevens van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en ongelukken.staanhier.nl zijn naar inschatting niet alle ongevallen (juist) geregistreerd. Deze constatering kan simpel worden getrokken op basis van het ontbreken van alle gegevens omtrent de ongevallen en het ontbreken van het jaar 2017. Er dient vermeld te worden dat de gebruikte bronnen niet volledig zijn. Echter, de gebruikte bronnen en hun gegevens zijn niet onjuist. Op basis van de beschikbare gegevens kan er een reële aanname worden gedaan met betrekking tot de probleempunten/knelpunten op de N59.

Voor het analyseren van het huidige wegontwerp en het dwarsprofiel van de N59 is gebruik gemaakt van gegevens van de eigenaar van de weg, Rijkswaterstaat. Er kan vanuit worden gegaan dat deze gegevens juist zijn omdat het een overheidsinstantie betreft.

De gegevens omtrent de bus en de bus-route welke gebruik maakt van de N59 is verkregen door gegevens op te vragen bij de busmaatschappij Connexxion. Het betreft gegevens omtrent de gebruikte bussen en het verbruik van de bussen. De gegevens ontvangen van Connexxion zijn volgens de contactpersoon de exacte gegevens van het afgelopen jaar (2017). De gegevens worden voor waarheid aangenomen en beschouwd in het onderzoek. Hierbij dient vermeld te worden dat het onderzoek is opgebouwd aan de hand van de twee bestaande bus-routes welke gebruik maken van de N59.

Wanneer de bus-routes worden aangepast, wijzigt de beschouwde locatie in de berekeningen omtrent implementatielengte van het laadtraject. Wanneer dit gebeurt, dient het beschouwde traject opnieuw gedefinieerd te worden waarna de gegevens van het traject verwerkt moeten worden in het vervolg van het onderzoek. Toch kunnen de gegevens uit de berekeningen gebruikt worden ter indicatie van een benodigd percentage om een inductielaadsysteem te implementeren in de weg.

Omdat tijdens de berekeningen gerekend wordt met een relatief onstabiele factor als het openbaar vervoer, kan in de uitvoering rekening gehouden worden met eventueel wijziging en verlening van de route. Hiermee kan rekening gehouden worden door voor een bepaald percentage meer lengte inductielaadsysteem te implementeren dan benodigd volgens berekening.

Achteraf gezien blijkt de gekozen eenheid kilometer per laadsysteem niet geheel representatief te zijn omdat de laadvermogens van pantograafladen (120 kWh) en inductieladen (180 kWh) niet overeenkomen. Hierdoor wordt een vertekend beeld geschetst. Beter had geweest om de laadsystemen te vergelijken op de afstand die afgelegd kan worden per kilowattuur laadvermogen van het laadsysteem.

De beschouwde referentie pilotprojecten zijn onderzoeken die zijn of worden uitgevoerd in de afgelopen jaren (vanaf 2010). Doordat de ontwikkelingen elkaar tegenwoordig met hoog tempo afwisselen zijn hoogstwaarschijnlijk niet alle referentieprojecten up-to-date. Echter, de nieuwste onderzoeken en ontwikkelingen op het gebied van draadloos laden zijn (nog) niet altijd beschikbaar, waardoor hierover niks bekend is. Desondanks zijn er gegevens benodigd voor het onderzoek en daarvoor worden de gestelde referentieprojecten als maatgevend vastgesteld en beschouwd.

Tijdens de variantenstudie zijn de varianten pantograafladen en inductieladen uitgewerkt op de onderdelen gesteld als criteria, namelijk ontwerp, uitvoering, beheer en onderhoud, toekomst.

Het onderdeel “Ontwerp” is aan de hand van referentieprojecten en onderzoeken uitgewerkt maar deze gegevens worden als kritisch beschouwd.

Het onderdeel “Vermogen” is opgesteld aan de hand van praktijkgerichte onderzoeken en toepassingen. De aangenomen gegevens zijn die van succesvolle praktijkonderzoeken. De gegevens blijven kritiek, omdat beide systemen ook worden getest met hogere vermogens en dit ook aantoonbaar werkt. Echter, deze gegevens zijn nog niet in praktijk getest enkel in proefopstellingen. Er is voor gekozen om enkel gegevens te gebruiken waarvan de werking is aangetoond door praktijkonderzoeken of praktijkgebruik.

De efficiëntie van beide systemen kan variëren in verschillende situaties of omstandigheden. Zo is pantograafladen vatbaar voor weersomstandigheden die de bovenleiding (tijdelijk) kunnen aantasten en daardoor de efficiëntie verminderen. De efficiëntie van inductieladen is uiterst kritisch. In verschillende onderzoeken ligt de efficiëntie anders. Er kan een marge optreden in de efficiëntie ergens tussen de 70-95%.

Uitvoeringskosten zijn vastgesteld aan de hand van externe partijen die de systemen of onderdelen voor de systemen leveren.

De kosten voor het pantograaflaadsysteem zijn vastgesteld door middel van gegevens van bovenleiding-leveranciers. Echter, de gegevens die deze externe partij beschikbaar heeft gesteld zijn globale kosten. Dit houdt in dat het kosten zijn die een indicatie geven van de kosten en niet per definitie de exacte kosten zijn. In dit onderzoek zijn deze kosten aangehouden omdat de exacte kosten

niet prijs gegeven werden. De kosten voor het pantograaflaadsysteem kunnen (ondanks de globale kosten schatting) voor representatief worden aangehouden.

De kosten voor het inductielaadsysteem zijn vastgesteld door middel van schatting op basis van het onderzoek van de TU Delft. Een externe partij welke inductieladen mogelijk maakt, wil deze schatting enkel bevestigen. Doordat gebruik wordt gemaakt van schatting op het gebied van de kosten blijven de gegevens kritisch.

Gegevens omtrent beheer en onderhoud aan het wegsysteem zijn verkregen bij Rijkswaterstaat en kunnen in grote lijnen gemarkeerd worden als een zekere factor.

Op het gebied van de laadsystemen zijn externe partijen gecontacteerd. Deze partijen hebben in grote lijnen de onderhoudswerkzaamheden beschreven. Er kan vanuit worden gegaan dat deze kloppen en kunnen als waarheid aangenomen worden. Echter, het dient wel vermeld te worden dat het onderhoud aan het inductielaadsysteem is gebaseerd op inzicht en schatting van het externe bedrijf omdat de systemen relatief nieuw zijn en er nog weinig onderhoud aan is gepleegd in de ontwikkelingsfase. Daarnaast is het beheer en onderhoud van het pantograaflaadsysteem weerafhankelijk. Bij extreme weersomstandigheden kan er sneller slijtage optreden.

Toekomstig gebruik en toekomstige ontwikkelingen op het gebied van de laadsystemen worden gebaseerd op hedendaagse ontwikkelingen en onderzoeken. Hierbij wordt een inschatting gemaakt waarbij gesteld kan worden dat de ontwikkelingen voor nieuwe technieken snel gaan en er dus nog ruimte is om door te ontwikkelen. Dit wordt onderbouwd aan de hand van verschillende grote pilotprojecten welke zich richten op laden tijdens het rijden.

Tot slot rijst de vraag of de toepassing van dynamisch laden wel relevant genoeg is om toe te passen in de infrastructuur. Hieraan worden twijfels verbonden. De reden voor de twijfels zijn de hedendaagse ontwikkelingen op het gebied van batterijcapaciteit en statisch laadvermogen ten opzichte van de efficiëntie van het laadsysteem, de kosten van het implementeren van het laadsysteem in het wegontwerp, lengte van het traject dat benodigd is om te laden met het vermogen wat nu beschikbaar is en de duurzame alternatieven zoals rijden op waterstof wat ook volop in ontwikkeling is. Echter, de ontwikkeling op het gebied van autonoom rijden kan een positieve invloed hebben op het laden tijdens het rijden. Door autonoom rijden kan de efficiëntie worden verhoogd door preciezer positioneren van het voertuig en kan het voertuig efficiënter worden ingezet door stilstand te reduceren. Het implementeren van het laadsysteem toont niet aan dat de weg veiliger wordt, maar zorgt er wel voor dat de stap naar autonoom rijden makkelijker gemaakt kan worden. Autonoom rijden kan de veiligheid op de weg wel verbeteren.

6. Conclusie

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvraag van dit onderzoek. De onderzoeksvraag is opgenomen in Hoofdstuk 1.4 Onderzoeksvragen van dit rapport. De hoofdvraag luidt als volgt:

“Welke laadtechniek is het meest geschikt om laden tijdens het rijden mogelijk te maken en hoe kan deze techniek worden geïntegreerd in een veilig en goed functionerend wegontwerp voor de Energy Highway N59?”

Om antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag is het onderzoek uitgevoerd zoals beschreven in dit rapport. Er is onderzoek verricht naar de meest geschikte laadtechniek om laden tijdens het rijden mogelijk te maken op de N59.

Het onderzoek startte met een vooronderzoek naar de huidige stand van zaken omtrent het elektrisch rijden. Het laden tijdens het rijden richt zich op een elektrische bus. Daarom dient de basis van elektrisch rijden bekend te zijn alvorens het laden tijdens het rijden kan worden beschouwd. Hierna is verder gegaan met onderzoek naar relevante technieken waarmee laden tijdens het rijden mogelijk gemaakt kan worden. Daarnaast zijn relevante theorieën en referentieproject beschouwd. Deze informatie vormt het theoretisch kader van het onderzoek en daarin worden alle informatie en theorieën die van belang zijn voor het onderzoek beschouwd. Aansluitend wordt in het vooronderzoek de methode bepaald waarmee het onderzoek wordt uitgevoerd, de scope van het onderzoek wordt vastgesteld waardoor het onderzoek wordt ingekaderd en de producten die opgeleverd worden als resultaat van het onderzoek worden bepaald.

Uit het vooronderzoek naar de laadtechnieken blijken acht potentiële technieken laden tijdens het rijden mogelijk te maken. Door het bestuderen van de acht laadtechnieken kan al snel de eerste conclusie worden getrokken. Twee van de acht laadtechnieken blijken werkelijk de potentie te hebben om laden tijdens het rijden mogelijk te maken. Bij de overige zes laadtechnieken schort het aan de juiste specificaties op het aspecten als overdrachtsvermogen, overdrachtsefficiëntie en overdrachtsafstand. De overgebleven twee laadtechnieken die wél potentie hebben om laden tijdens het rijden mogelijk te maken zijn:

- Conductief stroomoverdracht -> genaamd: “Pantograafladen”
- Magnetische resonantie inductie -> genaamd: “Inductieladen”

De potentiële laadtechnieken pantograafladen en inductieladen worden als varianten beschouwd waarop het vervolg van het onderzoek zal worden toegespitst.

Naast vooronderzoek naar de laadtechnieken is er een huidige situatieanalyse verricht. Uit deze huidige situatieanalyse wordt vastgesteld dat op de N59, met name op het traject tussen Zierikzee – Bruinisse, veel ongelukken gebeuren. Dit bevestigt het algehele beeld van omwonenden en de provincies Zuid-Holland en Zeeland over de N59 welke beschouwd wordt als een verkeersonveilige weg. Naast de implementatie van het laadsysteem wordt vastgesteld dat het wegontwerp van de N59 hernieuwd dient te worden volgens de normen en richtlijnen van het CROW met betrekking tot gebiedsontsluitingswegen.

Vervolgens zijn in samenspraak met de provincies Zuid-Holland en Zeeland, Rijkswaterstaat en Sweco de functionele eisen voor het project opgesteld. Aan de hand van de functionele eisen, normen en richtlijnen zijn de technische eisen gedefinieerd. Dit alles in het Programma van Eisen van het onderzoek.

Het onderzoek wordt voortgezet middels een variantenstudie. Hierbij zijn de potentiële laadtechnieken, pantograafladen en inductieladen, verwerkt tot twee varianten in het wegontwerp van de N59.

De twee varianten zijn verder uitgewerkt op theoretisch waarna een visueel vlak is uitgewerkt door middel van een schetsontwerp en een voorontwerp.

De uitgewerkte varianten zijn vergeleken en beoordeeld middels een Multi Criteria Analyse. Uit deze Multi Criteria Analyse kan geconcludeerd worden dat de variant inductieladen het meest geschikt is voor de implementatie in de N59 om laden tijdens het rijden mogelijk te maken. Op belangrijke aspecten als veiligheid, onderhoud en toekomstig gebruik scoort de inductielaad-variant uitstekend.

