

Smartphones als Meetinstrument voor Langsonvlakheid

ROBERT-JAN LUB
UNIVERSITEIT TWENTE | ARCADIS



COLOFON

Titel	Smartphones als Meetinstrument voor Langsonvlakheid
Colloquium	Universiteit Twente, 19 februari 2016
Auteur	Robert-Jan Lub
Studentnummer	S1025023
E-mailadres	robertjanlub@gmail.com
Universiteit	Universiteit Twente
Faculteit	Construerende Technische Wetenschappen
Opleiding	Construction Management and Engineering
Bedrijf	Arcadis
Divisie	Mobiliteit
Adviesgroep	Asset Management
Examencommissie	Eerste begeleider universiteit Dr. sc. techn. A. Hartmann Tweede begeleider universiteit Dr.ir. S.R. Miller Begeleider bedrijf Ir. P. Pansters

VOORWOORD

U leest het begin van wat onderdeel is van het einde van mijn studie: mijn thesis. Hoewel ik het onderzoek heb uitgevoerd en in dit verslag heb vastgelegd, wil ik een aantal mensen danken die dat mogelijk hebben gemaakt.

Allereerst gaat mijn dank uit naar mijn collega's aan de Asset Management Adviesgroep van Arcadis, en meer specifiek naar Robert van de Krol en Peter Pansters. Robert heeft als hoofd van de groep mij uitgebreid de ruimte gegeven om mijn onderzoek af te ronden. Peter, mijn begeleider tijdens dit afstudeertraject, jou wil ik graag bedanken voor alle tijd en input die je in me hebt gestoken. Je was altijd bereid om een potje te sparren en hebt me goed aan het denken gezet.

Bij de Universiteit Twente gaat mijn dank uit naar mijn twee begeleiders Andreas Hartmann en Seirgei Miller. Met behulp van jullie input is dit onderzoek tot stand gekomen en jullie constructieve feedback heeft ervoor gezorgd dat er nu een verslag ligt waar ik trots op kan zijn. Vervolgens wil ik graag Fatjon Seraj van de Pervasive Systems Group aan de Universiteit bedanken. Fatjon is er samen met mij op uit getrokken om smartphonedata te verzamelen en heeft deze vervolgens voor mij verwerkt. Zijn enthousiasme omtrent het onderwerp werkte aanstekelijk.

De auto waarmee gereden is tijdens het verzamelen van de smartphonedata is beschikbaar gesteld door de Fontys Hogeschool Automotive van Eindhoven. Het oorspronkelijke idee was namelijk om ook autodata te verzamelen waarvoor hun kennis en materiaal nodig was. Ondanks dat we de data door een ontbrekend GPS-signaal niet konden gebruiken, wil ik uiteraard Erik Groenendijk de Laat en Bas de Klein hartelijk danken voor hun inzet.

Andere data die nodig was voor dit onderzoek betrof die van een ARAN. Deze is beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat. Ik wil de expert van Rijkswaterstaat niet alleen danken voor deze data, maar ook voor hun tijd en kennis die ze beschikbaar hebben gesteld voor dit onderzoek.

Vervolgens wil ik het woord richten tot mijn vrienden. Wouter, bedankt voor het doorlezen van mijn verslag en je feedback. Patatras, bedankt voor de goede zorgen als ik weer in Enschede op bezoek was. Alle andere vrienden en Judith in het bijzonder, dank voor jullie positiviteit, steun of advies. Tot slot wil ik mijn ouders bedanken. Jullie hebben dit allemaal mogelijk gemaakt en hebben me gesteund van het begin van mijn studie tot het eind. Ik hoop dat ik mijn dank voldoende heb laten horen, maar hierbij nogmaals: hartelijk dank!

Robert-Jan Lub

Den Haag, 5 januari 2016

EXECUTIVE SUMMARY

This research is part of the exploration of the Asset Management Advisory Group of Arcadis towards the added value of Big Data for Asset Management. The objective of this research is to determine to which extent smartphones are able to measure the road roughness and whether they are able to replace existing road roughness measuring methods, considering the requirements of Rijkswaterstaat (RWS), or can be of other added value for the Asset Management process.

The usage of RWS of the road roughness data is mapped by conducting expert interviews. It emerged that RWS uses road roughness data in the form of the Half-Car Roughness Index (HRI), along with four other parameters to prepare their Multiple Year Plan for Pavement Maintenance (MJPV). The HRI is measured with the Automatic Road Analyzer (ARAN). Based on the information needs of RWS that were indicated by the experts different criteria are formulated.

During a test drive smartphone data is collected, which is processed using *RoADS* and then is assessed based on the criteria. As a reference framework for this analysis ARAN-data of RWS has been used. The findings of the analysis are listed below per criterion.

1. The location in the width of the road should be determined with an accuracy of which it is possible to determine with 95% certainty on which lane of the road the data has been collected.

The distributions of the locating accuracy of the smartphones have been determined by comparing the coordinates of the smartphones with those of the ARAN. The highest certainty with which the collected smartphone data could be assigned to a lane is 83,33% for the *OnePlus One* and 91,01% for the *S4 Mini*. Therefore the smartphones do not meet the first criterion.

2. The location in the length of the road should be determined with a maximum standard deviation of 5 meters and must be determined within every 100 meters.

The same distributions that were determined for the first criterion have been used here. The *OnePlus One* has a standard deviation of 2,33m and the *S4 Mini* 1,62m. The GPS signal of the smartphones have a frequency of 1 Hz, which means that a speed of over 360 km/h should be reached to have a measurement gap of over 100m between two points. Since this is not a realistic speed to be reached on the national *RoADS*, it is concluded that the second criterion is met.

3. The average HRI should be delivered in 100 meters segments with a maximum standard deviation of 0,1m/km.

Prediction functions have been determined that use the classes that *RoADS* assigns to the collected smartphone data. The predictions based on class 1 have a standard deviation of 0,2362m/km and those based on class 3 of 0,2638m/km. In both cases the criteria is not met.

Based on the results it is concluded that smartphones currently do not comply with the use of RWS to measure the road roughness and, therefore, are not able to replace the ARAN. By conducting a brainstorm session with Asset Management experts of Arcadis other possible areas of application were identified. These include the monitoring of road roughness in new construction projects, monitoring of road networks in developing countries, the use of *RoADS* for day-to-day pavement management, and better analysing the degradation process of road roughness by collecting more data.

SAMENVATTING

Dit onderzoek maakt deel uit van de verkenning van de Asset Management adviesgroep van Arcadis naar de meerwaarde van *Big Data* voor hun werkgebied. De doelstelling van dit onderzoek is bepalen in hoeverre smartphones in staat zijn om de langsonvlakheid te meten en of ze bestaande methodes voor het meten van de langsonvlakheid kunnen vervangen gezien het gebruik van Rijkswaterstaat (RWS), of een andere meerwaarde voor het Asset Management proces kunnen vormen.

Het gebruik van RWS is in kaart gebracht door middel van expertinterviews. Daarin kwam naar voren dat RWS gebruik maakt van langsonvlakheid, in de vorm van de Half-Car Roughness Index, samen met vier andere parameters voor het opstellen van hun Meer Jaren Plan Verhardingsonderhoud (MJPV). De HRI wordt gemeten door middel van de *Automatic Road Analyzer* (ARAN). Op basis van de informatiebehoefte die de experts aangaven zijn criteria opgesteld.

Vervolgens is er tijdens een proefrit smartphonedata verzameld, die verwerkt is met behulp van *RoADS* en vervolgens is beoordeeld aan de hand van de opgestelde criteria. Als referentiekader voor deze analyse is gebruik gemaakt van ARAN-data van RWS. De bevindingen van de analyse staan hieronder per criterium uiteengezet.

1. De plaatsbepaling van de HRI moet in de breedterichting dusdanig nauwkeurig zijn dat met 95% zekerheid geïdentificeerd kan worden over welke rijstrook de data is verzameld.

Hiervoor zijn de verdelingen van de plaatsbepaling van de smartphones bepaald door smartphone-coördinaten te vergelijken met die van de ARAN. De hoogste zekerheid waarmee de verzamelde smartphonedata aan een rijstrook kan worden toegekend bedraagt voor de *OnePlus One* 83,33% en voor de *S4 Mini* 91,01%. Hiermee wordt niet voldaan aan het eerste criterium.

2. De plaatsbepaling in de lengterichting moet met een maximale standaarddeviatie van 5m worden bepaald en per 100 meter.

Hiervoor zijn dezelfde verdelingen als voor het eerste criterium gebruikt. De plaatsbepaling in de lengterichting vindt plaats met een standaarddeviatie van 2,33m voor de *OnePlus One* en 1,62m voor de *S4 Mini*. Het GPS-signaal heeft een frequentie van 1 Hz, wat betekent dat een snelheid van 360km/h moet worden gereden om 100m tussen twee meetpunten te verkrijgen. Aangezien dit geen realistische snelheden voor de nationale wegen zijn, is geconcludeerd dat aan het tweede criterium wordt voldaan.

3. De gemiddelde HRI moet in 100 meter segmenten worden aangeleverd met een maximale standaarddeviatie van 0,1m/km.

Hiervoor zijn voorspellingsfuncties opgesteld die gebruik maken van de Klassen die *RoADS* aan de verzamelde smartphonedata toekent. De voorspellingen op basis van Klasse 1 hebben een standaarddeviatie van 0,2362m/km en die op basis van Klasse 3 een van 0,2638m/km. In beide gevallen wordt dus niet voldaan aan de gestelde eis van 0,1m/km.

Er is geconcludeerd dat de smartphones niet voldoen aan het gebruik van RWS voor het meten van de langsonvlakheid en daarmee ook niet in staat zijn om de ARAN te vervangen. Door middel van een brainstorm met Asset Management experts van Arcadis zijn andere mogelijke toepassingsgebieden geïdentificeerd. Deze betreffen het monitoren van langsonvlakheid bij nieuwbouwprojecten, monitoren van wegennetwerken in ontwikkelingslanden, het gebruik van *RoADS* t.a.v. het dagelijks beheer en het beter analyseren van het degradatieproces van langsonvlakheid door middel van meer data.

INHOUDSOPGAVE

COLOFON	i
Voorwoord	iii
Executive Summary	iv
Samenvatting	v
Inhoudsopgave	vi
Lijst met figuren	viii
Lijst met Tabellen	ix
Lijst met afkortingen	ix
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Arcadis – Asset Management Adviesgroep	1
1.3 Onderzoekcontext en Afbakening	2
1.3.1 Asset Management	2
1.3.2 Meten van Fysieke Conditie	4
1.3.3 De Auto als Sensor	5
1.3.4 Onderzoeksafbakening	6
1.4 Conclusie Hoofdstuk 1	7
2 Onderzoekontwerp en Aanpak	8
2.1 Onderzoeksaanpak	9
2.1.1 Onderzoeksvraag 1	9
2.1.2 Onderzoeksvraag 2	9
2.1.3 Onderzoeksvraag 3	10
2.1.4 Onderzoeksontwerp	10
2.2 Relevantie	11
2.3 Leeswijzer	11
3 Langsonvlakheid	12
3.1 Oorzaak	12
3.2 De International- en de Half-car Roughness Index	13
3.3 Langsprofiel	15
3.4 Conclusie Hoofdstuk 3	17
4 Langsonvlakheid Criteria	18
4.1 Langsonvlakheid bij Rijkswaterstaat	18
4.2 Opstellen Criteria	19
4.3 Conclusie Hoofdstuk 4	20
5 Langsonvlakheid met Smartphone	21
5.1 ARAN-Data	21
5.2 Verzamelen Smartphonedata	21
5.3 Verwerken Smartphonedata	22
5.3.1 RoADS	22
5.3.2 Toepassen van RoADS	23
5.4 Analyseren Smartphonedata	24
5.4.1 Rijstrookbepaling	24

5.4.2	Plaatsbepaling in de lengterichting	28
5.4.3	Overige opmerkingen plaatsbepaling	29
5.4.4	Nauwkeurigheid HRI	29
5.5	Conclusie Hoofdstuk 5	31
6	Andere Toepassingsgebieden	33
6.1	Aanpak Brainstorm	33
6.2	Bevindingen Brainstorm	33
6.2.1	Monitoren bij Nieuwbouwprojecten	33
6.2.2	Monitoren voor Dagelijks Beheer	34
6.2.3	Monitoren van Wegennetwerk in ontwikkelinslanden	34
6.2.4	Analyseren van degradatie	34
6.3	Conclusie Hoofdstuk 6	35
7	Conclusies, Discussie en Aanbevelingen	36
7.1	Conclusies	36
7.2	Discussie	37
7.2.1	Criteria RWS	37
7.2.2	Smartphonedata Verzamelen	37
7.2.3	Smartphonedata Verwerken	38
7.2.4	Smartphonedata Analyseren	38
7.2.5	Algemene discussie	38
7.3	Aanbevelingen	39
7.3.1	Algemene Aanbevelingen	39
7.3.2	Verdere Ontwikkeling	40
7.3.3	Aanbeveling Arcadis	40
8	Bibliografie	41
9	Bijlagen	43

LIJST MET FIGUREN

Figuur 1: Organigram Arcadis	1
Figuur 2: Value Based Asset Management Framework.....	2
Figuur 3: Schematische weergave onderzoekontwerp	10
Figuur 4: Oorzaken langsonvlakheid (Hunt & Bunker, 2004, p. 5)	12
Figuur 5: Kwart-automodel simulatie en de bijhorende parameters.....	13
Figuur 6: Voorbeeld waarbij het linker en rechter langprofiel elkaar nivelleren	14
Figuur 7: IRI drempelwaardes per land (Souza, Neto, & Farias, 2004).....	15
Figuur 8: Het plenaire model van een personenauto (Kropac & Mucka, 2005).....	15
Figuur 9: Voorbeeld van een viagraaf, rolrei, waterpasinstrument en dipstick	16
Figuur 10: Schematische weergave <i>Inertial Profiler</i> (Sayers & Karamihas, 1998, p. 6)	16
Figuur 11: Foto's van de ARAN van RWS	17
Figuur 12: Samenvatting HRI bij RWS.....	19
Figuur 13: Overzicht beschikbare data (zwart) en geselecteerde route (groen).....	22
Figuur 14: Visuele weergave van output <i>RoADS</i>	24
Figuur 15: Methode voor het bepalen van de afstand tussen coördinaten van ARAN en smartphones... 25	25
Figuur 16: De gevonden afwijkingen voor de <i>OnePlus One</i> coördinaten t.o.v. de ARAN-coördinaten	26
Figuur 17: De gevonden afwijkingen voor de <i>S4 Mini</i> coördinaten t.o.v. de ARAN-coördinaten	26
Figuur 18: De verdeling van de plaatsbepalingen voor de <i>OnePlus One</i>	26
Figuur 19: De verdeling van de plaatsbepalingen voor de <i>S4 Mini</i>	26
Figuur 20: Verdeling plaatsbepaling van <i>OnePlus One</i> op linker en rechter rijbaan geplot	27
Figuur 21: Verdeling plaatsbepaling van <i>S4 Mini</i> op linker en rechter rijbaan geplot	27
Figuur 22: Kansverdeling dat meting op linker of rechter rijbaan is gemeten op basis van afwijking van het midden van snelweg voor <i>OnePlus One</i>	27
Figuur 23: Kansverdeling dat meting op linker of rechter rijbaan is gemeten op basis van afwijking van het midden van snelweg voor <i>S4 Mini</i>	27
Figuur 24: De gevonden plaatsbepaling verdeling van de <i>OnePlus One</i> vs. het gestelde criterium	28
Figuur 25: De gevonden plaatsbepaling verdeling van de <i>S4 Mini</i> vs. het gestelde criterium	28
Figuur 26: Overlap in 100m-secties	29
Figuur 27: Gemiddelde HRI en percentages van Klassen per 100m-sectie: Amersfoort - Hilversum	30
Figuur 28: Gemiddelde HRI en percentages van Klassen per 100m-sectie: Hilversum - Amersfoort	30
Figuur 29: Scatter plot van HRI-waarden tegen percentages van de verschillende klassen voor beiden trajecten	30
Figuur 30: Voorspellingsfuncties op basis van lineaire regressie van Klasse 1	31
Figuur 31: Voorspellingsfuncties op basis van lineaire regressie van Klasse 3	31
Figuur 33: Verdeling van afwijkingen van voorspellingen waar Klasse 1 $\neq$ 0% of 100%.....	31
Figuur 34: Verdeling van afwijkingen van voorspellingen waar Klasse 3 $\neq$ 0% of 100%.....	31
Figuur 35: Coördinaten van ARAN (rood) en smartphones (groen)	51
Figuur 36: De coördinaten met de opgestelde ARAN-functies	51
Figuur 37: De coördinaten met de opgestelde ARAN-functies (rode lijn).....	52
Figuur 38: De opgestelde afbakeningsfuncties (blauwe lijn).....	52
Figuur 39: De coördinaten met de opgestelde ARAN-functies (rode lijn).....	54
Figuur 40: Vaststellen van referentiepunt (blauwe punt) met behulp van loodrechte (oranje lijn) op ARAN-functie en door smartphone-coördinaten	54
Figuur 41: Overzicht gereden route	55
Figuur 42: Voorbeeld van een sectie ter verduidelijking van de berekening van de percentages van de klassen over een wegsectie.....	55
Figuur 43: Voorbeeld van opstellen voorspellingsfunctie met 0% en 100% datapunten	56

Figuur 44: Voorbeeld van opstellen voorspellingsfunctie zonder 0% en 100% datapunten	56
Figuur 45: Verdeling van afwijkingen waar HRI(100%) geen goede voorspelling geeft met Klasse 1	57
Figuur 46: Verdeling van afwijkingen waar HRI(0%) geen goede voorspelling geeft met Klasse 3	57

LIJST MET TABELLEN

Tabel 1: Overzicht literatuur	7
Tabel 2: Parameters in dataset RWS	21
Tabel 3: Snelwegen regio Utrecht met percentages HRI-waarden	22
Tabel 4: Samenvatting verwerkte data	24

LIJST MET AFKORTINGEN

ARAN	Automatic Road Analyzer
CIV	Centrale Informatie Voorziening
GPO	Groot Projecten Onderhoud
HRI	Half-car Roughness Index
IRI	International Roughness Index
MJPV	Meer Jaren Plan Verhardingsonderhoud
RWS	Rijkswaterstaat
SLA	Service Level Agreement
UTM	Universal Transverse Mercator

1 Inleiding

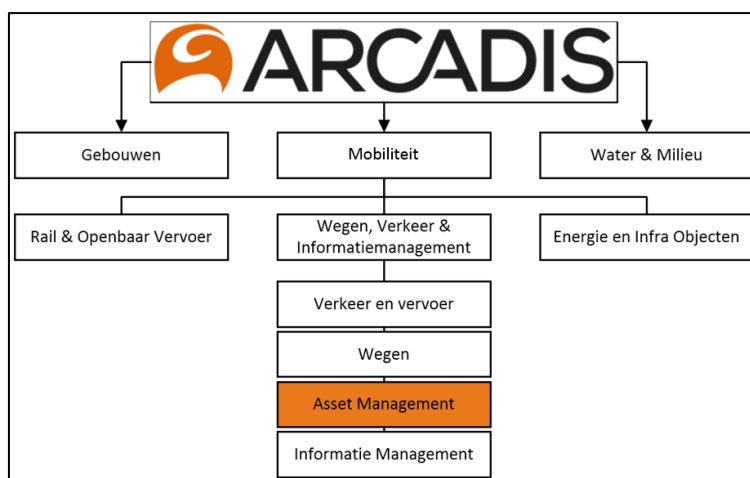
1.1 AANLEIDING

Big Data is een *hot topic* van de laatste tijd voor zowel de industrie, de wetenschappelijke wereld als voor overheden. De meerwaarde van *Big Data* wordt door al die partijen uitgebreid onderzocht. Zo is ook de adviesgroep Asset Management van Arcadis de toegevoegde waarde van grote datasets aan het verkennen voor haar werkgebied: het Asset Management van het wegennetwerk.

Big Data-bronnen die de laatste tijd meer aandacht krijgen binnen dit vakgebied zijn de auto en smartphones. Getracht wordt door middel van deze databronnen informatie in te winnen over het wegenareaal, zodat extra metingen overbodig worden. Als onderdeel van hun *Big Data*-verkenning wil Arcadis weten in hoeverre zij gebruik kan maken van auto- en smartphonedata voor het meten van de fysieke conditie van wegen.

1.2 ARCADIS – ASSET MANAGEMENT ADVIESGROEP

Arcadis is een advies-, ontwerp-, projectmanagement- en ingenieursorganisatie werkzaam op de gebieden van infrastructuur, water, milieu en gebouwen. Arcadis is in eerste instantie als een vereniging onder de naam de Nederlandsche Heidemaatschappij opgericht in 1888 te Arnhem. Zij had als doel om advies te leveren op het gebied van ontginning van woeste gronden. Na de overname van het NS-ingenieursbureau Articon in 1997 werd de naam gewijzigd naar Arcadis. Arcadis groeide in de loop der jaren uit tot een van de grootste internationale adviesbureaus met meer dan 20.000 werknemers verdeeld over 300 kantoren in 40 landen en met een omzet van €2.5 miljard (2013). In Nederland is Arcadis opgedeeld in 3 divisies aan de hand van de sectoren waarin ze werkzaam zijn, namelijk gebouwen, mobiliteit en water & milieu. De Asset Management adviesgroep maakt onderdeel uit van de divisie mobiliteit onder de marktgroep wegen, verkeer en informatiemanagement, zie Figuur 1.



Figuur 1: Organigram Arcadis

De Asset Management adviesgroep levert advies op strategisch, tactisch en operationeel niveau aan Asset Owners, Asset Managers en Service Providers op het gebied van wegen en de daarbij behorende

infrastructuur. Klanten die zij voorzien zijn Rijkswaterstaat, provincies, gemeentes, de industrie en aannemers. Haar werkzaamheden zijn gebaseerd rondom het Asset Management principe.

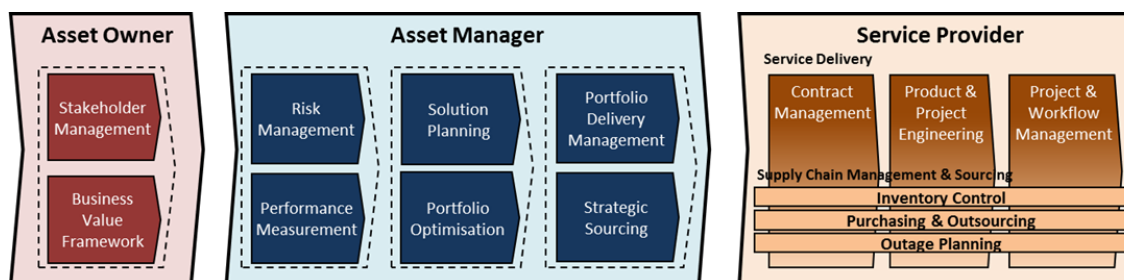
1.3 ONDERZOEKCONTEXTE EN AFBAKENING

Ter verduidelijking van de onderzoekcontext wordt in deze paragraaf uitgelegd wat de basisprincipes van Asset Management inhouden. Daarnaast vindt een afbakening voor het onderzoek plaats.

1.3.1 ASSET MANAGEMENT

“Asset Management vertaalt de organisatiedoelstellingen naar Asset-gerelateerde beslissingen, plannen en activiteiten op basis van een risico-gestuurde benadering.” (Nederlands Normalisatie Instituut, 2014, p. 6)

Bovenstaande omschrijving is een definitie van Asset Management zoals die in de norm NEN-ISO 55000:2014 wordt gegeven. Asset Management is, zoals af te lezen uit de definitie en zoals wordt beaamd door meerdere auteurs (Falls, Haas, McNeill, & Tighe, 2001, p. 2), (Woodhouse, 2006, p. 1), (Moon, Aktan, Furuta, & Dogaki, 2009, p. 25), (Too, 2010, p. 31), (Schraven, Hartmann, & Dewulf, 2011, p. 62) een breed begrip, waar geen eenduidige omschrijving van bestaat. Om te verduidelijken wat er onder Asset Management wordt verstaan in dit onderzoek, wordt er in deze paragraaf dieper op het begrip ingegaan. Het Value Based Asset Management Framework (VBAM) van Arcadis, een kader wat zij gebruikt ter verduidelijking voor haar klanten (zie Figuur 2), wordt hierbij gebruikt als rode draad, aangevuld met bronnen uit de wetenschappelijke literatuur.



Figuur 2: Value Based Asset Management Framework

Om context te kunnen geven aan Asset Management is het belangrijk om te kijken wat voor een Assets het hoofdonderwerp vormen. De definitie van Assets volgens de NEN-ISO 55000:2014 luidt als volgt:

“Een Asset is een zaak, ding of entiteit met potentiële of daadwerkelijke waarde voor een organisatie. De waarde zal voor verschillende organisaties en de stakeholders van die organisaties variëren en kan materieel of immaterieel, financieel of niet-financieel zijn.” (Nederlands Normalisatie Instituut, 2014, p. 7)

De Assets die het hoofdonderwerp vormen van de werkzaamheden die de Asset Management adviesgroep van Arcadis uitvoert, hebben te maken met verkeer en vervoer. Daarmee zijn ze grotendeels fysiek van aard en kunnen ingedeeld worden onder wat Uddin et al. (2013) als publieke infrastructurele Assets omschrijven. De publieke infrastructurele Assets worden door Uddin et al. (2013) opgedeeld in 7 categorieën: transport, water en afvalwater, afvalmanagement, energieproductie en -distributie, gebouwen, recreatie, en communicatie. Het hoofdonderwerp van de werkzaamheden van de Asset Management adviesgroep van Arcadis betreffen dus publieke infrastructurele Assets in de categorie transport.

De partijen die betrokken zijn bij het managen van de Assets kunnen worden opgedeeld in 3 categorieën, de Asset Owner, de Asset Manager en de Service Provider. De definities die gepaard gaan met deze rollen zoals omschreven in de Nederlandse Technische Afspraak, NTA 8120:2009 luiden als volgt:

“De Asset Owner is verantwoordelijk voor het bepalen van de Asset Management-doelstellingen en houdt hierbij rekening met de geldende bedrijfswaarden. De Asset Owner is eigenaar van de assets en besteedt het beheer uit aan de Asset Manager.” (Nederlands Normalisatie Instituut, 2009, p. 57)

“De Asset Manager is verantwoordelijk voor het ontwikkelen van beleid waarmee de doelstellingen kunnen worden gerealiseerd. De Asset Manager stelt daartoe diverse plannen samen, rekening houdend met risico's op het gebied van veiligheid, kwaliteit en capaciteit. De Asset Manager is verantwoordelijk voor het realiseren van de plannen en voor de uitbesteding van diensten en werkzaamheden aan de Service Provider.” (Nederlands Normalisatie Instituut, 2009, p. 57)

“De Service Provider werkt in opdracht van de Asset Manager en is verantwoordelijk voor het doelmatig, effectief en veilig uitvoeren van de opgedragen diensten en werkzaamheden. De Service Provider koppelt door voortgangsrapportages aan de Asset Manager terug hoe de activiteiten verlopen. Het is mogelijk om als Asset Manager diensten en werkzaamheden bij meer dan één Service Provider neer te leggen.” (Nederlands Normalisatie Instituut, 2009, p. 57)

Asset Owners waar de Asset Management Adviesgroep vooral mee te maken heeft zijn overheden zoals gemeenten, provincies, waterschappen en het Rijk. De rol van Asset Manager wordt over het algemeen opgenomen door deze zelfde overheden, aannemers of de Asset Management adviesgroep zelf. De rol van Service Provider wordt voornamelijk vervuld door aannemers.

