

HSL Zuid

Inventarisatie aanvullende geluidsmaatregelen

voor ProRail

7 januari 2011



Referentie: III/NvS/3130/03-404732
Versie: 2.0

© 2011 Lloyd's Register Rail Europe B.V. Alle rechten voorbehouden.



Lloyd's
Register

Documentgeschiedenis en Autorisatie

Versie	Datum	Wijzigingen
0_1	8 oktober 2010	Eerste concept
1.0	3 december 2010	Tweede concept
2.0	7 januari 2011	Definitief

Opgesteld door: Ard Kuijpers (M+P), Bart Langeloo (LRRE) & Niels van Steenis (LRRE)

Getekend: Datum: 7 januari 2011

Collegiaal getoetst door: Bart Langeloo (LRRE)

Getekend: Datum: 7 januari 2011

Vrijgegeven door: Sander Wilson (LRRE)

Getekend: Datum: 7 januari 2011

Colofon

Lloyd's Register Rail Europe B.V.

Postadres: Postbus 2016, 3500 GA Utrecht

Bezoekadres: Radboudtoren, Catharijnesingel 33, 3511 GC Utrecht

T 030 7524 700

F 030 7524 800

E europe@lrrail.com

I www.lrrail.com

Lloyd's Register Rail Europe B.V. is onderdeel van de Lloyd's Register Groep.

M+P - raadgevende ingenieurs

Postadres: Postbus 2094, 5260 CB, Vught

Bezoekadres: Wolfskamerweg 47, 5262 ES, Vught

T 073 658 9050

F 073 658 9051

E vught@mp.nl

I www.mp.nl

M+P – raadgevende ingenieurs is onderdeel van de Müller-BBM groep

© 2011 Lloyd's Register Rail Europe B.V. All rights reserved.

Lloyd's Register, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as the 'Lloyd's Register Group'. The Lloyd's Register Group assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register Group entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

Samenvatting

De start van het gebruik van de HSL is gepaard gegaan met aanzienlijke aandacht voor de langs de baan ervaren geluidsoverlast. Om deze geluidsoverlast te beperken is er bij de bouw van de HSL geïnvesteerd in diverse geluidsmaatregelen zoals geluidschermen en lokale verdiepte liggingen met geluidabsorberende wanden. Tevens is de verwachte toename van de geluidemissie vanwege de toepassing van ballastloos Rheda-spoor gecompenseerd met een “akoestisch slijpprogramma”.

Op dit moment vergelijkt TNO op initiatief van het Ministerie van I&M en in opdracht van ProRail de feitelijke geluidemissie, het effect van de genomen maatregelen en de resulterende geluidsniveaus op woningen met de resultaten van de oorspronkelijke berekeningen uit de akoestische onderzoeken die aan het Tracébesluit ten grondslag liggen. De volledige resultaten van dit onderzoek zijn nog niet bekend. Vooruitlopend op de resultaten van dit onderzoek en vooruitlopend op eventuele gewenste toekomstige capaciteitsuitbreidingen heeft ProRail, wederom op initiatief van het Ministerie van I&M, aan Lloyd's Register de vraag gesteld om een quick-scan uit te voeren naar de mogelijke infrastructurele geluidsmaatregelen die, uitgaande van de HSL zoals deze gebouwd is, nog mogelijk zijn om te nemen.

In deze quick-scan is aan Lloyd's Register gevraagd van de mogelijke aanvullende infrastructurele maatregelen de kosten, de potentiële geluidreductie, de technische haalbaarheid en de invloed op exploitatie en onderhoud van Infrasppeed te onderzoeken. Ten grondslag aan deze quick-scan ligt een bureaustudie van TNO naar de mogelijke geluidkneelpunten langs de baan (zie referentie [10]).

Een belangrijk uitgangspunt is dat het rolgeluid en het aerodynamische geluid van vergelijkbare grootte zijn (in overeenstemming met de kentallen van categorie 9 uit het Reken- en Meetvoorschrift). De grootte en hoogte van de verschillende bronnen op de trein beïnvloeden de keuze van de meest geschikte aanvullende infrastructurele maatregel sterk. Om deze reden is het belangrijk om dit uitgangspunt te controleren. Bij het uitvoeren van het onderzoek is enige twijfel gerezen of de gerealiseerde infrastructuur (schermhoogte) exact overeen komt met de infrastructuur waarmee gerekend wordt. Ook dit aspect beïnvloedt de meest geschikte keuze van aanvullende geluidsmaatregelen en daarom wordt aangeraden dit nader te onderzoeken.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek kunnen globaal de volgende conclusies getrokken worden:

- 1 Op locaties waar zich al 4 meter hoge of hogere schermen bevinden zal alleen schermverhoging leiden tot substantiële geluidsreductie (> 2dB(A)).
- 2 Op locaties waar zich schermen van 4 meter of lager bevinden of daar waar zich geen schermen bevinden zijn de maatregelen gericht op het verminderen van alleen rolgeluid mogelijk wel interessant, maar hiermee kan maximaal een geluidsreductie worden bereikt van 3 dB(A). Het betreft hier de volgende maatregelen: raildempers, geluidabsorberende platen op het betonplaten spoor, scherm tussen beide sporen, T-toppen, gemodificeerde minischermen en/of tussenbermscherm

Voor het vaststellen van de meest geschikte aanvullende maatregel moet nader onderzocht worden welke geluidsreductie gewenst is. Bij interesse in daadwerkelijke implementatie zal een aantal van deze maatregelen nog nader onderzocht moeten worden op haalbaarheid, geluidsreducerend effect en/of kosten. Aanbevolen wordt om één of meerdere in deze verkenningsstudie als interessant aangemerkte maatregelen verder uit te werken voor een specifieke probleemlocatie als voorbereiding op verdere discussie en mogelijke klachten.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
2	HSL Zuid gegevens	8
2.1	Traject en kunstwerken	8
2.2	Geïmplementeerde geluidsmaatregelen.....	8
3	Analyse van de huidige problematiek	9
3.1	Locaties waar hoge geluidsniveaus optreden.....	9
3.2	Problematiek rondom de genomen maatregelen.....	10
4	Randvoorwaarden aan te nemen maatregelen	13
5	Mogelijke aanvullende maatregelen	14
5.1	Dempen railtrillingen	14
5.2	Verhogen absorptie spooromgeving	15
5.3	Afschermen van geluid	18
5.4	Verdere verlaging gemiddelde ruwheid van de rail.....	26
5.5	Combineren van maatregelen.....	28
6	Beoordeling van mogelijke aanvullende maatregelen	29
6.1	Algemene beoordeling	29
6.2	Specifieke beoordeling.....	32
7	Geraadpleegde bronnen	36
8	Conclusies en aanbevelingen	37
9	Referenties	39
Appendix A	Schematische weergave infrastructuur HSL traject	41
Appendix B	Kaarten met de ligging van de HSL infrastructuur	44
Appendix C	Locaties waar zich geluidschermen bevinden	53
Appendix D	Kosten berekening geluidsabsorberend materiaal Rheda baan	55

1 Inleiding

De start van het gebruik van de HSL is gepaard gegaan met aanzienlijke aandacht voor de langs de baan ervaren geluidsoverlast. Om deze geluidsoverlast te beperken is er bij de bouw van de HSL geïnvesteerd in diverse geluidsmaatregelen zoals geluidschermen en lokale verdiepte liggingen met geluidabsorberende wanden. Tevens is de verwachte toename van de geluidemissie vanwege de toepassing van ballastloos Rheda-spoor gecompenseerd met een actief “akoestisch slijpprogramma”.

Op dit moment vergelijkt TNO op initiatief van het Ministerie van I&M en in opdracht van ProRail de feitelijke geluidemissie, het effect van de genomen maatregelen en de resulterende geluidsniveaus op woningen met de resultaten van de oorspronkelijke berekeningen uit de akoestische onderzoeken die aan het Tracébesluit ten grondslag liggen. De volledige resultaten van dit onderzoek zijn nog niet bekend.

Vooruitlopend op de resultaten van dit onderzoek en vooruitlopend op eventuele gewenste toekomstige capaciteitsuitbreidingen heeft ProRail, wederom op initiatief van het Ministerie van I&M, aan Lloyd's Register de vraag gesteld om een quick-scan uit te voeren naar de mogelijke infrastructurele geluidsmaatregelen die, uitgaande van de HSL zoals deze gebouwd is, nog mogelijk zijn om te nemen.

In deze quick-scan is aan Lloyd's Register gevraagd van de mogelijke infrastructurele maatregelen de kosten, de potentiële geluidreductie, de technische haalbaarheid en de invloed op exploitatie en onderhoud van Infrabeen te onderzoeken. Ten grondslag aan deze quick-scan ligt een bureaustudie van TNO naar de mogelijke geluidknelpunten langs de baan (zie referentie [10]). Operationele maatregelen en maatregelen aan het materieel vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Lloyd's heeft deze quick-scan uitgevoerd in samenwerking met M+P.

2 HSL Zuid gegevens

2.1 Traject en kunstwerken

Om inzicht te geven in de aanwezige infrastructuur en de ligging hiervan zijn in de appendices A en B respectievelijk weergegeven:

- Schematische weergave van de HSL infrastructuur.
- Kaarten van de ligging van de HSL infrastructuur.

2.2 Geïmplementeerde geluidsmaatregelen

Op het HSL traject worden de volgende geluidsmaatregelen genomen:

- Geluidsschermen.
- Verdiepte ligging (cutting en tunnels).
- Geluidsabsorberende materialen.
- Akoestisch slijpen in combinatie met monitoren railruwheid van de spoorstaven.

Hieronder worden deze maatregelen nader toegelicht.

Geluidsschermen

Langs de HSL-Zuid is in totaal zo'n 22 kilometer aan geluidsschermen geplaatst. Deze schermen variëren in hoogte van 1 tot 5 m. Deze schermen zijn transparant en geluidreflecterend. De schermen zijn hellend naar het spoor geplaatst (om het afgestraald geluid terug richting baan te reflecteren).

In Appendix C is een tabel weergegeven waarin aangegeven is waar zich langs de HSL Zuid schermen van welke hoogte bevinden.

Verdiepte ligging

Bij Bergschenhoek, Mookhoek en Prinsenbeek (Breda) ligt het spoor verdiept ten opzichte van het maaiveld. Dit wordt ook wel aangeduid met de term 'verdiepte ligging' of 'cutting'. De exacte locatie van deze cuttings is aangegeven met een stippellijn in de figuren van Appendix B.

Geluidsabsorptie

Op alle plaatsen waar het spoor verdiept is aangelegd en bij tunnelritten is absorberend materiaal aangebracht op de wanden. In Appendix C is niet aangegeven waar geluidsabsorberend materiaal is aangebracht. Uit twee films (zie referentie [6] en [7]) die zijn gemaakt vanuit de cabine van een rijdende trein is dit wel vast te stellen.

Akoestisch slijpen

Over het gehele traject van de HSL-Zuid, behalve in de tunnels wordt het spoor condition-based akoestisch geslepen. In paragraaf 3.2.1 wordt dit onderwerp nader toegelicht.

3 Analyse van de huidige problematiek

In dit hoofdstuk zal worden aangegeven op welke locaties langs de HSL Zuid, naar verwachting, hoge geluidsniveaus op zullen treden. Tevens wordt kort de problematiek weergegeven met betrekking tot de reeds genomen geluidreducerende maatregelen.

3.1 Locaties waar hoge geluidsniveaus optreden

TNO heeft onderzocht (zie referentie [10]) op welke locaties, mogelijk knelpunten op kunnen treden. TNO verstaat onder een knelpunt een risico op geluidsoverschrijding ten opzichte van het Tracébesluit. In de genoemde referentie worden een 15-tal specifieke locaties genoemd waar een knelpunt zou kunnen optreden. TNO heeft bij deze 15 locaties ook een globale risico inschatting gemaakt van de kans dat er een mogelijke geluidsoverschrijding optreedt. Vier locaties zijn naar voren gekomen waar de kans op een mogelijke geluidsoverschrijding hoog is:

- Rijpwetering (tracédeel noord kilometer 33,4).
- Hoogmade Boskade (tracédeel noord kilometer 30,7).
- Berkel en Rodenrijs (tracédeel noord kilometer 10,4 - 11,2).
- Bergschenhoek (tracédeel noord kilometer 8,9 – 10,0).

Bij Rijpwetering en Hoogmade (Boskade) ligt het spoor op respectievelijk 6 en 7 meter hoogte van de straat waar de woningen zich bevinden. In Rijpwetering zijn aan beide zijden schermen aangebracht van 3 (oostzijde) en 4 (westzijde) meter hoogte. In Hoogmade (Boskade) zijn alleen aan de woningzijde (westzijde) schermen aangebracht van 4 meter hoogte. Mogelijke knelpunten worden op beide locaties alleen verwacht aan de westzijde van het spoor.

Bij Berkel en Rodenrijs en Bergschenhoek ligt het spoor verdiept (cutting) op 3,5 m onder straatniveau. Aan de westzijde zijn schermen aangebracht van 4 meter hoogte en aan de oostzijde van 3 meter hoogte. Mogelijke knelpunten worden in Berkel en Rodenrijs alleen verwacht aan de westzijde van het spoor en in Bergschenhoek aan beide zijden.

Oorzaken van hoge geluidsniveaus

TNO geeft in referentie [10] de volgende mogelijke oorzaken van geluidsniveaus:

- Rijpwetering
 - Schermwerking overschat bij hoge schermen en/of hoge spoorligging.
 - Reflectie tegen het scherm aan de overzijde van het spoor.
- Hoogmade (Boskade)
 - Schermwerking overschat bij hoge schermen en/of hoge spoorligging.
- Berkel en Rodenrijs
 - Reflectie tegen het scherm aan de overzijde van het spoor.
 - Invloed reflectie tegen wanden van de tunnelbak onderschat

- Bergschenhoek
 - Reflectie tegen het scherm aan de overzijde van het spoor.
 - Invloed reflectie tegen wanden van de tunnelbak onderschat

3.2 Problematiek rondom de genomen maatregelen

Zoals in de inleiding reeds genoemd bestaat de kans dat er op een aantal plaatsen een geluidsknelpunt kan gaan ontstaan omdat de baan (het spoor inclusief de directe omgeving) niet meer voldoet aan het Tracébesluit indien de verkeersintensiteit sterk gaat toenemen in de toekomst. Hierna wordt geanalyseerd waarom de bestaande geluidsmaatregelen (mogelijk) niet voldoende effectief zijn. Deze analyse is van belang om daarna een goede keuze te kunnen maken uit het palet van aanvullende geluidsmaatregelen.

3.2.1 Railruwheidsbeheersing als geluidsmaatregel

Op het HSL-Zuid tracé wordt railruwheidsbeheersing toegepast als geluidsmaatregel. Deze maatregel is toegepast om de geluidemissie van de Rheda baan in overeenstemming te brengen met de uitgangspunten van het Tracébesluit. Bij het opstellen van het Tracébesluit zijn geluidberekeningen uitgevoerd om de geluidsmaatregelen te kunnen dimensioneren. Bij deze berekeningen is gerekend met de geluidemissie van schijfgeremd materieel dat rijdt volgens een bepaald snelheidsprofiel en waarbij de bovenbouwcorrectie van ballastspoor met betonnen dwarsliggers is gebruikt. Vervolgens is met deze berekeningen de geluidbelasting op de omgeving bepaald en zijn maatregelen (schermen, verdiepte ligging, tunnels etc.) gekozen om te voldoen aan de wettelijke eisen met betrekking tot beperking van de geluidoverlast.

Tijdens de ontwerpfase van de HSL-Zuid was al duidelijk dat de bovenbouw zou worden uitgevoerd met het Rheda spoorstelsel. Rheda heeft een bovenbouwcorrectie die afwijkt van ballastspoor met betonnen dwarsliggers. Hierdoor is de geluidemissie anders dan die van ballastspoor met betonnen dwarsliggers. Om er voor te zorgen dat de maatregelen uit het Tracébesluit gehandhaafd konden worden kreeg Infrasppeed (de ontwerper en bouwer van de bovenbouw) de opdracht om ervoor te zorgen dat de geluidemissie van de baan weer binnen de uitgangspunten van het Tracébesluit zou vallen. Infrasppeed heeft hiervoor de Rheda constructie qua dempingeigenschappen geoptimaliseerd en heeft een onderhoudsprogramma afgesproken waarbij door middel van railruwheidsbeheersing ervoor wordt gezorgd dat de baan voldoet aan de uitgangspunten van het Tracébesluit.

Op dit moment wordt de baan onderhouden volgens het afgesproken programma voor de railruwheidsbeheersing. Dat de maatregel effectief is blijkt uit het feit dat de gemeten geluidemissie van de Thalys bij ontwerpssnelheid van de baan overeenstemt met de geluidberekeningen [TNO]. Echter, voor de HST Prio rijkstrijtuigen gaat dit niet helemaal op. De HST Prio rijkstrijtuigen rijden namelijk bij een lagere snelheid dan is aangenomen in het Tracébesluit.

3.2.2 Geluidschermen en geluidsabsorptie

De positie en hoogte van de geluidschermen op de HSL-Zuid zijn bepaald in de berekeningen die ten grondslag liggen aan het Tracébesluit. In de rekenmodellen wordt aangenomen dat de

geluidschermen verticaal staan en absorberend zijn uitgevoerd. In werkelijkheid is er op de HSL-Zuid gebruik gemaakt van reflecterende glazen schermen. Gekozen is voor glas op architectonische gronden; keuze voor een transparante/open uitstraling van een moderne spoorlijn. Deze reflecterende schermen mogen volgens het RMV gelijkwaardig worden beschouwd aan absorberende schermen indien deze hellend in de richting van het spoor worden geplaatst. Het idee hierachter is dat de rol van absorptie van het scherm zelf kan worden overgenomen door de baanconstructie. Immers, het geluid dat op het scherm valt zal weerkaatsen in de richting van het spoor en daar worden geabsorbeerd door de baanconstructie.

De aanname van de equivalentie tussen absorberende rechte schermen en reflecterende schuine schermen veronderstelt dat de baanconstructie absorberend is en dat het geluidpad van de bron via de reflectie op het scherm in de richting van de baanconstructie leidt. Bij de HSL-Zuid is aan beide veronderstellingen niet zondermeer voldaan:

- de baanconstructie bestaat uit een betonnen plaat met ingegoten dwarsliggers met eventueel daaromheen een laag gestort ballast. Deze constructie zal veel minder geluidabsorptie hebben dan een baan op betonnen dwarsliggers in ballastbed.
- Er zijn plaatsen waar de geluidschermen relatief hoog zijn geplaatst ten opzichte van de spoorbaan. Op deze locaties is sprake van een verdiepte ligging van het spoor (cutting) en schermen aan beide zijden aan de bovenkant van de bak. In die situatie lijkt er een geluidpad te ontstaan wat er voor zorgt dat het geluid van de baan weg wordt gereflecteerd in plaats van naar de baan toe [DCMR]. Dit betekent dat de geluidisolerende werking van deze schermen minder zou kunnen zijn dan in de berekeningen was verondersteld.

Opmerking

Bij Breda zijn ook schermen te vinden die hellend van het spoor af geplaatst zijn zoals weergegeven in figuur 3.1. Dit zijn schermen die gedimensioneerd zijn op de geluiduitstraling van de snelweg aangezien dit ten tijde van het Tracébesluit als grootste geluidbron gezien werd. De uitvoering van de schermen is conform andere geluidschermen langs wegen naar buiten hellend. Nader onderzoek van TNO (zie referentie [14]) heeft rekentechnisch onderbouwd dat deze schermen even effectief zouden zijn als absorberende schermen.



Figuur 3.1 Schermen die van het spoor af hellen bij Breda (referentie[6]).

3.2.3 Geluidsbronnen

De maatgevende geluidsbronnen bij een snelheid van 300 km/h zijn rolgeluid en aerodynamisch geluid. Het aerodynamische geluid is met name afkomstig van pantograaf en bakovergangen. De hiervoor genoemde geluidsbronnen bevinden zich op verschillende hoogtes. De hoogte en het geluidsniveau van de genoemde bronnen beïnvloeden de keuze van eventuele aanvullende geluidsmaatregelen aan de infrastructuur sterk.

Bij het bestaande materieel is het geluidsniveau bij 300 km/h afkomstig van het rolgeluid en het aerodynamische geluid vergelijkbaar van grootte. In deze rapportage is dit als uitgangspunt genomen. Dit uitgangspunt komt overeen met de kentallen uit het Reken- en Meetvoorschrift van categorie 9 treinen (Thalys en ICE), bij 300 km/h. Omdat de hoogte van de maatgevende geluidsbronnen grote invloed heeft op de keuze van aanvullende maatregelen wordt aangeraden nader te onderzoeken of het gekozen uitgangspunt juist is.

Opgemerkt wordt dat het afgelopen decennium het nodige onderzoek is uitgevoerd en de nodige ontwikkelingen hebben plaats gevonden op het gebied van het verminderen van aerodynamisch geluid en dan met name het geluid afkomstig van de pantograaf. Onbekend is tot welke geluidsreductie deze ontwikkelingen hebben geleid. Daarnaast is onbekend of dergelijke ontwikkelingen doorgevoerd zijn of gaan worden op het bestaande materieel en op het nieuwe V250 materieel.

4 Randvoorwaarden aan te nemen maatregelen

De exploitatie en het onderhoud van de baan stelt een aantal randvoorwaarden aan mogelijke aanvullende geluidmaatregelen. Hieronder worden deze randvoorwaarden genoemd. Deze randvoorwaarden zijn afgestemd met Infrasppeed.

Brandbaarheid

In de directe nabijheid van het spoor mogen geen brandbare materialen aanwezig zijn. Met name bij het slijpen van het spoor treden veel vonken op. Deze vonken mogen niet leiden tot het in brandvliegen van een aangebrachte geluidsmaatregel.

Stevigheid en bevestiging

Een passerende trein en zeker een passerende hoge snelheidstrein veroorzaakt grote luchtdrukverschillen. Deze luchtdrukverschillen vereisen een stevige constructie (van bijvoorbeeld schermen) en stevige bevestiging (van bijvoorbeeld geluidsabsorberende platen).

Inspecteerbaarheid

Bij inspectie van de baan worden de spoorstaven zelf, de bevestigingen van de rail aan de baan, de afwatering van het betonplatenspoor en de aanwezige elektrische verbindingen, gecontroleerd. Ook wordt gecontroleerd of er geen scheurvorming in het beton optreedt. Om deze inspectie mogelijk te maken moet het mogelijk zijn om langs het spoor te lopen (schouwen) en moeten de hiervoor genoemde aspecten voor het oog zichtbaar zijn.

Onderhoudbaarheid

Het beton platen spoor van de HSL Zuid is een onderhoudsarme constructie. Toch zal ook hier onderhoud moeten worden uitgevoerd. Voor het uitvoeren van onderhoud is het noodzakelijk dat er voldoende ruimte is. Te denken valt hierbij aan het vervangen van een spoorstaaf, bevestigingsmiddelen en kleine betonreparaties. Bij het vervangen van spoorstaven moeten 120 meter lange spoorstaven vanaf een wagon naast de spoorbaan gelegd kunnen worden.

Veiligheid

In geval dat een trein op de baan tot stilstand komt en geëvacueerd moet worden moet er een vluchtweg naast de trein beschikbaar zijn.

5 Mogelijke aanvullende maatregelen

In dit hoofdstuk worden de mogelijke aanvullende maatregelen aan de infrastructuur genoemd die kunnen leiden tot een reductie van de geluidsemissie van het spoorverkeer. In hoofdstuk 5 zullen deze maatregelen beoordeeld worden op hun haalbaarheid.

5.1 Dempen railtrillingen

5.1.1 Raildempers

Een raildemper (zie figuur 5.1) reduceert het rolgeluid doordat de demper de geluidemissie van de spoorstaaf verlaagt. Dit gebeurt doordat de afstandsdemping van de rail wordt verhoogd na toevoeging van de demper. Het geluid van het wiel wordt niet aangepakt door de raildemper.

Een raildemper bestaat normaal gesproken uit een aantal getunede mass-veer-demper systemen die heel effectief trillingen verminderen door viskeuze demping. De tuning bestaat eruit dat de resonantiefrequenties van de demper liggen in het frequentiegebied waar de rail het meeste geluid produceert. Op deze resonantiefrequenties werkt de demper optimaal.

De effectiviteit van een raildemper voor het reduceren van het railgeluid hangt in eerste instantie af van de al aanwezige demping in het railsysteem. Een railsysteem dat van zichzelf al goed gedempt is zal weinig profijt hebben van het toevoegen van een raildemper. Het Rheda systeem heeft van zichzelf een tamelijk lage afstandsdemping. Dit is ook de hoofdreden dat het Rheda spoor meer geluid produceert dan spoor in ballastbed. Een raildemper is dus heel effectief om die lage raildemping te verhogen.

Uit IPG onderzoek blijkt dat met een raildemper het rolgeluid met ongeveer 3 dB kan worden verminderd. Deze geluidreductie werd gemeten op normaal spoor met betonnen dwarsliggers in ballastbed, bij een voertuigsnelheid van 80-140 km/h. Naar verwachting zal de effectiviteit van de demper op het Rheda spoor voor die snelheden hoger zijn omdat de bijdrage van de rail voor Rheda spoor hoger is (4 a 5 dB(A) mits de demper goed wordt getuned voor Rheda spoor).

Voor hogere snelheden is de raildemper een minder voor de hand liggende oplossing om rolgeluid te reduceren. Bij hogere snelheden (240 km/h en hoger) zal de bijdrage van de rail afnemen en die van het wiel toenemen. Maatregelen, zoals de raildemper, die de geluidemissie van de rail alleen beïnvloeden zijn daarom minder effectief bij hogere snelheden.

Naast een snelheidseffect wordt er ook soms een ruwheidseffect verondersteld. Dit is wellicht een misvatting. Uit IPG onderzoek bleek dat de effectiviteit van de raildemper minder werd naarmate het spoor gladder was. Dit zou dus betekenen dat de demper wellicht niet bruikbaar is voor het gladde spoor van de HSL-Zuid. Vanuit fysisch oogpunt is een dergelijk algemeen verband tussen railruwheid en raildemping echter helemaal niet verklaarbaar. Waarschijnlijk heeft de lage effectiviteit in de IPG proeven te maken met de tuning van de demper. De tuningsfrequentie van de demper valt samen met de frequentie waarin golfslijtage optreedt. Door te slijpen verandert niet alleen het niveau van de ruwheid, maar ook de frequentie karakteristiek. Juist waar de raildemper effectief is, is ook de maatregel slijpen effectief en dus zal de toevoeging van een raildemper niet zo veel extra reductie opleveren. Het zou beter zijn hiermee rekening te houden in het ontwerp van de demper. Als er een demper voor op de HSL-Zuid moet worden toegepast dan moet deze getuned worden op die frequenties waarbij de geslepen rail het meeste geluid produceert.

Uit informeel overleg met Infrasppeed is gebleken dat raildempers tot op heden niet zijn beschouwd als mogelijke maatregel. Infrasppeed vindt het een kansrijke maatregel voor nadere beschouwing.

De geluidsreductie van het rolgeluid door toepassen van raildempers op Rheda spoor bij snelheden van 300 km/h (situatie op de HSL Zuid) zal naar verwachting 2-3 dB(A) bedragen. De exacte geluidsreductie zal nader onderzocht moeten worden. Aangezien ook aerodynamisch geluid een rol speelt (zie paragraaf 3.2.3) zal de totale geluidsreductie lager zijn, kleiner dan 2 dB(A).

Kosten

Uit referentie [9] blijkt dat de kosten voor het aanbrengen van raildempers ongeveer € 500 per meter enkel spoor, bedragen.



Figuur 5.1 Raildempers

5.2 Verhogen absorptie spooromgeving

Het verhogen van de absorptie van de spooromgeving kan op twee manieren.

- 1 Verhogen van de geluidsabsorptie van het betonplatenspoor
- 2 Verhogen van de geluidsabsorptie van de geluidsschermen

Hieronder worden beide maatregelen toegelicht.

5.2.1 Verhogen van de geluidsabsorptie van het betonplatenspoor

Het Rheda systeem dat wordt toegepast op de HSL-Zuid is een variant van het type betonplatenspoor. Dit spoorstelsel is niet geluidabsorberend. In Nederland en in Duitsland is ervaring opgedaan met het bekleden van betonplatenspoor om de absorptie te verbeteren en daarmee het rolgeluid te reduceren.

In Duitsland wordt al langere tijd absorberend materiaal als geluidmaatregel toegepast op betonplatenspoor voor de hogesnelheidslijnen, de zogenaamde "Feste Fahrbahn". Er zijn metingen uitgevoerd door Müller-BBM op de test secties Wittenberge-Dergenthin (Züblin) en Breddin-Glöwen (Rheda) voor Intercity treinen bij snelheden van 100 tot 150 km/h. De onderzochte absorptiematerialen waren poreus beton, rubber granulaat, geëxpandeerde kleikorrels en glaswol. Als deze resultaten worden vertaald naar de situatie op de HSL-Zuid, dan zou dit leiden tot een

rolgeluidreductie van ongeveer 2 dB voor de Thalys treinen. Voor de AnsaldoBreda V250 wordt een vergelijkbare rolgeluidreductie verwacht.

In Nederland zijn in het kader van het project Stiller TreinVerkeer (STV) proeven gedaan met het bekleden van een ingegoten spoorstaafconstructie met absorberend materiaal. M+P heeft metingen uitgevoerd voor ProRail met intercity rytuigen bij 100-120 km/h waarbij poreus asfalt (PA) als absorptiemateriaal is toegepast. Hierbij zijn twee varianten getest 1) PA tussen de rails (zie figuur 5.2) en 2) PA tussen en naast de rails (zie figuur 5.3).

De geluidemissie van deze twee varianten is vergeleken met de geluidemissie op onbehandeld spoor. Hieruit bleek dat er een geluidreductie van 1.5 dB werd behaald met variant 1 en 2.5 dB met variant 2.

Bovengenoemde rolgeluidreducties zijn gemeten voor spoorverkeer op de vrije baan. Het is niet zo dat dit resultaat ook geldig is voor spoor in verdiepte ligging of in de nabijheid van schermen. Mogelijk is het effect bij schermen nog groter omdat niet alleen de geluidemissie verlaagd wordt maar ook dat het geluid dat terug reflecteert van de schermen beter wordt geabsorbeerd. Dit zal echter nader onderzocht moeten worden.



Figuur 5.2 Absorberend asfalt tussen de rails



Figuur 5.3 Absorberend asfalt tussen en naast de rails

Een punt van aandacht is het feit dat de absorberende bekleding van de spoorbaan alleen het rolgeluid vermindert. Aangezien ook aerodynamisch geluid een rol speelt (zie paragraaf 3.2.3) zal de totale geluidsreductie lager zijn, lager dan 2 dB(A). Een ander punt van aandacht is dat de geluidabsorberende-materialen voldoende stevig worden bevestigd aan de spoorbaan.

Kosten

In Appendix D is een kostenschatting gemaakt van het aanbrengen van geluidsdemping op het Rheda spoor. De geschatte kosten bedragen ongeveer € 300-€ 450 per strekkende meter enkel spoor. Opgemerkt wordt dat hierin de onderhoudskosten niet verwerkt zijn.



Figuur 5.4 aangebrachte geluidsabsorberende elementen tussen en naast de sporen en op de wanden.

5.2.2 Verhogen geluidsabsorptie van geluidsschermen en wanden cutting

Op de HSL Zuid is, uit oogpunt van esthetica, gekozen voor transparante schermen. Vanuit dit oogpunt is het dus niet mogelijk om de schermen te voorzien van geluidsabsorberende elementen, tenzij men de eis van transparantie laat vallen. In de verdiepte en half verdiepte spoorliggingen ten Noorden van Rotterdam, bij Berkel en Rodenrijs, bij Breda en bij de in- en uitgangen van tunnels (zie figuur 5.5) en viaducten zijn reeds geluidsabsorberende elementen aangebracht.

Absorberende geluidsschermen zullen leiden tot een vergelijkbare geluidsreductie als bij het aanbrengen van demping van het beton platen spoor; een geluidreductie van ongeveer 1,5 tot 2,5 dB(A). Ook hier geldt dat daar waar aerodynamisch geluid een belangrijke rol speelt deze maatregel minder effectief zal zijn.

Er zijn verschillende scenario's voor het verkrijgen van een absorberend scherm op locaties waar reeds een scherm aanwezig is. Deze scenario's zijn niet nader onderzocht.

- 1 Aanbrengen van absorberende materialen op de bestaande schermen
- 2 De transparante niet absorberende elementen vervangen door absorberende elementen waarbij het frame en de fundering van het scherm behouden blijft.
- 3 Plaatsen van een geheel nieuwe constructie

Kosten

Het geven van een kostenindicatie is moeilijk omdat deze sterk afhangen van het gekozen scenario.

Opmerking

In paragraaf 3.2.2 is aangegeven dat is aangenomen dat het geluidsreducerende effect van naar voren hellende niet absorberende schermen vergelijkbaar zou moeten zijn met verticale gedempte schermen. Tevens is aangegeven dat deze aanname mogelijk niet helemaal juist zou kunnen zijn.



Figuur 5.5 Absorptiemateriaal bij de uitgang van de Groene Harttunnel

5.3 Afschermen van geluid

Het afschermen of het verbeteren van het afschermen van het geluid kan op een aantal manieren:

- 1 Aanpassen schermhoogte.
- 2 Aanpassen schermafstand tot het spoor.
- 3 Optimaliseren van het scherm door aanpassen schermhoek, schermvorm en verwijderen overbodige schermen.
- 4 Overkappen van de verdiepte ligging (cutting).

Opgemerkt wordt dat de geluidschermen natuurlijk ook voorzien kunnen worden van geluidsabsorberende materialen.

5.3.1 Schermhoogte

De geluidsschermen op de HSL Zuid hebben vijf verschillende hoogtematen: 1, 2, 3, 4 en 5 meter (zie figuur 5.6) ten opzichte van de bovenkant van de rails. De standers van de schermen zijn op het betonnen deel van de randbalk gemonteerd (zie figuur 5.12).

In het geval een hogere geluidsreductie door het scherm is vereist, is het over het algemeen niet mogelijk om het scherm te verhogen. Reden hiervan is dat de aangebrachte fundering van het scherm hiervoor niet toereikend is. Als verhoging van het scherm gewenst is zal dit betekenen dat het bestaande scherm verwijderd moet worden, de fundering versterkt en een nieuwe hoger scherm geplaatst zal moeten worden.



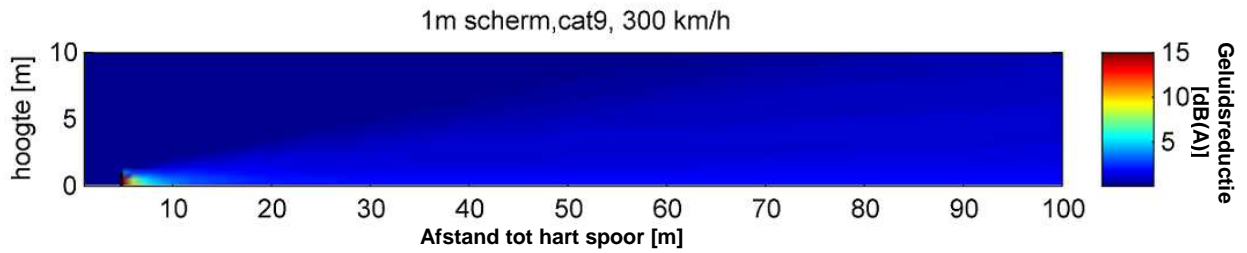
Figuur 5.6 Een zeer hoog scherm langs de HSL Zuid

In de figuren 5.7, 5.8, 5.9 en 5.10 is de schermwerking geïllustreerd van schermen van achtereenvolgens 1, 2, 4 en 5 m hoogte naast een tweesporige hogesnelheidslijn. Deze gegevens zijn berekend op basis van kentallen uit het reken- en meetvoorschrift op basis van een categorie 9 trein (Thalys en ICE) bij 300 km/h. Bij deze berekeningen is rekening gehouden met aerodynamisch geluid veroorzaakt door de pantograaf en bakovergang en met de hoger in de trein gelegen luchtinlaten. Uit de figuren 5.7, 5.8, 5.9 en 5.10 blijkt dat de geluidsreductie van een scherm op de omgeving afhankelijk is van de afstand en hoogte ten opzichte van het scherm. Eveneens is te zien dat de vlakverdeling tussen figuren 5.7, 5.8, 5.9 en 5.10 grote verschillen vertoont. Daarnaast hangt de effectiviteit af van de hoogte van het spoor (cutting of viaduct) en de windsnelheid en richting. Al deze aspecten maakt het lastig om de effectiviteit van geluidsschermen te beoordelen. Met als gevolg dat ook het vergelijken met andere maatregelen lastig is. In deze rapportage wordt de geluidsreductie beoordeeld op een afstand van 50 m en op 3,5 m hoogte. Op 50 m afstand 3,5 meter boven de grond is de geluidsreductie door het scherm van 1, 2, 4 en 5 m hoogte respectievelijk 1-2, 3-4, 6-8 en 9-12 dB(A).

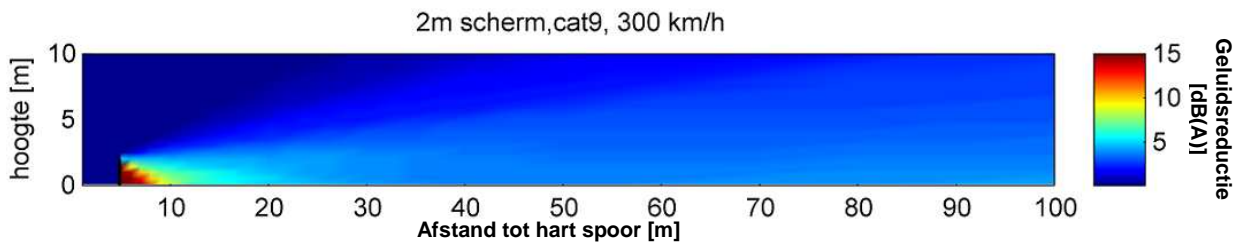
Op basis van metingen is geconstateerd dat bij een snelheid van 300 km/h het geluidsniveau veroorzaakt door het aerodynamisch geluid een vergelijkbare grootte heeft met het rolgeluid (zie ook paragraaf 3.2.3). Op basis hiervan is te verklaren dat het effect van een 1 en 2 meter hoog scherm veel minder effectief is dan een scherm van 4 en 5 meter hoog. Het aanbrengen van schermen is de enige infrastructurele maatregel die aerodynamisch geluid, op de omgeving, kan verminderen.

Opmerking

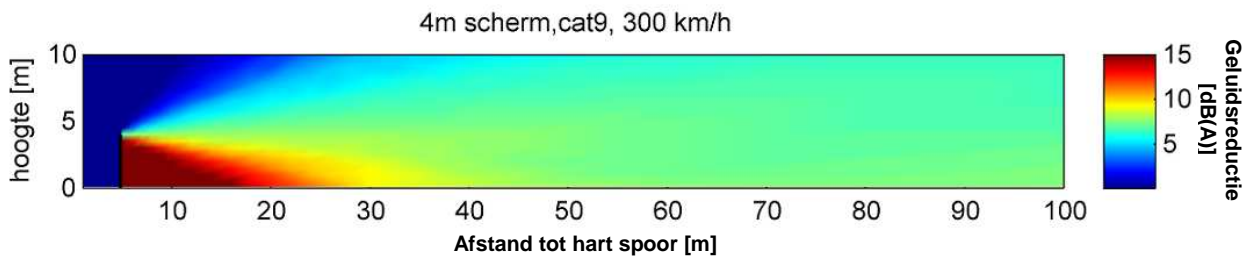
Zoals in paragraaf 3.2.3 is genoemd is er het laatste decenium veel onderzoek en ontwikkeling uitgevoerd naar het verminderen van aerodynamisch geluid. Minder aerodynamisch geluid zal sterke invloed hebben op de schermwerking.



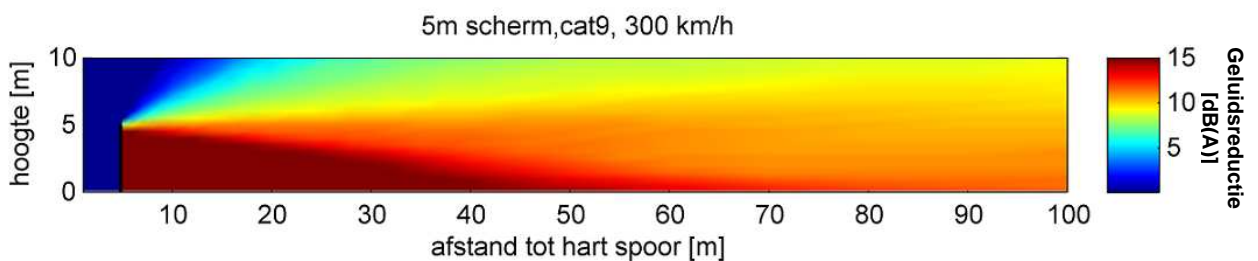
Figuur 5.7 Schermwerking van 1 m hoog scherm



Figuur 5.8 Schermwerking van 2 m hoog scherm



Figuur 5.9 Schermwerking van 4 m hoog scherm

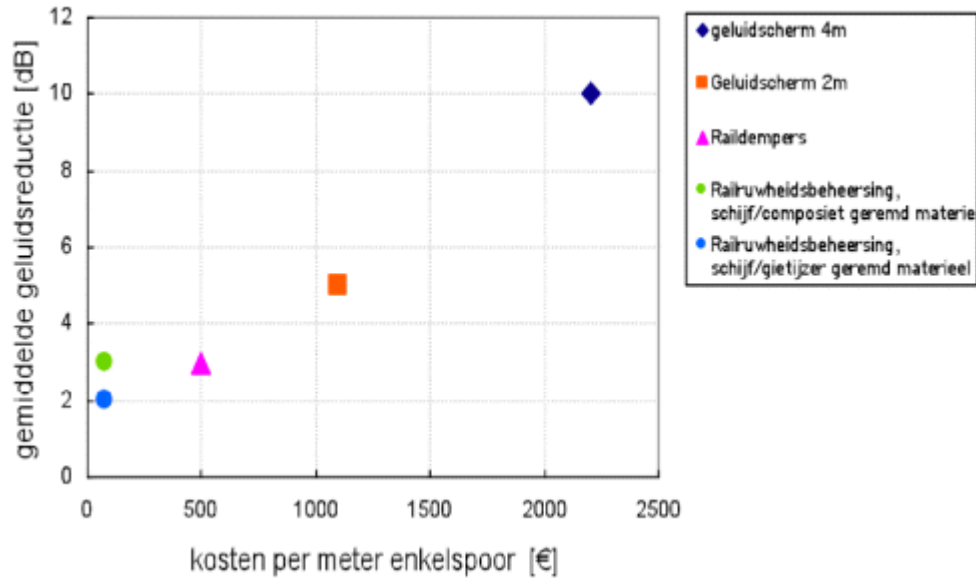


Figuur 5.10 Schermwerking van 5 m hoog scherm

Kosten

De kosten van een geluidsscherm komen naar voren uit een Nieuwsbrief van het Kenniscentrum en bedragen € 1.100 en €2.200 per meter voor respectievelijk een 2 en een 4 meter hoog scherm (zie figuur 5.11). Uit referentie [8] is gebleken dat het verhogen van een bestaand scherm met 1 m in de

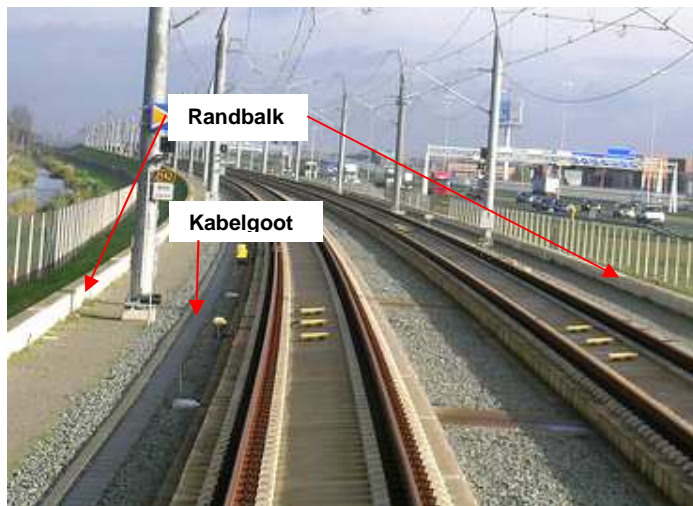
orde van grootte van € 475 - € 615 per meter kost afhankelijk of het scherm ook versterkt moet worden bij verhoging. Daarnaast wordt in referentie [8] genoemd dat de kosten van een nieuw scherm globaal € 500,- per vierkante meter bedragen. De genoemde kosten uit de verschillende bronnen geven dus globaal het zelfde beeld.



Figuur 5.11 Kosten van een 2 en 4 meter hooggeluidsscherm

Opmerking

Een mogelijkheid om op een relatief goedkope manier een scherm te plaatsen is door het scherm te plaatsen op de randbalk (zie figuur 5.12). Gezien de beperkte sterkte van deze randbalk, kan naar verwachting hier een scherm van maximaal 1 a 2 meter hoogte op worden gemonteerd. De exacte hoogte moet nader onderzocht worden. Omdat de randbalk ongeveer 2 meter verwijderd is van het dichtstbijzijnde spoor, is het niet mogelijk om een minischerm (zie paragraaf 5.3.2) dichtbij het spoor te plaatsen.

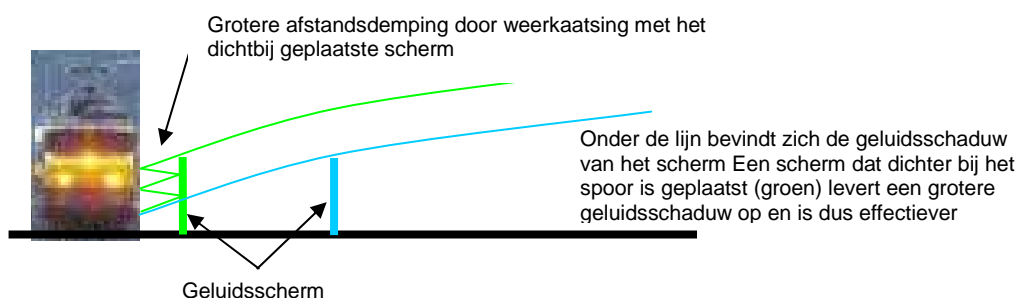


Figuur 5.12 Positie van de randbalk en kabelgoot t.o.v. het spoor

5.3.2 Schermafstand

Hoe dichters het scherm bij de bron staat des te effectiever het scherm is. Dit wordt geïllustreerd door figuur 5.13. Of om een gelijke geluidsreductie te verkrijgen hoeft het scherm dat dichters bij staat minder hoog te zijn om dezelfde effectiviteit te bewerkstelligen. Een lager scherm vereist een lagere investering en belemmert het vrije uitzicht minder. Hieronder worden 3 maatregelen genoemd waarbij de schermafstand is verkleind.

- 1 Minischermen
- 2 Geoptimaliseerd minischerm
- 3 Scherm tussen beide sporen.



Figuur 5.13 Verschil in effectiviteit veroorzaakt door de afstand van het scherm tot de bron

Minischerm

Minischermen werken als geluidreducerende maatregel doordat ze direct het rolgeluid afschermen van de omgeving. Doordat de schermen dicht bij de bron staan kunnen ze lager blijven dan conventionele schermen om eenzelfde geluidsreductie te verkrijgen. In Nederland zijn er in het verleden diverse proeven gedaan met minischermen (o.a. Papekop 1983, STV 1999) en in het

buitenland zijn er ook verschillende proeven gedaan (o.a. Docklands light railway in Engeland, Z-Bloc barriers in Zweden en recentelijk in Noorwegen in Stavanger).

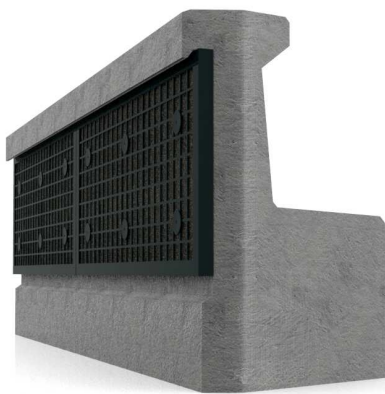
De werking van de minischermen is gebaseerd op afscherming van het rolgeluid. Dit betekent dat deze maatregel alleen effectief is op plaatsen waar nauwelijks afscherming aanwezig is. Dus in situaties waar al wel schermen zijn geplaatst of bij verdiepte ligging of in tunnelbakken is deze maatregel niet effectief, behalve als deze minischermen een grotere geluidschaduw zouden hebben dan het conventionele geluidsscherm dat in de buurt ligt.



Figuur 5.14 Beproeving minischermen voorzien van geluidsabsorberend materiaal in het STV project.

Op plaatsen waar een kleine afschermende constructie aanwezig is (bijvoorbeeld de rand van een viaduct of bij een trogconstructie) hoeft geen minischerm te worden geplaatst maar kan deze rand worden omgezet naar een minischerm door de wand absorberend te bekleden en eventueel iets op te hogen.

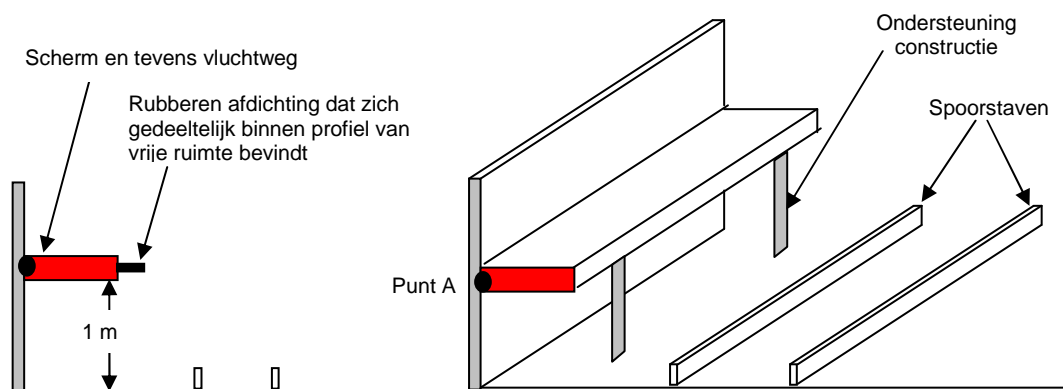
Een nadeel van een minischerm zoals die in figuur 5.14 wordt genoemd, is dat deze de vluchtroute van treinreizigers belemmerd in geval van een calamiteit. Een ander nadeel dat genoemd wordt is dat deze schermen de beschikbare ruimte benodigd voor spooronderhoud beperken. Een voordeel van de minischermen (zie figuur 5.14) is dat het een laag scherm betreft; een laag scherm is relatief goedkoop mede ook omdat er geen of een minder zware fundering vereist is.



Figuur 5.15 Alternatieve minischermen Z-bloc uit Zweden Schermen in figuur zijn tevens voorzien van geluidsabsorberend materiaal.

Geoptimaliseerd mini scherm

Gezien de grote geluidreductie die deze maatregel oplevert is het belangrijk om na te gaan of de nadelen kunnen worden opgelost. Belangrijke nadelen zijn belemmering van de vluchtroute en beperkte effectiviteit bij reeds aanwezige schermen en cuttings. In figuur 5.16 is een scherm weergegeven dat een oplossing biedt voor deze nadelen. Het scherm werkt beter naarmate het horizontale gedeelte dichter in de buurt komt van de trein. Doordat de spleet tussen het horizontale gedeelte van het scherm en de trein klein is zal er relatief weinig geluid naar de omgeving stralen. Hierdoor is het geoptimaliseerde minischerm veel effectiever dan het conventionele minischerm. Het horizontale gedeelte moet zodanig sterk zijn dat grote hoeveelheden reizigers op de plaat kunnen staan. Op deze manier wordt de vluchtweg zelfs beter toegankelijk. De plaat bevindt zich nagenoeg op de hoogte van de binnenvloer van de trein. Doordat er nog steeds ruimte is onder de horizontale plaat zullen de gevolgen van deze constructie voor de onderhoudbaarheid van het spoor beperkt zijn. Deze onderhoudbaarheid kan verder vergroot worden door het scherm wegklapbaar te maken, door het aanbrengen van een scharnier in punt A.



Figuur 5.16 Oplossing die aan de problemen met mini schermen dicht bij het spoor tegemoet komt.

De in figuur 5.16 voorgestelde constructie zal duurder zijn dan de constructie in figuur 5.14 omdat de constructie zodanig sterk moet worden uitgevoerd dat het de vereiste mensenmassa van

gestrande reizigers moet kunnen dragen. Toch is het heel goed mogelijk dat deze constructie ondanks deze dragende functie toch goedkoper is dan een conventioneel scherm omdat er geen fundering nodig is. Deze is niet nodig omdat de constructie 3-dimensionaal is en daarnaast veel minder last heeft van drukgolven (het scherm is immers van beperkte hoogte en grotendeels horizontaal).

Omdat geoptimaliseerde minischermen een nieuwe ontwikkeling is zal de haalbaarheid van de aangedragen oplossing nader te onderzocht moeten worden. Ook moet onderzocht worden of het mogelijk is om een vergelijkbare constructie als getoond in figuur 5.16 te plaatsen tussen beide sporen.

Schermbaan tussen beide sporen

Zoals hiervoor is gebleken is de afstand van het scherm sterk bepalend voor de geluidsreductie. Als een scherm tussen beide sporen wordt geplaatst wordt aan één zijde de schermafstand sterk verkleind. Het plaatsen van een scherm tussen beide sporen van de HSL Zuid is technisch gezien mogelijk. Een dergelijk scherm heeft met betrekking tot onderhoud als voordeel dat er onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd kunnen worden aan het ene spoor terwijl het andere spoor gewoon in bedrijf is. Nadeel met betrekking tot onderhoud is dat de beschikbare ruimte afneemt.

Opmerking

De effectiviteit van een minischerm wordt sterk bepaald door de hoogte waarop zich de maatgevende geluidsbronnen bevinden. Als het rolgeluid en het aerodynamische geluid van vergelijkbare grootte zijn (zoals aangenomen in paragraaf 3.2.3), dan zal het effect van een geoptimaliseerd minischerm maximaal 2-3 dB(A) bedragen.

5.3.3 Toepassen van T-toppen

Op het gebied van schermvormen zijn de T-toppen (zie figuur 5.17) een interessante ontwikkeling. Voordelen van een scherm met een T-top is dat een lager scherm nodig is om dezelfde geluidreductie te krijgen. Een lager scherm is goedkoper en verstoort het uitzicht minder. Daarnaast kan een hogere geluidsreductie van het bestaande scherm verkregen worden zonder dat daarvoor de aanwezige fundering verzwaaard hoeft te worden.

Binnen het Innovatie Programma Geluid (IPG) is uitgebreid onderzoek gedaan naar schermtoppen. Schermtoppen zijn commercieel verkrijgbaar en leveranciers geven aan dat schermtoppen de mogelijkheid bieden om de schermwerking met enige dB(A)'s te verhogen zonder dat het scherm met fundering vervangen hoeft te worden.

Gezien de constructie van de HSL_Zuid geluidsschermen (zie bijvoorbeeld figuur 6.6) lijkt het mogelijk dat hierop een T-top constructie kan worden aangebracht. Een sterkte berekening zal moeten uitwijzen of dit inderdaad zo is.

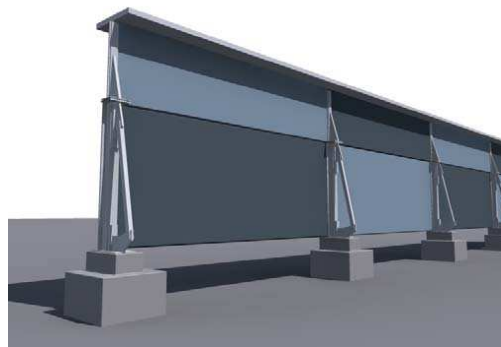
Het T-top effect is afhankelijk van de wegsituatie, met name de schermhoogte en de afstand van hart rijstroken ten opzichte van het geluidsscherm, en de ontvangerpositie. Het T-top effect is ongeveer 1 dB(A) op locaties rondom de zichtlijn, vanaf de ver weg gelegen rijstrook rakend aan de schermrand, tot 5 dB(A) op een locatie diep in de geluidschaduw. (volgens referentie [8]).

Als een trein hoger gelegen geluidsbronnen heeft (zoals aangegeven in paragraaf 3.2.3) is het verhogen van een scherm effectiever dan een T-top.

Kosten

Uit onderzoek kan voorzichtig worden geconcludeerd dat het plaatsen van een top op een scherm vergelijkbare kosten (€ 480 - € 655) met zich meebrengt als het verhogen van dit scherm met een meter (€ 475 - € 615). De verschillen in deze bedragen zijn met name afhankelijk of het scherm versterkt moet worden bij het verhogen dan wel het voorzien van een T-top. In referentie [8] is tevens het volgende geconcludeerd:

- Kosteneffectief wordt het plaatsen van een top als het verhogen van een scherm betekent dat dit scherm ook extra verstevigd moet worden (€ 615). Dan is de top circa 30% kosteneffectiever.
- Een top is altijd kosteneffectiever dan het slopen van een bestaand scherm plus het plaatsen van een geheel nieuw scherm. Hoeveel kosteneffectiever is afhankelijk van de hoogte van dit nieuw te bouwen scherm.



Figuur 5.17 Twee voorbeelden van T-toppen

5.4 Verdere verlaging gemiddelde ruwheid van de rail

Het rolgeluid wordt veroorzaakt door trillingen in wiel en rail die naar de omgeving afstralen als geluid. Deze trillingen worden veroorzaakt door de ruwheid van rail en wiel. Uit modellen blijkt dat de som van wiel- en railruwheid goed correleert met de geluidproductie. Dit betekent dat de geluidproductie alleen effectief kan worden verminderd als de gecombineerde ruwheid van wiel en rail omlaag gebracht kan worden.

De gecombineerde ruwheid is een energetische som van wiel- en railruwheid. Deze energetische optelling zorgt ervoor dat de ruwste component (wiel of rail) de gecombineerde ruwheid overheerst. In de praktijk betekent dit dat geluidsreductie door verlaging van ruwheid zich moet richten op de ruwste component.

Op de HSL-Zuid wordt op dit moment een programma voor railruwheidsbeheersing uitgevoerd en heeft het materieel een wielruwheid die vergelijkbaar is met de wielruwheid voor schijfgeremd materieel uit het Reken- en MeetVoorschrift. Dit betekent dat het wiel een relatief hogere ruwheid heeft dan de rail. Het zal dus effectiever zijn om eerst de wielruwheid verder omlaag te brengen en daarna de railruwheid.

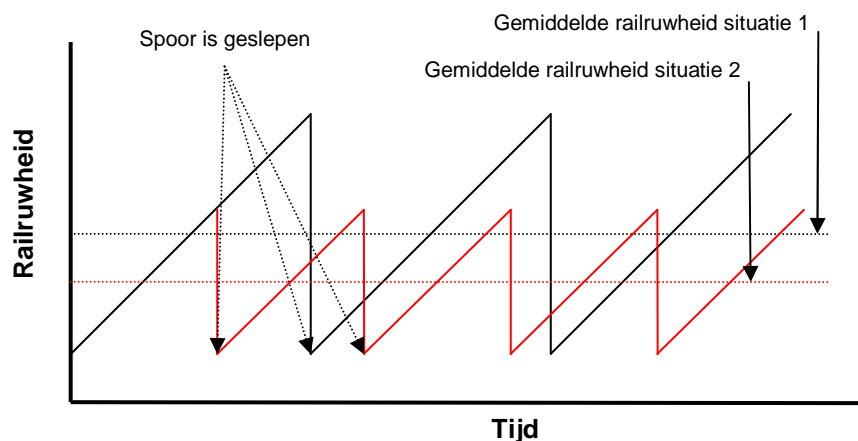
Zoals aangegeven in paragraaf 3.2.1 wordt het spoor reeds een programma uitgevoerd om de railruwheid te verlagen. Verder verlagen van de ruwheid is het mogelijk hieronder wordt aangegeven hoe en tot welke reductie dit leidt.

De railruwheid is niet constant over de tijd. Na het slijpen zal in de loop van de tijd, orde grootte van een jaar, de railruwheid weer verder toenemen (zie figuur 5.20). Door vaker te slijpen is het mogelijk om de gemiddelde ruwheid verder af te laten nemen. Uit IPG onderzoek [12] blijkt dat een geluidsreductie van ongeveer 2 a 3 dB(A) te verkrijgen is bij het slijpen van conventioneel spoor. Voor de HSL wordt ervan uitgegaan dat dit slijponderhoud reeds plaatsvindt. Als twee keer zo vaak geslepen wordt als nu het geval is, zal de geluidsreductie verder toenemen. Deze geluidsreductie zal echter niet nog eens 2 a 3 dB(A) zijn, maar minder zijn. Reden hiervan is dat bij verlagen van de spoorstaaf ruwheid de wielruwheid dominant wordt. Naar verwacht zal de geluidsreductie door vaker slijpen in de orde van grootte van 1 dB(A) liggen.

Het is de vraag of deze maatregel in de praktijk haalbaar is aangezien hiervoor de afspraken met de onderhouder van het spoor aangepast moeten worden. Daarnaast is mogelijk de bestaande slijpcampagne al zover geoptimaliseerd binnen de randvoorwaarden die vanuit gebruik en beheer van het tracé gesteld worden dat verdere verbetering niet meer mogelijk is.

Verwacht wordt dat vaker slijpen relatief eenvoudig is in te passen in de treindienst aangezien het slijpen 's nachts kan worden uitgevoerd wanneer de treindienst stil ligt. De gevolgen met betrekking tot de onderhoudbaarheid zullen daardoor beperkt zijn.

Een punt van aandacht is het feit dat railruwheidsbeheersing alleen het rolgeluid vermindert. Aangezien in paragraaf 3.2.3 is aangenomen dat het rolgeluid en het aerodynamisch geluid van vergelijkbare grootte zijn zal vaker slijpen maar een zeer beperkt effect hebben op de totale geluidsreductie (naar schatting tussen de 0 en 1 dB(A)).



Figuur 5.20 Verlaging gemiddelde ruwheid door het vaker slijpen van het spoor

Kosten

Volgens het IPG onderzoek bedragen de kosten voor akoestisch slijpen van conventioneel spoor voor 30 jaar ongeveer € 80 per meter. Voor de HSL wordt er van uitgegaan dat dit slijponderhoud reeds plaatsvindt. Om een verdere reductie te verkrijgen zoals hiervoor genoemd moet er vaker geslepen worden. Wanneer er twee keer zo vaak geslepen wordt bedraagt de extra benodigde investering nog eens € 80 per meter.

Het verder verlagen van de railruwheid is niet een maatregel die interessant is om lokaal te nemen. Deze maatregel is alleen kostentechnisch interessant als een groot gedeelte van het traject wordt geslepen.

Het voordeel van railslijpen als geluidsmaatregel is dat je het heel lokaal (over bijv. 500 meter lengte spoor) kan toepassen en alleen zolang als het nodig is. Er moet natuurlijk wel een substantieel deel van de totale HSL Zuid akoestisch geslepen worden omdat anders de kosten van het op locatie brengen van de slijptrein een onevenredig deel uitmaakt van de totale slijpkosten. Mocht in de toekomst, door bijvoorbeeld inzet van nog stiller materieel of wijziging van de dienstregeling, de geluidemissie van de baan wijzigen dan kan de slijpfrequentie hierop worden aangepast.

5.5 Combineren van maatregelen

Op het beoordelen van de effectiviteit van combinaties van maatregelen wordt niet nader in gegaan. Reden hiervoor is dat het bepalen van de effectiviteit van maatregelen afzonderlijk al moeilijk genoeg is. In het kader van deze globale inventarisatie is het daarom ondoenlijk om inzicht te geven in de effectiviteit van combinaties van maatregelen.

6 Beoordeling van mogelijke aanvullende maatregelen

In paragraaf 6.1 worden de verschillende maatregelen opgesomd en beoordeeld. In paragraaf 6.2 wordt beoordeeld in welke mate de verschillende maatregelen geschikt zijn om in te zetten op de in paragraaf 3.2 genoemde locaties waar mogelijk hoge geluidsniveaus kunnen optreden.

6.1 Algemene beoordeling

In deze paragraaf worden de verschillende maatregelen opgesomd en beoordeeld (zie tabel 6.2). Beoordeling vindt plaats op:

- De effectiviteit (verwachte geluidsreductie).
- De kosten.
- De technische haalbaarheid.

Aangezien het hier een inventariserend onderzoek betreft is de effectiviteit van de verschillende maatregelen niet exact bekend (hangt ook af van de omstandigheden). Om deze reden wordt de geluidemissie in tabel 6.2 aangegeven met sterren (zie tabel 6.1).

Geluidreductie door maatregel [dB(A)]	Aantal sterren
0 - 3	*
4 - 7	**
> 7	***

Tabel 6.1

In tabel 6.4 is de onderhoudbaarheid van de maatregel weergegeven met plussen en minnen. In tabel 6.2 is de betekenis van de plussen en minnen weergegeven.

Betekenis	Onderhoudbaarheid maatregel
Te onderhouden tegen lage kosten	+
Te onderhouden tegen medium kosten	+/-
Te onderhouden tegen hoge kosten	-

Tabel 6.2

In tabel 6.4 is de technische haalbaarheid van de maatregel weergegeven met plussen en minnen. In tabel 6.2 is de betekenis van de plussen en minnen weergegeven.

Betekenis	Technische haalbaarheid
Technisch eenvoudig te realiseren	+
Technisch middelmatig eenvoudig te realiseren	+/-
Technisch moeilijk te realiseren	-

Tabel 6.3

Maatregel	Geluid-reductie	Kosten per strekkende meter	Onderhoudbaarheid maatregel	Technische haalbaarheid	Beperking	Opmerking
Dempen spoortrillingen						
Aanbrengen raildempers	*	€ 500	+	+/-	Onbekend bij 300 km/h	
Absorptie						
Absorptie aanbrengen op betonplaten spoor	*	€ 300-450	+/-	+	Nader te bepalen met toegankelijkheid bevestigingsmiddelen	
Absorptie aanbrengen wanden cutting	*		+	+	Alleen effectief als er nog geen dempingsmateriaal aanwezig is	Zie opmerking over kosten in paragraaf 5.2.2
Afschermen						
Scherf 1 m	*	€ 500	+	+	Fundering	
Scherf 2 m	*/**	€ 1000	+	+	Fundering	
Scherf 4 m	**/**	€ 2000	+/-	+	Fundering	
Scherf 5 m	***	€ 2500	+/-	+	Fundering	
Aanbrengen T-toppen	*	€480-€650	+/-	+/-	Alleen bij schermen	Gelijkwaardig met scherm verhogen met 1 m
Aanbrengen scherm tussen de sporen van 2 m	*	€ 1000	-	+	Alleen daar waar geen afscherming aanwezig is	Verwacht wordt beter effect dan verticaal scherm op regelmatige afstand
Mini schermen inclusief demping	*	€500	+	+	Alleen daar waar geen afscherming aanwezig is	Verwacht wordt beter effect dan verticaal scherm op regelmatige afstand
Gemodificeerde mini schermen	*	Nader te onderzoeken	+	+/-	Moet nog beproefd en toegelaten worden	
Verdere verlaging railruwheid						
Vaker slijpen	*	€ 80	+	+/-	Alleen effectief als de railruwheid voldoende laag is.	

Tabel 6.4 Vergelijking van de verschillende maatregelen.

6.2 Specifieke beoordeling

In paragraaf 6.2 wordt beoordeeld in welke mate de verschillende maatregelen geschikt zijn om in te zetten op de 4 in paragraaf 3.1 genoemde locaties waar mogelijke knelpunten kunnen optreden.

6.2.1 Aanvullende geluidsmaatregelen in Rijpwetering en Hoogmade

In deze subparagraaf wordt aangegeven welke aanvullende maatregelen mogelijk genomen kunnen worden op de locaties Rijpwetering en Hoogmade (Boskade). In figuur 6.5 en 6.6 is weergegeven hoe de lokale situatie is in respectievelijk Rijpwetering en Hoogmade (Boskade). Op de locatie Rijpwetering (km 33,4) bevinden zich aan de westzijde (links) 4 m hoge schermen en aan de oostzijde (rechts) 3 m hoge schermen. Spoorbaan ligt 6 m boven het maaiveld. Op de locatie Hoogmade (km 30,7) bevinden zich aan de westzijde (links) geen schermen en aan de oostzijde (rechts) 4 m hoge schermen. De spoorbaan ligt hier 7 m boven het maaiveld (gegevens afkomstig uit referentie [10]).

Deze beide locaties worden gezamenlijk geanalyseerd omdat deze locaties grote gelijkenis vertonen. Beide liggen hoog ten opzichte van het maaiveld en een mogelijk geluidsknelpunt treedt slechts op over een korte lengte (< 100m).

Worden de hoogtes van de schermen aangegeven in referentie [10] vergeleken met de schermhoogtes uit figuren 6.5 en 6.6 (afkomstig uit referentie [7]) op basis van een subjectieve visuele waarneming dan ontstaat de indruk dat de schermen in de genoemde figuren lager zijn dan aangegeven in referentie [10]. Aangeraden wordt daarom om na te gaan wat de werkelijke schermhoogte is en vast te stellen of deze afwijkt van de hoogte waarmee gerekend wordt. Een mogelijke oorzaak van een geluidsknelpunt zou kunnen zijn dat de werkelijke schermhoogte niet overeenkomt met de geplande hoogte in het Tracébesluit. In dit rapport wordt er van uitgegaan dat de schermhoogtes zoals genoemd in referentie [10] juist zijn.

Naarmate het scherm hoger wordt zal het rolgeluid beter worden afgeschermd. Pas als het scherm een vergelijkbare hoogte bereikt als de aerodynamische bron zal ook de aerodynamische bron in meer of mindere mate afgeschermd worden. Omdat bij een 4 meter hoog scherm (zoals aanwezig in Rijpwetering en Hoogmade) de pantograaf nog boven het scherm uitsteekt (bovenleiding bevindt zich 5,5 m boven bovenkant spoor) zal een groot gedeelte van het geluid van de pantograaf nog steeds niet afgeschermd zijn. De meest effectieve oplossing om het geluid verder te reduceren is in dat geval om het geluid van de pantograaf te reduceren. Dit kan alleen door het scherm te verhogen. De op rolgeluidsvermindering gerichte maatregelen als: railedempers, absorptie platen op het betonplaten spoor, T-toppen, gemoderniseerd minischermen en/of middenbermscherm, zullen op locaties waar al hoge schermen aanwezig zijn slechts een zeer beperkte reductie opleveren.

Opgemerkt wordt nogmaals dat als het uitgangspunt over de verhouding tussen de grootte van het rolgeluid en aerodynamisch geluid niet juist blijkt te zijn (zie paragraaf 3.2.3) dat dit grote gevolgen heeft voor de keuze van de meest geschikte aanvullende infrastructuur gebonden geluidsmaatregel.

Aan de zijde waar zich het 3 meter hoge scherm bevindt ligt de keuze tussen maatregelen die gericht zijn op het verminderen van rolgeluid en die gericht zijn op het verminderen van aerodynamisch geluid (conventionele schermen al dan niet gedempt) iets genuanceerder omdat in dat geval het rolgeluidsandaal in de totale geluidsemmissie enigszins toeneemt ten opzichte van de situatie met 4 m hoge schermen.



Figuur 6.5 Geluidsmaatregelen Rijpwetering (km 33,4) links hogere schermen dan rechts. Spoorbaan ligt 6 m boven het maaiveld (afkomstig uit referentie 7).



Figuur 6.6 Geluidsmaatregelen Hoogmade (km 30,7) alleen schermen aan de oostzijde. Spoorbaan ligt 7 m boven het maaiveld (afkomstig uit referentie 7).

6.2.2 Aanvullende geluidsmaatregelen in Berkel en Rodenrijs en Bergschenhoek

In deze subparagraaf wordt aangegeven welke aanvullende maatregelen mogelijk genomen kunnen worden op de trajecten bij Berkel en Rodenrijs en Bergschenhoek. De aanwezige infrastructuur betreft in beide gevallen een halfverdiepte cutting (zie figuur 6.5). De hoogte van de schermen aan weerszijden van het spoor variëren op de trajecten bij Berkel en Rodenrijs en Bergschenhoek. Op de zijkanten van de betonnen bak zijn absorberende platen aangebracht, zoals is te zien in figuur 6.7. Op sommige plaatsen op dit traject staan zelfs geen schermen aan één zijde.

Deze beide locaties worden samen geanalyseerd omdat deze locaties grote gelijkenis vertonen. Beide liggen verdiept ten opzichte van het maaiveld en mogelijk geluidsknelpunt treden op over enkele honderden meters.

Voor de locaties waar de bovenkant van het scherm zich 4 meter of hoger bevindt boven de bovenkant van het spoor gelden dezelfde overwegingen als genoemd in paragraaf 6.2.1. Op locaties waar de bovenkant van de schermen zich op 2 meter of lager bevindt dan de bovenkant spoor of daar waar helemaal geen schermen zijn geplaatst komen maatregelen die gericht zijn op het verminderen van rolgeluid mogelijk wel weer in beeld. Maar ook dan blijven schermen een mogelijke optie. Het betreft hier de volgende maatregelen die gericht zijn op het verminderen van rolgeluid:

- Raildempers
- Absorptie platen op het betonplaten spoor
- T-toppen
- Gemoderniseerd minischermen
- Middenbermscherm
- Combinatie van de hiervoor genoemde maatregelen

Keuze meest geschikte maatregel die gericht is op verminderen van rolgeluid

Op basis van het afwegen van kosten tegen effectiviteit is het afschermen van geluid het interessantst. De effectiviteit van het afschermen van geluid kan verder worden verbeterd door de opening tussen geluidbron (wiel en rail) en scherm te verkleinen. Dit kan door geluidschermen dichterbij het spoor plaatsen (waaronder plaatsen van een middenbermscherm) en door het plaatsen van gemodificeerde minischermen.



Figuur 6.7 Geluidsmaatregelen bij Berkel en Rodenrijs en bij Bergschenhoek; verdiepte ligging, absorptie platen en geluidsschermen.

7 Geraadpleegde bronnen

In het kader van dit onderzoek is kennis benut vanuit de referenties, contacten en van de auteurs. De referenties zijn weergegeven in het rapport zelf en in hoofdstuk 9. Informatie is gebruikt van M+P, Müller-BBM, DB, Infrasppeed, Z-bloc, IPG, TNO, V&W, Movares. Voor het opstellen van dit rapport zijn de volgende personen geraadpleegd: Bernd Asmussen (DB), Bart van Dijk (BAM), Rob Guldemond (Infrasppeed) en Anton van Himbergen (Lloyd's Register). De auteurs van dit rapport zijn Ard Kuijpers (M+P), Bart Langeloo (Lloyd's Register Rail) en Niels van Steenis (Lloyd's Register Rail) en hebben veel ervaring op het gebied van de infrastructuur van HSL-Zuid, het gebruikte materieel en spoorweggeluid.

8 Conclusies en aanbevelingen

Dit is een inventariserend rapport naar mogelijke aanvullende geluidsmaatregelen te nemen op het HSL-Zuid traject om de geluidsemissie te beperken. Op basis van deze globale beschouwing kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- 1 Er bestaat enige twijfel of de in de praktijk aangebrachte schermhoogtes overeenkomen met die waarmee gerekend wordt.
- 2 Het uitgangspunt dat het rolgeluid en het aerodynamisch geluid (met name pantograaf en bakovergang) van een trein bij 300 km/h, van vergelijkbare grootte zijn is sterk bepalend voor de keuze van de meest geschikte infrastructurele maatregel.
- 3 Op locaties waar zich al 4 meter hoge of hogere schermen bevinden zal alleen schermverhoging leiden tot substantiële geluidsreductie ($> 2\text{dB(A)}$).
- 4 Op locaties waar zich schermen van 4 meter of lager bevinden of daar waar zich geen schermen bevinden zijn de maatregelen gericht op het verminderen van alleen rolgeluid mogelijk wel interessant. Door implementeren van deze maatregelen kan maximaal een geluidsreductie worden bereikt van 3 dB(A). Het betreft hier de volgende maatregelen: raildempers, geluidsabsorberende platen op het betonplaten spoor, scherm tussen beide sporen, T-toppen gemodificeerde minischermen en/of tussenbermscherm

Op basis van deze globale beschouwing kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- 1 Nagaan of de aangebrachte schermhoogtes overeenkomen met die waarmee gerekend wordt o.a in berekeningen voor het Tracé besluit.
- 2 Vaststellen of het uitgangspunt dat het rolgeluid en het aerodynamisch geluid (met name pantograaf en bakovergang) van een trein bij 300 km/h, van vergelijkbare grootte zijn, juist is. Dit uitgangspunt is sterk bepalend voor de meest geschikte infrastructurele maatregel.
- 3 Eén of meerdere interessante maatregelen verder uit te werken voor een specifieke probleemlocatie als voorbereiding op verdere discussie en mogelijke klachten.
- 4 Voor het vast stellen van de meest geschikte aanvullende maatregel kan onderzocht worden welke geluidsreductie gewenst is te bereiken.

- 5 Hieronder wordt aangegeven voor welke aspecten van de verschillende maatregelen nader onderzoek gewenst is:
- a Nader onderzoek naar de effectiviteit van raildempers op een hogesnelheidslijn met Rheda spoor. Tevens onderzoeken hoe hoog de effectiviteit van de raildempers is in combinatie met het slijpen zoals dat wordt uitgevoerd.
 - b Nader onderzoek naar de kosten, de effectiviteit en de technische haalbaarheid van gemodificeerde minischermen.
 - c Nader onderzoek naar de effectiviteit van een scherm tussen de sporen en de mogelijkheden om een dergelijk scherm veilig te bevestigen op het betonplatenspoor
 - d Nader onderzoek uitvoeren naar de effectiviteit van de bestaande schermen. Met name wordt aangeraden het volgende te onderzoeken: bij Berkel en Rodenrijs en Bergschenhoek bevinden zich schermen aan de overzijde vanwaar zich de knelpunten voordoen. Aanbevolen wordt te onderzoeken in welke mate de schermen op de halfverdiepte ligging geluid richting woonwijk weerkaatsen.

9 Referenties

- 1 Eisses, A.R., *Evaluatie van de geluidemissie van de HSL-Zuid (dienstregeling september 2009)*, TNO, 15 oktober 2010, MON-RPT-033-DTS-03096
- 2 Eisses, A.R., *Evaluatie van de geluidemissie van hogesnelheidsmaterieel (Thalys) op de HSL-Zuid (dienstregeling december 2009)*, TNO, 11 januari 2010, MON-RPT-2010-00055
- 3 *HSL geluidbelastingen in gemeente Lansingerland op basis van meetresultaten tot en met 7 april 2010*, DCMR, 11 mei 2010 Rapport 21053677
- 4 *ICES onderzoeksproject Stiller TreinVerkeer*, 1999
- 5 *Bijlage IV, Behorende bij hoofdstuk 4 Spoorweg van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder*, 2006, versie augustus 2009
- 6 *2006062007 NMBS-Brd sp B stap 7.avi (film HSL Zuid infra)*, Lloyd's Register, 28 juni 2010, 404994
- 7 *2006061707 Rtd-Hfd sp A stap 7.avi (film HSL Zuid infra)*, Lloyd's Register, 28 juni 2010, 404992
- 8 *Eindrapport T-toppen*, Eindrapportage IPG 4.2.3, Verkeer & Waterstaat, 31 maart 2006, DWW-2006-044
- 9 *Kostenkengetallen raildempers en schermen*, Bureau de Boer in samenwerking met Lubbe en Larsen, april 2008 (LR Hy 03-421410)
- 10 Eisses, A.R. *Inventarisatie knelpunten HSL-Zuid*, 2 november 2010, 033.26117/01.02
- 11 Restated Implementation Agreement between the State of the Netherlands and Infrasppeed B.V., schedules 5.2 to 5.9, december 2001
- 12 Kuijpers, A.H.W.M., Schwanen, W., Dijck, B.H.C.A. van, *Beheersing railruwheid als geluidsmaatregel - van proefproject naar implementatie*, M+P rapport RAIL.06.15.11 rev. 4, 2 februari 2009
- 13 Thompson, D., *Railway Noise and Vibration*, Elsevier, eerste editie 2009
- 14 Toorn, J. D., van der, *Geluidschermen te Breda langs de bundel HSL-Zuid - A16 - bestaand spoor ter hoogte van station Prinsenbeek*, TNO, HAG-RPT-990062, 27 mei 1999 (LR Hy 03-421391 en 421397)

Appendices

Appendix A Schematische weergave infrastructuur HSL traject

In onderstaande figuur (A1) is een schematische weergave van de kunstwerken van de HSL Zuid weergegeven. Deze figuur is afkomstig van Wikipedia.







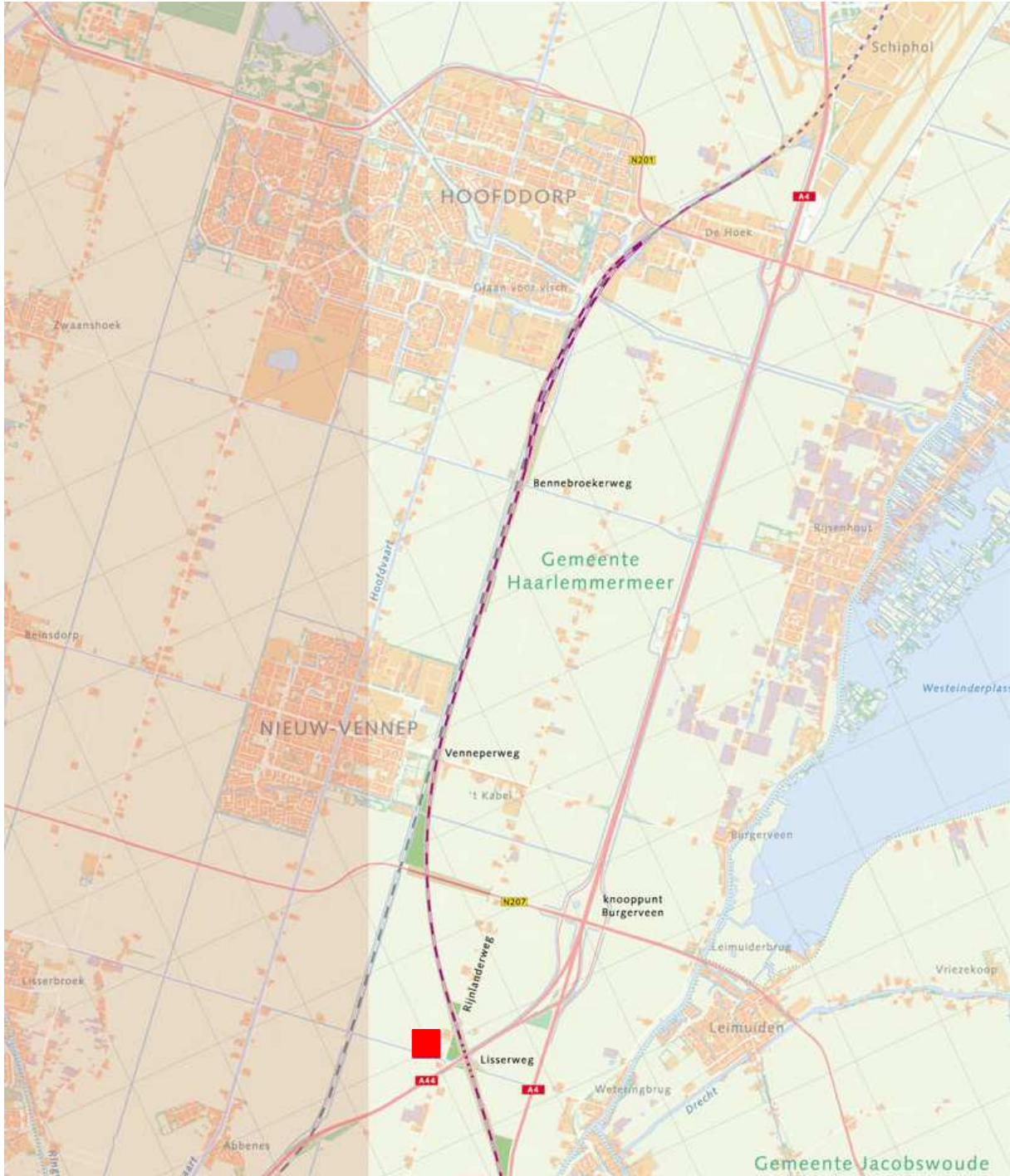
Figuur A1 schematische weergave van de HSL Zuid infrastructuur.

Appendix B Kaarten met de ligging van de HSL infrastructuur

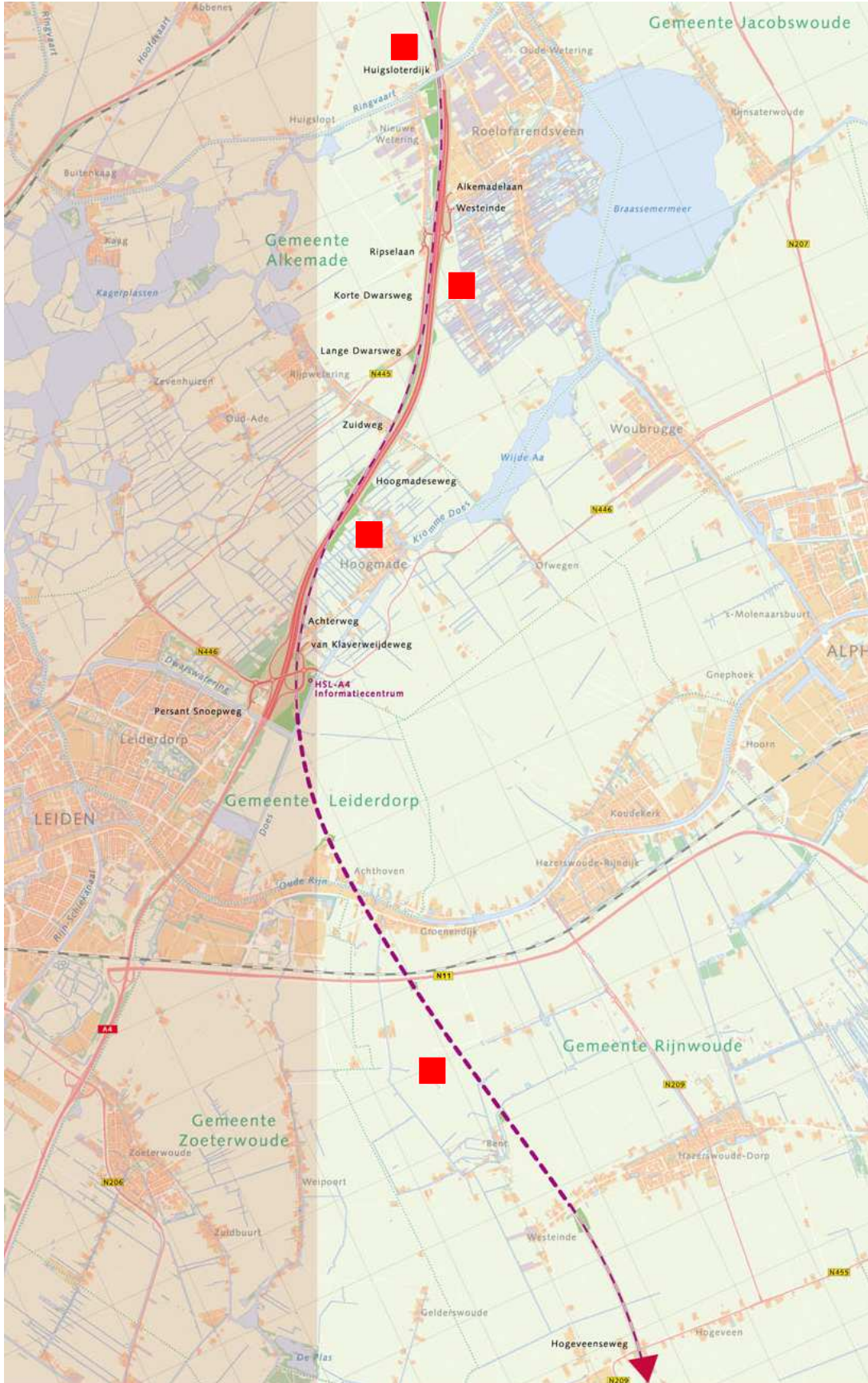
In figuren B1 tot en met B8 Zijn kaarten weergegeven waarop de ligging van de HSL-Zuid is weergegeven. De genoemde figuren zijn afkomstig van de website van ProRail.



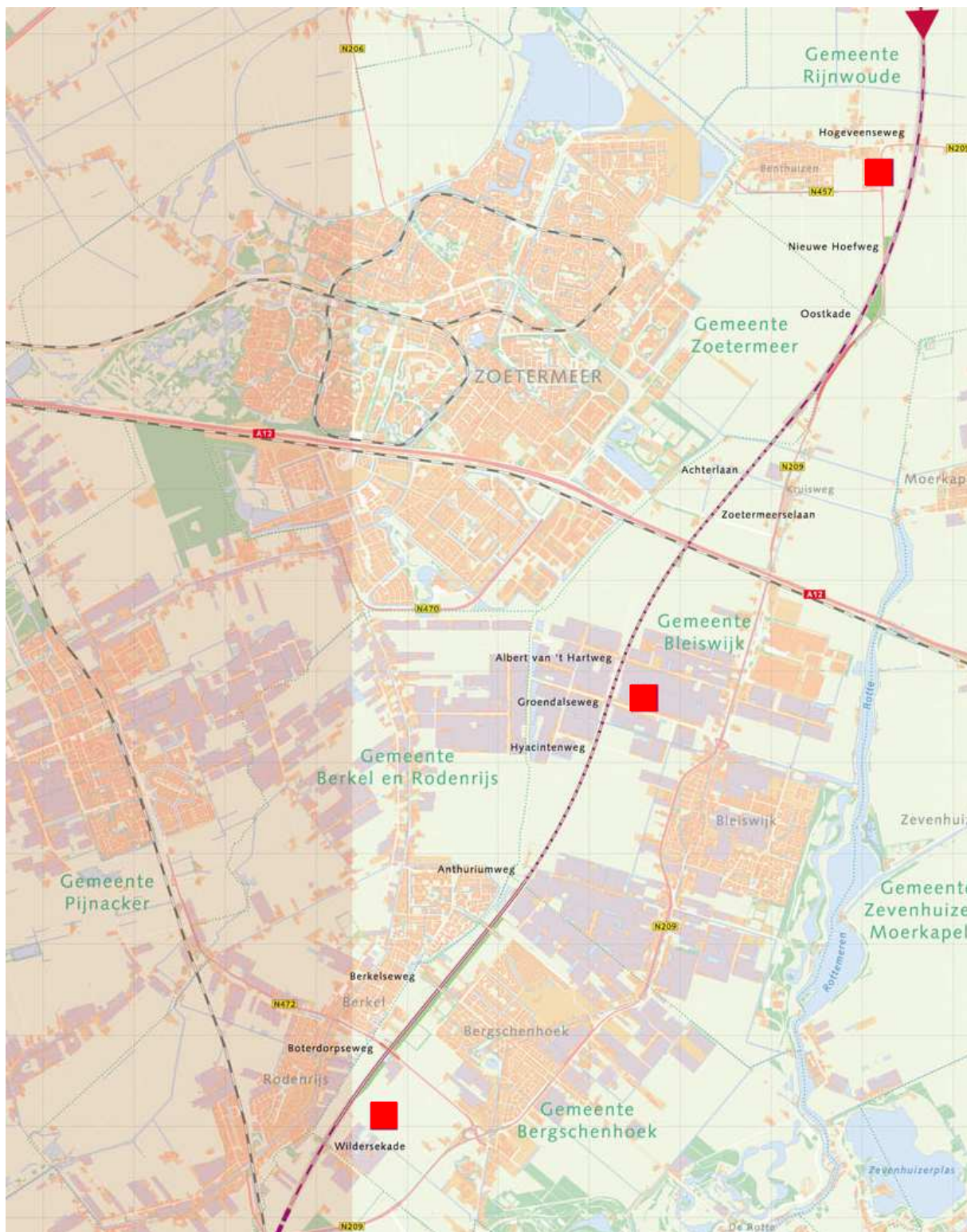
Figuur B1 Kaart met daarop de geografische ligging van de HSL Zuid.



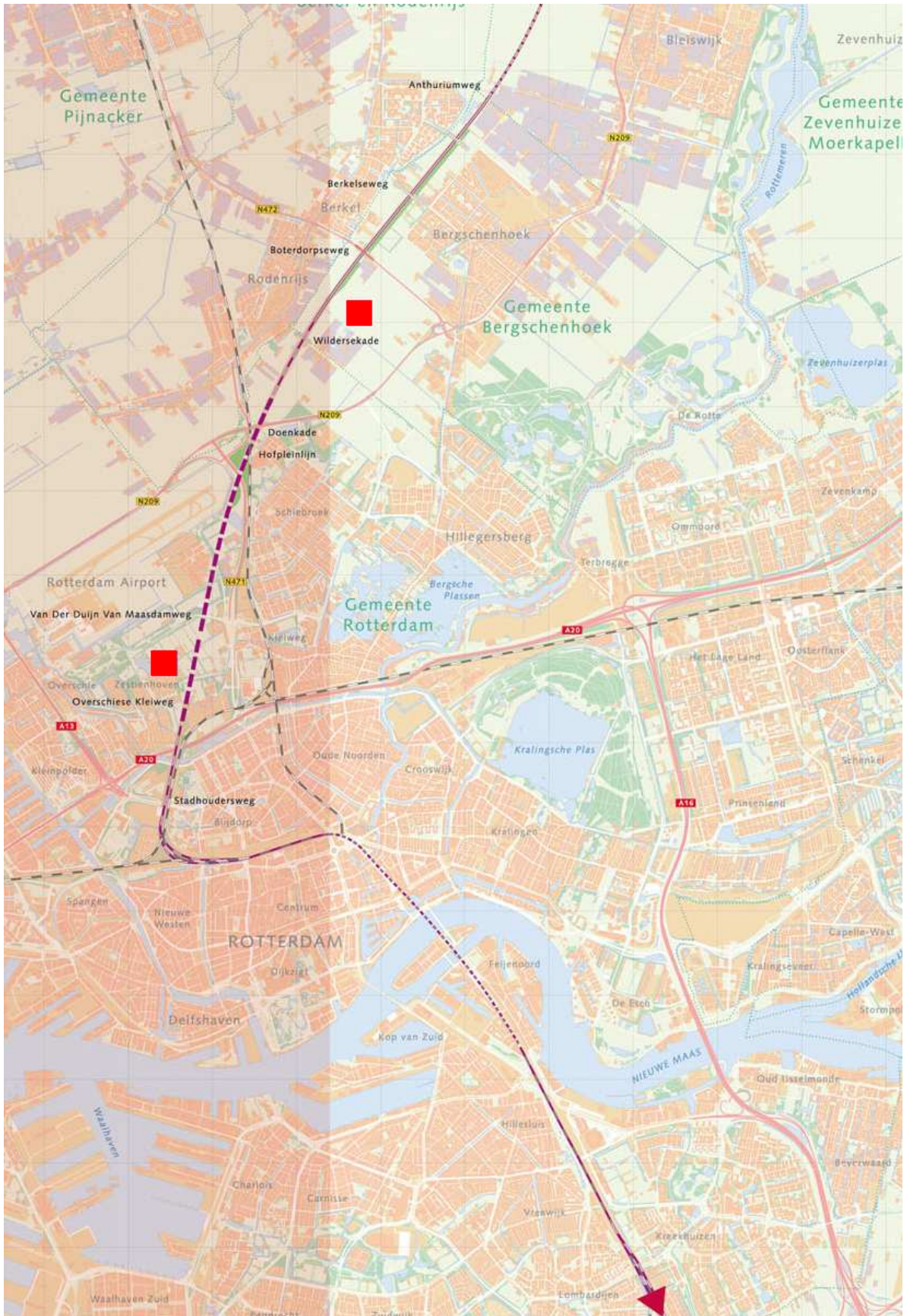
Figuur B2 Kaart van HSL Zuid gedeelte Schiphol tot Roelofarendsveen.



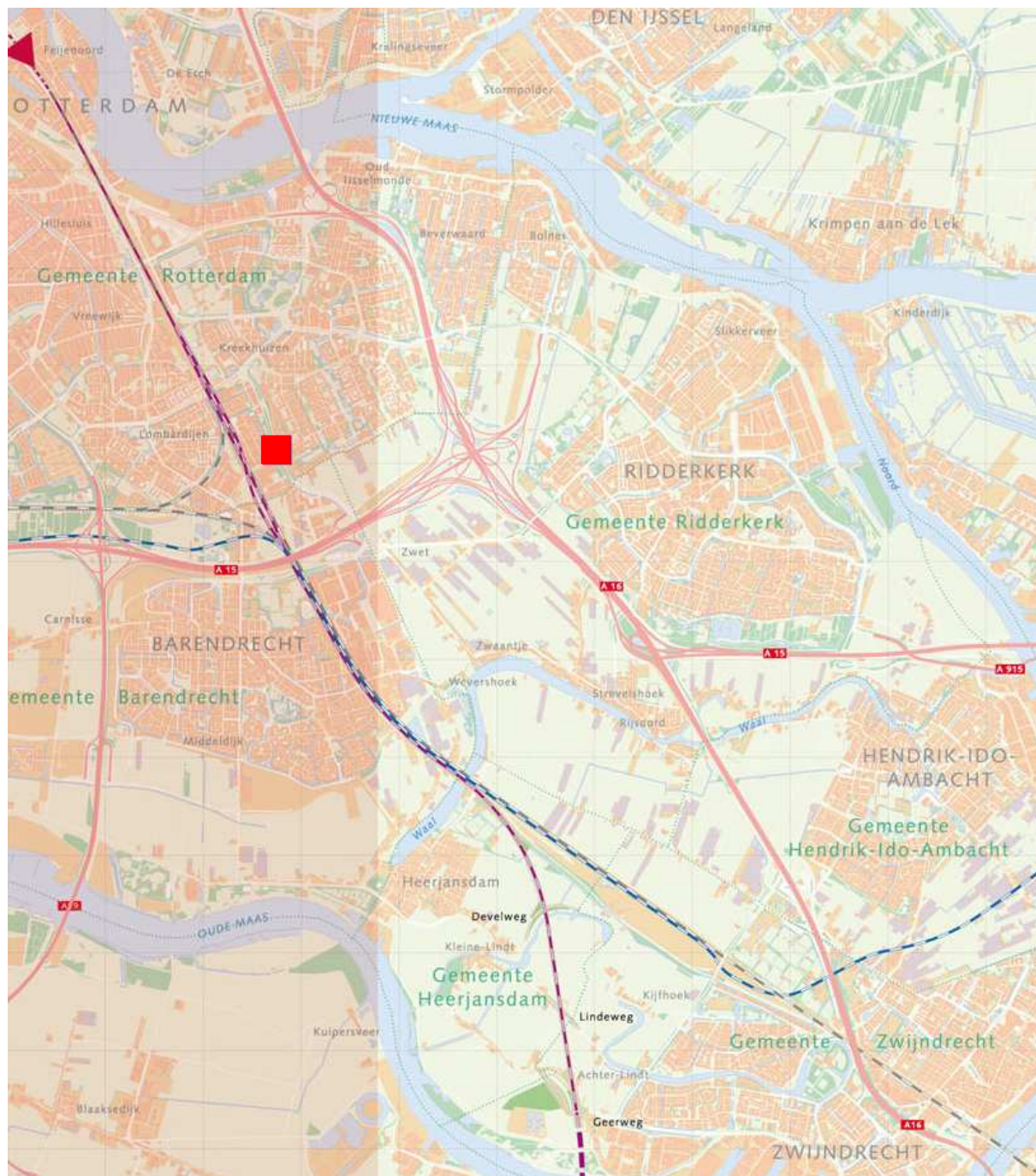
Figuur B3 Kaart van HSL Zuid gedeelte van Roelofarendsveen tot en met Hazerswoude dorp.



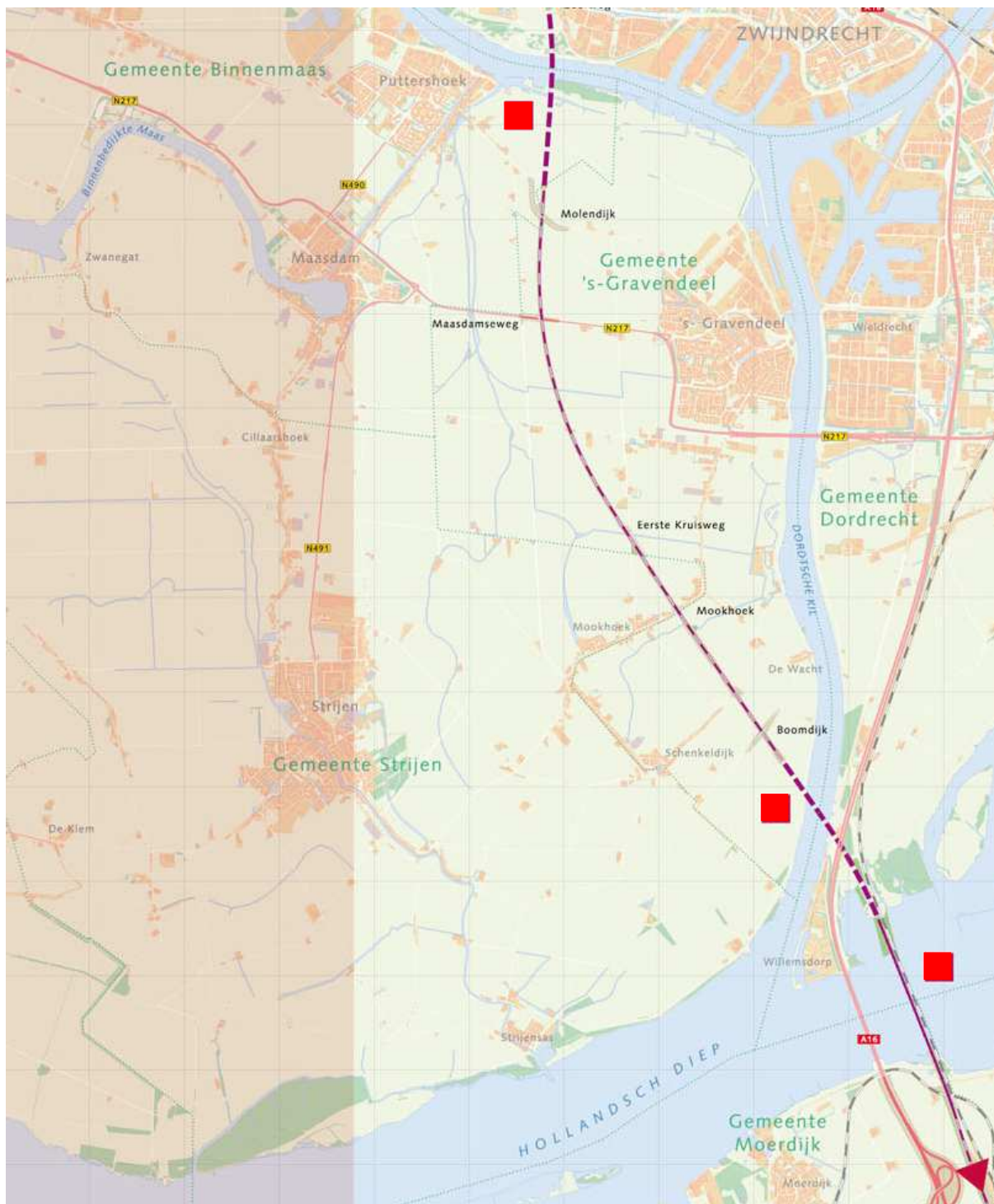
Figuur B4 Kaart van HSL Zuid gedeelte van Zoeterwoude tot en met Berkel en Rodenrijs.



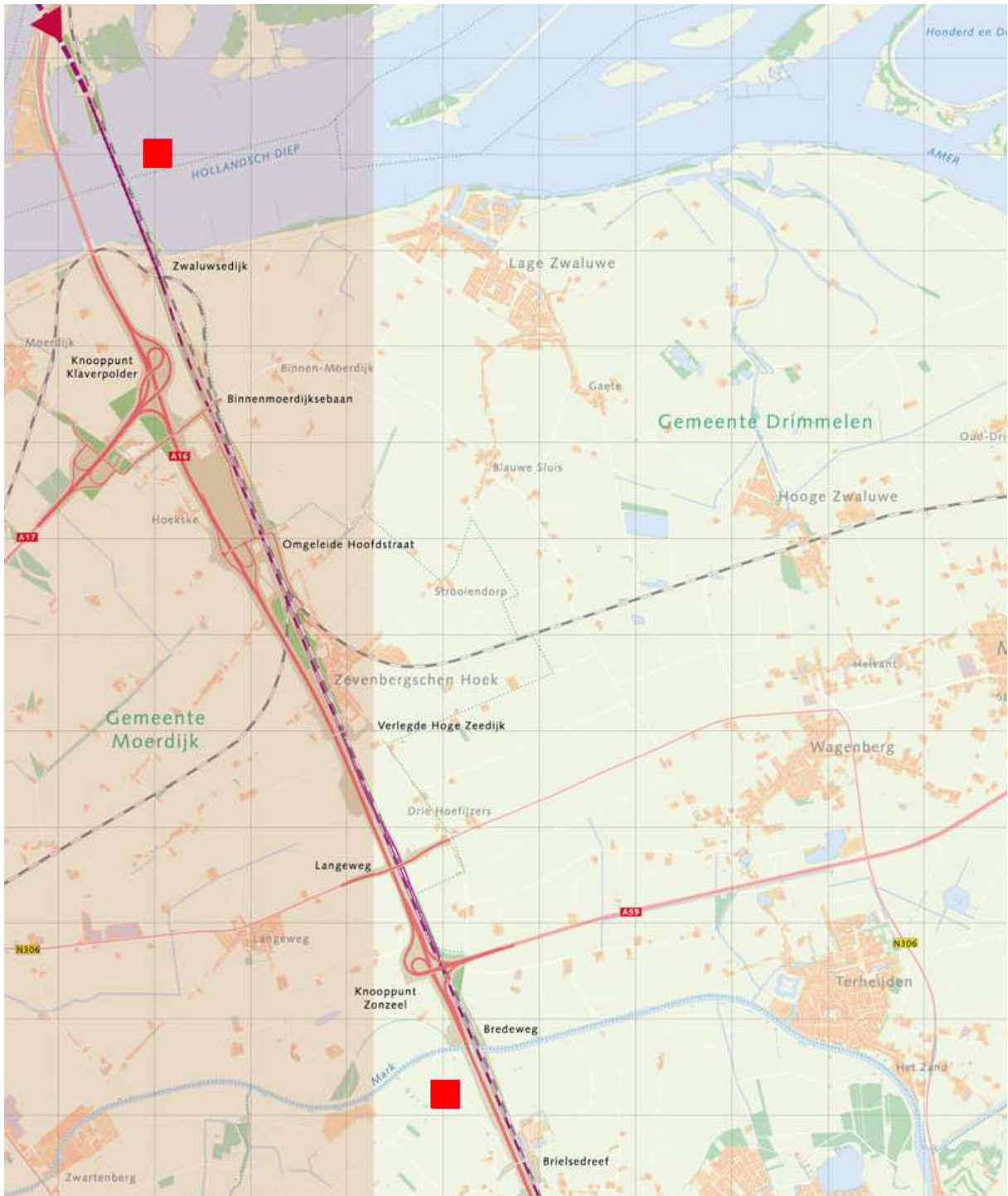
Figuur B5 Kaart van HSL Zuid gedeelte van Berkel en Rodenrijs tot en met Rotterdam.



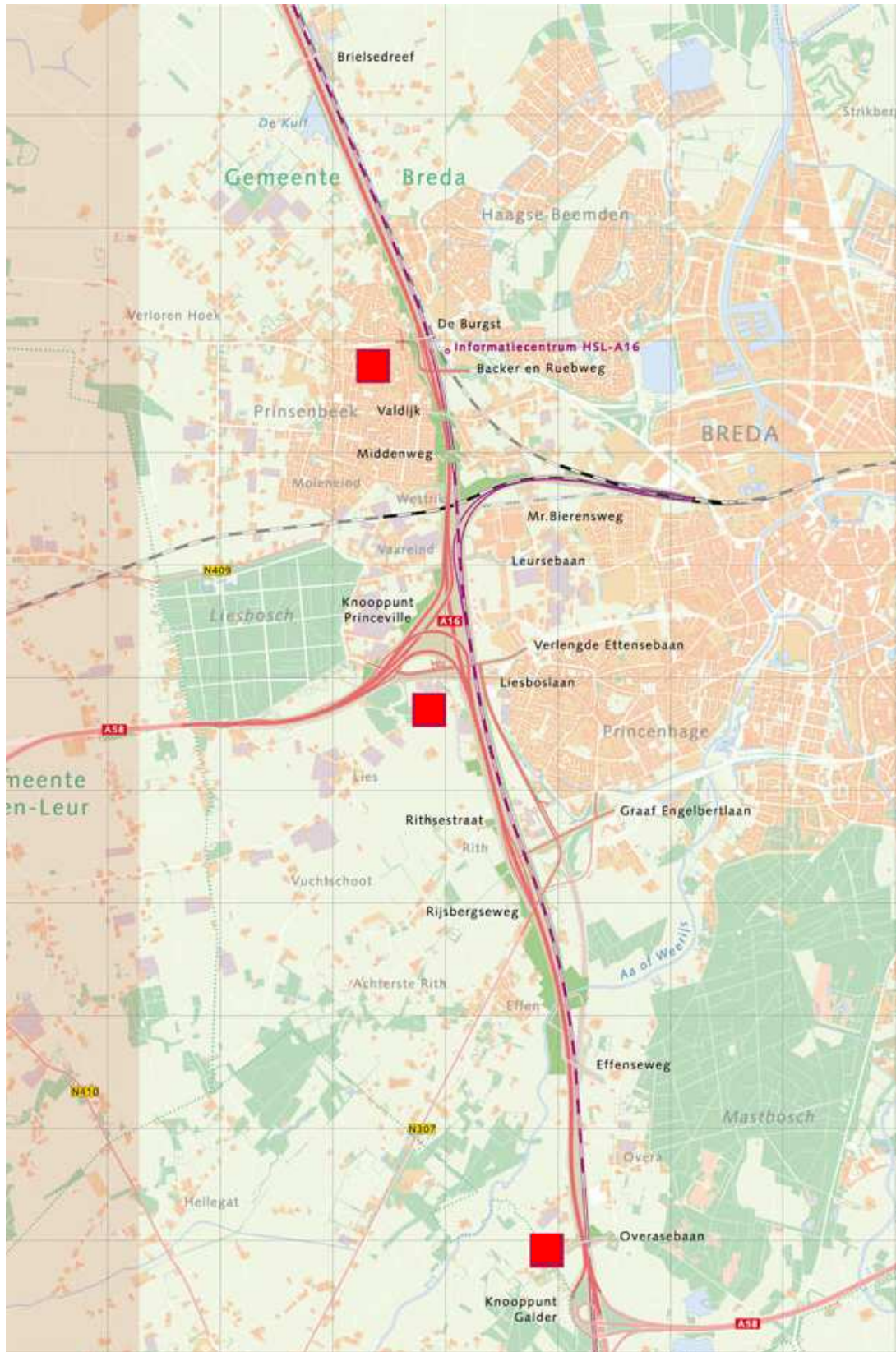
Figuur B6 Kaart van HSL Zuid gedeelte van Rotterdam naar Zwijndrecht.



Figuur B7 Kaart van HSL Zuid gedeelte van Zwijndrecht tot en met de brug over het Hollandsch diep.



Figuur B8 Kaart van HSL Zuid gedeelte van de brug over het Hollandsch diep tot aan Breda.



Figuur B9 Kaart van HSL Zuid gedeelte van de brug over het Hollandsch diep tot aan Breda.

Appendix C Locaties waar zich geluidschermen bevinden

In tabel C1 is aangegeven waar zich langs de HSL Zuid schermen van welke hoogte bevinden.

naam	zijde	van km	tot km	Hoogte :	HSL-Kilometrerig :
Wildersekade	oost	7,600	7,739	BS + 3 mtr.	
Vinex (omgeving Rodenrijseweg)	west	7,700	7,739	BS + 3 mtr.	
Vinex (omgeving Noordsingel)	west	8,300	9,260	BS + 3 mtr.	
Berkelseweg	west	9,930	10,060	BS + 2 mtr.	
Vinex (Berkelseweg/Boterd.weg)	oost	8,300	9,600	BS + 2 mtr.	
Saffier	west	10,600	11,188	BS + 3 mtr.	
				BS + 2 mtr.	
Anthuriumweg - DSV	oost	11,440	11,690	BS + 2 mtr.	111,436W-111,691W
Cyclamenweg - DSV	west	11,930	12,220	BS + 2 mtr.	111,949W-112,241W
Cyclamenweg - DSV	oost	11,930	12,220	BS + 2 mtr.	111,949O-112,241O
Laan van Mathenesse - DSV	west	14,860	15,160	BS + 2 mtr.	114,859W-115,161W
Laan van Mathenesse - DSV	oost	14,860	15,160	BS + 2 mtr.	114,858O-115,161O
Hyacintenweg - DSV	west	12,950	13,250	BS + 2 mtr.	112,950W-113,251W
Hyacintenweg - DSV	oost	12,950	13,250	BS + 2 mtr.	112,950O-113,251O
Groendalseweg - DSV	west	13,430	13,730	BS + 2 mtr.	113,430W-113,731W
Groendalseweg - DSV	oost	13,440	13,740	BS + 2 mtr.	113,441O-113,740O
Albert van het Hartweg - DSV	west	13,910	14,280	BS + 2 mtr.	113,907W-114,281W
Albert van het Hartweg / Anjerweg - DSV	oost	13,940	14,440	BS + 2 mtr.	113,938O-114,441O
Violierenweg - DSV	west	14,480	14,780	BS + 2 mtr.	114,489W-114,781W
Violierenweg - DSV	oost	14,480	14,780	BS + 2 mtr.	114,479O-114,780O
Zoetermeerselaan - DSV	west	15,700	15,950	BS + 2 mtr.	115,699W-115,944W
Nieuwe Hoefweg - DSV	oost	16,770	17,247	BS + 1 mtr.	
Oosterheem - DSV	west	16,600	16,622	BS + 4 mtr.	117,800-117,900W
Australieweg-Viaduct	west			BS + 4 mtr.	116,600W-117,236W
Oostkade-Viaduct	west			BS + 4 mtr.	118,640W-118,743W
Hoogeveenseweg	oost	20,330	20,647	ES + 2 mtr.	
Hoogeveenseweg	west	20,400	20,647	ES + 2 mtr.	
Achterweg Hoogmade	oost	30,390	30,430	BS + 4 mtr.	
Pergola Noordeinde Jacobsbouwde	oost	32,120	32,206	BS + 3 mtr.	
Rijpwetering	oost	33,040	33,344	BS + 3 mtr.	
Rijpwetering	west	33,210	33,344	BS + 4 mtr.	
Ringvaartquaduct	west	35,730	35,812	BS + 5 mtr.	
Rijnlanderweg 1	west	39,520	39,672	BS + 3 mtr.	
Rijnlanderweg 2	oost	40,120	40,470	BS + 2 mtr.	
Venneperweg / 't Kabel	oost	42,580	42,804	BS + 3 mtr.	

Kijfhoek	west	11,860	11,983		
Lindtsedijk	west	14,940	15,084		
Lindtsedijk	oost	15,130	15,230		
Mookhoek	west	22,340	22,377		
Mookhoek	oost	22,340	22,377		
ZH06	west	42,130	42,500		
ZH10	west	50,730	51,380		
RWS schermen Brabant Noord	west	28356,000	41,017		
RWS schermen Brabant Zuid	west	41017,000	54530,000		

Tabel C1 schermlocaties en schermhoogtes.

Appendix D Kosten berekening geluidsabsorberend materiaal Rheda baan

In tabel 1 is een grove inschatting van de kosten van het aanbrengen van geluidsabsorberend materiaal op de Rheda spoorbaan over 80 m. 80 m is de lengte die in 3 nachten door 1 ploeg van 3 man kan worden aangebracht. Hiervoor is 5 uur buitendienststelling wat 4 uur effectieve werktijd op locatie oplevert.

	Kostenpost	Bedrag
1	Inzet 1 stuks materieel Infrasppeed , hoogwerker met kraan	€ 1800/ inzet
2	Veiligheid , 2 man LWB en Wrktbgl/ werkzoneleider	€ 2000/ inzet
3	Werkvoorbereiding, logistieke en veiligheidsdocumenten	€ 150 /inzet
4	Werkploeg, 3 man, aan-afvoer materiaal en plaatsen materiaal	€ 3000 /inzet
5	Materiaal, en constructie	ca 5000-15000 € /80 meter
6	Totaal per 80 meter	€25.000 tot €35.000
7	Totaal per meter	€300-€450r