Het antwoord op de onderzoeksvraag luidt als volgt:

De meest geschikte manier om laden tijdens het rijden te integreren in het wegontwerp van de Energy Highway N59 is middels het implementeren van een inductielaadsysteem. Door het inductielaadsysteem toe te passen op een gesteld traject wordt het mogelijk om contactloos te laden gedurende dit traject. Het inductielaadsysteem wordt toegepast door prefab inductiemodules te verwerken in het midden van de rijstrook, onder de toplaag van het asfalt. Het is mogelijk om inductieladen te implementeren zonder grote consequenties voor het wegontwerp. Daarbij verandert het veiligheidsprofiel van de weg niet. Het implementeren van het inductielaadsysteem toont niet aan dat de N59 veiliger wordt, het inductielaadsysteem heeft hierop geen invloed. Daarvoor dient het wegontwerp van de Energy Highway N59 herontworpen te worden op veiligheid volgens de “normale afmetingen” beschreven in de normen en richtlijnen van het CROW. De veiligheid wordt verbeterd door toepassen van verbreding van de weg, grasbetontegels als bermverharder, ribbelstrepen als rijrichtingscheidingslijn en door het schrappen van de oversteekmogelijkheden tussen de parallelwegen.

7. Aanbevelingen

Vanwege de beperkte tijd die gehanteerd wordt voor dit afstudeeronderzoek zijn er onderwerpen die niet zijn onderzocht of globaal zijn beschouwd. Deze onderwerpen dienen onderzocht te worden om een volledig beeld te kunnen schetsen van de situatie en technologische ontwikkelingen. Onderstaand de aanbevelingen voor vervolgonderzoeken met betrekking tot het onderwerp laden tijdens het rijden geïntegreerd in het wegontwerp.

Exploitatie laadsysteem

- Er dient een draagvlak onderzoek verricht te worden om te bepalen of de implementatie van een dynamisch laadsysteem in de toekomst wordt ondersteund door de grote fabrikanten. Enkel met een brede ondersteuning kan het rendabel worden om dynamisch laden toe te passen in de infrastructuur;
- Om het laadsysteem te kunnen implementeren dient er onderzoek verricht te worden naar de stakeholders en uitbaters van het laadsysteem en de stroomtoevoer. Er dient bekend te zijn hoe de stroom wordt verrekend met de stroomafnemer en wie de stroom levert.

Technische aspecten laadsysteem

- Er dient onderzoek verricht te worden naar autonoom rijden in combinatie met dynamisch laden. Door het autonoom rijden kan de efficiëntie van de vermogensoverdracht worden vergroot doordat het voertuig preciezer kan worden gepositioneerd tijdens het rijden ten opzichte van het dynamisch laadsysteem;
- Omdat de techniek in ontwikkelingsfase is, wordt aanbevolen om de techniek verder door te ontwikkelen waardoor de techniek kan verbeteren en aantrekkelijker wordt voor implementatie;
- Voordat het ontwerp uitvoerbaar kan worden gemaakt dienen de kosten gedetailleerder uitgewerkt te worden. De kosten in dit onderzoek zijn gebaseerd op schattingen uit onderzoek van de TU Delft vanwege het gebrek aan feitelijke cijfers omdat de techniek zich nog in ontwikkelingsfase bevindt;
- Voordat het ontwerp uitvoerbaar is, dient er onderzoek verricht te worden naar de levensduur van het systeem.

Locatie N59

- Voor de implementatie van het laadsysteem in de N59 dient er locatieonderzoek gedaan te worden met de gestelde omstandigheden op gebied van efficiëntie. De aangenomen efficiëntie volgens onderzoek uit pilotprojecten omvat veelal gunstige omstandigheden.

Normen, richtlijnen en regelgeving

- Voordat het inductielaadsysteem in de praktijk mag worden toegepast, dient er onderzoek verricht te worden naar de veiligheids- en gezondheidsaspecten gerelateerd aan de invloed van de elektromagnetische velden;

- Alvorens tot implementatie over te gaan, dienen er normen en richtlijnen te worden opgesteld met betrekking tot veiligheid, implementatie in het wegontwerp en stroomafname.

Energievoorziening

- Om de Energy Highway N59 compleet te maken dient er verder onderzoek verricht te worden naar de herkomst van de stroom die verbruikt wordt door het dynamisch laadsysteem.

8. Literatuurlijst

- Agten, B. v. (2012, 4 26). *'Hoeveel energie verbruikt een elektrische auto?'*. Opgehaald van Zerauto.nl: <https://zerauto.nl/hoeveel-energie-verbruikt-een-elektrische-auto/>
- Ahmad, M. (2015, 1 18). *Wireless Charging: Magnetic Induction or Magnetic Resonance?* Opgehaald van semiwiki.com: <https://www.semiwiki.com/forum/content/4191-wireless-charging-magnetic-induction-magnetic-resonance.html>
- allesovermarktonderzoek.nl. (2017, 12 12). *Onderzoeksmethoden*. Opgehaald van allesovermarktonderzoek: <http://www.allesovermarktonderzoek.nl/onderzoeksmethoden-2/>
- Beeldens, A., Hauspie, P., Perik, H., & Boonen, E. (2017). *Inductief laden van elektrische voertuigen - Hoe het systeem te integreren in de weg*. Brussel: Belgisch Wegencongres.
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2017, 4 11). *A13 blijft drukste rijksweg*. Opgehaald van cbs.nl: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/15/a13-blijft-drukste-rijksweg>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2017, 4 11). *Verkeersintensiteit; rijkswegen*. Opgehaald van <http://statline.cbs.nl>: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=82855ned&D1=0&D2=36&D3=12,25,38,51,64,77&HDR=T,G2&STB=G1&CHARTTYPE=1&VW=T>
- Change Magazine. (2016, 7 1). *Wat kost het opladen van een elektrische auto?* Opgehaald van Changemagazine.nl: http://www.changemagazine.nl/klimaatkennis/mobiliteit_en_energie/wat-kost-het-opladen-van-een-elektrische-auto
- Chetvorno. (2014, 12 22). *Wireless power system - inductive coupling*. Opgehaald van Wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wireless_power_system_-_inductive_coupling.svg
- Connexxion. (2017, 9 18). *Dienstregeling*. Opgehaald van Connexxion: <https://www.connexxion.nl/dienstregeling>
- Connexxion. (2017, 10 31). *Dienstregeling*. Opgehaald van connexxion.nl: <https://www.connexxion.nl/dienstregeling>
- CROW. (2005). *Wegen buiten de bebouwde kom*. In CROW, *Richtlijn essentiële herkenbaarheidkenmerken van weginfrastructuur* (p. 40). Ede: CROW.
- CROW. (2017, 12 12). *Over CROW*. Opgehaald van CROW.nl: <https://www.crow.nl/over-crow>
- Dienst Beheer Infrastructuur. (2012). *Handboek Ontwerpcriteria Wegen*. Den Haag: Provincie Zuid-Holland.
- Efxkits. (2017, 9 11). *Microwave Power Transmission*. Opgehaald van efxkits.us: <https://www.efxkits.us/wireless-power-transmission-technology/>
- Elshout, W. (2017, 9 21). *ABB elektrisch rijden*. (J. Janse, Interviewer)
- Elways. (2016, 6 3). *Elways*. Opgehaald van elwayscharging.com: <http://elwayscharging.com/>

- Energieleveranciers.nl. (2017, 9 6). *Watt, kilowatt (kW) en kilowattuur (kWh)*. Opgehaald van Energieleveranciers.nl: <https://www.energieleveranciers.nl/energie/begrippen/watt-kilowatt>
- EV Database. (2017, 9 7). *Opladen van een elektrische auto*. Opgehaald van ev-database.nl: <https://ev-database.nl/informatie/opladen-elektrische-auto#laadvermogen>
- Groenhuijsen, H., & Rijpert, K. (2016). *De elektrische auto: a convenient truth*. Utrecht: Rabobank.
- Induction Generator*. (2017, 9 11). Opgehaald van alternative-energy-tutorials.com: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/wind-energy/induction-generator.html>
- Javadi, S., & Mohamedi, A. (2012). *A General Review of different methods for Wireless Power Transmission*. Central Tehran Branch: Islamic Azad University.
- KAIST. (2013, 8 7). *KAIST's wireless Online Electric Vehicle (OLEV) runs inner city roads*. Opgehaald van kaist.edu: KAIST's wireless Online Electric Vehicle (OLEV) runs inner city roads
- Kerkhof, M. v., & Sloten, R. v. (2014). *Nederland inductieland?!* Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Kline, M., Izyumin, I., Boser, B., & Sanders, S. (2010). *Capacitive Power Transfer for Contactless Charging*. Berkeley: University of California.
- LaserMotive, Inc. (2006). *LASER POWER BEAMING FACT SHEET*. Washington: LaserMotive, Inc.
- Li, W. (2009). *High efficiency wireless power transmission at low frequency using permanent magnet coupling*. VANCOUVER: University of British Columbia.
- M.Villierius. (2014). *Goeree-Overflakkee Verkeersongevallen*. Middelharnis: Gemeente Goeree-Overflakkee.
- M.Villierius. (2015). *Goeree-Overflakkee Verkeersongevallen*. Middelharnis: Gemeente Goeree-Overflakkee.
- Ma, Y. (2010, 10 22). *Wireless Energy Transfer*. Opgehaald van <http://large.stanford.edu>: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/ma1/>
- Macroplan. (2015, 5 6). *Rail system energy audit*. Opgehaald van macroplan.dk: http://macroplan.dk/?page_id=269
- McDonald, Z. (2017, 8 2). *When Can We Expect Wireless Charging For Electric Vehicles?* Opgehaald van Fleetcarma.com: <http://www.fleetcarma.com/when-can-we-expect-wireless-charging-for-electric-vehicles/>
- Mehrotra, R. (2014, 8 30). *Wireless Power Transfer, its Applications, and its limits*. Opgehaald van cse.wustl.edu: <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/power/index.html>
- Mi, C. (2015). *High Power Capacitive Power Transfer for Electric Vehicle Charging Applications*. San Diego: San Diego State University.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2017, 9 13). *Verkeersongevallen - Bestand geRegistreerde Ongevallen Nederland*. Opgehaald van Dataportaal van de Nederlandse

- overheid: <https://data.overheid.nl/data/dataset/verkeersongevallen-bestand-geregistreerde-ongevallen-nederland>
- NASA Ames Research Center. (2013). *Combining Laser Communications and Power Beaming for use on Planetary Probes*. Moffett Field: NASA Ames Research Center.
- Nederlandse Omroep Stichting. (2017, 4 11). *4749 auto's per uur of maar 409, niet overal is het druk*. Opgehaald van nos.nl: <https://nos.nl/artikel/2167691-4749-auto-s-per-uur-of-maar-409-niet-overal-is-het-druk.html>
- Olsson, O. (2013). *Slide-in Electric Road System*. Södertälje: Scania CV.
- Perik, H. (2013). *Feasibility study on inductive wireless vehicle charging*. Lommel: Flanders' Drive.
- Physicsclassroom. (2017, 9 11). *Electric Field Intensity*. Opgehaald van physicsclassroom.com: <http://www.physicsclassroom.com/class/estatics/Lesson-4/Electric-Field-Intensity>
- Pont, J. d. (2015, 5 12). *ongelukken staan hier*. Opgehaald van ongelukken.staanhier.nl/: <http://ongelukken.staanhier.nl/>
- PowerbyProxi. (2015, 9 16). *What's the big deal about resonant?* Opgehaald van powerbyproxi.com: <https://powerbyproxi.com/2015/09/whats-the-big-deal-about-resonant/>
- Powerbyproxi. (2017, 9 19). *WIRELESS POWER*. Opgehaald van powerbyproxi.com: <https://powerbyproxi.com/wireless-power/>
- provincie Zuid-Holland. (2016). *Energy Highway N59, Poort van Energieneutrale Delta*. Den Haag: Bureau Mediadiensten, provincie Zuid-Holland.
- Qiu, C., Chau, K., Liu, C., & Chan, C. (2013). *Overview of Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Charging*. Hong Kong: Department of Electrical and Electronic Engineering, The University of Hong Kong.
- Rozario, D. (2016). *Design of Contactless Capacitive Power Transfer Systems for Battery Charging Applications*. Ontario: UNIVERSITY OF ONTARIO INSTITUTE OF TECHNOLOGY.
- Siemens. (2017, 8 15). *eHighway. eHighway – Electrification of road freight transport*. Zweden/USA: Siemens.
- United Nations specialized agency for information and communication technologies. (2016). *Applications of wireless power transmission via radio frequency beam*. Geneva: ITU.
- Utah State University. (2015, 9 29). *Charge-as-You-Drive Could Ease Electric Vehicle Range Anxiety*. Opgehaald van <http://insights.globalspec.com>: <http://insights.globalspec.com/article/1527/charge-as-you-drive-could-ease-electric-vehicle-range-anxiety>
- van Glabbeek, N. (2011). *Succesvol studeren, communiceren en onderzoeken*. Amsterdam: Pearson Benelux B.V.
- VDL. (sd). *Citea SLF-120 Electric. Citea-SLF-121-Electric*. VDL Groep, Eindhoven.