De Asset Management doelstellingen waarnaar wordt gerefereerd in de definitie van de Asset Owner komen consequent terug in de literatuur, zij het in verschillende vormen. Zo wordt er gesproken over Infrastructure Objectives (Schraven, Hartmann, & Dewulf, 2011, p. 62), Mission Statements (Falls, Haas, McNeill, & Tighe, 2001, p. 1), Policy Drives (Moon, Aktan, Furuta, & Dogaki, 2009, p. 27), Corporate Objectives (Too, 2010, p. 34) et cetera. Deze termen omvatten allemaal datgene wat de Asset Owner met zijn Asset beoogt te bereiken en is gebaseerd op zaken zoals de bedrijfscultuur, de regelgeving en eisen vanuit stakeholders. In het VBAM spreekt men van het Business Value Framework. In dit onderzoek wordt er gesproken van een Strategisch Plan. De PAS 55-1:2008, de voorganger van de NEN-ISO55000:2014, geeft de volgende definitie voor zo een plan:

“Een lange-termijn-plan voor de organisatie wat afgeleid is van de bedrijfs- visie, missie, waarden, het bedrijfsbeleid, de stakeholderseisen, de doelen en het risicomanagementbeleid en deze belichaamt.” (BSI & AIM, 2008, p. V)

Een Strategisch Plan vormt een referentiekader voor het maken van beslissingen in het Asset Management proces. Zo worden de belangen van de Asset Owner, die de belangen van stakeholders in zekere mate meeneemt, in het Strategisch Plan tot eisen vertaald. Deze eisen worden gekoppeld aan duidelijke technische en functionele prestatie-indicatoren waaraan de Assets moeten voldoen (Moon, Aktan, Furuta, & Dogaki, 2009, p. 28). Uddin et al. (2013, p. 77) delen de prestatie-indicatoren op in 5 verschillende categorieën, namelijk (1) de service- en gebruikersperceptie, (2) de veiligheid en toereikendheid, (3) de fysieke conditie, (4) de structurele integriteit en (5) de duurzaamheid. Voor deze prestatie-indicatoren moeten drempelwaardes worden bepaald die aangeven wat het minimale niveau

is waaraan de Assets moeten voldoen. Schraven et al. (2011, p. 65) geven aan dat het bepalen van deze prestatie-indicatoren en drempelwaardes wordt gezien als een belangrijke beslissing door vele auteurs. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de Asset Manager.

Vervolgens wordt er gekeken in hoeverre de Assets aan de gestelde prestatie-indicatoren voldoen. Men kan dan spreken van Performance Measurement zoals in het VBAM, of de Infrastructure Performance (Uddin, Hudson, & Haas, 2013, p. 75), maar in dit onderzoek wordt er gesproken van de prestatiemeting. De methode die wordt gebruikt voor het meten van de prestatie-indicatoren is afhankelijk van de prestatie-indicatoren zelf. Zo kan de gebruikersperceptie door middel van bijvoorbeeld interviews in kaart worden gebracht, terwijl de fysieke conditie met behulp van visuele inspecties wordt bepaald. Als de prestaties niet voldoen aan de gestelde eisen, of als dat in de nabije toekomst het geval is, dan is dat een signaal om maatregelen te nemen. Dit betekent namelijk dat de Assets niet langer in lijn liggen met het Strategisch Plan en daardoor een risico vormen.

Aangezien er meerdere risico's tegelijk kunnen ontstaan en kosteneffectiviteit een belangrijk streven is bij Asset Management, moet er bepaald worden waar de hoogste prioriteit ligt. Dit kan bijvoorbeeld met behulp van Ranking bepaald worden (Schraven, Hartmann, & Dewulf, 2011, p. 65). Uddin et al. (2013, p. 209) pleiten ervoor om het hoogste gewicht te geven aan de service- en gebruikersperceptie en de structurele integriteit. Dit is de Risk Management fase in het VBAM. Ook deze fases vallen onder de verantwoordelijkheid van de Asset Manager.

De volgende stap is het ontwerpen, selecteren en uitwerken van maatregelen. Bij het opstellen van de maatregelen is het gezien de kosteneffectiviteit belangrijk om te kijken naar de levenscycluskosten. Zo kan het zijn dat bepaalde alternatieven in het begin een hogere investering vereisen, maar op de lange termijn een goedkoper alternatief zijn. Echter, zoals wordt aangegeven in het verslag 'Life Cycle Cost Primer' van de Office of Asset Management (2002), moet niet altijd gekozen worden voor het alternatief met de laagste levenscycluskosten aangezien andere overwegingen zoals risico's, beschikbare (financiële) middelen, en politieke en milieukundige belangen een aanleiding kunnen zijn voor het kiezen van een alternatief met hogere levenscycluskosten. Als de maatregelen bekend zijn worden die gebundeld en als projecten op de markt weggezet. In de loop van deze fases raakt de Service Provider betrokken die verantwoordelijk is voor het implementeren van de gekozen maatregelen.

Concluderend kan gesteld worden dat Asset Management een proces is waarbij op basis van de gewenste en de daadwerkelijke prestaties van de Assets beslissingen worden gemaakt over het al dan niet aanpassen van de fysieke conditie van die Assets, waarbij rekening wordt gehouden met potentiële risico's en de totale levenskosten en waarin verantwoordelijkheden en taken zijn verdeeld tussen de rollen van Asset Owner, Asset Manager en Service Provider.

1.3.2 METEN VAN FYSIEKE CONDITIE

Tijdens de prestatiemeting wordt informatie verzameld over de assets en beoordeeld in hoeverre zij nog voldoen aan de gestelde prestatie-indicatoren, voort gekomen uit de eisen van de Asset Owner. De prestatiemeting is de basis voor het verder beoordelen van de mogelijke risico's die de Assets vormen en is daarmee een belangrijke fase in het Asset Management proces. Als de prestaties van een Asset namelijk niet goed worden gemeten is het mogelijk dat de verkeerde maatregelen worden geselecteerd of dat onterecht maatregelen worden genomen. De methode van informatieverzameling is enerzijds afhankelijk van de prestatie-indicatoren en anderzijds van de beschikbare technologieën.

Prestatie-indicatoren met betrekking tot de fysieke conditie van een weg worden visueel beoordeeld of met behulp van speciale apparatuur. Visuele inspecties kunnen veel tijd vergen en de kwaliteit van de inspectie is afhankelijk van de persoon die de inspectie uitvoert. Om visuele inspecties te kunnen uitvoeren moeten wegen soms afgesloten worden wat ten nadelen komt van de doorstroming. Daarnaast zijn er veiligheidsproblemen als de visuele inspecties met mensen op de grond moeten worden uitgevoerd. De inspecties die met de speciale apparaten worden gedaan overkomen de meeste van deze problemen. Er worden namelijk objectieve metingen gedaan die vaak rijdend kunnen worden uitgevoerd, maar het uitvoeren van dergelijke inspecties is prijzig.

De laatste tijd wordt er steeds meer onderzoek verricht naar het meten van de fysieke conditie van wegen met behulp van auto- en smartphonedata. Het voordeel van deze databronnen is dat ze overvloedig aanwezig zijn op de wegen en de data al genereren. De onderzoeken focussen zich op hoe die data gebruikt kan worden om de fysieke conditie van de weg te meten.

1.3.3 DE AUTO ALS SENSOR

Dit onderzoek focust zich op het meten van de fysieke conditie van wegen met behulp van data afkomstig uit auto's. Om te bepalen op welke aspect van de fysieke conditie van een weg dit onderzoek focust, heeft een literatuurstudie plaats gevonden.

1.3.3.1 AUTODATA

Onder leiding van de Europese Commissie is het onderzoeksproject *Intelligent RoADS* uitgevoerd, met als doel om innovatieve meetmethodes voor het wegennetwerk te onderzoeken. Hierin is onder andere gekeken naar data met betrekking tot de stuurwielhoek voor het meten van rijwielsporen, wielsnelheid samen met de stuuruitslag voor het meten van de stroefheid van de weg, en de wielsnelheid en de verticale versnelling voor het bepalen van slechte stukken wegdek. Alleen bij deze laatste twee concepten (wielsnelheid en verticale versnelling) kwamen er positieve resultaten naar voren. Ondanks dat de verticale versnelling niet rechtstreeks uit de data kon worden gehaald, maar afgeleid werd aan de hand van de horizontale versnelling, kon in 70% van de gevallen een juiste indicatie van de weg worden gegeven. Ook de wielsnelheid bleek een goede parameter te zijn om slecht wegdek te identificeren, maar dit resulteerde wel in een lagere nauwkeurigheid. (Benbow, Wright, & Leif, 2008).

Als onderdeel van het *Sensovo*-project (Vlaams Instituut voor Mobiliteit, 2014) heeft Vanherpen (2013) een algoritme ontwikkeld voor het detecteren van gaten in een wegdek aan de hand van de wielsnelheid, de stuuruitslag en de verticale versnelling. Het algoritme is ontwikkeld door middel van computersimulaties en geoptimaliseerd aan de hand van een praktische test. Het algoritme is in staat om ernstige defecten in een enkele rit te detecteren. Voor kleinere defecten zijn er echter meerdere ritten nodig. Het ontwikkelde algoritme is niet universeel toepasbaar omdat de drempelwaardes per voertuigmodel moeten worden ingesteld.

Dawkins et al. (2011) maken gebruik van de tri-axiale versnellingsmeter en de vervorming van de ophanging voor het benaderen van de International Roughness Index (IRI), een parameter voor de mate van langsonvlakheid. Langsonvlakheid is de variatie in de oppervlaktehoogte van een weg die zorgt voor vibraties in de voertuigen die daar over heen rijden. Uit hun onderzoek komt de verticale versnelling als beste parameter naar voren voor het voorspellen van de IRI. Zij zijn hiermee in staat de IRI te voorspellen met een standaarddeviatie van 0,123m/km. Daarnaast waren ze ook in staat om met deze data gaten in de weg te detecteren.

1.3.3.2 SMARTPHONEDATA

De toepassingen met smartphonedata zijn beperkter dan die met autodata. De smartphone ondergaat namelijk de volledige beweging van de auto en kan dus niet inzoomen op specifieke parameters zoals bijvoorbeeld de wielsnelheid. Daardoor is de technologie die in een smartphone zit en die zich leent voor het evalueren van het wegdek beperkt. De meeste applicaties maken gebruik van de tri-axiale versnellingsmeter en GPS (Forsl f & Jones, 2015), (Kulkarni, Mhalgi, Gurnani, & Giri, 2014), (Seraj, van der Zwaag, Dilo, Luarasi, & Havinga, 2014), (Alessandroni, et al., 2014), (Buttlar & Islam, 2014), (Mednis, Strazdins, Zviedris, Kanonirs, & Selavo, 2011). Alle bovengenoemde bronnen maken gebruik van een smartphone met een Android besturingssysteem. De keuze hiervoor wordt over het algemeen gebaseerd op het marktaandeel van Android ten aanzien van de overige merken wat vele malen groter is en gestaag groeit (Edwards, 2015).

De systemen van Kulkarni et al. (2014) en Mednis et al. (2011) zijn specifiek gericht op het detecteren van gaten in de weg. Mednis et al. hebben verschillende algoritmes getest, maar hun Z-DIFF algoritme, gebaseerd op het detecteren van snelle veranderingen van de verticale versnelling, scoorde het beste met een nauwkeurigheid van 92%. Kulkarni et al. maken gebruik van een algoritme gebaseerd op zowel de verticale als de horizontale versnelling en bereiken daarbij een nauwkeurigheid van 95%.

De overige systemen zijn meer gericht op het bepalen van de kwaliteit van het wegdek over het algemeen (Alessandroni, et al., 2014), (Buttlar & Islam, 2014), (Forsl f & Jones, 2015), (Seraj, van der Zwaag, Dilo, Luarasi, & Havinga, 2014). Deze toepassingen zijn gericht op het bepalen van het kwaliteitsniveau van stukken weg. Om de bruikbaarheid hiervan aan te tonen hebben sommigen de correlatie van hun metingen met de IRI onderzocht. Zo hebben Forsl f en Jones (2015) aangetoond dat voor hun applicatie Roadroid de meetwaarden tot 81% correleren met de IRI. Buttlar en Islam (2014) maken hun correlatie niet hard, maar tonen wel aan dat de herhaalbaarheid van de metingen consistent is, de variantiecoefficient ligt namelijk tussen de 7% en 22%.

Bovengenoemde onderzoeken hebben in gecontroleerde omstandigheden plaatsgevonden. Daarom hebben Douangphachanh en Oneyama (2014) een onderzoek uitgevoerd waarin smartphones onder realistische omstandigheden in een auto zijn geplaatst, bijvoorbeeld in iemands broekzak, en is er gekeken in hoeverre dit de signalen van de sensoren be nvloed. Zij concludeerde dat het effect hiervan verwaarloosbaar is.

1.3.4 ONDERZOEKSAFBAKENING

Uit de literatuur blijkt dat ondanks dat de auto over specifiekere data beschikt, de toepassingen voor zowel de auto als smartphones vergelijkbaar zijn. Er kan onderscheid worden gemaakt in het detecteren van gaten, het bepalen van de langsonvlakheid en het globaal identificeren van slecht wegdek. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de gevonden literatuur.

Volgens Hunt & Bunker (2003) zou langsonvlakheid de grootste zorg zijn voor weggebruikers en wordt het door wegbeheerders over de hele wereld gezien als de belangrijkste parameter met betrekking tot het onderhoud. Daarom is gekozen om het onderzoek te focussen op het meten van de langsonvlakheid. Hoewel in de eerste opzet van dit onderzoek getracht is om gebruik te maken van zowel de autodata als smartphonedata, focust dit verslag zich uitsluitend op het gebruik van smartphonedata. De reden hiervoor is dat de autodata die tijdens de proefrit is verzameld door een ontbrekend GPS-signaal niet bruikbaar was.

	Autodata	Smartphone
Gaten	Vanherpen (2013), Dawkins et al. (2011)	Kulkarni et al. (2014), Mednis et al. (2011)
Langsonvlakheid	Dawkins et al. (2011)	Forsl�f & Jones (2015), Buttler & Islam (2014), Douangphachanh & Oneyama (2014)
Slecht wegdek	Benbow et al. (2008)	Forsl�f & Jones (2015), Alessandroni et al. (2014), Buttler & Islam (2014), Seraj et al. (2014)

Tabel 1: Overzicht literatuur

1.4 CONCLUSIE HOOFDSTUK 1

De adviesgroep Asset Management van Arcadis is opzoek naar de toegevoegde waarde van *Big Data* voor Asset Management. Als onderdeel van hun verkenning wil Arcadis weten in hoeverre zij gebruik kunnen maken van auto- en smartphonedata voor het meten van de fysieke conditie van wegen. In de literatuur worden mogelijkheden omschreven voor het detecteren van gaten en slecht wegdek, en het meten van de langsonvlakheid met zowel autodata als smartphonedata. Aangezien langsonvlakheid wordt gezien als   n van de belangrijkste parameters door zowel weggebruikers als wegbeheerders, is gekozen om het onderzoek te focussen op het meten van de langsonvlakheid door middel van smartphonedata. Daarmee focust dit onderzoek zich binnen het Asset Management proces op de prestatiemeting en meer specifiek op het meten van fysieke conditie van Assets.

2 Onderzoekontwerp en Aanpak

De Asset Management adviesgroep van Arcadis is aan het verkennen welke meerwaarde *Big Data* voor de Asset Management van het wegennetwerk kan bieden. Als onderdeel van deze verkenning willen ze weten hoe autodata gebruikt kan worden voor het meten van de fysieke conditie van wegen, een vraagstelling die valt onder de prestatiemeting van het Asset Management proces.

Momenteel wordt de fysieke conditie gemeten door middel van visuele inspecties of met behulp van professionele apparatuur. Er rijden echter dagelijks vele auto's over de wegen in Nederland uitgerust met allerlei technologieën. De Asset Management adviesgroep van Arcadis vraagt zich af in hoeverre deze technologieën benut kunnen worden voor het meten van de fysieke conditie van wegen en of ze bestaande methodes kunnen vervangen of een andere meerwaarde kunnen vormen voor het Asset Management proces.

Aangezien langsonvlakheid wordt gezien als één van de belangrijkste parameters door zowel weggebruikers als wegbeheerders, focust dit onderzoek zich op het meten van de langsonvlakheid door middel van smartphonedata. Als referentiekader voor het beoordelen van de smartphones wordt gekeken naar de informatiebehoefte van Rijkswaterstaat (RWS). RWS is namelijk verantwoordelijk voor het wegbeheer van de Nederlandse nationale wegen in en is daarmee de grootste wegbeheerder van Nederland. Bovendien zijn zij een belangrijke klant van Arcadis. Op basis hiervan luidt de doelstelling voor dit onderzoek als volgt:

De doelstelling van dit onderzoek is om te bepalen in hoeverre smartphones in staat zijn om de langsonvlakheid te meten en of ze bestaande methodes voor het meten van de langsonvlakheid kunnen vervangen, of een andere meerwaarde voor het Asset Management proces kunnen vormen.

Ten aanzien van de doelstelling zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

1. *Wat is langsonvlakheid en hoe wordt het gemeten?*
2. *In hoeverre zijn smartphones in staat om de langsonvlakheid te meten gezien het gebruik ervan, en kunnen zij bestaande meetmethodes vervangen?*
3. *Voor welke andere toepassingsgebieden binnen het Asset Management proces kan het meten van de langsonvlakheid door middel van smartphones een meerwaarde bieden?*

2.1 ONDERZOEKSAANPAK

2.1.1 ONDERZOEKSVRAAG 1

Wat is de oorzaak van langsonvlakheid en hoe wordt het gemeten?

Om de eerst onderzoeksvraag te beantwoorden is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Hierbij is voornamelijk gebruik gemaakt van wetenschappelijke literatuur en documenten van het CROW.

2.1.2 ONDERZOEKSVRAAG 2

In hoeverre zijn smartphones in staat om de langsonvlakheid te meten gezien het gebruik ervan, en kunnen zij bestaande meetmethodes vervangen?

De onderzoeksvraag kan opgedeeld worden in twee deelvragen die hieronder met de bijhorende onderzoeksmethoden en aanpak uiteengezet zijn.

a. Welke criteria kunnen opgesteld worden voor het meten van de langsonvlakheid?

Om de criteria op te stellen is er gekeken naar het gebruik van de langsonvlakheid door RWS, aangezien zij de grootste wegbeheerder van Nederland is. Haar gebruik is in kaart gebracht door middel van interviews met experts op het gebied van verhardingsonderhoud en wegmetingen. Daarnaast is gebruik gemaakt van geschreven stukken waar de werkprocessen van RWS in staan omschreven. Voor het uitvoeren van de interviews is het "*Basisboek Kwalitatief Onderzoek: Handleiding voor het uitvoeren van kwalitatief onderzoek*" (Baarda, de Goede, & Teunissen, 2009) als leidraad gebruikt. De opgestelde criteria hebben betrekking op de plaatsbepaling in de lengte- en breedterichting van een weg en op de nauwkeurigheid van de langsonvlakheid-parameter.

b. In hoeverre kunnen smartphonemetingen aan deze criteria voldoen?

Om de smartphones aan de criteria te kunnen testen is eerst smartphonedata verzameld. Deze data is verzameld door middel van een proefrit die heeft plaatsgevonden op de A1 tussen Hilversum en Amersfoort. Voor het verzamelen en verwerken van de smartphonedata is samengewerkt met F. Seraj van de *Pervasive Systems Group* van de Universiteit Twente. Seraj is de eerste auteur van het artikel '*RoADS: A road pavement monitoring system for anomaly detection using smartphones*' (Seraj, van der Zwaag, Dilo, Luarasi, & Havinga, 2014). Hierin wordt een systeem omschreven voor het detecteren van schadebeelden aan wegen door middel van smartphonedata. Dit systeem is ook gebruikt voor het verwerken van de verzamelde smartphonedata in dit onderzoek. Een uitgebreide omschrijving van *RoADS* en de manier waarop het in dit onderzoek is toegepast, staan omschreven in hoofdstuk 5. De smartphones die tijdens dit onderzoek zijn gebruikt betreffen een *Samsung Galaxy S4 Mini* en een *OnePlus One* en de auto waarmee is gereden is een *BMW 320i* (Type E60).

De resultaten die de verwerking van de smartphonedata met *RoADS* heeft opgeleverd zijn gebruikt om de langsonvlakheid te voorspellen. Hiervoor zijn voorspellingsfuncties opgesteld op basis van de correlatie tussen de smartphonedata en professionele langsonvlakheid-metingen. Deze langsonvlakheid-metingen zijn aangeleverd door RWS. Door de afwijking van de voorspelde langsonvlakheid te vergelijken met de professionele langsonvlakheid-metingen is de nauwkeurigheid van de smartphones bepaald.

De criteria met betrekking tot de plaatsbepaling zijn beoordeeld door de GPS-signalen van de smartphonemetingen te vergelijken met referentiepunten die afgeleid zijn van de langsonvlakheid-metingen van RWS.

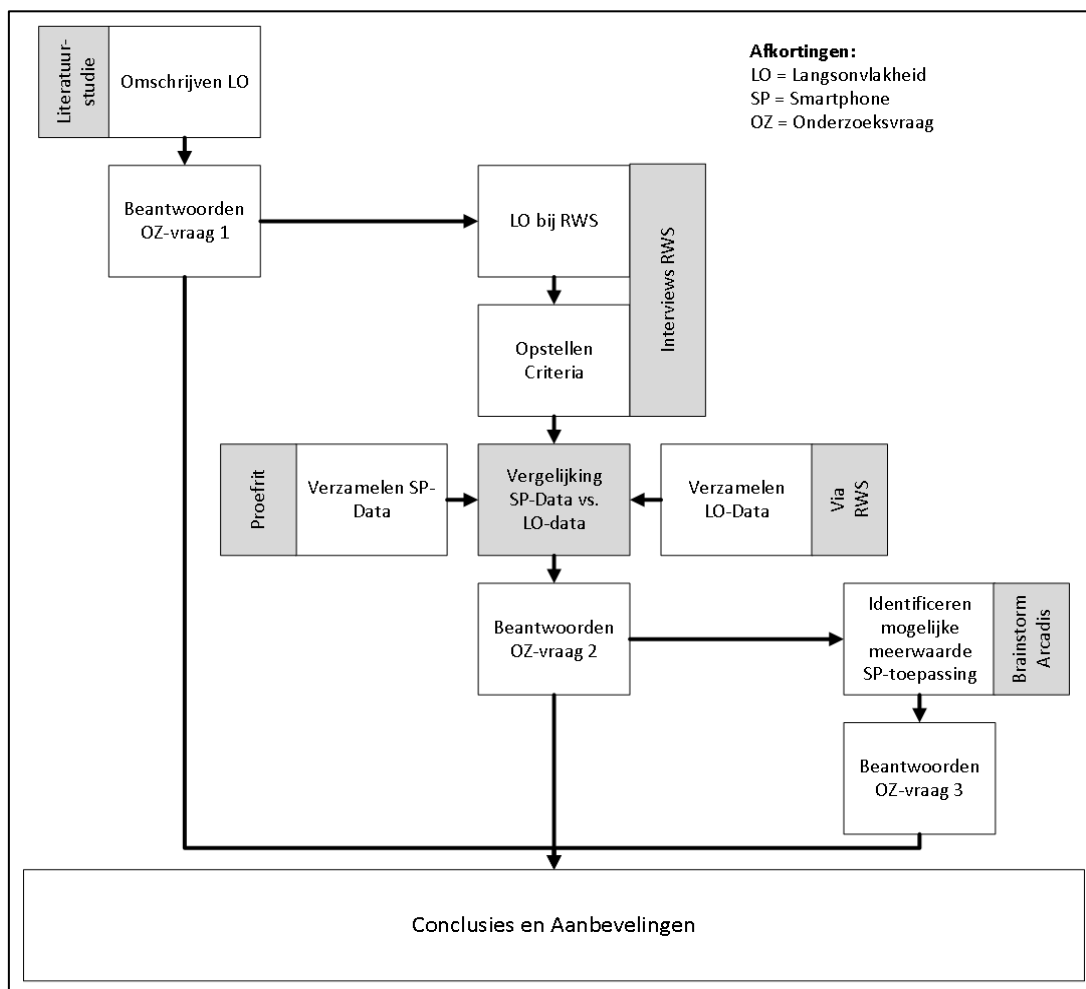
2.1.3 ONDERZOEKSVRAAG 3

Voor welke andere toepassingsgebieden binnen het Asset Management proces kan het meten van de langsonvlakheid door middel van smartphones een meerwaarde bieden?

Om deze vraag te beantwoorden is er een brainstormsessie gehouden met een groep van Asset Managers die werkzaam zijn bij Arcadis. De input die gebruikt wordt voor deze brainstorm betreft de output van onderzoeksvraag 2. De resultaten zijn door de onderzoeker aan de experts voorgelegd en toegelicht, waarna de experts gevraagd zijn op basis van hun vakkennis mogelijke toepassingsgebieden voor de smartphonetoepassing te identificeren. Voor het uitvoeren van de brainstormsessie is het *“Basisboek Kwalitatief Onderzoek: Handleiding voor het uitvoeren van kwalitatief onderzoek”* (Baarda, de Goede, & Teunissen, 2009) als leidraad gebruikt.

2.1.4 ONDERZOEKSONTWERP

De aanpak van het onderzoek is in Figuur 3 schematisch weergegeven. Hierin is het onderzoeksproces gevisualiseerd. Daarbij zijn de onderzoeksmethoden voor de verschillende onderzoeksvragen te zien.



Figuur 3: Schematische weergave onderzoekontwerp

2.2 RELEVANTIE

Dit onderzoek maakt een koppeling tussen de wetenschap en de praktijk. Zoals uit de literatuur blijkt, is er al onderzoek gedaan naar de 'Auto als Sensor'. Echter is er nog niet eerder gekeken naar hoe deze toepassingen praktisch gebruikt kunnen worden. Dit onderzoek geeft, in ieder geval op het gebied van de langsonvlakheid, inzicht in wat wegbeheerders zoals RWS nodig hebben. Hierdoor kan in de toekomst gericht onderzoek gedaan worden naar nieuwe toepassingen.

