

8 LITERATUUR

Rapporten

Bal D., Beije H.M., Fellingier M., Haveman R., van Opstal A.J.F.M., van Zadelhoff F.J., 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Tweede, geheel herziende editie. Rapport Expertisecentrum LNV nr. 2001/020, Wageningen.

Directie Regionale Zaken, 2008, Aanwijzingsbesluit Voornes Duin. DRZO 2008-100

Directie Regionale Zaken, 2008. Aanwijzingsbesluit Voordelta. DRZO/2008-113

H.F. van Dobben, R. Bobbink, D. Bal en A. van Hinsberg, 2012. Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2397 2397.

Heinis, F. 2009, HWE, Windenergie op zee: (effecten op populaties van) zeezoogdieren en vissen?

Kleijn, D. 2008, Effecten van geluid op wilde soorten- implicaties voor soorten betrokken bij de aanwijzing van Natura 2000-gebieden, Wageningen, Alterra rapport 1705

Ministerie van verkeer en waterstaat, 2008. Beheerplan Voordelta, spelregels voor natuurbescherming, Provincie Zuid-Holland en Zeeland, juli 2008

Ministerie van Economische Zaken, Bijlagen Deel II herstelstrategieën voor stikstofgevoelige habitats, versie november 2012-1190

Profielen Habitatsoorten, Nauwe korfslak H1014, versie 1 september 2008

Programma Directie Natura 2000, 2011, Aanwijzingsbesluit Solleveld & Kapittelduin, PDN/ 2011-099

Programma Directie Natura 2000, 2010. Aanwijzingsbesluit Oude Maas, PDN/2010-108

RIVM, 2012, Notitie Duinenbijtelling in Natura 2000-gebieden in GDN

RIVM, 2010 Grootschalige concentratie- en depositiekaarten

Royal HaskoningDHV, 2013a. Passende beoordeling spooreplacement Maasvlakte West effecten stikstofdepositie, Prorail, 27 juni 2013, definitief eindrapport.

Royal HaskoningDHV, 2013b, PlanMer Calandbrug, concept versie 1.0, 19 december 2013

Royal HaskoningDHV, 2013c, Evaluatie Natura 2000 beheerplan Voordelta (2008-2014) Concept, juli 2013

Royal HaskoningDHV, 2013d, Beheerplan Bijzondere natuurwaarden Voornes Duin, ontwerpbeheerplan 2014-2019, definitief eindrapport, 1 november 2013

Sierdsema H. 1995. Broedvogels en beheer. Het gebruik van broedvogelgegevens in het beheer van bos- en natuurterreinen. SBB-rapport 1995-1, SOVON-onderzoeksrapport 1995/04. SBB/SOVON, Driebergen/Beek-Ubbergen.

Soortenstandaard Noordse Woelmuis, 2012, Dienst Regelingen.

Websites

www.maps.google.nl/

http://pas.natura2000.nl/pages/herstelstrategieen-deel_ii

<http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k>

[http://www.nwea.nl/sites/default/files/3%20-%20Effecten%20onderwatergeluid%20op%20zeezoogdieren%20en%20vissen%20-%20Floor%20Heinis%20\(HWE\)%20\(23-06-2009\).pdf](http://www.nwea.nl/sites/default/files/3%20-%20Effecten%20onderwatergeluid%20op%20zeezoogdieren%20en%20vissen%20-%20Floor%20Heinis%20(HWE)%20(23-06-2009).pdf)

<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl1399-Noordse-woelmuis.html?i=19-135>

www.rijksoverheid.nl

Opdrachtgever	: Havenbedrijf Rotterdam, Prorail
Project	: Voortoets Calandbrug
Dossier	: BC6441-101-105
Omvang rapport	: 45 pagina's
Auteur	: Celine Roodhart
Bijdrage	:
Interne controle	: Edith Dorsman, Janet Olthof
Projectleider	: Janet Olthof
Projectmanager	: Jos de Lange
Datum	: 28 maart 2014
Naam/Paraaf	:



HaskoningDHV Nederland B.V.

Rivers, Deltas & Coasts

Laan 1914 nr. 35

3818 EX Amersfoort

Postbus 1132

3800 BC Amersfoort

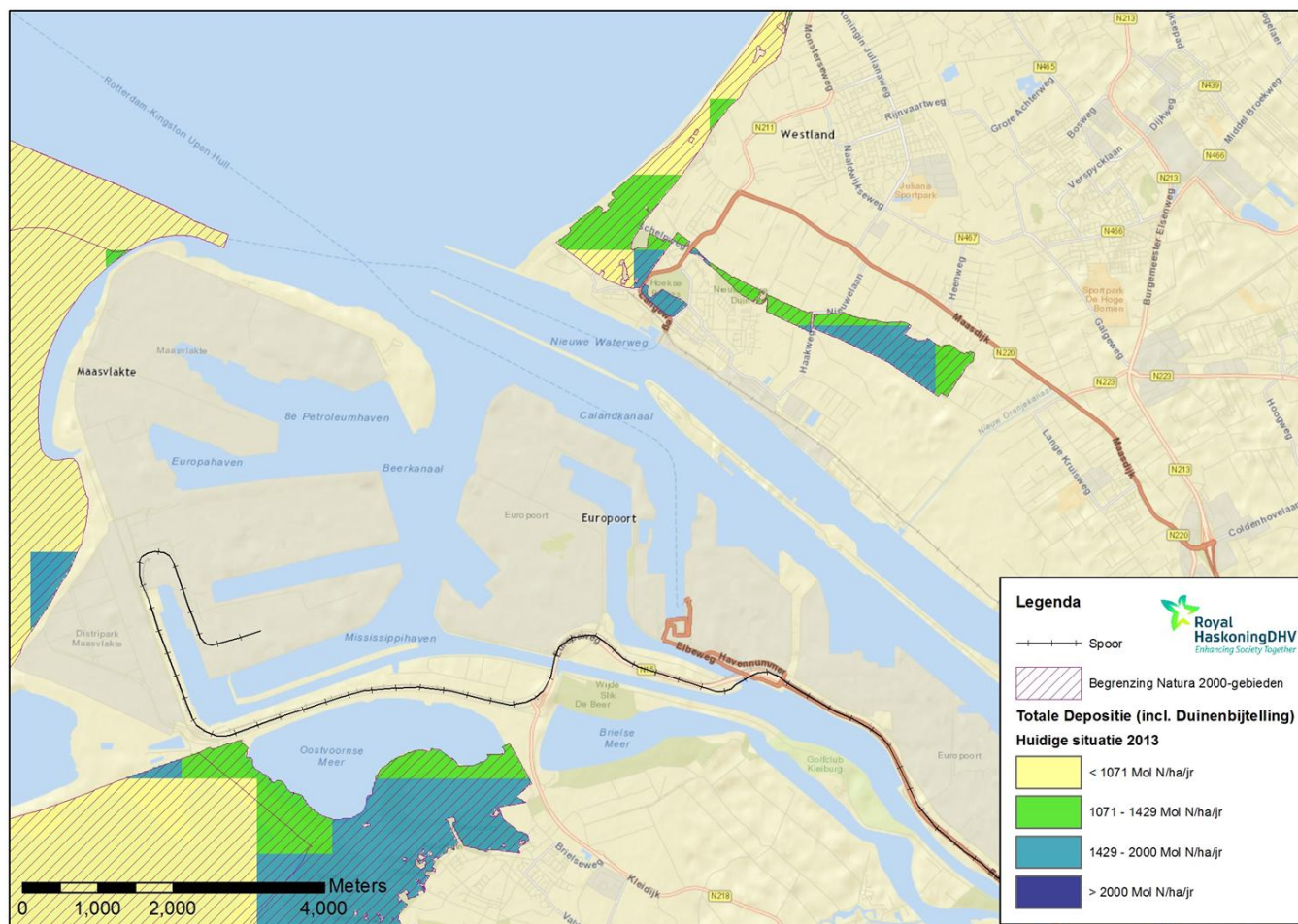
T (088) 348 20 00

F (088) 348 28 01

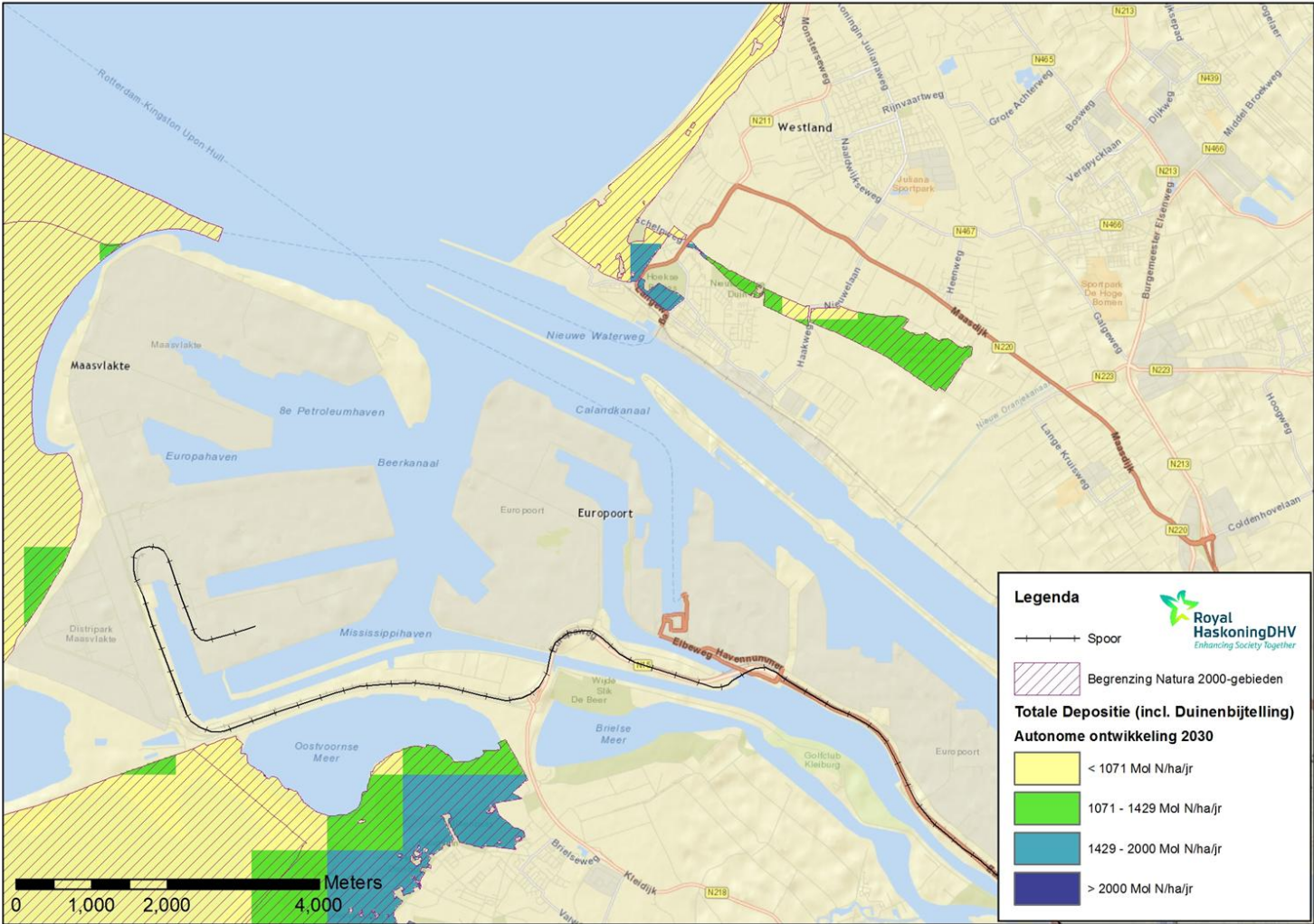
E info@rhdhv.com

W www.royalhaskoningdhv.com

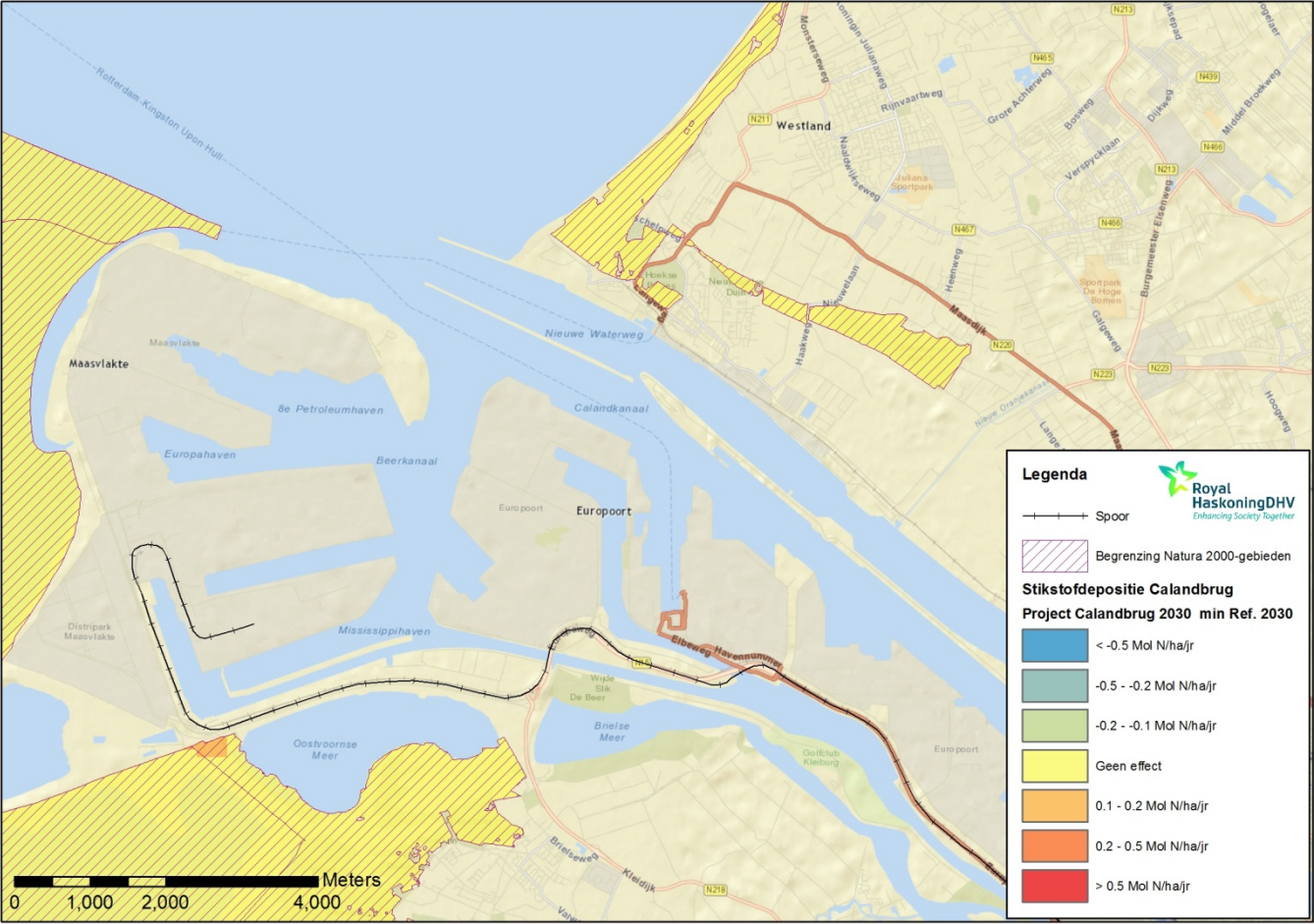
BIJLAGE 1a. Totale stikstofdepositie huidige situatie 2013



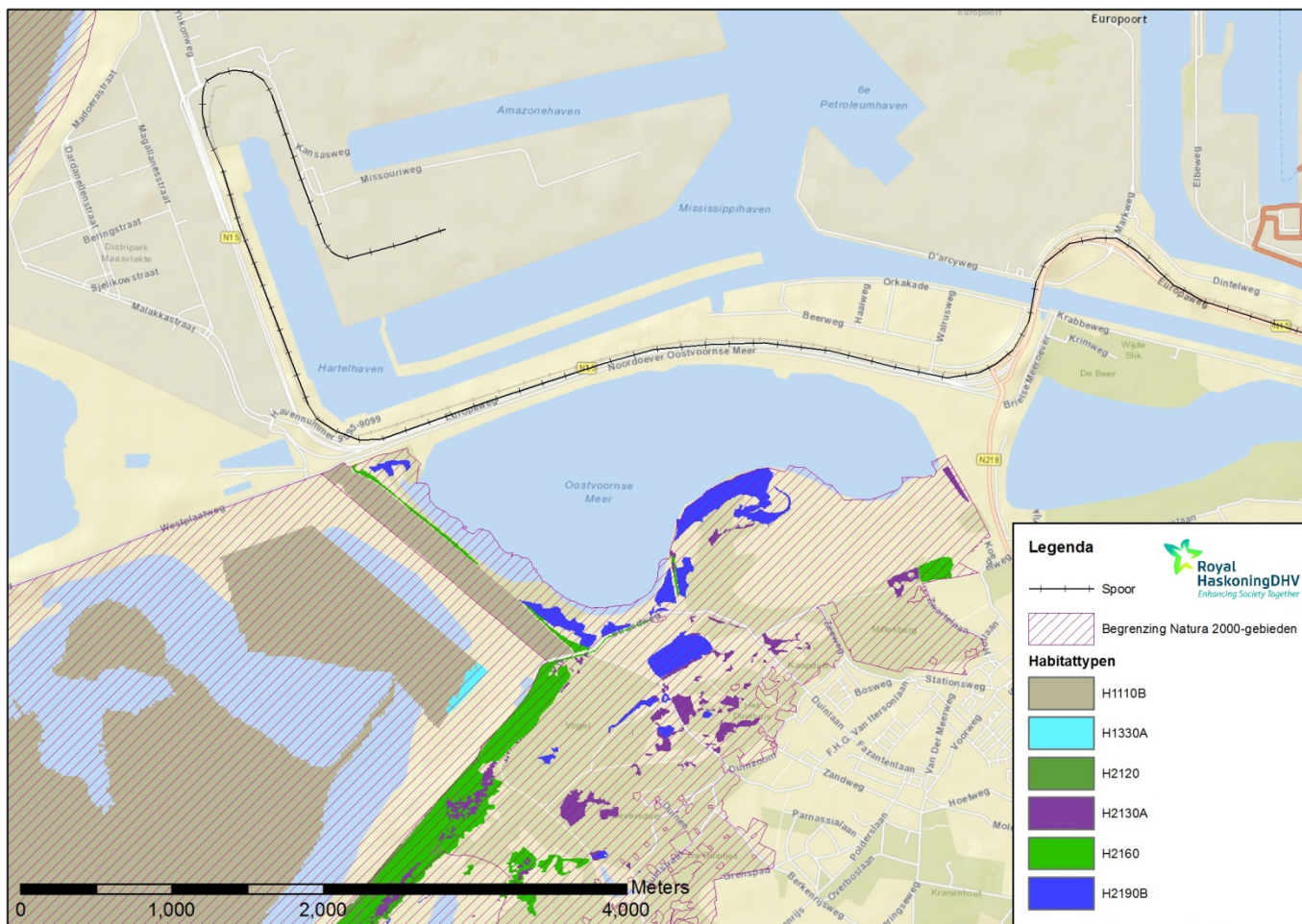
Bijlage 1b. Totale stikstofdepositie 2030