- Vondeling, A., & Syrier, L. (2009). *Nederland gaat elektrisch rijden*. Essent New Energy en Enexis.
- Wegenwiki. (2016, 5 18). *Rijksweg*. Opgehaald van Wegenwiki: <https://www.wegenwiki.nl/Rijksweg>
- Wokke, A. (2014, 8 1). *Volgende versie Qi kan op 4,5 centimeter afstand apparaten opladen*. Opgehaald van tweakers.net: <https://tweakers.net/nieuws/97599/volgende-versie-qi-kan-op-4-komma-5-centimeter-afstand-apparaten-opladen.html>
- World Commission on Environment and Development Verenigde Naties. (1987). *Our Common future*. Oxford University Press.
- Yerkes Summer Institute. (2002). *Radio wave basics*. Chicago: Yerkes Summer Institute.

Bijlagen

Bijlage 1 - Mindmap

Bijlage 2 – Bus-karakteristieken

Bijlage 3 - Geregistreerde ongelukken 2012-2015 N59

Bijlage 4 – Geregistreerde ongevallen bij de provincies Zuid-Holland en Zeeland

Bijlage 5 – Uitwerking mogelijke technieken dynamisch laden

Bijlage 6 – Functionele en technische eisen

Bijlage 7 - Gevoeligheidsanalyse

Bijlage 8 - Dwarsprofiel en bovenaanzicht geïmplementeerd inductielaadsysteem

Bijlage 1 - Mindmap

Elektrisch opladen tijdens het rijden

<u>Huidige situatie</u>	<u>Dynamische laadsystemen</u>	<u>Wegontwerp</u>	<u>Normen, wetgeving en eisen</u>	<u>Toekomst</u>	<u>Bus-karakteristieken</u>
Traject	Capacitieve elektriciteit overdracht	Wegopbouw	Eurocodes	Toepassing ander verkeer	Dimensies
Type weg	Inductieve stroom-overdracht	Materiaalgebruik	Wegontwerp eisen	Toename gebruik	Gewicht
Verkeersintensiteit	Magnetische resonantie inductie	Implementeren systeem	Wetenschappelijke onderzoeken	Uitbereiding capaciteit	Actieuradius
Probleempunten	Lazer	Energie toevoer	Eisen stakeholders	Autonoom rijden	Oplaadtijd
Snelheid	microgolven	Schadebeelden	N-wegen		Route
Bus route	Radiogolven	Beheeraspecten			
Stakeholders	Mechanische stroom-overdracht	Kosten			
Huidige methode elektrisch laden	Conductief stroom-overdracht	Verkeersveiligheid			
	Voor- en nadelen	Invloed verkeersintensiteit			
	Overdrachtsafstand	Ruimtelijke kwaliteit			
	Laadvermogen				
	Efficiëntie				
	Wisselstroom				
	Gelijkstroom				

Bijlage 2 – Bus-karakteristieken

De elektrische bus, Citea SLF-120 Electric van VDL als maatgevend beschouwd. Deze bus beschikt over de volgende technische specificaties.

Bus specificaties	
Totale lengte:	12.000 mm
Totale breedte:	2.550 mm
Totale hoogte*:	3.290 mm
Wielbasis:	5.850 mm
Wielbasis 2e en 3e as:	6.750 mm
Vooroverbouw:	2.750 mm
Achteroverbouw:	3.400 mm
Stahoogte interieur (lage vloergedeelte):	2.416 mm
Draaicirkel:	21.176 mm
Ledig gewicht**:	ca. 12.715 kg
Max. technisch totaalgewicht***:	19.500 kg
Capaciteit (personen)**:	ca. 92

* Inclusief dakskirts, exclusief optionele pantograaf.

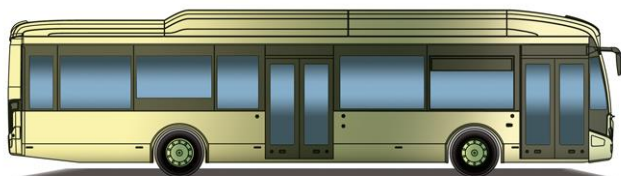
** Ledig gewicht en capaciteit zijn afhankelijk van het gekozen batterijpakket.

*** Volgens Europese wetgeving, nationale wetgeving kan afwijken.

Tabel 12: Bus specificaties Citea SLF-120 Electric

Motorspecificaties	
Motoren – elektro	Siemens 1DB2016
Max. vermogen nominaal	153 kW
Max. vermogen piek	
Max. koppel nominaal	1.500 Nm
Max. koppel piek	2.500 Nm

Tabel 13: Motorspecificaties Citea SLF-120 Electric



Citea SLF-120 Electric

Figuur 21: VDL Citea SLF-120 Electric (VDL)

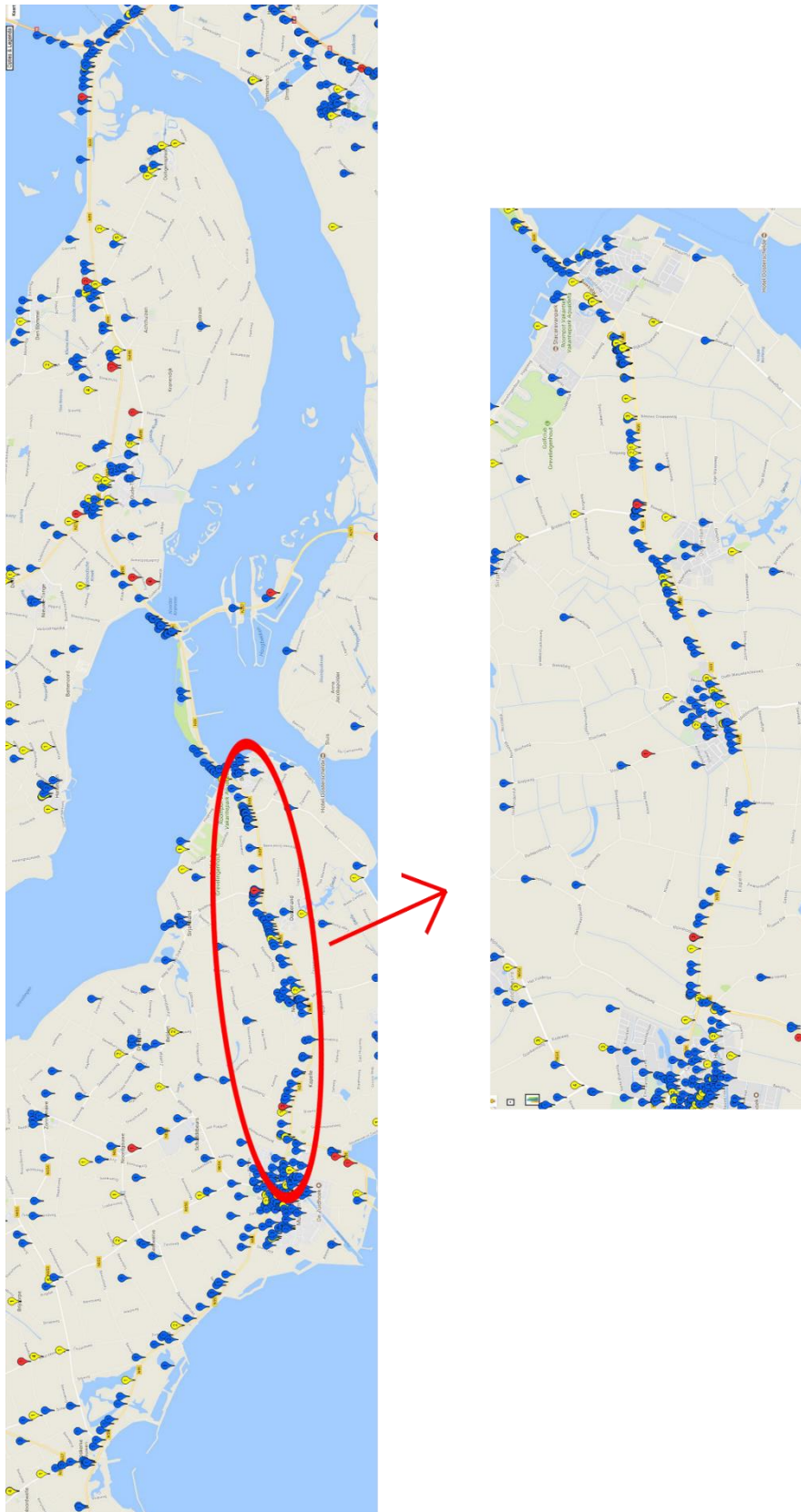
Batterijspecificaties

Batterij type	Lithium-ion
Batterij capaciteit	80 kWh
Batterij voltage nominaal	900 Volt
Batterij ampèrage nominaal	556 Ampère
Maximale laadvermogen	

Tabel 14: Batterijspecificaties Citea SLF-120 Electric

In dit onderzoek wordt als maatgevend beschouwd en uitgegaan van een verbruik van 1,1 kWh per km. (Elshout, 2017)

Bijlage 3 - Geregistreeerde ongelukken 2012-2015 N59



Figuur 22: Geregistreeerde ongelukken 2012-2015 N59 (Pont, 2015) (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2017)

Bijlage 4 – Geregistreerde ongevallen bij de provincies Zuid-Holland en Zeeland

Onderstaande bladzijden zijn secties uit de documenten (M.Villierius, Goeree-Overflakkee Verkeersongevallen, 2014) en (M.Villierius, Goeree-Overflakkee Verkeersongevallen, 2015) omtrent de geregistreerde ongevallen bij de Provincie Zuid-Holland en Zeeland.

N59

Eenzijdig ongeval N59 door gladheid

Den Bommel - Sneeuw en hagel zorgden donderdagavond 7 februari 2013 voor gevaarlijke situaties op de wegen op en rondom Goeree-Overflakkee. Door de plaatselijk optredende gladheid raakte rond 23:00 uur op de N59 de bestuurster van een personenwagen van de weg. Het ongeval gebeurde tussen tankstation De Tille en de verkeerslichten bij Den Bommel.

Voorbijgangers die het ongeval zagen gebeuren schoten te hulp en alarmeerden de hulpdiensten. Ambulancepersoneel heeft zich over het slachtoffer ontfermd.



Ongeval N59

Vrijdag 21 juni 2013. Ongeval op de N59 Hellegatsplein. Op invoegstrook vanaf Haringvlietbrug een auto op de kop gezien. Nader gegevens niet bekend.

Kop-staartbotsing nabij Oude-Tonge



Oude-Tonge - Op zaterdagmiddag 6 juli 2013 vond er op de N59 een ongeval plaats waarbij drie voertuigen waren betrokken. Het ongeval gebeurde omstreeks 17:25 uur vlakbij de verkeerslichten van Oude-Tonge.

Twee personen raakten gewond en moesten worden overgebracht naar het ziekenhuis in Dirksland. Het verkeer heeft nauwelijks hinder ondervonden van het incident.

Motorrijder frontaal tegen personenwagen

Ooltgensplaat - Zaterdagmiddag 20 juli 2013 heeft er op de parallelweg van de N59, de Bosweg, een ongeval plaatsgevonden. Een motorrijder is frontaal tegen een personenwagen gereden. Het ongeval gebeurde net na het tunneltje 'Ventjager' onder de A29. Ambulancepersoneel kwam ter plaatse. Ze hebben de motorrijder met onder andere een gebroken pols overgebracht naar het ziekenhuis in Roosendaal. Zowel de motor als de personenwagen moest worden weggetakeld.



Politiebericht

Rijksweg N59 - Zondag 21 juli 2013 omstreeks 17:45 uur vond er een kop-staart aanrijding plaats op de rijksweg N59. Bij de aanrijding waren 4 personenauto's betrokken. Een passagier werd met neklachten overgebracht naar een ziekenhuis in Rotterdam.

Verkeersongeval op N59

Ooltgensplaat - Vrijdagavond 2 augustus 2013 heeft er op de N59 een ongeval plaatsgevonden. Daar kwamen twee personenauto's met elkaar in aanraking. Hierbij botsten twee voertuigen achter op elkaar. Dit gebeurde bij de verkeerslichten nabij Den Bommel / Schaapsweg. Ambulancepersoneel heeft een persoon met borstklachten overgebracht naar het ziekenhuis.



Kettingbotsing N59



Oude-Tonge - Op woensdagmiddag 4 september net na 14:00 uur botsten vier auto's op elkaar. Dit gebeurde op de N59 nabij de kruising Oude-Tonge / Bruinisse. De voorste auto naderde de verkeerslichten en remde, de auto's erachter zagen dit echter te laat.