2.3 LEESWIJZER

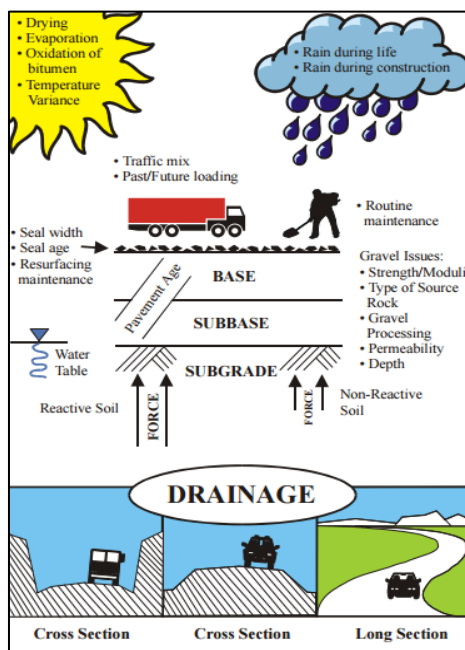
Het rapport is opgesteld in volgorde van de onderzoeksvragen. In hoofdstuk 3 wordt in gegaan op langsonvlakheid en wordt daarmee antwoord gegeven op onderzoeksvraag 1. In hoofdstuk 4 worden de criteria opgesteld waarmee antwoord wordt gegeven op deelvraag a van onderzoeksvraag 2. In hoofdstuk 5 worden de smartphones aan de criteria getoetst en wordt antwoord gegeven op deelvraag b van onderzoeksvraag 2. In hoofdstuk 5 wordt ook een algemeen antwoord gegeven op onderzoeksvraag 2 in het geheel. In hoofdstuk 6 staat de brainstorm omschreven waarmee overige toepassingsgebieden zijn geïdentificeerd. Hoofdstuk 7 is het afsluitende stuk, met daarin de conclusies, discussie en aanbevelingen. In hoofdstuk 8 staat de bibliografie die wordt opgevolgd door de bijlagen in hoofdstuk 9.

3 Langsonvlakheid

Dit hoofdstuk omvat een literatuurstudie naar langsonvlakheid. Hierin worden de oorzaken en effecten van langsonvlakheid omschreven, de methode om het te meten en de apparatuur die daarvoor wordt gebruikt. Daarmee geeft dit hoofdstuk antwoord op onderzoeksvraag 1.

3.1 OORZAAK

Langsonvlakheid is de variatie in de oppervlaktehoogte van een weg die zorgt voor vibraties in de voertuigen die daar over heen rijden. Het optreden van langsonvlakheid is aan veel verschillende factoren te wijden. Een indruk van de verschillende oorzaken en de complexiteit ervan wordt geïllustreerd door Hunt en Bunker (2004, p. 5) in Figuur 4. De voornaamste oorzaak van langsonvlakheid echter, is restzetting.



Figuur 4: Oorzaken langsonvlakheid (Hunt & Bunker, 2004, p. 5)

Restzetting is de verzakking die plaats vindt na de ingebruikname van een weg. Restzetting wordt in hoge mate beïnvloedt door de laagopbouw van de natuurlijke ondergrond en de materiaalkeuzes. Doordat de laagopbouw en zijn materiele eigenschappen erg kunnen variëren verloopt de restzetting meestal ongelijkmatig. Oude waterlopen, greppels, sloten en andere onregelmatigheden kunnen ook zorgen voor een ongelijkmatige restzetting. Dit komt doordat de dichtheid van het materiaal dat wordt gebruikt voor de opvulling van dergelijke onregelmatigheden over het algemeen verschilt van de dichtheid van de lokaal aanwezige grond. Het gevolg hiervan is langsonvlakheid. (CROW, 2005)

De ontstane langsonvlakheid heeft vervolgens invloed op de dynamische aslasten van het passerende verkeer. De aslast is dat deel van het gewicht van een voertuig dat via de wielen van een as op de weg wordt afgedragen. Door bewegingen van het voertuig als optrekken, afremmen en draaien kan deze aslast variëren. Ook als het voertuig over hobbels of gaten rijdt neemt de aslast toe. De extra last die

hierdoor plaatselijk op de weg ontstaat, beïnvloedt weer het restzettingsproces. De langsonvlakheid heeft dus invloed op de dynamische aslasten, maar de dynamische aslasten hebben op hun beurt weer invloed op de langsonvlakheid. (CROW, 2005)

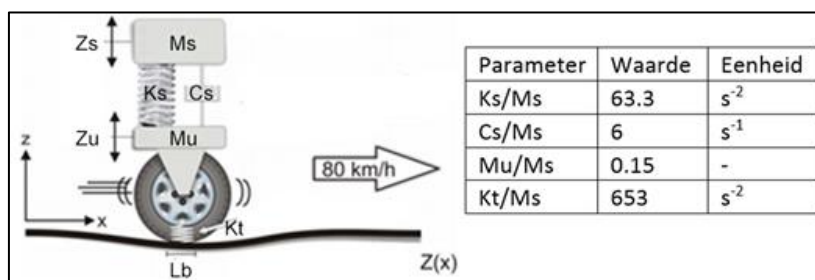
De vibraties die optreden in de voertuigen die te wijten zijn aan langsonvlakheid, hebben onder andere invloed op de gebruikerskosten, het rijcomfort en de veiligheid (Sayers, Gillespie, & Queiroz, 1986). Volgens Hunt en Bunker (2003) zou langsonvlakheid dan ook de grootste zorg zijn voor de weggebruikers en wordt het door wegbeheerders over de hele wereld gezien als de belangrijkste parameter met betrekking tot het onderhoud. Om de mate van langsonvlakheid van een weg inzichtelijk te maken is de International Roughness Index (IRI) ontwikkeld. Deze parameter helpt wegbeheerders om beslissingen te maken omtrent het onderhoud van wegen.

3.2 DE INTERNATIONAL- EN DE HALF-CAR ROUGHNESS INDEX

De IRI kent zijn grondslag in een onderzoeksproject van het The National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) uitgevoerd door Gillespie, Sayers, en Segel (1980). Dit onderzoek heeft als doelstelling om een methode te ontwikkelen waardoor verschillende meetsystemen met betrekking tot de langsonvlakheid met elkaar vergeleken kunnen worden. De oplossing werd gevonden in het calibreren van de gemeten langsprofielen door middel van een wiskundige transformatie. Dit onderzoek is verder ontwikkeld, versimpeld en gestandaardiseerd onder leiding van de Wereldbank door Sayers, Gillespie en Queiroz (1986) wat resulteerde in de IRI. Vervolgens hebben Sayers, Gillespie en Paterson (1986), wederom onder leiding van de Wereldbank ook richtlijnen opgesteld voor het toepassen van de index. De IRI is sindsdien uitgegroeid tot een wereldwijd geaccepteerde en gebruikte index voor langsonvlakheid.

De IRI is feitelijk de optelsom van de veerbeweging die de carrosserie van een auto ondervindt over een bepaald wegsegment, gedeeld door de afstand van dat segment. Deze veerbeweging is afhankelijk van bepaalde eigenschappen van de auto en wordt softwarematig gesimuleerd over het gemeten langsprofiel door middel van de Reference-Quarter-Car-Model (RQCM).

Zoals de naam al doet vermoeden wordt er in het simulatiemodel gebruik gemaakt van een kwart-automodel waarin de voornaamste dynamische effecten zijn meegenomen die invloed hebben op vibraties van het carrosserie, zie Figuur 5. De parameters voor dit kwart-automodel zijn bepaald in een onderzoeksproject van het NCHRP, uitgevoerd door Gillespie, Sayers en Segel (1980), en staan bekend als 'The Golden Car' parameters. Deze parameters zijn geselecteerd op basis van voertuigen die destijds, eind jaren 70, gebruikt werden om langsprofielen te meten. De 'Golden Car' parameters in het kwart-automodel zijn de afgeveerde massa (M_s), de ophanging-veer (K_s), de ophanging-demper (C_s), de onafgeveerde massa (M_u) en de wiel-veer (K_t). De waarden staan allemaal in functie van de afgeveerde massa en zijn terug te vinden in Figuur 5.



Figuur 5: Kwart-automodel simulatie en de bijhorende parameters

Tijdens de simulatie rijdt het kwart-automodel over het langsprofiel van een wegsegment met een constante snelheid van 80km/h. Door de oneffenheden in het wegdek waar het kwart-automodel op reageert worden er verticale versnellingen gegenereerd in de afgeveerde en onafgeveerde massa. Hierdoor ontstaat er een relatieve beweging tussen het chassis en de wielas van het model. De sommatie van deze relatieve beweging, gedeeld door de afstand waarover de sommatie plaats vindt, is gelijk aan de IRI-waarde voor dat segment. De versimpelde weergave van de volledige berekening, ziet er als volgt uit. (Sayers & Karamihas, 1996)

$$IRI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_{s,i} - S_{u,i}|$$

Waarin:

IRI = International Roughness Index (mm/m)

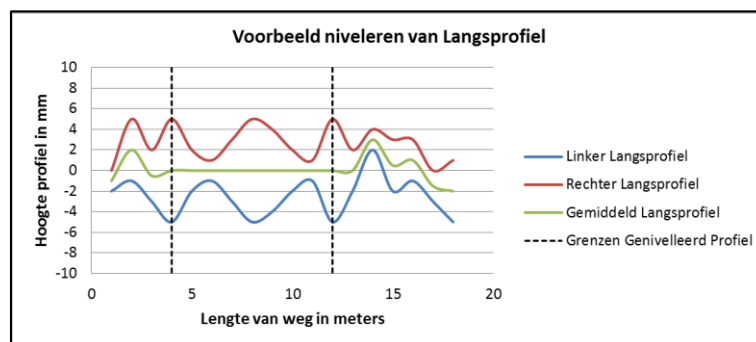
n = de afstand van het wegsegment (m)

$S_{s,i}$ = relatieve hoogte van de afgeveerde massa op punt i (mm)

$S_{u,i}$ = relatieve hoogte van de onafgeveerde massa op punt i (mm)

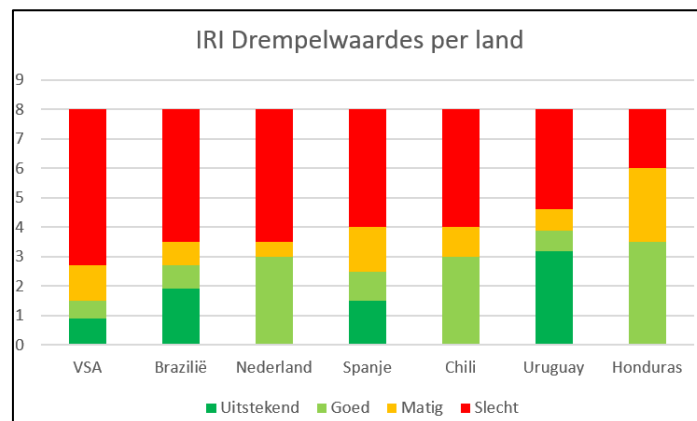
De uitkomst van deze berekening betreft één getal die een indicatie geeft van de onvlakheid van een wegsegment. Voor een verdieping in de berekeningen van de relatieve hoogtes wordt verwezen naar het rapport 'Interpretation of Road Roughness Profile Data' van Sayers en Karamihas (1996).

Gezien de IRI een kwartmodel betreft, wordt de simulatie slechts over één rijwielspoor, het linker of het rechter, uitgevoerd. Er is ook een methode die rekening houdt met beiden profielen, genaamd de Half-car Roughness Index (HRI). De HRI wordt op exact dezelfde manier bepaald als de IRI, maar maakt gebruik van het gemiddelde langsprofiel. Hierdoor geeft het een betere indicatie van het ervaren discomfort van weggebruikers (Sayers & Karamihas, 1998), maar kan het ook een vertekend beeld geven van de daadwerkelijk staat van de weg. Het kan namelijk gebeuren dat het linker en recht langsprofiel elkaar nivelleren waardoor er tijdens de simulatie geen onvlakheid wordt gemeten waar die in werkelijkheid wel is. Zie ter verduidelijking Figuur 6.



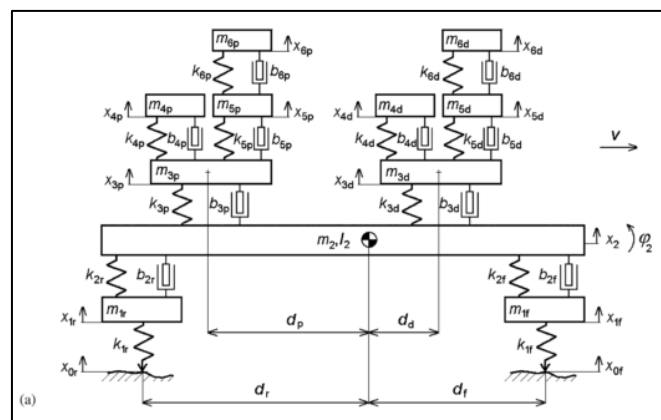
Figuur 6: Voorbeeld waarbij het linker en rechter langsprofiel elkaar nivelleren

In het geval de weg perfect vlak is, vindt er geen verticale verplaatsing plaats en zijn de waarden van de IRI/HRI gelijk aan 0 m/km. Hoe groter de waarde van de IRI/HRI hoe meer oneffenheden er zijn. Theoretisch gezien is er geen maximale IRI-waarde, maar volgens Sayers en Karamihas (1998) is het praktisch onmogelijk om nog verder te rijden bij IRI-waarden boven de 8m/km tenzij bij lage snelheden. Drempelwaardes die onderhoudsmaatregelen impliceren variëren per land, zie Figuur 7. In Nederland stelt het Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek, beter bekend als het CROW, dat HRI waarden tot 3,5 voldoende zijn (CROW, 2011).



Figuur 7: IRI drempelwaardes per land (Souza, Neto, & Farias, 2004)

De IRI wordt gezien als een parameter voor het rijcomfort dat weggebruikers ervaren. Het is echter belangrijk om op te merken dat het IRI-model niet het ervaren comfort weergeeft van weggebruikers, maar de relatieve versnelling van de carrosserie, zoals hierboven toegelicht. Het ervaren rijcomfort wordt namelijk ook bepaald door persoonsafhankelijke eigenschappen, zoals gewicht en veer- dempingskarakteristieken van een persoon, en voertuig afhankelijke eigenschappen, zoals gewicht en veer- dempingskarakteristieken van de stoel waarop de persoon zit. Een uitgebreider model met betrekking tot het rijcomfort wat weggebruikers ervaren is opgesteld door Kropac en Mucka (2005) en is te zien in Figuur 8.



Figuur 8: Het plenaire model van een personenauto (Kropac & Mucka, 2005)

3.3 LANGSPROFIEL

Zoals duidelijk is geworden uit het bovenstaande moet het langspoor bekend zijn om de IRI en de HRI te kunnen berekenen. Het meten van het langspoor van een weg gebeurt aan de hand van een *profiler*. Volgens Sayers en Karamihas (1998) luidt de definitie van een *profiler* als volgt:

“Een profiler is een instrument dat wordt gebruikt voor het creëren van een reeks cijfers die gerelateerd zijn in een goed gedefinieerde manier met het echte profiel.” (Sayers & Karamihas, The Little Book of Profiling, 1998, p. 3)

Volgens Sayers en Karamihas (1998) combineert een *profiler* drie verschillende aspecten met elkaar, namelijk (1) een referentie hoogte, (2) een hoogte relatief tot de referentie hoogte en (3) een

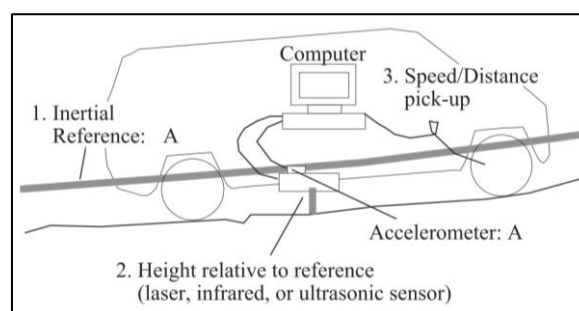
longitudinale afstand. Hierbij zou ik het aspect locatie willen toevoegen, aangezien de langsprofielmetingen waardeloos zijn als de exacte locatie van de meting niet bekend is. Afhankelijk van het soort profiler worden deze aspecten verschillend met elkaar in combinatie gebracht. Voorbeelden van *profilers* zijn het waterpasinstrument, de viagraaf, de rolrei, de dipstick, de *inertial profiler* et cetera (zie Figuur 9). Gezien de focus van het onderzoek wordt er hier ingegaan op instrument wat door RWS wordt gebruikt voor het meten van het langsprofiel, namelijk de *inertial profiler*.



Figuur 9: Voorbeeld van een viagraaf, rolrei, waterpasinstrument en dipstick

De *inertial profiler*, wat letterlijk vertaald de massastraagheids *profiler* betekent, staat bekend onder meerdere namen. Zo wordt er namelijk gesproken van de *High Speed Inertial Profiler*, de *High Speed Road Profiler* en de *South Dakota Road Profiler*. Deze laatste benaming is te danken aan het baanbrekende onderzoek uitgevoerd onder leiding van de *South Dakota Department of Transport* in het begin van de jaren 1980 naar goedkopere technologieën voor het maken van *inertial profilors* (RPUG, 2015). De eerste twee benamingen verwijzen naar de snelheid waarmee *inertial profilors* metingen kunnen uitvoeren. In tegenstelling tot andere *profilors* kan de *inertial profiler* namelijk met normale verkeerssnelheden metingen uitvoeren, waardoor er geen wegen afgesloten hoeven te worden voor het uitvoeren van metingen. De *inertial profiler* kan met andere woorden zijn metingen uitvoeren terwijl het deelneemt aan het dagelijks verkeer.

Ongeacht de naam maakt een *inertial profiler* altijd gebruik van een contactloze sensor voor het relatieve hoogte-verschil, een acceleratiemeter voor de referentie hoogte en een snelheidsmeter voor de longitudinale afstand, zie Figuur 10.



Figuur 10: Schematische weergave *Inertial Profiler* (Sayers & Karamihas, 1998, p. 6)

Met behulp van de contactloze sensor meet de *inertial profiler* de afstand tussen de weg en het voertuig. Omdat het veren van het voertuig tijdens het rijden invloed heeft op de meting is het voertuig ook uitgerust met een acceleratiemeter. De acceleratiemeter meet de verticale versnelling van de wagen en berekent door middel van een algoritme de referentiehoogte voor de laser. Simpel gezegd betekent dit dat er afhankelijk van de vering een aantal millimeter wordt opgeteld bij of afgetrokken van de afstand gemeten door de laser. Doordat de grootte van het wiel bekend is, kan aan de hand van de snelheid (bepaald met de snelheidsmeter) de afgelegde afstand berekend worden

De *inertial profiler* die RWS gebruikt heet de Automatic Road Analyzer, afgekort ARAN, een meetsysteem ontwikkeld door Fugro Roadware. Zie Figuur 11 voor een visuele indruk. De ARAN kan met snelheden tussen 40km/h en 100km/h onder andere de langsonvlakheid meten. Daarnaast kan de ARAN ook de dwarsonvlakheid, de dwarshelling, de textuur en het wegbeeld en wegdekschade meten. De contactloze sensor waarvan de ARAN gebruik maakt voor het meten van het langsprofiel is een laser die geplaatst is boven beiden rijwielsporen. Verder is het voertuig uitgerust met een GPS-systeem voor een nauwkeurige plaatsbepaling van de meting.



Figuur 11: Foto's van de ARAN van RWS

3.4 CONCLUSIE HOOFDSTUK 3

Langsonvlakheid kan door verschillende aspecten worden veroorzaakt, maar de voornaamste is de restzetting. Rijden over een weg met een hoge langsonvlakheid is onaangenaam voor de automobilisten, kan schade aan auto's en aan ladingen veroorzaken en kan bovendien leiden tot gevaarlijke situaties. De International Roughness Index is een parameter die de verticale versnelling van een personenauto weergeeft die over een weg rijdt met langsonvlakheid. De IRI wordt bepaald door middel van de simulatie van een kwartautomodel die rijdt over het langsprofiel gemeten over het linker of rechter rijwielspoor van een weg. Het kwartautomodel dat gebruikt wordt in de simulatie staat bekend als '*the golden car model*'. Een alternatieve vorm van de IRI is de Half-car Roughness Index. Voor het bepalen van de HRI wordt dezelfde simulatie gedaan als voor de IRI, maar dan wordt er gebruik gemaakt van het gemiddelde langsprofiel van het linker en rechter rijwielspoor. De HRI geeft een realistischer beeld van het ervaren discomfort dan de IRI. Het langsprofiel moet bekend zijn om de IRI en de HRI te kunnen berekenen. Het langsprofiel kan door verschillende instrumenten worden gemeten, maar gebeurt bij RWS met behulp van een Automatic Road Analyzer, een wagen uitgerust met een acceleratiemeter voor de referentiehoogte, een laser voor het langsprofiel, een versnellingsopnemer voor de afstand en een GPS-systeem voor de plaatsbepaling.

4

Langsonvlakheid Criteria

Om te kunnen beoordelen of de smartphones bestaande meetmethodes voor langsonvlakheid van RWS kunnen vervangen, moeten ze de juiste informatie met de gepaste kwaliteit kunnen aanleveren conform het gebruik van RWS. Met andere woorden de smartphones moeten aan criteria voldoen die voortvloeien uit het gebruik van de langsonvlakheid door RWS.

Op basis van expert interviews, wordt in dit hoofdstuk een omschrijving gegeven van hoe RWS de HRI gebruikt binnen de Asset Management van hun wegennetwerk. Expert A is werkzaam als Senior Adviseur Wegmetingen bij de Centrale Informatievoorziening van RWS. Expert B is werkzaam als Senior Adviseur Wegverhardingen bij de afdeling Instandhouding Constructies en Onderhoud (ICO) van de dienst Grote Projecten en Onderhoud (GPO) van RWS. De transcripties van de interviews zijn respectievelijk te vinden in Annex I en Annex II. Er zijn identificatienummers gekoppeld aan fragmenten van de transcripties waarnaar wordt verwezen in dit hoofdstuk (bijvoorbeeld A1; B1). Vervolgens zijn op basis van de verkregen informatie criteria opgesteld waaraan de smartphones moeten voldoen. Dit hoofdstuk geeft hiermee antwoord op de eerste deelvraag van onderzoeksvraag 2.

4.1 LANGSONVLAKHEID BIJ RIJKSWATERSTAAT

Intern maakt RWS gebruik van de HRI als parameter voor langsonvlakheid. Voor het aansturen van aannemers maken zij gebruik van de IRI, omdat de IRI internationaal gezien gebruikelijker is. Om deze reden overwegen zij in de toekomst ook intern over te stappen naar de IRI (A4). De HRI wordt bij RWS door de dienst GPO gebruikt. GPO geeft intern advies aan de staf van de Directeur-Generaal en de Regionale diensten op het gebied van aanleg, beheer en onderhoud van wegconstructies. Een onderdeel van de werkzaamheden die GPO verricht is het opstellen van het Meer Jaren Plan Verhardingsonderhoud (MJPV). Het plan wordt jaarlijks opgesteld en omvat een globale omschrijving van het verwachte onderhoud (wat, waar en wanneer) en de kosten daarvan. (A1; B1)

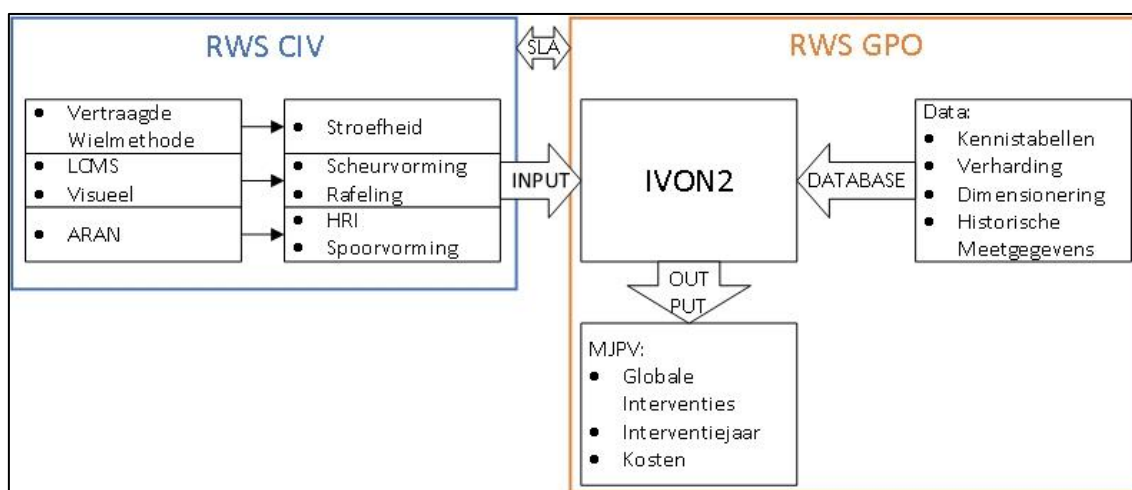
Het MJPV wordt opgesteld op basis van vijf verschillende schadekenmerken, namelijk langsonvlakheid, dwarsonvlakheid, stroefheid, scheurvorming en rafeling (A1; B1). De meetgegevens van deze schadebeelden worden door GPO ingevoerd in het Informatiesysteem Verharding Onderhoud 2 (IVON2). Dit systeem beschikt over data met betrekking tot de verharding (zoals het aanlegjaar, verhardingstype en ondergrond), de dimensionering van het wegennet, kennistabellen (met betrekking tot interventieniveaus, onderhoudsrichtlijnen, verkeergegevens, klimaat en andere relevante factoren) en 3 generaties historische meetgegevens van de 5 parameters. Met behulp van deze data en de nieuwe meetgegevens berekent IVON2 globale interventies en het bijgaande interventiejaar (B1; B37). Voor de HRI geldt een interventiewaarde van 3,5m/km, maar dit is geen harde norm. Dit is slechts voor RWS een indicatie dat er onderhoud nodig is en betekent niet dat ze onmiddellijk overgaan tot het nemen van maatregelen. De HRI mag daarom bepaald worden met een standaarddeviatie van 0,1m/km (A1; B3; B18). De gegenereerde planning kan vervolgens nog handmatig bijgesteld worden.

De data die de schadekenmerken beschrijft wordt aangeleverd door de Centrale Informatievoorziening van Rijkswaterstaat (CIV). Zij verrichten de metingen zelf of kopen het in bij meetbedrijven. Het meten van de verschillende schadebeelden gebeurt aan de hand van verschillende methodes. Voor het meten van de langs- en dwarsonvlakheid wordt er gebruik gemaakt van de ARAN. Voor het meten van de

scheurvorming en de rafeling wordt er gebruik gemaakt van een Lazer Crack Measurement System (LCMS) of door middel van visuele inspecties. De LCMS kan over het algemeen ook op een ARAN worden gevonden. De stroefheid wordt gemeten aan de hand van de vertraagde wielmethode (B2). Afspraken tussen GPO en CIV omtrent de aanlevering van de data staan in een Service Level Agreement (SLA) vastgelegd (B23). De volledige SLA is niet beschikbaar voor externen vanwege financiële afspraken voor intern gebruik die erin staan omschreven. Echter, het 'Protocol Langsvlakheid' uit de SLA, is wel voor dit onderzoek beschikbaar gesteld (A2).

In de SLA staat de HRI gedefinieerd als zijnde de IRI afgeleid van het gemiddelde langprofiel van het linker en rechter rijwielspoor. Verder staat omschreven dat de HRI op de rechter rijstrook per 4 inch moeten worden gemeten. Echter, de aangeleverde data die wordt gebruikt in IVON2, moet de gemiddelde HRI van 100 meter segmenten zijn (Rijkswaterstaat, 2014). De plaatsbepaling van de HRI moet in de lengterichting met een standaarddeviatie van 5m gebeuren (A3).