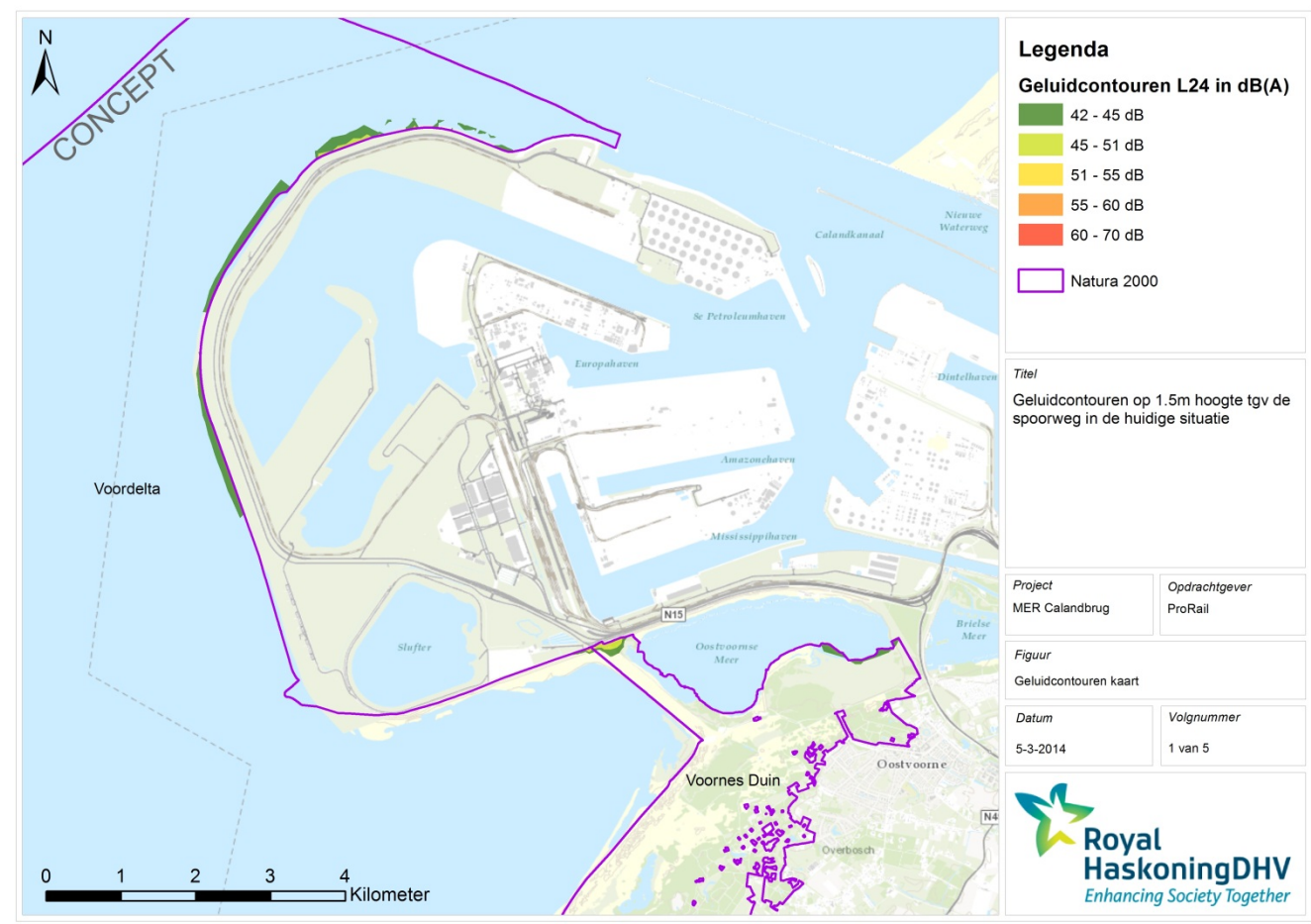
Bijlage 1c. Stikstof projecteffect Project Calandbrug 2030 min Referentiesituatie 2030



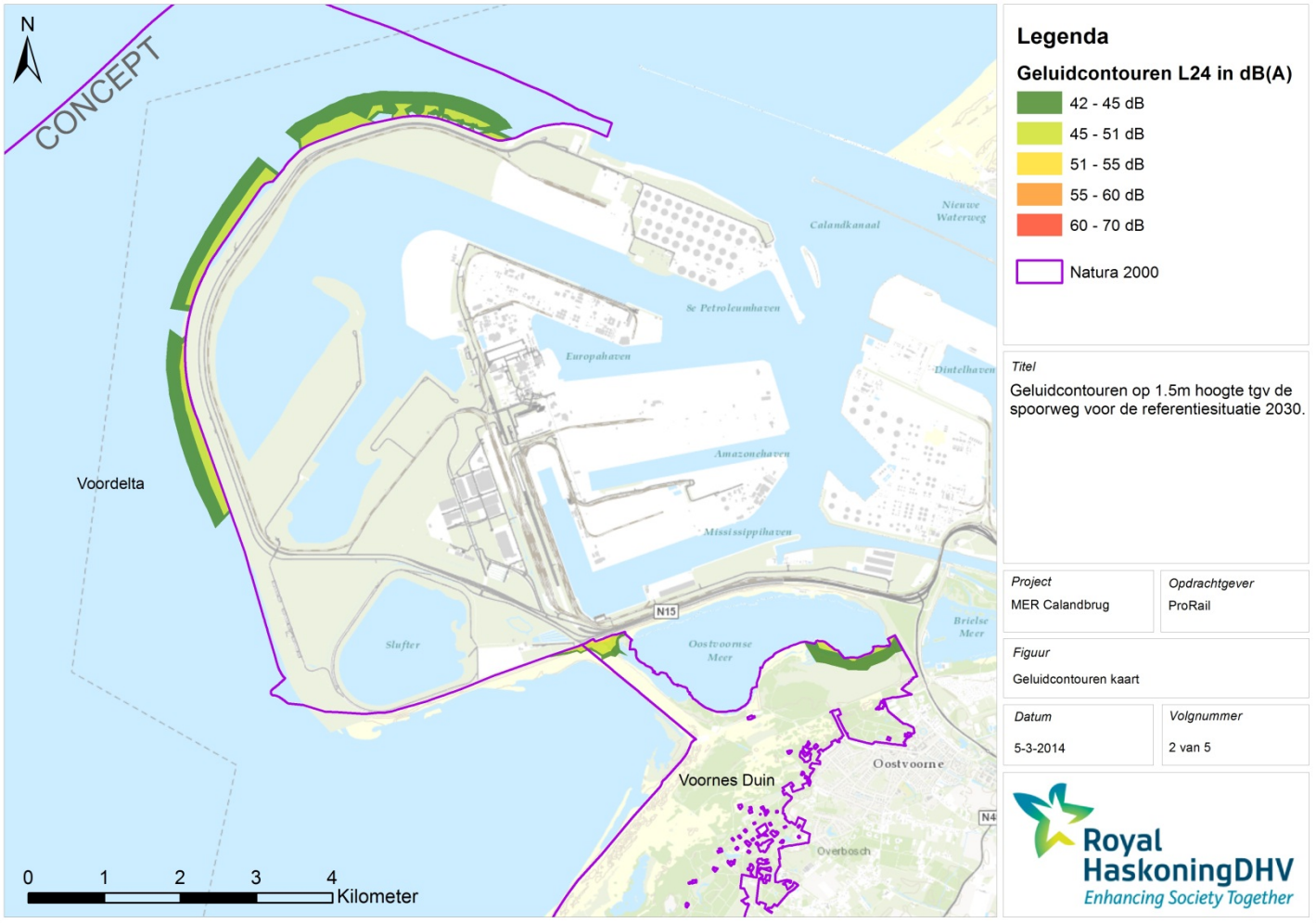
Bijlage 1d. Voor stikstof gevoelige Habitattypen



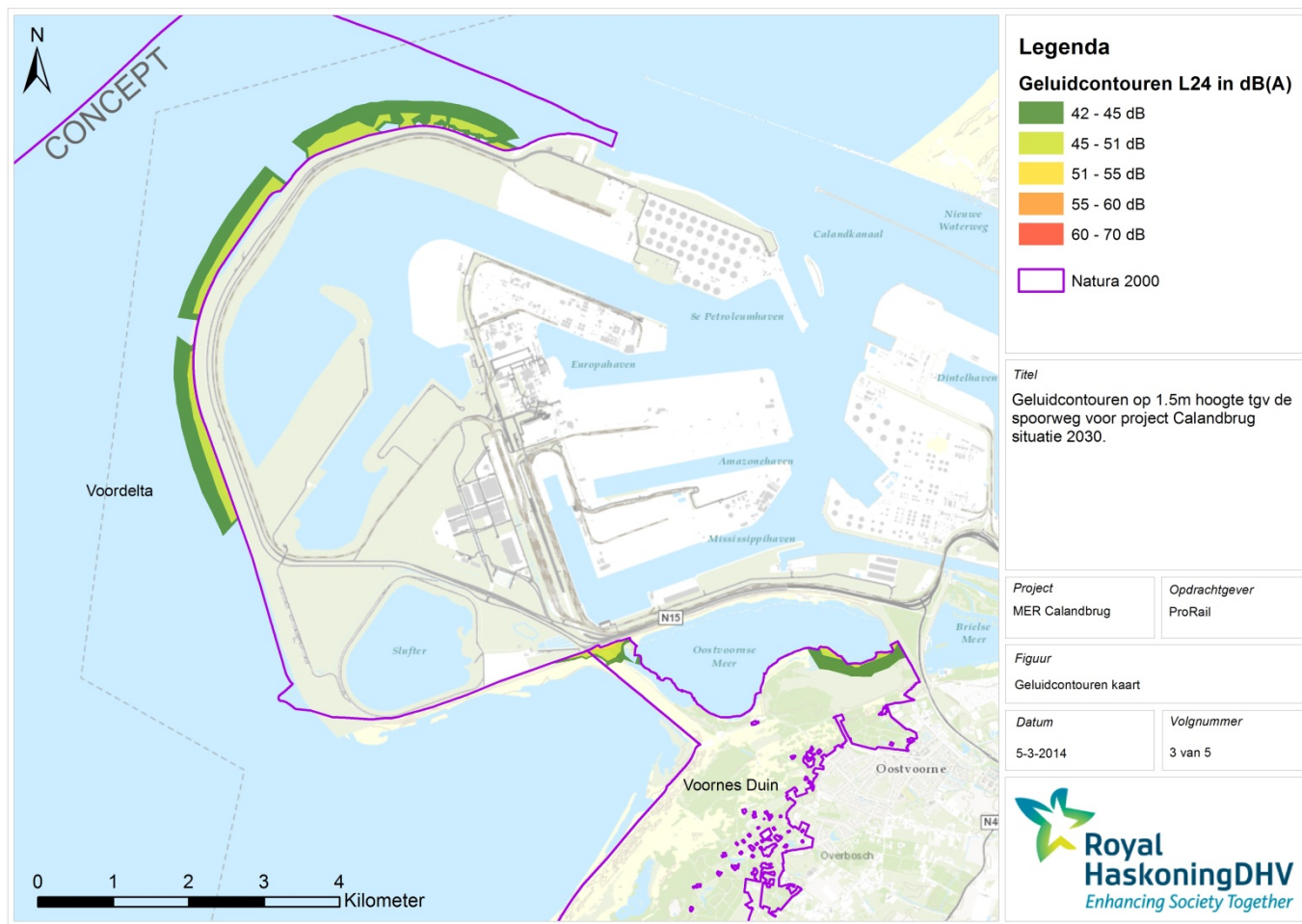
Bijlage 2a. Geluidscontour huidige situatie spoor



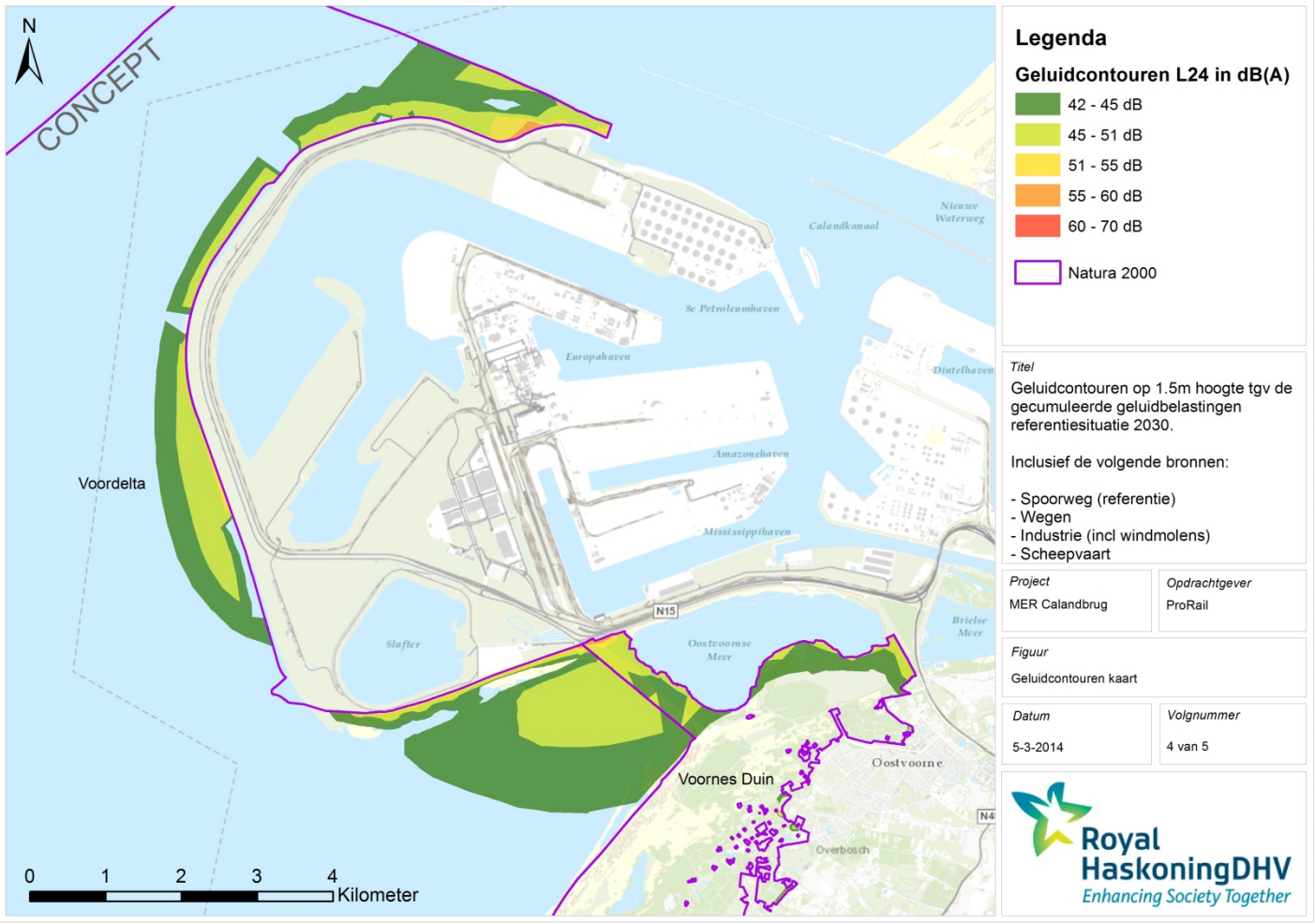
Bijlage 2b. Geluidscontour spoorweg referentiesituatie



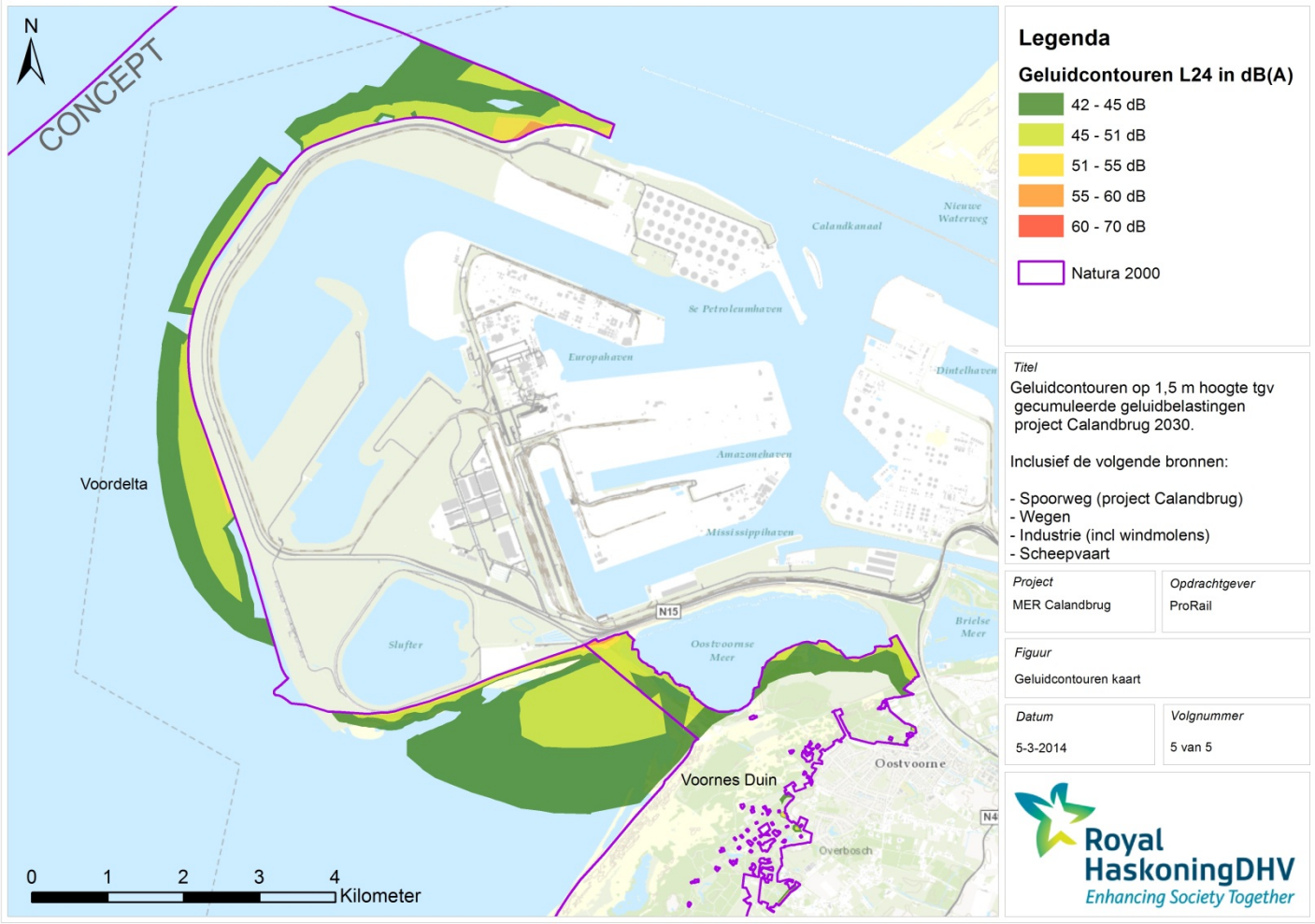
Bijlage 2c. Geluidscontour spoor project Calandbrug



Bijlage 2d. Geluidscontour cumulatie referentiesituatie



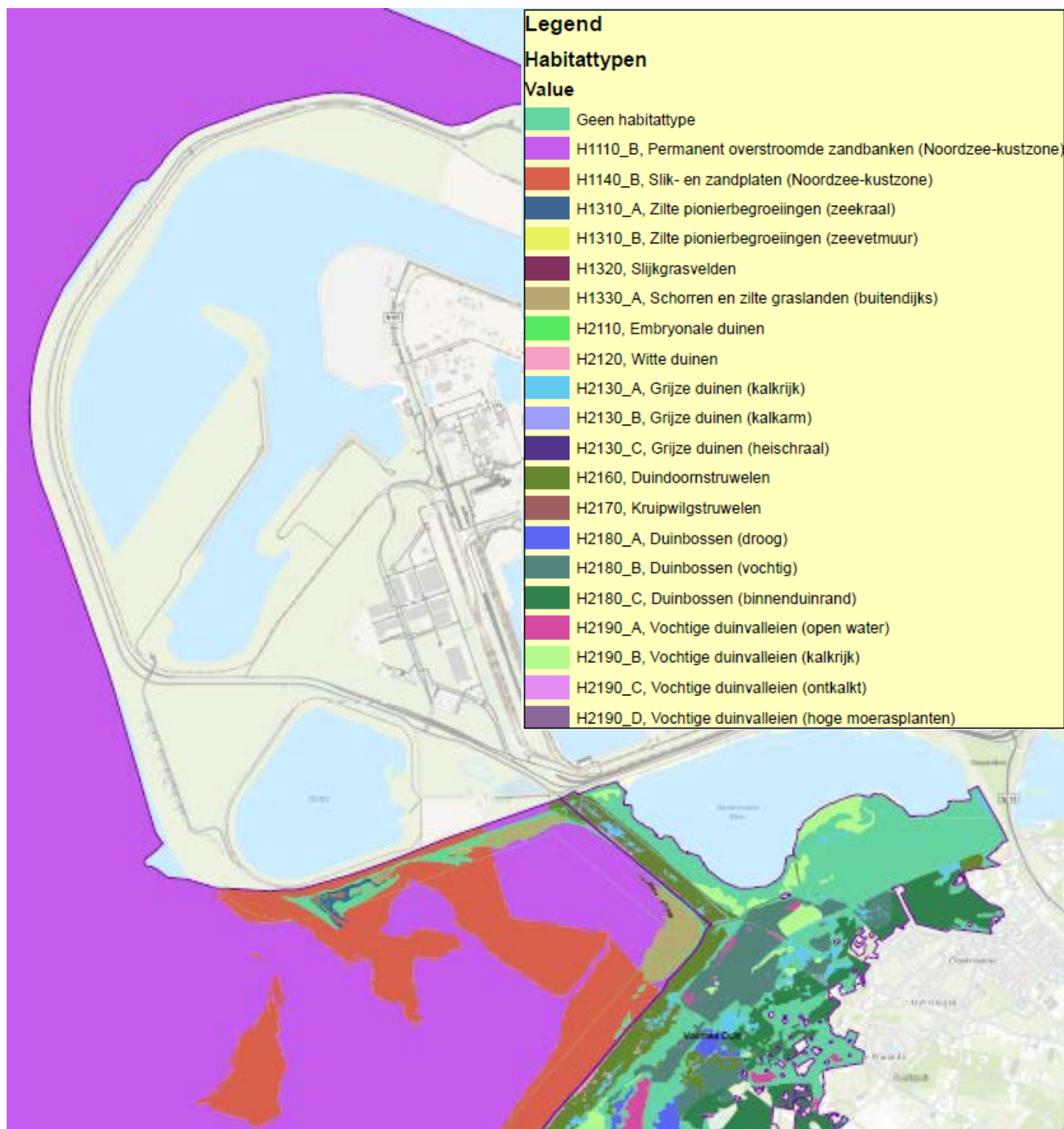
Bijlage 2e. Geluidscontour cumulatie Project Calandbrug



Bijlage 3. Resultaten berekeningen stikstofdepositie

		Huidige Situatie 2013				Autonome Situatie 2030							Oppervlakte		
			Min	Max	Gem	Min	Max	Gem		Totaal oppervlak habitattype	Oppervlak overschrijdi ng KDW HS in 2013	Oppervlak overschrijdi ng KDW AO in 2030		Planeffect	
N2000-gebied		[mol N/ha/ j]	[mol N/ha/ j]	[mol N/ha/ j]	[mol N/ha/ j]	[mol N/ha/ j]	[mol N/ha/ j]	[mol N/ha/ j]					0	0.1-0.2	>0.2
Voornes Duin (100)	H2130A	1071	1067	2107	1539	962	1940	1395	Ha	75.1	74.2	62.0	74.6	0.5	0.0
									%	100%	99%	83%	99.3%	0.7%	0.0%
	H2110	1429	1048	1673	1285	952	1520	1154	Ha	2.0	0.7	0.3	2.0	0.1	0.0
									%	100%	33%	17%	97.4%	2.6%	0.0%
	H2190B	1429	1099	2107	1402	979	1940	1269	Ha	57.0	31.6	18.3	56.2	0.9	0.0
									%	100%	55%	32%	98.4%	1.6%	0.0%
	H2160	2000	1055	1970	1393	957	1820	1256	Ha	163.1	0.0	0.0	159.1	4.0	0.0
									%	100%	0%	0%	97.5%	2.5%	0.0%
	H1110B	2400	1067	1534	1120	962	1386	981	Ha	7.9	0.0	0.0	6.6	1.4	0.0
									%	100%	0%	0%	82.9%	17.1%	0.0%
	Volledig gebied		1055	2107	1564	957	1940	1419		1432.4			1425,5	6,9	0
Voordelta (113)	H2130A	1071	1132	1534	1283	1017	1386	1156	Ha	0.3	0.3	0.1	0.3	0.0	0.0
									%	100%	100%	38%	100.0%	0.0%	0.0%
	H2110	1429	1025	1673	1162	932	1520	1046	Ha	756.4	80.8	23.3	755.4	1.0	0.0
									%	100%	11%	3%	99.9%	0.1%	0.0%
		Volledig gebied		971	1673	1024	872	1520	934		28674.1			755,7	1
	H2..	Habitattype is niet aangewezen in het aanwijzingsbesluit													

Bijlage 4. Habitattypenkaart



BIJLAGE 9 Overzicht Rode Lijstsoorten

Flora

Rode lijst soorten die worden verwacht volgens de NDFF gegeven; wintermos, veldgerst, kamgras, sierlijke vetmuur, boomsterretje. Grutters en van de Broek et al (2013) hebben het voorkomen van de volgende soorten aangetoond: zomerklokje, stijf hardgras, spindotterbloem, sierlijke vetmuur, tripmadam, kattendoorn, echt lepelblad, zinkboerenkers, blauw walstro en stijve en rode ogentroost. Op basis van het veldbezoek wordt verwacht dat de schrale graslandjes (bermen) langs de Mannheimweg rode lijst soorten herbergen. Tijdens het veldbezoek is alleen stijve ogentroost aangetroffen

Broedvogels

Rode lijst soorten die kunnen voorkomen zijn draaihals, nachtegaal, middelste zaagbek, visdief, zilverreiger, blauwe kiekendief, huiswaluw, huismus, spotvogel, slechtvalk, roerdomp, zwarte stern, oeverloper, tureluur en de grote mantelmeeuw (NDFF, 2013) Uit gegevens van Grutter et al en van de Broek et al (2013) blijkt dat de groene specht, slechtvalk, huismus, graspieper en kneu zijn aangetoond in het plangebied.

Zoogdieren

Volgens de NDFF gegevens worden de volgende rode lijst soorten verwacht: noordse woelmuis en bruinvis en hermelijn. Op waarneming.nl worden enkele meldingen gedaan van dood gevonden bunzings. Tijdens het veldbezoek zijn er konijnen gezien en holen van veld- en bosmuizen. Het rietveld langs de Mannheimweg op terrein van Huntsman is geschikt als habitat voor de hermelijn.

Vleermuizen

Uit de NDFF gegevens blijkt dat rode lijst soorten zoals de rosse vleermuis, de ruige en gewone dwergvleermuis voorkomen in het gebied. Volgens de gegevens van Grutter et al. (2013) Komt de Laatvlieger voor bij het gebied rondom de Rozenburgse sluis. Daarnaast komen er ook gewone dwergvleermuizen voor (van de Broek et al, 2013). Uit het veldbezoek is gebleken dat deze soorten gebruik kunnen maken van de groenstructuren langs de Theemsweg als verbinding tussen jachtgebieden en de bosjes bij de Rozenburgsluis als foerageergebied.

Amfibieën

De rugstreeppad (rode lijst) wordt verwacht in het plangebied volgens de NDFF gegevens. Ook Grutter et al. (2013) toont aan dat de rugstreeppad in de Europoort (nabijheid van het plangebied) voorkomt. De aanwezigheid van deze soort in de omgeving vormt een aandachtspunt tijdens de realisatie. Tijdens het veldbezoek zijn geen amfibieën aangetroffen. Oktober is echter niet de juiste tijd om amfibieën te inventariseren omdat veel dieren dan al in winterrust zijn.

Reptielen

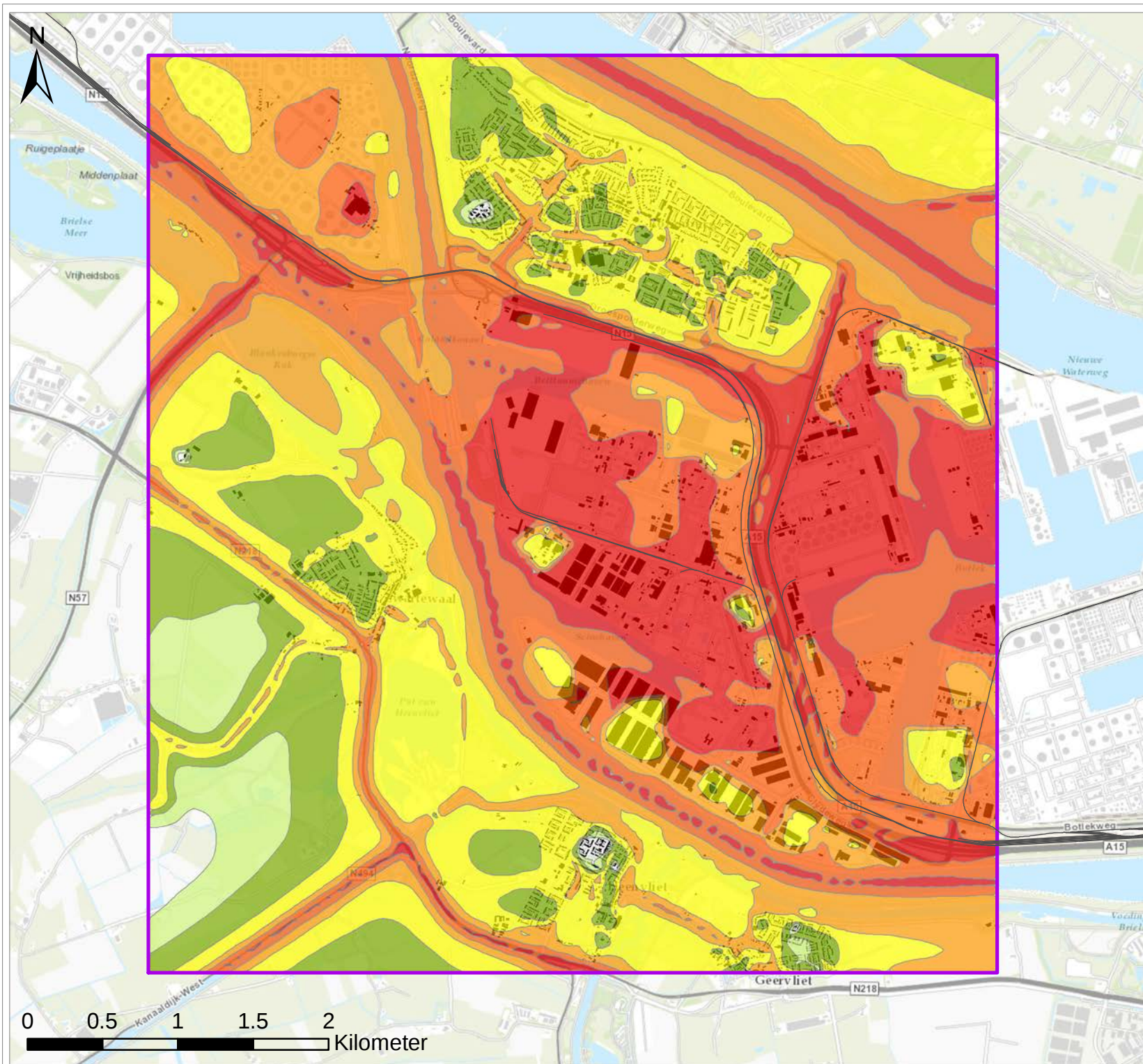
Tijdens het veldbezoek, dat niet op het geschikte tijdstip viel om onderzoek te doen naar het voorkomen van reptielen, zijn er geen reptielen aangetroffen. Deze worden ook niet verwacht, door het ontbreken van geschikt habitat in het plangebied.

Insecten en ongewervelde

Volgens de NDFF gegevens komen Bruin blauwtje, groot dikkopje en sikkelsprinkhaan (alle rode lijst) komen voor in het plangebied (van de Broek et al, 2013). Daarnaast komen ook de fijngeribde grasslak en de kleine korthuizerslak voor (Grutters et al, 2013).

Tijdens het veldbezoek is het icarusblauwtje waargenomen langs het begin van de Theemsweg, hier is ook de sikkelsprinkhaan gehoord (rode lijst). Daarnaast is de oranje luzernevlinder aangetroffen langs de Mannheimweg, bij een schraal stukje berm dat gemaaid was, hier worden meerdere rode lijst soorten verwacht, zowel vlinders (bruin blauwtje) als planten. Er zijn verder geen rode lijst soorten aangetroffen tijdens het veldbezoek.

10 Gecumuleerde geluidcontouren voor de alternatieven



Legenda

Geluidcontouren Lden in dB

- 50 - 55
- 55 - 60
- 60 - 65
- 65 - 70
- 70 - 75
- > 75

— Spoor

▭ Studiegebied

Titel

Gecumuleerde geluidcontouren ($L_{RL,cum}^*$) t.g.v. industrie, wegverkeer, scheepvaart en windturbines (zonder spoor)

Project

MER Calandbrug

Opdrachtgever

ProRail

*Alle geluidbelastingen zijn vertaald naar railverkeer ($L_{RL,cum}$). Deze geluidcontouren zijn daardoor niet direct vergelijkbaar met Industrielawaaicontouren ($L_{IL,cum}$)

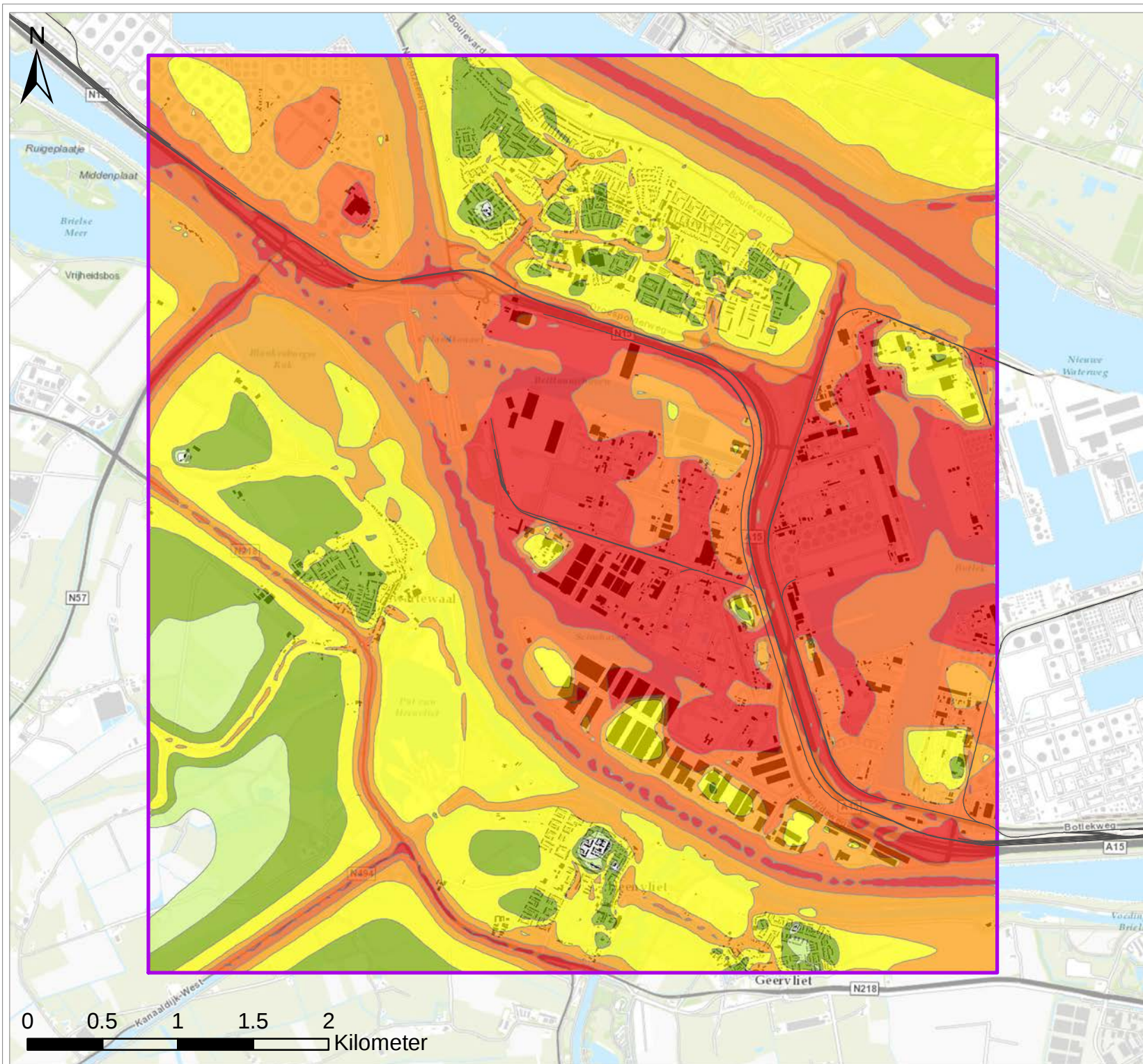
Datum	Schaal
22-4-2014	1:35000

Figuur

Bijlage X - Kaart 1

Gecontroleerd door	Volgnummer
Paul v/d Stap	1





Legenda

Geluidcontouren Lden in dB

- 50 - 55
- 55 - 60
- 60 - 65
- 65 - 70
- 70 - 75
- > 75

— Spoor

▭ Studiegebied

Titel

Gecumuleerde geluidcontouren ($L_{RL,cum}^*$) met Nul Alternatief spoor

Project

MER Calandbrug

Opdrachtgever

ProRail

*Alle geluidbelastingen zijn vertaald naar railverkeer ($L_{RL,cum}$). Deze geluidcontouren zijn daardoor niet direct vergelijkbaar met Industrielawaaicontouren ($L_{IL,cum}$)

Datum
22-4-2014

Schaal
1:35000

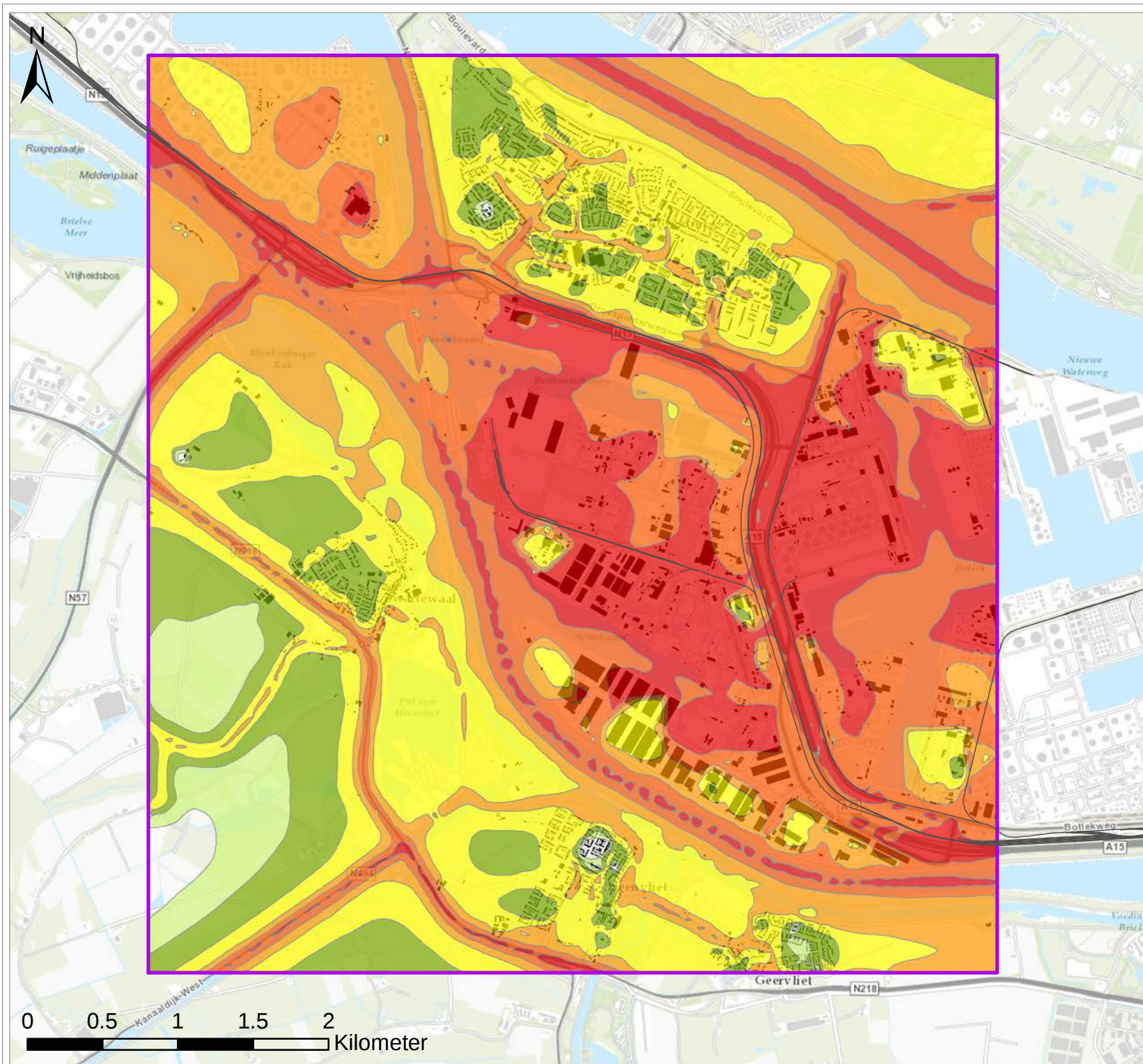
Figuur

Bijlage X - Kaart 2

Gecontroleerd door
Paul v/d Stap

Volgnummer
1





Legenda

Geluidcontouren Lden in dB

- 50 - 55
- 55 - 60
- 60 - 65
- 65 - 70
- 70 - 75
- > 75

— Spoor

▭ Studiegebied

Titel

Gecumuleerde geluidcontouren ($L_{RL,cum}^*$) met Nul Plus Alternatief spoor

Project

MER Calandbrug

Opdrachtgever

ProRail

*Alle geluidbelastingen zijn vertaald naar railverkeer ($L_{RL,cum}$). Deze geluidcontouren zijn daardoor niet direct vergelijkbaar met Industrielawaaicontouren ($L_{IL,cum}$)

Datum
22-4-2014

Schaal
1:35000

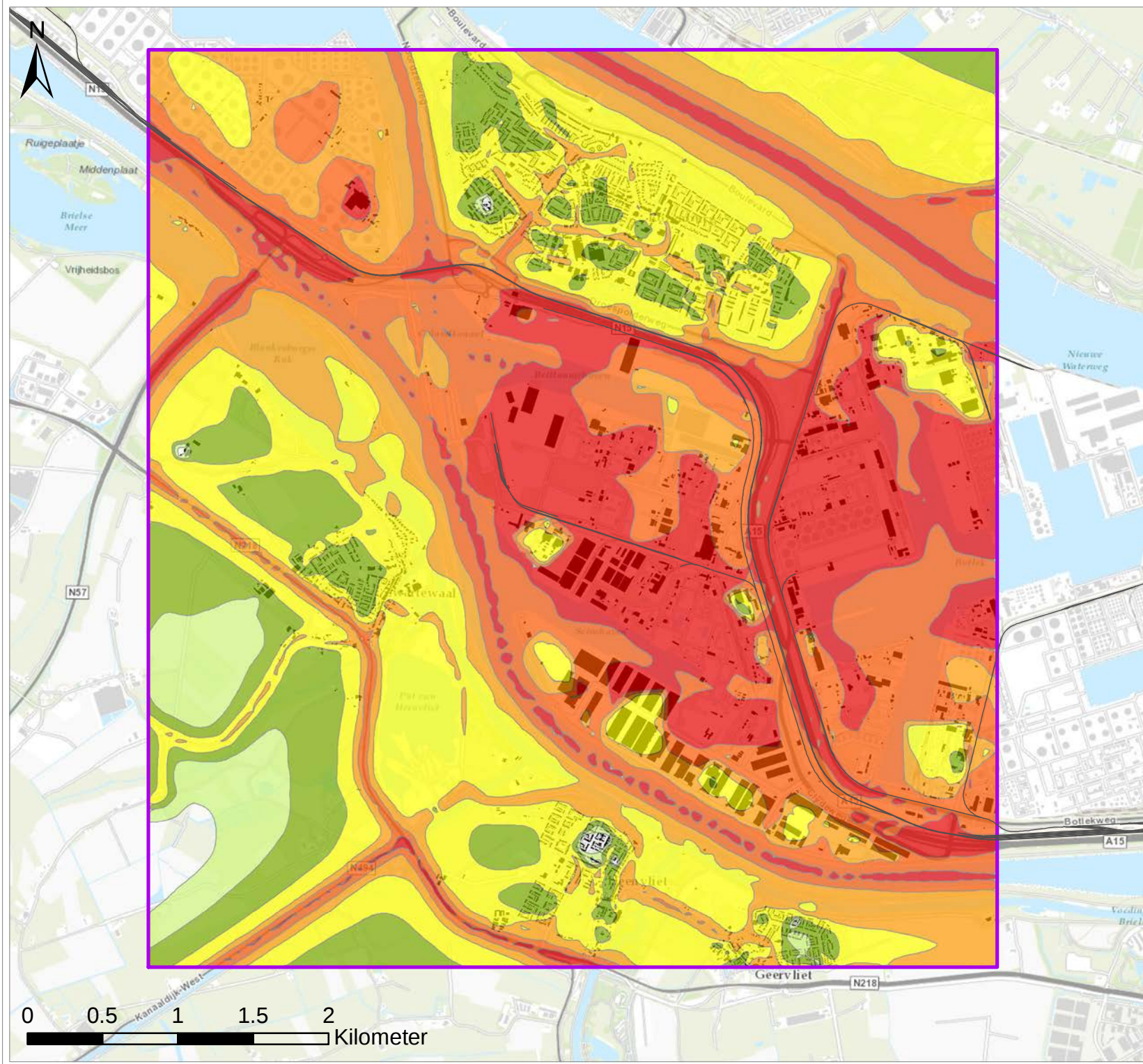
Figuur

Bijlage X - Kaart 3

Gecontroleerd door
Paul v/d Stap

Volgnummer
1





Legenda

Geluidcontouren Lden in dB

50 - 55

55 - 60

60 - 65

65 - 70

70 - 75

> 75

— Spoor

▭ Studiegebied

Titel

Gecumuleerde geluidcontouren ($L_{RL,cum}^*$) met Vaste brug Alternatief spoor

Project

MER Calandbrug

Opdrachtgever

ProRail

*Alle geluidbelastingen zijn vertaald naar railverkeer ($L_{RL,cum}$). Deze geluidcontouren zijn daardoor niet direct vergelijkbaar met Industrielawaaicontouren ($L_{IL,cum}$)

Datum

22-4-2014

Schaal

1:35000

Figuur

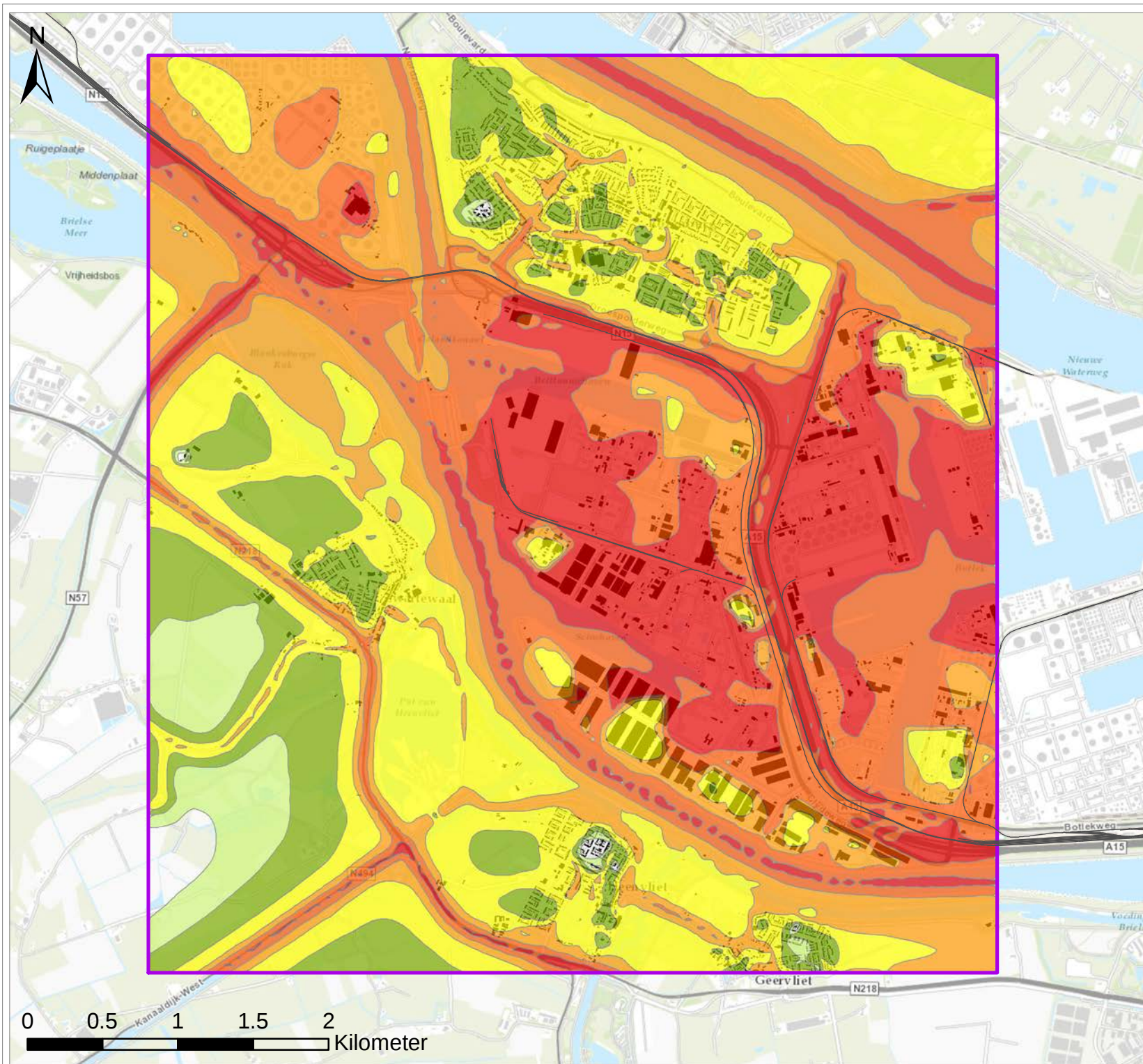
Bijlage X - Kaart 4

Gecontroleerd door

Paul v/d Stap

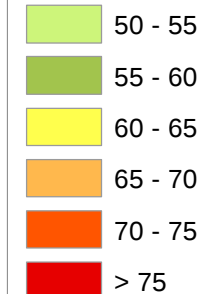
Volgnummer

1



Legenda

Geluidcontouren Lden in dB



— Spoor

▭ Studiegebied

Titel

Gecumuleerde geluidcontouren ($L_{RL,cum}^*$) met Theemsweg Tracé Alternatief spoor

Project

MER Calandbrug

Opdrachtgever

ProRail

*Alle geluidbelastingen zijn vertaald naar railverkeer ($L_{RL,cum}$). Deze geluidcontouren zijn daardoor niet direct vergelijkbaar met Industrielawaaicontouren ($L_{IL,cum}$)

Datum

22-4-2014

Schaal

1:35000

Figuur

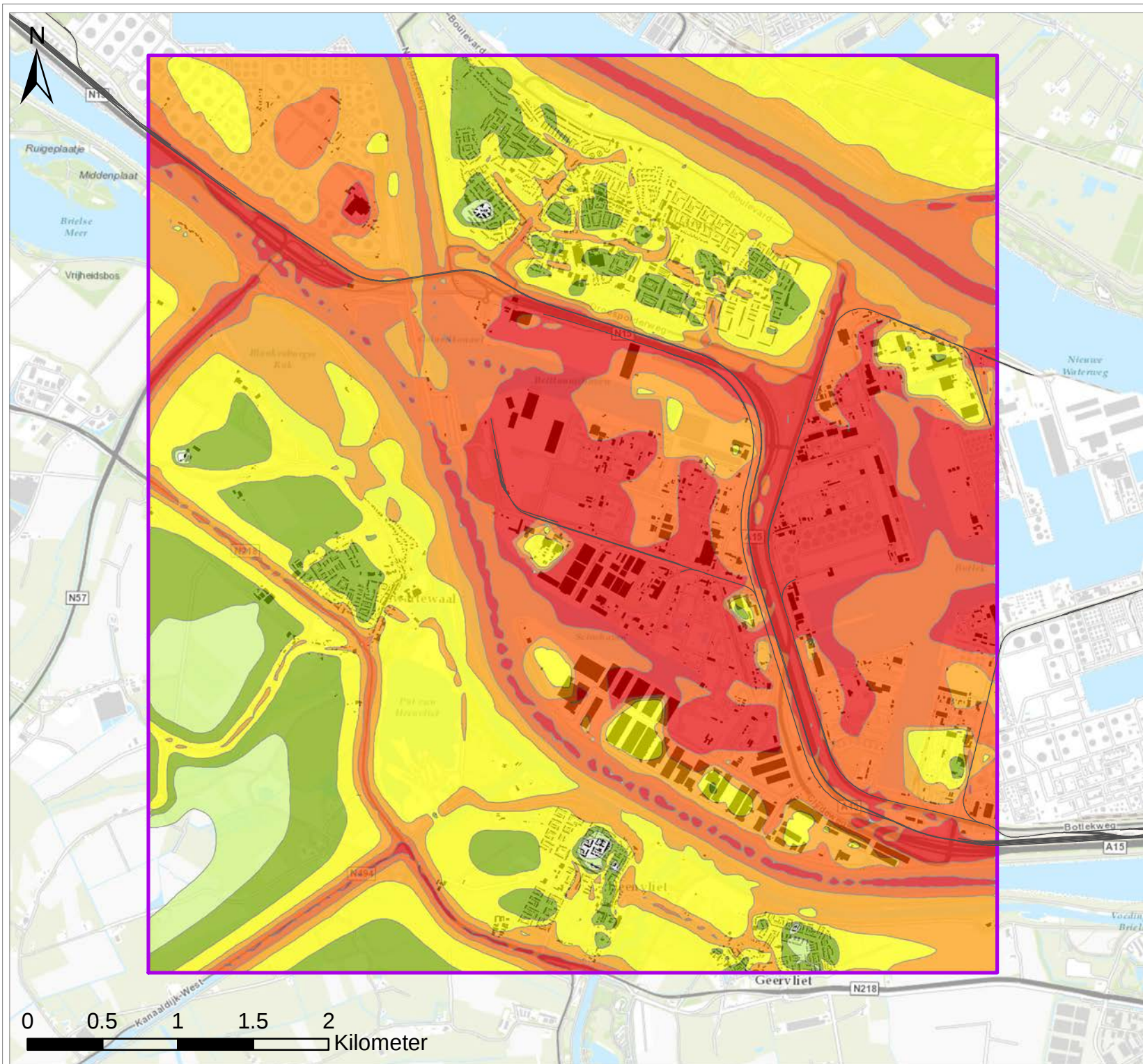
Bijlage X - Kaart 5

Gecontroleerd door

Paul v/d Stap

Volgnummer

1



Legenda

Geluidcontouren Lden in dB

- 50 - 55
- 55 - 60
- 60 - 65
- 65 - 70
- 70 - 75
- > 75

— Spoor

▭ Studiegebied

Titel

Gecumuleerde geluidcontouren ($L_{RL,cum}^*$) met Huntsman Tracé Alternatief spoor

Project

MER Calandbrug

Opdrachtgever

ProRail

*Alle geluidbelastingen zijn vertaald naar railverkeer ($L_{RL,cum}$). Deze geluidcontouren zijn daardoor niet direct vergelijkbaar met Industrielawaaicontouren ($L_{IL,cum}$)

Datum	Schaal
22-4-2014	1:35000

Figuur

Bijlage X - Kaart 6

Gecontroleerd door	Volgnummer
Paul v/d Stap	1



- 11 Vraagstelling berekening Calandbrug, Optredende krachten bij verschillende ontsporingsscenario's

Vraagstelling berekening Calandbrug

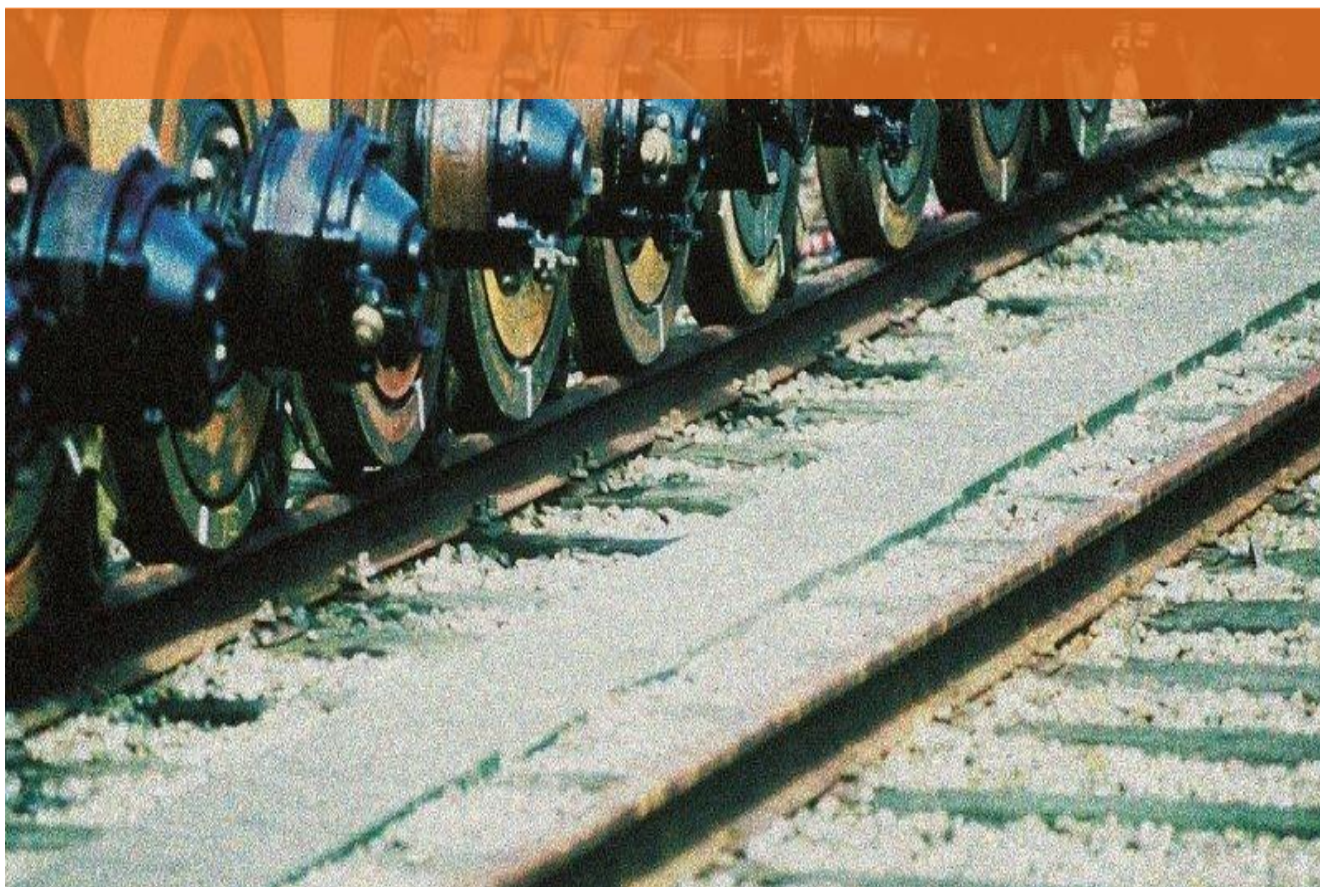
Optredende krachten bij verschillende ontsporingsscenario's

voor Ministerie van Infrastructuur en Milieu

02-09-2014

Referentie: OI/EJ/4651/03-548813

Versie: 2



Documentgeschiedenis en Autorisatie

Versie	Datum	Wijzigingen
1	30 juli 2014	Definitieve versie
2	2 september 2014	Volledig document tekstuele aanpassingen. Toevoeging kracht bij een aanrijding van de ontsporingsgeleideconstructie in een boog

Opgesteld door:

Erik Jansen

Getekend:

Datum: 02/09/2014

Collegiaal getoetst door:

Ramon Volgers

Getekend:

Datum: 02/09/2014

Vrijgegeven door:

Michiel Willekes

Getekend:

Datum: 3/9/2014

Distributielijst

Naam	Organisatie
K. Schmitz	ProRail B.V.
R. Uges	ProRail B.V.
R. Kwant	Havenbedrijf Rotterdam N.V.
T. Delhaas	Havenbedrijf Rotterdam N.V.
G. Kant	Havenbedrijf Rotterdam N.V.
M. Huijskes	Havenbedrijf Rotterdam N.V.
D. Kok	Havenbedrijf Rotterdam N.V.
A. Pruijssers	Ex Aequo Management
P. ten Pierick	TPM Groep
Kopieën door ProRail t.b.v. interne bedrijfsvoering van ProRail kunnen naar behoefte worden bijgemaakt.	

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

www.lr.org/rail

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

© 2014 Lloyd's Register Rail Europe B.V. All rights reserved.

No parts of this publication may be reproduced, distributed, modified and/or made public in any form whatsoever, including printed photostatic and microfilm, stored in a retrieval system, without prior permission in writing from the publisher

This document was prepared for Ministerie van Infrastructuur en Milieu. The information herein is confidential and shall not be divulged to a third party without the prior permission of Lloyd's Register Rail Europe B.V.

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.

Lloyd's Register and Lloyd's Register Rail Europe B.V. are trading names of the Lloyd's Register Group of entities. Services are provided by members of the Lloyd's Register Group. For further details, please see our website www.lr.org/entities.

Samenvatting

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) werkt aan een alternatievenstudie voor de Calandbrug. Er zijn verschillende alternatieve tracés bedacht. Deze alternatieven hebben gemeen dat zij allen over verhoogde infrastructuur lopen. Bij een ontsporing ontstaat er een afstortrisico. Mede door de aanwezige leidingen in de directe omgeving van het spoor ontstaat hierdoor een potentieel risicovolle situatie.

I&M wil inzicht verkrijgen in de relevante mechanismen van ontsporing en welke factoren hierbij relevant zijn. Om die reden is aan Lloyd's Register Rail gevraagd om middels eenvoudige mechanicaberekeningen te laten zien welke parameters dominant zijn bij ontsporing, hoe de onderlinge samenhang is en welke beïnvloedbaar zijn. Daarbij is het niet de bedoeling zaken exact uit te rekenen, maar om de orde van grootte te bepalen.

Als gevolg van een ontsporing zijn er twee scenario's beschouwd waarbij de volgende vraag beantwoord wordt:

- Een deel van de trein ontspoord waarbij de wrijving met de ondergrond zo hoog wordt dat de achteroplopende wagens omhoog worden gedrukt. Welke vertragingen zijn er nodig om het omhoog drukken van wagens mogelijk te maken? Zijn de hiervoor benodigde uitgangspunten realistisch? Zijn er voorbeelden van calamiteiten die dit antwoord onderbouwen?
- Een deel van de trein schaart als gevolg van de ontsporing en wordt tegen de wanden van het viaduct voortgeduwd. Welke krachten treden dan op tegen de zijwanden van het viaduct? Zijn de hiervoor benodigde uitgangspunten realistisch? Zijn er voorbeelden van calamiteiten die dit antwoord onderbouwen?

Beide ontsporingsscenario's zijn eenzijdige ongevallen. Frontale aanrijding wordt als onmogelijk beschouwd door de aanwezigheid van het ERTMS beveiligingssysteem.

Op basis van een eenvoudig model is berekend dat voor verticaal scharen voor het 'worst case scenario' een minimale vertraging van 30m/s^2 benodigd is. Bij kiepen (omhoogkomen achterste as) heeft de trein voor het 'worst case scenario' een minimale vertraging van 35m/s^2 nodig. Dit zijn extreme hoge vertragingen welke onmogelijk bij een eenzijdig ontsporing voorkomen. Bekende historische ongevallen laten ook zien dat bij een eenzijdige ongeval verticaal scharen ook niet is voorgekomen. Dit bevestigt het beeld dat de benodigde vertraging niet optreedt. Parameters die invloed hebben op de minimaal benodigde vertraging voor verticaal scharen en kiepen zijn de massa en de locatie van het zwaartepunt van de wagens. Het aantal wagons heeft geen invloed.

Voor de ontsporingssituatie, aanrijding met de ontsporingseleideconstructie, zijn de krachten bepaald welke plaatsvinden op de ontsporingseleideconstructie. Voor deze ontsporing is de aanname gedaan dat één draaistel van de locomotief uit het spoor loopt en vervolgens in aanraking komt met de ontsporingseleideconstructie. Met een model van de locomotief en de ontsporingseleideconstructie is bepaald dat de impactkracht tussen het draaistel en de ontsporingseleideconstructie $\pm 10.000\text{ kN}$ bedraagt. Deze kracht is slechts enkele duizenden van een seconde aanwezig en is met name relevant voor het lokaal beschadigen van de ontsporingseleideconstructie. Op langere duur ontstaat er een evenwichtssituatie met een krachtniveau van $\pm 500\text{ kN}$. Het uiteindelijke faalgedrag van de muur zal bepaald moeten worden door een constructie-expert. Het doorrijden van een boog geschikt voor 80km/u (boogstraal 450m) heeft een marginale invloed op de optredende krachten. Op basis van historische ongevallen is niet te verifiëren of deze waarden optreden. Echter laten deze wel zien dat zijwaarts uit het spoorlopen een combinatie van factoren nodig heeft. Met behulp van mitigerende maatregelen (voorbeeld Quo Vadis II, HotBox-detectie) kunnen defecten vroegtijdig gedetecteerd worden wat de kans op de combinatie van factoren die uiteindelijk tot een ongeval reduceren.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond	6
1.2	Aanpak	7
2	Verticaal omhoogkomen	8
2.1	Scenario 1: Één enkele wagon gaat kiepen	8
2.1.1	Uitgangssituatie	8
2.1.2	Berekening	9
2.1.3	Resultaten	10
2.2	Scenario 2: Twee of meerdere wagons gaan verticaal scharen	11
2.2.1	Uitgangssituatie	11
2.2.2	Berekening	12
2.2.3	Resultaten	13
2.3	Conclusie	14
3	Aanrijding ontsporingsgeleideconstructie	15
3.1	Uitgangssituatie	15
3.2	Berekening	16
3.3	Resultaat	18
3.4	Conclusie	19
4	Resultaten theoretische ontsporingsscenario's in vergelijking tot historische ontsporingen	21
5	Referenties	22
Appendix A	Dimensies type rens	23
Appendix B	Dimensies Locomotief	24
Appendix C	Bepaling impacthoek in een boog	25
Appendix D	Historische ongevallen	26

1 Inleiding

Het havenbedrijf Rotterdam is onder de paraplu en verantwoordelijkheid van het Ministerie van I&M, in gezamenlijkheid met ProRail, een besluitvormingstraject ingegaan tot oplossen van het knelpunt Calandbrug op de havenspoorlijn (onderdeel Betuweroute). Een aantal alternatieve tracés zijn voorgesteld om dit knelpunt op te lossen (Figuur 1). Deze tracés liggen op een verhoogd kunstwerk.

Gezien de toepassing van een kunstwerk kan dit bij ontsporing resulteren in een afstorting van de trein. Om meer inzicht te krijgen in de gevolgen van ontsporing is er aan Lloyd's Register gevraagd om met behulp van eenvoudige mechanicaberekeningen te bepalen welke parameters er dominant zijn, wat de onderlinge samenhang is en welke beïnvloedbaar zijn bij verschillende vastgestelde ontsporingssituaties.

In de opdracht is gebruikt gemaakt van vereenvoudigde rekenmodellen (geen multibody dynamics of crashsimulaties). De resultaten van de rekenmodellen moeten geïnterpreteerd worden als de orde van grootte van de optredende krachten en versnellingen en dienen tevens om inzicht te krijgen in de beschouwde ontsporingsmechanismen.

1.1 Achtergrond

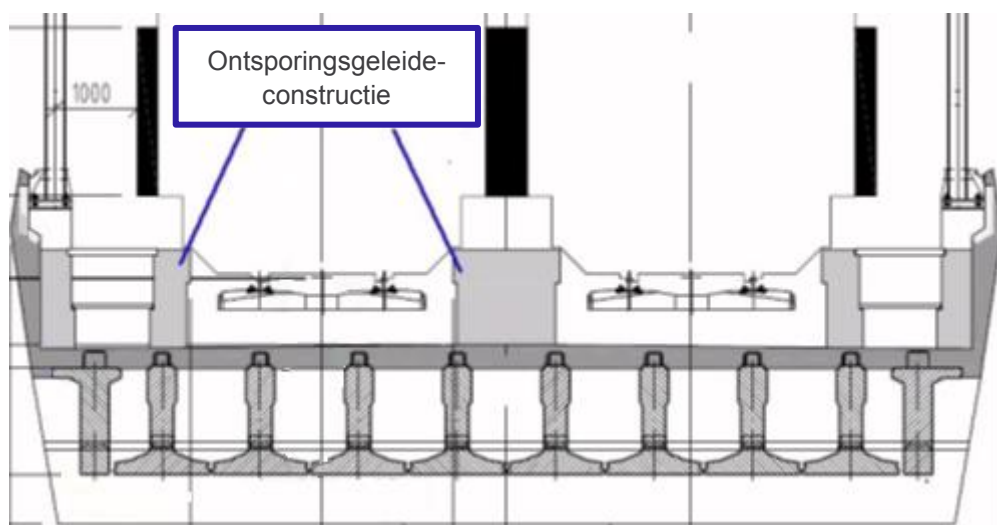
In het havengebied van Rotterdam ligt de Calandbrug. Deze brug is een belangrijke schakel in de transport van goederen over het spoor vanuit de havens. Echter deze brug bereikt in 2020 zijn technische levensduur. Daarnaast vormt deze brug steeds meer een capaciteitsknelpunt door toenemende transport over het spoor en frequentere openstand van de brug voor scheepvaartverkeer. Om dit knelpunt in de toekomst op te lossen zijn er alternatieven tracés gedefinieerd, de Huntsman en de Theemsweg (Figuur 1).



Figuur 1: Tracés Calandbrug (groen huidig tracé, blauw alternatief Huntsman, rood alternatief Theemsweg)

Alle alternatieven van mogelijke tracés liggen op een verhoogde spoorbaan. Veelal op een kunstwerk, en soms (delen) op een grondconstructie. Een bijzonderheid daarbij is de aanwezigheid van een groot aantal leidingen en andere objecten waar gevaarlijke stoffen of elektriciteit wordt geproduceerd, opgeslagen en getransporteerd in de nabijheid van de verhoogde spoorbaan. Deze omstandigheid brengt diverse risico's met zich mee. Een denkbaar risico is de interactie tussen een ontspoorde, neerstortende trein/wagon en objecten met gevaarlijke stoffen die zich in de nabijheid van het spoor bevinden.

In voorgaande onderzoeken [2] zijn de kansen van optreden van verschillende ontsporingsscenario's voor de verschillende tracés bepaald. Bij het bepalen van deze kansen is rekening gehouden met de aanwezigheid van een ontsporingseleideconstructie op de tracés. Deze ontsporingseleideconstructie bestaat uit een opstaande rand van 350mm BS welke 1600mm [1] uit het hartspoor ligt (Figuur 2). Tijdens het bepalen van de kansen van ontsporing is er niet naar de ontsporingmechanismes gekeken (benodigde krachten, versnellingen en geometrische afwijkingen).



Figuur 2: Ontsporingseleideconstructie [2]

1.2 Aanpak

Dit rapport heeft als doel om via berekeningen relaties te leggen en te begrijpen tussen de trein (massa, snelheid, dimensies en zwaartepunt), de geometrie rond spoor (dimensies t.o.v. ontsporingseleideconstructie, fundering i.v.m. wrijving bij ontsporing) en wat er gebeurt tijdens een ontsporing. Op deze wijze hopen we begrip van het systeem te krijgen. De specifieke ontsporingsscenario's welke in dit rapport worden behandeld zijn:

- Een deel van de trein ontspoorde waarbij de wrijving met de ondergrond zo hoog wordt dat de achteroplopende wagens omhoog worden gedrukt. Welke krachten/vertragingen zijn er nodig om wagens omhoog te laten komen? (Hoofdstuk 2)
- Een deel van de trein schaart als gevolg van de ontsporing en wordt tegen de ontsporingseleideconstructie van het kunstwerk voortgeduwd. Welke krachten treden dan op tegen de ontsporingseleideconstructie? (Hoofdstuk 3)

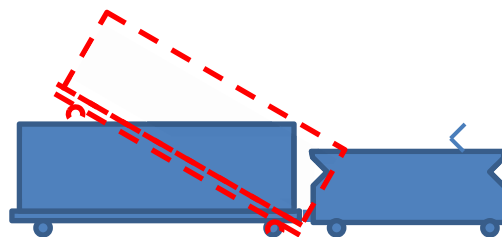
Uiteindelijk worden de doorgerkende ontsporingssituaties vergeleken met historische ontsporingen welke geregistreerd zijn bij de onderzoeksraad voor veiligheid (OVV) om de bepaalde waarden in een perspectief te plaatsen (Hoofdstuk 4).

2 Verticaal omhoogkomen

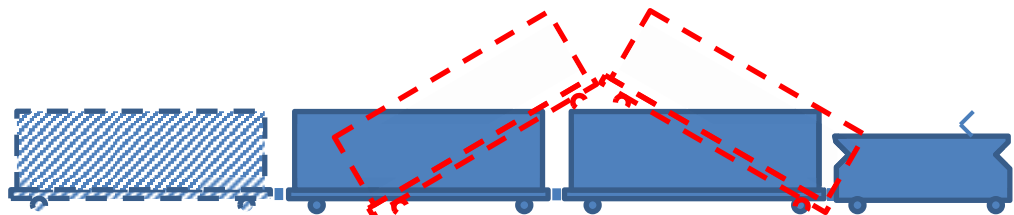
Bij een extreme vertraging bestaat de kans dat een wagon of locomotief verticaal omhoogkomt. Dit heeft tot gevolg dat de geleidende functie van het spoor vermindert of vervalt waardoor de trein zijwaarts uit het spoor raakt en eventueel kan kantelen. Dit kan resulteren in een verhoogd afstortingsgevaar.

Wanneer de trein snel vertraagt zijn er twee mogelijke scenario's te beschrijven waarbij een wagon verticaal omhoog komt:

1. De laatste wagon kiept voorover (Figuur 3);
2. Twee of meerdere wagons gaan verticaal scharen, eventueel gevolgd door meerdere wagons (Figuur 4).



Figuur 3: Kiepen enkele wagon



Figuur 4: Verticaal scharen meerdere wagons met eventueel extra achteroplopende wagons

Voor beide scenario's is berekend welke vertraging minimaal nodig is om het te laten plaatsvinden.

2.1 Scenario 1: Één enkele wagon gaat kiepen

De vertraging van de voorkant van de trein heeft tot gevolg dat de laatste wagon gaat kiepen. Dit betekent dat de wagon om een scharnierpunt gaat draaien.

2.1.1 Uitgangssituatie

De volgende punten zijn gebruikt als uitgangssituatie om te bepalen hoeveel vertraging er nodig is om een wagon te laten kiepen:

- Iedere wagon wordt als een star lichaam beschouwd en is dus onvervormbaar;
- De vertraging vindt in langsrichting van de trein plaats en is gelijk over de gehele trein;
- Voor de dimensie en massa van de wagons wordt uitgegaan van een platte wagon (type rens, Appendix A) met en zonder belading;
- De koppeling tussen de wagons leveren geen bijdrage aan het krachterevenwicht, zuiver scharnier;

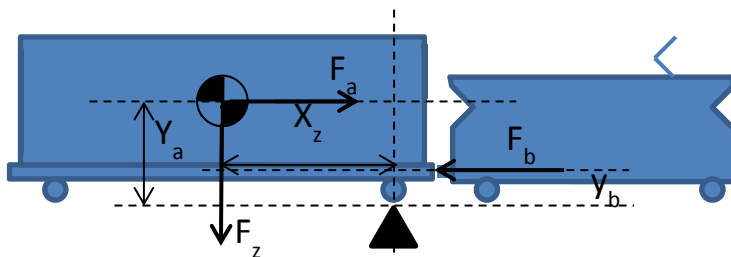
- Het massazwaartepunt ligt in het midden van een wagon en verandert niet van positie tijdens vertraging;
- De koppeling is geen beperking tijdens het kiepen.

De aanname dat de wagon onvervormbaar is en dat de belading niet gaat schuiven maakt de berekende waardes kritischer dan de werkelijkheid. Dit omdat alle energie die vrijkomt bij ontsporing gebruikt wordt om te kiepen.

Voor de wagons is gekozen voor een type rens omdat deze een groot verschil heeft in massa tijdens beladen en onbeladen toestand.

2.1.2 Berekening

De krachten die een rol spelen bij het kiepen zijn de zwaartekracht (F_z), welke de wagon op het spoor houdt en een vertragingskracht (F_a), welke de wagon wil laten kiepen en de kracht op de buffers (F_b). Deze krachten vormen samen een koppel rondom een scharnierpunt welke ligt ter hoogte van de voorste as.



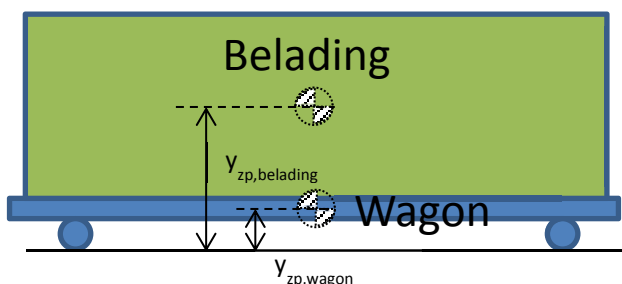
Figuur 5: Schematische weergave krachten wagon tijdens vertragen

Het moment wordt bepaald met de volgende formule:

$$M_{as} = F_z \cdot x_z - F_a \cdot y_a + F_b \cdot y_b$$

waarbij F_z gelijk is aan de zwaartekracht ($m \cdot g$), x_z de afstand in langsrichting tussen scharnierpunt en zwaartepunt van het totale systeem, F_a de kracht die ontstaat door het afremmen ($m \cdot a$), y_a de verticale afstand tussen scharnierpunt en zwaartepunt van het totale systeem, F_b de reactiekracht van de voorlopende trein op de wagon (is gelijk aan F_a) en y_b de verticale afstand tussen koppeling en scharnierpunt. Figuur 5 laat de verschillende afstanden zien.

Het zwaartepunt van het totale systeem is afhankelijk van de massa en zwaartepunt van de belading en van de massa en zwaartepunt van de wagon (Figuur 6).



Figuur 6: Zwaartepunt belading (groen) en wagon (blauw)

Het zwaartepunt van het totale systeem (y_a) is te berekenen met de volgende formule:

$$y_a = \frac{y_{zp, belading} \cdot m_{belading} + y_{zp, wagon} \cdot m_{wagon}}{m_{belading} + m_{wagon}}$$

waarbij $y_{zp, belading}$ de hoogte is van het zwaartepunt van de belading, $m_{belading}$ de massa van de belading, $y_{zp, wagon}$ de hoogte is van het zwaartepunt van de wagon en m_{wagon} de massa van de wagon.

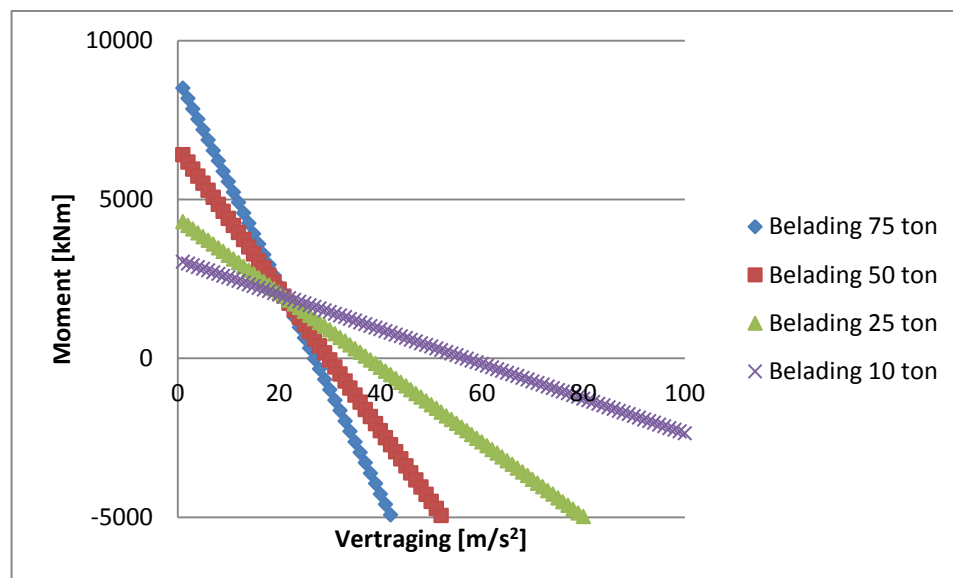
De wagon gaat kiepen wanneer de som van de momentensom negatief is. Het 'Worst case scenario' is wanneer de hoogte van het zwaartepunt (y_a) en de massa (m) groot zijn. Bij een lege wagon ligt het zwaartepunt vrijwel op dezelfde hoogte als het scharnierpunt en zal bij een vertraging een klein moment opleveren. De kans op kiepen is dan kleiner.

De gebruikte waarden voor het berekenen van de minimaal benodigde vertraging om te gaan kiepen staan beschreven in Appendix A.

2.1.3 Resultaten

Zoals hierboven beschreven is de benodigde vertraging om te kiepen afhankelijk van de massa en de locatie van het zwaartepunt van het totale systeem. Om deze afhankelijkheid in kaart te brengen is voor een aantal verschillende beladingen (massa en zwaartepunt) de som van de momenten als functie van de vertragingen berekend. De resultaten van deze berekening zijn weergegeven in Figuur 7. Wanneer het moment onder 0 kNm komt, zal de wagon gaan kiepen.

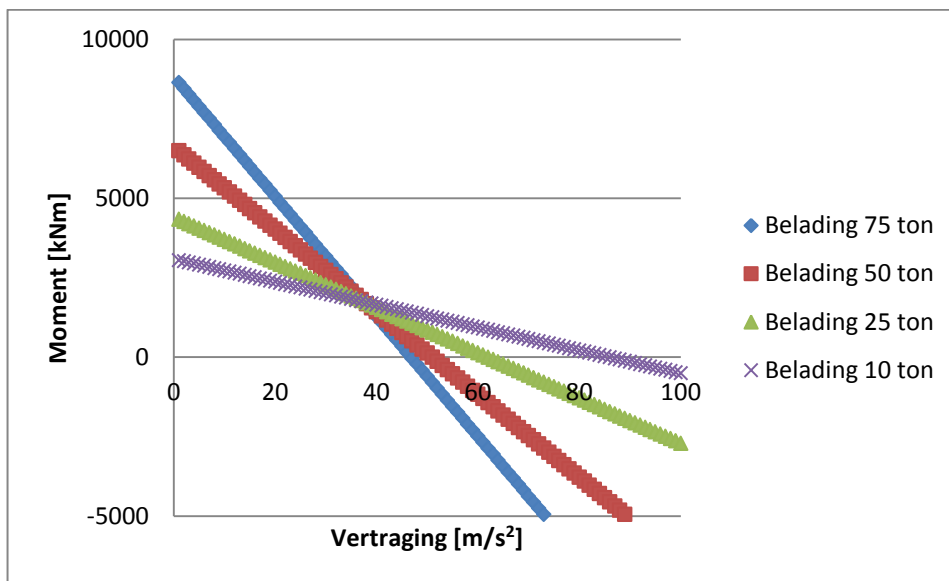
De maximale hoogte die de wagon met belading kan hebben is 4,70m (volgens profiel van vrije ruimte). De belading kan dan maximaal een hoogte hebben van 3,70m ten opzichten van de wagon. Het 'worst case scenario' is wanneer het zwaartepunt van de belading op de maximale hoogte bevindt. Figuur 7 geeft de benodigde vertragingen om de trein te laten kiepen voor het 'worst case scenario' met verschillende beladingen.



Figuur 7: Vertraging belading met zwaartepunt ($y_{zp, belading} = 4,70m$)

In Figuur 7 is zichtbaar dat de wagon met een belading van 75 ton (blauwe lijn) bij ca. $30m/s^2$ de 0kNm lijn doorsnijdt. Bij hogere vertraging zal de wagon gaan kiepen.

Een meer realistisch scenario is dat het zwaartepunt in het midden van de belading zit ($y_{zp, belading} = 2,85m$). Figuur 8 geeft de benodigde vertragingen om de wagon te laten kiepen in deze situatie.



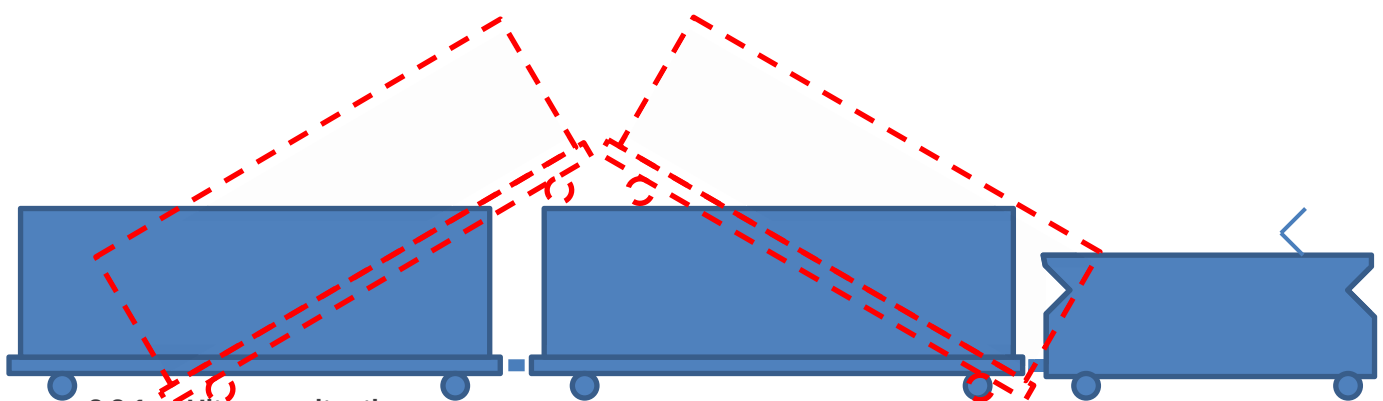
Figuur 8: Vertraging belading met zwaartepunt ($y_{zp, belading} = 2,85m$)

In Figuur 8 is zichtbaar dat de wagon met een belading van 75 ton (blauwe lijn) bij ca. $50m/s^2$ de 0kNm lijn doorsnijdt en gaat kiepen.

Op basis van het gehanteerde model is berekend dat de minimaal benodigde vertraging voor het 'worst case scenario' ca. $30m/s^2$ bedraagt. Wanneer het zwaartepunt van het systeem omlaag gaat neemt de benodigde vertraging om te gaan kiepen toe. En bij een zwaartepunt ligging van 2,85m zelfs $50m/s^2$ nodig heeft om te kiepen.

2.2 Scenario 2: Twee of meerdere wagons gaan verticaal scharen

De vertraging van de voorkant van de trein heeft tot gevolg dat twee of meer wagons verticaal gaan scharen. Dit betekent dat één wagon gaat kiepen (bovenbeschreven scenario, 2.1) en één wagon gelift wordt (Figuur 9).



2.2.1 Uitgangssituatie

Figuur 9: Schematische situatie verticaal scharen

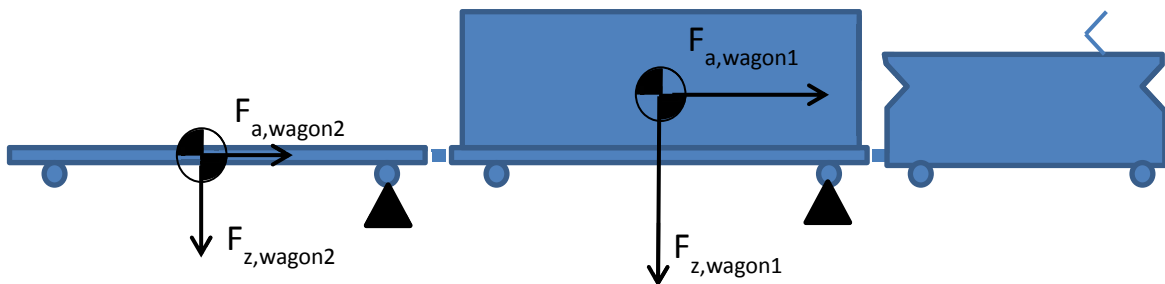
De volgende punten zijn gebruikt als uitgangssituatie om te bepalen hoeveel vertraging er nodig is om twee of meer wagons verticaal te laten scharen:

- Iedere wagon wordt als een star lichaam beschouwd en is dus onvervormbaar;
- De vertraging vindt in langsrichting van de trein plaats;

- Voor de dimensie en massa van de wagons wordt uitgegaan van een platte wagon (type rens, Appendix A) met en zonder belading;
- De koppeling tussen de wagons leveren geen bijdrage aan het krachterevenwicht;
- Het maximaal aantal wagons is beperkt tot 40 wagons;
- De belading is gecentreerd rond het midden van de wagon en blijft bij vertragen op dezelfde locatie zitten;
- De koppelingen zijn geen beperking tijdens het verticaal scharen;
- Alle wagons kennen dezelfde geometrie;
- De gehele trein ondervindt dezelfde vertraging;
- De trein bevindt zich op een horizontale ondergrond.

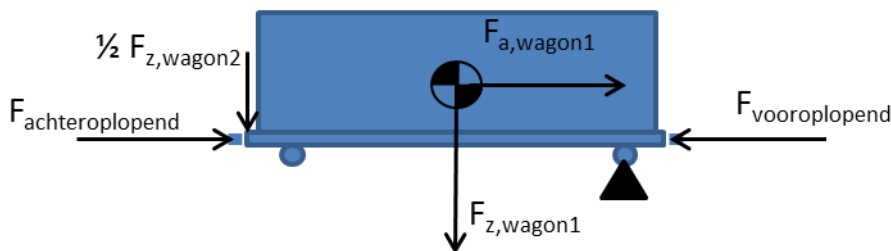
2.2.2 Berekening

Zoals hierboven beschreven, moet er bij verticaal scharen naast het kiepen een wagon gelift worden. Figuur 10 geeft een overzicht van krachten die optreden bij vertragen van een trein met meerdere wagons.



Figuur 10: Krachten bij vertragen gekoppelde wagons

Voor de bepaling van de benodigde versnelling wordt bovenstaande model vereenvoudigd door de helft van de massa van wagon 2 te laten aangrijpen op de achteroplopende koppeling van wagon 1 (Figuur 11). Vereenvoudiging is dat wagon 1 tijdens het kiepen wagon 2 mee omhoog tilt.



Figuur 11: Vereenvoudigde krachten bij vertragen gekoppelde wagons

Dit resulteert uiteindelijk in een momentensom:

$$M_{as} = F_{z,wagon1} \cdot x_z - F_{a,wagon1} \cdot y_a + (F_{vooroplopend} - F_{achteroplopend}) \cdot y_b + \frac{1}{2} \cdot F_{z,wagon2} \cdot 2 \cdot x_z$$

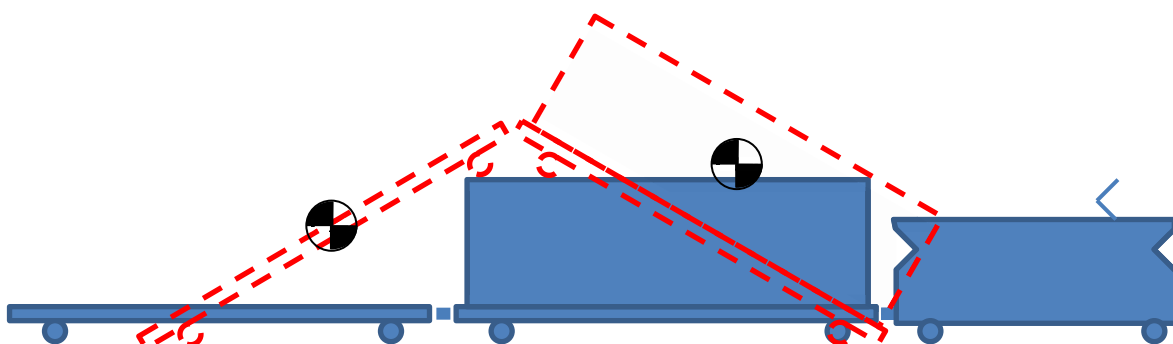
waarbij de parameters gelijk zijn aan de berekening uit paragraaf 2.1.2. $F_{vooroplopend}$ is de reactiekracht die het vooroplopende deel van de trein op de wagon heeft en $F_{achteroplopend}$ is de reactiekracht die het

achteroplopende deel van de trein op de wagon heeft. Deze reactiekrachten zijn gelijk aan de massa van achteroplopende wagons vermenigvuldigd met de vertraging ($F_{\text{achteroplopend}}$) of massa achteroplopende wagons inclusief de te kiepen wagon vermenigvuldigd ($F_{\text{vooroplopend}}$). Het verschil tussen deze krachten is de massa van de desbetreffende wagon die kiept. Gevolg is dat het aantal voor- en achteroplopende wagons geen invloed heeft op de momentensom. Wederom geldt dat wanneer de momentensom negatief wordt, de wagon zal gaan kiepen.

De gebruikte waarden voor het berekenen van de minimaal benodigde vertraging om te gaan kiepen staan beschreven in Appendix A.

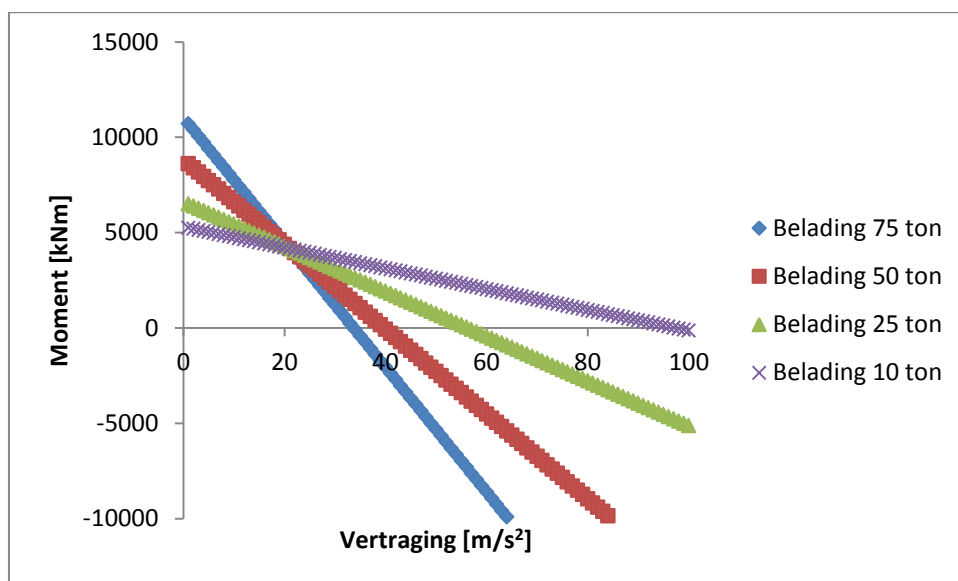
2.2.3 Resultaten

Het moment van scharen is afhankelijk van het zwaartepunt en massa van de wagons. De kans op verticaal scharen neemt toe wanneer de vooroplopende wagon maximaal beladen is en de achteroplopende wagon leeg is (Figuur 12). Waarbij het 'Worst case scenario' is wanneer het zwaartepunt van de vooroplopende wagon op de maximale hoogte ligt.



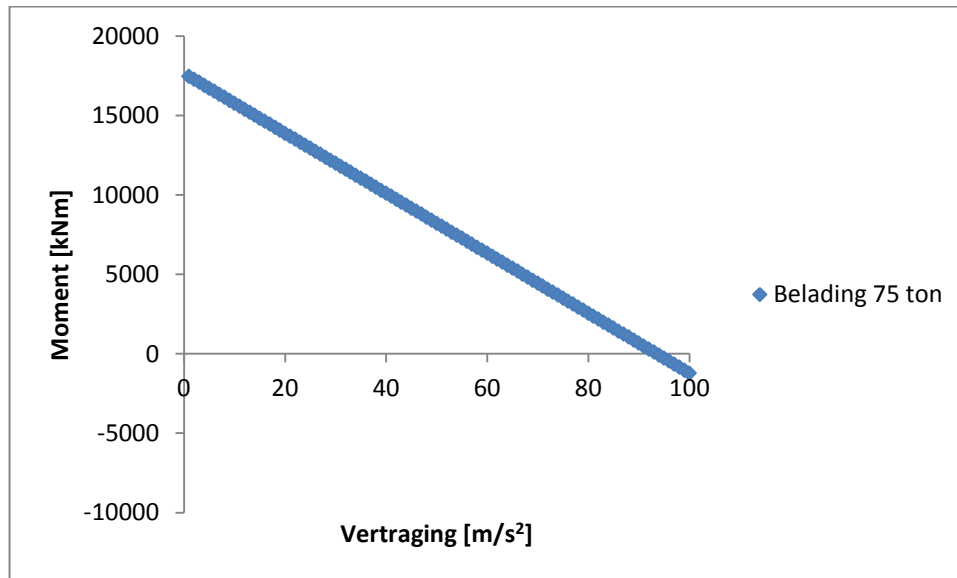
Figuur 12: Grootste kans op scharen met maximaal beladen en lege wagon

In Figuur 13 is zichtbaar dat een wagon met een belading van 75 ton (blauwe lijn) bij een vertraging van ca. 35 m/s^2 de 0 kNm doorsnijdt en dus begint te scharen



Figuur 13: Vertraging 'worst case scenario', wagon 1 zwaartepunt maximale hoogte (4.85m) wagon 2 geen belading

Een situatie waarbij beide wagons een meer gelijke belading hebben resulteert in een hogere benodigde vertraging om de wagons te laten scharen (Figuur 14).



Figuur 14: Vertraging 'worst case scenario', wagon 1 en wagon 2 maximale belading (75 ton) en zwaartepunt in het midden (2.85m)

Op basis van het gehanteerde model is berekend dat de minimaal benodigde vertraging voor het 'worst case scenario' ca. 35 m/s^2 bedraagt. Wanneer de wagons een gelijkwaardigere belading hebben loopt de benodigde vertraging om verticaal te scharen op tot $\pm 90 \text{ m/s}^2$.

2.3 Conclusie

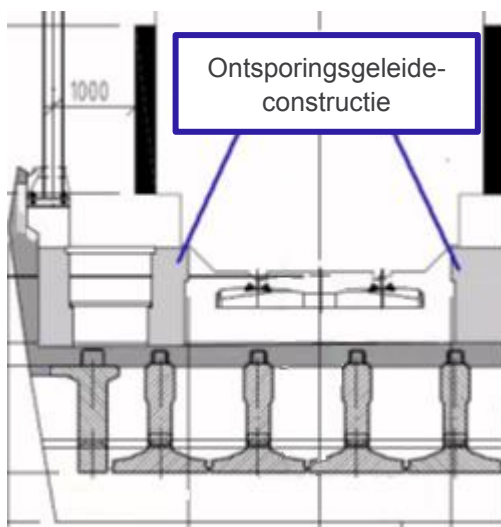
Het 'worst case scenario' scharen vindt plaats vanaf ca. 35 m/s^2 , het 'worst case scenario' kiepen vanaf ca. 30 m/s^2 . Het verschil in benodigde versnelling van de 'worst case scenarios' tussen kiepen en scharen is relatief klein omdat de massa van de lege verticaal scharende wagon in deze situatie tijdens scharen erg gering is. Wanneer beide verticaal scharende wagons beladen zijn, neemt de benodigde vertraging om te scharen snel toe. Ook een verschuiving van het zwaartepunt naar beneden heeft tot gevolg dat de benodigde vertraging om te gaan scharen of kiepen toeneemt.

Een vertraging van 30 m/s^2 betekent dat een trein vanaf 80 km/u binnen een seconde tot stilstand zou moeten komen. Een dergelijke vertraging wordt gezien de beschreven uitgangssituatie [1], waarbij de trein afremt in de ballast, als onmogelijke geacht. Een belading met een zwaartepunt wat lager ligt dan het 'worst case scenario' zal daarom zeker niet scharen of kiepen.

3 Aanrijding ontsporingsgeleideconstructie

De uitgangssituatie is dat de trein links of rechts het spoor verlaat en daarbij in aanraking komt met de beschreven ontsporingsgeleideconstructie (Figuur 15). Er is geen ontsporingsmechanisme bekend waarbij binnen een wagon één draaistel naar links en het daarop volgende draaistel naar rechts ontspoord. Hierdoor zal de ontsporingsconstructie altijd aan één zijde van het spoor geraakt worden. Daarnaast is het gevolg hiervan dat het onmogelijk is dat een wagon horizontaal schaart.

De vraag die in dit hoofdstuk wordt beantwoord is, welke kracht ondervindt de ontsporingsgeleideconstructie wanneer de voorste wagon (de locomotief) de ontsporingsgeleideconstructie raakt.



Figuur 15: Ontwerp ontsporinggeleideconstructie

3.1 Uitgangssituatie

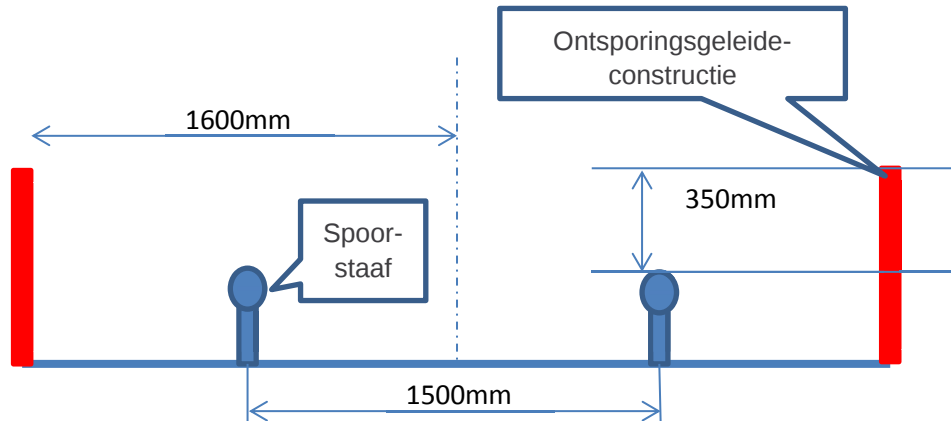
De volgende punten zijn gebruikt om te berekenen welke krachten erop treden bij een aanrijding met de ontsporinggeleideconstructie:

- Voor de dimensie en massa van de locomotief gaan we uit van een doorsnee locomotief, bijvoorbeeld de BR 186 (Appendix B)
- De aspoten raken als eerste de ontsporinggeleideconstructie;
- Het ballastbed inclusief dwarsliggers heeft geen invloed op de krachten;
- Trein heeft een voorwaartse snelheid van 80 km/u;
- Het voorste draaistel loopt uit het spoor en het tweede draaistel blijft in het spoor;
- De ontsporinggeleideconstructie is oneindig stijf en maakt onderdeel uit van de omgeving;
- De aspotdeksels zijn oneindig stijf en vervormen niet tijdens de aanrijding;
- Minimale boogstraal van 450m.

De aanname van een oneindige stijve elementen resulteert in hogere krachten dan in de werkelijkheid.

3.2 Berekening

Bij het ontsporen zal het voorste draaistel van het spoor aflopen. Het draaistel zal in de ballast vallen en vervolgens met de aspotten aan één zijde de ontsporingsgeleideconstructie raken.



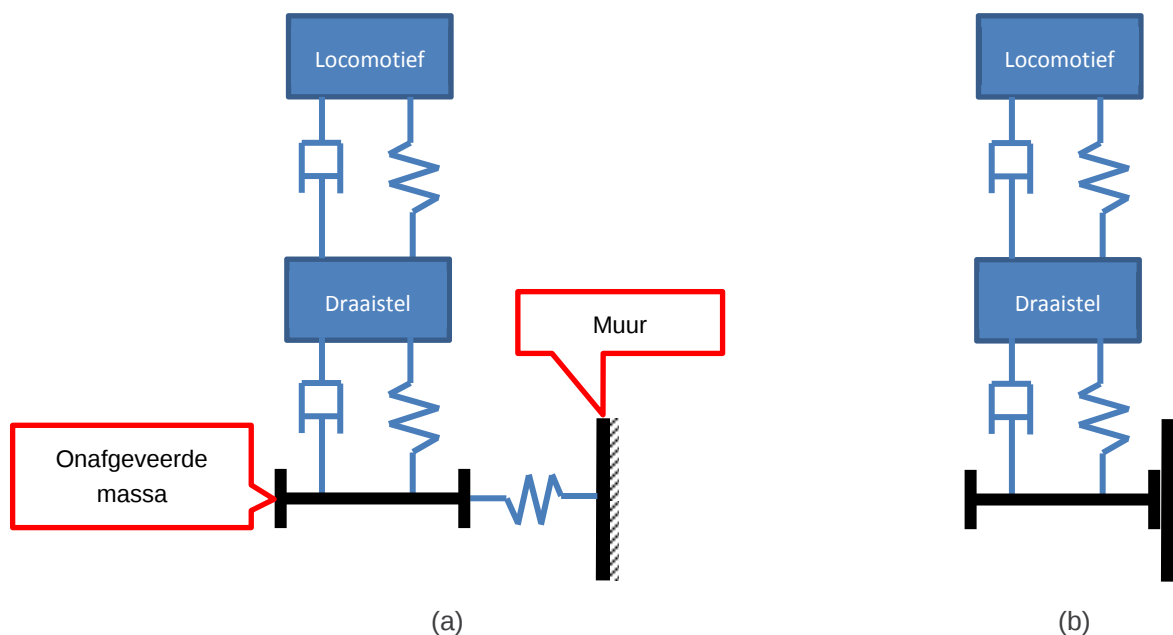
Figuur 16: Dimensie ontsporingseleideconstructie

Tijdens de aanrijding met de ontsporingseleideconstructie zijn er twee situaties die elkaar opvolgen te definiëren:

- situatie a. Het initieel raken van de ontsporingseleideconstructie door de aspotten;
- situatie b. Het schrapen langs de ontsporingseleideconstructie;

Situatie a, waarbij de aspot de ontsporingseleideconstructie raakt, wordt gekenmerkt door een hoge piekkracht met een korte tijdsduur. Voor het bepalen van deze kracht is een model gemaakt met drie onderling geveerde massa's. Deze zijn de bak van de locomotief, het draaistel en de onafgeveerde massa (Figuur 17 (a)). Tussen de locomotief en draaistel zitten de secundaire vering, tussen het draaistel en onafgeveerde massa de primaire vering. De veer die gemodelleerd wordt tussen onafgeveerde massa en ontsporingseleideconstructie is een niet lineaire veer welke de deformatie van de aspotten representeert tijdens de eerste impact.

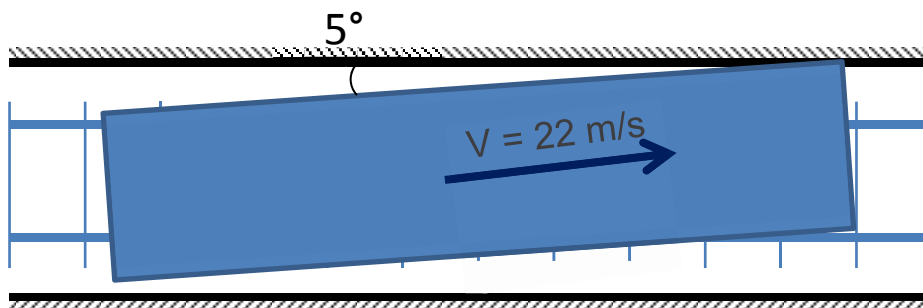
Door de massa van de locomotief en draaistel blijven na de impact zal de aspotten tegen de ontsporingseleideconstructie gedrukt. De as wordt hierbij niet meer als massa gezien omdat deze 'één' is geworden met de ontsporingseleideconstructie. Het bovenstaande beschreven model wordt vereenvoudigd door de onafgeveerde massa weg te nemen (Figuur 17 (b)). De krachten die de dan op de ontsporingseleideconstructie werken worden dan bepaald door de beweging van de locomotief en draaistel.



Figuur 17: Schematische situatie (a) initieel raken ontsporingsgeleideconstructie, (b) schrapen langs de ontsporingsgeleideconstructie

Het ballastbed inclusief dwarsliggers wordt niet in het model meegenomen. Het gevolg is dat er aangenomen wordt dat de snelheid die de trein op het spoor had voor ontsporing ook de snelheid is die de trein heeft tijdens de aanrijding met de ontsporingsgeleideconstructie. In de werkelijkheid zal de snelheid lager liggen door wrijving met het ballastbed.

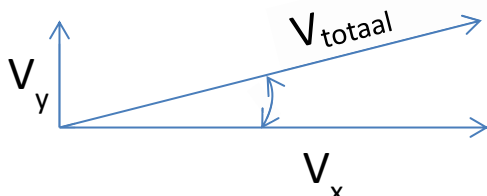
De initiële snelheid waarmee de aspoten de ontsporingsgeleideconstructie raken wordt bepaald door de impacthoek die de trein heeft bij aanraking. Voor rechtdoorgaand spoor volgt uit Figuur 16 dat de zijdelingse verplaatsing (wanneer de aspoten de ontsporingsgeleideconstructie raken) maximaal 0,85m bedraagt (afstand ontsporingsgeleideconstructie t.o.v. spoorstaaf). De afstand tussen de draaistellen is gelijk aan 10,4m (Appendix B). Dit resulteert in een hoek van $\pm 5^\circ$ (naar boven afgerond).



Figuur 18: Impacthoek

De voorwaartse snelheid is 80 km/u ($\approx 22 \text{ m/s}$). Vlak voor de aanrijding met de ontsporingsgeleideconstructie kan deze snelheid ontleedt worden in een snelheidscomponent loodrecht

op de ontsporingseleideconstructie (V_y) welke naar boven afgerond ± 2 m/s is en een snelheid in de langsrichting van de ontsporingseleideconstructie (V_x) van ± 22 m/s (Figuur 19).



Figuur 19: Snelheidsvector

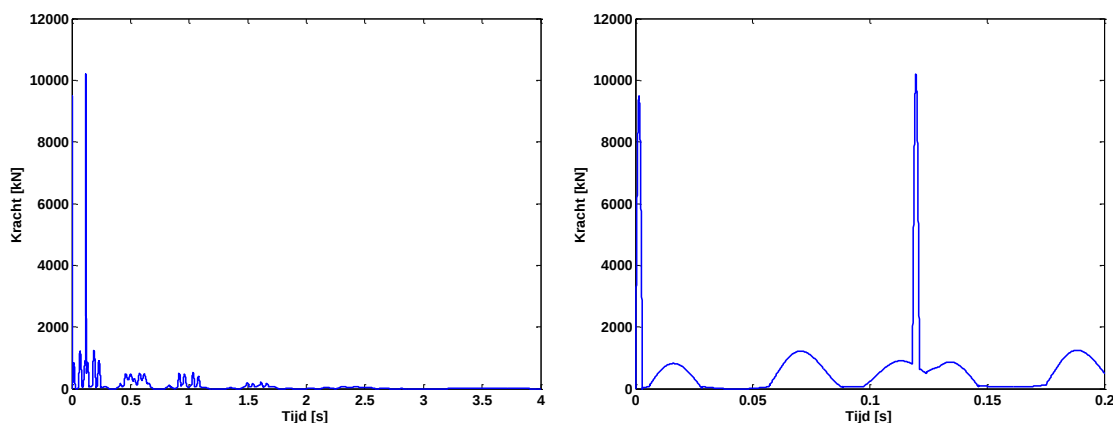
Bij een ontsporing in een boog neemt de impacthoek van de trein ten opzichten van de ontsporingseleideconstructie toe. Appendix C beschrijft hoe de impacthoek in een boog bepaald wordt. Gegeven een boogstraal van minimaal 450m is de impacthoek met de ontsporingseleideconstructie $\pm 5^\circ$ (naar boven afgerond). Deze hoek wordt ook gebruikt bij het berekenen van de kracht op de ontsporingseleideconstructie bij rechtdoorgaand spoor. De resultaten van rechtdoorgaand spoor zijn daarom ook toepasbaar voor een aanrijding in een boog.

De modellen behorende bij de aanrijdingssituatie zijn in het rekenpakket Simulink® gemodelleerd. Vervolgens is voor beide modellen het gedrag als gevolg van de aanrijding bepaald. Dit levert voor de twee verschillende situaties een kracht als functie van de tijd op. Voor de initiële impact zijn de krachten van het model met onafgeveerde massa maatgevend (situatie a). Voor de overige tijd zijn de krachten van het model zonder de onafgeveerde massa dominant (situatie b).

De uiteindelijke kracht tussen de locomotief en de ontsporingseleideconstructie wordt via twee assen (aspotten) overgedragen. Deze krachten bevinden zich op 2.6m van elkaar. Om de kracht op een locatie van de ontsporingseleideconstructie te bepalen zijn deze beide krachten verschoven met een tijdsverschuiving die gelijk is aan de asafstand en vervolgens gesommeerd.

3.3 Resultaat

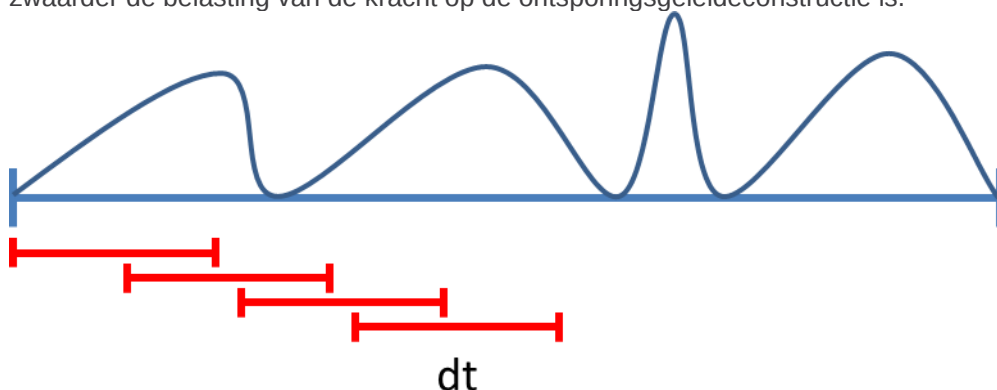
Figuur 20 toont de kracht op de ontsporingseleideconstructie als functie van de tijd. Twee pieken zijn zichtbaar met een tussentijd van ± 0.12 seconden (Figuur 20). Deze piekkrachten ontstaan door de eerste impact van de aspotten met de ontsporingseleideconstructie en de tussentijd komt overeen met de asafstand.



Figuur 20: Kracht op de ontsporingseleideconstructie als functie van de tijd (rechts zoom 0 tot 0.2 seconden)

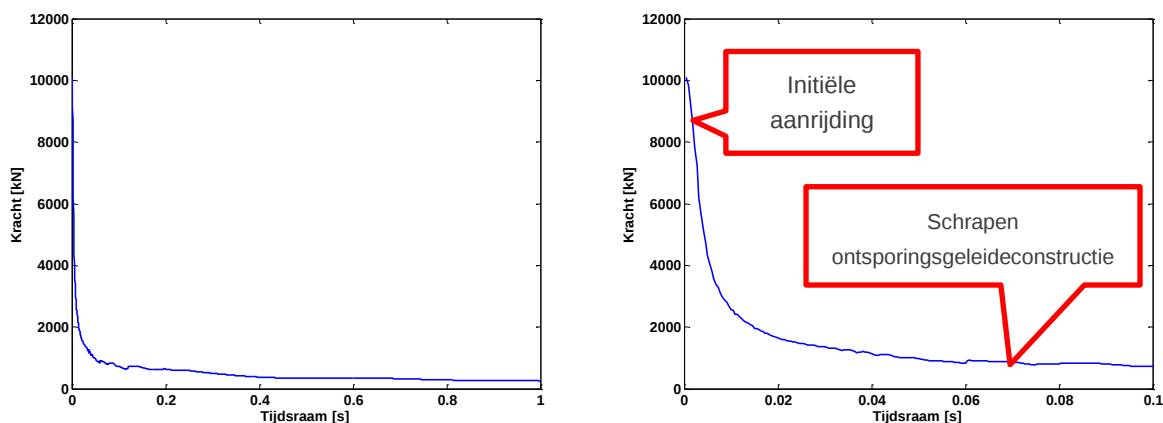
De belasting van de ontsporingsgeleideconstructie wordt bepaald door de hoogte van de kracht alsmede door de tijdsduur van de kracht. Wanneer bijvoorbeeld met een hamer op een muur wordt geslagen, kent deze een hoge piekkracht maar is zeer kortstondig van duur. Dit heeft als resultaat dat een muur lokaal uitbrokkeling vertoont, hij zal echter niet omvallen.

Om de belasting van de ontsporingsgeleideconstructie te bepalen wordt het signaal met een lopend gemiddelde geanalyseerd (Figuur 21). De duur van het lopende gemiddelde, tijdsraam (dt), geeft aan hoelang de kracht aanwezig is. Hoe groter het tijdsraam des te langer is de kracht aanwezig en hoe zwaarder de belasting van de kracht op de ontsporingsgeleideconstructie is.



Figuur 21: Bepaling lopend gemiddelde

Figuur 22 laat de krachten zien als functie van een tijdsraam. Vanaf 0,4 seconde gaat de kracht naar een stabiele waarde van ± 500 kN. Onder een tijdsraam van 0,4 sec zijn de krachten groter dan 1000 kN met een piek van 10.000 kN bij een tijdsraam van 0,003 seconde. Deze behoort bij de initiële impact van de aspot met de ontsporingsgeleideconstructie.



Figuur 22: Kracht als functie van een tijdsraam (rechts zoom 0 tot 0.1 seconden)

3.4 Conclusie

Op basis van de gehanteerde modellen wordt geconcludeerd dat de maximale kracht bij aanrijding orde grootte is van 10.000 kN. Deze kracht kent echter een korte tijdsduur (0,003s). Deze kracht is het resultaat van de initiële aanrijding met de ontsporingsgeleideconstructie (situatie a) en is met name relevant voor het optreden van lokale schade. Vanaf een tijdsraam van 0,04 seconden gaat de kracht

naar een evenwichtssituatie van ± 500 kN. Deze wordt veroorzaakt door de massa van het draaistel en locomotief, welke ervoor zorgen dat de assen tegen de ontsporingsgeleideconstructie gedrukt blijven (situatie b). Deze kracht is het meest relevant voor het bezwijken van de ontsporingsgeleideconstructie door het continu duwen al zal dit getoetst moet worden door een constructie-expert.

4 Resultaten theoretische ontsporingsscenario's in vergelijking tot historische ontsporingen

Om een gevoel te krijgen voor de mechanismen van ontsporing zijn de theoretische ontsporingsscenario's vergeleken met historische ontsporingen.

Voor het verticaal omhoogkomen was de uitgangssituatie dat het vooroplopende deel van de trein uit het spoor loopt en vervolgens een dermate grote vertraging tot gevolg heeft dat er achteroplopende wagons omhoogkomen. Het ongeval bij Stavoren (25 juli 2010, bijlage D.4) is een situatie waarbij het trein door een juk heen rijdt en vervolgens geen spoor meer onder zich heeft. Hierbij zijn de wagons niet verticaal omhoog gekomen. Gezien de grote afstand die de trein na ontsporing heeft afgelegd is het ook niet te verwachten dat de trein de benodigde vertraging voor verticaal omhoog komen heeft gehaald.

De uitkomst van de berekening van verticaal omhoogkomen is dat er een grote vertraging nodig is om verticaal omhoog te komen. Een vertraging die door alleen uit het spoorlopen niet haalbaar is, maar mogelijk wel bij een frontale aanrijding. Een frontale aanrijding bij Amsterdam (21 mei 2004, bijlage D.1) laat ook zien dat een wagon verticaal omhoog komt, echter dit gebeurt omdat de wagon zelf uitgeknipt is. Daarentegen een voorbeeld met een aanrijding met een zwaar object op het spoor (Veenendaal 31 oktober 2002, bijlage D.2) laat ook zien dat de wagons niet verticaal omhoogkomen.

Een ontsporing van een aantal tussen liggende wagons (Vleuten 23 maart 2009 (bijlage D.10) en Borne 6 november 2013 (bijlage D.11)) heeft gezien de grote weg die de trein heeft afgelegd na ontsporing niet genoeg vertraging tot gevolg om verticaal omhoog te komen.

Voor de aanrijding met de ontsporingseleideconstructie is op basis van historische ongevallen niet te zeggen of de uiteindelijke berekende krachten optreden. Wel is op basis van historische ongevallen zichtbaar wat de meest waarschijnlijke situatie is om zijwaarts uit het spoor te raken. Er is altijd een combinatie van factoren aanwezig om zijwaarts uit het spoor te raken (Tabel 1). Al zijn er geen historische situaties bekend waarbij de voorkant/locomotief van de trein zijwaarts uit het spoor loopt en vervolgens de ontsporingseleideconstructie raakt.

Tabel 1: Historische ongevallen zijwaarts uit het spoor

Locatie	Factoren	
Maasvlakte, 13 april 2012	Frontale aanrijding	bijlage D.3
Amsterdam, 15 augustus 2005	Wissel en te strak gekoppeld	bijlage D.6
Apeldoorn, 30 april 2003	Te hoge snelheid en losse belading	bijlage D.7
Amsterdam, 22 november 2008	Kapotte aspot en wissel	bijlage D.8
Boxtel, 8 december 2005	Kapotte aspot	bijlage D.9

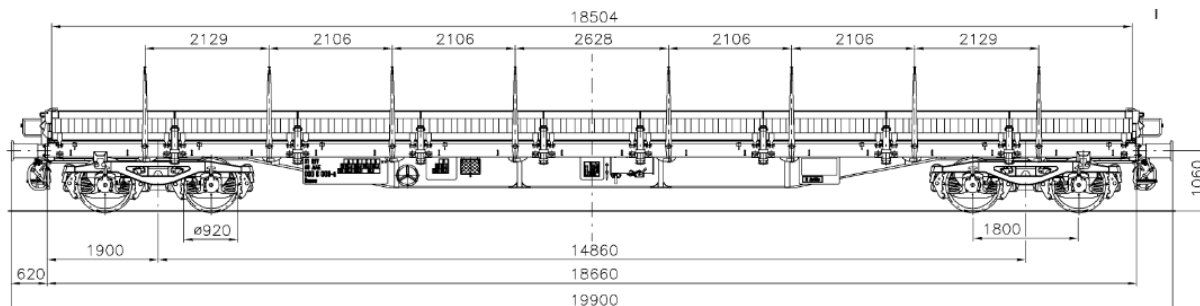
Voor een aantal van de combinatie van factoren die in het verleden tot een zijwaartse ontsporing heeft geleid zijn in voorgaande onderzoeken [2] al mitigerende maatregelen meegenomen. De eerder beschreven ontsporingseleideconstructie voorkomt dat treinen tijdens ontsporen op elkaars spoor komen. Daarnaast voorkomt de ontsporingseleideconstructie dat treinen ver buiten het spoor raken en daardoor van het ballastbed afvallen en kantelen (D.9) of van een kunstwerk afvallen (D.8). Verder is er ook het gebruik van een hotboxsysteem beschreven, welke vroegtijdig defecten aan aspotten kan ontdekken, en het 'nieuwe' beveiligingssysteem ERTMS welke ingrijpt bij te hard rijden en de machinist ver vooruit laat zien wat zijn vrije pad is. Met behulp van deze maatregelen is het zeer onwaarschijnlijk dat er een vergelijkbare ontsporing als bovenstaand op het alternatieve tracé zich zal herhalen.

5 Referenties

- [1] Offerte vraagstelling berekening Calandbrug, Lloyd's Register Rail Europe, Ref 03-546822
- [2] Project Calandbrug: Analyse Afstortrisico Alternatief Theemsweg, Movares, E60-FHO-KA-1300357

Appendix A Dimensies type rens

Hieronder worden de dimensies van een platte wagen type rens gegeven. De belading zal bestaan uit een massief rechthoek. Voor de dimensies van de belading wordt uitgegaan van de ruimte die aanwezig is binnen het profiel van vrije ruimte (Maximale hoogte 4,70m). Verder wordt het zwaartepunt van een lege wagen op de hoogte van de buffers geplaatst.



Figuur 23: Platte wagen (type rens)

Dimensie wagon:

Gewicht leeg	25.000	kg
Gewicht maximaal beladen	100.000	kg
Zwaartepunt leeg	1	m
Hoogte buffers	1,06	m
Hoogte As	0,5	m

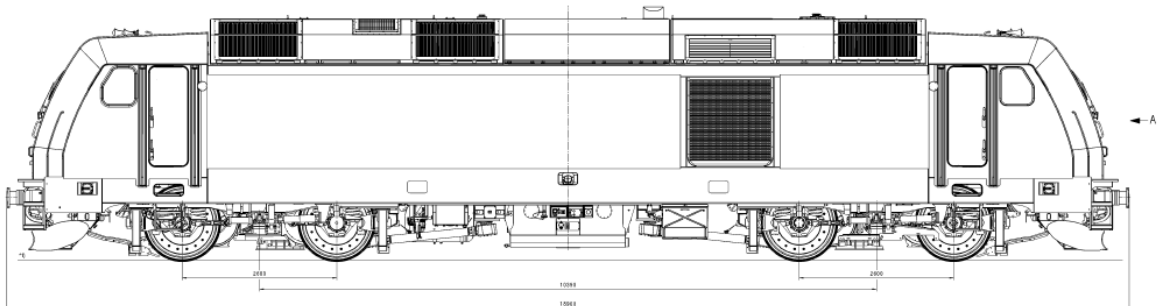
Dimensie belading:

Maximale hoogte	3,7	m
Gewicht	0~75000	kg
Zwaartepunt	0~3,7	m

De massa en de hoogte van het zwaartepunt van de belading zijn gebruikt voor het berekenen van de minimaal benodigde vertraging om te gaan kiepen.

Appendix B Dimensies Locomotief

In deze appendix worden de dimensie van een doorsnee locomotief (hier is de BR186 gekozen) gegeven.

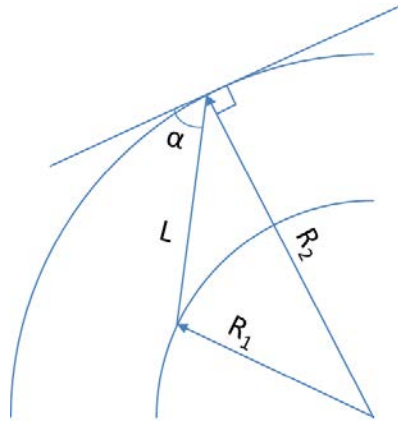


Dimensie locomotief:

Gewicht locomotief (secundair)	55000	kg
Draaistel (secundair + primair)	6300	kg
Onafgeveerd	9000	kg
Draaistel afstand	10,4	m
Hoogte aspot	0,625	m
Asafstand	2,6	m

Appendix C Bepaling impacthoek in een boog

De impacthoek die de trein heeft bij aanrijden in een boog is afhankelijk van de straal van de boog als van de afstand tussen de draaistellen.



Figuur 24: Impacthoek (α) in een boog

Figuur 24 laat schematisch de verhoudingen zien bij een aanrijding van de ontsporingsgeleideconstructie in een boog waarbij L gelijk is aan de tapafstand, R_1 gelijk is aan de boogstraal, R_2 gelijk is aan de boogstraal plus de zijdelings verplaatsing die het draaistel heeft voordat deze de muur raakt. Met behulp van de cosinusregel kan vervolgens de hoek bepaald worden.

De hoek kan bepaald worden met de volgende formule:

$$\alpha = 90^\circ - \arccos\left(\frac{(R_1^2 - R_2^2 - L^2)}{-2 \cdot R_2 \cdot L}\right)$$

Appendix D Historische ongevallen

Deze appendix bevat een aantal historische ongevallen die een beeld laten zien welke overeenkomen met de vraagstelling. De gegevens komen van de onderzoeksraad voor veiligheid (OVV).

D.1 Frontale botsing (STS passage, 21 mei 2004 Centraal station, Amsterdam)

Na een STS-passage van de getrokken trein rijden twee treinen frontaal op elkaar. Door de enorme vertraging knikt de eerste wagon over de locomotief.



D.2 Object op het spoor (Overweg te Veenendaal blijft open bij nadering trein, 31 oktober 2002)

Een oplegger is op een overweg blijven staan. Vervolgens is de trein gelift.



D.3 Frontale botsing (Treinbotsing Maasvlakte, 13 april 2012)

In een boog is een trein na een frontale botsing uit het spoor gelopen. Gevolg is dat de trein zijdelings geschaard is.



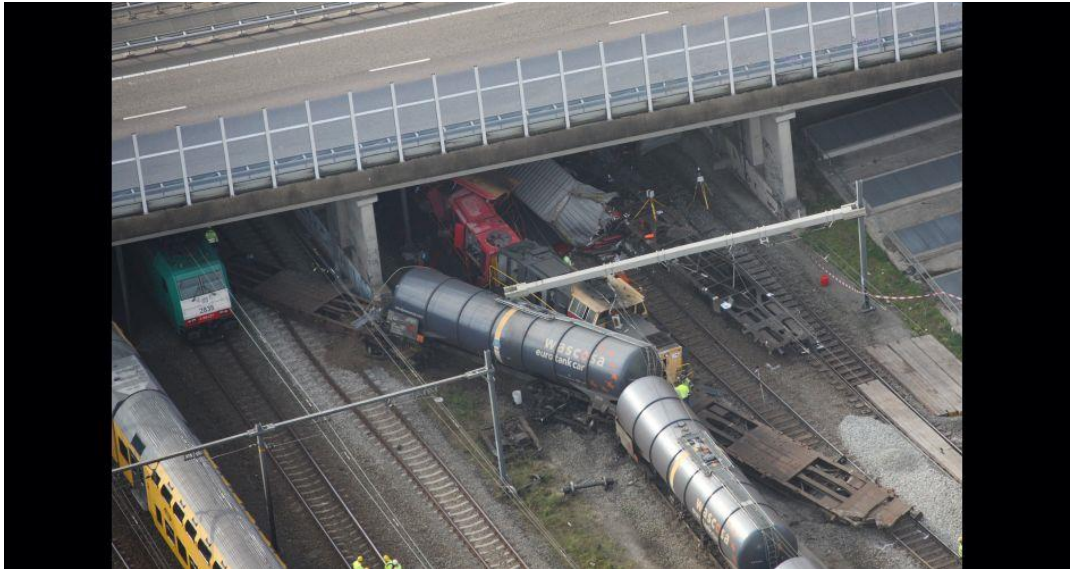
D.4 Uit het spoor lopen (Ongeval met een slijptrein, 25 juli 2010 Stavoren)

Slijptrein is door het juk gereden. Door het missen van zijdelingse geleiding (geen spoor) is de trein geschaard.



D.5 Frontale botsing (Botsing tussen twee goederentreinen en een passagierstrein, 24 september 2009 Barendrecht)

Twee goederentreinen zijn frontaal op elkaar gebotst. Vervolgens zijn de achteroplopende wagons zijdelings uit het spoor gelopen.



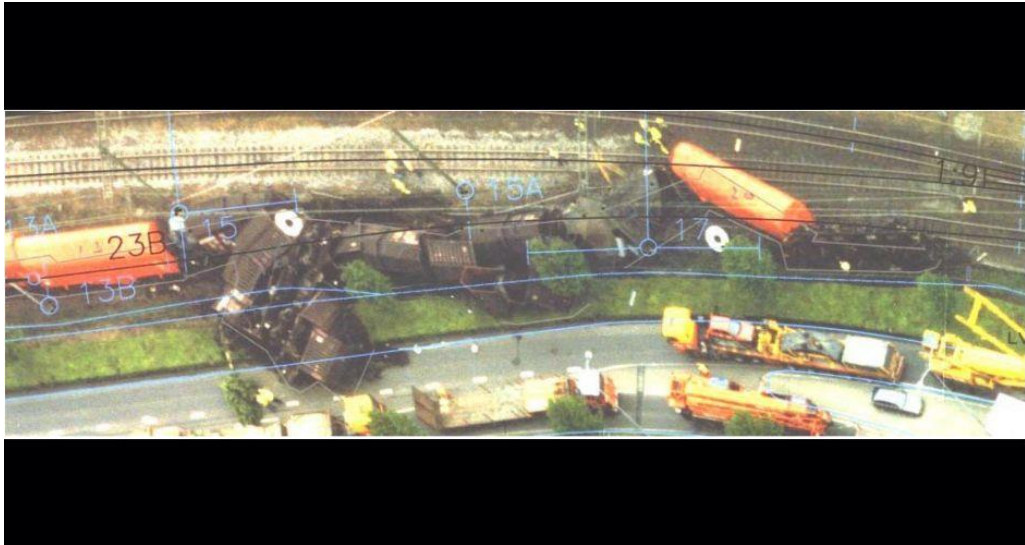
D.6 Eruit geduwd worden (Ontsporing, 15 augustus 2005 Centraal station, Amsterdam)

Wagons zijn in een krappe boog (wissel) uit het spoor gedrukt door de duwende locomotief. Oorzaak was dat de wagons te strak waren gekoppeld.



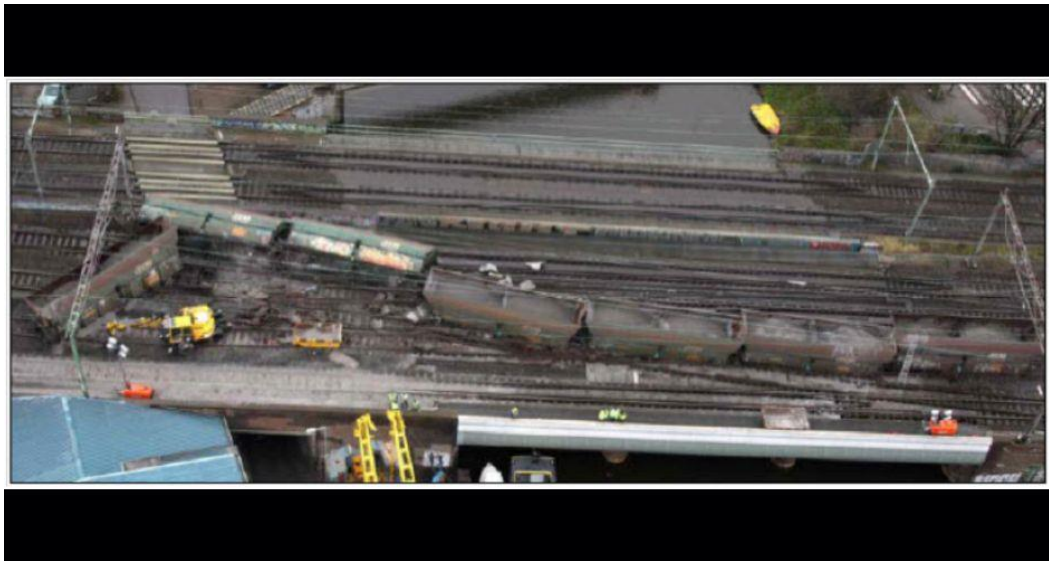
D.7 Te hoge snelheid door een boog (Ontsporing goederentrein, 30 april 2003 Apeldoorn)

Een te hoge snelheid door een krappe boog en schuivende lading zijn meerdere wagons uit het spoor gelopen en vervolgens gekanteld.



D.8 Kapotte aspot (Ontsporing goederentrein, 22 november 2008 Station Muiderpoort, Amsterdam)

Warmgelopen aspot resulteert in een gebroken astap. Vervolgens loopt de wagon uit het spoor en rijdt nog enige tijd door. Bij het passeren van een wissel ontstaat vervolgens de situatie waarbij de trein geheel ontspoord, kantelt, en van het kunstwerk afstort.



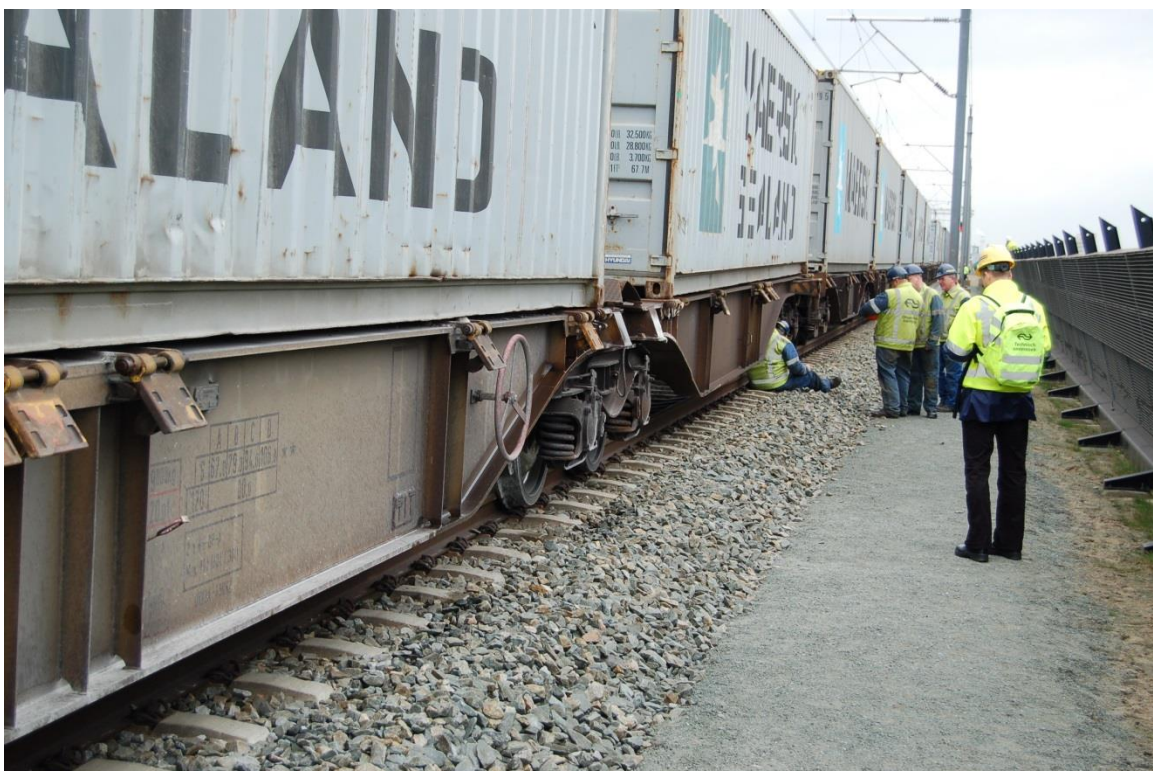
D.9 Kapotte aspot (Baxtel 8 december 2005)

Door een kapotte aspotlager breekt de as uit een draaistel. De wagon rijdt 1600m door. Tijdens het remmen loopt de luchtleiding snel leeg en breken de ontspoorde wagons af van de rest van de trein. Door de relatieve hoge ligging van het spoor t.o.v. de omgeving kantelen de wagons.



D.10 Vaste remblokken (Vleuten 23 maart 2009)

Door een vast remblok, blokkeert een wielstel. Er ontstaat een vlakke plaats waardoor een draaistel uit het spoor. De trein rijdt nog 5km voordat de machinist op de hoogte wordt gesteld dat er een wagon is ontspoord.



D.11 Gebroken wielband (Borne 6 november 2013)

Door een gebroken wielband loopt een wielstel uit het spoor. De trein rijdt nog 5km door voordat de machinist de trein tot stilstand brengt.