Er waren zodoende heel wat mensen bij betrokken, waaronder een ouder echtpaar wat onderzocht op nekletsel. De rest had minder last en kwam voornamelijk met de schrik vrij. De hulpdiensten waren snel ter plaatse, zo

kon het verkeer ook weer spoedig op gang komen. Wellicht een idee om op deze weg, waar al veel vaker ongevallen zijn gebeurd, een bord neer te zetten dat hiervoor waarschuwt?

Flinke kop-staartbotsing op N59 voor stoplichten Oude-Tonge

Oude-Tonge - Vrijdagmiddag 6 september 2013 heeft er zich rond 17:15 uur een kop- staartbotsing voorgedaan op de N59 ter hoogte van Oude-Tonge. Drie auto's, welke allen richting Zeeland reden, kwamen voor de stoplichten bij Oude-Tonge tegen elkaar aan. De bestuurder van de achterste auto is door ambulancepersoneel behandeld en naar het ziekenhuis gebracht. De andere inzittenden hadden geen grote verwondingen.



Slachtoffer omgekomen bij ernstig ongeval N59

Ooltgensplaat - Door een ernstig ongeval op de N59 - Hellegatsplein is de N59 urenlang in beide richtingen afgesloten geweest. Het dodelijk ongeval gebeurde vrijdagochtend 27 september 2013 omstreeks 9:15 uur.

Ooggetuigen zagen een personenwagen, rijdend vanaf de A29 richting Oude-Tonge, op de verkeerde weghelft komen. Daar reed een vrachtwagen.

De 51-jarige bestuurder (uit Zaandam) van de vrachtwagen probeerde op alle mogelijke manieren contact te maken met de 49-jarige bestuurder (uit Den Haag) van de auto maar zonder resultaat. Doordat de chauffeur de auto probeerde te ontwijken is de vrachtwagen omgeklapt en zo een stuk doorgeschoven. Maar ook dit was te vergeefs, de auto botste met volle snelheid tegen de vrachtwagen.



Omstanders hebben eerste hulp geboden en gereanimeerd totdat de hulpdiensten het overnamen. Desondanks is de bestuurder van de personenwagen helaas overleden. De vrachtwagenchauffeur is overgebracht naar het ziekenhuis in Dirksland. De parallelweg was tijdelijk ook afgesloten maar is inmiddels vrijgegeven.

Auto over de kop op N59

Oude-Tonge - Zondagmiddag 8 december 2013 heeft er op de rijksweg N59 omstreeks 16:30 uur een ongeval plaats gevonden. Nabij tankstation De Tille raakte een personenauto van de weg, reed een stuk over de vluchtheuvel en kwam op z'n kop tot stilstand. De hulpverlening werd gelijk groot ingezet, een ambulance en meerdere brandweer- en politie-eenheden kwamen ter plaatse.

Een slachtoffer is per ambulance overgebracht naar het ziekenhuis. Het verkeer kon ter plaatse om het ongeval heen worden geleid.



2.2 N59

Door onwelwording in de sloot beland

Oude-Tonge - Zaterdag 4 januari 2014 werden de hulpdiensten om 19:15 uur opgeroepen voor een auto te water aan de N59. Een personenwagen was over de linker rijstrook gereden, had een verkeersbord meegenomen en uiteindelijk een stuk vanaf de weg in een sloot beland. De bestuurder is waarschijnlijk onwel geworden en zodoende van de weg geraakt. Na even zoeken was de auto gevonden ter hoogte van tankstation de Tille en kon het slachtoffer uit het voertuig worden gehaald. De persoon is door de ambulancebroeders meegenomen naar het ziekenhuis.



Kop-staartbotsing bij Tankstation N59 Oude-Tonge



Oude-Tonge - Op vrijdagmiddag 10 januari 2014 botsten twee personenauto's op elkaar nabij Tankstation Tamoil op de N59 ter hoogte van Oude-Tonge. Door nog onbekende oorzaak reed de achteropkomende bestuurder op de voorganger. Beide auto's belandden op de middenberm, de bestuurders waren in staat zelf uit de auto te stappen. Er kwam een ambulance ter plaatse om de bestuurders te controleren en politie hield het overige wegverkeer in de gaten. Voor een echte opstopping heeft deze botsing niet gezorgd, de niet zwaar beschadigde auto's werden snel naar het nabijge tankstation gereden.

Getuigenoproep: bestelauto tegen verkeerslicht

Oude-Tonge - Op vrijdagmorgen 7 februari 2014 omstreeks 06:50 uur vond er een aanrijding plaats op de N59 nabij het tankstation 'De Tille'. Een bestuurder van een bestelauto kwam uit de richting Hellegatsplein en reed richting Oude-Tonge.

Nabij het tankstation verloor de bestuurder door nog onbekende oorzaak de controle over zijn voertuig. De man raakte de middenberm en klapte met de zijkant van de auto tegen een paal van de verkeerslichtinstallatie. De bestuurder raakte licht gewond aan zijn hoofd en is vervoerd naar het ziekenhuis in Dirksland. De schade aan de auto is fors, de man had het vermoeden dat hij aangereden was en daardoor van de rijbaan raakte. De TOD kwam ter plaatse



om dat te onderzoeken. De weg was daardoor langer afgesloten, Het verkeer richting Hellegatsplein werd omgeleid via de Magdalenadijk. Richting Oude-Tonge was de weg vrij.

Omdat niet duidelijk is of het ongeval eenzijdig is, of dat de rode bestelauto is aangetikt door een andere auto wil de politie graag in contact komen met getuigen die het ongeval hebben zien gebeuren. U kunt bellen 0900-8844 als u nadere informatie heeft.

Verkeershinder N59 door autobrand

Den Bommel - Het verkeer op de N59 heeft vrijdag 28 februari 2014 tussen 15:25 uur en 16:00 uur hinder ondervonden vanwege een autobrand. Een chauffeur reed met zijn autoambulance tussen Hellegatsplein en de Schaapsweg tot hij in zijn spiegels zag dat een van de auto's die hij vervoerde aan het roken was. Hij zette zijn wagen aan de kant en plaatste het rokende voertuig op de dijk naast de N59.



De gealarmeerde brandweer was snel ter plaatse en bluste de brand. Toen de klus geklaard was kon de auto weer op de autoambulance richting de sloop.

Motorrijder ten val op N59



Den Bommel - De ambulance en politie zijn zaterdagavond 5 april 2014 met spoed ter plaatse gevraagd voor een ongeval op de N59. Een motorrijder was ten val gekomen toen hij vanaf de A29 de N59 op reed. Gelukkig was het niet druk op dat moment en is het bij een eenzijdig ongeval gebleven.

Het slachtoffer is met lichte verwondingen overgebracht naar het ziekenhuis in Dirksland. Passerend verkeer had nagenoeg geen last van het ongeval omdat de motor op de invoegstrook lag.

Aanrijding N59 Hellegatsplein

Den Bommel - Op zondagmiddag 13 april 2014 ging het mis op de N59 bij het Hellegatsplein. Een bestuurder van een auto raakte nog door onbekende oorzaak de macht over het stuur kwijt en klapte op een lantaarnpaal die naast de weg stond. Er deed zich geen groot persoonlijk letsel voor, wel was de berger van half 13:00 tot 16:00 uur bezig het wrak weg te krijgen. Van de auto bleef niet veel over, deze was total-loss. Het was niet druk op de weg, het verkeer ondervond weinig hinder van het ongeval

Kettingbotsing op de N59 Hellegatsplein



Den Bommel - Op de N59 heeft zondagmiddag 20 april 2014 omstreeks 12:35 uur een kleine kettingbotsing plaatsgevonden. Twee ambulances en de traumaheli werden ter plaatse gevraagd. Tussen Hellegatsplein en de Schaapsweg moest een automobilist vaart minderen. Dit werd door de bestuurder van de achterliggende auto te laat opgemerkt waardoor een aanrijding ontstond. Ook de auto hierachter botste op zijn voorligger.

Twee personen zijn door ambulancepersoneel overgebracht naar het ziekenhuis in Dirksland. Doordat politiepersoneel het verkeer gecontroleerd kon laten passeren liep het verkeer aanvankelijk niet erg vast. Toen de ambulances echter de plaats van het ongeval moesten verlaten en de bergingswagens de voertuigen moesten weghalen ontstond er voor korte tijd een file waarbij verkeer richting het eiland vanaf de Volkerakbrug op de A29 vast stond.

Kettingbotsing op de N59 Hellegatsplein

Ooltgensplaat - Op donderdagmorgen 24 april rond 10:00 uur vond er een kop-staart aanrijding plaats met twee personenauto's op de N59 tussen de Schaapsweg en het Hellegatsplein. Door nog onbekende oorzaak reed de bestuurder van een zwarte SUV op een rode Ford KA met daarin een moeder en baby in maxicosie. Hulpdiensten waren snel ter plaatse. De baby werd onderzocht in de ambulance, maar mankeerde op het eerste oog wonderwel niets. Verdere onderzoeken vinden plaats. Door de aanrijding liep het verkeer een kleine vertraging op, men kon blijven rijden.



Kop-staartbotsing met vier auto's voor stoplichten kruising N59/N215

Oude-Tonge - Wie zaterdagochtend 7 juni 2014 via de N59 het eiland op wilde rijden vanaf de A29 kwam in een kilometers lange file te staan. Vanwege twee ongevallen stond het verkeer muurvast. Rond 9:00 uur heeft een kop-staartbotsing plaatsgevonden op de N59, even voor de stoplichten op de kruising tussen de N59 en de N215. Door de stoplichten moest de voorste auto flink remmen. De achterste auto zag dit te laat, waardoor een aantal auto's tegen elkaar aan werden geduwd. Een aantal personen zijn ter plaatse nagekeken door de ambulance. Er waren geen ernstige verwondingen. Door het ongeval stond er wat file op de N59.



Motor rijdt achterop auto N59



Den-Bommel - Eerst vond er omstreeks 09:00 uur een aanrijding plaats bij de verkeerslichten nabij Oude-Tonge. Drie kwartier later, rond 9:30 uur reed op de N59 een motor achterop een auto. De auto, die vanaf het Hellegatsplein richting de Schaapsweg reed, moest remmen. De motor kon vervolgens niet voorkomen dat hij achterop de auto reed. De motorrijder is hierbij gewond geraakt. Hij is per ambulance overgebracht naar het ziekenhuis. Door dit tweede ongeval deze morgen op de N59 was het zaterdagmorgen flink filerijden op de N59.

Eenzijdig ongeval op de N59

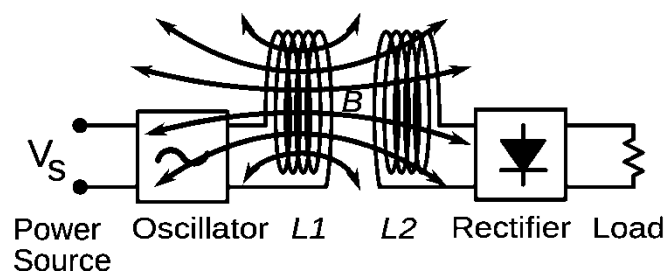
Achthuizen - Op de N59 is woensdagmiddag 09 juli 2014 rond het middaguur een personenauto van de weg geraakt. Het ongeval gebeurde ter hoogte van Achthuizen. De auto kwam in de berm terecht, sloeg over de kop en kwam vervolgens weer op vier wielen te staan. De bestuurder is er heelhuids vanaf gekomen maar is voor de zekerheid nog even nagekeken door ambulancepersoneel. Ook de auto heeft het avontuur goed overleefd, deze heeft wel enige deuken opgelopen maar hoeft niet als verloren te worden beschouwd.



Bijlage 5 – Uitwerking mogelijke technieken dynamisch laden

Inductieve stroom-overdracht

Stroomoverdracht door middel van inductie is een vorm van contactloos energie transport over een korte afstand. Het gaat hierbij om een afstand kleiner dan één golflengte. Omdat de efficiëntie van de stroomoverdracht drastisch afneemt naarmate de afstand groter wordt, ($1/r^3$), is het werkbereik beperkt tot enkele millimeters. (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)



Figuur 23: Schematische weergave inductieve stroom-overdracht (Chetvorno, 2014)

Onderzoek zoals verricht door (PowerbyProxi, 2015) toont de prestaties aan van inductieve stroom-overdracht en magnetische resonantie inductie (1.2.1.2). De onderzoeksresultaten zijn weergegeven in de tabel hieronder.