In Figuur 12 is schematisch weergegeven hoe de HRI bij RWS wordt verzameld en gebruikt.



Figuur 12: Samenvatting HRI bij RWS

4.2 OPSTELLEN CRITERIA

Op basis van het gebruik van de langsonvlakheid door RWS zijn criteria opgesteld. Deze hebben betrekking op de nauwkeurigheid van het plaats-bepalend en langsonvlakheid voorspellend vermogen van de smartphones.

In de SLA staat dat de metingen moeten worden uitgevoerd op de rechter rijstrook. De aanname hierbij is dat de rechter rijstrook het zwaarst belast wordt vanwege het vrachtverkeer, en wordt daardoor als maatgevend gezien. Ondanks dat de plaatsbepaling van de ARAN niet dusdanig nauwkeurig is dat het onderscheid kan maken in rijbanen (Klunder, et al., 2010), moeten de smartphones daar wel toe in staat zijn. In tegenstelling tot de bestuurders van de ARAN, kan men niet verwachten dat willekeurige weggebruikers uitsluitend over de rechter rijbaan rijden. Aangezien het belangrijk is dat de juiste data wordt gebruikt, is er gekozen voor een nauwkeurigheid van 95%. Dit heeft geleid tot het volgende criterium:

1. De plaatsbepaling van de HRI moet in de breedterichting dusdanig nauwkeurig zijn dat met 95% zekerheid geïdentificeerd kan worden over welke rijstrook de data is verzameld.

Het is niet alleen belangrijk om te weten op welke rijstrook de data is verzameld. Het is ook belangrijk om te weten waar de langsonvlakheid is gemeten zodat men weet waar het onderhoud moet worden gepleegd. Omdat de exacte locatie nauwkeuriger wordt bepaald als er ook daadwerkelijk onderhoud wordt uitgevoerd, komt de plaatsbepaling in de lengterichting niet heel nauw. Het criterium wat RWS aan de plaatsbepaling in de lengterichting stelt luidt als volgt:

2. De plaatsbepaling in de lengterichting moet met een maximale standaarddeviatie van 5m worden bepaald en per 100 meter.

RWS gebruikt voor de HRI een interventiewaarde van 3,5m/km. Dit is echter geen harde norm, maar geldt slechts als een indicatie voor RWS dat er onderhoud nodig is. Hierdoor hoeft de HRI niet exact bepaald te worden en stelt RWS het volgende criterium omtrent de nauwkeurigheid van de HRI:

3. De gemiddelde HRI moet in 100 meter segmenten worden aangeleverd met een maximale standaarddeviatie van 0,1m/km.

4.3 CONCLUSIE HOOFDSTUK 4

RWS maakt gebruik van (onder andere) de HRI voor het opstellen van het Meer Jaren Plan Verhardingsonderhoud. Hierin staan globale interventies en de daarbij gepaarde kosten omschreven die de komende 5 jaren verwacht worden. Om deze naar behoren te kunnen opstellen moet de HRI aan de volgende criteria voldoen:

4. De plaatsbepaling van de HRI moet in de breedterichting dusdanig nauwkeurig zijn dat met 95% zekerheid geïdentificeerd kan worden over welke rijstrook de data is verzameld.
5. De plaatsbepaling in de lengterichting moet met een maximale standaarddeviatie van 5m worden bepaald en per 100 meter.
6. De gemiddelde HRI moet in 100 meter segmenten worden aangeleverd met een maximale standaarddeviatie van 0,1m/km.

5 Langsonvlakheid met Smartphone

In dit hoofdstuk wordt onderzocht in hoeverre de smartphones kunnen voldoen aan de opgestelde criteria die staan omschreven in hoofdstuk 4. Hiervoor is smartphonedata verzameld door middel van een proefrit die vervolgens is vergeleken met ARAN-data van RWS. Dit hoofdstuk geeft daarmee antwoord op de tweede deelvraag van onderzoeksvraag 2, en op onderzoeksvraag 2 in zijn geheel.

5.1 ARAN-DATA

Om de nauwkeurigheid van de smartphones te kunnen beoordelen heeft RWS haar ARAN-data van de regio Utrecht beschikbaar gemaakt. Deze data is verzameld rond december 2014 en januari 2015. De data omvat de gegevens die staan weergegeven in Tabel 2. Hierin is te zien dat de HRI-waarde per 10 meter worden berekend.

Informatie Meting			
Date	Datum meting	Time	Tijdstip meting
Plaatsbepaling			
Road	Wegnummer	Carriage_way	Rijbaan
Lane	Rijstrook	Section	ID Wegsectie
EMP	Hectometerpaaltje begin meting	BMP	Hectometerpaaltje einde meting
LONG	Longitudinale coördinaten	LAT	Latitudinale coördinaten in wgs8
Metingen per 1 meter			
Roll	Dwarshoek voertuig	XFALL	Dwarshoek weg t.o.v. voertuig
Boog	Boogstraal	GRADE	Langshelling
L_Rut	Linker rijspoordiepte	R_Rut	Rechter rijspoordiepte
Metingen per 10 meter			
Speed	Snelheid van meting	HRI	HRI-waarde
L_IRI	IRI linker rijwielspoor	R_IRI	IRI rechter rijwielspoor

Tabel 2: Parameters in dataset RWS

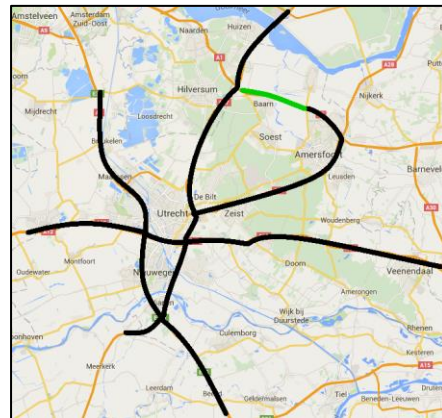
5.2 VERZAMELEN SMARTPHONEDATA

Aangezien er geen bruikbare smartphonedata beschikbaar was, is deze verzameld door middel van een proefrit. Voorafgaand aan de proefrit is een route gekozen op basis van de ARAN-data. Gekozen is om opzoek te gaan naar een weg met zoveel mogelijk langsonvlakheid. Daarvoor is per weg het percentage bepaald dat de HRI-waarden kleiner zijn dan 1m/km. Aangezien HRI-waarden van 1m/km of kleiner duiden op weinig langsonvlakheid is de weg met het laagste percentage HRI-waarden van 1m/km geselecteerd. Zoals af te lezen in Tabel 3 is dit de A1.

Vervolgens is nagegaan of er geen werkzaamheden hebben plaats gevonden tussen het moment waarop de HRI-waarden zijn verzameld en het moment waarop de proefrit zou worden uitgevoerd. In dat geval zou de data van RWS namelijk niet meer relevant zijn. Op basis daarvan bevond het uiteindelijke geselecteerde traject zich op de A1 tussen afrit 10 Knooppunt Eemnes en afrit 12 Bunschoten-Spakenburg. In Figuur 13 is een overzicht te zien van de beschikbare data en de uiteindelijk geselecteerde route.

Weg	% HRI < 1m/km	% HRI > 1 m/km
A28	81.31%	18.69%
A2	79.23%	20.77%
A12	75.73%	24.27%
A27	62.24%	37.76%
A1	58.74%	41.26%

Tabel 3: Snelwegen regio Utrecht met percentages HRI-waarden



Figuur 13: Overzicht beschikbare data (zwart) en geselecteerde route (groen)

De proefrit vond plaats op 24 juli 2015. Daarbij is de route meerdere malen in beide richtingen gereden. Omdat de beschikbare HRI-waarden van de ARAN zijn gemeten op de rechter rijstrook is tijdens de proefrit uitsluitend rechts gereden. Hoewel de HRI-waarden voortkomen uit een simulatie die met 80km/h wordt uitgevoerd, was de snelheid tijdens de proefrit afhankelijk van het verkeer. *RoADS*, het systeem wat gebruikt is voor het verwerken van de data, houdt namelijk rekening met variërende snelheden. De auto waarmee gereden is tijdens de proefrit was een BMW 320i (Type E60). De telefoons waarvan de data gelogd is, zijn een *Samsung Galaxy S4 Mini* en een *OnePlus One*. De signalen die hiervan zijn verzameld zijn de versnellingsopnemer en de gyroscoop met een frequentie van 93Hz, en het GPS-signaal met een frequentie van 1 Hz.

Tijdens de proefrit viel op dat het de smartphones veel energie kost om data te loggen. Op het moment dat de smartphones te weinig energie over hadden werd het GPS-signaal uitgeschakeld. Dit heeft te maken met de prioriteiten die de besturingssystemen hanteren. Verder werd geconstateerd dat beide telefoons soms ook moeite hadden met het vinden van een GPS-signaal, doordat het signaal bijvoorbeeld door bomen werd verstoord.

5.3 VERWERKEN SMARTPHONEDATA

Het verwerken van de smartphonedata is door F.Seraj uitgevoerd werkzaam bij de Pervasive Systems Group aan de Universiteit Twente. Seraj heeft gebruik gemaakt van het door hem ontwikkelde *Road Anomaly Detection System (RoADS)*. Hieronder wordt een samenvatting gegeven van hoe *RoADS* is ontwikkeld en hoe het werkt. Vervolgens wordt toegelicht hoe Seraj *RoADS* heeft toegepast voor het verwerken van de verzamelde smartphonedata.

5.3.1 ROADS

RoADS maakt gebruik van de data van de gyroscoop, versnellingsopnemer en GPS van een smartphone om schades aan het wegdek te detecteren. Het maakt hiervoor gebruik van *Support Vector Machine (SVM)*, een *machine learning* algoritme. Een SVM wijst op basis van een aantal kenmerken data aan verschillende klassen toe. Deze kenmerken komen voort uit een trainingsdataset waarin voorbeelden van de verschillende klassen staan. Door de kenmerken van de nieuwe data te vergelijken met de voorbeeld-data wordt deze geclassificeerd.

Voordat de data van de gyroscoop en versnellingsopnemer gebruikt kunnen worden om schadebeelden te herkennen, moet deze getransformeerd worden. Handelingen als optrekken, afremmen en draaien

kunnen namelijk de data vervormen wat een vertekend beeld geeft van de werkelijkheid. Hiervoor maakt *RoADS* gebruik van een *High-Pass Filter* wat deze lage frequentie componenten verwijdert. Ook het rijden met verschillende snelheden resulteert in andere signalen. Ook deze *speed dependencies* worden door *RoADS* verwijderd.

Vervolgens kunnen klassen worden toegekend aan fragmenten van deze getransformeerde data. *RoADS* doet dit door middel van een twee-staps-classificatie. In de eerste classificatie wordt er onderscheid gemaakt of een fragment al dan niet een afwijking heeft. In de tweede classificatie worden de fragmenten met een afwijking aan een klasse toegekend op basis van de ernst van de afwijking. Om ervoor te zorgen dat zoveel mogelijk schades door *RoADS* herkend worden, overlappen de fragmenten die geanalyseerd worden elkaar. De verschillende klassen waar het systeem onderscheid in maakt zijn de volgende:

- Ernstig: in deze categorie vallen riooldeksels, gaten en ernstig verslechterde of herstelde stukken weg.
- Mild: in deze categorie vallen alle afwijkingen die aan 1 kant van de weg plaats vinden zoals scheuren en eenzijdige reparaties of bobbels
- Overdwars: in deze categorie zijn afwijkingen geplaatst die zich over de gehele breedte van de weg bevinden zoals drempels, voegen et cetera.

5.3.2 TOEPASSEN VAN *ROADS*

De verzamelde smartphonedata is op dezelfde manier geanalyseerd als in bovenstaande paragraaf staat omschreven. Eerst heeft Seraj de *speed dependencies* verwijderd waarna de fragmenten gelaassificeerd zijn door middel van de getrainde SVM. Omdat *RoADS* echter niet is ontwikkeld voor het detecteren van de langsonvlakheid, maar specifiek gericht is op het detecteren van bepaalde schadebeelden, heeft Seraj de classificatie aangepast.

Als een weg weinig langsonvlakheid heeft (lage HRI-waarden) dan is de verticale beweging van de voertuigen die er overheen rijden klein. De versnellingsopnemers van de smartphones zullen dan ook weinig uitslaan. *RoADS* classificeert signalen met een lage waarde niet. Daar waar *RoADS* niets detecteert is gelijk gesteld aan Klasse 1.

Als een weg veel langsonvlakheid heeft (hoge HRI-waarden) dan is de verticale beweging van de voertuigen die er overheen rijden groot. De versnellingsopnemers van de smartphones zullen in dat geval hoge waarden detecteren. Seraj heeft naar de signalen van de trainingsdataset van *RoADS* gekeken en de classificaties met grote versnellingswaarden gelijk gesteld aan Klasse 3. Dit komt overeen met de klassen 'Ernstig' en 'Overdwars' zoals in voorgaande paragraaf besproken.

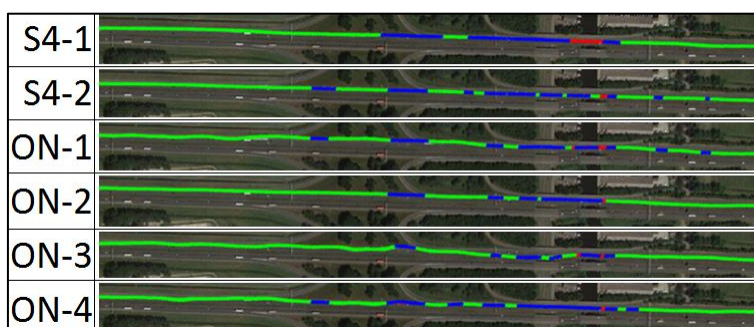
In het geval *RoADS* de klasse 'Mild' detecteert wordt dit nu als Klasse 2 aangegeven. De grote van de signalen van de versnellingsopnemer zitten in dit geval tussen die van Klasse 3 en Klasse 1. Samengevat is de volgende classificatie toegepast:

- Klasse 1: stukken weg waar *RoADS* geen afwijkingen detecteerd.
- Klasse 2: komt overeen met de klasse 'Mild' zoals omschreven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**
- Klasse 3: komt overeen met de klassen 'Ernstig' en 'Overdwars' zoals omschreven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

De output van de verwerking betreft een dataset met begin- en eindcoördinaten van fragmenten van de afgelegde route met de bijbehorende classificatie. In Tabel 4 zijn het aantal bruikbare datasets per telefoon per traject weergegeven met daarbij het aantal fragmenten per klasse. Omdat niet alle verzamelde datasets bruikbaar waren zit er een verschil in het aantal bruikbare datasets per telefoon. In Figuur 14 is een gedeelte van de output over het traject Amersfoort-Hilversum visueel weergegeven met Klasse 1 in het groen, Klasse 2 in het blauw en Klasse 3 in het rood.

Amersfoort - Hilversum							
OnePlus One				Samsung Galaxy S4 Mini			
Dataset ID	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Dataset ID	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
ON-1	600	74	11	S4-1	290	54	7
ON-2	585	35	6	S4-2	632	40	4
ON-3	727	20	5				
ON-4	595	40	90				
Hilversum - Amersfoort							
OnePlus One				Samsung Galaxy S4 Mini			
Dataset ID	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Dataset ID	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
ON-1	737	30	10	S4-3	332	59	8
ON-2	369	42	11	S4-4	671	39	7
				S4-5	335	35	5

Tabel 4: Samenvatting verwerkte data



Figuur 14: Visuele weergave van output RoADS

5.4 ANALYSEREN SMARTPHONEDATA

De smartphonedata is geanalyseerd in lijn met de criteria die opgesteld zijn in hoofdstuk 4 en hieronder per criterium uiteengezet.

5.4.1 RIJSTROOKBEPALING

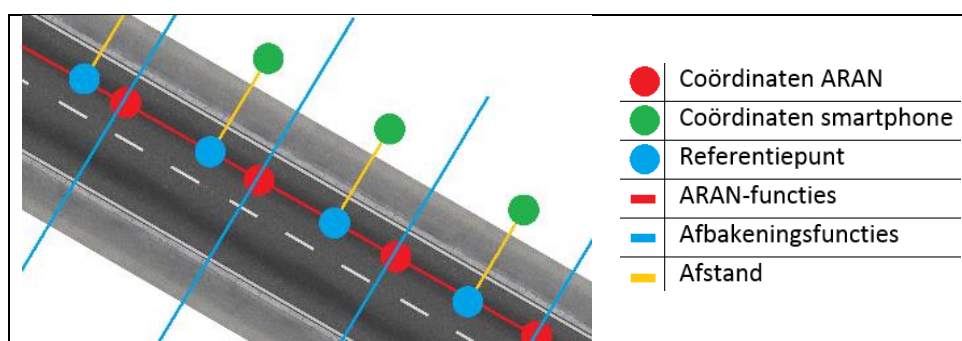
Het eerst criterium stelt dat de plaatsbepaling van de HRI in de breedterichting dusdanig nauwkeurig moet zijn dat met 95% zekerheid geïdentificeerd kan worden over welke rijstrook de data is verzameld. Aangezien tijdens de testrit uitsluitend op de rechter rijbaan is gereden weet men 100% zeker dat alle verzamelde data de rechter rijbaan betreft, ook als een punt ver buiten de rijbaan ligt. Als er echter data wordt verzameld van willekeurige smartphones weet men niet zeker over welke rijbaan is gereden. In dat geval moet de verdeling van de plaatsbepaling bekend zijn om metingen aan een rijbaan te kunnen toekennen.

Om de verdeling van de plaatsbepaling van de smartphones die gebruikt zijn tijdens de proefrit te bepalen, is gekeken naar de afwijking in de breedterichting van de weg. Hierbij is als referentiekader gebruik gemaakt van de coördinaten van de ARAN-metingen. Voor deze analyse is aangenomen dat de

ARAN en de auto over precies hetzelfde traject hebben gereden en dat er geen afwijkingen in de lengterichting zijn.

Aangezien de coördinaten van de ARAN en smartphones volgens de *World Geodetic System 1984* in graden staan uitgedrukt en de uitkomst in meters moet, zijn de coördinaten eerst omgezet. De coördinaten zijn met behulp van een Matlab-code (Rino, 2015) vertaald naar *Universal Transverse Mercator* (UTM) coördinaten, een coördinaten systeem wat in meters is uitgedrukt.

Omdat de coördinaten van de smartphone wat betreft de lengterichting op andere plekken zijn gemeten dan die van de ARAN, kan de afwijking niet bepaald worden door slechts de afstand tussen de ARAN en smartphone coördinaten te meten. Er is gekozen om de smartphone-coördinaten te vergelijken met individuele referentiepunten die in lijn liggen met de ARAN-coördinaten en het dichtste bij de smartphone-coördinaten. Hieronder wordt uitgelegd hoe deze referentiepunten zijn bepaald. Ter verduidelijking van het geschrevene kan Figuur 15 worden geraadpleegd. Een omschrijving van de achterliggende wiskundige methodiek staat omschreven in Annex III.



Figuur 15: Methode voor het bepalen van de afstand tussen coördinaten van ARAN en smartphones.

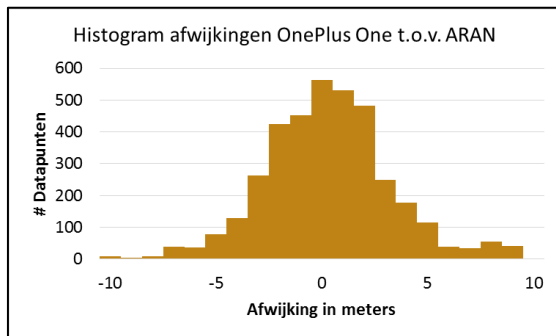
Om ervoor te zorgen dat de referentiepunten in lijn liggen met de ARAN-coördinaten zijn er voor alle opeenvolgende ARAN-coördinaten zogenaamde ARAN-functies opgesteld. Op deze ARAN-functies komen uiteindelijk de referentiepunten te liggen.

Om te bepalen op welke ARAN-functie het referentiepunt voor iedere smartphone-coördinaat komt te liggen zijn per ARAN-functie afbakeningsfuncties opgesteld: één voor ieder ARAN-coördinaat waarop de ARAN-functie is gebaseerd. De afbakeningsfuncties zijn zo opgesteld dat ze een even grote hoek hebben met de twee ARAN-functies waar ze tussen zitten. Dit betekent dat de eind-afbakeningsfunctie voor de ene ARAN-functie, de begin-afbakeningsfunctie is van de volgende.

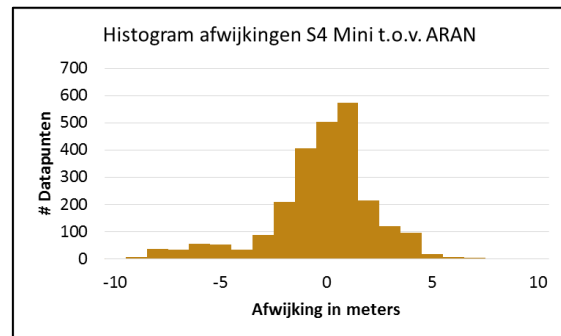
Met behulp van de afbakeningsfuncties is voor iedere smartphone-coördinaat bepaald op welke ARAN-functie hun referentiepunt komt te liggen. Vervolgens is voor iedere smartphone-coördinaat een functie bepaald die loodrecht op de toegekende ARAN-functie staat en door de smartphone-coördinaat gaat. Door het snijpunt te bepalen van de ARAN-functie en de loodrechte zijn de coördinaten van het referentiepunt bepaald. Tot slot is met behulp van de stelling van Pythagoras de afstand tussen het referentiepunt en de smartphone-coördinaat bepaald.

De afwijkingen zijn per telefoon bepaald en staan samengevat weergegeven in Figuur 16 en Figuur 17. Uit deze figuren kan geconcludeerd worden dat de plaatsbepaling van de *S4 Mini* nauwkeuriger is dan die van de *OnePlus One* aangezien het histogram een steilere piek heeft rond de gemiddelde afwijking.

De gemiddelde afwijking bedraagt voor de *OnePlus One* 0,2925m en voor de *S4 Mini* 0,2829m en verschillen daarmee minder dan een centimeter van elkaar.

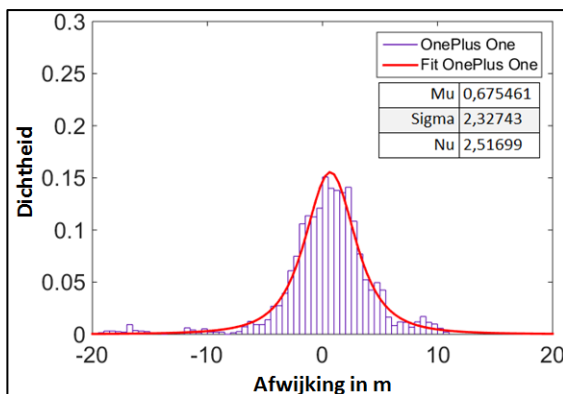


Figuur 16: De gevonden afwijkingen voor de *OnePlus One* coördinaten t.o.v. de ARAN-coördinaten

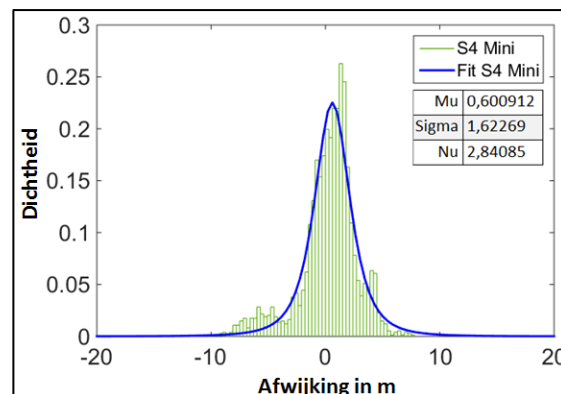


Figuur 17: De gevonden afwijkingen voor de *S4 Mini* coördinaten t.o.v. de ARAN-coördinaten

Op basis van de gevonden afwijkingen zijn voor beiden smartphones verdelingen bepaald. Dit is gebeurd met behulp van de *Distribution Fitting Tool* in Matlab. Via deze tool kunnen verschillende verdelingen geplotted worden op de data. Er is gekozen voor de verdeling die visueel de beste *fit* heeft en betreft de *t-Location-Scale Distribution*, een variant van de studentverdeling. In Figuur 18 en Figuur 19 staan de verdelingen visueel weergegeven, met daarbij de waarden van de verschillende parameters. De Mu-parameter is de gemiddelde-waarde van de verdeling, de Sigma-parameter geeft een waarde aan de spreiding van de verdeling en de Nu-parameter beïnvloedt de vorm van de verdeling. Dat de Mu-waarden niet gelijk zijn aan nul, betekent dat de smartphones de locatie gemiddeld genomen ruim een halve meter te ver naar buiten bepalen. Dit is echter in tegenstelling tot wat men verwacht. We verwachten namelijk dat de gemiddelde waarde op de nul ligt. De reden waarom dat hier niet zo is kan waarschijnlijk gewijd worden aan het referentiekader dat is gebruikt. Om die reden is gekozen om voor de verdere analyse de Mu-waarde gelijk te stellen aan nul.

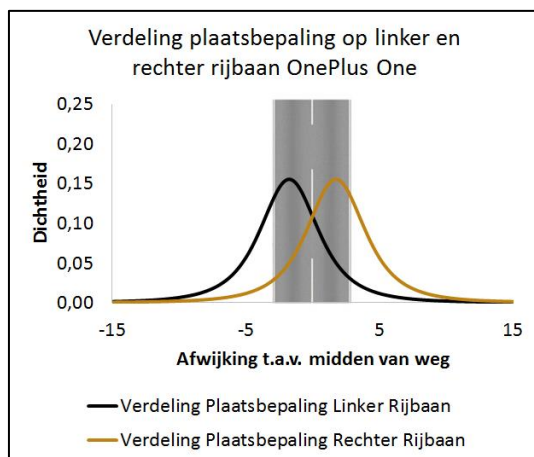


Figuur 18: De verdeling van de plaatsbepalingen voor de *OnePlus One*

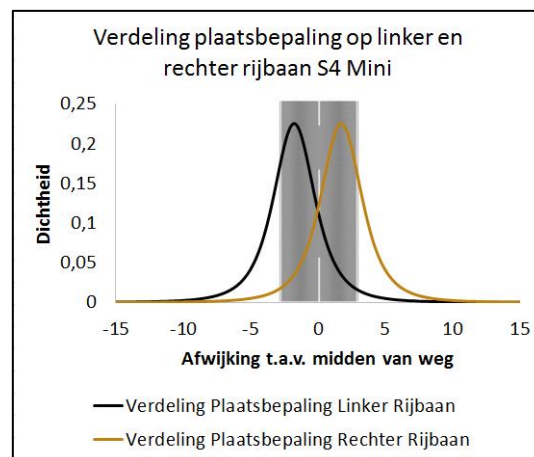


Figuur 19: De verdeling van de plaatsbepalingen voor de *S4 Mini*

Met de opgestelde verdelingen en bij een rijbaanbreedte van 3,5 meter, vallen 42,44% van de metingen van de *OnePlus One* binnen de rijbaan en 56,81% van de *S4 Mini*. Hierbij gaan we ervan uit dat de auto's in het midden van de rijbaan rijden. Aangezien niet alle metingen binnen één rijbaan vallen, betekent dit dat er een overlap zit in metingen die op een andere rijbaan zijn gemeten. Zie Figuur 20 en Figuur 21 ter verduidelijking waarin de verdelingen zijn weergegeven op een tweebaansweg. Hierin is te zien dat sommige metingen op de linker rijbaan vallen maar zijn gemeten op de rechter en omgekeerd.

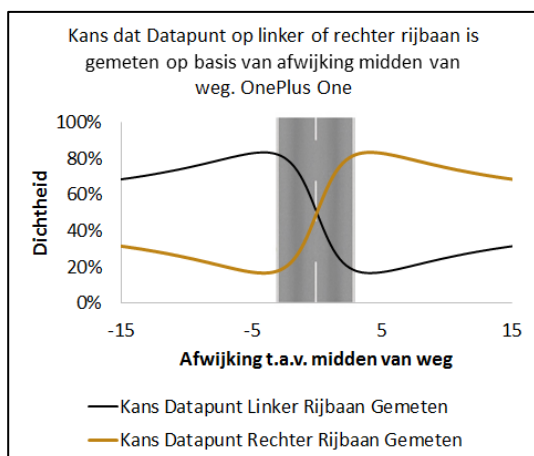


Figuur 20: Verdeling plaatsbepaling van *OnePlus One* op linker en rechter rijbaan geplot

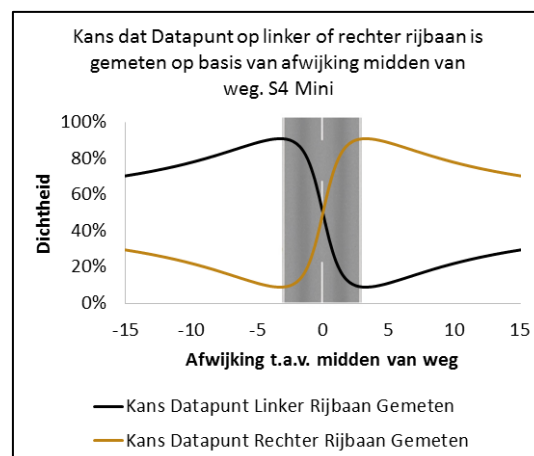


Figuur 21: Verdeling plaatsbepaling van *S4 Mini* op linker en rechter rijbaan geplot

Met behulp van de gevonden verdelingen kan bepaald worden wat de kans is dat een datapunt op de linker of de rechter rijbaan is gemeten op basis van zijn coördinaten. Neem als voorbeeld een datapunt die gemeten is op locatie X. De kans dat dit datapunt door de smartphone op de linker rijbaan is gemeten kan bepaald worden door het verwachte aantal metingen op locatie X van de linker smartphone, te delen door het totaal aantal verwachte metingen op locatie X. Het totaal aantal verwachte metingen zijn de verwachte metingen op locatie X van de smartphone op de linker rijbaan opgeteld bij die van de rechter. De kansverdelingen voor beide telefoons zijn weergegeven in Figuur 21 en Figuur 22. Hierbij is aangenomen dat de auto's in het midden van de rijbaan rijden en is als referentiepunt het midden van de weg genomen.



Figuur 22: Kansverdeling dat meting op linker of rechter rijbaan is gemeten op basis van afwijking van het midden van snelweg voor *OnePlus One*



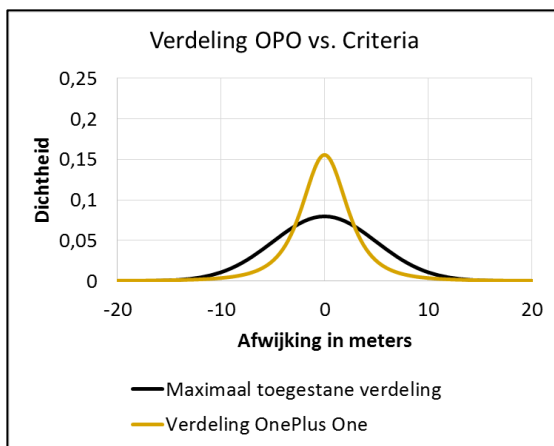
Figuur 23: Kansverdeling dat meting op linker of rechter rijbaan is gemeten op basis van afwijking van het midden van snelweg voor *S4 Mini*

Hieruit is af te lezen dat de grootste zekerheid waarmee de *OnePlus One* een meting aan een rijbaan kan toekennen 83,33% is als het datapunt 4 meter uit het midden van de weg is geregistreerd. Voor de *S4 Mini* is dit 91,01% bij 3,25 meter. Dit betekent dus niet dat de auto's met 4 of 3,25 meter uit het midden van de weg moeten rijden, maar dat voor de datapunten wiens coördinaten met die lengte uit het midden van de weg liggen, met de hoogste zekerheid de rijbaan kan worden toegekend waarop het datapunt is gemeten. Hier wordt bevestigd dat de *S4 Mini* met een hogere nauwkeurigheid de rijstrook kan bepalen.

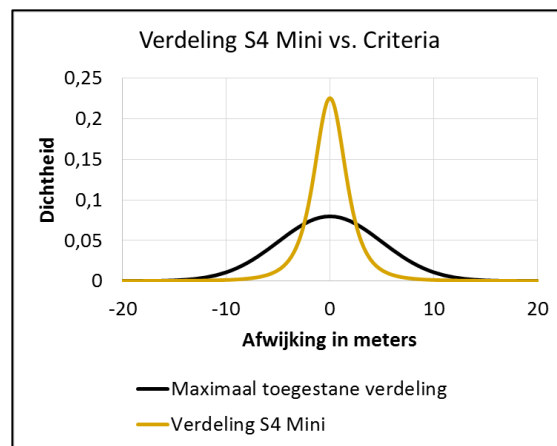
Op basis van de beschreven resultaten kan geconcludeerd worden dat de smartphones niet in staat zijn om met 95% zekerheid de verzamelde data aan de juiste rijbaan toe te kennen. De smartphones voldoen met andere woorden niet aan het criterium omtrent rijstrookbepaling.

5.4.2 PLAATSBEPALING IN DE LENGTERICHTING

Het tweede criterium schrijft voor dat de locatie in de lengterichting met een maximale standaarddeviatie van 5m en per 100 meter moet worden bepaald. Om te beoordelen in hoeverre de smartphones aan dit criterium voldoen wordt gebruik gemaakt van de gevonden verdelingen uit de voorafgaande paragraaf. Deze verdelingen zijn hier ook toepasbaar aangezien een GPS geen onderscheid maakt in lengte- of breedterichting van een weg, maar de locatie met een zekere nauwkeurigheid bepaald. In Figuur 24 en Figuur 25 zijn de plaatsbepaling verdelingen van de telefoons weergegeven samen met de verdeling die voortkomt uit het criterium, een normaalverdeling met een standaarddeviatie van 5m.



Figuur 24: De gevonden plaatsbepaling verdeling van de *OnePlus One* vs. het gestelde criterium



Figuur 25: De gevonden plaatsbepaling verdeling van de *S4 Mini* vs. het gestelde criterium

De plaatsbepaling van de smartphones is niet normaal verdeeld, maar betreft de *t-Location-Scale Distribution*. Ondanks dat de telefoons een andere verdeling volgen dan het gestelde criterium, is duidelijk in de figuren te zien dat de ze nauwkeuriger zijn dan de gestelde eis. De metingen van de smartphones zijn namelijk minder verdeeld en liggen dichter bij de nul. Het criterium vereist dat 68% van de metingen binnen een afwijking van 5 meter vallen. Voor de *OnePlus One* is dit 86% en voor de *S4 Mini* zelfs 94%. We kunnen dus concluderen dat de smartphones in staat zijn om met een hogere nauwkeurigheid de plaatsbepaling in de lengterichting te bepalen.

Om te beoordelen of de smartphones ook in staat zijn om de plaatsbepaling maximaal om de 100 meter kunnen bepalen is gekeken naar de frequentie van de GPS van de telefoons. Mits een smartphone een stabiele verbinding heeft, is de frequentie waarmee het GPS signaal binnen wordt gehaald ongeveer 1Hz. Dit betekent dat het signaal iedere seconde wordt opgehaald. Als men dus de maximale toegestane snelheid van 130km/h rijdt op een snelweg wordt er iedere 36,1m een signaal opgehaald aangezien:

$$\frac{130\text{km}}{h} = \frac{130.000\text{m}}{3600\text{s}} = \frac{36,1\text{m}}{s}$$

Hiermee voldoen de smartphones dus aan het gestelde criterium van maximaal 100 meter. Pas bij een snelheid van 360km/h is de afstand tussen twee metingen gelijk aan 100m.

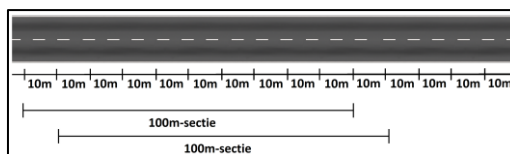
5.4.3 OVERIGE OPMERKINGEN PLAATSBEPALING

Wat verder nog opgemerkt dient te worden is dat een smartphone alleen gebruik kan maken van zijn GPS als het signaal niet verstoord wordt. Dit betekent dat onze toepassing bijvoorbeeld in tunnels en onder dichtbegroeide bomen over het algemeen niet werkt. De ARAN ondervindt dit probleem ook, maar compenseert dit door de afstandsmeter waar het is mee uitgerust. Daardoor is het in staat om de metingen alsnog te koppelen aan een locatie.

5.4.4 NAUWKEURIGHEID HRI

Volgens het derde criterium moet de gemiddelde HRI per 100 meter met een standaarddeviatie van 0,1m/km bepaald kunnen worden. Om dit te kunnen beoordelen moeten de smartphonemetingen vertaald worden naar HRI-waarden. Om op basis van de klassen die *RoADS* aan de stukken weg toekent de HRI-waarden te voorspellen, is er gekeken naar de correlatie tussen de gemiddelde HRI-waarden en de percentages van de klassen per 100 meter stuk weg.

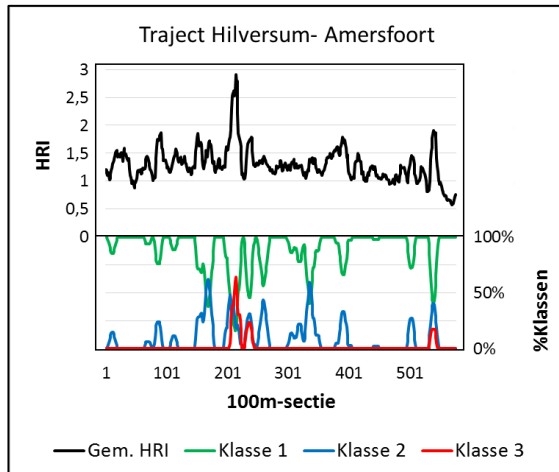
Aangezien de totale afstand van de route ongeveer 11 kilometer bedraagt, kan er slechts over 110 aaneensluitende wegsegmenten de gemiddelde HRI-waarden berekend worden. Om meer data te kunnen analyseren is er gekozen om gebruik te maken van het voortschrijdend gemiddelde. Dit betekent dat de secties waar de gemiddelde HRI-waarden over worden berekend elkaar overlappen. Aangezien de HRI-waarden per 10 meter bekend zijn, is gekozen om per 10 meter de gemiddelde HRI-waarde te berekenen voor een stuk weg van 100 meter. Met andere woorden: twee opeenvolgende 100m-secties overlappen elkaar voor 90 meter. Zie Figuur 26 ter verduidelijking. In plaats van 110 zijn er nu 1122 secties voor de analyse gebruikt.



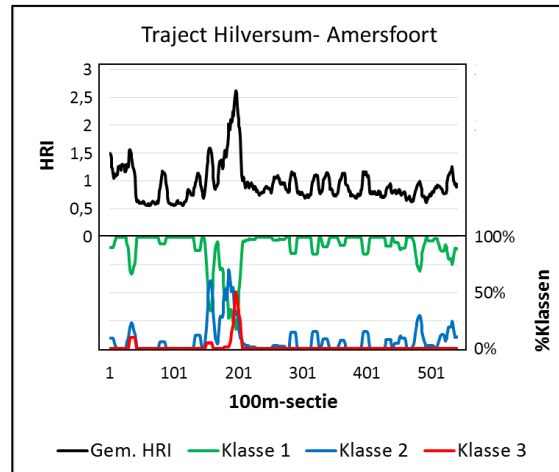
Figuur 26: Overlap in 100m-secties

Voor deze 100m-secties is vervolgens bepaald hoeveel meter procentueel gezien als Klasse 1, 2 of 3 door de smartphones is gedetecteerd. Aangezien de route redelijk lineair verloopt, is gekozen om dit uitsluitend op basis van de longitudinale coördinaten te bepalen. De beredenering achter deze methode wordt toegelicht in Annex IV. Zoals uitgelegd in paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** overlappen de verwerkte smartphonedata elkaar wat betreft plaatsbepaling. Hierdoor is *RoADS* namelijk beter in staat om alle schadebeelden te detecteren. Voordat de percentages van de klassen zijn bepaald is de data getransformeerd zodat de coördinaten op elkaar aansluiten. In het geval secties met eenzelfde klasse elkaar overlappen, zijn deze samen gevoegd. In het geval secties uit verschillende klassen elkaar overlappen, zijn nieuwe coördinaten bepaald op basis van de gemiddelde coördinaten.

De percentages zijn in beiden richtingen voor iedere smartphone-dataset bepaald, maar voor de analyse is er gebruikt gemaakt van de gemiddelde percentages per segment. In Figuur 27 en Figuur 28 zijn de gemiddelde HRI waarden en de gemiddelde percentages van de klassen per 100m-sectie in geografische volgorde uitgezet. Hierin is te zien dat de verschillende klassen ruwweg de vorm van de HRI volgen en Klasse 3 voornamelijk bij uitschieters wordt gemeten.



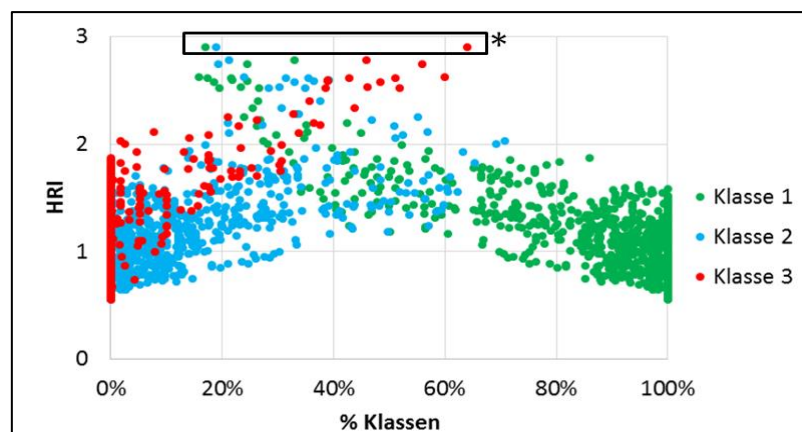
Figuur 27: Gemiddelde HRI en percentages van Klassen per 100m-sectie: Amersfoort - Hilversum



Figuur 28: Gemiddelde HRI en percentages van Klassen per 100m-sectie: Hilversum - Amersfoort

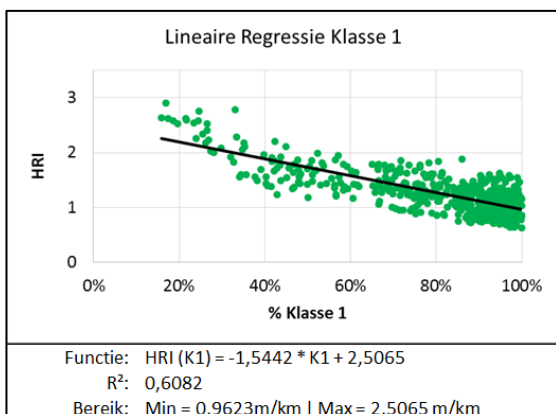
In Figuur 29 is een scatter-plot te zien van alle data waarin de percentages van de verschillende klassen zijn afgezet tegen de HRI-waarden. Hierin zijn dus drie punten per HRI-waarde te zien, zoals aangegeven in het voorbeeld met het sterretje.

In deze figuur is te zien dat naarmate het percentage van Klasse 3 toeneemt, de HRI-waarden groter worden. Dit betekent dat een hoger percentage van Klasse 3 aangeeft dat er meer langsonvlakheid is. Omgekeerd is te zien dat naarmate het percentage dat Klasse 1 wordt gemeten toeneemt, de HRI-waarden dalen. Dit betekent dat hoe hoger het percentage van Klasse 1 is, hoe minder langsonvlak de weg is. In deze figuur is met ander woorden duidelijk een correlatie te zien tussen de percentages van de verschillende klassen en de gemiddelde HRI-waarden voor de 100m-secties.

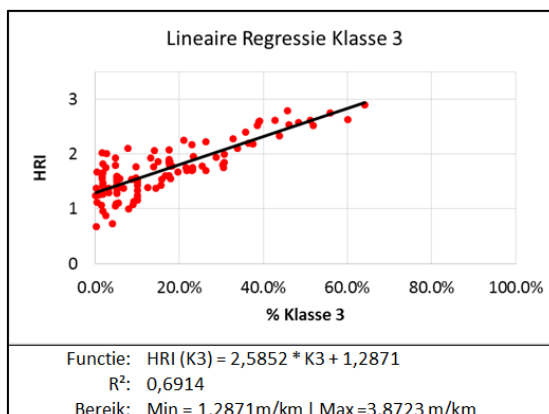


Figuur 29: Scatter plot van HRI-waarden tegen percentages van de verschillende klassen voor beiden trajecten

Vervolgens zijn op basis van de verkregen data en door middel van lineaire regressie voorspellingsfuncties opgesteld voor Klasse 1 en Klasse 3, waarin de klassen worden vertaald naar HRI-waarden. Voor het opstellen van de voorspellingsfuncties is niet alle data gebruikt. De metingen waar 0% of 100% van de Klassen wordt gemeten zijn voor het opstellen van de functies buiten beschouwing gelaten. De reden hiervoor is dat de functies een beperkt bereik hebben en de metingen waar 0% of 100% van de Klassen worden gemeten buiten dit bereik liggen. Hierdoor kunnen dergelijke datapunten een negatief effect op het voorspellend karakter van de functies. De beredenering achter deze methode staat uitgelegd in Annex V. De opgestelde functies en de bijbehorende eigenschappen zijn te zien in Figuur 30 en Figuur 31

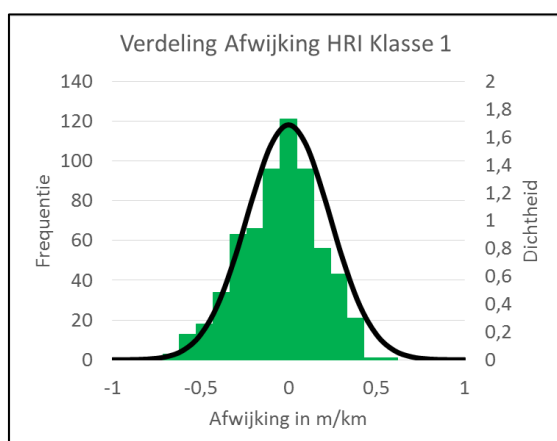


Figuur 30: Voorspellingsfuncties op basis van lineaire regressie van Klasse 1

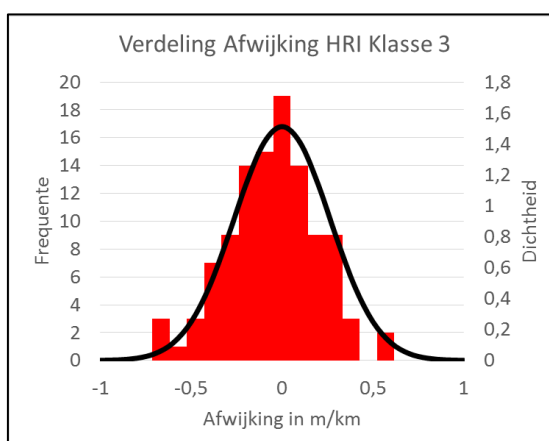


Figuur 31: Voorspellingsfuncties op basis van lineaire regressie van Klasse 3

Vervolgens zijn de voorspellingsfuncties gebruikt om op basis van de percentages van Klasse 1 en 3 de HRI-waarden per 100m-sectie te voorspellen. Door de voorspelde HRI-waarden te vergelijken met de HRI-waarden van de ARAN is bepaald wat de verdeling is van de afwijkingen per functie, zie Figuur 32 en Figuur 33.



Figuur 32: Verdeling van afwijkingen van voorspellingen waar Klasse 1 $\neq$ 0% of 100%



Figuur 33: Verdeling van afwijkingen van voorspellingen waar Klasse 3 $\neq$ 0% of 100%

De afwijkingen zijn voor beiden functies normaal verdeeld, Klasse 1 met een standaarddeviatie van 0,2362m/km en Klasse 3 met een standaarddeviatie van 0,2638m/km. Aangezien de vereiste standaarddeviatie maximaal 0,1m/km mag bedragen, voldoen beiden functies niet aan het gestelde criterium. Voor de volledigheid is ook de nauwkeurigheid van de voorspellingsfuncties op de grenzen van hun bereik onderzocht, zie hiervoor Annex V. Ook hier werd niet aan het gestelde criterium voldaan.

5.5 CONCLUSIE HOOFDSTUK 5

In dit hoofdstuk wordt omschreven hoe er data is verzameld, verwerkt en geanalyseerd om te oordelen of smartphones in staat zijn om de HRI-waarden te bepalen conform de gestelde criteria.

Er heeft een proefrit plaatsgevonden over de A1 tussen Amersfoort en Hilversum waarin smartphonedata is verzameld. Deze smartphonedata is verwerkt door F.Seraj van de Pervasive Systems Group aan de Universiteit Twente met behulp van RoADS. Vervolgens is de verwerkte smartphonedata

vergeleken met ARAN-data die door RWS beschikbaar is gesteld op basis van de opgestelde criteria. Hieronder worden de conclusies per criterium besproken.

1. De plaatsbepaling van de HRI moet in de breedterichting dusdanig nauwkeurig zijn dat met 95% zekerheid geïdentificeerd kan worden over welke rijstrook de data is verzameld.

Om te oordelen of de smartphones aan het eerste criterium voldoen zijn de coördinaten die verzameld zijn met de smartphones vergeleken met referentiepunten die afgeleid zijn van de coördinaten van de ARAN. Op basis van de afwijkingen tussen de referentiepunten en de smartphone-coördinaten zijn verdelingen opgesteld. Met deze verdelingen is gekeken, voor een tweebaansweg met rijbanen van 3,5 meter breed, wat de kans is dat een meting op de linker of de rechter rijbaan is gemeten, aangenomen dat de auto's in het midden van de rijbaan rijden. Voor de *S4 Mini* wordt de hoogste zekerheid bereikt bij metingen die geregistreerd zijn op 3,25 meter uit het midden van de weg en bedraagt 91,01%. Voor de *OnePlus One* is dit 83,33% bij 4 meter. Hieruit kan geconcludeerd worden dat beiden smartphones niet in staat zijn om aan het gestelde criterium van 95% te voldoen.

2. De plaatsbepaling in de lengterichting moet met een maximale standaarddeviatie van 5m worden bepaald en per 100 meter.

Om te oordelen of de smartphones aan het tweede criterium voldoen is gebruik gemaakt van de verdelingen die zijn opgesteld bij het beoordelen van het eerste criterium. Met een standaarddeviatie van 2,33m voor de *OnePlus One* en 1,62m voor de *S4 Mini* voldoen beiden smartphones ruim aan de gestelde standaarddeviatie van 5m. Om te oordelen wat de afstand is tussen twee plaatsbepalingen van de smartphones is gekeken naar de frequentie waarmee het GPS-signaal wordt binnen gehaald. De frequentie bedraagt 1 Hz wat betekent dat met een snelheid van 130km/h, de maximale snelheidslimiet in Nederland, elke 36,1 meter de locatie wordt bepaald. Er kan dus geconcludeerd worden dat de smartphones voldoen aan het tweede criterium.

3. De gemiddelde HRI moet in 100 meter segmenten worden aangeleverd met een maximale standaarddeviatie van 0,1m/km.

Om het derde criterium te beoordelen moest de smartphonedata eerst verwerkt worden naar HRI-waarden. Hiervoor zijn twee voorspellingsfuncties opgesteld die op basis van de percentages van Klasse 1 en Klasse 3 over een 100m-sectie een HRI-waarde genereren. Deze functies zijn opgesteld door te kijken naar de correlatie tussen de gemiddelde HRI waarden van 100m-secties en de procentuele verdeling van de drie klassen over die secties. Op basis van lineaire regressie zijn de voorspellingsfuncties opgesteld.

Vervolgens zijn de HRI-waarden voorspeld met behulp van de opgestelde functies en zijn deze waarden vergeleken met de HRI-waarden van de ARAN. Op basis van de afwijking tussen de twee zijn verdelingen opgesteld voor de voorspellingsfuncties. De voorspellingen op basis van Klasse 1 zijn normaal verdeeld met een standaarddeviatie van 0,2362m/km. De voorspellingen op basis van Klasse 3 zijn ook normaal verdeeld met een standaarddeviatie van 0,2638m/km. In beiden gevallen wordt dus niet voldaan aan de gestelde eis van 0,1m/km.

6

Andere Toepassingsgebieden

In Hoofdstuk 5 is gebleken dat de smartphones niet in staat zijn om de ARAN te vervangen voor het meten van de langsonvlakheid. Daarin zijn de smartphones beoordeeld ten aanzien van het gebruik van de langsonvlakheid door RWS voor het opstellen van MJPV. Misschien zijn er echter andere processen of situaties binnen het Asset Management van het wegennetwerk waarin de smartphones wel een meerwaarde kunnen bieden. Om dat te onderzoeken heeft er een brainstorm plaatsgevonden met een aantal Asset Managers, zodat door middel van hun kennis en ervaring die meerwaarde kan worden ontdekt. In dit hoofdstuk wordt omschreven hoe de brainstorm heeft plaats gevonden en wat de bevindingen ervan zijn. Hiermee geeft dit hoofdstuk antwoord op onderzoeksvraag 3

6.1 AANPAK BRAINSTORM

De brainstorm heeft met vijf Asset Managers van de Asset Management adviesgroep van Arcadis plaats gevonden. Voorafgaand aan de brainstorm zijn de bevindingen en de conclusies door middel van een presentatie voorgelegd aan de experts. De experts hebben de ruimte gekregen om inhoudelijke vragen te stellen, maar zijn gevraagd om hun bevindingen tijdens de presentatie voor zich te houden om te voorkomen dat ze elkaars meningen zouden beïnvloeden. Na de presentatie hebben de experts tien minuten de tijd gekregen om hun bevindingen individueel op papier te zetten, waarna iedere expert werd gevraagd zijn bevindingen te delen met de groep en de overige de kans kregen om hierop te reageren. De audio van de brainstorm is opgenomen en de bevindingen ervan staan in onderstaande paragraaf uiteengezet.