Table 1: Performance of Inductive and Resonant Wireless Charging Technology			
	Inductive (in market)		Resonant
Performance factors	Inductive Qi (V1.1)	PMA	Resonant Qi (DRAFT)
Fast charging speed (same as wired)	No	No	Yes
Multiple devices	No	No	Yes (Scalable, incl. multiple types)
Efficiency	Excellent	Very Good	Excellent (over 70% demonstrated)
Spatial Freedom (X/Y axis)	Limited	Poor	Excellent (any position & orientation)
Spatial Freedom (Z Height)	None	None	Very Good
Power Level	Limited ($<4W$)	Limited ($<4W$)	Yes (Up to 20W)
Human safety (RF exposure)	Excellent	Very Good	Excellent
Interference (within EMI/EMF limits?)	Compliant	Compliant	Compliant
Interoperable (with current Qi devices)	Yes	No	Yes

Figuur 24: Vergelijking inductie met resonante inductie (PowerbyProxi, 2015)

Energy-carrying medium	Technology		Power	Range	Efficiency	Comments
Electromagnetic field	Near field	Traditional IPT	High	Low	High	Range is too small for EV charging.

Tabel 15: Overzicht draadloos stroom overdracht elektrisch veld techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

Zoals te zien in de tabel scoort standaard inductie op meerdere punten te laag. Snel opladen, meerdere apparaten, ruimtelijke vrijheid (inclusief laadafstand) en vermogen presteren ondermaats, in vergelijking met resonantie inductie.

Dit onderzoek toont aan dat traditionele inductie, in vergelijking met resonantie inductie, minder presteert op het vlak van draadloos energie overdracht.

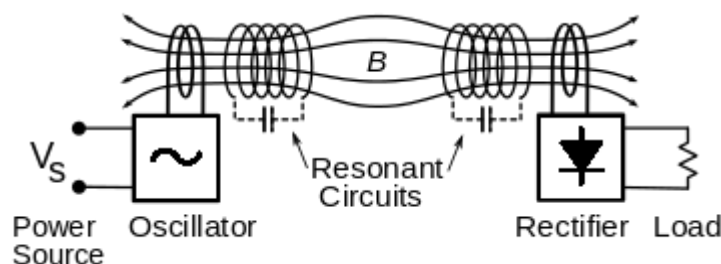
Dit komt overeen met het onderzoek van (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013) waarbij eveneens geconcludeerd wordt dat standaard inductie niet geschikt genoeg is voor dynamisch opladen van elektrische voertuigen.

(Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

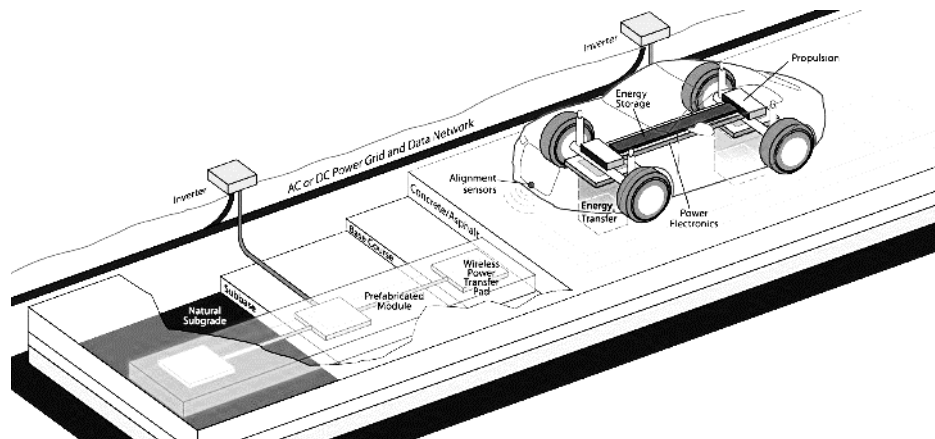
Conclusie: Standaard inductieve (zonder magnetische resonantie) stroom-overdracht is niet geschikt voor dynamisch laden van elektrische voertuigen. In dit onderzoek zal niet verder in worden gegaan op deze methode.

Magnetische resonantie inductie

Inductie op basis van magnetische resonantie is grotendeels hetzelfde als de werking van standaard inductie. Het verschil tussen inductie en magnetische resonantie is dat er bij magnetische resonantie gebruik wordt gemaakt van condensatoren. Deze condensatoren zorgen ervoor dat de spoel van zowel de verzendende kant als de ontvangende kant resoneren met dezelfde frequentie. Door het toevoegen van deze resonantie wordt de mogelijkheid van overdracht-afstand vergroot. (Wokke, 2014) (Ahmad, 2015)



Figuur 25: Schematische weergave magnetische resonantie inductie (Chetvorno, 2014)



Figuur 26: Globale weergave implementatie in wegontwerp magnetische resonantie inductie (Utah State University, 2015)

Energy-carrying medium	Technology		Power	Range	Efficiency	Comments
Electromagnetic field	Near field	Coupled Magnetic Resonance	High	Medium	High	Capable for EV charging

Tabel 16: Overzicht draadloos magnetisch resonantie inductie techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

Zoals weergegeven in de tabel in de vorige paragraaf inductieve stroom-overdracht (1.2.1.1) toont onderzoek van (PowerbyProxi, 2015) aan welke prestaties magnetische resonantie inductie kan leveren.

Dit komt overeen met het onderzoek van (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013) waarbij eveneens geconcludeerd wordt dat magnetische resonantie inductie geschikt is voor dynamisch opladen van elektrische voertuigen.

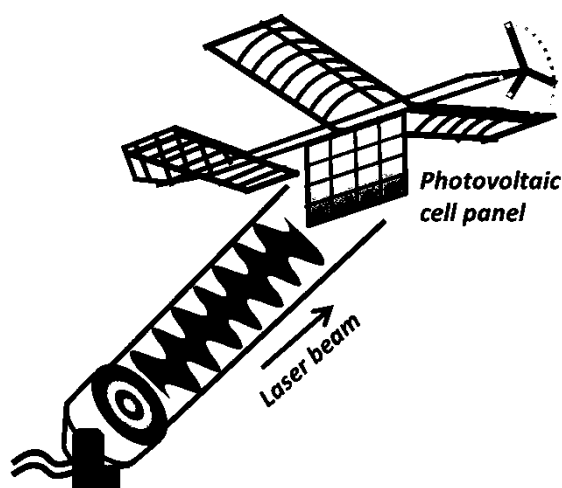
(Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

Conclusie: Magnetische resonantie inductie is geschikt voor dynamisch laden van elektrische voertuigen. Later dit onderzoek zal verder worden ingegaan op deze methode.

Lazer, microgolven

Energy-carrying medium	Technology		Power	Range	Efficiency	Comments
Electromagnetic field	Far field	Laser, Microwave,	High	High	High	Capable for wireless power transmission

Energie-overdracht met een lazer werkt door middel van een lazerstraal en een fotonvoltaïsche cel. Bij het verzenden van de energie wordt de energie omgezet in een krachtige licht-energie straal. Het ontvangen van de lazerstraal gebeurt door een fotonvoltaïsche cel. Een fotonvoltaïsche cel is vergelijkbaar met een zonnepaneel. De fotonvoltaïsche cel zet de lichtstraal om in energie. (LaserMotive, Inc., 2006)



Figuur 27: Schematische weergave lazerOngeldige bron opgegeven.

In verschillende onderzoek (NASA Ames Research Center, 2013) (Javadi & Mohamedi, 2012) wordt de werking van energie overdracht via een lazer aangetoond en onderbouwd. Naast veel positieve prestaties zoals vermogen, afstand en efficiëntie is er een negatieve factor die van groot belang kan zijn. Het gaat hierbij om de flexibiliteit van de lazerstraal ten opzichten van de ontvanger. De lazerstraal moet nauwkeurig gericht zijn en een vrij zicht hebben op de ontvanger.

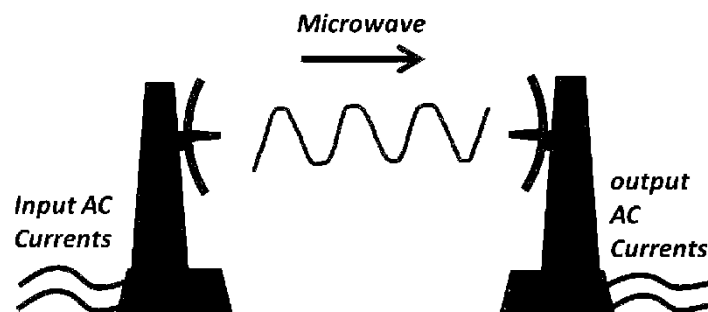
Dit komt overeen met het onderzoek van (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013) waarbij eveneens geconcludeerd word dat energie-overdracht door middel van een lazer een werkende methode blijkt maar minder geschikt is voor dynamisch opladen van elektrische voertuigen.

(Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

Microgolven zijn elektromagnetische golven met een golflengte van een meter tot een millimeter, frequentie van 300 MHz (1 m) en 300 GHz (1 mm). De golfsnelheid is gelijk aan de snelheid van het licht.

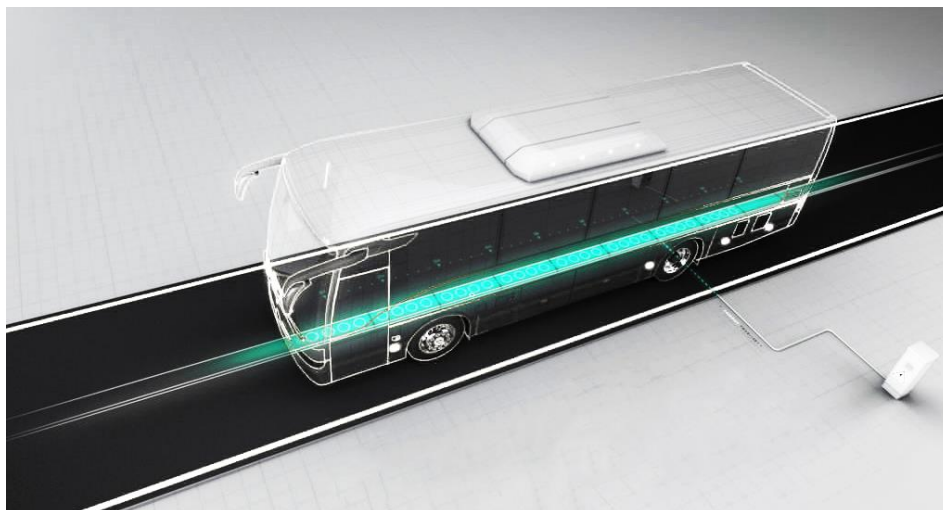
Aan de verzenderskant word elektrische energie toegevoerd waar door middel van een microgolfstroombron een microgolf-signaal word gegenereerd. Dit signaal wordt verzonden in microgolven door een golfgeleider adapter. De microgolven vervolgen hun weg door de lucht naar de ontvanger. Het ontvangst van de microgolven gebeurt door middel van een antenne. Door het ontvangen van de elektrische lading wordt er een wisselend magnetisch veld gecreëerd. Door een omvormer wordt dit wisselend magnetisch veld omgezet in elektrische energie. (Efxkits, 2017) (Yerkes Summer Institute, 2002)

Tabel 17: Overzicht draadloos lazer, microgolven techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

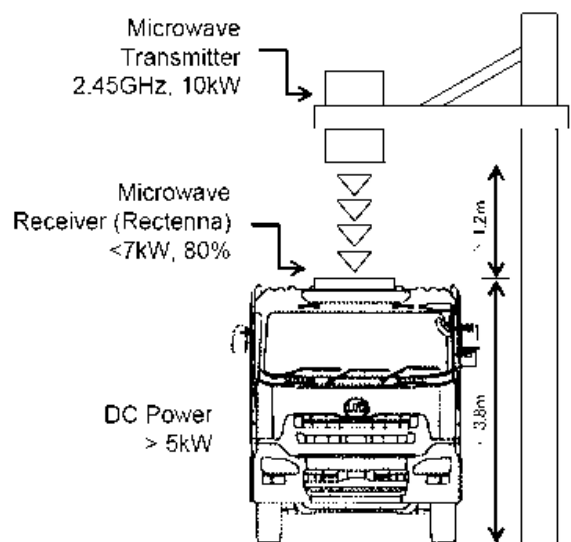


Figuur 28: Schematische weergave microgolven Ongeldige bron opgegeven.

Vergelijkbaar met in de vorige paragraaf besproken lazer, is energie-overdracht door middel van microgolven ook de beperkt door het vrije zicht en de precieze positionering tussen de zender en ontvanger (paragraaf 3.1.3, Lazer).



Figuur 29: Globale weergave implementatie in wegontwerp - lazer, microgolven



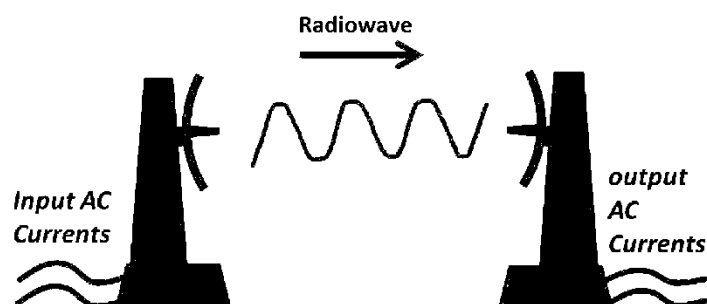
Figuur 30: Globale weergave implementatie in wegontwerp - microgolven (Mehrotra, 2014)

Conclusie: Gebruik van een lazer/microgolven is geschikt voor draadloos stroom-overdracht. De technieken zijn meermaals getest en nuttig bevonden door onder andere NASA. Echter, deze techniek heeft een groot nadeel, er dient sprake te zijn van vrij zicht tussen de verzender en ontvanger om de overdracht van energie tot stand te laten komen. Met deze reden komt deze techniek niet in aanmerking om verder beschouwt te worden in dit onderzoek.

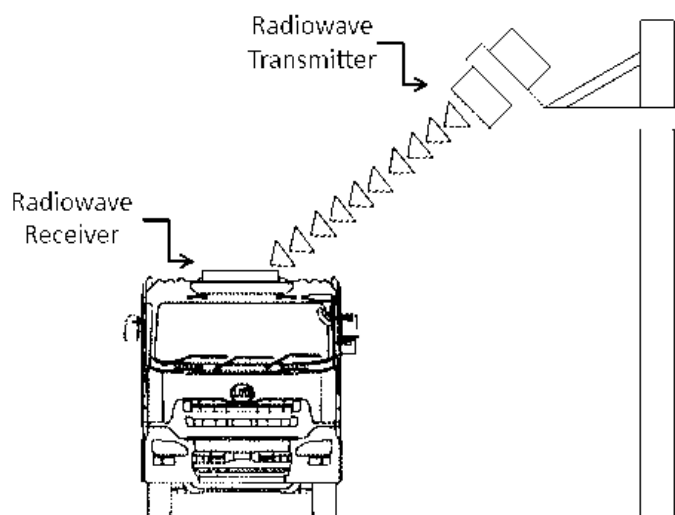
Radiogolven

Radiogolven zijn elektromagnetische golven met een golflengte van een millimeter tot honderd kilometer, frequentie van 300 GHz (1 mm) en 3 KHz (100 km). De golfsnelheid is gelijk aan de snelheid van het licht.

Aan de verzenderskant word elektrische energie toegevoerd waar door middel van een radiogolfstroombron een radiogolf-sigitaal word gegenereerd. Dit signaal wordt verzonden in radiogolven door een golfgeleider adapter. De radiogolven vervolgen hun weg door de lucht naar de ontvanger. Het ontvangst van de microgolven gebeurt door middel van een antenne. Door het ontvangen van de elektrische lading word er een wisselend magnetisch veld gecreëerd. Door een omvormer wordt dit wisselend magnetisch veld omgezet in elektrische energie. (Efxkits, 2017) (Yerkes Summer Institute, 2002)



Figuur 31: Schematische weergave radiogolven (Ma, 2010)



Figuur 32: Globale weergave implementatie in wegontwerp - radiogolven

Vergelijkbaar met de in de vorige twee paragrafen besproken laser en microgolven, is energieoverdracht door middel van radiogolven ook te beperkt door het vrije zicht en de precieze positionering tussen de zender en ontvanger (paragraaf 3.1.3, Lazer; paragraaf 3.1.4, microgolven). Daarnaast is de mogelijke efficiëntie van radiogolven zeer beperkt. Hierbij speelt niet zozeer de afstand tussen verzender en ontvanger een rol maar de oppervlakte die nodig is om een nuttige hoeveelheid energie op te kunnen vangen. Volgens onderzoeken beschreven in (United Nations specialized agency for information and communication technologies, 2016) is de oppervlakte waarmee een praktische hoeveelheid kW kan worden ontvangen, te groot voor dynamisch laden van elektrische voertuigen.

Energy-carrying medium	Technology		Power	Range	Efficiency	Comments
Electromagnetic field	Far field	Radio wave	High	High	Low	Efficiency is too low for EV charging.

Tabel 18: Overzicht draadloos radiogolven techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013) (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

Conclusie: Om boven genoemde redenen wordt energie-overdracht op basis van radiogolven in het vervolg van het onderzoek buiten beschouwing gelaten.

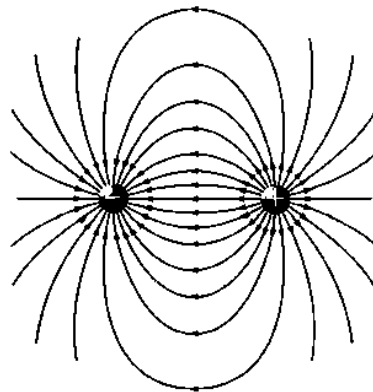
Elektrisch veld

Een elektrisch veld ontstaat door de aanwezigheid van niet-bewegende elektrische lading. Aanwezige elektrische lading oefent in alle gevallen een kracht uit op alle andere aanwezige ladingen in het universum. Naarmate de afstand groter wordt, nadert deze kracht tot nul. De kracht waarmee elektrische lading elkaar aantrekt kan worden berekend met de wet van Coulomb.

De wet van Coulomb luidt als volgt: $F_c = k * \frac{Q_1 * Q_2}{r^2}$ Waarbij F_c de kracht is die de elektrische ladingen op elkaar uitoefenen, Q_1 en Q_2 de beide ladingen zijn uitgedrukt in ampèreseconde en k de constante van Coulomb is.

Elektrisch veld sterkte = $\frac{\text{Kracht}}{\text{Lading}}$

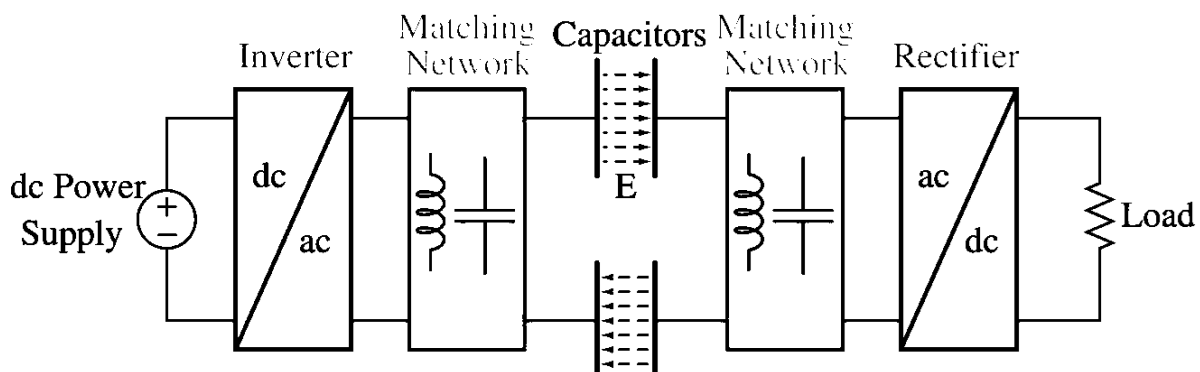
De overdracht van een elektrisch (positief) geladen veld vindt plaats wanneer er een negatief geladen veld in de veldlijnen van het positief geladen veld komt. Hierbij vindt overdracht van de positief geladen delen van positief naar negatief plaats. Hierbij wordt gebruik gemaakt van elektrische condensators. Elektrische condensators zijn fysieke objecten die de mogelijkheid hebben om energie op te slaan, dus positief/negatief geladen zijn. Via de condensators wordt de energie overgedragen. (Physicsclassroom, 2017)



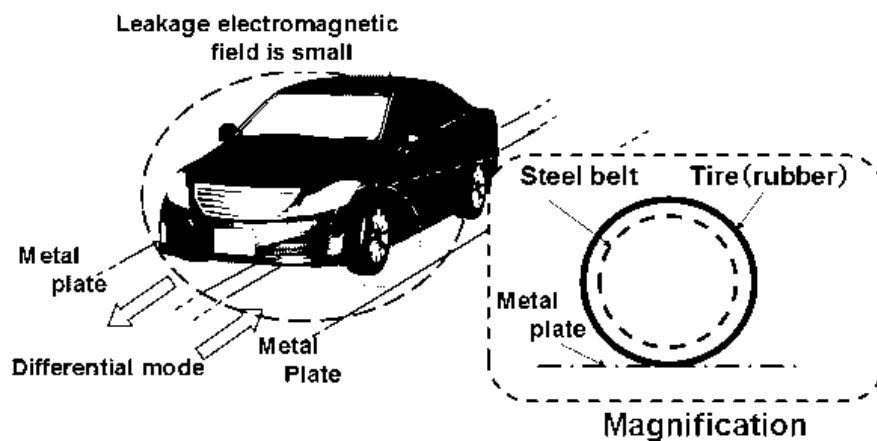
Figuur 33: Schematisch weergave werking elektrisch veld (Ma, 2010)

Capacitieve stroom-overdracht

Bij capacitieve stroom-overdracht is er sprake van stroomoverdracht door middel van een elektrisch veld. Als de elektrische condensatoren in elkaars veldlijnen komen, vindt de overdracht plaats van een positief naar negatief geladen positie. (Rozario, 2016)



Figuur 34: Schematische weergave capacitieve stroom-overdracht (Mi, 2015)



Figuur 35: Globale weergave implementatie in wegontwerp - Capacitieve stroom-overdracht

Meerdere studies (Kline, Izyumin, Boser, & Sanders, 2010); (Mi, 2015) tonen de werking aan van capacitieve stroom-overdracht. Tegelijkertijd wordt in de studies duidelijk dat de haalbare hoeveelheid energie en overdracht afstand te nihil zijn voor de toepassing in dynamisch laden van elektrische voertuigen.

(Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

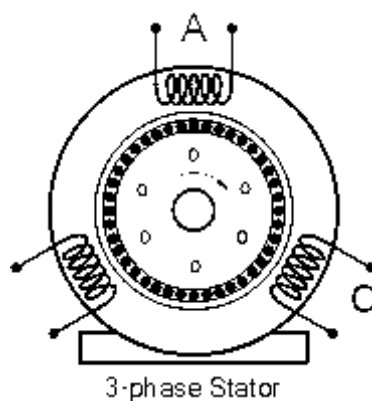
Energy-carrying medium	Technology	Power	Range	Efficiency	Comments
Electric field	Capacitive power transfer	Low	Low	High	Both power and range are too small for EV charging.

Tabel 19: Overzicht draadloos capacitieve stroom-overdracht techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

Conclusie: Door de kleine overdrachtsafstand en de lage hoeveelheid energie welke overgedragen kan worden is de methode van capacitieve stroom-overdracht niet geschikt voor de toepassing als dynamisch laden van elektrische voertuigen. Hierom wordt deze methode in het vervolg van het onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Mechanische kracht

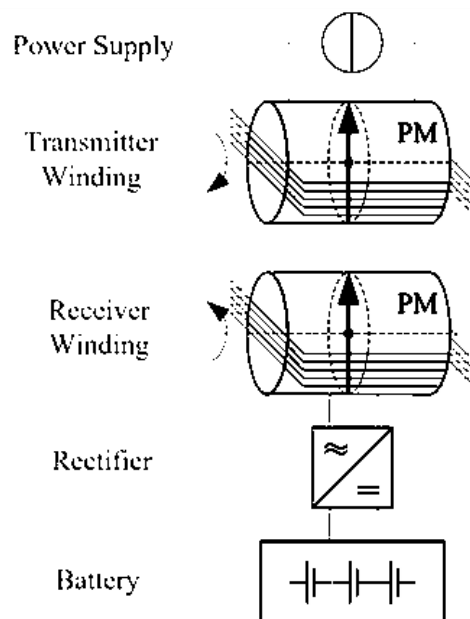
Deze techniek is vergelijkbaar met de werking van een windmolen. Echter, de magneten draaien naast of boven elkaar, in tegenstelling tot de windmolen, waarbij de magneten om dezelfde as draaien. Het principe van contactloos mechanische kracht-overdracht is omgekeerde inductie, wat gebaseerd is op een generator. (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)



Figuur 36: Schematische weergave mechanische kracht generator (Induction Generator, 2017)

Mechanische stroom-overdracht

Om de elektriciteit over te kunnen brengen moeten de magneten van zowel de stroomvoorziening als de ontvanger met dezelfde snelheid draaien. De draaiende magneet bij de verzender veroorzaakt een draaimoment bij de ontvangende magneet. Hierdoor zal deze magneet met dezelfde snelheid gaan draaien. De ontvangende draaiende magneet werkt als een generator waarbij stroom wordt opgewekt door omgekeerde inductie. (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)



Figuur 37: Schematische weergave mechanische stroom-overdracht (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

Onderzoeken (Li, 2009); (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013) onderbouwen de techniek van mechanische stroom-overdracht. Volgens deze onderzoeken is het realistisch om genoeg energie over te brengen om toegepast te worden bij het dynamisch laden van elektrische voertuigen. Echter, deze techniek maakt gebruik van draaiende delen wat het systeem kwetsbaar maakt.

(Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

Energy-carrying medium	Technology	Power	Range	Efficiency	Comments
Mechanical force	Magnetic gear	High	Medium	High	Capable for EV charging

Tabel 20: Overzicht draadloos mechanische stroom-overdracht techniek (Qiu, Chau, Liu, & Chan, 2013)

Conclusie: Mechanische stroom-overdracht is geschikt voor dynamisch laden van elektrische voertuigen maar zal in dit onderzoek niet verder worden beschouwd omdat de potentie van deze techniek als draadloos dynamisch laden niet genoeg is.

Conductief stroom-overdracht

Conductie is een ander woord voor elektrisch geleidbaarheid. Bij deze vorm van stroomoverdracht wordt door middel van contact stroom overgebracht. Een beweegbaar deel maakt contact met een vast onderdeel waar stroom van wordt afgenomen. Deze methode wordt al langer gebruikt voor dynamische stroom-overdracht bij onder andere treinen, trams en bussen.

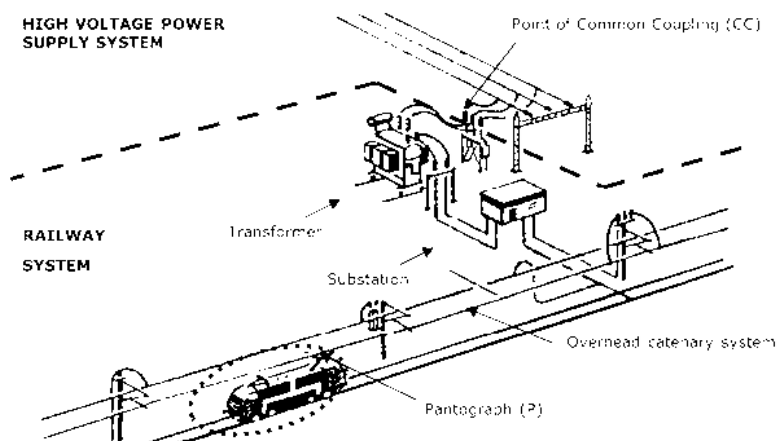
Er zijn twee hoofdvormen van conductieve stroom-overdracht, door middel van een pantograaf met een bovenleiding, door middel van een sleepbeugel en een spoor in de weg.

Energy-carrying medium	Technology	Power	Range	Efficiency	Comments
Conductive contact	Conductive power transfer	High	Medium	High	Capable for EV charging

Tabel 21: Overzicht draadloos conductief stroom-overdracht techniek (Siemens, 2017)

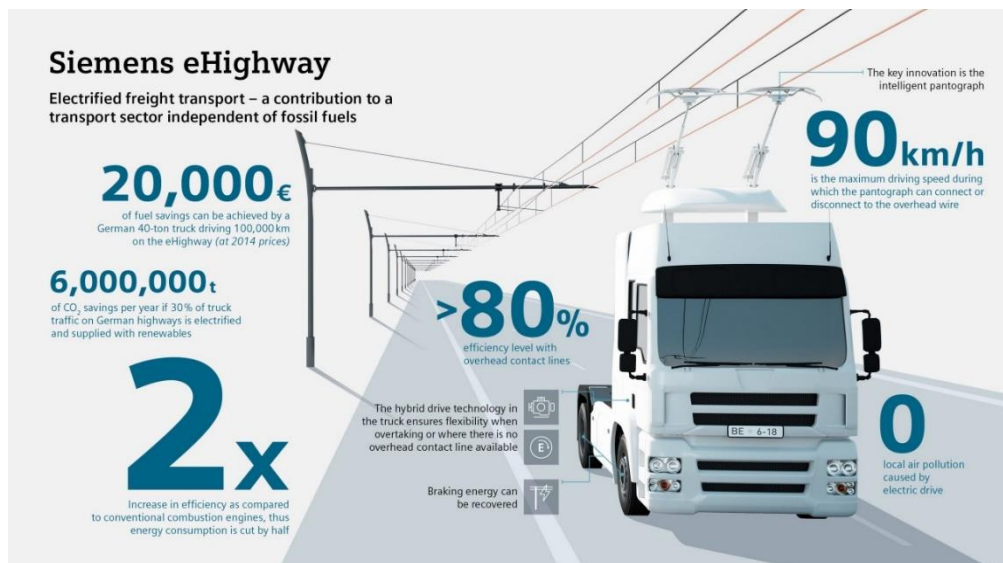
Pantograaf met bovenleiding

Een pantograaf is een stroomafnemer welke er voor zorgt dat tijdens het rijden contact wordt gemaakt en gehouden met een bovenleiding. De bovenleiding is een stroomleiding boven de weg welke continue wordt voorzien van stroom. Door contact te maken via de pantograaf met de bovenleiding transporteert de stroom van de verzender naar de ontvanger.



Figuur 38: Schematische weergave conductief stroom-overdracht door middel van een pantograaf en bovenleiding (Macroplan, 2015)

Verschillende onderzoeken en praktijktesten van (Siemens, 2017) tonen de werking aan van conductief stroom-overdracht door middel van een pantograaf met bovenleiding bij elektrische voertuigen. De onderstaande afbeelding is een infograph van (Siemens, 2017) waarin de resultaten van hun onderzoek en praktijktesten worden weergegeven.



Figuur 39: Siemens eHighway infographic (Siemens, 2017)

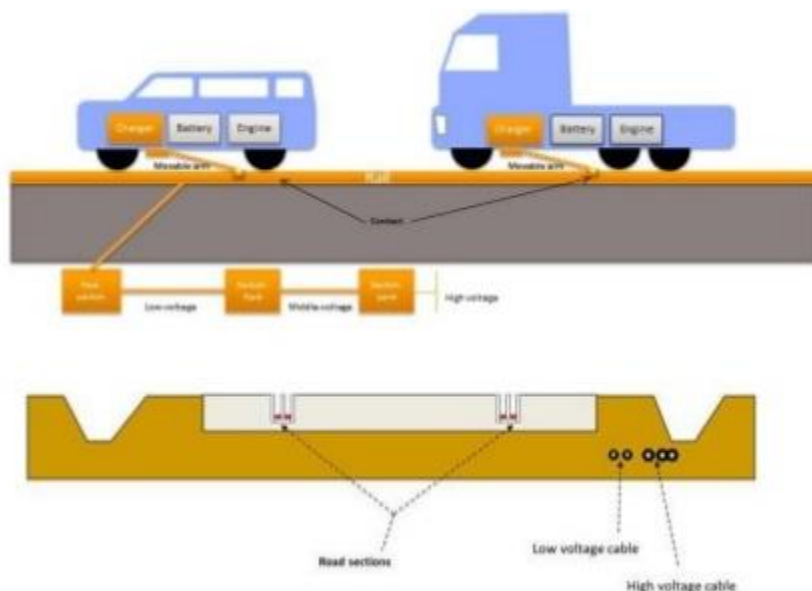
Sleepbeugel met leidingspoor in de weg

Een Sleepbeugel is een stroomafnemer die ervoor zorgt dat tijdens het rijden contact wordt gemaakt en gehouden met een leidingspoor in de weg. De leidingspoor is een stroomleiding verwerkt in de weg welke continue wordt voorzien van stroom. Door contact te maken via de sleepbeugel met de leidingspoor transporteert de stroom van de verzender naar de ontvanger.



Figuur 40: Bus met sleepconductie (Elways, 2016)

Verschillende onderzoeken en praktijktesten van (Elways, 2016) tonen de werking aan van conductief stroom-overdracht door middel van een sleepbeugel met leidingspoor bij elektrische voertuigen. De onderstaande afbeelding is een infograph van (Siemens, 2017) waarin de resultaten van hun onderzoek en praktijktesten worden weergegeven.



Figuur 41: Werking sleepconductie (Elways, 2016)

Conclusie: Conductief stroom-overdracht is geschikt voor dynamisch laden van elektrische voertuigen. Een bovenleiding is voor dit onderzoek meer geschikt dan een leidingspoor omdat de mate van contactverstoring hierbij minder beïnvloed wordt door ander verkeer, troep ect. Door de betere toepassingsmogelijkheden van een pantograaf met bovenleiding, ten opzichte van een sleepbeugel met leidingspoor, wordt deze toepassing gekozen. Later dit onderzoek zal verder worden ingegaan op de methode pantograaf met bovenleiding.

Bijlage 6 – Functionele en technische eisen

Functionele eisen

De onderstaande onderdelen worden beschouwd in het onderzoek en hierbij worden functionele eisen opgesteld:

- Herinrichting van de N59 ten behoeve van de veiligheid van de weg;
- Een laadsysteem geïntegreerd in het herziene wegontwerp van de N59, welke het laden tijdens het rijden mogelijk maakt.

Functionele eisen wegsysteem

- De N59 dient gedimensioneerd te zijn als een N-weg;
- Het wegsysteem dient een continue doorstroming van wegverkeer mogelijk te maken;
- Het wegsysteem dient het kruisen van wegverkeer mogelijk te maken;
- Aansluitingen op bestaande wegen binnen het wegsysteem dienen functioneel en fysiek aan te sluiten op de omgeving;
- Het wegsysteem dient het verkeer veilig en comfortabel af te wikkelen van en naar het aansluitende en het onderliggende wegennet;
- Het wegsysteem dient ingepast te zijn in de omgeving;
- Bermen dienen verkeersgeleidend te zijn en in noodgevallen als uitwijkplaats te functioneren;
- Het wegsysteem dient, behoudens regulier onderhoud, beschikbaar te zijn;
- Het wegsysteem dient binnen het Profiel van Vrije Ruimte geheel vrij te zijn van obstakels en verstorende elementen;
- Het wegsysteem dient toegankelijk te zijn voor alle op de openbare weg zonder speciale vergunning toegelaten voertuigen;
- Het wegsysteem dient negatieve effecten op de omgeving, gedurende de levensduur, zo veel mogelijk te beperken;
- Het wegsysteem dient onderhoudsarm ontworpen te worden, waarbij de materiaalkeuze gebaseerd is op geen tot minimaal onderhoud gedurende de ontwerplevensduur;
- Het wegsysteem dient de rechtmatige weggebruikers te isoleren van ongewenste gebruikers of ontmoetingen;
- Klimatologische omstandigheden dienen de veiligheid minimaal te beïnvloeden;

- Het wegsysteem dient de verkeersveiligheid te verbeteren conform de principes van Duurzaam Veilig Verkeer (DVV);
- Het wegsysteem dient een eenduidig en uniform wegbeeld te hebben;
- Het wegsysteem dient ontworpen te worden conform de voorschriften en richtlijnen vermeld in hoofdstuk 5;
- Het wegsysteem dient zodanig geconstrueerd te worden dat de objecten ten minste gedurende de gestelde technische levensduur de gevraagde functies kunnen vervullen;
- Alle toegepaste materialen mogen bij verwerking en na verwerking geen verontreiniging in de bodem veroorzaken;
- De wegen dienen het verkeer veilig en comfortabel af te wikkelen;
- De markering dient gerealiseerd te worden conform CROW publicatie 207.