6.2 BEVINDINGEN BRAINSTORM

6.2.1 MONITOREN BIJ NIEUWBOUWPROJECTEN

Een mogelijke toepassing betreft nieuwbouwprojecten, voornamelijk bij zettingsgevoelige gebieden. Bij dergelijke projecten is het zeer waarschijnlijk dat de weg gaat verzakken. Voordat het project van start gaat worden eisen gesteld aan de verzakingsgraad. Als bij de ingebruikname niet aan de eisen wordt voldaan kunnen de verantwoordelijke partijen, zoals de aannemers of de gemeente, beboet worden. Naast geldboetes leiden verzakkingen ook tot herstelwerkzaamheden, de weg moet na de constatering weer in lijn worden gebracht met de gestelde eisen. Aangezien er vaak ook onderliggende infrastructuur aanwezig is, zoals leidingen en kabels, zijn deze herstelwerkzaamheden niet alleen beperkt tot het terug recht maken van de weg.

Vanwege bovenstaande redenen wordt de verzakking bij nieuwbouwproject goed gemonitord. Vooral in het begin wordt er veel aandacht aan besteed, aangezien dan de grootste verzakkingen plaats kunnen vinden. Het gebruik van smartphones zou hier van toegevoegde waarde kunnen zijn doordat het verzakingsproces op relatief eenvoudige wijze frequenter kan worden gemonitord en beoordeeld. Dat de HRI-waarden niet exact kunnen worden bepaald is in dit geval niet erg. Nieuw aangelegde wegen horen namelijk lage HRI waarden te hebben en zitten vooral onder het bereik van 0,9623m/km van de voorgestelde voorspellingsfuncties, zie paragraaf 5.4.4. In het geval de smartphones een verschuiving

detecteren, kan dit als signaal dienen om uitgebreider onderzoek te verrichten. De experts zien het dan ook als een toevoeging op de huidige gebruikte monitormethodes.

6.2.2 MONITOREN VOOR DAGELIJKS BEHEER

Een andere mogelijke toepassing die werd aangehaald tijdens de brainstorm heeft betrekking op de methode *RoADS* die is gebruikt. *RoADS* is feitelijk ontworpen om gaten en dergelijke onnauwkeurigheden in een wegdek te detecteren, en niet voor het meten van de langsonvlakheid. Voor het dagelijks beheer van wegen rijden schouw wagens rond die op basis van visuele inspecties op zoek gaan naar schades aan het wegdek. Vooral tijdens de winterperiode detecteren zij meer schadebeelden vanwege mogelijke vorst. Vorstschade kan snel ontwikkelen en tot gevaarlijke situaties leiden of tot ernstigere schadebeelden. Om deze reden heeft RWS sinds vorig jaar een systeem geïmplementeerd bij de wegininspecteurs wat hun in staat stelt om tijdens de inspectieritten vorstschade onmiddellijk te registreren. Doordat de informatie hierdoor direct beschikbaar is, kunnen maatregelen onmiddellijk gepland worden. Ze blijven echter afhankelijk van het detecterend vermogen van de schouwers en het moment waarop de schade wordt geregistreerd. Deze implementatie wijst op het belang wat RWS hecht aan een snelle responstijd.

Als men in staat is om de smartphonedata van het wegverkeer beschikbaar te maken, kan *RoADS* worden gebruikt om de wegen continue te monitoren. Als er plotselinge veranderingen optreden in de verzamelde data kan dit wijzen op voortschade. Op basis van deze informatie zouden al maatregelen gepland kunnen worden, of de schouw wagens gerichter op pad kunnen worden gestuurd wat de responstijd zou kunnen verkorten.

6.2.3 MONITOREN VAN WEGENNETWERK IN ONTWIKKELINGSLANDEN

Nederland heeft zijn wegenrealaal goed op orde, maar er zijn landen in de wereld waar de kwaliteit van het wegenrealaal ondermaats is. Het is echter van groot belang dat deze landen hun areaal op orde krijgen aangezien wegen een cruciale factor vormen voor economische en sociale ontwikkeling. De landen kampen naast financiële tekorten ook met een ontoereikend managementsysteem. Zo is voor sommige landen de conditie van de wegen in grote maten onbekend. De smartphones bieden een relatief eenvoudig en goedkope oplossing om hier invulling aan te geven. Door op deze manier de conditie van de wegen in kaart te brengen krijgen wegbeheerders handvaten op basis waarvan ze gegronder beslissingen kunnen maken. Dat de nauwkeurigheid niet voldoet aan de criteria die RWS is in dit geval minder relevant, omdat er nu in ieder geval informatie is over de conditie van de weg waar dat er voorheen niet was.

6.2.4 ANALYSEREN VAN DEGRADATIE

Een laatste toepassing heeft betrekking op het onderzoeken van de degradatie van wegen met betrekking tot langsonvlakheid. Momenteel wordt de langsonvlakheid van een weg één keer per jaar gemeten. Dit betekent dat er geen kennis is van hoe de langsonvlakheid toeneemt tussen de twee meetpunten. Door bijvoorbeeld de schouw wagens van RWS uit te rusten met smartphones kan de langsonvlakheid frequenter gemeten worden door het jaar heen. Vervolgens kan deze data gebruikt worden om het degradatieproces van langsonvlakheid beter te analyseren.

6.3 CONCLUSIE HOOFDSTUK 6

Door middel van een brainstorm, gehouden met vijf Asset Managers, werkzaam bij de Asset Management adviesgroep van Arcadis, zijn mogelijke toepassingsgebieden verzonnen voor de smartphonetoepassing. De toepassingsgebieden die hieruit zijn voort gekomen betreffen de volgende:

- Monitoren langsonvlakheid bij nieuwbouwprojecten.
- *RoADS* gebruiken voor het detecteren van gaten voor dagelijks beheer.
- Monitoren van wegennetwerken in ontwikkelingslanden.
- Analyseren degradatieproces langsonvlakheid door middel van meer data.

De genoemde toepassingsgebieden van de experts zijn een goede voedingsbodem voor verder onderzoek. Het meten van de langsonvlakheid door middel van smartphones heeft potentie om een meerwaarde te bieden voor het Asset Management proces. De algehele reactie ten aanzien van het onderzoek was positief. Hoewel de experts niet verwachten dat deze smartphonetoepassing op de korte termijn meerwaarde kan bieden voor Arcadis, zien zij wel een toekomst voor zich waarin slimmer gebruik wordt gemaakt van autodata voor het meten van fysieke eigenschappen van het wegdek. De experts denken wel dat daarvoor de kwaliteit van de data moet toenemen en schadebeelden als rafeling en scheurvorming ook gedetecteerd moeten kunnen worden. Zij zien voornamelijk mogelijkheden voor aannemers. Met de opkomst van DBFM- en prestatiecontracten verschuift de verantwoordelijkheid voor het onderhoud namelijk naar de aannemer. Het algemene beeld wat door de experts werd geschetst is dat auto- en smartphonedata in de toekomst gebruikt kan worden voor het beter (continue) monitoren en efficiënter programmeren van het verhardingsonderhoud. De Asset Management adviesgroep is dan ook van plan om verder onderzoek te verrichten.

7

Conclusies, Discussie en Aanbevelingen

7.1 CONCLUSIES

De doelstelling van dit onderzoek is om te bepalen in hoeverre smartphones in staat zijn om de langsonvlakheid te meten en of ze bestaande methodes voor het meten van de langsonvlakheid kunnen vervangen gezien het gebruik van Rijkswaterstaat, of een andere meerwaarde voor het Asset Management proces kunnen vormen.

Langsonvlakheid is de variatie in de oppervlaktehoogte van een weg die zorgt voor vibraties in de voertuigen die daar over heen rijden. Langsonvlakheid wordt voornamelijk veroorzaakt door de restzetting van de onderliggende grond en kan leiden tot verhoogde gebruikerskosten en onveilige situaties. Rijkswaterstaat beoordeelt de mate van langsonvlakheid op een weg door middel van de Half-car Roughness Index. De HRI is de optelsom van de veerbeweging die het carrosserie van een auto ondervindt over een bepaald wegsegment, gedeeld door de afstand van dat segment. De HRI wordt softwarematig gesimuleerd over het gemiddelde langsprofiel van een weg met het zogeheten kwartauto-model. Voor het meten van het langsprofiel en het berekenen van de HRI maakt RWS gebruik van de ARAN.

RWS gebruikt de HRI samen met vier andere parameters voor het opstellen van hun MJPV. In dit plan staat het verwachte onderhoud en de kosten die daarmee gepaard gaan omschreven voor de komende vijf jaar. De eisen die RWS stelt aan de HRI hebben betrekking op de plaatsbepaling en de kwaliteit van de meting. Deze zijn op te delen in de volgende drie criteria:

1. De plaatsbepaling van de HRI moet in de breedterichting dusdanig nauwkeurig zijn dat met 95% zekerheid geïdentificeerd kan worden over welke rijstrook de data is verzameld.
2. De plaatsbepaling in de lengterichting moet met een maximale standaarddeviatie van 5m worden bepaald en per 100 meter.
3. De gemiddelde HRI moet in 100 meter segmenten worden aangeleverd met een maximale standaarddeviatie van 0,1m/km.

De smartphones zijn getest op deze criteria door smartphonedata en ARAN-data te vergelijken. Hiervoor is ARAN-data beschikbaar gesteld door RWS en is smartphonedata verzameld door middel van een proefrit. Hierbij is gebruik gemaakt van de smartphones *OnePlus One* en de *Samsung Galaxy S4 Mini* en de auto waarmee is gereden betrof een BMW 320i (Type E60).

Voordat de smartphonedata kon worden gebruikt voor verdere analyses is deze verwerkt. Deze verwerking is uitgevoerd door F. Seraj van de Pervasive Group aan de Universiteit Twente. Seraj heeft gebruik gemaakt van het door hem ontwikkelde *RoADS*. De output van de verwerking betrof secties met begin- en eindcoördinaten met daarbij één van de drie klassen ter indicatie van de ernst van de langsonvlakheid over die sectie.

De hoogste zekerheid waarmee de verzamelde smartphonedata aan een rijstrook kan worden toegekend bedraagt voor de *OnePlus One* 83,33% en voor de *S4 Mini* 91,01%. Aangezien het eerste criterium een zekerheid van 95% eist, voldoen de smartphones hier niet aan. De plaatsbepaling in de

lengterichting vindt plaats met een standaarddeviatie van 2,33m voor de *OnePlus One* en 1,62m voor de *S4 Mini*. Hiermee voldoen ze aan de maximale standaarddeviatie van 5m die het tweede criterium voor schrijft. Tot slot is beoordeeld hoe goed de smartphones in staat zijn om de HRI-waarden over een stuk weg van 100 meter te voorspellen. De voorspellingen op basis van Klasse 1 hebben een standaarddeviatie van 0,2362m/km en die op basis van Klasse 3 een van 0,2638m/km. In beide gevallen wordt dus niet voldaan aan de gestelde eis van 0,1m/km.

Er kan dus geconcludeerd worden dat de smartphones niet voldoen aan het gebruik van RWS voor het meten van de langsonvlakheid en daarmee ook niet in staat zijn om de ARAN te vervangen. Om andere toepassingsgebieden binnen het Asset Management proces te identificeren waar deze toepassing wel meerwaarde kan bieden heeft een brainstorm plaats gevonden met Asset Management Experts van Arcadis. De toepassingsgebieden die hieruit zijn voort gekomen betreffen de volgende:

- Monitoren langsonvlakheid bij nieuwbouwprojecten.
- *RoADS* gebruiken voor het detecteren van gaten voor dagelijks beheer.
- Monitoren van wegennetwerken in ontwikkelingslanden.
- Analyseren degradatieproces langsonvlakheid door middel van meer data.

Of de smartphonetoepassing ook echt meerwaarde kan bieden voor deze toepassingsgebieden kan niet beoordeeld worden op basis van de resultaten van dit onderzoek en het oordeel van de experts, maar behoeft verder onderzoek.

7.2 DISCUSSIE

In deze paragraaf worden een aantal kanttekeningen gezet bij de resultaten en de gebruikte methodes van dit onderzoek.

7.2.1 CRITERIA RWS

De smartphones zijn getoetst aan een aantal criteria. Deze criteria zijn opgesteld op basis van het gebruik van RWS en hebben betrekking tot de nauwkeurigheid van de HRI-waarden en het plaats bepalend vermogen van de smartphones. Als een ander referentiekader wordt gebruikt is het mogelijk dat andere criteria worden opgesteld.

Twee van de drie criteria die zijn opgesteld kwamen rechtstreeks van RWS. Het derde criterium, de 95% zekerheid waarmee een smartphonemeting aan een rijstrook moet kunnen worden toegekend, is door de onderzoeker zelf opgesteld op basis van hun gebruik: RWS meet namelijk alleen de rechterrijstrook voor hun onderhoudsprogrammering. Deze nauwkeurigheid wordt niet door de gebruikte smartphones behaald. Er is echter niet verder onderzocht in hoeverre een lagere nauwkeurigheid ook voldoende is.

7.2.2 SMARTPHONEDATA VERZAMELEN

Voor het verzamelen van de smartphonedata is een proefrit gereden waarbij gebruik is gemaakt van twee verschillende smartphones en één auto. De karakteristieken van deze gebruikte materialen kan invloed hebben op de gevonden resultaten. Zo hebben de veercharacteristieken van de auto indirect invloed op de verticale versnellingen die de smartphones registreren. De gevoeligheid en de frequentie van de sensoren van de smartphones hebben weer een invloed op de geregistreeerde data. Dit betekent dat met andere apparatuur andere resultaten kunnen worden bereikt. Dit is een punt waarmee tijdens

het onderzoek geen rekening is gehouden, maar wat voor verdere ontwikkeling van de voorgestelde toepassing wel een belangrijke kanttekening is. Zeker als er data wordt verzameld van het grote publiek waarbij onbekend is met welke auto's word gereden, en welke telefoons worden gebruikt.

Verder is tijdens de proefrit getracht om constant in het midden van de weg te rijden aangezien de bestuurder van een ARAN ook geacht wordt dit te doen. Het is echter lastig, zowel voor ons als voor de ARAN-bestuurders, om constant in het midden van de weg te rijden. Het feit dat het rijspoor tijdens de proefrit en dat van de ARAN kunnen verschillen heeft een invloed op de uiteindelijke resultaten.

Tot slot kan het verschil in tijd tussen de meting van de data van RWS en de proefrit, namelijk een periode van 6 maanden, de resultaten beïnvloeden.

7.2.3 SMARTPHONEDATA VERWERKEN

Voor het verwerken van de smartphonedata is er gebruik gemaakt van *RoADS*. Dit systeem verwerkt de smartphonesignalen en classificeert ze op basis van een trainingsdataset in drie verschillende klassen. *RoADS* is echter ontworpen voor het detecteren van verschillende schadebeelden en niet op het meten van de langsonvlakheid specifiek. Daarom zijn de oorspronkelijke klassen van *RoADS* aan alternatieve klassen toegewezen die beter in lijn liggen met de fysieke eigenschappen van langsonvlakheid. Het gebruik van *RoADS* heeft een grote invloed op de uiteindelijke resultaten.

7.2.4 SMARTPHONEDATA ANALYSEREN

De verwerkte smartphonedata is geanalyseerd op basis van de opgestelde criteria. Voor het beoordelen van de criteria met betrekking tot de plaatsbepaling is de nauwkeurigheid van de smartphones bepaald. Hiervoor is de afstand bepaald van de smartphone-coördinaten tot bepaalde referentiepunten. Deze referentiepunten liggen in lijn met de coördinaten van de ARAN en zo dicht mogelijk bij de smartphone-coördinaten. Deze referentiepunten vormen echter niet de daadwerkelijke locatie waarop de coördinaten zijn gemeten. Deze methode heeft dan ook een invloed op de gevonden verdelingen, waardoor de resultaten positiever uitvallen dan ze in werkelijkheid zijn.

Voor het bepalen van de nauwkeurigheid waarmee de smartphones de HRI-waarden kunnen voorspellen, is het percentage bepaald van de drie verschillende klassen over 100 meter fragmenten. Deze percentages zijn uitsluitend bepaald met behulp van de latitudinale coördinaten omdat de meetpunten redelijk lineair liggen. De meetpunten liggen echter niet volledig op één lijn waardoor de daadwerkelijk percentages lichtelijk kunnen verschillen. Verder is voor deze analyse aangenomen dat de HRI-waarden van de ARAN correct zijn. De ARAN heeft echter ook een zekere nauwkeurigheid en meet niet de exacte HRI.

7.2.5 ALGEMENE DISCUSSIE

In dit onderzoek is gekeken of smartphones in staat zijn om de langsonvlakheid te meten, conform de eisen van RWS. Dit onderzoek komt voort uit de ambitie van Arcadis om de meerwaarde van *Big Data* ten aanzien van de Asset Management van het wegennetwerk in kaart te brengen. De smartphones zijn echter niet in een *Big Data* context onderzocht. Met de beschikbare data kon slechts de nauwkeurigheid bepaald worden waarmee een individuele smartphone de langsonvlakheid kan bepalen. De nauwkeurigheid die duizenden telefoons te samen kunnen bereiken is niet onderzocht.

Als de smartphones in staat zijn om aan alle criteria te voldoen voor het meten van de langsonvlakheid, kan men zich afvragen in hoeverre het relevant is om de ARAN te vervangen. Voor het opstellen van het MJPV is namelijk ook informatie over andere schadebeelden nodig die de ARAN wel kan aanleveren, zoals spoorvorming, scheurvorming en rafeling. Op basis van de resultaten van dit onderzoek verwacht ik niet dat smartphones in de nabije toekomst in staat zijn om deze schadebeelden te detecteren. Spoorvorming is namelijk een schadebeeld wat in de dwarsrichting van de weg optreedt en heeft daardoor weinig invloed op de verticale beweging van voertuigen die er overheen rijden. Ondanks dat scheurvorming en rafeling ernstige schadebeelden zijn, zorgen ze voor weinig deformatie aan het wegdek en dus voor weinig verticale bewegingen van auto's. Wellicht dat autodata hier meer perspectief biedt.

Hoewel niet besproken in dit verslag, is er tijdens het onderzoek ook getracht autodata te verzamelen en te analyseren. Met behulp van de Fontys Hogeschool is er autodata verzameld, maar door een ontbrekend GPS-signaal was deze data onbruikbaar. Het viel echter op dat de kwaliteit van de data veel beter is dan die van de smartphones. Daarnaast is deze data ook specifiekere dan die van smartphones. Zo kan er bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt in de veerbeweging die de linker- en rechterkant van het voertuig ondergaan.

Voor het meten van de HRI is dit onderscheid niet nodig, aangezien de HRI de veerbeweging van het volledige voertuig representeert. RWS gebruikt de HRI alleen intern en maakt gebruik van de IRI voor aansturing van aannemers. Bij de interviews met RWS kwam echter naar voren dat ze overwegen om de IRI ook intern te gaan gebruiken.

Een ander punt om rekening mee te houden is de beschikbaarheid van data. Smartphonedata kan onttrokken worden met behulp van applicaties, maar brengt issues omtrent privacy met zich mee. Daarnaast moeten de applicaties op voldoende telefoons geïnstalleerd zijn om genoeg data te verzamelen voor het gewenste gebruik. Voor autodata gelden dezelfde issues, maar daar komt bij dat autodata op dit moment minder gemakkelijk onttrokken kan worden. Momenteel moet dit met behulp van speciale apparatuur, maar wellicht biedt internet in de toekomst een mogelijk ingang. Sommige nieuwere automodellen beschikken al over internet, maar met de komst van eCall moeten alle nieuwe modellen vanaf mei 2018 met een simkaart zijn uitgerust. In april 2015 heeft het Europees Parlement namelijk goedkeuring gegeven aan eCall, een systeem wat de veiligheidsdiensten automatisch informeert bij een ernstig auto-ongeluk.

7.3 AANBEVELINGEN

Op basis van het onderzoek kunnen een aantal aanbevelingen worden gedaan die in deze paragraaf staan uiteengezet.

7.3.1 ALGEMENE AANBEVELINGEN

Er kunnen een aantal aanbevelingen worden gedaan om de toepassing voorgesteld in dit onderzoek te verbeteren. Echter wordt eerst aanbevolen om te onderzoeken in hoeverre het relevant is om de toepassing verder te ontwikkelen. Zo kan de toegevoegde waarde voor de toepassingsgebieden die tijdens de brainstorm zijn geïdentificeerd verder uitgezocht worden. Daarbij wordt aangeraden om voor iedere toepassing nieuwe criteria op te stellen. Daarnaast kan onderzocht worden of smartphones ook in staat zijn om andere schadebeelden te detecteren.

In het geval verdere ontwikkeling niet relevant is, omdat bijvoorbeeld de kwaliteit onvoldoende is of smartphones niet in staat zijn om de juiste schadebeelden te identificeren, wordt aangeraden om de focus te verleggen op autodata. Deze laat meer potentie zien voor het herkennen van andere schadebeelden en heeft bovendien een hogere kwaliteit. Als verdere ontwikkeling wel relevant is, kunnen onderstaande aanbevelingen worden gedaan.

7.3.2 VERDERE ONTWIKKELING

Voor het verzamelen van de smartphonedata is gebruik gemaakt van twee verschillende soorten smartphones en één auto. Het is mogelijk dat andere telefoons en auto's andere resultaten opleveren. Hier dient rekening mee gehouden te worden als de toepassing wordt doorgevoerd en andere apparatuur wordt gebruikt. In dat geval wordt aanbevolen om het effect hiervan op de resultaten verder te onderzoeken.

RoADS classificeert de signalen op basis van een trainingsdataset. Deze dataset is gericht op het herkennen van bepaalde schadebeelden en is niet specifiek gericht op de langsonvlakheid. Om *RoADS* voor het meten van de langsonvlakheid te verbeteren wordt aanbevolen om een nieuwe trainingsdataset te creëren. Een goede methode hiervoor zou zijn door een ARAN uit te rusten met smartphones en de verzamelde smartphonedata te classificeren op basis van de ARAN-data.

Zoals in de discussie aangehaald, heeft dit onderzoek niet in een *Big Data* context plaats gevonden: de datasets waren daarvoor te beperkt. Aangezien Arcadis benieuwd is naar de meerwaarde van *Big Data* voor het Asset Management proces wordt aanbevolen om te onderzoeken of de smartphones de langsonvlakheid beter kunnen voorspellen in een *Big Data* context. Op basis van de gevonden verdelingen van de voorspellingsfuncties, verwacht ik dat de HRI-waarden dan een stuk nauwkeuriger benaderd kunnen worden.

Hiervoor zou onderzocht kunnen worden hoeveel metingen er minimaal nodig zijn om een voorspelling te kunnen doen van voldoende kwaliteit. Het feit dat er geen onderscheid kan worden gemaakt in rijstrook hoeft geen probleem te zijn. Als de HRI-waarden van de rijstroken dermate verschillend zijn, kan wellicht onderscheid gemaakt worden op basis van de afwijkingen in de metingen. Als een *Big Data* context inderdaad meer perspectief biedt, moet er uiteraard ook meer onderzoek gebeuren naar de implementatie.

Tot slot wordt aanbevolen om de technologische ontwikkeling van smartphones in de gaten te houden en daarbij specifiek te letten op de GPS en versnellingsopnemer. De technologieën in smartphones worden steeds beter, waardoor deze wellicht in de toekomst wel met de juiste nauwkeurigheid de metingen kunnen verrichten.

7.3.3 AANBEVELING ARCADIS

Gezien de corebusiness van Arcadis wordt hen aanbevolen om als verbindende factor te spelen in het vervolg onderzoek. Arcadis heeft zelf niet de directe middelen om auto- of smartphonedata te verzamelen en te verwerken. Zij hebben echter wel kennis over de belangen en bekwaamheden van de verschillende partijen binnen het Asset Management proces van het Nederlandse wegennetwerk. Met deze kennis en hun vooruitstrevende blik moeten zij een leidende rol nemen in het vervolg onderzoek.

8

Bibliografie

- Alessandrini, G., Klopstein, L., Delpriori, S., Dromedari, M., Luchetti, G., Paolini, B., . . . Bogliolo, A. (2014). SmartRoadSense: Collaborative Road Surface Condition Monitoring. *Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM 2014)* (pp. 210-215). Rome: Curran Associates.
- Baarda, D., de Goede, M., & Teunissen, J. (2009). *Basisboek Kwalitatief Onderzoek*. Groningen: Noordhoff Uitgevers.
- Benbow, E., Wright, A., Wright, D., & Leif, S. (2008). *Deliverable 3.1: Demonstration of Methods for the Measurement of Condition using Probe Vehicles*. EU Project no. ST4-CT-2005-012344: INTRO.
- BSI & AIM. (2008). *PAS 55-1: Asset Management - Specification for the optimized management of physical assets*. London: British Standards Institution.
- Buttlar, W., & Islam, S. (2014). *Integration of Smart-Phone-Based Pavement Roughness Data Collection Tool with Asset Management System*. Illinois: Nexttrans.
- CROW. (2005). *Kennismodule Grondwerk en funderingen*. Ede: CROW.
- CROW. (2011). *Wegbeheer*. Ede: CROW.
- Dawkins, J., Bishop, R., Powel, B., & Bevely, D. (2011). *Investigation of Pavement Maintenance Applications of Intellidrive (Final Report): Implementation and Deployment Factors for Vehicle Probe-Based Pavement Maintenance*. Auburn: Auburn University.
- Edwards. (2015, augustus 11). *The iPhone 6 Had Better Be Amazing And Cheap, Because Apple Is Losing The War To Android*. Opgehaald van Bussines Insider: <http://www.businessinsider.com/iphone-v-android-market-share-2014-5?IR=T>
- Falls, L., Haas, R., McNeill, S., & Tighe, S. (2001). Asset Management and Pavement Management: Using Common Elements to Maximize Overall Benefits. *Transportation Research Record*, 1-10.
- Forsl f, L., & Jones, H. (2015). Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 485-496.
- Gillespie, T., Sayers, M., & Segel, L. (1980). *Calibration of response-type road roughness measuring systems*. Michigan: NCHRP.
- Hunt, P., & Bunker, J. (2003). A Study of Site Specific Roughness Progression for a Bitumen Sealed Unbound Granular Pavement Network. *Transportation Research Record*, 273-281.
- Hunt, P., & Bunker, J. (2004). *Roughness Deterioration of Bitumen Sealed Pavements*. Queensland: Queensland University of Technology.
- Klunder, G., van Aalst, W., Willemsen, D., van Vliet, D., Leegwater, G., & Ruijs, P. (2010). *Auto als Sensor – Quick-scan naar detectiemogelijkheden van wegdekschade*. Delft: TNO.
- Kropac, O., & Mucka, P. (2005). Be careful when using the International Roughness Index. *Journal of Sound and Vibration*, 989–1003.
- Kulkarni, A., Mhalgi, N., Gurnani, S., & Giri, N. (2014). Pothole Detection System using Machine Learning on Android. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 360-364.
- Mednis, A., Strazdins, G., Zviedris, R., Kanonirs, G., & Selavo, L. (2011). Real Time Pothole Detection using Android Smartphones with Accelerometers. *Proc. of the 2nd International Workshop on Mobility in Wireless Sensor Networks (MobiSensor 2011)* (pp. 1-6). Barcelona: IEEE Xplore.
- Moon, F., Aktan, A., Furuta, H., & Dogaki, M. (2009). Governing issues and alternate resolutions for a highway transportation agency's transition to asset management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 25-39.

- Nederlands Normalisatie Instituut. (2009). *NTA 8120: Assetmanagement: Eisen veiligheids-, kwaliteits- en capaciteitsmanagementsysteem voor het elektriciteits- en gasnetbeheer*. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2014). *NEN-ISO 55000: Assetmanagement - Overzicht, principes en terminologie*. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.
- Office of Asset Management. (2002). *Life-Cycle Cost Analysis Primer*. Washington: US Department of Transportation.
- Rijkswaterstaat. (2014). *Protocol Langsvlakheid*. Delft: Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud.
- Rino, C. (2015, november 8). *GPS Coordinate Transformations*. Opgehaald van Matlab Central: http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/28813-gps-coordinate-transformations/content/GPS_CoordinateXforms/wgs2utm.m
- RPUG. (2015, oktober 6). *History*. Opgehaald van RPUG-Road Profile Users' Group: <http://www.rpug.org/history/>
- Sayers, M., & Karamihas, S. (1996). *Interpretation of Road Roughness Profile Data*. Michigan: University of Michigan Transportation Research Institute.
- Sayers, M., & Karamihas, S. (1998). *The Little Book of Profiling*. Michigan: University of Michigan.
- Sayers, M., Gillespie, T., & Queiroz, C. (1986). *Technical Paper 45: The International Roughness Experiment: Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements*. Washington: The World Bank.
- Sayers, M., Gillespie, T., & Paterson, W. (1986). *Technical Paper 46: Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness*. Washington: The World Bank.
- Schraven, D., Hartmann, A., & Dewulf, G. (2011). Effectiveness of infrastructure asset management: challenges for public agencies. *Built Environment Project and Asset Management*, 61-74.
- Seraj, F., van der Zwaag, B., Dilo, A., Luarasi, T., & Havinga, P. (2014). RoADS: A road pavement monitoring system for anomaly detection using smart phones. *1st International Workshop on Machine Learning for Urban Sensor Data, SenseML 2014* (pp. 1-16). Nancy: Springer.
- Souza, R., Neto, S., & Farias, M. (2004). Statistical analysis between roughness indices and roughness Prediction model using neural networks. *Papers From the 2003–2004 International Contest on Long-Term Pavement Performance Data Analysis*, 1-19.
- Too, E. (2010). A Framework for Strategic Infrastructure Asset Management. *Engineering Asset Management Review*, 31-62.
- Uddin, W., Hudson, W., & Haas, R. (2013). *Public Infrastructure Asset Management*. New York: MC Graw Hill Education.
- Vanherpen, K. (2013). *Voertuigssensoren in functie van wegdekbeheer*. Antwerpen: Karel de Grote Hogeschool.
- Vlaams Instituut voor Mobiliteit. (2014). *SENSOVO*. Diepenbeek: Vlaams Instituut voor Mobiliteit.
- Woodhouse, J. (2006). Putting the total jigsaw puzzle together: PAS 55 standard for the integrated, optimized management of assets. *IMC-2006 the 21st international maintenance conference 2006* (pp. 1-10). Daytona Beach: The Woodhouse Partnership Ltd .

9

Bijlagen

Annex I	Transcriptie Interview Expert A	44
Annex II	Transcriptie Interview Expert B	45
Annex III	Methodiek voor bepalen afwijking in de breedterichting	51
Annex IV	Bepalen percentages van klassen over 100m-secties.....	55
Annex V	Reden voor analyse zonder 0% en 100% datapunten	56
Annex VI	Nauwkeurigheid smartphones buiten bereik voorspellingsfuncties.....	57

Annex I

Transcriptie Interview Expert A

ID	Transcriptie
A1	Op hoofdlijnen kan er onderscheid gemaakt worden tussen meerjarige verhardingsprogrammering en het dagelijks verhardingsbeheer. Voor de eerste worden jaarlijks ingewonnen: vlakheid per 100 meter (IRI en gemiddelde rijspoordiepte), gemiddelde stroefheid per 100 meter en oppervlakteschade per 100 meter. Aan rijspoordiepte en stroefheid zijn zogenaamde harde normwaarden verbonden i.v.m. veiligheid; bij overschrijden volgen direct maatregelen. Voor de langsvlakheid en oppervlakteschade gelden grenswaarden ontleend aan comfort en integriteit van de verharding. Modelmatig worden jaarlijks voor de komende 5 jaar op basis van deze info de budgetten voor het verhardingsonderhoud geprogrammeerd. Voor langsvlakheid geldt een IRI interventiewaarde van 3,5 m/km per 100 metervak. Vereiste nauwkeurigheid is een standaarddeviatie van 0,1 m/km per 100 metervak. Voor het dagelijks verhardingsbeheer wordt vooral gereageerd op (melding van) incidenten en inspecties door de beheerder. Hier zou de beschikbaarheid van voertuiginformatie met een hogere frequentie in de toekomst van belang kunnen zijn. In relatie tot (langs)onvlakheid speelt hier vooral het ontstaan van plotselinge rafelingschade (bijvoorbeeld gaten in het wegdek als gevolg van vorstschade). Met name hier zou analyse van “<i>Big Data</i>” toepassing kunnen vinden in de vorm van canbus data (verticale versnellingen maar mogelijk ook stuur- en remsignalen) van passerende voertuigen gekoppeld aan GPS.
A2	In de SLA met bijlage staan interne RWS afspraken over levering van gegevens en onderhoud van de programmatuur die in de verhardingsprogrammering van belang zijn. Ook kent dit document een financiële paragraaf voor intern gebruik. Het mag duidelijk zijn dat dit document niet volledig aan externen beschikbaar gesteld kan worden. In de bijlage DAP (Dossier Afspraken en Processen) worden per parameter de eisen gespecificeerd. Voor langsonvlakheid heb ik de betreffende passage bijgevoegd, hoewel ik betwijfel of deze informatie voor jou relevant is.
A3	Plaatsbepaling stellen we dat per 100 metervak de fout in langsricting maximaal 10 meter mag bedragen, dit is een 95% interval. Dit komt neer op een standaarddeviatie van ongeveer 5 meter in de plaatsbepaling. Wat betreft jouw opmerking over relatie HRI-IRI (EDIT: over het nivelleren van de langsonvlakheid door het gemiddelde profiel van het linker en rechter rijwielspoor te nemen): die is juist. Onderzoek aan diverse wegen heeft opgeleverd dat de ratio HRI/IRI ongeveer 0,89 bedraagt. Fysisch kun je dit beredeneren als je bedenkt dat de HRI feitelijk correspondeert met de verticale beweging van het midden van de starre voertuigachteras en de IRI gemeten wordt ter hoogte van één van de uiteinden van de as. Er wordt ook wel gesproken van Half-car model (HRI) en Quarter car model (IRI).
A4	Dat is een terechte vraag. Ik heb steeds gesproken over de normen die wij intern hanteren voor de MJPV, feitelijk HRI-waarden. In contracten met aannemers wordt gestuurd op IRI-waarden (voor onderhoud), omdat dat internationaal meer gebruikelijk is. Wij overwegen om ook intern met de IRI te gaan werken. Bij nieuw aangelegde verhardingen wordt overigens niet gestuurd op IRI-waarden, maar Viagraaf parameters (RAW proef 71).

Annex II

Transcriptie Interview Expert B

ID	Transcriptie
B1	Expert B: Ik ben Expert B, werk bij Rijkswaterstaat, bij GPO afdeling ICO, Instandhouding Constructies en onderhoud, en ik bemoei me al 25 jaar met verhardingen. Ik heb heel lang in de meerjarenplannen van het verhardingsonderhoud gezeten en daar gebruiken we ook de IRI-waarden voor de langsonvlakheid. Wij laten jaarlijks met de ARAN, kan natuurlijk in principe met elk meetvoertuig, heel Nederland meten het hele wegennet. En al die meetgegevens gaan per district in bestanden en we meten langsonvlakheid, dwarsonvlakheid, stroefheid, scheurvorming en rafeling. Die 5 parameters gaan in het systeem IVON. Het systeem berekent daarvan de interventiejaren op basis van groei van schade doordat dat systeem met maximaal 3 verschillende generaties meetgegevens rekent. En berekent dan op een vrij eenvoudige wijze het interventiejaar, he, dus het jaar waarop de norm zal worden bereikt. En dan weet je dus wanneer je onderhoud moet doen. Doet die voor die 5 schadekenmerken en door een slim systeem van vakvorming in de lengte en breedterichting maakt het systeem daar projecten van en door alle schadekenmerken te combineren, weet het systeem daar ook nog onderhoudsmaatregelen, globale onderhoudsmaatregelen, aan te plakken, op basis waarvan wij de kosten berekenen, want uiteindelijk gaat het natuurlijk om wat krijgen we voor een kosten de komende jaren. Er gebeurt volgens mij heel veel op het ogenblik op het gebied van de 'Auto als Sensor'. We hebben zelf al een keer wat laten uitzoeken. Volgens mij heette dat ook de auto als sensor. Er is een recent onderzoek uit België van het VIM. Dat ken je?
	ONDERZOEKER: Ja, Sensovo. Die focust zich dus onder andere op dat meten van die gaten, detecteren van gaten.
B2	EXPERT B: Ja, precies. Er zijn nog meer dingen. Ik zag een app uit de Verenigde Staten: Street Bump. Die werkt dus zo dat je je telefoon in de auto hebt en de bedoeling is dan dat je dat doorgeeft aan de, dit kwam uit de gemeente Boston, dat je het doorgeeft aan de gemeente Boston. Als ze zoveel meldingen krijgen over een gat in de weg dan gaat er iemand heen en die gaat er wat aan doen. Dat is natuurlijk een andere schaal, dat is een beetje een dagelijks beheer schaal. En de MJPV, Meer Jarig Planning voor het Verhardingsonderhoud, dat is Netwerkniveau. Daar gebruiken we die jaarlijkse metingen voor. Die auto rijdt 1 keer per jaar rond. En die ARAN die meet langs en dwarsvlakheid, voor stroefheid rijdt er een aparte auto rondt (Vertraagde Wielmethode), en voor rafeling en scheurvorming zitten we met nog weer een andere auto, de LCMS, Lazer Crack Measurement System, en voor een deel gaat het nog met de hand. Dus dat betekent visuele inspecties en op basis van je inspectieresultaten direct inschatten wat het interventiejaar moet zijn voor rafeling en scheurvorming. Dat wordt onderhand te gevaarlijk, dat is te duur, dat is niet objectief en is tijdrovend. Bovendien mogen we niet overal komen, voor de visuele inspecties. Dus daar zijn we langzaam van het afstappen en die LCMS wordt steeds belangrijker voor ons. En die is snel want die meet gewoon met 120 km/h en die is objectief en super herhaalbaar, want als je hem twee keer hetzelfde stuk laat meten komt die ook inderdaad met gewoon twee keer het zelfde resultaat. Nou, dat is nog eens een meetinstrument, he?
	ONDERZOEKER: Ja, ja.
B3	EXPERT B: IRI. IRI gebruiken wij voor Netwerkniveau, dus alle metingen gaan erin en we hebben een normwaarde van 3,5. Als die 3,5 in beeld komt zeggen we onderhoud, onderhoud voor langsonvlakheid. Euhm, er is nog wel iets voor IRI. De IRI die wij gebruiken is de gemiddelde waarde voor 100 meter.
	ONDERZOEKER: Per 100 meter...
B4	EXPERT B: Ja, ja. Maar soms, als er een kleine losse bobbel in de weg zit, dan kan die heel hinderlijk zijn, maar als de rest erg vlak is dan middelt die bobbel gewoon uit. Dus ik ben zelf bezig met het onderzoek, of

	wij behoefte hebben aan IRI 20-waarden, en als we daar inderdaad behoefte aan hebben, hoe hoog die dan zou moeten zijn. Ik laat daarvoor een app bouwen, die app lijkt heel veel op dat streetbump wat ik net zei, dat is toeval. Ik ga aan zogenaamde crowdsourcing doen. Ik ga van de automobilisten vragen: wat vind je nou hinderlijk, welke bobbel vind je hinderlijk? En de app registreert dan waar die is en de telefoon registreert hoe heftig die is. En de bestuurder moet dan op een schaal van 1-5 aangeven, zo heftig vond ik het. Als we genoeg data hebben dan kunnen we daar iets mee, dan kunnen we uiteindelijk zeggen nou we hebben inderdaad behoefte aan een IRI 20-norm, en ik praat nog steeds op netwerkniveau, he? Als we dus inderdaad behoefte aan die norm hebben, dan zou je die ook in het MJPV kunnen opnemen.
	ONDERZOEKER: Een, sorry een?
B5	EXPERT B: In die Meer Jaren Planning voor het Verhardingsonderhoud, nog steeds netwerkniveau. En of we dat dan ook nog op projectniveau, dus meer lokaal gericht op het dagelijks beheer gericht, nodig hebben, dat kan ik nu nog niet zeggen, eerlijk gezegd. Ik weet het gewoon nog niet. Het punt van het door heel veel auto's laten verzamelen van data van meetgegevens is dat je een constante stroom van meetgegevens hebt. Voor het Netwerkniveau vraag ik me af of dat dat handig is. We krijgen een bulk metingen, die krijgen we per district, daar wordt per district een onderhoudsplanung voor gemaakt. En die meetgegevens krijgen we op een moment, en het systeem berekent op basis van de datum van de meting en die rekent dan vooruit wat het interventiejaar gaat zijn. Ik denk niet dat het systeem gebaat is bij meetgegevens van 365 dagen als we eens per jaar gegevens willen. Ik denk dat dat erg ingewikkeld is. Ik denk dat voor het dagelijks beheer, dus eigenlijk zoals we dat nu gedaan hebben ligt dat bij de aannemer, die zorgt ervoor dat de weg open kan zijn en goed bereikbaar is en dat er geen gaten in zitten enzovoort. En als die gaten er zitten dan gaat hij erheen en zorgt die dat het gemaakt wordt, als er iets op de weg ligt zorgt die dat het weggehaald wordt. En bij incidenten kan hij direct daar heen. Ik denk dat je voor het dagelijks beheer, dus het vaste onderhoud, heel goed uit de voeten kan met dit soort dingen. In principe, als je genoeg data binnen krijgt, zou je misschien zelf helemaal niet meer te hoeven schouwen als wegbeheerder. Als je genoeg data binnen krijgt. Maar goed, dan praat ik niet alleen over de IRI, maar dat gaat eigenlijk over alles natuurlijk.
	ONDERZOEKER: Ja, ik voel wat je bedoelt. Dus je hebt geen nood aan 365 dagen aan IRI-waarden die binnen komen stromen. Wat ik heb begrepen is het een dure bezigheid om die IRI te meten, omdat het gewoon een duur apparaat is wat je laat rondrijden. Dus het zou misschien wel een goedkoper alternatief kunnen zijn voor wat er nu wordt gebruikt. En ik snap jullie werken met een bepaald systeem, dus een bepaald proces wat jullie volgen...
B6	EXPERT B: voor het beheer op Netwerk niveau, ja.
	ONDERZOEKER: Ja. En ik ben eigenlijk benieuwd in hoeverre zou zo een systeem in dat proces kunnen passen. Dan praat ik over kwaliteit en momenten waarop je die data nodig hebt. Want ik denk inderdaad, dat is mijn visie er ook op, die International Roughness Index, dat is niet iets wat je elke dag hoeft te weten. Dat degradeert niet zo snel.
B7	EXPERT B: Precies, precies.
	ONDERZOEKER: Dus als je het verhoogt dat je dan twee keer in het jaar in plaats van nu één keer in het jaar dat dat misschien nog profijt heeft, maar elke dag dat hoeft niet, dat snap ik. Maar het zou misschien wel een goedkoper middel kunnen zijn, waarmee je geld bespaard.
B8	EXPERT B: Euh ja, maar tegelijkertijd, we hebben we die auto, maar Rijkswaterstaat is aan het krimpen, krimpen, krimpen: die auto die hebben we dadelijk niet meer. Dus dan hebben we gewoon nog specs en dan vragen we een meetbedrijf. Als wij zo een auto kopen, die kost anderhalf miljoen, daar rijden we dan 10 jaar mee en dan is die zo een beetje op, omdat die te veel gereden heeft en ook omdat die verouderd is. Wij moeten dat eigenlijk niet doen. We moeten wel weten hoe het werkt en zo, dat zou wel een pre zijn, dat zou wel handig zijn. Maar tegelijkertijd hoeven we alleen maar de specs te weten en we hoeven alleen maar te zeggen tegen een meetbedrijf, kijk we willen dit gemeten hebben, we willen die datameetgegevens hebben en die mogen maximaal zo oud zijn.

	Dat is natuurlijk ook nog wat he, als ik met te oude meetgegevens moet rekenen... ik heb ze liefst zo vers mogelijk eigenlijk.
	ONDERZOEKER: ja tuurlijk, ja.
B9	EXPERT B: Dus of het handig is om met massa meetgegevens te werken... hoe zie je dat voor je?
	ONDERZOEKER: Ik zie het niet voor me als massa's meetgegevens. Ik zie het meer voor me als een 1-op-1 vervanger. Dus niet dat allemaal particulieren data gaan vrijgeven ofzo, maar dat je gewoon een aantal mensen hebt bij RWS die één keer in de zoveel tijd een keer op die knop drukken en gaan rondrijden en op die manier de gegevens verzamelen. Het is natuurlijk wel <i>Big Data</i> , want er komt heel veel informatie op dat systeem terecht, maar dus niet de hele maatschappij daarbij willen betrekken, maar het gewoon intern houden en die paar ritten laten doen.
B10	EXPERT B: Maar we willen toch juist van het zelf meten af?
	ONDERZOEKER: Ja oké, dan zou je het misschien als nog bij een aantal geselecteerde mensen kunnen plaatsen en desnoods geef je ze daar een vergoeding voor ofzo. Want ik begreep dat zo een ding duizenden euro's kost, en dan heb je het er snel uit gehaald. En als je daarmee een alternatief creëert wat gelijkaardige kwaliteit heeft aan de ARAN, of in ieder geval voldoet aan de eisen die jullie stellen aan die kwaliteit die de data moet hebben, dan is dat mooi bespaard lijkt me zo.
B11	EXPERT B: Ja, ik moet zeggen, ik weet niet precies wat de metingen kosten. Misschien doen we voor anderhalf a twee miljoen metingen per jaar, dat is alles he, inclusief die eigen ARAN. Het punt is denk ik ook een beetje, die LCMS, als je die een beetje uitbereid dan kan die hetzelfde als de ARAN. Die LCMS willen we hebben rondrijden. Als we daar weet ik het, nog 2,5 ton instoppen of zo iets dergelijks dan hebben we heel die ARAN helemaal niet meer nodig. En zo een LCMS is veel goedkoper dan een ARAN. Wij huren nu mensen om dat ding rond te rijden, die rijdt alle stroken, als die dan meteen rijspoordiepte en langsonvlakheid meeneemt, ik weet niet of het dan nog goedkoper is om nog extra data binnen te halen. Misschien wel hoor, wat ik zeg, ik weet niet precies wat het zou kosten. Hoe krijg je je data binnen? Want ik heb geen goede voorstelling van hoe dat werkt hoor.
	ONDERZOEKER: Oké, de praktische invulling daarvan kan ik ook niet meer over zeggen dan hoe ik het zelf voor me zie. Ik denk dat het voornamelijk ligt aan de schaal waarop je wil gaan meten. Als jij inderdaad er naartoe wilt dat je 10.000 man laat rondrijden met zo een apparaat, ja dan moet je een systeem gaan aanleggen wat wellicht automatisch die informatie verstuurd en ontvangt en dat dat allemaal gebundeld wordt. Maar als jij een aantal mensen laat rondrijden... je krijgt gewoon datafiles op je telefoon en die kan je gewoon selecteren en e-mailen naar iemand toe.
B12	EXPERT B: Dat snap ik. Maar dan krijg ik versnipperde data binnen. of hoe moet ik dat zien.
	ONDERZOEKER: Nee, ik denk het niet. Dat kan wel, als jij dat op die massaschaal wil gaan doen, maar als jij een paar mensen aanstelt en je vraagt ze om dat bepaalde traject te rijden.
B13	EXPERT B: We gaan geen mensen aanstellen, we zijn meetmannen de deur aan het uit doen. Dus we gaan geen mensen aanstellen om rondjes te laten rijden.
	ONDERZOEKER: Nee, natuurlijk niet, maar je hebt natuurlijk wel auto's van Rijkswaterstaat die sowieso gewoon rondrijden.
B14	EXPERT B: De weginspecteurs.
	ONDERZOEKER: Ja, bijvoorbeeld.
B15	EXPERT B: Ja dat zou een mogelijkheid zijn...
	ONDERZOEKER: Je gaat natuurlijk niet een auto laten rondrijden met alleen die telefoon, dat snap ik. Die jeeps die ik af en toe langs de weg zie staan.
B16	EXPERT B: Ja, ja, de weginspecteurs, die gele pick-ups. ja, ja, dat is een mogelijkheid. En die rijden continue, of in ieder geval genoeg. Ja, nou ja. En daar hebben we er zat van denk ik.
	ONDERZOEKER: Waar ik alleen benieuwd naar ben is wat loont het om die IRI apart te gaan meten. Ik ben eigenlijk benieuwd naar jullie proces. Je haalt net een aantal dingen als textuur en rafeling rijspoordiepte, zulk soort zaken, in hoeverre kan je die IRI daar los van trekken.
B17	EXPERT B: Ik schets net, we meten voor die Meer Jaren Planning voor het Verhardingsonderhoud, meten we die 5 schadekenmerken. Het interessante is, die ARAN rijdt rond en die meet langsonvlakheid en de dwarsonvlakheid, rijspoordiepte. Dus we krijgen meetgegevens en die zijn van dezelfde datum. Hoe verser mijn meetgegevens hoe liever ik ze heb natuurlijk. Dan kan ik ergens komen.

	Die rijspoordiepte daar hebben we ook nog een harde norm van, dat betekent als die 18mm wordt, dan moet er meteen iets gebeuren. Dan kom je aan veiligheid, dan moet er onmiddellijk een bord langs de weg en dan moet er ook geactiveerd worden, er moet iets gedaan worden aan die rijspoordiepte. Omdat nou los te koppelen, ik vraag me af hoe handig dat is. Gewoon vanuit praktisch oogpunt. Want als ik mijn rijspoordiepte zo vers mogelijk nodig heb, en dat heb ik nodig omdat dat een harde norm is voor stroefheid geldt dat ook he. Als die metingen binnen komen dan wordt dat meteen geprocesst, daar wordt meteen naar gekeken, in ieder geval zo snel mogelijk. Je hebt altijd nog een verwerkingsperiode natuurlijk. Dus ja, waarom zou je het loskoppelen. Want die ARAN die rijdt 1 keer rond en die meet beiden meetgegevens. Het proces van die data is met nieuwe software en hardware net weer wat gemakkelijker geworden en gaat weer net iets sneller. Dus ik vraag me af of het dan praktisch is omdat los te koppelen. Want wat je eigenlijk doet is je inwinnig-proces meer ingewikkeld maken. Je hebt nu twee parallelle datastromen, en je zegt: nou ik haal er één van af want dat is goedkoper. Dat is misschien ook wel goedkoper, maar dan moet die van een andere route komen en dan moet die weer geïntegreerd worden en de vraag is hoeveel slimmer en goedkoper dat dan wordt. Snap je?
	ONDERZOEKER: Ja, ik snap wat je bedoelt.
B18	EXPERT B: Misschien is dat wel het onderzoeken waard hoor of dat interessant is. Daar zou je dan naar moeten kijken: boek ik nog winst als ik mijn langsonvlakheid-gegevens laat inwinnen via de pick-ups van de wegininspecteurs, hoe krijg ik dat dan binnen, hoe verwerk ik dat dan, en hoe heb ik dat dan precies op het juiste moment. Nou ja, je kan natuurlijk elk moment zeggen, want als die dingen rondrijden kan je op elk moment een thermometer erin steken en dan de jongste meetgegevens nemen, neem ik aan. En de variëteit aan meetdata aan daadwerkelijke meetdagen daar moet je dan in het systeem iets mee, maar voor de langsonvlakheid is dat nog wel te doen denk ik. Omdat dat geen harde norm is. Kijk voor rijspoordiepte en voor stroefheid is dat ingewikkelder, want er komt een lijstje uit met norm overschrijdingen. En dat lijstje stuur ik naar een district: wil je even kijken of dat met die meetdatum en deze meetwaarden of dat dat nog klopt, of dat je misschien nog tussen de meetdatum en nu nog onderhoud hebt uitgevoerd op dat vakje. Voor langsonvlakheid hoeft dat niet, dat is geen harde norm, dus daar hebben we die procedure niet, dus in principe kan dat allemaal. Het systeem, moet al die meetdagen gewoon kunnen verwerken. Dus de vraag zou dan worden, over kwaliteit heb ik het dan niet eens he, want ik ga er dan vanuit: we vragen nu kwaliteit A, en als je niet met je pick-ups ook kwaliteit A kan leveren, dan stoppen we al meteen natuurlijk, maar dat staat natuurlijk gewoon buiten kijf. Dus de vraag wordt dan als je langsonvlakheid via een andere route gaat aanleveren, hoe interessant is dat dan, financieel?
	ONDERZOEKER: ja, ik denk dat dat voornamelijk heeft te maken met de processen die jullie gebruiken. Als je die IRI echt apart gebruikt, als een apart instrument om beslissingen mee te maken, ja dan zou het misschien interessant kunnen zijn. Als jij vervolgens die IRI meet maar je moet alsnog met zo een ARAN de weg op om andere meetgegevens te lezen, dan heeft het wellicht weinig zin, want dan rij je toch wel rond met die ARAN en dan heb je je IRI-waarden ook al. Dan betwijfel ik het.
B19	EXPERT B: ja, maar daarom, voor het dagelijks beheer kan het wel interessant zijn, want er kan ergens een gat komen, en dat kan je ook in je IRI-waarden aflezen.
	ONDERZOEKER: Ja, ik snap wat je bedoelt.
B20	EXPERT B: En dan kan je incidenten acuut melden. Stel op de A12 ontstaat een gat, er rijdt drie keer een auto doorheen, het is ping, ping, ping, en dan weet het district of de vaste onderhoudsaannemer, daar is iets aan de hand, daar moet ik iets aan doen, want daar zit een gat in de weg, of weet ik wat. Ik denk daarvoor die constante stroom van data heel interessant kan zijn. Omdat, acute veranderingen daar heel interessant zijn.
	ONDERZOEKER: Ja, als er vandaag iets anders is dan gisteren, dan wil je dat graag weten.
B21	EXPERT B: En voor die thermometer die wij er eens per jaar insteken, dat is netwerk-niveau, en dat gaat over hoe plakken we dit jaar 200 miljoen op de weg en niet waar dichten we nu een gat. Voor de Meer Jaren

	Planning is een zo een gat, ook niet relevant. Daar rijden we gewoon aan voorbij.
	ONDERZOEKER: Je had het net over kwaliteit A, over de kwaliteit die je wil benaderen. Zijn daar vaste normen voor?
B22	EXPERT B: In principe hanteren wij een Europese norm voor die IRI.
	ONDERZOEKER: Ja, oké. Je IRI wordt berekend aan de hand van je langspoor, dus ik ben eigenlijk benieuwd naar wat voor een kwaliteitseisen zitten er aan dat profiel wat wordt gemeten door die ARAN.
B23	EXPERT B: Ligt dat niet vast in die Europese norm? Dat denk ik eigenlijk hoor. Ik denk dat het daar in vast ligt. Hoe komen we daar achter? Dat kan je gewoon googelen denk ik. Wij spreken dat af met de CIV, waar Respondent A werkt. Die heeft die ARAN en die kopen LCMS metingen, en de stroefheidsmetingen (vertraagde wielmethode) en wij hebben een SLA met hun en daar staat in, we willen op die en die datum die en die meetgegevens hebben die voldoen aan die kwaliteit, daar verwijzen we gewoon naar een Europese Norm en die heeft ongetwijfeld een nummer en daar staat alles in vast.
	ONDERZOEKER: Oke, dus als die kwaliteit niet hetzelfde is, dan houdt het hele verhaal al op. Dat is een behoorlijk harde eis.
B24	EXPERT B: Nou ja, niet een rare denk ik.
	ONDERZOEKER: Nee, dat is heel terecht, maar dat is duidelijke taal.
B25	EXPERT B: Ik weet niet hoe nauwkeurig die CAN-bus systemen van die auto alles registreren... Volgens mij is dat behoorlijk nauwkeurig.
	ONDERZOEKER: Dat klopt. Ik ben zelf geen data-analyticus, maar die PHD-student waarmee ik samenwerk, die zit er aardig in. En we hadden een auto geregeld van de Fontys hogeschool waarmee we data gingen loggen, en die PhD-student ging daarna kijken naar die data en ik kreeg onmiddellijk een heel enthousiaste mail terug over de kwaliteit van de data.
B26	EXPERT B: Dan doe je zo een stekker in die CAN-bus aansluiting van die auto.
	ONDERZOEKER: Ja daar komt het op neer ja.
B27	EXPERT B: En die laat je communiceren met je telefoon en dan kan je een heleboel...
	ONDERZOEKER: In dit geval hebben we daar een laptop op aangesloten en dan kan je loggen. Je krijgt al die signalen binnen en dan kan je kiezen welke je wil loggen. En dan ga je rondrijden en dan sla je alles op. Mijn persoonlijke hoop ligt eerlijk gezegd meer bij die telefoon, omdat je hebt te maken met een vertaalsleutel bij auto's. Autofabrikanten zijn heel beschermend over hun eigen data.
B28	EXPERT B: Want je kan niet alleen lezen wat voor een bewegingen er gemaakt worden, maar je kan het hele motermanagementsysteem uitlezen.
	ONDERZOEKER: Bijvoorbeeld ja, je leest alles uit. Alleen, je moet het wel kunnen uitlezen, want als ik een stekker in die auto stop dan zie ik alleen ruwe data. En je hebt dus een vertaalsleutel nodig. En dat zie ik nog wel als een obstakel. Want dat zou dus betekenen dat je die autofabrikant zou moeten benaderen om al die informatie te kunnen onttrekken.
B29	EXPERT B: Ik heb pas van de week het rapport gekregen, dus ik heb het nog niet gelezen. Maar wat ik wel heb gelezen (over Sensovo) is dat ze iets met telefoons doen.
	ONDERZOEKER: Zij hebben samengewerkt met Beijer Automotive, een partij in de buurt van Den Bosch. Wat zij doen zijn die vertaalsleutels waar ik het net over had ontwikkelen voor marktpartijen.
B30	EXPERT B: Datamakelaar.
	ONDERZOEKER: Ja, datamakelaar. Zij pakken een auto en die gaan op ieder knopje duwen, ze gaan aan die auto trekken en duwen en tegelijk lezen ze die data uit en kijken ze wat er daarmee gebeurt. Dan kunnen ze dus zeggen bijvoorbeeld: als ik op het raampje druk dan verandert er deze data, dus dat staat voor mijn raampje gaat naar beneden. En zo analyseren zij hele auto's. Dus je zou zeggen, nou dat is mooi dat is een oplossing. Alleen, het nadeel van de manier waarop ze werken is dat ze daardoor ook informatie missen. Want waarvan zij niet weten wat er in die auto zit, kunnen ze ook niet interpreteren. Dus als jij gaat rondrijden met een auto dan gebeuren er heel veel dingen tegelijkertijd en ontstaan er een soort van zwarte gaten.
B31	EXPERT B: En het nadeel is natuurlijk dat je elke nieuwe auto moet analyseren.
	ONDERZOEKER: En het kan soms al gaan over auto's van het zelfde merk, zelfde type, maar een andere uitvoering waardoor de data al weer helemaal anders is. Dus het is heel intensief werk. En om een duidelijk voorbeeld te geven: je airbag levert pas een signaal als die wordt geactiveerd. Dan moet je hem dus gaan

	activeren, maar dat kan maar 1 keer, en dan moet je hem gaan vervangen en misschien nog een keer activeren... et cetera... Dus met andere woorden het gemakkelijkste is om gewoon naar een autofabrikant te gaan en hem te vragen om de vertaalsleutel. Dat is ook wat de Fontys hogeschool heeft gedaan voor die BMW. Maar die krijg je niet zo maar. Dus als je dat ook wilt gaan doen voor een heel wagenareaal dan moet je eigenlijk al allemaal dezelfde types hebben om het gemakkelijk te maken en goedkoop te houden. En als jij je auto verandert dan kan je dat systeem niet meenemen. Dus daar zie ik nog wel wat hekelpunten in. Dus daarom ligt op korte termijn mijn persoonlijke voorkeur eerder bij een telefoon wat veel gemakkelijker is om te gebruiken voor deze toepassing. We hebben allemaal een Android of een iPhone.
B32	EXPERT B: En dan wil je de bewegingen van de telefoon registreren.
	ONDERZOEKER: Ja, dat is ook wat we nu hebben gedaan. We hebben gekeken naar de verticale versnelling et cetera. Dat is ook wat Fatjon gebruikt voor zijn applicatie.
B33	EXPERT B: Die heeft zo te horen de app gemaakt die ik laat bouwen. Ik heb een offerte en we moeten nog wel wat dingetjes aftikken en dan...
	ONDERZOEKER: Oké, ik kan je met hem in contact brengen.
B34	EXPERT B: Dat is precies wat ik wil doen. Registreren wat er met die telefoon gebeurt als die auto schokt en registreren hoe erg ik het vind. En dan wil ik weten hoe hard je rijdt, ik moet een absolute ID hebben, welke locatie, alleen rijkswegen, wat registreert die telefoon... Hij heeft een app ontwikkeld en bij wie staat die uit?
	ONDERZOEKER: Bij zichzelf. Hij gebruikt hem zelf voor onderzoek.
B35	EXPERT B: Waar promoveert hij?
	ONDERZOEKER: Aan de Universiteit Twente ook. Via mijn afstudeerbegeleider zijn wij in contact gekomen. Want ook zo een Sensovo project. Je ziet van alles in de literatuur, en dat is heel leuk, maar wat kunnen we er nu eigenlijk mee doen. Dat is ook wat ik probeer te doen, die brug slaan tussen dat onderzoek, die data analyseren, en de praktijk. Wat heb je nou nodig om je weg te beheren. Dus die koppeling probeer ik te maken. Maar natuurlijk wegens tijd moet ik me focussen op 1 specifiek onderdeel.
B36	EXPERT B: ja, ja dat snap ik. Tegelijkertijd is dat natuurlijk jammer. maar goed, je kan maar zoveel doen.
	ONDERZOEKER: Zouden we misschien dan toch nog een keer en dan even wat uitgebreider door de processen kunnen lopen en op welke aspecten die IRI precies wordt gebruikt en hoe die met die andere meetgegevens zit verwoven.
B37	EXPERT B: We laten die meetgegevens binnen halen en dat stoppen we in ons programma IVON, Informatie Systeem Verhardings Onderhoud, inmiddels IVON2. Dat programma IVON krijgt, qua meetgegevens rijspoordiepte en langsonvlakheid binnen. En met die meetgegevens gaat ie echt aan het rekenen. Hij kijkt naar voorgaande metingen, hij rekent met maximaal 3 meetgeneraties, en we laten ieder jaar meten, dus dat is dan drie jaar meetgegevens. Het systeem rekent interventiejaren uit per schadekenmerk en voor rafeling en scheurvorming.... geven we die interventiejaren direct in.
	ONDERZOEKER: Hoe bedoel je dat?
B38	EXPERT B: Zo is het systeem. Het systeem heeft per district een bestand... en anders moet ik het je laten zien... dat kan wel. Ja, dan moet je even geduld hebben. We moeten toch dadelijk verkassen, dus dan doen we even een korte pauze want ik moet het even installeren op de computer waar ik zit...
	Einde Opname. Uitleg gekregen met voorbeelden over het IVON systeem.

Annex III

Methodiek voor bepalen afwijking in de breedterichting

Er is gekozen om de smartphone-coördinaten te vergelijken met referentiepunten die in lijn liggen met de ARAN-coördinaten en zo dicht mogelijk bij de smartphone-coördinaten. Hieronder wordt uitgelegd hoe deze referentiepunten wiskundig zijn bepaald.

Om ervoor te zorgen dat de referentiepunten in lijn liggen met de ARAN-coördinaten zijn er voor alle opeenvolgende ARAN-coördinaten zogenaamde ARAN-functies opgesteld. Op deze ARAN-functies komen uiteindelijk de referentiepunten te liggen. De ARAN-functies zijn lineair en danken hun parameters aan de ARAN-coördinaten. Zie onderstaande wiskundige omschrijving en Figuur 34 en Figuur 35 ter verduidelijking.

Voor de opeenvolgende ARAN-coördinaten C en D kan de volgende ARAN-functie AF_{cd} opgesteld worden:

$$AF_{CD}(x) = a_{CD} * x + b_{CD} \quad (1)$$

Waarin:

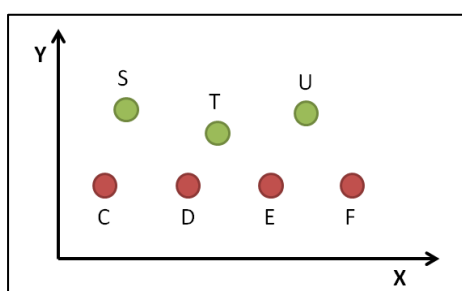
$$a_{CD} = \frac{Y_D - Y_C}{X_D - X_C} \quad (2)$$

En

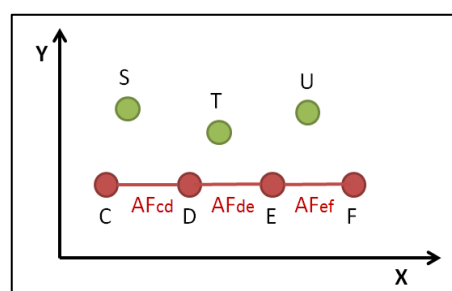
$$b_{CD} = Y_D - a_{CD} * X_C \quad (3)$$

Of

$$b_{CD} = Y_C - a_{CD} * X_D \quad (4)$$



Figuur 34: Coördinaten van ARAN (rood) en smartphones (groen)



Figuur 35: De coördinaten met de opgestelde ARAN-functies

Om te bepalen op welke ARAN-functie het referentiepunt voor iedere smartphone-coördinaat komt te liggen zijn per ARAN-functie afbakeningsfuncties opgesteld: één door ieder ARAN-coördinaat waarop de ARAN-functie is gebaseerd. Om ervoor te zorgen dat de referentiepunten van de smartphone-coördinaten op de dichtstbijzijnde ARAN-functie liggen zijn de afbakeningsfuncties zo opgesteld dat ze een even grote hoek hebben met de twee ARAN-functies waar ze tussen zitten. Dit betekent dat de eind afbakeningsfunctie voor de ene ARAN-functie, de begin afbakeningsfunctie is van de volgende.

Om de afbakeningsfuncties te bepalen wordt eerst een nieuwe functie opgesteld die door het gemeenschappelijke punt gaat van twee opeenvolgende ARAN-functies en een richtingscoëfficiënt heeft die gelijk is aan de gemiddelde richtingscoëfficiënt van de twee ARAN-functies. De loodrechte op deze nieuwe functie die door het gemeenschappelijke punt vormt de afbakeningsfunctie. Zie onderstaande wiskundige omschrijving en Figuur 36 en Figuur 37 ter verduidelijking.

Voor twee ARAN-functies AF_{CD} en AF_{DE} die beiden door het punt D gaan kan de afbakeningsfunctie ABF_D opgesteld worden:

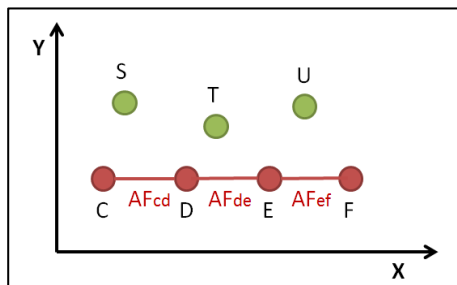
$$ABF_D(x) = a_r * x + b_r \quad (5)$$

Waarin

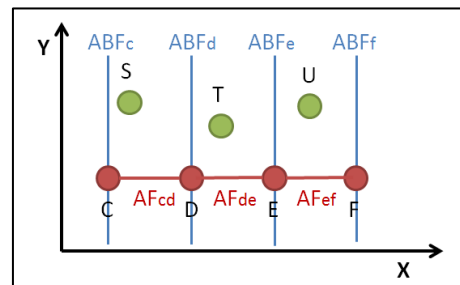
$$a_r = \left(\frac{a_{CD} + a_{DE}}{2} \right)^{-1} \quad (6)$$

En

$$b_r = Y_D - a_r * X_C \quad (7)$$



Figuur 36: De coördinaten met de opgestelde ARAN-functies (rode lijn)



Figuur 37: De opgestelde afbakeningsfuncties (blauwe lijn)

Vervolgens kan door de X-waarden van de smartphone-coördinaten in de afbakeningsfunctie in te voeren bepaald worden welke smartphone-coördinaat bij welke ARAN-functie hoort. Hiervoor zijn de volgende randvoorwaarden vastgesteld.

Een smartphone-coördinaat S wordt aan een ARAN-functie toegekend met begin afbakeningsfunctie ABF_b en eind afbakeningsfunctie ABF_e als die aan volgende randvoorwaarden voldoet:

Als de richtingscoëfficiënt negatief is moet $ABF_b(X_S)$ kleiner zijn dan Y_S	Als de richtingscoëfficiënt negatief is moet $ABF_e(X_S)$ groter zijn dan Y_S
$Als a_b < 0$ $dan ABF_b(X_S) < Y_S$	$Als a_e < 0$ $dan ABF_e(X_S) > Y_S$
Als de richtingscoëfficiënt positief is moet $ABF_b(X_S)$ groter zijn dan Y_S	Als de richtingscoëfficiënt positief is moet $ABF_e(X_S)$ kleiner zijn dan Y_S
$Als a_b > 0$ $dan ABF_b(X_S) > Y_S$	$Als a_e > 0$ $dan ABF_e(X_S) < Y_S$

Nadat de smartphone-coördinaten zijn toegewezen aan een ARAN-functie kan het referentiepunt worden bepaald. Hiervoor wordt de loodrechte functie bepaald die op de desbetreffende ARAN-functie staat en door de relevante smartphone-coördinaat gaat. Het snijpunt van deze loodrechte en de ARAN-functie vormt het referentiepunt. Zie onderstaande wiskundige omschrijving en Figuur 38 en Figuur 39 ter verduidelijking.

Voor een smartphone-coördinaat S en een ARAN-functie AF_{CD} :

$$AF_{CD}(x) = a_{CD} * x + b_{CD} \quad (8)$$

kan de loodrechte AFL_{CD} worden bepaald die door S gaat en loodrecht op AF_{CD} staat:

$$AFL_{CD}(x) = a_{LCD} * x + b_{LCD} \quad (9)$$

Waarin

$$a_{LCD} = (a_{CD})^{-1} \quad (10)$$

En

$$b_{LCD} = Y_S - a_{LCD} * X_S \quad (11)$$

Vervolgens kan het referentiepunt R worden bepaald met coördinaten:

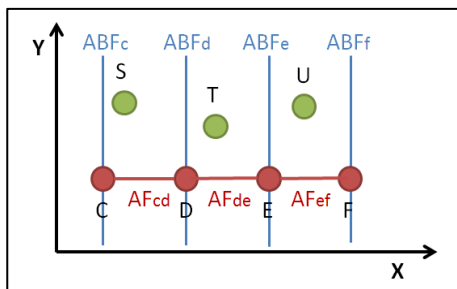
$$X_R = \frac{b_{CD} - b_{LCD}}{a_{LCD} - a_{CD}} \quad (12)$$

En

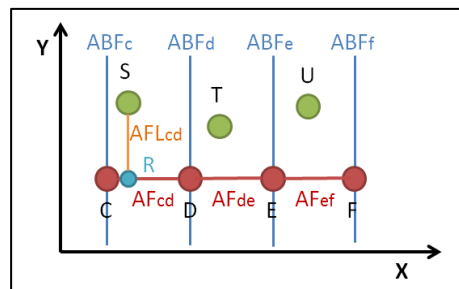
$$Y_R = AFL_{CD}(X_R) = a_{LCD} * X_R + b_{LCD} \quad (13)$$

Of

$$Y_R = AF_{CD}(X_R) = a_{CD} * X_R + b_{CD} \quad (14)$$



Figuur 38: De coördinaten met de opgestelde ARAN-functies (rode lijn)



Figuur 39: Vaststellen van referentiepunt (blauwe punt) met behulp van loodrechte (oranje lijn) op ARAN-functie en door smartphone-coördinaten

Tot slot kan de afstand A tussen het referentiepunt en de smartphone-coördinaat worden bepaald met behulp van de stelling van Pythagoras.

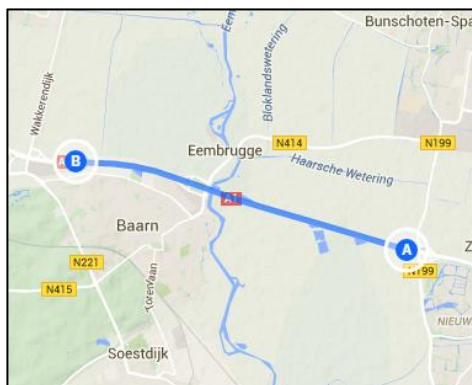
Voor smartphone-coördinaat S en Referentiepunt R kan de afstand A worden bepaald:

$$A = \sqrt{(Y_S - Y_R)^2 + (X_S - X_R)^2} \quad (15)$$

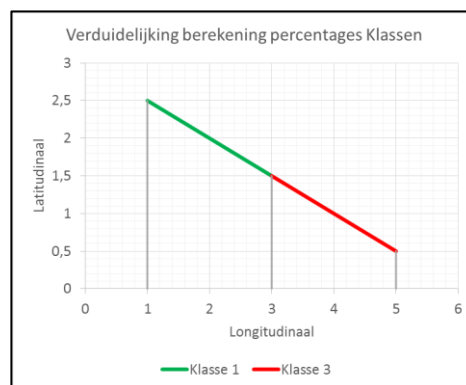
Annex IV

Bepalen percentages van klassen over 100m-secties

Aangezien de gereden route redelijk lineair verloopt, zie Figuur 40, is gekozen om de percentages van de klassen over de 100m-sectie te bepalen uitsluitend op basis van de longitudinale coördinaten. De berekening voor deze aanpak wordt hieronder toegelicht op basis van het voorbeeld wat is gegeven in Figuur 41.



Figuur 40: Overzicht gereden route



Figuur 41: Voorbeeld van een sectie ter verduidelijking van de berekening van de percentages van de klassen over een wegsectie

De daadwerkelijke lengte van Klasse 1 en Klasse 3 kan met behulp van de stelling van Pythagoras berekend worden en is voor bovenstaand voorbeeld:

$$K1 = \sqrt{(3 - 1)^2 + (1,5 - 2,5)^2} = \sqrt{5}$$

$$K3 = \sqrt{(5 - 3)^2 + (0,5 - 1,5)^2} = \sqrt{5}$$

Op basis van de lengte kan hun lengte ten aanzien van deze sectie procentueel worden berekend:

$$\%K1 = \frac{K1}{K1 + K3} = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5} + \sqrt{5}} = 50\%$$

$$\%K3 = \frac{K3}{K1 + K3} = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5} + \sqrt{5}} = 50\%$$

Als de lengte tussen de Longitudinale coördinaten wordt berekend krijgt men:

$$K1 = 3 - 1 = 2$$

$$K3 = 5 - 3 = 2$$

Deze afstand is kleiner dan de daadwerkelijke lengte van de klassen, maar is procentueel gezien even groot, aangezien:

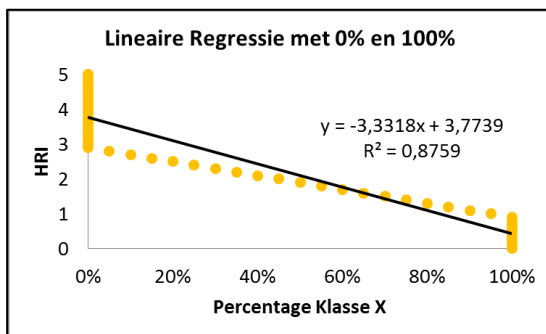
$$\%K1 = \frac{K1}{K1 + K3} = \frac{2}{2 + 2} = 50\%$$

$$\%K3 = \frac{K3}{K1 + K3} = \frac{2}{2 + 2} = 50\%$$

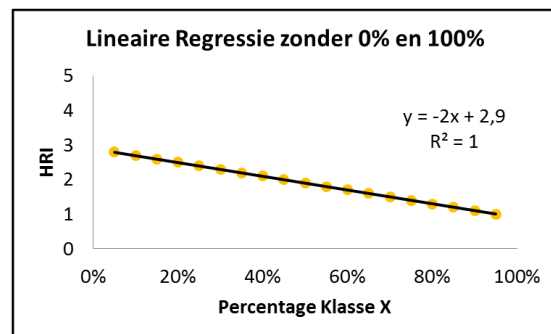
Annex V

Reden voor analyse zonder 0% en 100% datapunten

Ter illustratie is in Figuur 42 een voorspellingsfunctie opgesteld van Klasse X door middel van lineaire regressie met alle beschikbare datapunten. In Figuur 43 is een voorspellingsfunctie opgesteld, maar dan zonder de datapunten waar het percentage van Klasse X gelijk is aan 0% of 100%. Zoals te zien is deze tweede voorspellingsfunctie veel beter in staat om de daadwerkelijke waarden te benaderen van de punten die niet gelijk zijn aan 0% of 100% dan de eerste. Om deze reden is gekozen om de datapunten waar de klassen gelijk zijn aan 0% of 100% niet mee te nemen voor het opstellen van de voorspellingsfuncties.



Figuur 42: Voorbeeld van opstellen voorspellingsfunctie met 0% en 100% datapunten



Figuur 43: Voorbeeld van opstellen voorspellingsfunctie zonder 0% en 100% datapunten

Annex VI

Nauwkeurigheid smartphones buiten bereik voorspellingsfuncties

Zoals eerder uitgelegd vallen de metingen waar er 0% of 100% van Klasse 1 of Klasse 3 wordt gemeten buiten het bereik van de voorspellingsfuncties, zie paragraaf 5.4.4. Voor de functie van Klasse 1 betekent dit dat wanneer Klasse 1 voor 100% wordt gemeten de HRI kleiner of gelijk is aan 0,9623m/km en bij 0% de HRI groter of gelijk is aan 2,5065 m/km. Waar Klasse 3 voor 100% wordt gemeten is de HRI groter of gelijk aan 3,8723m/km en bij 0% kleiner of gelijk aan 1,2871m/km. Samengevat betekent dit:

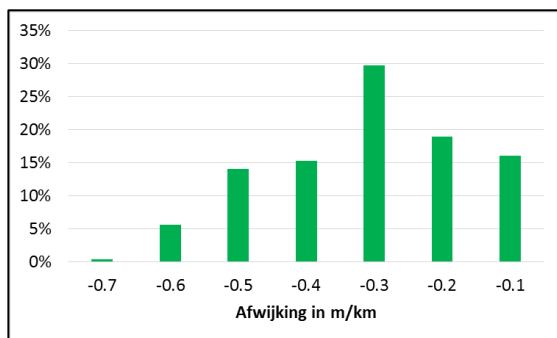
Als Klasse 1 = 100% dan $HRI \leq 0,9623 \text{ m/km}$

Als Klasse 1 = 0% dan $HRI \geq 2,5065 \text{ m/km}$

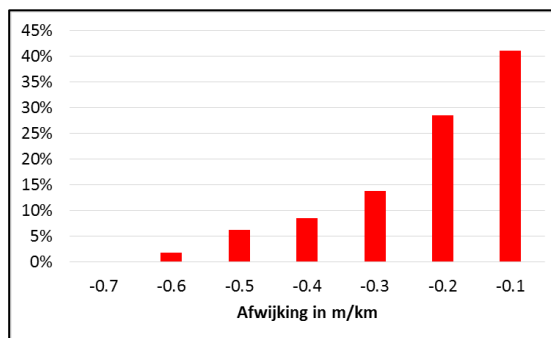
Als Klasse 3 = 100% dan $HRI \geq 3,8723 \text{ m/km}$

Als Klasse 3 = 0% dan $HRI \leq 1,2871 \text{ m/km}$

Voor de volledigheid is ook onderzocht wat de verdeling is van de afwijkingen waar dit verkeerd wordt voorspeld. Aangezien er geen datapunten zijn waar Klasse 1 gelijk is aan 0% of Klasse 3 aan 100%, konden deze gevallen niet worden onderzocht. De verdelingen van de afwijkingen waar Klasse 1 voor 100% wordt gemeten en Klasse 3 voor 0% zijn te zien in Figuur 34 en Figuur 45.



Figuur 44: Verdeling van afwijkingen waar HRI(100%) geen goede voorspelling geeft met Klasse 1



Figuur 45: Verdeling van afwijkingen waar HRI(0%) geen goede voorspelling geeft met Klasse 3

De gevonden afwijkingen zijn logischer wijs allemaal negatief wat duidt op een te kleine voorspelling. Dit komt doordat de voorspellingen niet groter kunnen zijn dan de daadwerkelijke HRI-waarden. Als dat namelijk het geval is, is er een juiste voorspelling gedaan en wordt die niet meegenomen in deze analyse. Als gevolg hiervan is de verwachte verdeling dan ook een halve normaal verdeling. Zoals in de figuren te zien is, lijkt alleen de voorspellingsfunctie van Klasse 3 daaraan te voldoen.

Ter vereenvoudiging is aangenomen dat om aan het gestelde criterium te voldoen 68% van de metingen binnen een afwijking van 0,1m/km mogen liggen. Dit is voor de voorspellingsfunctie van Klasse 1 slechts 16% en voor Klasse 3 is dit 41%. Daarmee voldoen de voorspellingsfuncties dus niet aan het gestelde criterium.

Einde Scriptie.
Einde Studie.