Functionele eisen dynamisch laadsysteem

- Er dient, door middel van een laadsysteem, elektriciteit overgedragen te kunnen worden van een elektriciteitsbron naar een rijdende elektrische bus;
- Er dient al rijdend contact gemaakt te kunnen worden met het laadsysteem (fysiek dan wel niet-fysiek);
- Het laadsysteem dient visueel en fysiek geïntegreerd zijn in zijn directe omgeving;
- Het laadsysteem dient zodanig geconstrueerd te worden dat de objecten ten minste gedurende de gestelde technische levensduur de gevraagde functies kunnen vervullen;
- Het laadsysteem dient onderhouden te kunnen worden op een zo efficiënt mogelijke manier;
- Het laadsysteem dient een continue doorstroming van wegverkeer mogelijk te maken;
- Het laadsysteem dient het kruisen van wegverkeer mogelijk te maken;
- Het laadsysteem dient betrouwbaar te zijn;
- Het laadsysteem dient onderhoudsarm ontworpen te worden, waarbij de materiaalkeuze gebaseerd is op geen tot minimaal onderhoud gedurende de ontwerplevensduur;
- Het laadsysteem dient de verkeersveiligheid op en rondom de weg niet in gevaar te brengen;
- Het laadsysteem geïntegreerd in het wegontwerp dient bestand te zijn tegen de toepassing van strooimiddelen (NaCl-oplossing) ten gevolge van de gladheidsbestrijding door de wegbeheerder;

Technische eisen

De onderstaande onderdelen worden beschouwd in het onderzoek en hierbij worden technische eisen opgesteld:

- Herinrichting van de N59 ten behoeve van de veiligheid van de weg;
 - De N59 blijft op de huidige locatie gelegen. Het herontwerp richt zich op het herontwerpen van het dwarsprofiel volgens de normen en richtlijnen. Hierdoor worden de technische eisen toegespitst op het dwarsprofiel.
- Een laadsysteem geïntegreerd in het herziene wegontwerp van de N59, welke het laden tijdens het rijden mogelijk maakt.
 - De technische eisen voor het dynamisch laadsysteem worden globaal bepaalt. Op dit moment is het dynamisch laden in opstartfase waardoor er nog geen normen en richtlijnen voor zijn. Om toch enkele eisen op te stellen worden eisen opgesteld naar eigen inschatting aan de hand van de pilotprojecten vermeld in Appendix 1.

Technische eisen wegontwerp

- Het wegontwerp dient te voldoen aan alle relevante normen, richtlijnen en documenten van toepassing op dit werk. Deze zijn opgenomen in hoofdstuk 5 “Voorschriften en richtlijnen”, rekening houdend met een ontwerpsnelheid van 80 km/h;;
- De verharding dient te bestaan uit gestandaardiseerde lagenopbouw van Rijkswaterstaat (met uitzondering ten platse van de eventuele geïmplementeerde inductielussen) :
 - Toplaag: SMA-NL 11B
 - Tussenlaag: AC 16 bind TL-C
 - Onderlaag: AC 32 base OL-C
- De weg bestaat uit 2x1 rijstroken;
- De rijstroken hebben een breedte minimale breedte van 2,75 meter;
- Voor de scheiding van weghelften wordt een kantmarkering met een breedte van 0,15 m toegepast;
- Voor de kantstreep wordt een onderbroken kantmarkering 3-3 met een breedte van 0,15 m toegepast.
- Beide rijstroken zijn aan de rechterkant voorzien van een verharde berm van minimaal 0,3 m.
- Aan weerszijde van het wegsysteem dient een obstakelvrije zones van minimaal 6,00 m aanwezig te zijn.
- De wegverharding heeft een minimale technische levensduur van 30 jaar;
- De toplaag heeft een minimale technische levensduur van 12 jaar;
- De markering heeft een minimale technische levensduur van 5 jaar;

Technische eisen dynamisch laadsysteem

- Het laadsysteem dient een minimale overdrachtsefficiëntie te behalen van 90%;
- Het laadsysteem dient een minimaal vermogen te kunnen leveren van 100 kW;
- Het dynamisch laadsysteem heeft minimaal een gelijke levensduur als die van de wegverharding welke 30 jaar omvat.

De technische eisen aan het dynamisch laadsysteem zijn opgesteld aan de hand van de functionele eisen. In tegenstelling tot de technische eisen van het wegontwerp kunnen er voor het dynamisch laadsysteem geen normen en richtlijnen worden gehanteerd omdat er geen zijn. De hoofdreden voor het ontbreken van normen en richtlijnen is dat de ontwikkelingen op dit gebied nog in beginstadium van ontwikkeling zijn.

Aan de hand van de functionele eisen en de bekende essentiële gegevens welke zijn opgenomen in het theoretisch kader, wordt getracht een degelijk technisch dynamisch laadsysteem te ontwerpen.

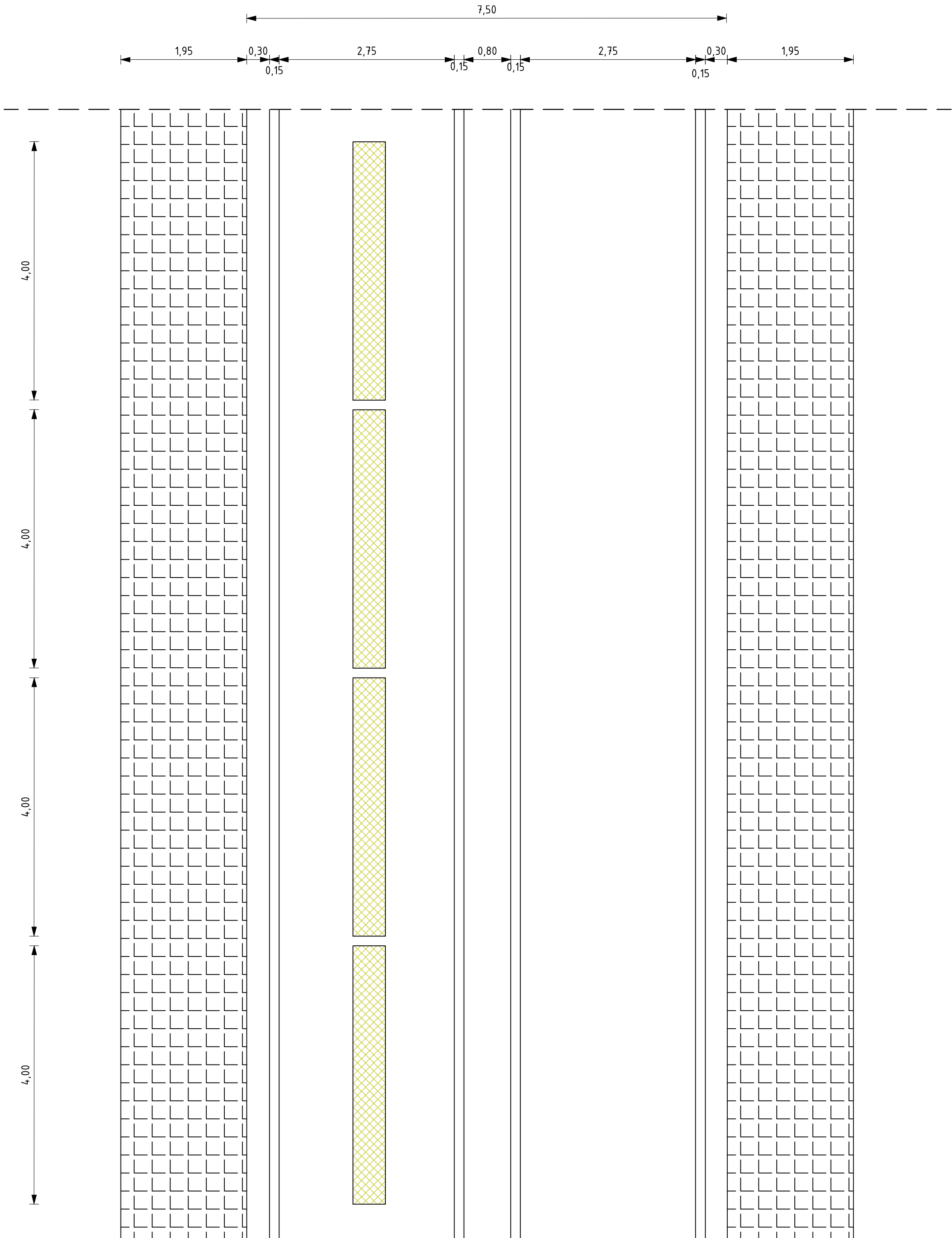
Bijlage 7 - Gevoeligheidsanalyse

Gevoeligheidsanalyse

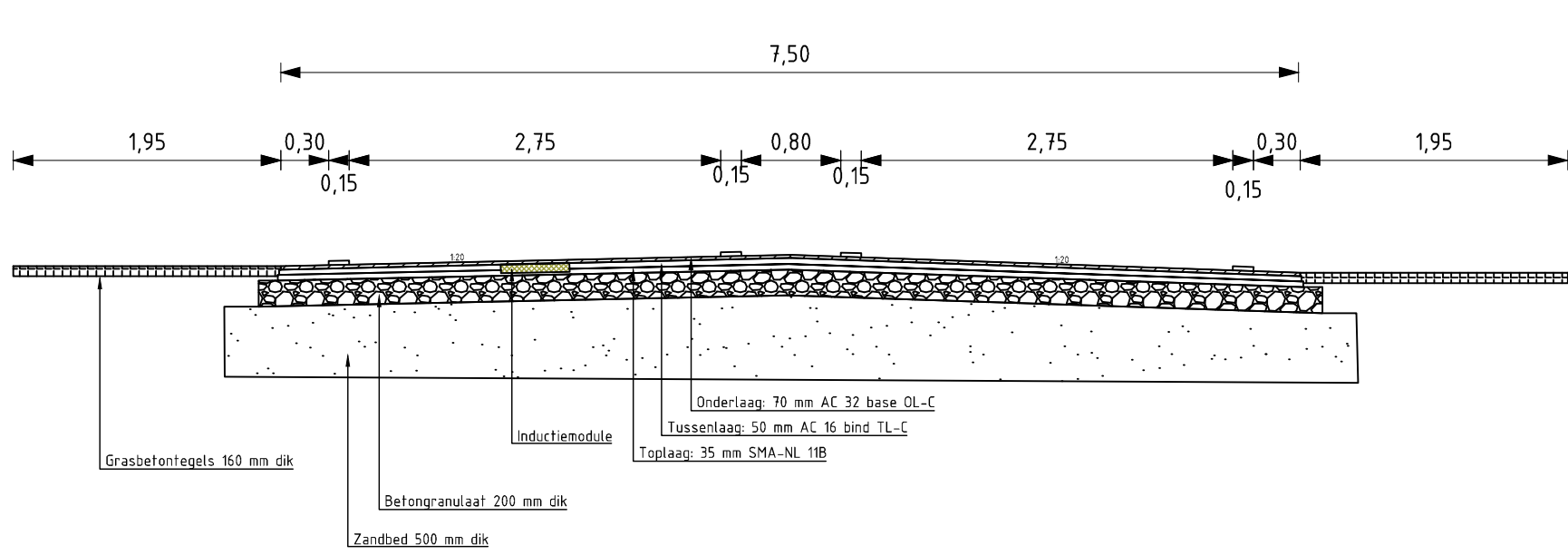
				Score toekenning (0-10)		Waarde berekening	
Criteria nummer	Criteria	Score-range	Weging	Pantograafladen	Inductieladen	Pantograafladen	Inductieladen
Criteria 1	<u>Ontwerp</u>		47%				
Subcriteria 1.1	Vermogen	0-10	13%	6	6	0,78	0,78
Subcriteria 1.2	Efficiëntie	0-10	14%	7	0	0,98	0,00
Subcriteria 1.3	Gebruik	0-10	3%	10	10	0,30	0,30
Subcriteria 1.4	Veiligheid	0-10	17%	7	10	1,19	1,70
Criteria 2	<u>Uitvoering</u>		21%				
Subcriteria 2.1	Impact op wegontwerp	0-10	17%	4	8	0,68	1,36
Subcriteria 2.2	Kosten	0-10	4%	7,8	4	0,31	0,16
Criteria 3	<u>Onderhoud</u>		17%				
Subcriteria 3.1	Beheer en onderhoud	0-10	11%	6	8	0,66	0,88
Subcriteria 3.2	Levensduur	0-10	6%	9	5	0,54	0,30
Criteria 4	<u>Toekomst</u>		15%				
Subcriteria 4.1	Technologische ontwikkelingen	0-10	5%	3	3	0,15	0,15
Subcriteria 4.2	Toekomstig gebruik	0-10	10%	3	3	0,30	0,30
						5,89	5,93

Bijlage 8 - Dwarsprofiel en bovenaanzicht geïmplementeerd inductielaadsysteem

Bovenaanzicht N59 met geïntegreerd inductielaadsysteem (schaal 1:50)



Dwarsprofiel N59 met geïntegreerd inductielaadsysteem (schaal 1:50)



Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Materialen in millimeters
Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.

Opdrachtgever

Sweco

Project

Geïntegreerd laden tijdens het rijden in wegontwerp Energy Highway N59

Onderdeel

Dwarsprofiel en bovenaanzicht geïmplementeerd inductielaadsysteem

Projectnummer			Tekeningnummer			Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase		Contractnummer		
			Wegontwerp N59-Inductieladen				20-12-2017					
Blad	Van	Schaal		Formaat		Kantoor		Get.	Gez.	Acc.		
A2	1	1:50		A2-L (ISO)		MIDDELBURG		JJ				

www.sweco.nl

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO