

Projectplan

Datagedreven Opleveren Wegen (DGOW)



Samengesteld door

Naam:	Rémy van den Beemt
Rol:	Projectleider kennislijn kwaliteit en prestaties, NPDW
Naam:	ir. Bas van der Zande
Rol:	Expert kwaliteit en prestatie, NPDW
Naam:	ing. Peter Collard
Rol:	Expert kwaliteit en prestatie, NPDW
Naam:	dr. ir. Seirgei Miller
Rol:	Onderzoeker en coördinator in ASPARi, University of Twente
Naam:	dr. ir. Joao Santos
Rol:	Onderzoeker in ASPARi, NPDW

Onder begeleiding van: Jan van de Water (programmamanager) en met input van diverse organisaties vastgelegd in Bijlage 1.

Colofon

Beeld voorpagina: Fotograaf SOMA College Harderwijk

Disclaimer

E-mail:	info@npdwegverharding.nl
Datum:	17 juli 2026
Versie:	1.1
Status:	Definitief

De auteurs hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in deze uitgave vervatte gegevens. Toch moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat zich onjuistheden in deze uitgave kunnen bevinden. De gebruiker van deze uitgave aanvaardt daarvoor het risico. NPDW sluit, mede voor auteursrechthebbenden op bepaalde tekst, figuren en tabellen uit deze uitgave, ieder aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave. Overname uit deze uitgave is toegestaan, mits duidelijke bronvermelding plaatsvindt.

Inhoud

Management samenvatting	4
Totstandkoming	4
Onder verantwoording van NPDW	5
In opdracht van Kennislijn Kwaliteit en Prestaties	6
Verklarende woordenlijst	7
Hoofdstuk 1 Inleiding	8
Hoofdstuk 2 Doelstelling en reikwijdte van de interventie	11
Hoofdstuk 3 Aanpak, fasering en deelproducten	13
Hoofdstuk 4 Planning en tijdlijn	17
Hoofdstuk 5 Belanghebbenden en betrokken partijen en communicatie	18
Hoofdstuk 6 Interventie onderdelen I – Projecten werven	21
Hoofdstuk 7 Interventie onderdelen II – Data verzamelen	23
Hoofdstuk 8 Interventie onderdelen III – Dataverwerking	38
Hoofdstuk 9 Interventie onderdelen IIII - Duiden en rapporteren	52
Bijlage 1 Referentielijst	55
Bijlage 2 Voorbeeld VTW	56
Bijlage 3 Verwerkingsplan	63
Bijlage 4 Schatting maximaal stroomverbruik meetopstelling	66
Bijlage 5 Opstelling sensoren op spreidmachine en wals	67
Bijlage 6 Registratieformulier meetdag begeleider	72
Bijlage 7 Montage- en kalibratieprotocol meetopstelling	73
Bijlage 8 Visuele representatie van de sensor Cloud omgeving	74
Bijlage 9 Datavelden en nauwkeurigheden sensormetingen	75
Bijlage 10 Uitwerking nauwkeurigheid GPS	77
Bijlage 11 Afleiden van voetafdruk uit positie en machinegeometrie	82
Bijlage 12 Verwerkingsstappen van voetafdruk naar datatempel	90
Bijlage 13 Datastromen	92

Management samenvatting

De wegenbouwsector staat voor een dubbele opgave: het realiseren van duurzame, toekomstbestendige verhardingen én het omgaan met beperkte middelen, beperkte capaciteit en milieudoelstellingen. Tegelijkertijd groeit de behoefte aan voorspelbare kwaliteit, langere levensduur en een efficiëntere inzet van onderhoud. Kwaliteitsborging speelt hierin een sleutelrol.

Binnen het Nationaal Platform Duurzame Wegverharding (NPDW) wordt binnen de Kennislijn Kwaliteit en Prestaties gewerkt aan de interventie Datagedreven Opleveren Wegen (DGOW) voor de ontwikkeling van een nieuwe manier van kwaliteitsborging. In plaats van controle achteraf via steekproefsgewijze boorkernen, richt DGOW zich op het ontwikkelen van een systeem voor het objectief en vlakdekkend vastleggen en beoordelen van het asfaltverwerkingsproces zelf.

DGOW bouwt voort op bestaande kennis en technologie, zoals ontwikkeld binnen ASPARi en het programma Asfalt-Impuls. In 100 reguliere asfaltprojecten wordt het te ontwikkelen systeem de komende jaren gefaseerd, getest, verfijnd en grondig gevalideerd. Daarbij wordt DGOW aanvullend ingezet, los van de gebruikelijke kwaliteitsborging. Reguliere oplevering middels boorkernen blijft in deze fase onderdeel van het proces: ze zijn nodig om de relatie tussen verwerkingskwaliteit en uiteindelijke asfaltkwaliteit te onderbouwen, en om de nieuwe systematiek te valideren.

Het DGOW-systeem bestaat uit meetprotocollen, algoritmes, dashboards en een centrale data-infrastructuur, op termijn onderdeel van het dataplatform Wegwijzer. Het doel is een volledig gestandaardiseerde aanpak die reproduceerbaar en transparant is, en toepasbaar in uiteenlopende projecten, van rotonde tot snelweg, en voor alle marktpartijen. De onderliggende overtuiging is dat kwaliteit geen toeval is, maar het resultaat van een beheerst en inzichtelijk proces met uniform vastgelegde data.

De ontwikkeling verloopt in vier opeenvolgende fasen, verspreid over een periode van vier jaar. In de eerste fase wordt het systeem ontworpen en getest in pilots. Vervolgens wordt het opgeschaald en toegepast in een groeiend aantal DGOW-meetvakken. Parallel wordt gewerkt aan een functioneel duidingssysteem waarmee verwerkingsdata kunnen worden geïnterpreteerd in termen van kwaliteit. In de laatste fase wordt het systeem gevalideerd en voorbereid op structurele toepassing.

DGOW is een onmisbaar onderdeel van interventie 3.2, de Nieuwe Systematiek voor Kwaliteitsborging (NSKB), en vormt tegelijk de data- en kennisbasis voor andere interventies binnen de kennislijn Kwaliteit en Prestatie. Het ondersteunt onder meer het verkleinen van variatie in aanleg (HT=LC), het ontwikkelen van restlevensduurmodellen en het functioneel duiden van asfaltkwaliteit.

Bij bewezen werking moet DGOW uiterlijk in 2030 worden opgenomen in de RAW-systematiek. Tot die tijd bouwen we, met 100 projecten uit de sector, aan kwaliteitsborging wat eerlijker, transparanter en toekomstbestendiger is, voor opdrachtgevers én opdrachtnemers.

Totstandkoming

Voor het opstellen van dit document zijn gesprekken gevoerd met drie aannemers uit het ASPARi-netwerk, met aantoonbare ervaring in het structureel toepassen van metingen bij asfaltverwerking. Met enkele van deze aannemers hebben daarnaast meerdere feedbackrondes plaatsgevonden.

Onder verantwoording van NPDW

Samen met overheden, bedrijven en kennisinstellingen werkt Nationaal Platform Duurzame Wegverharding (NPDW) aan duurzame wegen die langdurig in topconditie blijven voor intensief gebruik. Dit bespaart kosten, verkleint onze ecologische voetafdruk en bevordert de mobiliteit; een randvoorwaarde voor een sterke economie. NPDW verenigt álle partijen in de wegverhardingssector en werkt samen aan één geharmoniseerde aanpak.

NPDW is als onafhankelijk sectorplatform onderdeel van de Klimaatneutrale en Circulaire Infrastructuurstrategie (KCI) van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Onze missie is helder: duurzame wegverharding wordt de nieuwe standaard. In 2030 gebruiken we 50% minder primaire grondstoffen en reduceren we 55% CO₂. In 2050 werken we volledig circulair en klimaatneutraal. Hiermee voldoen we aan het klimaatakkoord en de klimaatwet en waarborgen we een efficiënt gebruik van nationale grondstoffen.

Op verzoek van de wegverhardingssector voert NPDW regie op samenhang en impact. Dat doen we door:

- Gezamenlijk doelen te stellen;
- Kennis en middelen te bundelen;
- Processen en uitvragen te uniformeren;
- Innovaties te versnellen;
- en interventies te starten of te stoppen op basis van hun impact.

Zo versnellen we de transitie naar duurzaamheid, creëren we synergie en voorkomen we dubbel werk, wat bijdraagt aan een efficiënte inzet van mensen, middelen en materialen.

Samen realiseren we duurzame wegen die langer meegaan en minder onderhoud vergen. Dit draagt bij aan de leverings- en investeringszekerheid in de hele keten, zorgt voor nieuwe duurzame verdienmodellen en vergroot de toekomstbestendigheid van de wegenbouwsector.

Hier werken we aan, samen met de wegverhardingssector:

- MKI uniform uitvragen, toetsen en belonen: wegbeheerders kopen eenduidig asfalt in wat marktpartijen duidelijkheid biedt, passend bij wettelijke ontwikkelingen rond sturende MKI.
- Datataal uniformeren (ontologie): partijen kunnen hun kwaliteits-, monitorings- en duurzaamheidsregistratie gestructureerd doen, data wordt uitwisselbaar en leidt landelijk tot inzichten.
- Minder variatie in asfaltmengsels: beperkt faalkosten, verlaagt energiegebruik en vergemakkelijkt hoogwaardig hergebruik en onderhoud.
- Richtlijnen PR en WMA: verkleint risico's en vergroot de mogelijkheid om circulaire toepassingen op te schalen.
- Monitoring- en verificatietool: inzichtelijk hoe projecten uniform duurzaamheidsresultaten kunnen meten en rapporteren, voor verantwoording en prestatieniveaus.
- Beheersing aanlegkwaliteit: procescontrole van asfaltverwerking zodat langere levensduur met hogere kwaliteit mogelijk én aantoonbaar wordt.
- Levensduur belonen: sectorbrede aanpak om langere levensduur te belonen.
- Uniformeren validatieproces: met blauwdrukken voor proefvakken en monitoring voor een uniform, snel en betrouwbaar inzicht in prestaties van innovaties.
- Mitigatie financiële risico's: verminderen financiële belemmeringen voor opdrachtgevers tijdens de beheerfase, waardoor innovaties meer ruimte krijgen.

In opdracht van Kennislijn Kwaliteit en Prestaties

Kennislijn Kwaliteit en Prestatie

De verduurzaming van wegverharding leidt tot een groei van nieuwe, innovatieve, soms exotische producten en processen die met de huidige standaarden, kaders, systemen en proeven niet of niet adequaat kunnen worden beoordeeld. De kennislijn Kwaliteit en prestatie is daarom onder andere gericht op het actualiseren en optimaliseren van:

- het kader van functionele specificaties aan en prestatie monitoring van wegverharding en haar objecten gedurende alle fasen van de levenscyclus, inclusief resterende levensduur;
- kwaliteitsbeheersing- en -borgingstructuren voor wegverharding en haar objecten gedurende alle fasen van de levenscyclus (waaronder Nieuwe Systematiek Kwaliteitsborging en High Tech-Low Cost).
- het kader van Functioneel Opleveren voor wegverharding en haar objecten.

Met deze kennislijn worden de meeste resultaten van het Asfalt Impuls Programma verder geborgd in de sector.

Interventie:

- Integratie en voortzetting HT=LC / NSKB / FO

Gerelateerd aan de interventies:

- Kwaliteitsmanagement technieken
- Nieuwe Systematiek KwaliteitsBorging (NSKB)
- Vermindering van variabiliteit in asfaltuitvoeringsproces (HighTech = LowCost)

Verklarende woordenlijst

Aggregatietegel	Een rastereenheid binnen een geografisch systeem waarin mengsel-, en asfalteigenschappen en verwerkingsparameters samenkomen worden geaggregeerd voor het bepalen van waarden voor een Data-tegel.
Asfalteigenschap	Een intrinsieke materiaaleigenschap van het verharde asfalt, zoals dichtheid, stijfheid, weerstand tegen spoorvorming, of waterdoorlatendheid.
Asfaltkwaliteit	De mate waarin de gerealiseerde asfalteigenschappen overeenkomen met de vooraf gespecificeerde asfalteigenschappen
Bemonsteringsplan	Het planmatig indelen van een asfaltproject in meetvakken en meetlocaties voor kwaliteitscontrole, volgens bijvoorbeeld Standaard 2025.
Constructie-eigenschap	Een kenmerk van de totale wegbouwconstructie of een asfaltlaag zoals laagdikte en breedte.
DGOW-meetvak	Bepaald deel van een werk bestaande uit één laag. Meerdere DGOW-meetvakken per werk zijn mogelijk (bijv. meerdere lagen).
Dynamische richting	De richting van een object met 2 opeenvolgende GPS-locaties in de tijd.
GPS + RTK-ontvanger	GPS-ontvanger die real-time correcties ontvangt en daarmee een cm niveau nauwkeurigheid heeft zonder extern basisstation.
Data-tegel	Een rastereenheid binnen een geografisch systeem waarin mengsel-, en asfalteigenschappen en verwerkingsparameters samenkomen.
Meetvak	Een deel van een uitvoeringseenheid waarin metingen worden uitgevoerd die representatief zijn voor dat gebied.
Meetlocatie	Een specifieke plaats binnen een meetvak waar een monster wordt genomen, bijvoorbeeld een boorkern of een meting met een niet-destructieve techniek.
Mengseleigenschap	Kenmerken van het asfaltmengsel vóór verwerking, zoals bitumengehalte.
Ruwe data	Onbewerkte data, zowel van sensoren als vastgelegde observaties
Sensormeting	Een meetwaarde die door een sensor wordt geregistreerd, bijvoorbeeld temperatuur, of luchtvochtigheid tijdens de asfaltverwerking.
Statische richting	De richting waarin een object wijst, bepaald zonder dat beweging of opeenvolgende metingen nodig zijn.
Stopplek	De locatie en tijdsduur waarin een spreidmachine of wals stil staat tijdens de verwerking.
Uitvoeringseenheid	Een aaneengesloten deel van een asfaltverharding met dezelfde laagsoort, dikte en materiaalsamenstelling, zoals gedefinieerd in de Standaard 2020 (bijv. artikel 81.21.03 lid 01).
Verwerkingsproces	Het proces van aanbrengen en verdichten van een asfaltmengsel tot een asfaltlaag.
Verwerkingskwaliteit	De mate waarin de verwerkingsparameters voldoet aan het vooraf vastgestelde verwerkingsplan.
Verwerkingsparameters	Meetbare kenmerken van het verwerkingsproces die invloed hebben op de asfalteigenschappen, zoals aanlegtemperatuur en walsrolpassages.
Verwerkingsplan	Het voorschrift waarin staat beschreven aan welke verwerkingsparameters wordt gehouden en binnen welke bandbreedtes.
Vlakdekkend	Een meting waarbij een volledig oppervlak wordt gedekt in tegenstelling tot een steekproef of puntmeting.
Voetafdruk	Het gebied waarop een asfaltverwerkingsmachine invloed uitoefent op een specifiek moment of interval.
Walsrol	Een van de cilinders van een asfaltwals voor de verdichting van asfaltlagen.
Walsrolkarakteristiek	De specifieke verdichtingskracht die een walsrol uitoefent op het asfalt, uitgedrukt in kilonewton per vierkante meter (kN/m ²).
Walsrolpassage	Een enkele verplaatsing van een walsrol over het asfalt in één richting binnen het verdichtingsproces.
Zonneradiatie	De hoeveelheid zonne-energie die per oppervlakte-eenheid en per tijdseenheid het aardoppervlak bereikt, uitgedrukt in watt per vierkante meter (W/m ²).

Hoofdstuk 1 Inleiding

De wegenbouwsector staat voor een grote uitdaging: het verduurzamen van wegverhardingen in een tijd van schaarste aan personeel en middelen. Verduurzaming vraagt niet alleen om meer hergebruik van materialen en minder CO₂-uitstoot, maar ook om wegen die langer meegaan. Een langere levensduur betekent minder werk, minder grondstoffen en minder uitstoot, en draagt daarmee direct bij aan het 'reduce'-principe. Daarnaast helpt een voorspelbare en gelijkmatige kwaliteit om onderhoud beter te plannen. Werkzaamheden die je niet hoeft uit te voeren of verstandig kan uitstellen kosten geen of veel minder energie en verlagen ook de druk op de beperkt beschikbare capaciteit en budgetten én bevorderen de doorstroming. Door de kwaliteit en de processen in de gehele cyclus te verbeteren krijgen we grip op deze levensduur.

Kwaliteit is de sleutel tot succes. Hoe hoger en gelijkmatiger de kwaliteit bij aanleg, hoe langer de levensduur van de verharding en hoe kleiner de kans op onverwacht of vroegtijdig onderhoud. Dat maakt het plannen van toekomstig onderhoud efficiënter. Daarom is het cruciaal om de kwaliteit bij oplevering zo goed mogelijk meetbaar en voorspelbaar te maken. In de huidige praktijk gebeurt dit door steekproefsgewijs asfaltkernen te boren en deze te toetsen aan de RAW-kwaliteitstabellen. Hoewel deze tabellen gebaseerd zijn op decennialange sector brede kennis, kent deze aanpak duidelijke beperkingen: de metingen zijn pas achteraf beschikbaar en bestrijken slechts een klein deel van het wegooppervlak. Hier ligt een concrete kans voor verbetering.

In de afgelopen 17 jaar heeft het Asfalt Sector Professionaliseringsprogramma (ASPARi) van de Universiteit Twente waardevol onderzoek gedaan naar het digitaal vastleggen van het asfaltverwerkingsproces. Deze kennis biedt perspectief op een fundamentele verandering: het verschuiven van productcontrole achteraf naar kwaliteitsborging op basis van verwerkingsparameters. Door het verwerkingsproces real-time en vlakdekkend vast te leggen, wordt het mogelijk om tijdens de uitvoering meer grip te krijgen op de uiteindelijke asfaltkwaliteit. Daarmee kan actief worden gestuurd op een zo hoog mogelijke en gelijkmatige aanlegkwaliteit. Kwaliteitsborging wordt zo geen momentopname achteraf, maar een geïntegreerd onderdeel van het proces.

Om deze aanpak structureel toe te passen, is een uniforme en gevalideerde werkwijze nodig voor het vastleggen, verwerken en beoordelen van het asfaltverwerkingsproces. Alleen met zo'n gestandaardiseerde werkwijze kunnen resultaten eenduidig worden geïnterpreteerd en gebruikt voor kwaliteitsborging. Dit voorkomt interpretatieverschillen, maakt vergelijking tussen projecten mogelijk en biedt transparantie aan zowel opdrachtgevers als opdrachtnemers. Bovendien creëert het de randvoorwaarden om de aanpak op te nemen in bestaande RAW-systematiek.

Kortom, het verschuiven van productcontrole achteraf naar procesbeheersing tijdens de uitvoering is een logische en noodzakelijke stap richting duurzamere wegverhardingen. Deze interventie richt zich op het ontwikkelen van een innovatief kwaliteitsborgingssysteem: Datagedreven Opleveren Wegen (DGOW), waarmee het asfaltverwerkingsproces praktisch toepasbaar wordt gemaakt als onderdeel van de kwaliteitsborging. Daarmee ontstaat een alternatief voor de huidige steekproefsgewijze aanpak.

1.1 Leeswijzer

In de introductie is de aanleiding voor deze interventie beschreven: de toenemende behoefte om bij het borgen van asfaltkwaliteit minder te vertrouwen op productcontrole achteraf, en meer te sturen op procesbeheersing tijdens de uitvoering. In **hoofdstuk 1** wordt de achtergrond van de interventie geschetst. Hierin wordt toegelicht hoe DGOW is ontstaan, welke kennis en initiatieven eraan voorafgingen, en hoe het aansluit bij andere interventies binnen het NPDW. In **hoofdstuk 2** staat de doelstelling van DGOW centraal, inclusief de randvoorwaarden voor een succesvolle ontwikkeling en de afbakening van de reikwijdte van deze interventie. Vervolgens wordt in **hoofdstuk 3** de gekozen aanpak toegelicht: hoe het systeem wordt ontwikkeld en getest in de praktijk, welke fasen worden doorlopen, en welke hulpmiddelen en producten hiervoor worden ontwikkeld. **Hoofdstuk 4** bouwt hierop voort met een overzicht van de planning en de belangrijkste mijlpalen binnen het traject. In **hoofdstuk 5** komen de belanghebbenden en betrokken partijen aan bod, inclusief de organisatie en de wijze waarop samenwerking en kennisdeling worden georganiseerd. In de **Hoofdstukken 6 tot en met 9** zijn verschillende onderdelen voor het uitvoeren van deze interventie uitgewerkt.

1.2 Kaders en achtergrond

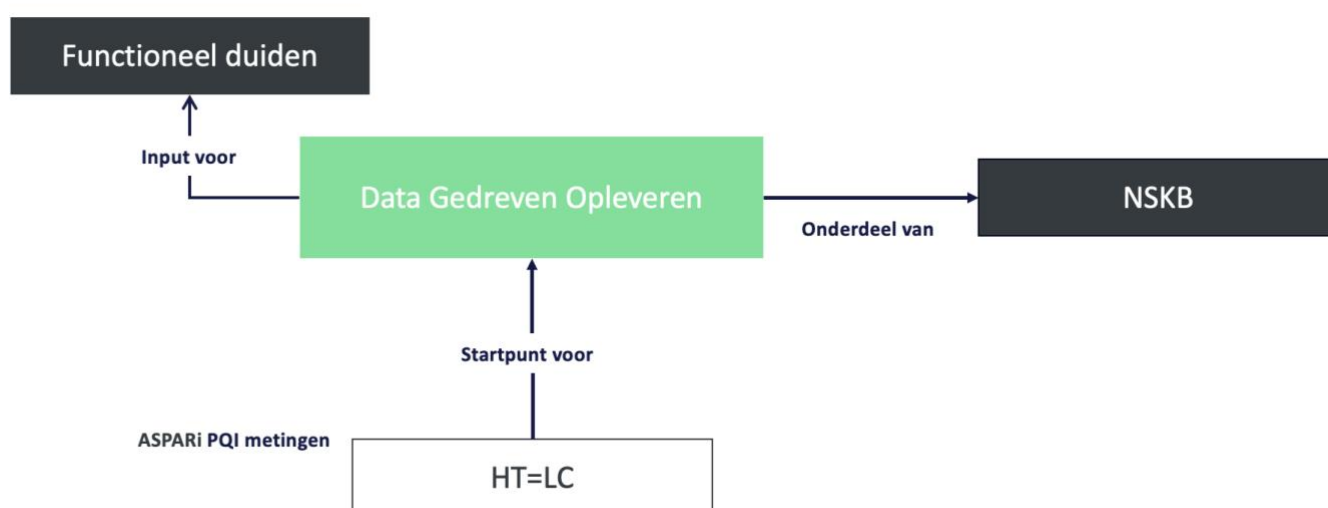
In de afgelopen jaren zijn binnen het Programma Asphalt-Impuls belangrijke stappen gezet om meer grip te krijgen op verwerkingskwaliteit en de relatie tot asfaltkwaliteit. Het overkoepelende doel van het programma, zoals gedefinieerd door de Stuurgroep Asphaltimpuls, was om de gemiddelde levensduur van onze asfaltwegen te verdubbelen, de variatie in levensduur met de helft te verminderen en de CO₂-productie te halveren, en dit alles met behoud of verlaging van de kosten. Dit programma liep van 2019 tot eind 2023 en bracht opdrachtgevers en opdrachtnemers samen in negen thematische werkgroepen. Drie daarvan zijn direct relevant voor DGOW: Hightech=Lowcost (HT=LC), Kwaliteitsborging (KB) en Functioneel Opleveren (FO).

Het project Hightech=Lowcost (HT=LC) stimuleerde de inzet van digitale technologieën bij het vastleggen en de beoordeling van verwerkingskwaliteit (het proces). Daarbij werd onder andere de door ASPARi ontwikkelde PQi-methode toegepast, ondersteund met hulpmiddelen zoals duidingsmatrixen. Dit project vormt het inhoudelijke startpunt voor het vastleggen en beoordelen van proceskwaliteit binnen DGOW.

De werkgroep Kwaliteitsborging ontwikkelde de eerste versie van de Nieuwe Systematiek voor Kwaliteitsborging (NSKB). Deze systematiek bestrijkt het volledige proces van contractvoorbereiding tot exploitatie en maakt het mogelijk om kwaliteitsborging te verschuiven van controle achteraf naar continue procesbeheersing tijdens uitvoering. DGOW sluit hierop aan en richt zich op de praktische invulling van kwaliteitsborging op basis van verwerkingskwaliteit. Het vormt daarmee een cruciaal onderdeel in de datavoorziening voor de voortzetting van de NSKB. Het doorzetten van de NSKB is een aparte interventie binnen het NPDW.

De werkgroep Functioneel Opleveren (FO) ontwikkelde een systematiek waarmee de functionele eigenschappen van gerealiseerde verhardingsconstructies konden worden beoordeeld. Deze resultaten vormen de basis voor de interventie Functioneel Duiden, waarin wordt onderzocht in hoeverre verwerkingskwaliteit is te koppelen aan functionele eigenschappen en levensduur.

DGOW is de eerste interventie binnen de kennislijn "Kwaliteit en Prestatie," naast Functioneel Duiden en de implementatie van de definitieve NSKB. De relatie tussen DGOW en de Asphalt-Impuls projecten en de interventies NSKB en Functioneel Duiden is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: De relatie tussen verschillende Asphalt-Impuls projecten en NPDW-interventies

Hoofdstuk 2 Doelstelling en reikwijdte van de interventie

2.1 Doelstelling

Het doel van deze interventie is het ontwikkelen van een betrouwbaar, gestandaardiseerd en breed geaccepteerd systeem voor datagedreven opleveren van wegen, waarmee asfaltkwaliteit kan worden geborgd op basis van verwerkingsdata. Dit systeem bestaat uit methoden om het verwerkingsproces vast te leggen en te interpreteren, een beoordelingssystematiek die asfaltkwaliteit koppelt aan proceskwaliteit, en digitale hulpmiddelen zoals algoritmes voor dataverwerking, dashboards die verwerkingskwaliteit inzichtelijk maken voor betrokken partijen, en een gestructureerde dataopslag die vergelijking tussen projecten mogelijk maakt.

Het DGOW-systeem moet een toekomstbestendig alternatief vormen voor de huidige steekproefsgewijze kwaliteitsborging met puntmetingen. Door procesbeheersing bij de aanleg als resultaatsverplichting vast te leggen, draagt het bij aan een gelijkmatigere en daardoor hogere aanlegkwaliteit. Dit maakt de asfaltkwaliteit voorspelbaarder en vergroot de kans op een langere levensduur van wegverhardingen, zonder aanpassingen in ontwerp of mengselsamenstelling.

Door het DGOW-systeem te ontwikkelen, valideren en in de praktijk toe te passen, streven we naar structurele inbedding van procesbeheersing als onderdeel van kwaliteitsborging. Het einddoel is opname van deze aanpak in de RAW-systematiek vanaf 2030.

2.2 Randvoorwaarden voor succes

Opname in de RAW-systematiek is aan de orde wanneer uit evaluatie blijkt dat DGOW ten minste gelijkwaardige of aantoonbaar betere zekerheid biedt over asfaltkwaliteit dan de steekproefsgewijze aanpak, én wanneer er voldoende vertrouwen en acceptatie in de markt is voor dit systeem. Naast deze prestatie-eis moet DGOW voldoen aan de volgende randvoorwaarden:

- **Objectief:** Ongevoelig voor interpretatieverschillen
- **Betrouwbaar:** De methode geeft een representatief beeld van het verwerkingsproces.
- **Toegankelijk:** Inzetbaar voor uiteenlopende projecttypes, en bruikbaar voor zowel grote als kleine marktpartijen.
- **Beschikbaar:** De benodigde meetapparatuur is commercieel verkrijgbaar en praktisch toepasbaar.

Als laatste moet DGOW waar mogelijk vlakdekkend inzicht geven in het verwerkingsproces.

2.3 Afbakening van de scope

Om de ontwikkeling van DGOW gericht en uitvoerbaar te houden, is het van belang om duidelijk af te bakenen wat wél en wat niet onder de scope van deze interventie valt. DGOW richt zich op het vastleggen en benutten van verwerkingsdata tijdens de uitvoering, met als doel het borgen van asfaltkwaliteit. Daarbij zijn er randvoorwaarden en functionele grenzen waarmee rekening wordt gehouden.

Analyse per asfaltlaag

DGOW richt zich op de kwaliteitsborging van individuele asfaltlagen en uitvoeringseenheden. Binnen een werk waar meerdere lagen worden aangebracht kan de DGOW wel op de verschillende lagen worden toegepast. Beton- en elementenverhardingen vallen buiten de scope van DGOW.

Mengselkwaliteit en asfaltkwaliteit

Binnen DGOW wordt onderscheid gemaakt tussen mengselkwaliteit en asfaltkwaliteit. Mengselkwaliteit ontstaat bij de productie in de asfaltcentrale en kan tijdens transport nog worden beïnvloed. Asfaltkwaliteit is het eindresultaat van zowel mengsel- als verwerkingskwaliteit.

DGOW richt zich op het vastleggen van verwerkingsparameters om daarmee de uiteindelijke asfaltkwaliteit voorspelbaar en aantoonbaar te maken. Dat kan alleen wanneer de kwaliteit van het aangeleverde mengsel voldoet aan de mengselkwaliteitseisen. Het vastleggen van mengselkwaliteit valt daarom wél binnen de scope van DGOW, maar het afleiden daarvan uit verwerkingsdata is nadrukkelijk niet het doel.

Onderlagen en ondergrond

De ondergrond waarop een nieuwe laag asfalt wordt gelegd heeft een grote invloed op het effect van de verwerking van de nieuwe laag. Een ondergrond die een slecht klankbodem vormt -bijvoorbeeld door onvoldoende draagvermogen, verdichting of grote variatie in vlakheid- kan bij een homogene verwerking lijden tot een inhomogene asfaltkwaliteit. De kwaliteit van de onderlaag moet dus gekeurd voldoende zijn. Het borgen van deze kwaliteit valt niet onder het DGOW-systeem maar hoort wel bij de doorzetten van het implementeren van de NSKB. Uitgangspunt is dat elke nieuwe laag wordt aangebracht op een onderlaag die voldoet aan de gestelde eisen. Strikt genomen betekent dit dat elke laag wordt gekeurd en geaccepteerd vóór overlaging, zoals vast te stellen in het keurings- en acceptatieplan volgens de NSKB. Hierbij wordt rekening houden met kwaliteitsrisico's én praktische werkbaarheid.

Mengsels en wegvakken

Binnen DGOW worden zoveel mogelijk gangbare asfaltmengsels en wegvakken meegenomen. Dit betekent dat niet alleen rechte wegvakken onder de scope vallen, maar ook bochten, rotondes, kruispunten en andere wegvakken. Op deze manier wordt het systeem breed ontwikkeld en gevalideerd onder uiteenlopende omstandigheden, zoals die in de praktijk voorkomen.

Traditioneel onderzoek en opleveren

Voor ieder individueel meetvak wordt door het NPDW een keuringsplan opgesteld. Dit met als uitgangspunt de Standaard RAW Bepalingen volgens art. 81.24.04 'Inrichting van het onderzoek naar de samenstelling en de eigenschappen van het asfalt'. Hiervan wordt op een aantal punten afgeweken in aantallen en procedures, waardoor er geen sprake is van formele 'eindcontrole' (of 'opleveringsonderzoek'). Wel worden alle onderzoeken conform de Standaard en onder accreditatie uitgevoerd.

Nieuwe meetmethodieken

Voor het vastleggen van verwerkingskwaliteit wordt zo veel mogelijk gebruikgemaakt van vlakdekkende meetmethodieken. Als geen geschikte vlakdekkende alternatieven beschikbaar zijn, kunnen ook puntmetingen worden toegestaan, mits deze voldoen aan de gestelde randvoorwaarden op het gebied van betrouwbaarheid en toepasbaarheid.

Ontwikkeling van toolsets

Het DGOW-systeem bestaat uit een samenhangende set van digitale tools die kwaliteitsborging op basis van verwerkingsdata mogelijk maken. Binnen de scope van deze interventie vallen daarom ook de ontwikkeling en beproeving van de benodigde toolsets. Concreet gaat het om:

- **Dataverwerkingsalgoritmes**, waarmee ruwe sensordata worden vertaald naar bruikbare verwerkingsparameters.
- **Gebruikersinterfaces (dashboards)**, waarmee opdrachtnemers en opdrachtgevers inzicht krijgen in verwerkingskwaliteit tijdens en na de uitvoering.
- **Een centraal dataplatform**, waarmee gegevens veilig en gestructureerd worden opgeslagen en verwerkingskwaliteit project overstijgend kan worden geanalyseerd.

Deze tools vormen samen het digitale fundament van het DGOW-systeem en zijn essentieel om de werkwijze betrouwbaar, reproduceerbaar en toekomstbestendig te maken.

Hoofdstuk 3 Aanpak, fasering en deelproducten

3.1 Praktische aanpak in regulier asfaltprojecten

De ontwikkeling van het DGOW-systeem vindt plaats in de praktijk, met als doel een compleet, betrouwbaar en gestandaardiseerd systeem op te leveren dat vanaf 2030 kan worden opgenomen in de RAW-systematiek. Om dit te realiseren, wordt in de periode tot en met 2028 toegewerkt naar een gevalideerde werkwijze. Deze wordt getest, geëvalueerd en verfijnd binnen 100 reguliere asfaltprojecten die zijn geselecteerd als representatieve pilotprojecten. In deze DGOW-meetvakken wordt het volledige systeem toegepast: van dataverzameling tot duiding, visualisatie en opslag. De aanpak is iteratief, praktijkervaringen en feedback van opdrachtgevers en opdrachtnemers worden structureel gebruikt om het systeem en de bijbehorende tools bij te stellen.

Een belangrijk onderdeel van de projecten is het verzamelen van verwerkingsdata met hoge resolutie en betrouwbare kwaliteit. Vanaf de start wordt gewerkt met het hoogste detailniveau, omdat het achteraf niet mogelijk is om de resolutie van de data te verhogen. Vastleggen op maximale resolutie is daarmee essentieel voor zowel de ontwikkeling als de validatie van het systeem. Naast verwerkingsdata worden ook mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen vastgelegd. Dit is nodig om enerzijds de mengselkwaliteit vooraf te kunnen borgen, en anderzijds om de resultaten van het DGOW-systeem te kunnen vergelijken met de huidige kwaliteitsborging op basis van boorkernen.

Om te waarborgen dat alle benodigde data daadwerkelijk worden verzameld in DGOW-meetvakken, wordt dit bij lopende werken in een vroeg stadium contractueel vastgelegd, bij voorkeur via een verzoek tot wijziging (VTW) door de opdrachtgever. Zo ontstaat een sluitende borging voor het vastleggen van de gegevens die nodig zijn voor de ontwikkeling en evaluatie van DGOW.

Belangrijk is dat de DGOW-meetvakken uitsluitend dienen ter ondersteuning van de ontwikkeling. De formele oplevering van de 100 DGOW-werken verloopt volgens de reguliere afspraken tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. De gegenereerde inzichten uit DGOW-meetvakken hebben in deze fase dan ook geen enkele juridische status.

De verzamelde data worden verwerkt en gevisualiseerd in dashboards die binnen de interventie worden ontwikkeld, en toegankelijk zijn voor zowel opdrachtgever als opdrachtnemer. In deze dashboards worden verschillende vormen van visualisatie beschikbaar: van detailkaarten met verwerkingsparameters tot geaggregeerde KPI's op projectniveau. De ontwikkeling is iteratief: inzichten uit de praktijk leiden tot aanpassingen van de dashboards, die steeds worden getoetst aan de behoeften van opdrachtgevers en opdrachtnemers (objectief, betrouwbaar en toegankelijk). Waarbij verschillende methoden worden getest en geïntegreerd om asfaltkwaliteit te borgen op basis van verwerkingsdata.

3.1.1 Wat is een DGOW-meetvak

Een DGOW-meetvak is een regulier werk waarin aanvullend data worden verzameld over de mengselkwaliteit, het verwerkingsproces en de uiteindelijke asfaltkwaliteit. Deze gegevens zijn essentieel voor de ontwikkeling en validatie van het DGOW-systeem en maken vergelijking mogelijk met de huidige kwaliteitsborging systematiek op basis van steekproeven.

De projecten variëren in omvang en type: van het vervangen van een deklaag op een rotonde tot de aanleg van een nieuwe tussenlaag op een snelweg. Het DGOW-systeem wordt ontwikkeld voor brede toepassing in de sector. Daarom is het belangrijk dat de 100 geselecteerde DGOW-meetvakken samen een representatief beeld geven van de variatie aan reguliere asfaltprojecten.

Een DGOW-meetvak beslaat de fasen pre-productie, productie, verwerking en oplevering van een regulier werk. In elke fase wordt specifieke data vastgelegd:

- Pre-productie: Er wordt een bemonsteringsplan opgesteld en de opdrachtnemer levert een verwerkingsplan aan. Dit bevat onder andere informatie over bijvoorbeeld de gewenste temperaturen tijdens het spreiden, en het aantal walsrol overgangen voor verdichting.
- Productie: Vlak voor verwerking worden hoppermonsters genomen om de mengselkwaliteit vast te leggen en te borgen.
- Verwerking: Het asfaltverwerkingsproces wordt vlakdekkend geregistreerd met behulp van sensoren, vergelijkbaar met de PQi-methode van ASPARi.
- Oplevering: Productiegegevens, zoals weegbonnen, worden verzameld. Daarnaast worden monsters overgedragen aan een geaccrediteerd lab, door het NPDW geselecteerd laboratorium. De analyseresultaten worden gedeeld met opdrachtgever en opdrachtnemer.

3.1.2 Zo verloopt een DGOW-meetvak stap voor stap

Een DGOW-meetvak volgt een vast stappenplan, gericht op het systematisch en gestructureerd verzamelen van data. In de onderstaande stappen wordt op hoofdlijnen beschreven hoe data worden verzameld, verwerkt en weergegeven binnen het DGOW-systeem. De nadruk ligt hierbij op de processtappen. De specifieke tools en producten die dit mogelijk maken, zoals meetprotocollen, verwerkingsalgoritmes en dashboards, worden verder uitgewerkt in hoofdstuk 4 over de deelproducten van het DGOW-systeem.

Selectie van een geschikt project

Op basis van nader te bepalen criteria worden reguliere asfaltprojecten geselecteerd die geschikt zijn als DGOW-meetvak. Daarbij wordt gekeken naar representativiteit en de mogelijkheid om kwalitatief hoogwaardige data te verzamelen. Zo blijft de focus behouden op een robuuste dataset voor validatie.

Contractuele vastlegging via een VTW

De toepassing van DGOW wordt vastgelegd via een VTW. Daarmee worden afspraken geborgd over dataverzameling en verantwoordelijkheden van alle betrokken partijen.

Gezamenlijke voorbereiding met opdrachtgever en opdrachtnemer

Voordat het werk van start gaat, vindt er een gezamenlijke voorbereiding plaats tussen opdrachtgever, opdrachtnemer en het NPDW. Tijdens deze voorbereiding worden afspraken gemaakt over praktische zaken zoals de planning, de specifieke uitvoereenheden binnen het werk en het opstellen van bemonstering en verwerkingsplannen. Het NPDW levert ook een meetdagbegeleider om de opdrachtnemer en opdrachtgever van de praktische zaken van een DGOW-meetvak op de meetdag te ontzorgen.

Opstellen van bemonsteringsplan en verwerkingsplan

Voorafgaand aan de uitvoering stelt het NPDW een bemonsteringsplan op en levert de opdrachtnemer een verwerkingsplan aan. Hierin wordt vastgelegd welke locaties bemonsterd zullen worden en hoe het asfaltverwerkingsproces wordt uitgevoerd.

Bemonstering voor verwerking

Op de dag(en) van verwerking wordt er vlak voor de asfaltspreiding bemonsterd doormiddel van hoppermonsters genomen door de meetdagbegeleider. Op deze manier kunnen mengseleigenschappen bepaald worden zonder achteraf boorkernen te nemen.

Metten van verwerkingsparameters tijdens de uitvoering

Op de dag(en) van verwerking wordt het asfaltverwerkingsproces nauwkeurig gevolgd. Met behulp van sensoren wordt data verzameld over verwerkingsparameters zoals temperatuur, en wals patronen. Deze gegevens worden vlakdekkend vastgelegd om een compleet beeld te krijgen van de verwerkingskwaliteit. De meetdagbegeleider zorgt voor de correcte montage en werking van de sensoren.

Verwerken en analyseren van meetgegevens

Direct na uitvoering worden de verzamelde ruwe data verwerkt door het NPDW, dit kan op afstand en gebeurt met een gestandaardiseerde werkwijze. Op basis van deze verwerkte data kan het bemonsteringsplan worden aangevuld met extra monsterneming op locaties die bijdragen aan de validatie van het DGOW-systeem.

Bemonstering na verwerking

Tijdens en na het verwerkingsproces worden boorkernen genomen voor het bepalen van de uiteindelijke asfaltkwaliteit. Dit gebeurt volgens het eerder vastgestelde bemonsteringsplan.

Onafhankelijk onderzoek van monsters

De genomen monsters worden onderzocht in een onafhankelijk laboratorium, onafhankelijk van opdrachtgever en opdrachtnemer. Hiermee wordt de kwaliteit van mengsel en gerealiseerd asfalt objectief vastgesteld. De resultaten van het laboratoriumonderzoek worden gerapporteerd aan zowel de opdrachtgever als de opdrachtnemer.

Visualisatie resultaten en toepassing DGOW-systeem

Alle verwerkingsparameters, productkwaliteit metingen en verwerkingskwaliteit indicatoren worden weergegeven in een geüniformeerd dashboard. Hierdoor krijgen betrokken partijen inzicht in de prestaties en de meerwaarde van het DGOW-systeem.

Feedbacksessie

Tot slot vinden er feedbacksessies plaats met de opdrachtgever en opdrachtnemer. In deze sessies worden ervaringen uitgewisseld, verbeterpunten geïdentificeerd en aanbevelingen gedaan voor verdere verfijning van het DGOW-systeem. Er wordt niet na elk DGOW-meetvak een feedbacksessie georganiseerd, maar meerdere DGOW-meetvakken worden gecombineerd.

3.2 Projectfasering

Om de ontwikkeling en validatie van het DGOW-systeem succesvol af te ronden vóór 2028, is een duidelijke en stapsgewijze aanpak nodig. De ontwikkeling is daarom opgedeeld in vijf opeenvolgende fasen. Elke fase draagt bij aan de vormgeving, toetsing en voorbereiding van het systeem op brede toepassing in de sector.

Fase I – Ontwikkeling en Ontwerp

In deze fase worden de eerste concepten uitgewerkt. Denk aan het definiëren van datavereisten, het ontwikkelen van protocollen voor dataverzameling en -verwerking, en het opstellen van standaardteksten voor de uitvraag in DGOW-meetvakken. Ook worden de eerste versies van algoritmes, dashboards en opslagformaten ontworpen.

Fase II – Testen en Verfijnen

De ontwikkelde concepten en tools worden getest in een aantal kleinschalige pilots. Denk aan eerste versies van meetsets, dashboards, duidingsmethodes en opslagstructuren. Op basis van praktijkervaringen worden deze tools aangescherpt, vereenvoudigd of uitgebreid waar nodig. De nadruk ligt op technische haalbaarheid, gebruiksgemak en betrouwbaarheid.

Fase III – Implementatie

Het DGOW-systeem wordt toegepast in een bredere selectie van reguliere asfaltprojecten. Hierbij worden dataverzameling en rapportage gestandaardiseerd, en worden de tools (zoals het dashboard en verwerkingsalgoritme) verder voorbereid op opschaling. Ook wordt gekeken naar robuustheid en compatibiliteit met uiteenlopende machines en projectomstandigheden.

Fase IV – Analyse en Beoordeling

In deze fase worden de verzamelde data systematisch geanalyseerd. Er wordt gewerkt aan een onderbouwde koppeling tussen verwerkingskwaliteit en asfaltkwaliteit. Hiervoor worden diverse indicatoren ontwikkeld en getest, waaronder de PQi-score van ASPARi, de Effective Compaction Rate (ECR) en risicocontourplots (RCP). Er is ruimte om alternatieve KPI's te verkennen, zolang deze bijdragen aan een objectieve en praktische duiding.

Fase V – Validatie en Standaardisatie

De methodiek wordt verder toegepast op de resterende projecten en gevalideerd in een brede praktijktoepassing. Bij bewezen betrouwbaarheid en toepasbaarheid wordt het DGOW-systeem voorbereid op opname in de RAW-systematiek. In deze fase wordt ook de afstemming gezocht met gerelateerde interventies zoals Functioneel Duiden en de Nieuwe Systematiek Kwaliteitsborging (NSKB).

3.3 Interventieonderdelen DGOW

Voor de ontwikkeling en validatie van het DGOW-systeem is een samenhangende set voorschriften, protocollen en hulpmiddelen nodig. Deze interventieonderdelen worden tijdens de 100 pilotprojecten ingezet om data te verzamelen, te verwerken en te vertalen naar bruikbare inzichten. De onderdelen zijn verdeeld in vier hoofdcategorieën, zoals weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: Interventieonderdelen DGOW

Projecten werven

Om DGOW in reguliere werken toe te passen, is een eenduidige en herkenbare uitvraag nodig. We hanteren een selectiematrix met criteria waarmee projecten worden beoordeeld op geschiktheid en waarmee voldoende variatie in de dataset wordt gegarandeerd. Er zijn standaard teksten voor een verzoek tot wijziging (VTW) of als contract bijlage ontwikkeld die het verzamelen en aanleveren van data contractueel vastleggen tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Tot slot zorgen data-eigendoms- en gebruikersafspraken voor heldere juridische afspraken over rechten, plichten en verantwoordelijkheden rond de verzamelde data.

Data verzamelen

In DGOW-meetvakken wordt data verzameld over mengseleigenschappen, asfaltkwaliteit, constructieopbouw en het verwerkingsproces. We werken hiervoor met een dataverzamelpplan dat in de praktijk wordt getest en verfijnd. Voor het opslaan en delen van gegevens hanteren we een standaard opslag- en uitwisselformaat, afgestemd op bestaande sectorstandaarden waar mogelijk. De metingen zelf worden uitgevoerd conform het meet- en kalibratieprotocol DGOW, waarin is vastgelegd hoe sensoren worden geïnstalleerd, gekalibreerd en onderhouden.

Data verwerken

Om verzamelde data om te zetten in betrouwbare inzichten, hanteren we een dataverwerkingsplan. Alle gegevens worden verwerkt met een standaard dataverwerkingsalgoritme, dat transparant en reproduceerbaar is opgezet. De opslag en verwerking vinden plaats via het centraal dataplatform DGOW, waar zowel ruwe als verwerkte data beschikbaar zijn voor geautoriseerde partijen. Kwaliteitscontroles en metadata-standaarden zorgen voor herleidbaarheid en consistentie.

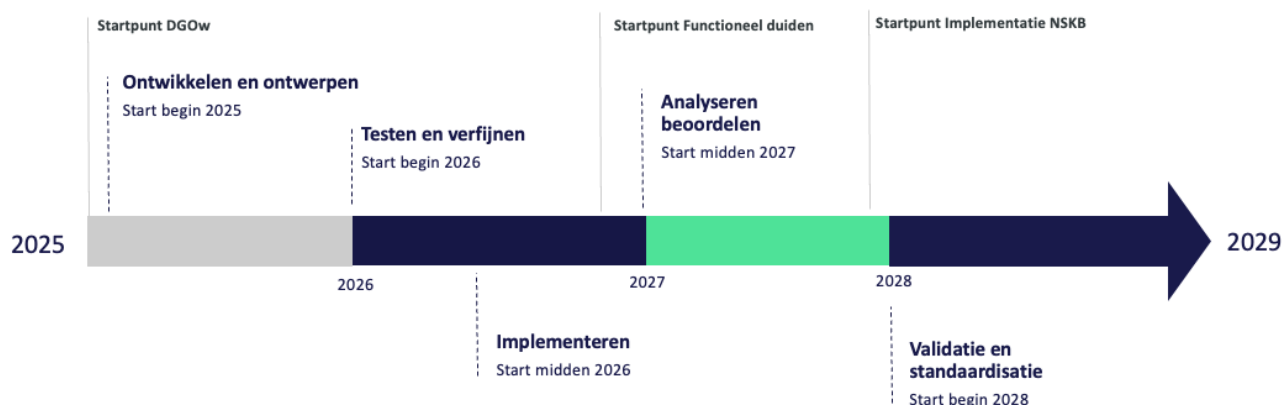
Data-analyse en rapportage DGOW

De laatste stap is het analyseren, interpreteren en rapporteren van de gegevens. We ontwikkelen een beoordelingsmethodiek proces- en asfaltkwaliteit, die verwerkingsparameters koppelt aan het uiteindelijke kwaliteitsresultaat. Deze methodiek wordt ontsloten via het interactieve DGOW-dashboard, waar opdrachtgevers en opdrachtnemers direct inzicht krijgen in procesverloop, spreiding van parameters en mogelijke risico's. Resultaten worden vastgelegd in het standaard digitaal opleverdossier DGOW, zodat alle betrokkenen over een uniforme, herleidbare rapportage beschikken en datasets kunnen toepassen in eigen beheerpakketten.

Hoofdstuk 4 Planning en tijdlijn

4.1 Fasering in de tijd

Figuur 3 toont de verschillende fasen in de ontwikkeling en validatie van DGOW. De eerste dataverzameling in DGOW-meetvakken start in 2026. Het is het streven om Q3 2028 gereed te zijn met het uitvoeren van de 100 projecten.



Figuur 3: Fasering DGOW

4.2 Mijlpalen

Om de ontwikkeling en validatie van DGOW richting 2028 succesvol te doorlopen, zijn er duidelijke mijlpalen vastgesteld. Deze mijlpalen markeren de voortgang van het project en helpen om de stappen richting een gestandaardiseerd en gevalideerd systeem goed te bewaken. Het overzicht in Tabel 1 toont de belangrijkste momenten in het traject, van eerste ontwerp tot de beoogde opname in de RAW-systematiek. De Werk Groep Asfaltverhardingen (WGA) van het CROW wordt actief betrokken bij dit gehele traject.

Tabel 1: Mijlpalen

NR.	MIJLPAAL
1	Eerste versie van het DGOW-systeem (inclusief meet- en verwerkingsplan) opgesteld en getest in één pilotproject
2	Functionerende meetapparatuur en dataverwerkingsketen beschikbaar voor bredere toepassing
3	25 DGOW-meetvakken succesvol uitgevoerd, eerste inzichten beschikbaar
4	Oplevering conceptversie duidingsmatrix voor proceskwaliteit
5	Validatietraject gestart: parallelle vergelijking met traditionele werkwijze
6	Positieve evaluatie: Het DGOW-systeem voldoet aan randvoorwaarden
7	Eindrapportage en voorstel voor opname in RAW-systematiek

Hoofdstuk 5 Belanghebbenden en betrokken partijen en communicatie

De ontwikkeling en validatie van het DGOW-systeem vraagt om nauwe samenwerking tussen verschillende partijen uit de sector. Zowel opdrachtgevers, opdrachtnemers als kennisinstellingen spelen hierin een rol. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste belanghebbenden en betrokken partijen beschreven, evenals de organisatie en communicatiestrategie rondom de uitvoering van de interventie.

5.1 Directe belanghebbenden

Nederland als geheel (B.V. Nederland)

Nederland heeft stevige klimaatdoelen en staat voor een enorme onderhoudsopgave. Het verbeteren van de aanlegkwaliteit van asfaltverhardingen helpt wegen langer mee te laten gaan, onderhoud voorspelbaarder te maken en slimmer om te gaan met materialen. Daarmee ondersteunt DGOW het 'reduce'-principe en draagt het bij aan maatschappelijke doelen zoals bereikbaarheid, duurzaamheid en efficiëntie.

Opdrachtgevers

Voor opdrachtgevers biedt DGOW een kans om beter en vlakdekkend inzicht te krijgen in de asfaltkwaliteit zonder destructieve metingen. Dit verhoogt de voorspelbaarheid van prestaties en ondersteunt het sturen op levensduur en risicobeheersing.

Opdrachtnemers

Voor opdrachtnemers betekent DGOW dat kwaliteitsborging tijdens de uitvoering plaatsvindt. Ze kunnen near real-time inzicht krijgen in hun prestaties en kunnen daarmee actiever sturen op kwaliteit. DGOW biedt daarmee de potentie om sneller, transparanter en met meer zekerheid op te leveren.

5.2 De rol van ASPARI

ASPARI speelt een essentiële rol bij de ontwikkeling van de deelproducten binnen het DGOW-systeem. Als toonaangevend kennisnetwerk op het gebied van asfaltprocesbeheersing levert ASPARI wetenschappelijke ondersteuning bij het ontwikkelen van methodieken, algoritmes en tools voor dataverwerking en duiding.

Gedurende de hele looptijd van de interventie is een PhD-student betrokken bij het analyseren van de verzamelde data. Deze wetenschappelijke begeleiding richt zich op het onderbouwen van de relatie tussen verwerkingskwaliteit en asfaltkwaliteit, en het formuleren van de randvoorwaarden voor betrouwbare kwaliteitsborging op basis van het asfaltverwerkingsproces.

Daarnaast kunnen diverse deelproducten worden ingezet als onderwerp voor afstudeeronderzoek binnen ASPARI.

5.3 Overige betrokken partijen

Naast de drie hoofdgroepen zijn er andere partijen met een duidelijke rol in de ontwikkeling en toepassing van DGOW:

- **CROW:** Belangrijk voor de uiteindelijke opname in standaarden en richtlijnen. Speelt een centrale rol in de standaardisatie.
- **Onderzoeksinstituten:** Cruciaal voor kennisopbouw en validering. Leveren expertise over dataverzameling en analyseren de relatie tussen proces en product.
- **Asfaltproducenten:** Leveranciers van het mengsel. Belangrijk om gegevens over de mengselkwaliteit te kunnen borgen.
- **Laboratoria:** Verantwoordelijk voor onafhankelijke analyse van monsters.
- **Sensor- en machinefabrikanten:** Leveren meetapparatuur voor de dataverzameling voor DGOW.

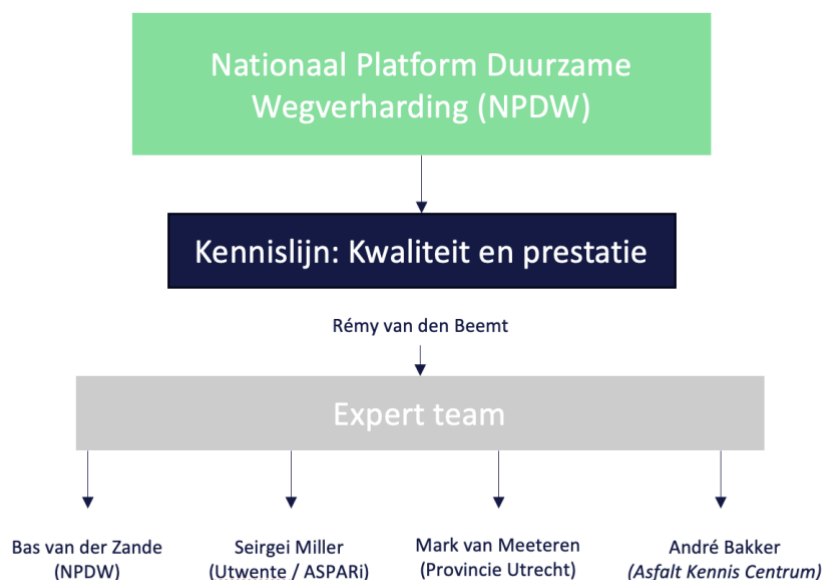
In Figuur 4 zijn alle belanghebbenden weergegeven in een invloed/interesse-matrix, met bijbehorende communicatiestrategieën.



Figuur 4: Invloed/Interesse matrix belanghebbenden DGOW

5.4 Organisatie

De uitvoering van deze interventie als onderdeel van het NPDW valt onder de kennis lijn kwaliteit en prestatie met als projectleider Remy van den Beemt. Het expertteam wat onder deze kennislijn valt en zich bezighoudt met deze interventie bestaat uit Peter Collard en Bas van der Zande. Naast het expertteam wordt er een taakgroep opgericht met kennisdragers voor het ondersteunen op concrete vraagstukken bij de ontwikkeling en validatie van het DGOW-systeem.



Figuur 5: Organisatiestructuur ontwikkeling en validatie DGOW

5.5 Communicatie en kennisdeling

Effectieve communicatie en kennisdeling zijn essentieel voor het slagen van de interventie DGOW. Gedurende het project worden verschillende middelen ingezet om betrokken partijen te informeren, betrekken en voorzien van relevante inzichten.

Binnen het sectorteam wordt regelmatig de voortgang toegelicht en is er ruimte voor vragen en inhoudelijke feedback. Daarnaast vinden na afloop van elk DGOW-meetvak gerichte feedbacksessies plaats met opdrachtgevers en opdrachtnemers, zodat praktijkervaringen direct kunnen worden meegenomen in de verdere ontwikkeling en verfijning van het systeem.

Ook wordt actief ingezet op kennisdeling via seminars en congressen, waar tussentijdse resultaten en geleerde lessen uit de praktijk worden gedeeld en nog belangrijker, waar de behoefte van de opdrachtnemers en opdrachtgevers wordt geïnventariseerd. Belangrijke documenten zoals het projectplan, protocollen en tools worden toegankelijk gemaakt voor belanghebbenden om kennis te verspreiden en het draagvlak te vergroten.

Hoofdstuk 6 Interventie

onderdelen I – Projecten werven

6.1 Selectiematrix DGOW-geschiktheid

In principe kan binnen elk regulier asfaltproject een DGOW-meetdag worden uitgevoerd; vooraf worden geen werken uitgesloten. Wel weegt zwaar dat de validatie van het DGOW-systeem voldoende representatieve data met voldoende variatie vereist. Daarom sturen we actief op een gerichte selectie van werken.

Selectiematrix

Tabel 2 toont de selectiematrix met het minimale aantal beoogde werken per combinatie van mengsel en wegtype. Ook andere factoren spelen een belangrijke rol, zoals het percentage gerecycled materiaal, de toepassing van modificaties en de productietemperatuurcategorie (HMA of WMA). Het expertteam bewaakt deze factoren en stuurt waar nodig bij, om te voorkomen dat bepaalde categorieën te sterk vertegenwoordigd raken.

Tabel 2: Selectiematrix DGOW-meetvakken

Mengsel			Wegtype*			
Soort Laag	Type mengsel	Gradering	Rechtstand	Rotonde	Kruising/t-splitsing	
Onderlaag	AC-BASE	16 of 22	≥5	≥5	≥5	≥10
Tussenlaag	AC-BIN	16				≥10
Deklaag	AC-SURF	8	≥3	-	≥3	≥6
		11 of 16	≥4	≥4	≥4	≥12
	SMA	NL-8 of NL-11	≥5	≥5	≥5	≥15
		8G+	≥5	-	-	≥5
	DZOAB	16	≥5	-	-	≥5
	2L-ZOAB	5 of 8	≥8	-	-	≥8
		16	≥5	-	-	≥5
	DGD	5	≥5	-	-	≥5
			≥45	≥14	≥17	

*Bij het kenmerk: wegtype, kan één werk in meerdere categorieën vallen.

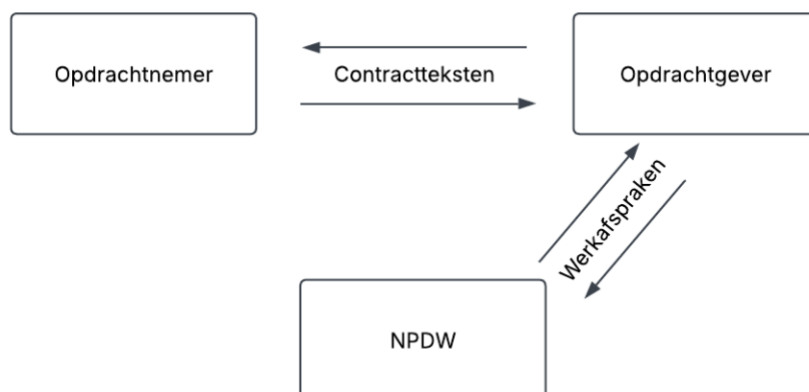
Randvoorwaarden

- De minimale lengte van een aan te leggen wegvak is 300 meter; rotondes en kruispunten mogen hier deel van uitmaken.
- Een DGOW-meetdag heeft betrekking op één laag.
- Handwerk mag beperkt aanwezig zijn; als vuistregel geldt maximaal 5%.
- Zowel HMA als WMA komen in aanmerking.
- Voor een betrouwbaar GPS-sigitaal is voldoende vrij hemelzicht nodig: boven minimaal 90% van de minimale 300 meter mag geen begroeiing direct boven het wegdek hangen, en ook de zijanten van het wegdek moeten voldoende vrij zijn.

6.2 Werkinstructies en contractteksten

Het aanmerken van een regulier werk als DGOW-meetvak gebeurt contractueel op twee manieren: bij lopende contracten via een bijlage bij een verzoek tot wijziging (VTW), en bij nieuwe contracten via een reguliere bijlage. In beide gevallen worden hierin de verantwoordelijkheden tussen opdrachtgever en opdrachtnemer vastgelegd.

NPDW is geen contractpartner in een aangewezen DGOW-meetvak. NPDW maakt daarom werkafspraken met de opdrachtgever en voorziet de opdrachtgever van de benodigde contractteksten om een reguliere dag in een asfaltproject aan te merken als DGOW-meetvak (Figuur 6).



Figuur 6: Contractuele relaties bij DGOW-meetvakken

De verantwoordelijkheden en afspraken komen in het kort op het onderstaande neer. De volledige contracttekst (VTW-variant) is opgenomen in Bijlage 2. Voor nieuwe contracten is ook een bijna identieke versie beschikbaar. In de contractteksten zijn ook de data-governance afspraken opgenomen.

Verantwoordelijkheden NPDW

- Werkafspraken maken met opdrachtgever
- Voorbeeld contractteksten voor vaststellen DGOW-meetvak aan opdrachtgever aanleveren
- Verwerkingsplan template aanleveren
- Opstellen boorplan en markeren boorlocaties

Verantwoordelijkheden Opdrachtgever

- Vaststellen mogelijke reguliere werken voor DGOW-meetvakken
- Geselecteerde DGOW-meetvakken vaststellen met de aangeleverde contractteksten

Verantwoordelijkheden Opdrachtnemer

- Vaststellen dag van uitvoering
- Werktekening aanleveren van de voor het DGOW-meetvak geselecteerde laag
- Verwerkingsplan invullen aanleveren
- CE-verklaring en verkort verslag aanleveren
- Meetdagbegeleider NPDW toestaan om metingen op het werk en machines uit te voeren (monteren/monitoren sensoren)
- Boorkernen nemen op gemarkeerde locaties (binnen 2 weken na aanleg)
- Ter beschikking stellen boorkernen aan opdrachtgever (binnen 2 weken na boring)

Hoofdstuk 7 Interventie

onderdelen II – Data verzamelen

7.1 Dataverzamelingsplan

Voor de ontwikkeling en validatie van het DGOW-systeem is betrouwbare dataverzameling essentieel. Op basis van dit plan van aanpak wordt in 100 DGOW-meetvakken op een consistente en uniforme wijze data verzameld. De in dit dataverzamelingsplan beschreven werkwijze is nog niet definitief, deze wordt waar nodig verfijnd gedurende pilots en de eerste DGOW-meetvakken.

Net als de volledige DGOW-aanpak moet ook de dataverzameling voldoen aan vier randvoorwaarden om in aanmerking te komen voor opname in de RAW-systematiek:

- **Objectief:** Ongevoelig voor interpretatieverschillen
- **Betrouwbaar:** De methode geeft een representatief beeld van het verwerkingsproces.
- **Toegankelijk:** Inzetbaar voor uiteenlopende projecttypes, en bruikbaar voor zowel grote als kleine marktpartijen.
- **Beschikbaar:** De benodigde meetapparatuur is commercieel verkrijgbaar en praktisch toepasbaar.

Datakwaliteit

Het DGOW-systeem vereist het gedetailleerd en nauwkeurig vastleggen van verwerkingsdata. Kwaliteitsborging op basis van verwerkingskwaliteit vraagt om betrouwbare, uniforme en reproduceerbare data, anders is verantwoorde toepassing simpelweg niet mogelijk. We onderscheiden drie niveaus van toepassing, waarbij DGOW voortbouwt op bestaande kennis en wordt ontwikkeld vanuit het hoogste detailniveau:

- *Niveau 1 – Procesverbetering (ASPARI's PQi metingen)*
De oorsprong. Hier wordt het verwerkingsproces geanalyseerd om inzicht te krijgen in trends en verbeterpotentieel. Dit heeft geleid tot bewustwording en betere procesbeheersing, maar kent nog geen formele borgingsstructuur.
- *Niveau 3 – Fundamentele onderbouwing (DGOW-meetvakken)*
De 100 DGOW-meetvakken worden uitgevoerd op dit hoogste detailniveau. Hier verzamelen we data om de relatie tussen verwerkingsparameters en uiteindelijke asfaltkwaliteit te onderbouwen. Dit is nodig om te komen tot een valide, reproduceerbare systematiek met bewezen meerwaarde.
- *Niveau 2 – Kwaliteitsborging (beoogde toepassing DGOW)*
Het doel: een breed toepasbare, gestandaardiseerde aanpak voor het borgen van aanlegkwaliteit op basis van verwerkingsdata met voldoende betrouwbaarheid. De invulling van niveau 2 kan worden bepaald op basis van data vastgelegd op niveau 3.

Kortom: DGOW ontwikkelt zich met datakwaliteit op niveau 3, zodat kwaliteitsborging met datakwaliteit op niveau 2 verantwoord en toekomstbestendig kan worden toegepast. Dat vereist hoge datakwaliteit aan de basis, niet als luxe, maar als voorwaarde.

DGOW-meetvakken en meetapparatuur

In de DGOW-meetvakken wordt meetapparatuur beschikbaar gesteld aan opdrachtnemers voor het vastleggen van verwerkingsparameters. Omdat iedere opdrachtnemer andere machines gebruikt, is het cruciaal dat de methodiek onafhankelijk is van merk of type. De apparatuur moet bovendien eenvoudig te monteren, verplaatsen en kalibreren zijn. In de 100 DGOW-meetvakken worden de opdrachtnemers ontzorgd in het plaatsen van de meetapparatuur door een door het NPDW beschikbaar gestelde meetdagbegeleider.

Sommige opdrachtnemers beschikken over eigen hardware voor het vastleggen van verwerkingsparameters. Binnen de 100 DGOW-meetvakken kan deze hardware naast de standaardapparatuur worden ingezet om dezelfde data te verzamelen. Dit biedt de mogelijkheid om verschillende systemen te vergelijken en te evalueren.

Mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen als referentie

Voor de ontwikkeling en validatie van DGOW is het belangrijk om de nieuwe werkwijze te kunnen vergelijken met de huidige praktijk. Daarom wordt er in de dataverzameling gewerkt met twee sporen: enerzijds het vastleggen van het verwerkingsproces met sensoren, en anderzijds het registreren van mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen op basis van monsterneming, zoals boorkernen.

Leeswijzer

Dit plan van aanpak beschrijft stapsgewijs hoe dataverzameling binnen DGOW-meetvakken plaatsvindt. In **Hoofdstuk 'Meetdagbegeleiding'** wordt uitgelegd hoe de dataverzameling in de praktijk wordt begeleid en hoe opdrachtgever en opdrachtnemer worden ontzorgd in het proces. In **Hoofdstuk 'Het vastleggen van het verwerkingsproces'** staat het vastleggen van verwerkingsparameters centraal, zoals temperatuur, snelheid en walsbewegingen, inclusief meetmethoden en technische specificaties. **Hoofdstuk 'Verzamelen van mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen'** richt zich op het verzamelen van mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen via monsterneming en laboratoriumonderzoek. In **Hoofdstuk 'Datastromen'** wordt benoemd 'hoe' en 'waar' data wordt opgeslagen. **Hoofdstuk 'Aanvullend onderzoek'** ten slotte gaat in op aanvullende onderzoeksvragen die waar mogelijk tijdens de pilotprojecten worden meegenomen, zoals bijvoorbeeld afkoelingscurves.

7.1.1 Meetdagbegeleiding

Het voorbereiden en uitvoeren van een DGOW-meetvak is voor veel opdrachtgevers en opdrachtnemers nieuw terrein. Hoewel de DGOW-aanpak in opzet vergelijkbaar is met de eerder toegepaste PQi-methodiek van ASPARi, zijn de eisen aan datakwaliteit binnen DGOW aanzienlijk strenger. Om het aanleveren van de juiste gegevens laagdrempelig te maken en de betrokken partijen te ontzorgen, wordt er structurele begeleiding ingericht.

Intake en voorbereiding

Opdrachtgevers en opdrachtnemers ontvangen gerichte ondersteuning bij de voorbereiding van het project en het opstellen van de benodigde gegevens. Deze begeleiding bestaat uit:

- **Uitlegsessie** – Bespreking van spelregels, selectiecriteria en projectgeschiktheid.
- **Vorbereidingssessie** – Gezamenlijke afstemming over planning, aan te leveren gegevens en benodigde ondersteuning.

Meetdagbegeleiding 100 DGOW-meetvakken

Opdrachtgevers en opdrachtnemers worden ondersteund bij de dataverzameling in de 100 DGOW-meetvakken door een meetdagbegeleider beschikbaar gesteld door het NPDW. Voor het vastleggen van de verwerkingsparameters is er de volgende begeleiding:

- **Sessie in de keet** – Een praktische toelichting op het waarom, waarmee en hoe van DGOW.
- **Meetdagbegeleiding**: Ondersteuning bij de montage en afbouw van de sensoren opstelling op de machines.
- **Evaluatiesessies**: Terugkoppeling na project 2 en project 5 met opdrachtgever en opdrachtnemers¹.

¹ Iedere opdrachtgever doet 5 DGOW-meetvakken

7.1.2 Het vastleggen van het verwerkingsproces

Overzicht vast te leggen parameters

Binnen DGOW wordt het verwerkingsproces inzichtelijk gemaakt door het vastleggen van verwerkingsparameters in vier categorieën: Weer, Spreiding, Verdichting en Logistiek.

Weer

Weersomstandigheden hebben invloed op het verwerkingsproces. Een lage omgevingstemperatuur leidt bijvoorbeeld tot versneld afkoelen van het asfalt, terwijl neerslag de kwaliteit van het oppervlak negatief kan beïnvloeden. Binnen DGOW worden daarom de volgende weerparameters vastgelegd:

- Omgevingstemperatuur
- Luchtvochtigheid
- Windsnelheid/ Windrichting
- Neerslag
- Zonneradiatie

Logistiek

Op een project worden asfaltvrachten met mogelijk verschillende eigenschappen geleverd en verwerkt. Voor kwaliteitsborging is het cruciaal om achteraf per vracht te kunnen herleiden waar deze is toegepast. Daarom worden de volgende gegevens per vracht vastgelegd:

- Weegbonnummer
- Starttijd lossen in hopper
- Eindtijd lossen in hopper
- Laad volume
- Naam producent
- Mengsel code
- Mengsel naam

Spreiding

Tijdens het spreiden van het asfalt zijn diverse factoren van invloed op de uiteindelijke asfaltkwaliteit. Door onderstaande parameters vast te leggen, kan inzicht worden verkregen in bijvoorbeeld spreidingsvariaties, temperatuurhomogeniteit en eventuele stilstand:

- Merk
- Type
- Snelheid
- Stopplekken
- Ondergrondtemperatuur
- Oppervlaktetemperatuur achter de balk
- Geasfalteerde afstand/lengte
- Geasfalteerde breedte
- Geasfalteerde dikte²
- Balktemperatuur
- Balkontlasting
- Snelheid stampmessen
- Gebruik shuttlebuggy / voorlader

² Voor het bepalen van laagdikte met een vlakdekkende methodiek zijn nog geen valideerde oplossingen beschikbaar. Er zijn wel gevalideerde methodieken voor non-destructieve puntmetingen voor laagdikte zoals de MIT-scan.

Verdichting

De verdichting is de laatste stap in het asfaltverwerkingsproces en heeft een grote invloed op de uiteindelijke asfalt kwaliteit.

Binnen DGOW worden daarom de volgende gegevens vastgelegd:

- Merk
- Type
- Gemiddeld gewicht³
- Walsrol configuratie⁴
- Snelheid
- Oppervlaktetemperatuur
- Trillingen (frequentie en amplitude) walsrollen
- Walsrolkarakteristiek
- Aantal walsovergangen
- Walsregime (Volgorde van de inzet van walsen)

Het vastleggen van verwerkingsparameters vereist metingen en observaties tijdens de verwerking. De benodigde metingen zijn weergegeven in Tabel 3. Alle sensordata wordt voorzien van datum en tijd, daarnaast wordt bij asfaltspreiding en verdichting ook de gps-locatie vastgelegd. Sommige parameters worden direct gemeten, andere, zoals stopplekken, worden afgeleid.

Tabel 3: Metingen gedurende de verwerking

Weer	Asfaltspreiding	Verdichting
Temperatuur	Ondergrondtemperatuur	Snelheid
Luchtvochtigheid	Oppervlaktetemperatuur	Oppervlaktetemperatuur
Windsnelheid	Snelheid	Frequentie
Windrichting	Positie	Amplitude
Neerslagvolume		Positie
Zonneradiatie		

Naast de metingen door sensoren zijn er ook gegevens die vanwege de complexiteit nog niet met meetapparatuur worden vastgelegd maar welke gedurende de verwerking als observatie kunnen worden genoteerd. Deze gegevens zijn te vinden in Tabel 4.

Tabel 4: Observaties gedurende de verwerking

Logistiek	Asfaltspreiding	Verdichting
Weegbon nummer	Merk spreidmachine	Merk wals
Startmoment lossen	Type spreidmachine	Type wals
Stopmoment lossen	Balktemperatuur	Gewicht wals
Kenteken trekker	Balkontlasting	Walsrol configuratie
	Snelheid stampmessen	

Verwerkingsplan

Naast het vastleggen van verwerkingsparameters is het essentieel om deze naast het verwerkingsplan te leggen, ook wel het verwerkingsvoorschrift genoemd. Dit plan beschrijft hoe het proces, onder standaard omstandigheden, dient te verlopen om de gewenste asfaltkwaliteit te bereiken. Om dit mogelijk te maken, stelt de opdrachtnemer voorafgaand aan de verwerking een verwerkingsplan op voor het te verwerken mengsel. Het template verwerkingsplan is te vinden in Bijlage 3.

³ Het gewicht van de wals is niet constant, daarom wordt gewerkt met een kaal gewicht zonder water/afstrooimiddel.

⁴ Dit is het aantal en de breedte van de walsrollen

Hardware voor het vastleggen van het verwerkingsproces

Het vastleggen van verwerkingsparameters binnen DGOW-meetvakken gebeurt met een combinatie van sensormetingen en visuele observaties. De metingen worden uitgevoerd met een set hardwarecomponenten waarin de benodigde software is geïntegreerd. Stevige montagebeugels zorgen voor een veilige en stabiele bevestiging op de machines. De verzamelde data worden gestructureerd opgeslagen voor verdere verwerking en analyse.

Sensoren

Om de verwerkingsparameters binnen de DGOW-meetvakken nauwkeurig vast te leggen, worden sensoren gemonteerd op zowel de asfaltspreidmachine als de walsen. Deze sensoren registreren non-destructief de verwerkingsparameters die van belang kunnen zijn voor het bepalen van de asfaltkwaliteit. In Tabel 5 is een overzicht gegeven van de verschillende sensoren die worden toegepast. De gekozen sensoren die op de machines worden geplaatst worden veelvuldig gebruikt in de wegenbouw en zijn voorzien van gekeurde behuizingen voor extreme omstandigheden.

Tabel 5: Overzicht van toe te passen sensoren

IR-temperatuursensor voor vlakken (IR-vlak sensor)	De IR-vlaksensor (Figuur 7) is een infraroodsensor die meerdere metingen tegelijk of kort achter elkaar kan uitvoeren over een oppervlakte. Deze sensor wordt achter de spreidbalk gemonteerd en meet de oppervlaktetemperatuur achter de balk over de volledige breedte van het asfalt.
IR-temperatuursensor voor puntmetingen (IR-Punt sensor)	Een IR-puntsensor (Figuur 8) is een infraroodsensor die de oppervlaktetemperatuur van een specifiek punt meet. Deze sensor wordt gebruikt voor het meten van de ondergrondtemperatuur op de spreidmachine en de oppervlaktetemperatuur onder de wals
Acceleratiesensor	Een acceleratiesensor (Figuur 9) meet trillingen in een object en registreert zowel de frequentie als de amplitude. Wanneer een wals dynamisch verdicht, kan er op basis van deze meetgegevens ook onderscheid gemaakt worden tussen vibrerende en oscillerende bewegingen.
Weersensoren (weerstation)	Een weerstation bestaande uit een combinatie van sensoren (Figuur 10). Deze eenheid bevat een temperatuur-, luchtvochtigheid-, wind en zonneradiatie sensor . De sensoren registreren daarmee weersinvloeden die de verwerking en afkoeling van asfalt beïnvloeden.



Figuur 7: IR-vlaksensor
[Bron: Völkel]



Figuur 8: IR-puntsensor
[Bron: Völkel]



Figuur 9: Acceleratiesensor
[Bron: Völkel]



Figuur 10: Weerstation [Bron: Crodeon]

GPS-ontvanger + antennes

Voor nauwkeurige locatiebepaling wordt op iedere machine een GPS-ontvanger met twee antennes geplaatst. Hiermee wordt elke meting gekoppeld aan een geografische positie én kan zowel de dynamische als de statische richting worden bepaald. De ontvanger gebruikt RTK-correctiesignalen voor een nauwkeurigheid tot <2 cm, zonder de vereiste voor een basisstation (Figuur 11). Ook de GPS-ontvanger en antennes zijn uitgevoerd in een behuizing gekeurd voor extreme omstandigheden.



Figuur 11: GPS-ontvanger met antennes [Bron: Septentrio]

4G-Gateway

De 4G-gateway op de machine fungeert als datalogger en modem. Deze leest sensordata uit via CAN-bus of ethernet en stuurt deze real-time door naar het NPDW-dataplatform. De gateway ondersteunt ook de GPS-ontvanger met netwerkverbinding voor RTK-correcties. Dankzij de interne synchronisatie op GPS-tijd worden alle metingen in het tijdsdomein op elkaar afgestemd. Bij aanpassingen in de opstelling kunnen er eenvoudig sensoren worden toegevoegd (Figuur 12).



Figuur 12: Industriële 4g inVehicle gateway met CAN-bus aansluiting [Bron: InHand]

Voeding/ stroomvoorziening

Om de betrouwbaarheid van de metingen te waarborgen, wordt gewerkt met een zelfstandig batterijpakket dat ten minste 12 uur meegaat. Hoewel voeding via het interne stroomsysteem van de machine mogelijk is, wordt een eigen voeding aanbevolen om afhankelijkheid van de machine te voorkomen. In Bijlage 4 is het maximale geschatte verbruik van de opstelling bepaald.

Uit uitgevoerde praktijktesten blijkt dat met een 18v 8Ah batterij (breed beschikbaar) het systeem ruim 18 uur operationeel kan zijn op een enkele lading.

Opstelling meetapparatuur

Sensoren, Gateway en GPS-ontvanger op de spreidmachine en wals

Voor een betrouwbare meting is een gekalibreerde, stabiele en veilige bevestiging van de hardware essentieel. In Bijlage 5 staat in hoofdlijnen beschreven welke sensoren op de verschillende machines worden gemonteerd, hoe deze metingen uitvoeren en hoe variatie in de testopstelling wordt voorkomen. Ook wordt toegelicht hoe de positie van de sensoren wordt vastgelegd en welke aanvullende informatie nodig is om de metingen later nauwkeurig te koppelen aan de GPS-data. Het betreft hier nog geen volledig protocol voor installatie en kalibratie van de sensoren; dit is afhankelijk van het type machine en wordt later toegevoegd in Bijlage 7. De montage van de hardware en het bedienen van de software worden uitgevoerd door de door het NPDW beschikbaar gestelde meetdagbegeleider. Zo wordt de aannemer tijdens de uitvoering niet belast met extra taken.

Omdat de 100 DGOW-meetvakken worden uitgevoerd met verschillende typen machines, moet de montage flexibel en universeel toepasbaar zijn. Klemmen, magneten en zuignappen zijn hiervoor het meest geschikt. Daarnaast moet de bevestiging voorkomen dat sensoren verschuiven of losraken tijdens de werkzaamheden, en mag bekabeling geen struikelgevaar vormen. Om de installatie te vereenvoudigen, worden zoveel mogelijk componenten gecombineerd op één montagebeugel. Dit beperkt het aantal losse onderdelen en versnelt de opbouw. De beugel wordt eerst bevestigd, waarna de onderdelen afzonderlijk worden gemonteerd om het gewicht tijdens de montage te beperken.

Het opstellen en afbreken van de hardware kost tijd, in de eerste test projecten wordt bepaald wat de benodigde tijd is zodat opdrachtnemers vooraf weten met hoeveel tijd er rekening moeten worden gehouden voor aanvang en na afronden van de asfaltverwerking.

Omdat kwaliteit binnen DGOW een speerpunt is, is het belangrijk dat niet alleen de meetdata zelf, maar ook de omstandigheden waaronder deze tot stand komen herleidbaar worden geborgd. De begeleider legt de relevante montage- en kalibratiegegevens daarom vast in het registratieformulier uit Bijlage 6. Op die manier kan ook achteraf altijd worden nagegaan onder welke omstandigheden de metingen zijn uitgevoerd en of de datakwaliteit met betrekking tot montage en kalibratie voldoende is geborgd.

Weerstation

Het weerstation wordt aan het begin van de werkdag door de meetdagbegeleider geplaatst op een centrale en representatieve locatie langs het DGOW-meetvak. Doel is om weersomstandigheden vast te leggen die representatief zijn voor het gehele werk, zonder verstoringen door lokale invloeden zoals schaduw, windturbulentie of nabijgelegen objecten. In de meeste gevallen volstaat plaatsing ter hoogte van het midden van de lengterichting van het werk. De volgende richtlijnen zijn bepalend voor een correcte opstelling:

- Minimaal 10 meter afstand tot fysieke obstakels (zoals gebouwen, bomen of machines);
- Bij obstakels die overschaduwen geldt de fysieke rand in horizontale richting als grens van het obstakel in verticale richting;
- Minimaal 5 meter verwijderd van het aan te brengen asfaltoppervlak;
- Een hoogte van 1,5 meter t.o.v. het maaiveld.
- Minimaal 25% van de totale lengte van het meetvak verwijderd van zowel het begin als het einde van het meetvak.
- Iedere 4 uur verplaatsen naar het werkgebied.

Bij grotere werken, of bij projecten die in fases worden uitgevoerd over een langere afstand, kan het nodig zijn om het weerstation gedurende de dag te verplaatsen. Dit is met name van belang wanneer de weersomstandigheden lokaal sterk kunnen verschillen. Door het weerstation goed te positioneren, wordt de relevantie en betrouwbaarheid van de geregistreerde data, zoals temperatuur, wind en zonnerradiatie, voor de kwaliteitsbeoordeling van het verwerkingsproces gewaarborgd.

Visuele observaties

Tijdens de meetdag legt de meetdagbegeleider ook visuele observaties vast. Deze gegevens bieden context bij de metingen en vullen de sensordata aan op punten waar het gebruik van sensoren niet mogelijk is of waar het voordeel niet opweegt tegen de complexiteit.

Vastleggen machine gegevens

Bij de montage van de hardware op de machines worden de eigenschappen van de machine geregistreerd. Dit betreft onder andere het merk en type, evenals specifieke instellingen zoals de snelheid van de stampmessen op de asfaltspredmachine. Het formulier voor deze registratie is opgenomen in Bijlage 6 (documentvorm). Tijdens de meetdag wordt dit proces uitgevoerd via online formulieren.

Vastleggen montage/positionering sensoren

De exacte plaatsing van de sensoren en GPS-antennes op de machines is van groot belang voor een nauwkeurige vastlegging van de verwerkingseigenschappen. Eventuele afwijkingen tussen de GPS-positie en de daadwerkelijke voetafdruk van de machine worden hierbij geregistreerd. Het formulier hiervoor is eveneens te vinden in Bijlage 5 (documentvorm). Tijdens de meetdag gebeurt de registratie via online formulieren.

Vastleggen weegbonnen

Het registreren van de begin- en eindtijd voor het lossen van een vracht gebeurt op basis van visuele observaties tijdens het werk. De meetdagbegeleider noteert daarbij ook het kenteken van de vrachtwagen (bij trekker/opleggercombinaties betreft dit het kenteken van de trekker). Op deze manier kan de vracht worden gekoppeld aan een weegbon die herleidbaar is naar een specifieke positie in het wegvak.

Na de verwerking levert de opdrachtnemer een kopie van de weegbonnen in pdf-formaat aan de meetdagbegeleider. Het bijbehorende registratieformulier is opgenomen in Bijlage 6.

Het vastleggen van de begin- en eindtijd voor het lossen van een vracht gebeurt op basis van visuele observaties gedurende het werk. De meetdagbegeleider noteert daarnaast ook het kenteken van de vrachtwagen (trekker in trekker/oplegger combinaties). Daarmee wordt de vracht gekoppeld aan een weegbon herleidbaar naar een positie in de weg.

Na de verwerking levert de opdrachtnemer een kopie in pdf-format van de weegbonnen op aan de meetdagbegeleider.

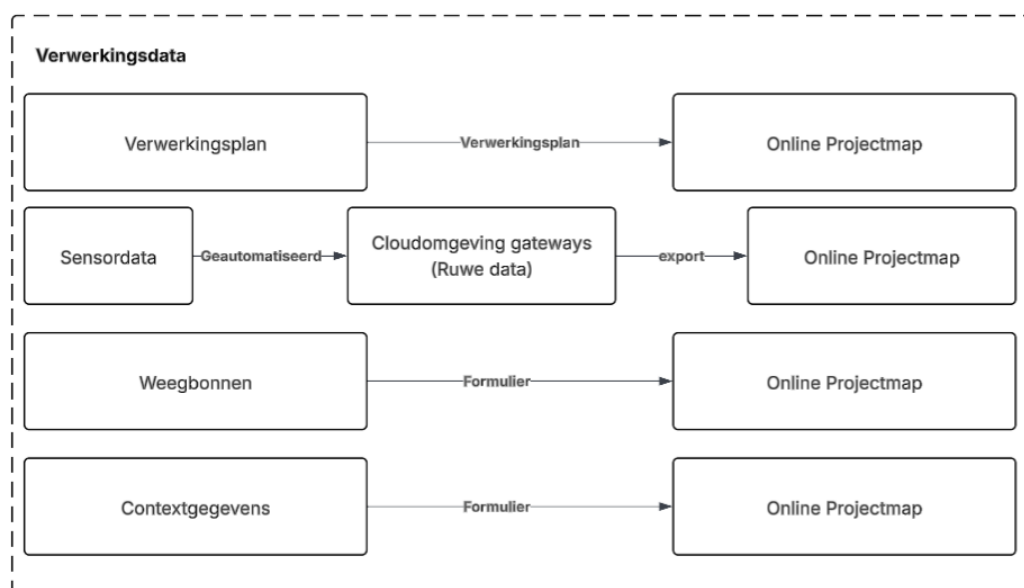
Dataopslag en back-up verwerkingsparameters

In Figuur 13 is een overzicht gegeven van de verschillende data soorten en de opslaglocaties voor het vastleggen van de verwerkingsparameters. De meetdagbegeleider is verantwoordelijk voor de correcte opslag en compleetheid van de verschillende gegevens in de Online projectmap⁵.

De door ASPARi uitgevoerde PQi-projecten tonen aan dat er veel kritieke punten zijn die de dataverzameling kunnen verstoren. Accu's kunnen leegraken, apparatuur kan vergeten worden aan te zetten, sensoren kunnen verkeerd worden gemonteerd en er kan slecht satelliet- of netwerkbereik zijn.

Om deze kwetsbaarheden te minimaliseren, is het gebruikte systeem uitgerust met een dashboard waarop real-time alle metingen van de sensoren worden weergegeven, inclusief diagnostische informatie over satelliet- en netwerkverbindingen. Hierdoor kan tijdens de metingen direct worden gecontroleerd of alles naar behoren functioneert en kunnen problemen onmiddellijk worden aangepakt. Verder wordt alle data redundant opgeslagen: zowel op de lokale gateways, in de aan de sensoren gekoppelde Cloudomgeving, als op het NPDW-dataplatform. Op deze manier wordt de kans op dataverlies verder beperkt. In Bijlage 8 is een visuele representatie van de werking van het cloudplatform voor de sensormetingen weergegeven.

⁵ Dit is een online map op een beveiligde omgeving. Denk hierbij aan Microsoft SharePoint.



Figuur 13: Dataverzameling asfaltverwerking. Data soorten en opslaglocaties

Datavelden, frequentie en nauwkeurigheid van de sensormetingen

In Bijlage 9 zijn alle datavelden opgenomen die tijdens een DGOW-meetvak worden vastgelegd voor het registreren van verwerkingsparameters. De velden zijn gegroepeerd naar bron en type data. Bij de spreidmachine en asfaltwals wordt er een interval van 1Hz gehanteerd en bij weerdata 0,033Hz (30s). Voor de logistiek is er geen vast interval, maar op basis van gebeurtenissen. In 7.2 wordt het bestandsformaat waarin uiteindelijk de volledige dataset van ruwe data wordt bewaard toegelicht.

Bij het vastleggen van locatiegegevens zoals positie, richting en snelheid is het essentieel om aanvullende gegevens te registreren die de nauwkeurigheid van de metingen aangeven. Voor sensoren kan worden uitgegaan van een maximale afwijking, waardoor de foutmarge vooraf vaststaat. Bij GPS is dit anders, omdat externe factoren zoals atmosferische verstoringen en signaalreflecties de nauwkeurigheid kunnen beïnvloeden. Om die reden moeten de volgende parameters worden vastgelegd naast de gemeten positie:

- *Modus*: Standalone, DGPS, RTK float, RTK fixed
- *Aantal zichtbare satellieten*: Het aantal satellieten binnen het zicht van de GPS-antenne
- *Basisfout in x- en y-richting*: Minimale foutmarge
- *Ingeschatte nauwkeurigheid meting*: Door de ontvanger aangeduide positie zekerheid
- *Horizontal Dilution of Precision (HDOP)*: Factor voor de horizontale foutmarge
- *Vertical Dilution of Precision (VDOP)*: Factor voor de verticale foutmarge
- *Age of Differential Correction (AGE)*: Leeftijd van de RTK-correctiegegevens (optioneel)

De minimale nauwkeurigheid waarmee wordt bepaald of een meetpunt bruikbaar is, hangt af van de kwaliteit van de positie en de eventuele datafiltering die wordt toegepast. Daarnaast speelt de grootte van de tegels waarin verwerkingsparameters worden vastgelegd een rol. De gekozen resolutie bepaalt de zekerheid waarmee kan worden vastgesteld dat een meting daadwerkelijk binnen een specifieke tegel valt.

In Bijlage 10 wordt uitgelegd hoe onzekerheid in de GPS-locatie invloed heeft op de dynamische snelheid en richting. Daarnaast wordt toegelicht hoe deze onzekerheid doorwerkt in de positie van sensormetingen die worden afgeleid van de GPS-antenne. Dit geeft inzicht in de effecten en benadrukt het belang van minimale nauwkeurigheid bij GPS-metingen.

7.1.3 Verzamelen van mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen

Overzicht van vast te leggen mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen

In deze paragraaf wordt, zoveel mogelijk chronologisch, benoemd welke informatie wordt verzameld met betrekking tot mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen. Dit kan zijn informatie over randvoorwaarden, onderzoek vooraf, of onderzoek tijdens en na productie en verwerking.

Basisgegevens

Standaard wordt er vastgelegd welk mengsel wordt toegepast en aan welke laag in de constructie wordt gewerkt.

Ondergrond

De ondergrond waarop een nieuwe laag asfalt wordt gelegd heeft een grote invloed op het effect van de verwerking van de nieuwe laag. Een ondergrond die een slecht klankbodem vormt -bijvoorbeeld door onvoldoende draagvermogen, verdichting of grote variatie in vlakheid- kan bij een homogene verwerking lijden tot een inhomogene asfaltkwaliteit. De kwaliteit van de onderlaag moet dus voldoende zijn. Het borgen van deze kwaliteit valt niet onder DGOW maar is wel een randvoorwaarde voor het borgen van asfaltkwaliteit op basis van verwerkingsdata. Uitgangspunt is dat elke nieuwe laag wordt aangebracht op een onderlaag die voldoet aan de gestelde eisen. Strikt genomen betekent dit dat elke laag wordt gekeurd en geaccepteerd vóór overlaging. Hierbij wordt rekening houden met kwaliteitsrisico's én praktische werkbaarheid: het is voor de voortgang niet altijd wenselijk of haalbaar een volledige keuring af te wachten voordat een volgende laag wordt aangebracht.

Concreet betekent dit voor de diverse ondergronden het volgende:

- Het aanbrengen van de eerste laag asfalt op zandbed of fundering wordt als 'stoppunt' aangemerkt: de onderbaan moet zijn geaccepteerd op basis van keuring op de parameters samenstelling, homogeniteit, laagdikte, verdichtingsgraad, vlakheid en hoogteligging;
- Het aanbrengen van een laag asfalt op al dan niet gefreesd oud asfalt vindt plaats na visuele beoordeling en rapportage van vlakheid/hogteverschillen, scheuren, losliggende lagen, vervuiling en hoeveelheid, homogeniteit en omslag van kleefmiddel;
- Het aanbrengen van een laag asfalt op een voorgaande nieuwe laag asfalt vindt plaats na visuele beoordeling en rapportage van vlakheid/hogteverschillen, vervuiling en hoeveelheid, homogeniteit en omslag van kleefmiddel. Als vooraf – mede op basis van praktische haalbaarheid- is bepaald dat volledige keuring en acceptatie vereist is dan betreft dit alle in het keurings- en acceptatieplan opgenomen parameters (als laagdikte, verdichtingsgraad, holle ruimte en samenstelling).

Deze taken behoren conform de bestaande en correcte manier van werken volgens de RAW, in opdracht van OG door ON te worden uitgevoerd. Als dit om welke reden dan ook niet gebeurt, zal de meetdag begeleider hier onderzoek naar doen. De proces-metingen worden hoe dan ook uitgevoerd. Afhankelijk van de bevindingen kan NPDW besluiten tot het al dan niet uitvoeren van de boringen en of verder gebruik van de data.

Typeonderzoek asfalt

De aannemer draagt zorg voor het tijdig beschikbaar stellen van alle benodigde informatie van de toe te passen asfaltmengsels conform St. 2020 art. 81.23.02. Dit betreft in hoofdzaak het Verkort Verslag, CE en de Referentiesamenstelling.

Monsterneming

NPDW stelt vooraf een bemonsteringsplan op; het werk wordt aselekt in meetvakken verdeeld met per meetvak een boorlocatie (cilinders) en een hoppermonster; aanvullend selecte S-kernen t.b.v. duidingstabellen; alle monsters gaan naar NPDW. Opzet en aantallen: zie Methode later in dit hoofdstuk.

Monsteronderzoek

Het monsteronderzoek betreft 'traditioneel onderzoek' aan hoppermonsters en uit het werk geboorde cilinders. Onder 'traditioneel' wordt hier verstaan destructief onderzoek aan asfaltspecie (hoppermonsters) en boorkernonderzoek naar laagdikte, samenstelling, verdichting etc. conform de Standaard. Deze informatie wordt gebruikt als referentie voor de validatie van DGOW.

Naast onderzoeken van monsters, worden relevante monster- en proefgegevens geregistreerd om de volledigheid en betrouwbaarheid van de dataset te waarborgen. Dit zorgt ervoor dat de herkomst van elke meting herleidbaar is en dat toetsingscriteria vooraf duidelijk zijn.

** Opleveren*

Doel en opzet van het 'traditioneel onderzoek' is zoals aangegeven vooral voor de validatie van DGOW. Daarmee wordt op onderdelen afgeweken van de formele procedure volgens de Standaard voor eindcontrole door de directie. De resultaten van het onderzoek kunnen daardoor contractueel niet gebruikt worden als opleveringscontrole. De opzet en uitvoering van het onderzoek is en wordt echter wel zodanig aselekt en onder accreditatie uitgevoerd dat een objectief beeld van de kwaliteit van het verwerkte asfalt wordt geschetst.

Methode voor het vastleggen van mengsel-, asfalt en constructie-eigenschappen

Deze paragraaf beschrijft de methode voor het opstellen van het bemonsteringsplan, het nemen van de monsters en het uitvoeren van de proeven.

Opstellen bemonsteringsplan en bepalen aanvullende boorlocaties

Ten behoeve van het opstellen van het bemonsteringsplan geeft de opdrachtnemer de indeling in Uitvoeringseenheden op aan NPDW.

Bemonsteringsplan

Voor de start van de werkzaamheden stelt het NPDW een bemonsteringsplan op. Dit plan bevat:

- Geografisch afbakening van het werk (of deel daarvan)
- Geografisch afbakening van de uitvoeringseenheden: Volgens RAW 2020
- Geografisch aangeduide meetvakken rekening houdend met uitvoeringseenheden opdrachtnemer: (minimaal drie, maximaal 6 per DGOW-meetvak, max. 300 meter lengte per meetvak).
- Geografisch bepaalde meetlocaties: per meetvak één meetlocatie aselekt wordt gekozen. Hierbij is de middelste cilinder F de exacte meetlocatie, cilinder A en B bevinden zich hier 0,5 m resp. links en recht van in rijrichting.
- Alle afbakeningen en locaties worden vastgelegd op tekening en in GPS-coördinaten.

* Van groot naar klein: Werk -> DGOW-meetvak -> Uitvoeringseenheden -> Meetvakken. Hiermee is elk meetvak 'homogeen'.

Aanvullende boorlocaties

Zo snel mogelijk maar uiterlijk binnen 24 uur na einde verwerking krijgt de opdrachtnemer het definitieve bemonsteringsplan voor de boorkernen. Na verwerking wordt op basis van de verwerkingsparameters door NPDW bepaald waar eventuele aanvullende selecte boorkernen (S-kernen) genomen moeten worden. Deze dienen om de invloed van specifieke verwerkingsparameters op de asfaltkwaliteit te analyseren en daarmee bij te dragen aan de ontwikkeling van duidingstabellen. Hierbij geldt het volgende:

- Maximaal twee S-kernen per meetvak worden aangeduid.
- De opdrachtnemer ontvangt de locaties via een Excel-bestand en een GEOjson/shapefile bestand.
- De geboorde kernen worden gemarkeerd als {meetvaknummer}-S1 resp. -S2 Datum/tijdstip worden genoteerd en gerapporteerd.

Bemonstering tijdens de asfaltspreiding

Tijdens de asfaltspreiding wordt in elk meetvak een hoppermonster genomen⁶ door het NPDW (meetdagbegeleider). Dit monster van ongeveer 1,5 kg wordt gemarkeerd als {meetvaknummer}-H, waarbij datum en tijdstip van monsterneming op het monster worden genoteerd. Aan het einde van de dag worden de hoppermonsters overgedragen aan de opdrachtnemer en zorgt hij dat deze samen met de later te boren boorkernen naar de geaccrediteerde instelling gaan⁷.

Bemonstering na verwerking

Binnen 7 dagen na verwerking neemt de opdrachtnemer de boorkernen A, F en B, op in ieder meetvak, gemarkeerd als {meetlocatienummer}-A, -F en -B en stelt deze ter beschikking aan het NPDW. En aanvullende boorlocaties gemarkeerd als S-kernen, gemarkeerd als {meetvaknummer}-S1, en -S2.

Overdracht

Binnen 14 dagen na verwerking worden alle hoppermonsters en boorkernen overgedragen aan een onafhankelijk en geaccrediteerd laboratorium in opdracht van het NPDW. De opdrachtnemer draagt zorg voor correcte monsterneming, geconditioneerde opslag (15 °C) en transport tot overdracht.

De monsters worden vervolgens geanalyseerd op de eerder vermelde mengsel- en asfalteigenschappen. Na analyse worden de resultaten rechtstreeks overgedragen aan het NPDW, opdrachtnemer en opdrachtgever.

Het beproeven van monsters

Het traditioneel onderzoek vindt plaats conform de Standaard en door een voor de volgende verrichtingen geaccrediteerde instelling. Uit deze resultaten worden door de instelling de verdichtingsgraad en het percentage holle ruimte berekend. De eigenschappen laagdikte en dichtheid proefstuk worden in tweevoud bepaald; de overige in principe in enkelvoud.

Onderzoek per monster:

- Cilinders A wordt onderzocht op laagdikte, dichtheid proefstuk, dichtheid mengsel en samenstelling;
- Cilinders F wordt onderzocht op laagdikte en dichtheid proefstuk en vervolgens bewaard voor nader te bepalen Functioneel onderzoek;
- Cilinders B wordt onderzocht op laagdikte en dichtheid proefstuk en vervolgens bewaard als reservemonster.
- Van de monsters waarvan dichtheid proefstuk is bepaald wordt de verdichtingsgraad berekend.
- Van de monsters waarvan dichtheid mengsel is bepaald wordt de holle ruimte berekend.
- De hoppermonsters worden onderzocht op samenstelling (bindmiddelgehalte en korrelverdeling).

Het betreft de volgende proeven:

- | | |
|---------------------|--|
| • Laagdikte | proef 63 NEN-EN 12697-36 art. 6.1 |
| • Verdichtingsgraad | proef 66 NEN-EN 12697-6 |
| • Holle ruimte | proef 69 NEN-EN 12697-5 en NEN-EN 12698-8 art. 4 |
| • Bindmiddelgehalte | proef 65.0 NEN-EN 12697-1 B.1.3 |
| • Korrelverdeling | proef 63 NEN-EN 12697-2 |

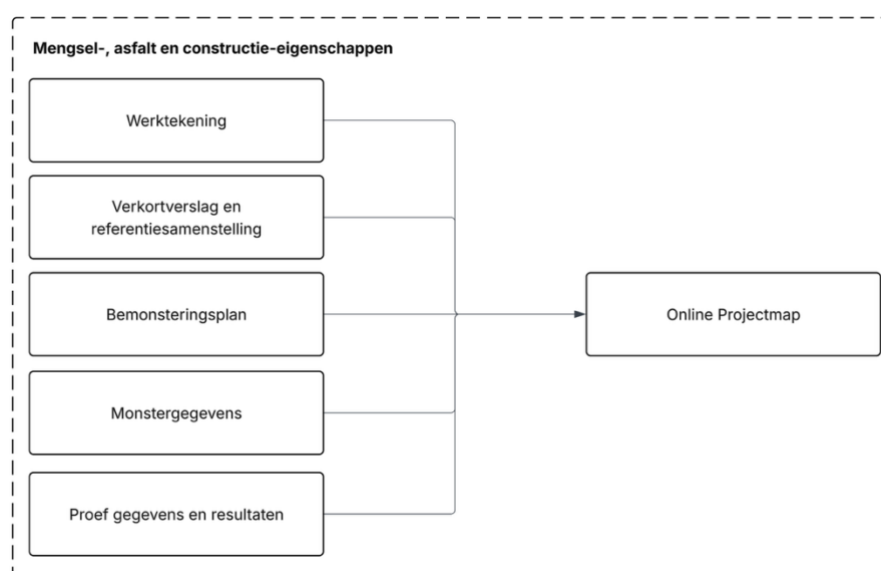
Eventueel vindt later aanvullend (al dan niet functioneel) onderzoek plaats, bijvoorbeeld in het kader van Functioneel Duiden.

Dataopslag mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen

⁶ De auteurs van dit plan zijn op de hoogte van de ontwikkeling bij de werkgroep asfalt bij het CROW waarin de locatie voor het nemen van een hoppermonster de voorkeur heeft bij de worm. De term hoppermonster wordt echter gehanteerd in dit document.

⁷ De opdrachtnemer en of opdrachtgever worden door het NPDW niet gehinderd om aanvullend onderzoek uit te voeren op extra monsters genomen buiten de DGOW-monsters die aan het geaccrediteerd laboratorium zijn overgedragen

In Figuur 14 zijn alle verschillende datasoorten beschreven die nodig zijn voor het vastleggen van mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen. Daarnaast is de opslaglocatie voor deze gegevens weergegeven. De bestanden worden opgeslagen in een online projectmap. In een toekomstig scenario zou het wenselijk zijn als alle gegevens over de monsters, proeven en proefresultaten direct en gestructureerd worden vastgelegd in PIM. Het ontsluiten van deze gegevens uit PIM wordt beschikbaar gesteld aan externe partijen via WegWijzer. Zowel het geaccrediteerde laboratorium als sommige opdrachtnemers zijn echter nog niet aangesloten bij PIM. De meetdagbegeleider is daarom verantwoordelijk voor de correcte opslag van alle gegevens in de online projectmap. Uiteraard dient de opdrachtnemer/opdrachtgever zorg te dragen voor het tijdig aanleveren van de gevraagde gegevens.

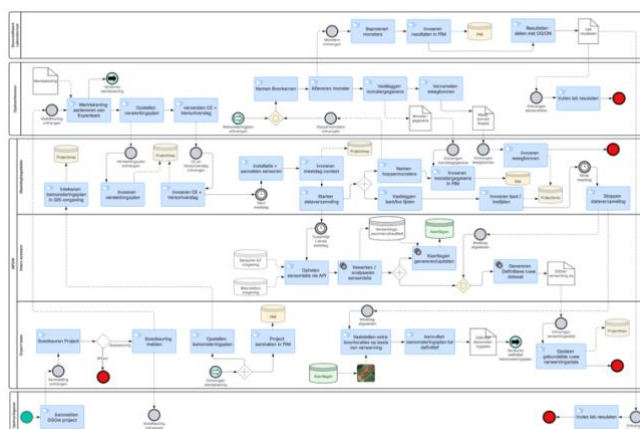


Figuur 14: Mengsel-, asfalt- en constructie-data. Data soorten en opslaglocaties

Ook de mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen worden in een vast formaat samen met alle verwerkingsdata opgeslagen. In 7.2 wordt dit bestandsformaat toegelicht.

Datastromen

Voor de ontwikkeling en validatie van DGOW worden, zoals eerder aangegeven, data verzameld in 100 DGOW-metvakken. Deze dataverzameling wordt uitgevoerd in opdracht van het NPDW. Omdat deze dataverzameling op veel plekken en momenten plaatsvindt, zijn in Figuur 15 de verschillende datastromen weergegeven en is te zien hoe deze uiteindelijk tot de DGOW-bestanden leiden. In Bijlage 13 is dit stroomdiagram vergroot weergegeven.



Figuur 15: Datastromen per DGOW-metvak

7.1.4 Aanvullend onderzoek

De ontwikkeling en toepassing van DGOW in de 100 DGOW-meetvakken biedt een waardevolle kans om nieuwe kennis op te doen. Naast de dataverzameling die in dit plan is beschreven, kunnen tijdens deze meetvakken aanvullende metingen worden uitgevoerd. In deze paragraaf wordt een aantal gerichte onderzoeksonderwerpen benoemd die door ASPARi of andere partijen kunnen worden opgepakt. Het gaat hierbij nadrukkelijk om verkennend onderzoek dat losstaat van de vaste DGOW-metingen, maar dat kan bijdragen aan de verdere doorontwikkeling van de methodiek.

Nieuwe vlakdekkende meetmethoden voor laagdikte en dichtheid

Het is wenselijk om te onderzoeken of binnen DGOW aanvullende vlakdekkende meetmethoden kunnen worden ingezet. Een belangrijk aandachtspunt daarbij is de laagdikte. Op dit moment zijn er veelbelovende methoden op basis van radartechnologie waarmee de laagdikte vlakdekkend kan worden bepaald, maar deze moeten nog verder worden onderzocht en gevalideerd. De 100 DGOW-meetvakken bieden hiervoor een geschikte omgeving, ook al maken deze methoden geen deel uit van de vaste DGOW-metingen.

Voldoende nauwkeurigheid

Een belangrijke vraag is welke minimale nauwkeurigheid sensoren moeten hebben om bruikbare data voor kwaliteitsborging op te leveren. Deze eis moet worden vastgesteld op basis van inhoudelijke overwegingen, los van wat huidige commerciële systemen kunnen leveren. Het doel is om te bepalen wat technisch noodzakelijk is, en niet alleen wat op dit moment praktisch haalbaar lijkt.

Kerntemperatuur bij walsovergangen

De temperatuur van het asfalt wordt op dit moment gemeten als oppervlaktetemperatuur, achter de balk en onder de wals. Voor een goede beoordeling van de verdichting is echter de kerntemperatuur bepalend. Daarom wordt aanbevolen om een thermisch afkoelmodel te ontwikkelen (bijvoorbeeld op basis van PaveCool) waarmee de kerntemperatuur kan worden geschat. Dit model zou moeten kunnen worden bijgesteld op basis van de gemeten oppervlaktetemperaturen, zodat een realistischer en locatiespecifiek temperatuurprofiel ontstaat.

Ondergrondtemperatuur

Op dit moment wordt aangenomen dat de ondergrondtemperatuur constant is over de gehele breedte van de balk. Deze aanname is echter nog niet geverifieerd. Gedurende de 100 DGOW-meetvakken is het daarom relevant om te toetsen of dit inderdaad het geval is en, indien nodig, de verwerking hierop aan te passen.

GPS-beperkingen

Een aandachtspunt binnen DGOW is de beperkte betrouwbaarheid van locatiebepaling onder minder ideale omstandigheden, zoals bij GPS-uitval door bebouwing of obstakels. Dit kan de nauwkeurigheid van sensormetingen beïnvloeden. Onderzoek naar sensorfusion, het combineren van GPS met aanvullende sensoren zoals versnellingsmeters of gyroscopen, kan bijdragen aan een robuustere en stabielere locatievoorziening. Hiermee wordt de herleidbaarheid van data onder alle omstandigheden verbeterd.

7.2 Standaard oplever format

Een belangrijk uitgangspunt binnen de DGOW-meetvakken is het opbouwen van een betrouwbare en uniforme dataset. Een consistente datastructuur maakt het mogelijk om gegevens te analyseren, valideren en hergebruiken, ook jaren later en los van de oorspronkelijke projectcontext.

Om dit te realiseren is een gestandaardiseerd opslagformaat noodzakelijk, waarin zowel de ruwe verwerkingsdata als aanvullende projectgegevens eenduidig per DGOW-meetvak worden vastgelegd. Deze vorm van archivering zorgt ervoor dat alle ruwe data gebundeld is per project en dat geen onderdelen verloren gaan, wat anders de kwaliteitsborging op termijn zou kunnen ondermijnen.

Binnen de ruim 100 DGOW-meetvakken worden uiteenlopende databronnen gebruikt: van sensordata afkomstig van asfaltspreidmachines, walsen en weersensoren tot documenten zoals weegbonnen, bemonsteringsplannen, monstergegevens en proefresultaten. Elke bron kent een eigen structuur en formaat, wat de verwerking complex maakt. Door vanaf de start alle data onder te brengen in vooraf gedefinieerde structuren, wordt de dataset beheersbaar, transparant en volledig herleidbaar.

Bestandsstructuur

De data worden opgeslagen in een vast formaat per gegevenscategorie, met herkenbare extensies en een consistente naamgeving. Bij inzet van meerdere machines van hetzelfde type wordt dit duidelijk vermeld in de bestandsnaam. Naast de meetwaarden bevat elk DGOW-bestand ook de bijbehorende contextinformatie, zoals machinegegevens, tijdstempels en locatie. Zo blijft de data volledig, eenduidig en herleidbaar, en wordt voorkomen dat waardevolle informatie verloren gaat of onbetrouwbaar wordt door ontbrekende context.

De voorgestelde bestandstructuur is als volgt opgebouwd:

Verwerkingsdata

- asfaltspreidmachine.dgow
- asfaltwals.dgow
- weer.dgow
- weegbonnen.dgow

Mengsel-, asfalt- en constructie-eigenschappen

- bemonsteringsplan.dgow.geojson
- monsters.dgow
- proeven.dgow

Naamconventie: Om de compleetheid van de datasets te waarborgen bij meerdere verwerkingsmachines, wordt de volgende naamgeving toegepast {datasoort}-{nr}-van-{totaal_voor_datasoort}.dgow

Deze bestanden kunnen samen in een .zip bestand worden opgeslagen onder het identificatienummer van het DGOW-meetvak.

Hoofdstuk 8 Interventie

onderdelen III – Dataverwerking

8.1 Dataverwerkingsplan

Dit document beschrijft hoe alle gegevens, vastgelegd zoals beschreven in **Hoofdstuk Dataverzamelingsplan**, transparant en op dezelfde manier worden verwerkt voor alle 100 DGOW-meetvakken.

Door de dataverwerking bij ieder project op dezelfde manier uit te voeren, ontstaan uniforme datasets van vergelijkbare kwaliteit. Dit maakt het mogelijk om data tussen projecten te vergelijken en te combineren. Zo leggen we de basis om de relatie tussen proceskwaliteit en productkwaliteit op grote schaal te analyseren.

Een uniforme dataverwerking is hiervoor essentieel. Alleen als ruwe data op een reproduceerbare manier worden verwerkt, ontstaat betrouwbare informatie over de verwerkingskwaliteit. Dat vraagt om een centrale, gestandaardiseerde aanpak. Op dit moment gebruikt elke partij nog zijn eigen datastructuur en rekenregels. Dat leidt tot verschillen in uitkomsten, zelfs bij identieke invoerdata. Binnen DGOW ontwikkelen we daarom één eenduidige, herhaalbare verwerkingsmethodiek op basis van bestaande kennis die we valideren op basis van de data uit de 100 DGOW-meetvakken.

De 100 DGOW-meetvakken bieden de ruimte om die methodiek op te bouwen en te testen. We onderzoeken welke verwerkingsparameters relevant zijn, op welke resolutie deze moeten worden berekend, en hoe ze kunnen worden geïnterpreteerd in relatie tot kwaliteit. Deze inzichten vormen samen de basis voor een sectorbrede kwaliteitsborgingssysteem op basis van verwerkingsdata.

Een belangrijk uitgangspunt is dat alle ruwe data ongefilterd worden opgeslagen. Alleen dan kunnen eerdere projecten opnieuw worden geanalyseerd als inzichten of verwerkingsstappen veranderen. Zo blijft de dataset bruikbaar tijdens de hele looptijd van de 100 DGOW-meetvakken en daarna.

De volgende hoofdstukken beschrijven stap voor stap hoe de dataverwerking is opgebouwd: van ruwe metingen, naar vlakdekkende datategels, tot beoordeling van proceskwaliteit.

8.1.1 Doel en scope van de dataverwerking

De dataverwerking binnen DGOW richt zich op het vertalen van ruwe meetdata naar bruikbare informatie over de kwaliteit van het asfaltverwerkingsproces. Dit gebeurt op een uniforme, reproduceerbare manier, zodat verwerkingskwaliteit objectief beoordeeld kan worden.

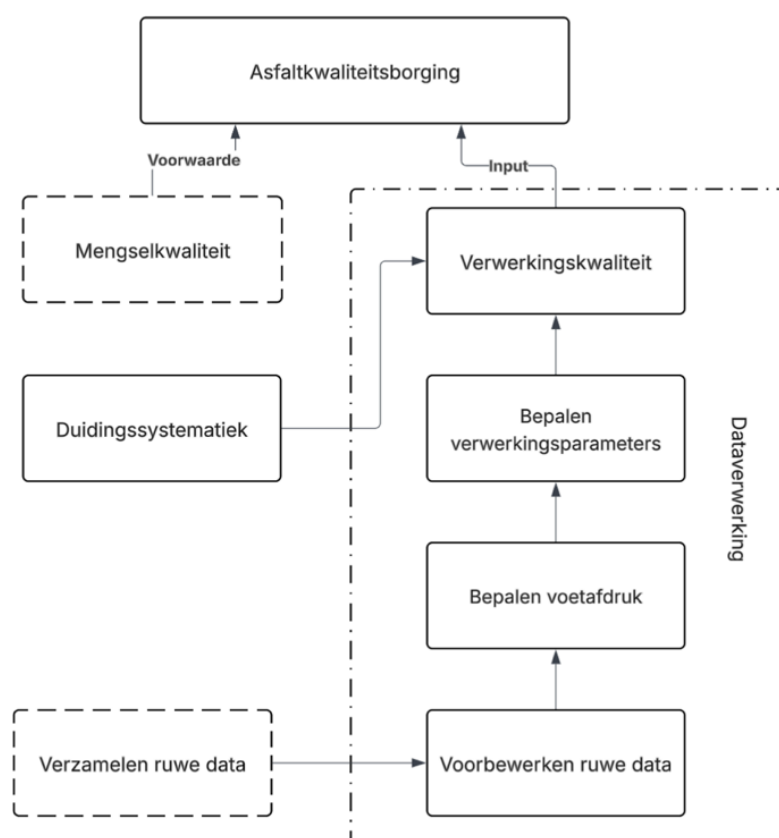
Daarvoor hanteren we een vaste aanpak, opgebouwd uit vier opeenvolgende stappen:

- *Voorbewerking van de ruwe data*
Sensorgegevens (zoals temperatuur, snelheid, trilfrequentie en gps-positie) worden gecontroleerd op juistheid en waar nodig geconverteerd of verbeterd.

- *Bepalen van voetafdrukken*
Op basis van de positie en oriëntatie van machines wordt per tijdstip bepaald welk oppervlak is beïnvloed door de verwerkingsstappen op dat moment (voetafdruk⁸). Zo koppelen we meetdata aan een fysieke locatie op de asfaltlaag.
- *Afleiding van verwerkingsparameters*
Op basis van de voetafdrukken van de verschillende machines en de daaraan gekoppelde metingen worden de verwerkingsparameters bepaald binnen een landelijke rasterstructuur van datategels.
- *Beoordeling van de verwerkingskwaliteit*
Met een duidingsmethodiek worden de verwerkingsparameters vertaald naar een beoordeling op verschillende detailniveaus, bijvoorbeeld als score of kaartbeeld.

De stappen zijn schematisch weergegeven in Figuur 16. De duidingsmethodiek zelf, dus hoe kwaliteit wordt afgeleid uit parameters, valt buiten de scope van dit hoofdstuk over de dataverwerking, maar is verder uitgewerkt in **Hoofdstuk 'Beoordelingsmethodiek verwerkingskwaliteit'**.

Omdat de duidingsmethodiek nog in ontwikkeling is, zorgen we ervoor dat de dataset flexibel blijft: we kunnen verschillende interpretaties naast elkaar toepassen en evalueren. Dat maakt het mogelijk om de dataverwerking te verbeteren op basis van voortschrijdend inzicht.



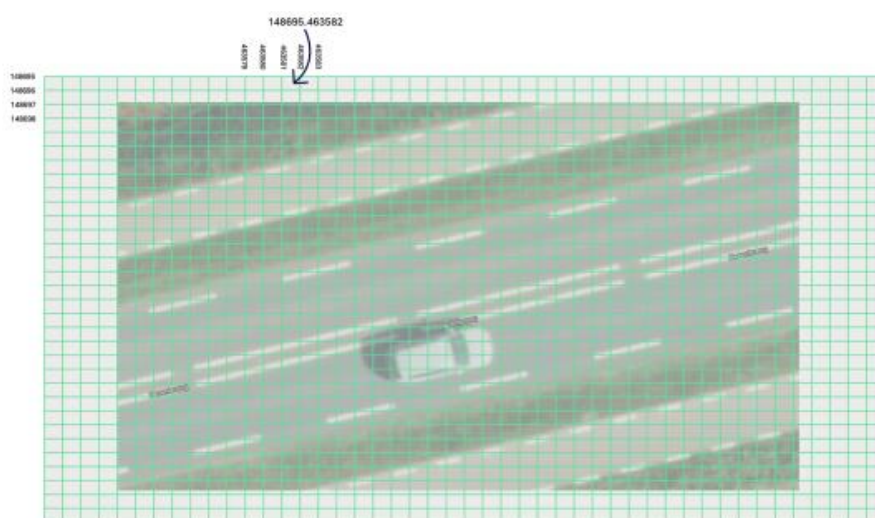
Figuur 16: Scope van dataverwerking

⁸ Bij een asfaltspreidmachine is dit het gebied achter de balk. Bij de wals het contactoppervlak van de walsrollen. De voetafdruk is later in dit hoofdstuk verder uitgewerkt.

8.1.2 Vlakdekkende structuur voor verwerkingsparameters

Om verwerkingskwaliteit betrouwbaar te kunnen beoordelen, moeten sensormetingen worden vertaald naar een overzichtelijk en ruimtelijk correct beeld van het verwerkingsproces. Binnen DGOW gebeurt dat met een vaste rasterstructuur, waarin alle verwerkingsparameters op dezelfde manier worden vastgelegd.

Deze denkwijze sluit aan op eerdere projecten, zoals ASPARi en Hightech=Lowcost, waarin gewerkt werd met rasterstructuren genaamd 'process cells'. DGOW bouwt hierop voort met als doel een sectorbrede, schaalbare en uniforme toepassing. In dat kader wordt bewust afgeweken van de in ASPARi toegepaste, per project bepaalde WGS-gebaseerde tegels (afgeleid van het traject van de asfaltspreidmachine). In plaats daarvan kiest DGOW voor een vaste landelijke rasterstructuur op basis van het RD-coördinatenstelsel (Figuur 17).



Figuur 17: Voorbeeld van de vaste rasterstructuur over een weg

De rasterstructuur kan worden gezien als een fijnmazig netwerk dat heel Nederland afdekt. Technisch is het vergelijkbaar met het bestaande 1×1 meter RD-raster, maar dan opgeschaald naar kleinere tegels met een hogere resolutie. Elke tegel heeft een vaste positie, oriëntatie en grootte.

De vaste structuur biedt meerdere voordelen. Meetgegevens worden gekoppeld aan vaste locaties, los van snelheid, route of gedrag van de machines. Dat voorkomt vertekening en maakt het mogelijk om data uit verschillende bronnen, zoals spreidmachine, wals, logistiek en weer, efficiënt samen te voegen.

Voor deze keuze zijn verschillende alternatieve benaderingen afgewogen:

- **Dynamische rasters** op basis van machinebewegingen zijn flexibel, maar gevoelig voor fouten bij bochten, stilstand of overlap. Op dit moment is dit wel deze meest toegepaste aanpak voor rasterstructuren bij het asfaltverwerkingsproces.
- **Handmatig gedefinieerde rasters** geven controle, maar zijn arbeidsintensief en daardoor lastig schaalbaar.
- **Kaart gebaseerde rasters**, bijvoorbeeld afgeleid van wegnetwerken, zijn afhankelijk van actuele kaartlagen en ongeschikt voor complexe situaties zoals rotondes of in- en uitvoegstroken.

Naast de al genoemde uitdagingen is gebleken dat in deze methoden in de praktijk beperkt bruikbaar zijn bij gecombineerde datastromen (meerdere machines) of afwijkende geometrieën (samen komen van wegen/ rasterstructuren). Daarom is er voor DGOW bewust gekozen voor een vaste, landelijke rasterstructuur. Deze is onafhankelijk van projectontwerp of meetsysteem, en maakt een consistente verwerking van data mogelijk over alle projecten heen. Dit voorkomt interpretatieverschillen, vereenvoudigt de verwerking en ondersteunt eenduidige vergelijking.

Datategels in de vaste rasterstructuur

De vaste rasterstructuur binnen DGOW bestaat uit vierkante eenheden: de zogenoemde datategels. Elke tegel heeft een unieke, vaste locatie en afmeting binnen het landelijke RD-coördinatenstelsel (Figuur 17). Dit zorgt ervoor dat alle verwerkingsdata eenduidig en herleidbaar worden gekoppeld aan een specifieke plek in de asfaltlaag.

Een datategel is onafhankelijk van het ontwerp van het wegvak, de rijrichting van de machines of de gebruikte sensoren. De tegels draaien dus niet mee met de wegas, en volgen ook niet het profiel van de machine. Ze zijn volledig georiënteerd op het vaste assenstelsel van het RD-raster.

Deze opzet voorkomt dat tegels tussen systemen of projecten vervormen, verschuiven of overlappen. Daardoor kunnen gegevens uit verschillende bronnen, zoals temperatuurmetingen van de spreidmachine, trilintensiteit van de wals en gegevens over het lossen van vrachtwagens, zonder extra bewerking/filtering worden gecombineerd. Ook kunnen datategels eenvoudig worden gekoppeld aan andere gegevensbronnen, zoals asfaltkwaliteitsmetingen of uitvoeringseenheden.

Een mogelijk aandachtspunt is dat de rasterstructuur in sommige situaties niet optimaal aansluit op de geometrie van het werk, zoals bij wegen die niet perfect horizontaal of verticaal ten opzichte van het landelijk raster lopen. Dit heeft echter geen invloed op de werking van de systematiek: er ontstaan géén snijvlakken of overlappende problemen, omdat de tegels vooraf vastliggen en overal hetzelfde zijn. De voordelen van consistentie, eenvoud en vergelijkbaarheid wegen op dit moment op tegen deze visuele imperfecties.

Tegelformaat en schaalbaarheid

De grootte van de datategels bepaalt het detailniveau waarop verwerkingskwaliteit wordt geanalyseerd. Binnen DGOW wordt gewerkt met vaste rasterstructuur en dus één uniforme datategelgrootte voor alle datastromen, ongeacht het type sensor, de bron of het project.

Het voorgestelde standaardformaat is 20 × 20 cm. Deze maat is gebaseerd op ervaringen uit het ASPARi-programma en HighTech=LowCost [1] en biedt een goede balans tussen ruimtelijke detaillering en verwerkbaarheid. De tegel is klein genoeg om variaties in temperatuur, verdichting te weerspiegelen, maar groot genoeg om analyse en opslag beheersbaar te houden.

Tegelijkertijd blijft er ruimte om dit formaat aan te passen als de praktijk daar om vraagt. De 100 DGOW-meetvakken bieden de mogelijkheid om verschillende formaten te testen en de keuze verder te onderbouwen. Het nu gekozen formaat is dus een vertrekpunt, geen vaststaand gegeven.

De gekozen tegelgrootte heeft ook invloed op andere ontwerpkeuzes, zoals het minimale detailniveau bij de aggregatie van voetafdrukken en de eisen aan gps-nauwkeurigheid. Deze samenhang wordt in de volgende hoofdstukken verder toegelicht.

8.1.3 Van ruwe metingen naar verwerkingsparameters

Het verwerken van ruwe data in DGOW-meetvakken verloopt in meerdere stappen. Daarbij worden sensormetingen stapsgewijs vertaald naar verwerkingsparameters binnen het landelijke raster van datategels. Dit gebeurt in twee hoofdfasen:

Fase I – Koppelen aan voetafdruk

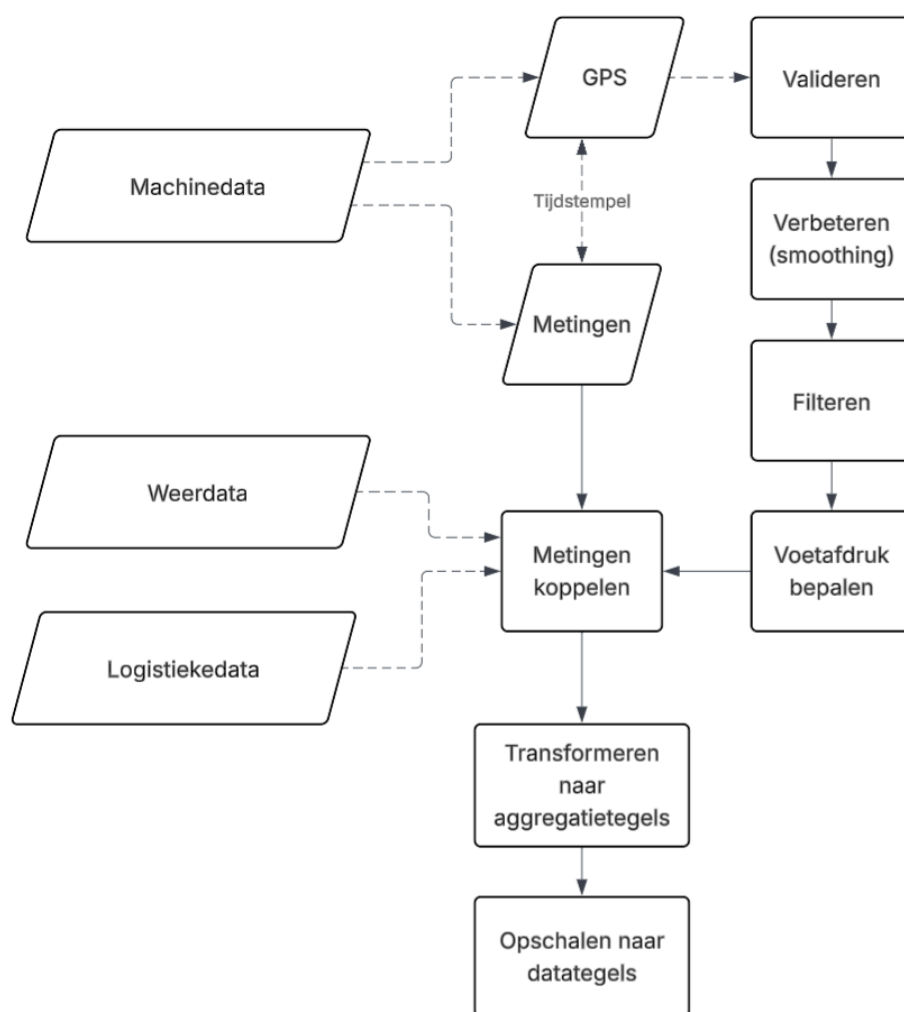
Ruwe meetdata worden eerst gekoppeld aan het deel van het oppervlak waar de meting betrekking op heeft: de zogeheten voetafdruk. Dit is bijvoorbeeld het contactvlak van een walsrol of het gebied direct achter de balk (Figuur 19, Figuur 21).

Fase II – Omzetten naar datategels

De voetafdrukken worden vervolgens vertaald naar vaste datategels. Deze tegels vormen de basis voor analyse, duiding en kwaliteitsborging.

In deze paragraaf beschrijven we hoe dit verwerkingsproces is ingericht. We lichten toe welke databestanden worden gebruikt, hoe deze gevalideerd worden, en hoe we sensorgegevens ruimtelijk koppelen aan het aangelegde asfalt. De nadruk ligt op data van de asfaltspreidmachine en de asfaltwals, omdat die bepalend zijn voor het verwerkingsproces. Daarnaast besteden we aandacht aan weersomstandigheden en logistieke informatie.

Het verwerken van ruwe machinedata tot analyseerbare datategels verloopt in een reeks van opeenvolgende stappen. In dit hoofdstuk is toegelicht hoe de sensordata worden gevalideerd, verbeterd en ruimtelijk geïnterpreteerd in voetafdrukken. Vervolgens zijn de methoden beschreven waarmee deze voetafdrukken worden gekoppeld aan een vaste rasterstructuur via aggregatietegels, en hoe daaruit datategels worden opgebouwd voor verdere analyse. Figuur 18 toont een schematische weergave van het volledige proces.



Figuur 18: Schematische weergave van de dataverwerkingsstappen

Stap 1. A: Structurele validatie en conversies

Structurele validatie

Voordat de inhoud van een DGOW-databestand wordt verwerkt, ondergaat het een structurele validatie. Hiermee wordt gecontroleerd of het bestand technisch bruikbaar is en voldoet aan de vereiste structuur. Deze stap voorkomt dat fouten in de data de verdere analyse beïnvloeden.

Afhankelijk van de aard en omvang van de fouten kan een bestand:

- Volledig worden geweigerd
- Deels ingelezen, waarbij foutieve regels worden uitgesloten.

De validatie bestaat uit een reeks controles, weergegeven in

. Deze validatie zorgt voor een goede balans tussen fouttolerantie en datakwaliteit.

Tabel 6: Validatie regel – datastructuur

Controle	Actie bij fout
Bestandstype en extensie (.dgow, text/csv)	Weigeren
Correcte codering (UTF-8)	Weigeren
Bestandsindeling per datatype (kolomnamen, datatypes)	Weigeren
Aanwezigheid van alle verplichte kolommen	Weigeren
Correctheid van datatypen per veld	Weigeren bij >1 fout per 10.000 velden
Corruptie op rijniveau (lege waarden, verkeerde scheidingstekens)	Weigeren bij >1 fout per 1.000 regels

Converteren

In sommige gevallen is het nodig om datavelden om te zetten naar een standaardformaat. Hoewel idealiter alle data in een vast format wordt aangeleverd, is dit in de praktijk niet altijd haalbaar. Daarom zijn een aantal conversies gestandaardiseerd opgenomen in de verwerking:

- Coördinatenomzetting
GPS-gegevens worden omgezet van de meest gebruikelijke WGS84 naar RD-coördinaten. Dit garandeert correcte positionering binnen het landelijke tegelraster.

Door deze standaardisaties wordt de mogelijkheid op verschillen in conversies zo veel mogelijk beperkt⁹.

Stap 1. B: Bepalen van voetafdrukken (wals en spreidmachine)

Tijdens de asfaltverwerking voeren de sensoren op de spreidmachine en wals continu metingen uit. Denk aan oppervlaktetemperatuur, ondergrondtemperatuur en vibratiefrequentie. Deze metingen worden gekoppeld aan het gebied op het asfalt waaraan de machine op dat moment werkt. Dit gebied noemen we een voetafdruk. Elke voetafdruk heeft vier hoekpunten, maar hoeft geen perfecte rechthoek te zijn.

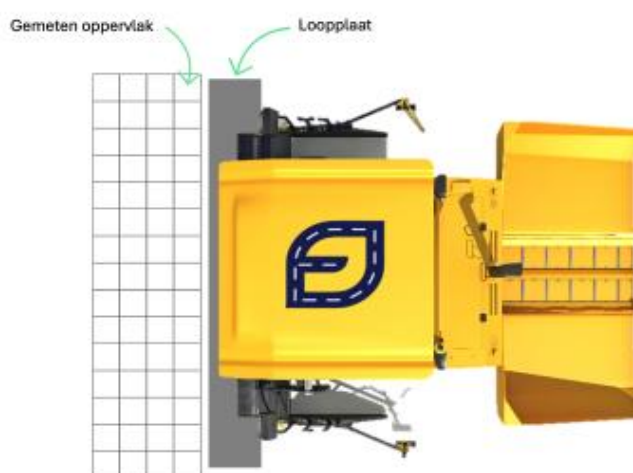
Een voetafdruk is dus een vlak waarop een specifieke meting van toepassing is. In de 100 DGOW-meetvakken wordt gemeten met een vaste frequentie van 1 Hz. Per machine kunnen meerdere metingen tegelijk worden uitgevoerd. De combinatie van vaste meetfrequentie en voortbeweging van de machine zorgt ervoor dat er per seconde meerdere voetafdrukken ontstaan.

⁹ Denk hierbij aan het converteren van WGS84 naar RD-coördinaten. Er zijn verschillende methodieken die ieder een andere nauwkeurigheid hebben.

Voetafdruk spreidmachine

Op de asfaltspreidmachine worden per seconde meerdere oppervlaktetemperatuurmetingen uitgevoerd, zowel in de rijrichting (lengte) als in de breedte. Dit levert een matrix van temperatuurmetingen op, waarbij iedere cel van die matrix een voetafdruk vertegenwoordigt. In Figuur 19 is een schematische weergave opgenomen van deze meetstructuur.

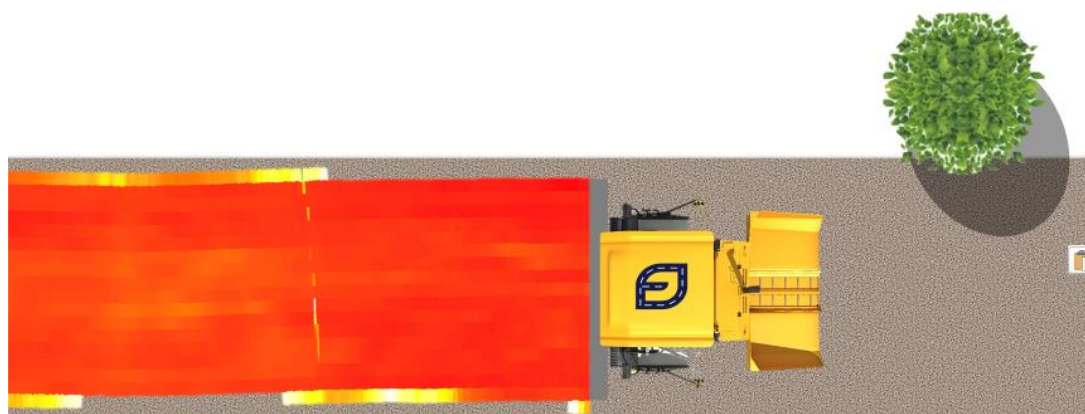
Binnen DGOW wordt gebruikgemaakt van een infrarood vlaksensor die in voetafdrukken registreert van ongeveer 25 × 25 cm, over een gebied van maximaal 13 meter breed en 1 meter lang. Door de meetfrequentie van 1 Hz kunnen voetafdrukken na elkaar genomen elkaar overlappen, met name bij lage snelheden of stilstand. Deze overlap is aanvaardbaar binnen de systematiek en hier zal in later in dit hoofdstuk bij het filteren van de voetafdrukken dieper op in worden gegaan. Belangrijk is dat de rijnsnelheid van de spreidmachine niet hoger is dan de maximale lengte van het meetveld per seconde. Een te hoge snelheid zou immers leiden tot gaten tussen opeenvolgende voetafdrukken, waardoor de vlakdekkende registratie niet langer gewaarborgd is. Bij de sensoren die gebruikt worden in de DGOW-meetvakken komt dit neer op 1m/s ofwel 60m/min.



Figuur 19: voetafdrukken achter de spreidmachine

In Figuur 20 is een praktijkvoorbeeld weergegeven van meerdere opeenvolgende voetafdrukken achter de asfaltspreidmachine, waarbij de kleurindicatie de gemeten oppervlaktetemperatuur per afdruk weergeeft. Alle overige metingen zoals ondergrondtemperatuur en snelheid worden ook aan de voetafdrukken van de infrarood vlaksensor gerelateerd.

De technische uitwerking voor het bepalen van de voetafdrukken is te vinden in Bijlage 11.



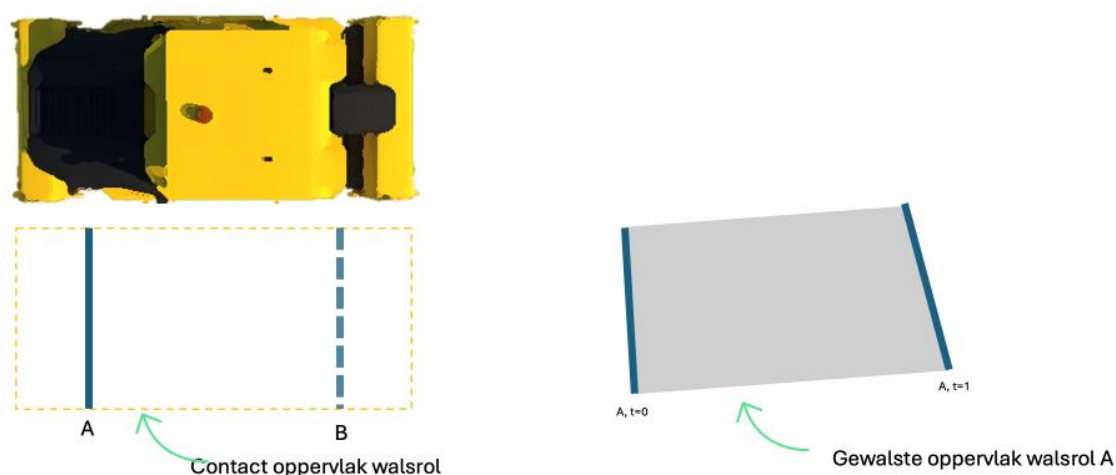
Figuur 20: Voorbeeld van de voetafdrukken achter de spreidmachine

Voetafdruk wals

Op de asfaltwals worden ook per seconde meerdere metingen uitgevoerd, waaronder snelheid, vibratiefrequentie en oppervlaktetemperatuur. Deze metingen worden gekoppeld aan het gebied op het asfalt waar de betreffende walsrol zich op dat moment bevindt. Dit gebied is de voetafdruk van de wals Figuur 21.

Een voetafdruk van de wals is het oppervlak tussen twee opeenvolgende posities van de walsrol. Per rol wordt iedere seconde de positie bepaald. Door de positie op tijdstip $t-1$ en t met elkaar te verbinden ontstaat een rechthoekig vlak dat het verdichte gebied representeert. De lengte van dit vlak is gelijk aan de afgelegde afstand tussen beide posities, en de breedte komt overeen met de breedte van de betreffende rol.

Elke wals kan bestaan uit één of meerdere afzonderlijke rollen. Afwijkende rijpatronen, zoals hondengang, worden meegenomen in de voetafdruk vanwege het kijken naar de individuele walsrollen. De bepaling van de exacte positie van de walsrollen wordt verder toegelicht in Bijlage 11.



Figuur 21: Voetafdruk walsrol

Stap 1. C: Semantische validatie en verbetering van sensormetingen

Sensoren op de machines

Voor alle meetwaarden wordt een semantische validatie toegepast om foutieve of onrealistische waarden uit te sluiten. De in Tabel 7 weergegeven grenzen worden hier initieel bij gehanteerd, deze zijn gebaseerd op een geïnformeerde schatting en worden bijgesteld op basis van de 100 DGOW-meevlakken:

Tabel 7: Voorwaarden semantische validatie spreidmachine en wals metingen

Parameter	Voorwaarde
Oppervlaktetemperatuur	$40^{\circ}\text{C} \geq T \leq 250^{\circ}\text{C}$
Vibratie frequentie	$-0 \text{ Hz} \geq F \leq 100 \text{ Hz}$
Vibratie amplitude	$-0\text{mm} \geq A \leq 2\text{mm}$

Meetwaarden van de ondergrondtemperatuur kunnen sterk fluctueren door externe invloeden. Om uitschieters als gevolg van sensorruis te onderdrukken, wordt op deze meetreeks een 'moving average' filter toegepast. Daarbij wordt voor elk punt het gemiddelde genomen over een venster van zeven metingen (drie vóór, drie ná en het punt zelf) (14). Dit is een vertrekpunt, gedurende de 100 DGOW projecten kan het aantal punten worden verkleind of vergroot op basis van nieuwe inzichten.

Deze filter zorgt ervoor dat individuele uitschieters worden afgevlakt, terwijl relevante temperatuurverschillen, zoals koude plekken, zichtbaar blijven.

$$T(t) = \frac{1}{3} \sum_{i=t-2}^t p_i + \frac{1}{3} \sum_{i=t+1}^{t+3} p_i \quad (1)$$

Weerstation

Ook voor weerdata wordt een semantische validatie uitgevoerd. De initiële criteria zijn weergegeven in Tabel 8. Ook hier wordt een moving average filter toegepast, met een venster van 11 metingen (4 vóór + het punt en 5 na), om de natuurlijke variatie in metingen te behouden en meetruis te reduceren.

Tabel 8: Voorwaarden semantische validatie spreidmachine en wals metingen

Parameter	Voorwaarde
Oppervlaktetemperatuur asfalt	$40^{\circ}\text{C} \geq T \leq 250^{\circ}\text{C}$
Ondergrondtemperatuur	$-30^{\circ}\text{C} \geq T \leq 50^{\circ}\text{C}$
Temperatuurverschil	$< 10^{\circ}/\text{min}$
Luchtvochtigheid	$0\% \geq \varphi \leq 100\%$
Luchtvochtigheid verschil	$< 20\%/\text{min}$
Windsnelheid	$-0 \geq v \leq 40$
Windrichting	$0^{\circ} \geq \leq 360^{\circ}$
Zonnestraling	$0 \geq w/\text{m}^2 \leq 1200$

$$T(t) = \frac{1}{5} \sum_{i=t-4}^t p_i + \frac{1}{5} \sum_{i=t+1}^{t+5} p_i \quad (2)$$

Stap 1. D: Koppelen van sensormetingen aan voetafdrukken

Zodra de voetafdrukken zijn bepaald, worden de bijbehorende meetwaarden worden gerelateerd. Deze koppeling vindt per voetafdruk plaats, op basis van de van tijd.

Machinedata

Bij de spreidmachine en wals worden de meetwaarden (zoals temperatuur, trilfrequentie, amplitude en snelheid) op dezelfde frequentie als de voetafdrukken. Daardoor kunnen de meetwaarden direct worden gekoppeld aan de bijbehorende voetafdruk die voor het moment van meten is bepaald.

Weerdata

Omdat weersdata op een ander meetinterval worden vastgelegd dan machinedata, wordt per voetafdruk de weerwaarneming geselecteerd waarvan de tijdstempel het dichtst ligt bij het tijdstip van de voetafdruk.

Weegbonnen toekennen (logistiek)

Bij de verwerking van logistieke data is bekend op welk tijdstip een vrachtwagen is begonnen met lossen en wanneer het lossen is beëindigd. Deze tijdstempels worden gebruikt om per voetafdruk te bepalen bij welke vracht de verwerking heeft plaatsgevonden. Dit gebeurt door het tijdstip van de voetafdruk te vergelijken met het losmoment van de vracht. Deze methode is echter slechts een benadering. Tussen het lossen en het moment waarop het asfalt daadwerkelijk wordt gespreid, zit doorgaans een overgangperiode. Hierdoor is er geen directe één-op-één-relatie tussen een voetafdruk en een specifieke vracht.

Bij werken met meerdere spreidmachines wordt de koppeling bovendien complexer, omdat niet altijd eenduidig geregistreerd is welke weegbon bij welke machine hoort. In het geval van tussenopslag (bijv. bij voorladers of shuttlebuggies) vervaagt de directe relatie tussen weegbon en verwerkingsmoment nog verder.

Daarom wordt binnen DGOW het koppelen van weegbonnen beschouwd als een indicatieve stap. Er is op dit moment nog geen generieke methodiek beschikbaar die deze toekenning onder alle omstandigheden betrouwbaar uitvoert. De onzekerheid in deze koppeling is dan ook relatief groot, met name bij grote werken of bij inzet van meerdere machines of tussenopslag. In de praktijk wordt op de meeste DGOW-meetvakken gewerkt met een enkele spreidmachine, waardoor de koppeling in die gevallen bruikbare en voldoende betrouwbare inzichten kan geven.

Stap 1. E: Filteren van irrelevante voetafdrukken

Niet alle vastgelegde data zijn van toegevoegde waarde. Van de asfaltspreidmachine worden bijvoorbeeld altijd alle voetafdrukken in het zichtveld van de IR-vlaksensor vastgelegd. Dit is een breedte van 14 meter, waarvan op de meeste reguliere werken maar een deel relevant is. Daarom worden per meet moment (ledere seconde/ regel) de temperatuurmetingen van voetafdrukken buiten het aangebrachte asfalt weg gefilterd op basis van het temperatuur profiel. Dit gebeurt volgens de volgende methodiek:

- De voetafdrukken aan de buitenzijde worden stapsgewijs verwijderd totdat de temperatuurwaarde hoger is dan 60 °C.

Stap 2: Omzetten van voetafdruk naar datategels

Zodra de voetafdrukken zijn bepaald, worden deze ruimtelijke vlakken vertaald naar het vaste raster van datategels. Dit is nodig om de meetwaarden te kunnen aggregeren en analyseren binnen de landelijke datastructuur van DGOW.

Omdat voetafdrukken per meting kunnen variëren in grootte, vorm en oriëntatie, worden ze gekoppeld aan kleinere aggregatietegels die dienen als tussenlaag. Vanuit deze aggregatietegels worden de verwerkingsparameters vervolgens samengevoegd tot datategels van vaste grootte (zie eerder hoofdstuk voor een beschrijving van de datategel).

Binnen DGOW wordt er dus onderscheid gemaakt tussen drie ruimtelijke niveaus:

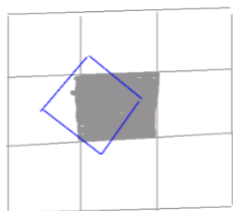
- **Voetafdruk:** het werkelijke beïnvloede oppervlak per meting; variabel van vorm/grootte.
- **Aggregatietegel:** de kleinste vaste eenheid waarop meetwaarden initieel worden gekoppeld (bijv. 10×10 cm).
- **Datategel:** de uiteindelijke eenheid voor analyse en kwaliteitsbeoordeling (bijv. 20×20 cm); bestaat uit meerdere aggregatietegels.

De minimale grootte van aggregatietegels is afhankelijk van de gps-nauwkeurigheid. Bij een RTK FIX-situatie met een standaardafwijking tot 4 cm, is een aggregatietegel van 10 × 10 cm een robuuste keuze. Bij lagere gps-kwaliteit kan het nodig zijn om met grotere aggregatietegels te werken om ruis te compenseren. Inzichten over deze keuzes moeten komen uit de 100 DGOW-meetvakken.

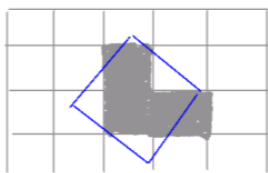
In **Figuur 22** t/m **Figuur 24** zijn drie configuraties en daarmee effecten weergegeven waarin de schaalverhouding tussen aggregatietegel en datategel varieert (voetafdruk in blauw weergegeven). Voetafdrukken worden gekoppeld aan aggregatietegels als het middelpunt van de aggregatietegel binnen de voetafdruk valt. Daarbij kunnen er verschillende situaties ontstaan:

- De voetafdruk ligt volledig binnen een aggregatietegel
- De voetafdruk overlapt gedeeltelijk een aggregatietegel
- De voetafdruk overspant meerdere aggregatietegels
- Een aggregatietegel wordt overlapt door meerdere voetafdrukken

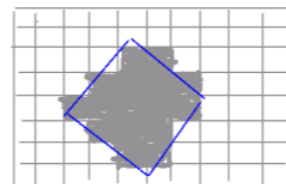
Als een aggregatietegel wordt overlapt door meerdere voetafdrukken wordt de eerst gekoppelde voetafdruk en bijbehorende sensormetingen behouden. De volledige technische uitwerken voor het koppelen van voetafdrukken aan aggregatietegels is te vinden in Bijlage 12.



Figuur 22: Transformatie van voetafdruk naar aggregatietegel 1:1



Figuur 23: Transformatie van voetafdruk naar aggregatietegel 1:2



Figuur 24: Transformatie van voetafdruk naar aggregatie tegel 1:4

8.1.4 Verwerkingsparameters koppelen aan asfaltkwaliteit

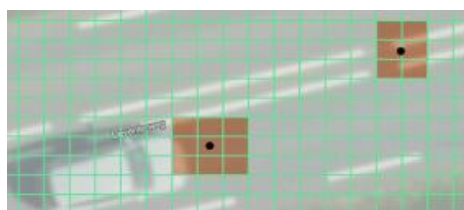
Een bijzonder kenmerk van de 100 DGOW-meetvakken is dat naast procesdata ook asfaltkwaliteitsdata worden verzameld. Dit gebeurt via boorkernen, die informatie geven over de gerealiseerde constructiekwaliteit, en via hoppermonsters, die de mengselkwaliteit verifiëren.

De hoppermonsters worden genomen vóór de verwerking en hebben daarmee geen directe relatie met het verwerkingsproces zelf. Ze dienen uitsluitend als verificatie van de mengseleigenschappen.

De boorkernen daarentegen worden wél gebruikt om een koppeling te maken tussen verwerkingskwaliteit en asfaltkwaliteit. Door per boorlocatie de bijbehorende verwerkingsdata op te vragen, kan worden onderzocht welke procescondities (zoals temperatuur, snelheid of verdichting) hebben bijgedragen aan het uiteindelijke resultaat.

Locatie gebaseerde koppeling

Op basis van de ingemeten coördinaten van een boorkern wordt bepaald welke datategels betrekking hebben op die locatie. Een datategel wordt geselecteerd als het middelpunt binnen een straal van 25 cm rond het boorpunt ligt. Figuur 25 toont een voorbeeld van deze selectie rond een boorkern.



Figuur 25: Voorbeeld: selectie datategels bij boorlocatie

Naast boorkernen zijn er per project vaak ook bemonsteringsplannen opgesteld. Deze kunnen als kaartlaag over de datategels worden gelegd, zodat de traditionele methode van kwaliteitsborging visueel en inhoudelijk kan worden vergeleken met de data-gedreven aanpak van DGOW. Ook de locaties van hoppermonsters kunnen aan specifieke voetafdrukken worden gekoppeld en als kaartlaag worden weergegeven, hoewel deze metingen betrekking hebben op mengselkwaliteit vóór verwerking. Zodra per datategel de relevante verwerkingsparameters beschikbaar zijn, kunnen deze worden geanalyseerd in relatie tot de gemeten asfaltkwaliteit. Dit vormt de basis voor het ontwikkelen van een duidingssysteem waarin procesdata worden ingezet als indicator voor asfaltkwaliteit en daarmee voor een nieuwe, data-gedreven vorm van kwaliteitsborging.

8.2 Data platform

De verwerkte procesdata biedt een schat aan gegevens die kunnen bijdragen bij het verbeteren van de asfaltkwaliteit en het beter voorspellen van de huidige condities. Daarom is het van belang dat de verwerkingsparameters en verwerkingskwaliteit in een landelijke data platform worden vastgelegd. De drie verschillende datasoorten: Verwerkte data, Analyse data en de kaartlagen worden in dit platform vastgelegd.

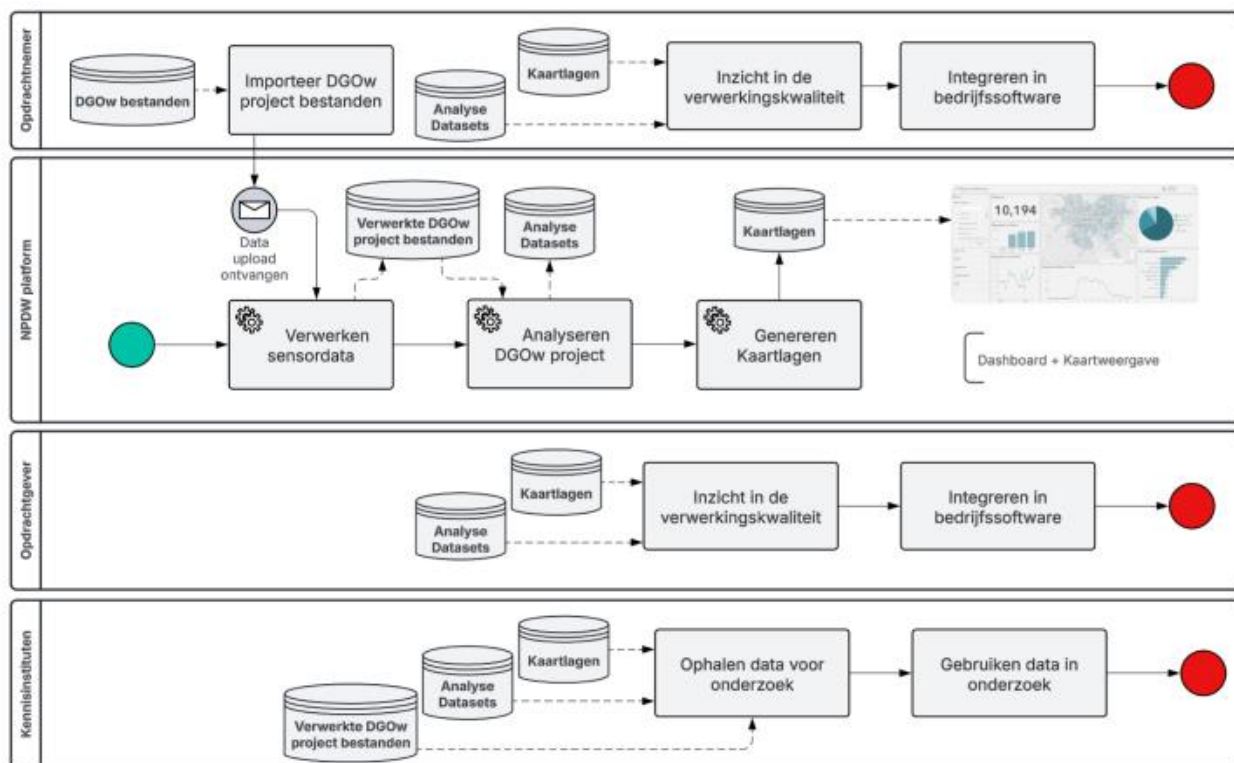
Verwerkte datasets en kaartlagen zijn op projectbasis vastgelegd

Analyse datasets worden toegevoegd aan een nationale dataset om project overstijgende analyse eenvoudiger te maken.

Het landelijk dataplatform biedt opdrachtgevers en wegbeheerders de mogelijkheid om toegang te krijgen tot verwerkingskwaliteit van iedere weg in het areaal en deze informatie te integreren in de onderhoud systematiek. Voor opdrachtnemers biedt het de mogelijkheid om een onafhankelijk oordeel van de verwerkingskwaliteit, alvorens oplevering in te zien. Daarnaast kan de informatie ook worden geïntegreerd in interne bedrijfssoftware

Als laatste biedt het landelijk dataplatform de mogelijkheid voor kennisinstituten om toegang te hebben tot een grote hoeveelheid data van gevalideerde kwaliteit. Daarmee kan onderzoek worden verricht ten behoeve van innovatie en verbetering in de wegverhardingen sector.

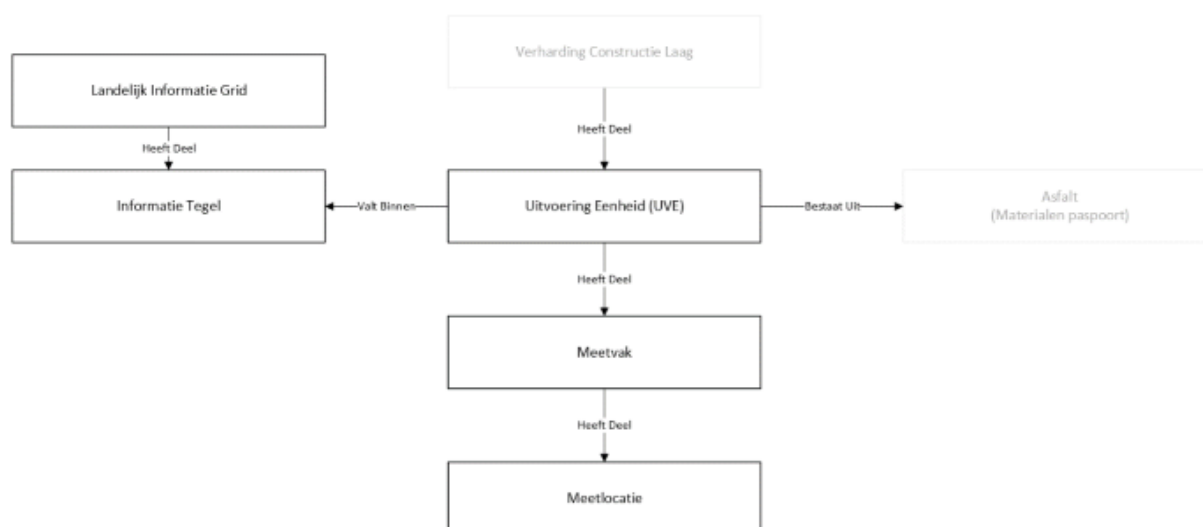
In Figuur 26 zijn de verschillende datastromen gevisualiseerd.



Figuur 26: Datastromen bij een publieke dataverwerkingstool en een landelijk data platform

Verbinding met andere gegevensbronnen

De integratiemogelijkheden van DGOW met andere gegevensbronnen is van groot belang. Ondanks dat DGOW nog in de ontwikkelfase zit en uit de 100 DGOW-meetvakken moet blijken wat de definitieve dataverwerkingsstappen en output datasets zijn is het van belang rekening te houden met toekomstige integraties. Bijvoorbeeld een potentiële integratie met de PIM-OTL (Figuur 27).



Figuur 27: Mogelijke relatie tussen datategel en PIM-OTL

8.3 Dataverwerkingsalgoritme

Om de dataverwerking voor transparant te houden en de verwerkingskwaliteit te borgen is het van belang om de eerder beschreven data verwerkingssystematiek toe te passen. Een mogelijke oplossing is een publieke dataverwerkingstool op een centrale plek.

Door het publiek beheren van de dataverwerkingstool kunnen alle partijen meewerken aan een sterk en robuuste verwerkingstool die gebruikt kan worden door alle partijen i.p.v. een eigen verwerkingstool per partij.

Doordat de verwerkingstool publiek is kunnen opdrachtgevers deze tool ook in eigen omgevingen toepassen waardoor voor opleveren de score al bekend kan zijn. Dit biedt de mogelijkheid om gedurende het proces op kwaliteit te sturen.

Door de verwerkingssystematiek ook als publiekelijke tool beschikbaar te stellen kan eenieder partij de ruwe datasets uploaden en krijgen ze daarna toegang tot:

- **Verwerkte dataset**, deze dataset bevat verwerkingsparameters en verwerkingskwaliteit op tegelniveau
- **Analyse dataset**, deze dataset bevat verwerkingsparameters en verwerkingskwaliteit van specifieke locaties of op een hogere schaal
- **Kaartlagen**, Verschillende kaartlagen worden geleverd als output, geschikt voor verschillende GIS, kaartweergave omgevingen.

Hoofdstuk 9 Interventie

onderdelen III - Duiden en rapporteren

9.1 Beoordelingsmethodiek verwerkingskwaliteit

Zoals eerder aangegeven, vormt het duiden van verwerkingskwaliteit een essentieel onderdeel van de DGOW-aanpak. De ruwe meetgegevens en afgeleide verwerkingsparameters geven op zichzelf geen oordeel over kwaliteit; hiervoor is interpretatie nodig. Binnen de 100 DGOW-metvakken wordt daarom gewerkt aan de ontwikkeling van een duidingssysteem waarmee verwerkingskwaliteit objectief en reproduceerbaar kan worden beoordeeld. Er wordt geëxperimenteerd met verschillende benaderingen, waaronder:

- **Vergelijking met een verwerkingsplan**

De gemeten verwerking wordt vergeleken met vooraf vastgestelde richtlijnen, zoals doeltemperaturen of het gewenste aantal walsovergangen.

- **Beoordeling op homogeniteit**

Kwaliteit wordt benaderd als de mate van consistentie in het verwerkingsproces. Daarbij geldt: hoe lager de variabiliteit, hoe hoger de kwaliteit.

- **Statistische procesbeheersing**

Verwerkingsdata worden getoetst op basis van statistische parameters, zoals standaarddeviatie, control charts of andere kwaliteitsindicatoren (PQi-score en Effective Compaction Rate [8]).

- **Koppeling aan eigenschappen van mengsel en constructie**

Er wordt onderzocht hoe verwerkingsdata kunnen worden verbonden aan laboratoriumwaarden van het asfaltmengsel of gemeten eigenschappen van de uiteindelijke constructie.

Verwerkingsstappen duidingssysteem

Afhankelijk van de gekozen duidingssysteem worden scores berekend op zowel datategelniveau als projectniveau of beheereenheid niveau¹⁰. De exacte verwerkingslogica, aggregatiemethoden en beoordelingscriteria verschillen per benadering en zijn nog in ontwikkeling.

Op het moment is de definitieve duidingssysteem nog niet vastgesteld. Binnen de DGOW-metvakken wordt geëxperimenteerd met verschillende methoden. De resultaten zullen worden gebruikt om deze verder uit te werken, en waar nodig bij te stellen.

Dit document beschrijft daarom nog geen technische uitwerking van de verwerkingsstappen binnen de duiding laag. De structuur is daarentegen zodanig opgezet dat verschillende vormen van duiding, variatieanalyses, normvergelijking, grenswaardeclassificatie of statistische procesbewaking, eenvoudig kunnen worden toegepast op de vlakdekkende datategels.

¹⁰ Denk hierbij aan bijvoorbeeld BPS

9.2 Dashboard

Dit onderdeel is nog in ontwikkeling en volgt binnenkort

9.3 Digitaal oplever rapport DGOW

Dit onderdeel is nog in ontwikkeling en volgt binnenkort

Bijlage 1 Referentielijst

Notering

Auteurs:	Rémy van den Beemt, ir. Bas van der Zande, ing. Peter Collard, dr. ir. Seirgei Miller, dr.ir. Joao Santos
Jaar van publicatie:	2026
Plaats van publicatie:	17 juli 2026
Uitgever:	Nationaal Platform Duurzame wegverharding
Foto covers	SOMA college harderwijk

Bronvermelding

- [1] Oosterveld, M., Galesloot, M., Sluer, B., BAM Infra, Boskalis Nederland, ASPARi, BB Infra Asphalt Advies, APA, APRR, APT, Vergeer, R., Vosmaer, C., Provincie Noord-Brabant, Gem Amsterdam, Rouwenhorst, R., Van Den Hurk, M., Provincie Gelderland, Heijmans, & Rijkswaterstaat. (2023). ASPARi in contracten [Report].
- [2] Houtepen, A., Van Der Aa, R., Van Den Beemt, R., Collard, P., Bouwstoffenunie, Landa, P., Mutsaers, J., Van Noortwijk, J., Siedenburg, H., Van Der Steen, M., Van De Water, J., & Kuipers, H. (2023). De Nieuwe Systematiek voor Kwaliteitsborging (NSKB). In Rapportage Van De Asphalt Impuls Werkgroep Kwaliteitsborging N1389 (pp. 1–66) [Report].
- [3] Rauch, H. E., Tung, F., & Striebel, C. T. (1965). Maximum likelihood estimates of linear dynamic systems. *AIAA Journal*, 3(8), 1445–1450. <https://doi.org/10.2514/3.3166>
- [4] Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering*, 82(1), 35–45. <https://doi.org/10.1115/1.3662552>
- [5] Särkkä, A. S. (2013). Bayesian filtering and smoothing. In *IMS Textbooks Series*. Cambridge University Press. https://users.aalto.fi/~ssarkka/pub/cup_book_online_20131111.pdf
- [6] GEOS. (n.d.). GEOS. <https://libgeos.org/>
- [7] JTS | Documentation. (n.d.). <https://locationtech.github.io/jts/>
- [8] Makarov, D. (2023). *Automation in paving operations, too little or too much?* <https://doi.org/10.3990/1.9789036559430>

Bijlage 2 Voorbeeld VTW

Inclusief werkafspraken en verwerkingsplan template

Verzoek tot wijziging (VTW) meetvak DGOW – V1.0 | 17-07-2026



VERZOEK TOT WIJZIGING (VTW) V1.0

Datagedreven Opleveren Wegen (DGOW)

Project: [invullen]

Contractnummer: [invullen], hierna "Overeenkomst"

Opdrachtgever: [invullen]

Opdrachtnemer: [invullen]

Datum: [invullen]

Nationaal Platform Duurzame Wegverharding

Pagina 1





1. Juridische grondslag

Deze VTW (Verzoek Tot Wijziging) wordt gedaan op grond van de wijzigingsbepalingen zoals opgenomen in de Overeenkomst tussen Opdrachtgever en Opdrachtnemer. De onderhavige wijziging betreft een aanvullende verplichting tot medewerking aan dataverzameling in het kader van DGOW.

De VTW is gebaseerd op de afspraken en werkinstructies tussen Opdrachtgever en het Nationaal Platform Duurzame Wegverharding (NPDW)/ CROW. Door afspraken en werkinstructies als bijlage 1 aan deze VTW te hechten wordt volledige transparantie richting Opdrachtnemer gewaarborgd.

2. Doel en karakter van DGOW

DGOW is een gezamenlijk project van de hele wegenbouwsector om beter te begrijpen hoe asfalt wordt aangelegd en hoe de kwaliteit daarvan kan worden verbeterd. Tijdens het aanleggen van asfalt worden daarom overal – dus over het hele wegvak en niet alleen op een paar plekken – gegevens verzameld over hoe het werk wordt uitgevoerd. Denk aan temperatuur van het asfalt, snelheid van verwerken, hoe vaak er gewaist wordt, enzovoort.

Het doel van DGOW is om de tijdens de uitvoering vastgelegde data op een structurele wijze te benutten binnen de kwaliteitsborging, zodat deze data niet alleen wordt geregistreerd maar ook systematisch kan worden geanalyseerd en gebruikt om de aanleg van asfalt continu te verbeteren. Hierdoor ontstaat inzicht in welke uitvoeringsmethoden leiden tot wegen die duurzamer zijn, langer meegaan en minder onderhoud vragen. Deze vorm van procesbeheersing is daarbij waardevol voor zowel opdrachtnemer als opdrachtgever, omdat beide partijen beter inzicht krijgen in het uitvoeringsproces en in factoren die de uiteindelijke kwaliteit van het asfalt beïnvloeden. Het leren hoe de aanleg van asfalt verder kan worden verbeterd is daarbij gebaseerd op de door de Universiteit Twente ontwikkelde ASPARI-methode.

De activiteiten binnen DGOW hebben daarom een ontwikkel- en testkarakter. Ze zijn gericht op het verzamelen van kennis en het valideren van een nieuwe manier van kwaliteitsborging, en zijn nadrukkelijk geen vervanging van de reguliere contractuele kwaliteitscontroles die binnen het project gelden.

De gegevens die in dit kader worden verzameld, hebben dan ook geen juridische of contractuele status. Zij worden niet gebruikt voor beoordeling van de oplevering, acceptatie van het werk of het vaststellen van aansprakelijkheid en kunnen niet dienen als grondslag om partijen contractueel aan te spreken. DGOW is uitsluitend bedoeld als leer- en ontwikkelinstrument voor de sector.



3. Reikwijdte van de wijziging

De wijziging ziet uitsluitend op het volgende deel van het Project:

- Uitvoeringsdeel / laag: [invullen]
- Meetvak: [invullen]
- Uitvoeringsdatum: [invullen]

4. Uitvoering DGOW

4.1. Voorbereiding

Opdrachtnemer verstrekt voorafgaand aan de uitvoering aan Opdrachtgever de relevante uitvoeringsinformatie die nodig is voor de dataverzameling binnen DGOW. Dit omvat in ieder geval de **planning van de werkzaamheden**, de **werktekeningen** van het betreffende wegvak, het **verwerkingsplan** met de daarin opgenomen verwerkingsparameters (zoals asfalttemperatuur, snelheid en walsregime) (template verwerkingsplan bijlage 2), het **verkort verslag (VV)** en **CE blad**. Deze documenten worden in één bestandsmap overgedragen aan Opdrachtgever ter attentie van NPDW ten minste 2 weken voor aanvang van het werk.

Deze informatie wordt uitsluitend verstrekt om de meet- en registratiewerkzaamheden in het kader van DGOW goed te kunnen voorbereiden en uitvoeren. Daarnaast wordt deze uitvoeringsinformatie zoals opgenomen het verwerkingsplan gebruikt als referentie om de feitelijke uitvoering van het werk te kunnen vergelijken met de vooraf beoogde werkwijze, zodat de vastgelegde data ook kan worden gebruikt voor analyse.

4.2. Metingen tijdens uitvoering

Opdrachtnemer verleent toegang tot het Werk en staat toe dat NPDW sensoren monteert op machines en vlakdekkend data registreert (onder andere asfalttemperatuur, spreidingsnelheid, walsrolpassages, verdichtingsenergie en weersomstandigheden). Het plaatsen van temperatuursensoren in het asfalt is geen vast onderdeel en derhalve niet verplicht.

Hoppermonsters worden genomen en logistieke gegevens (weegbonnen) worden ingezien. Opdrachtnemer verstrekt na afloop van het werk binnen 7 dagen een kopie van de weegbonnen aan Opdrachtgever ter attentie van NPDW.

4.3. Kernboringen

Opdrachtnemer verricht aanvullende kernboringen conform bemonsteringsplan en draagt deze binnen 3 werkdagen over aan het aangewezen laboratorium.

5. Overeenkomst Datadelen (integraal onderdeel van deze VTW)

5.1. Eigendom en gebruik

De ruwe meetgegevens die in het kader van DGOW worden verzameld, blijven in beheer en eigendom van NPDW.

De gegevens die specifiek betrekking hebben op het Project worden gedeeld met zowel Opdrachtgever als Opdrachtnemer, zodat zij inzicht hebben in de binnen het Project verzamelde informatie.

Het gebruik van deze data is beperkt tot onderzoeks- en ontwikkeldoelstellingen, waaronder het testen en valideren van de DGOW-systematiek en het uitvoeren van sectorbrede, geaggregeerde analyses. De data mogen niet worden gebruikt voor commerciële doeleinden, contractuele handhaving of andere doeleinden buiten het leer- en ontwikkelkarakter van DGOW.



5.2. Anonimiseren en publicatie

Publicatie of bredere verspreiding van de verzamelde gegevens vindt uitsluitend plaats in geanonimiseerde en samengevoegde vorm, met als doel dat deze niet zijn te herleiden zijn tot een specifiek project, bedrijf of individuele partij. Echter, Opdrachtgever kan er niet voor instaan dat herleiding onmogelijk is. Markt uitingen en Informatie die wel direct of indirect herleidbaar is tot een concreet project of een betrokken organisatie worden niet openbaar gemaakt of met derden gedeeld zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de betreffende partijen.

5.3. Geen contractueel gebruik

DGOW-data mogen niet worden aangewend voor contractuele beoordeling, sancties, verrekeningen of aansprakelijkstelling.

5.4. Gebruik bij geschillen

DGOW-data mogen niet worden gebruikt als zelfstandig bewijs of als bindende grondslag voor het beslechten van een dispuut tussen Opdrachtgever en Opdrachtnemer. DGOW-data kunnen echter wel aanleiding vormen voor Opdrachtgever om, conform de Overeenkomst, nader onderzoek te verrichten naar de kwaliteit van de gerealiseerde wegverharding en de naleving van overeengekomen specificaties. Een dergelijk onderzoek vindt plaats op basis van de in de Overeenkomst vastgelegde keurings- en acceptatieregels.

5.5. Verwerkingsverantwoordelijkheid en AVG

Voor zover persoonsgegevens worden verwerkt, handelen partijen als zelfstandige verwerkingsverantwoordelijken in de zin van de AVG. Iedere partij draagt zorg voor naleving van toepasselijke privacywetgeving. Data worden opgeslagen in een beveiligde digitale omgeving met toegangscontrole.

5.6. Intellectuele eigendom

Algoritmen, dashboards, analysemethoden en afgeleide sectorinzichten blijven intellectueel eigendom van NPDW/CROW, tenzij schriftelijk anders overeengekomen.



6. Planning en financiële gevolgen

DGOW-activiteiten hebben geen invloed op de planning of de opleveringsdata. Eventuele aanvullende kosten beperken zich tot extra kernboringen buiten de reguliere keuringsverplichtingen.

Meerwerk: € [invullen]

BTW: € [invullen]

Totaal: € [invullen]

7. Slotbepalingen

Voor het overige blijven alle bepalingen van de Overeenkomst ongewijzigd van kracht. Deze VTW treedt in werking na schriftelijke aanvaarding door Opdrachtnemer.

Aldus overeengekomen:

Plaats: _____

Datum: _____

Opdrachtgever: _____

Opdrachtnemer: _____



Bijlage 1: Werkinstructie DGOW

WERKINSTRUCTIE “Datagedreven Opleveren Wegen” (DGOW) (Samenwerking Opdrachtgever – NPDW)

1. Doel

Deze werkinstructie beschrijft hoe de Opdrachtgever en het Nationaal Platform Duurzame Wegverharding (NPDW) binnen DGOW-projecten met elkaar samenwerken. Hierin wordt vastgelegd hoe data tijdens deze projecten worden gemeten, verzameld, verwerkt en gedeeld.

De werkinstructie heeft het karakter van een interne werkafspraken tussen Opdrachtgever en NPDW. Het doel daarvan is te zorgen voor een eenduidige en zorgvuldige uitvoering van de DGOW-activiteiten, zodat de dataverzameling en -verwerking op alle projecten op dezelfde manier plaatsvinden, herhaalbaar zijn en voor alle betrokken partijen inzichtelijk blijven.

2. Rollen en verantwoordelijkheden

De Opdrachtgever selecteert binnen de eigen projectportefeuille de projecten die geschikt zijn om als DGOW-project uit te voeren. Vervolgens initieert Opdrachtgever een Verzoek tot Wijziging (VTW) richting Opdrachtnemer om de uitvoering van de DGOW-activiteiten contractueel mogelijk te maken. Opdrachtgever zorgt er daarnaast voor dat NPDW toegang krijgt tot het werk en tot de benodigde projectinformatie, zodat de metingen en dataverzameling kunnen plaatsvinden. Na uitvoering ontvangt Opdrachtgever de projectgebonden dashboards en rapportages en kan deze gebruiken voor inzicht in kwaliteit en voor verdere kennisontwikkeling, zonder dat dit de reguliere contractuele kwaliteitsbeoordeling vervangt.

NPDW is verantwoordelijk voor de inhoudelijke en technische uitvoering van DGOW binnen het project. NPDW stelt vooraf een bemonsteringsplan op, levert een meetdagbegeleider en verzorgt de montage, instelling en kalibratie van de benodigde sensoren en meetapparatuur. De verzamelde ruwe data worden door NPDW verwerkt volgens uniforme en gestandaardiseerde methoden en omgezet in een geüniformeerd dashboard met projectinformatie en analyses. Daarnaast organiseert NPDW periodiek evaluatiesessies waarin de resultaten worden toegelicht en ervaringen uit verschillende projecten worden gedeeld.

3. Dataverzameling

Voorafgaand aan de uitvoering bepalen Opdrachtgever en NPDW in onderling overleg welk deel van het werk als meetvak wordt aangewezen en op welke asfaltlaag de metingen betrekking hebben. Ook wordt de uitvoeringsplanning afgestemd, zodat de meetactiviteiten goed kunnen worden ingepast in het werk. Relevante gegevens over de in te zetten machines en de configuratie daarvan worden vastgelegd en het toe te passen meetprotocol wordt vooraf bevestigd, zodat voor alle betrokkenen duidelijk is hoe de dataverzameling plaatsvindt en aan welke technische randvoorwaarden moet worden voldaan.

Tijdens de uitvoering legt NPDW het verwerkingsproces vlakdekkend vast. Daarbij worden onder meer gegevens geregistreerd over de temperatuur van het asfaltoppervlak, de spreidingsnelheid, het aantal en type walsrolpassages, de toegepaste verdichtingsenergie, de weersomstandigheden en logistieke gegevens zoals lostijden van vrachten. De meetapparatuur die hiervoor wordt gebruikt is machine-onafhankelijk en wordt voorafgaand aan de werkzaamheden op het materieel geplaatst en na afloop weer verwijderd. Dit gebeurt zonder structurele aanpassingen aan het materieel of verstoring van de reguliere procesvoering.



Daarnaast worden monsters genomen om de kwaliteit van het mengsel en het gerealiseerde asfalt vast te leggen. Voorafgaand aan de verwerking worden hoppermonsters genomen en na aanleg worden boorkernen geboord conform het vooraf vastgestelde bemonsteringsplan. De analyse van deze monsters vindt plaats in een onafhankelijk en geaccrediteerd laboratorium, volgens de geldende normen en accreditatieregels.

4. Dataverwerking

De ruwe data die tijdens de uitvoering worden verzameld, worden centraal opgeslagen in de digitale omgeving die door NPDW wordt beheerd. Vervolgens worden deze gegevens verwerkt volgens vaste, gestandaardiseerde methoden en algoritmen. Op basis daarvan worden uniforme prestatie-indicatoren (KPI's) ontwikkeld, getest en vertaald naar visuele weergaven in een GIS-gebaseerd dashboard.

Door deze eenduidige wijze van verwerken en presenteren kunnen resultaten van verschillende projecten op dezelfde manier worden beoordeeld en met elkaar worden vergeleken. De gehanteerde verwerkingsmethodiek sluit aan bij de betreffende onderdelen uit het Projectplan DGOW en is erop gericht dat de uitkomsten reproduceerbaar, consistent en onderling vergelijkbaar zijn. Verwerkingen van data zullen door NPDW met Opdrachtgever en Opdrachtnemer worden gedeeld.

5. Gebruik van data

De data die binnen DGOW worden verzameld, worden uitsluitend gebruikt voor het ontwikkelen en valideren van de systematiek en voor het opbouwen van sectorbrede kennis. Zij zijn bedoeld om inzicht te verkrijgen in het verwerkingsproces en om de kwaliteit van toekomstige projecten beter voorspelbaar te maken.

De gegevens worden niet gebruikt voor contractuele beoordeling van het werk, voor financiële verrekeningen of voor het opleggen van sancties aan betrokken partijen. Publicatie of verdere verspreiding van de resultaten vindt alleen plaats in geanonimiseerde en geaggregeerde vorm, zodat deze niet te herleiden zijn tot een specifiek project, bedrijf of individuele partij.

6. Beveiliging en governance

Data worden opgeslagen in een beveiligde digitale omgeving met projectgebonden toegangscontrole. Voor sectoranalyse worden datasets geaggregeerd zodat individuele projecten of marktpartijen niet herleidbaar zijn. Voor zover persoonsgegevens worden verwerkt, geschiedt dit conform de AVG, waarbij partijen handelen als zelfstandige verwerkingsverantwoordelijken.

7. Evaluatie

Na afronding van minimaal twee DGOW-projecten vindt een gezamenlijke reflectiesessie plaats waarin KPI's worden besproken, vergelijking met andere projecten wordt gemaakt, feedback op het dashboard wordt verzameld en verbeterpunten in meet- en verwerkingsmethodiek worden vastgesteld. Deze evaluaties dragen bij aan verdere verfijning en validatie van het DGOW-systeem.

Bijlage 3 Verwerkingsplan

Template verwerkingsplan DGOW – V1.0 | 17-07-2026



Bij ieder DGOW-project dient de aannemer vóór aanvang van de uitvoering een verwerkingsplan aan te leveren. Dit plan is specifiek opgesteld voor het toe te passen asfaltmengsel en dient als instructie voor de asfaltploeg. Het beschrijft hoe het mengsel moet worden verwerkt om een optimaal eindresultaat te realiseren.

Het verwerkingsplan wordt opgesteld voor een specifiek asfaltmengsel. Daarom moeten de verwerkingskeuzes en instellingen worden afgestemd op de eigenschappen van dat betreffende mengsel.

Het verwerkingsplan is opgebouwd uit de volgende vier onderdelen:

- Projectgegevens
- Weersomstandigheden en ondergrond
- Asfaltverwerking
- Verdichting

Indien bepaalde onderdelen lastig of niet volledig kunnen worden ingevuld, dient het verwerkingsplan desondanks zo volledig en zorgvuldig mogelijk te worden ingevuld. Eventuele onduidelijkheden kunnen op het formulier worden vermeld.

1. Projectgegevens

Projectnaam	
DGOW-project ID	
Toegepast Mengselnaam	
Toegepast Mengselcode	
Soort Laag	
Laagdikte	
Geplande datum uitvoering	

2. Weersomstandigheden en ondergrond

Minimale buitentemperatuur ¹		-
Minimale ondergrond temperatuur		°C
Maximale windsnelheid		m/s

¹ De RAW biedt voor sommige mengsels/lagen een formule, bijv. RAW: Buitentemperatuur (°C) ± windsnelheid (m/s) + 5

Template verwerkingsplan DGOW – V1.0 | 17-07-2026



3. Asfaltverwerking

Instellingen/ opstelling spreidmachine

Aantal spreidmachines		-
Volume hopper (incl. inzetbak)		Ton
Shuttlebuggy / voorlader	Shuttlebuggy / Voorlader / Geen	-
Volume Shuttlebuggy / voorlader		Ton
Minimale balk breedte		Meter
Uitgebouwde wormen	Ja / nee	-
Kantijzers	Ja / nee	-
Naadverwarming	Ja / nee	-
Balkverwarming	Temperatuur	Ja / nee - °C
Snelheid stampessen		slagen /min
Vibratie balk		Hz
Percentage balkontlasting		%
Opmerkingen		
Bijv.: Strategie bij balkverwarming of instellingen stampessen		

Stopplekken

Definitie (niet geplande) stopplek			< m/min	Aantal min
			of °C verschil achter balk	
Strategie bij stopplek				

Uitvoering

	Min	Gewenst	Max	
Spreidmachinesnelheid				m/min
Asfalt temperatuur achter de balk				°C



4. Verdichting

Verschillende omstandigheden vragen om verschillende strategieën; je kunt er tot 2 invoeren.

Per strategie noteer je het walstype en kale gewicht (zonder water) als combinatie, bijvoorbeeld "D10" voor een drierol van 10 ton.

De vier walstypes zijn:

- D – Drierol
- T – Tandem
- C – Combi
- B – Banden

Walsstrategie 1

Wanneer toe te passen				
Maximale tijd tot eerste overgang				min
Minimale temperatuur eerste overgang				°C
	Voorwalsen	Tussenwalsen	Nawalsen	
Walssoort(en)				-
Maximale temperatuur				°C
Minimale temperatuur				°C
Vibreren	Ja/ nee / afwisselend ²	Ja/ nee / afwisselend ²	Ja/ nee / afwisselend ²	-
Oscilleren	Ja/ nee / afwisselend ²	Ja/ nee / afwisselend ²	Ja/ nee / afwisselend ²	-
Afstrooien	Ja/ nee/ nvt	Ja/ nee/ nvt	Ja/ nee/ nvt	-
Strategie bij afstrooien				

² Afwisselend met statisch verdichten

Walsstrategie 2

Wanneer toe te passen				
Maximale tijd tot eerste overgang				min
Minimale temperatuur eerste overgang				°C
	Voorwalsen	Tussenwalsen	Nawalsen	
Walssoort(en)				-
Maximale temperatuur				°C
Minimale temperatuur				°C
Vibreren	Ja/ nee / afwisselend ²	Ja/ nee / afwisselend ²	Ja/ nee / afwisselend ²	-
Oscilleren	Ja/ nee / afwisselend ²	Ja/ nee / afwisselend ²	Ja/ nee / afwisselend ²	-
Afstrooien	Ja/ nee/ nvt	Ja/ nee/ nvt	Ja/ nee/ nvt	-
Strategie bij afstrooien				

² Afwisselend met statisch verdichten

Bijlage 4 Schatting maximaal stroomverbruik meetopstelling

De testopstelling bestaat maximaal uit een gateway, GPS-ontvanger en 3 sensoren.

Tabel 9: Stroomverbruik per component

Hardwarecomponent	Maximaal vermogen	Stroomverbruik bij 12 uur
Gateway	20 watt	240Wh
GPS-ontvanger	5 watt	60Wh
Sensor IR-vlak	0,5 watt	6Wh
Sensor IR-punt	0,5 watt	6Wh
Sensor vibratie	0,5 watt	6Wh
Totaal	26,5 watt (piekbelasting)	318 Wh ~ 0,3kWh

Bij een gebruiksduur van 12 uur betekent dit een energiebehoefte van maximaal 0,3 kWh. Bij 12V is dan een maximum accucapaciteit van 25Ah nodig. Waarbij een piekbelasting van minimaal 30 watt moet kunnen worden geleverd. Het is niet aannemelijk dat alle hardwarecomponenten altijd op maximaal vermogen lopen. Een praktijktest is daarom cruciaal.

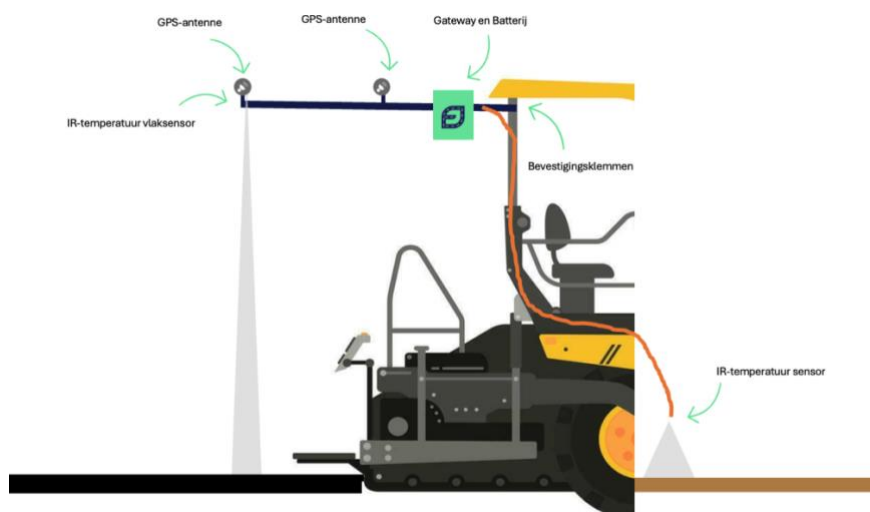
Bijlage 5 Opstelling sensoren op spreidmachine en wals

Spreidmachine

Op de asfaltspreidmachine worden met beugels de volgende hardwarecomponenten gemonteerd:

- Gateway + batterij
- GPS-ontvanger + antennes: Datum/tijd, positie, statische richting en snelheid
- IR-punt sensor: Ondergrondtemperatuur
- IR-vlaksensor: Oppervlaktetemperatuur achter de balk

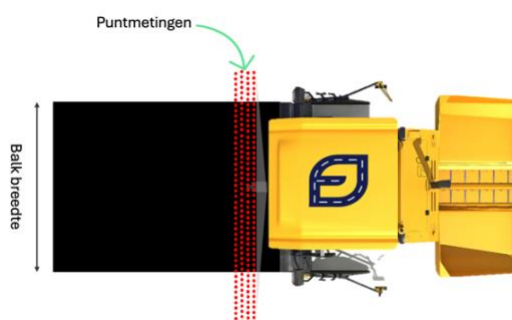
Figuur 28 toont een visuele weergave van de positie van de verschillende sensoren.



Figuur 28: Opstelling asfaltspreidmachine

Metten oppervlaktetemperatuur achter de balk met IR-vlak sensor

De oppervlaktetemperatuur direct achter de balk wordt gemeten met een IR-vlaksensor. Deze sensor registreert bij elke meting meerdere temperatuurpunten over de volledige breedte van het asfalt, aangevuld met meetpunten in de lengterichting (Figuur 29).

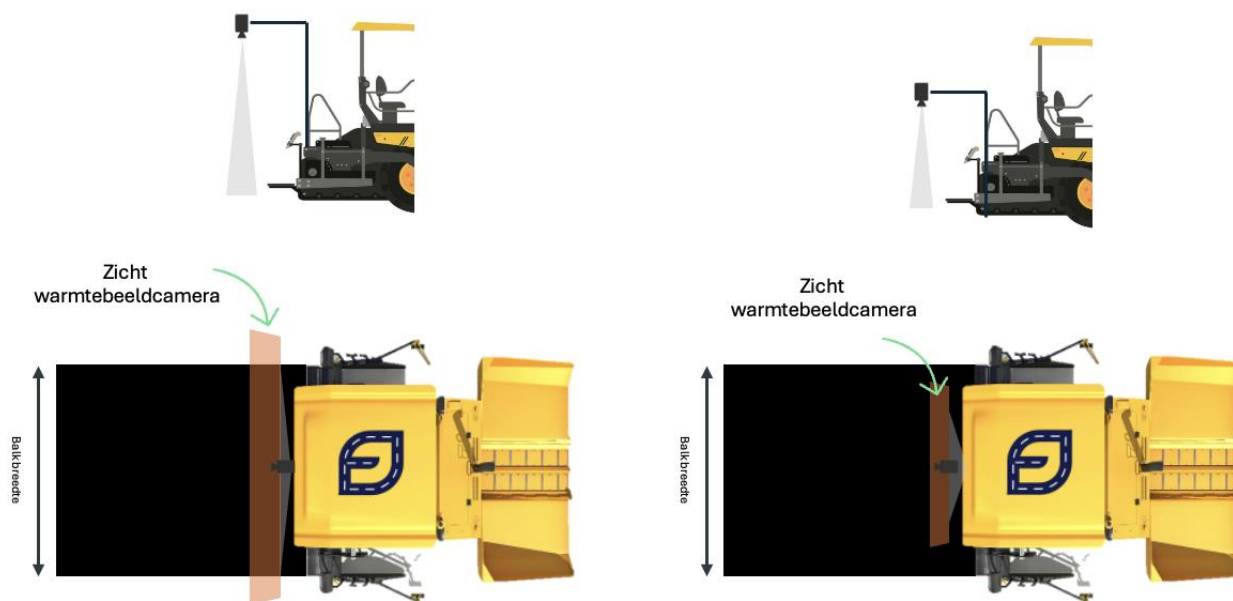


Figuur 29: Temperatuurmetingen achter de balk

De sensor wordt loodrecht op het asfaltoppervlak gemonteerd, onder een hoek van 90 graden. Omdat de bouw van asfaltspreidmachines kan variëren, verschillen ook de hoogte en afstand van de sensor tot de balk. De montageset houdt rekening met deze variatie. De hoogte van de sensor bepaalt het zichtveld: hoe lager geplaatst, hoe kleiner het gemeten gebied (Figuur 30).

Plaatsingsrichtlijnen:

- Monteer de sensor zo dicht mogelijk achter de balk
- Gebruik een vaste meethoogte ten opzichte van het asfaltoppervlak

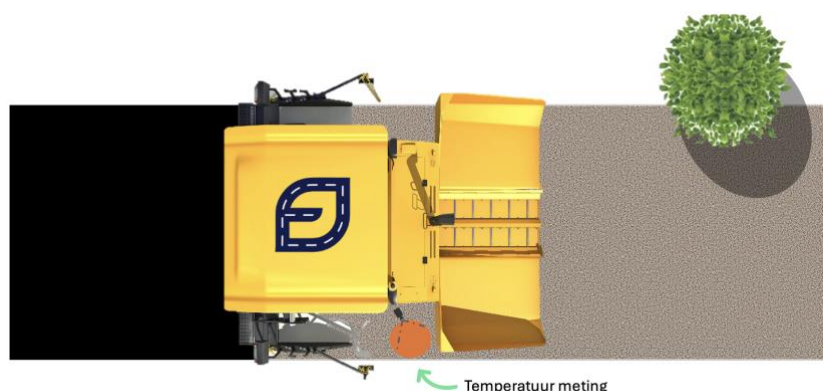


Figuur 30: Meetgebied warmtebeeldcamera

Meten ondergrond temperatuur met IR-punt sensor

De ondergrondtemperatuur vóór het aanbrengen van asfalt wordt gemeten met een IR-puntsensor, gemonteerd tussen de balk en de hopper van de asfaltspreidmachine (Figuur 31). De sensor is bevestigd op een magneethouder en gericht op het wegdek.

Aangenomen wordt dat de gemeten temperatuur op deze positie representatief is voor de temperatuur onder de balk op het moment van aanbrengen. Daarom volstaat een enkele meting op deze plek om het ondergrondprofiel in beeld te brengen.



Figuur 31: Voorbeeld ondergrond temperatuurmeting

Locatiebepaling temperatuur achter de balk en ondergrondtemperatuur

Bij de asfaltspreidmachine worden zowel de temperatuurmetingen achter de balk als de ondergrondtemperatuur gekoppeld aan de GPS-locatie van de machine. Omdat de GPS-antenne zich niet exact boven de meetpunten bevindt, is het noodzakelijk om het positieverschil tussen de GPS-antenne en de sensoren, evenals de hoogte van de IR-vlaksensor ten opzichte van het wegoppervlak, nauwkeurig vast te leggen. Deze gegevens maken correctie in de dataverwerking mogelijk.

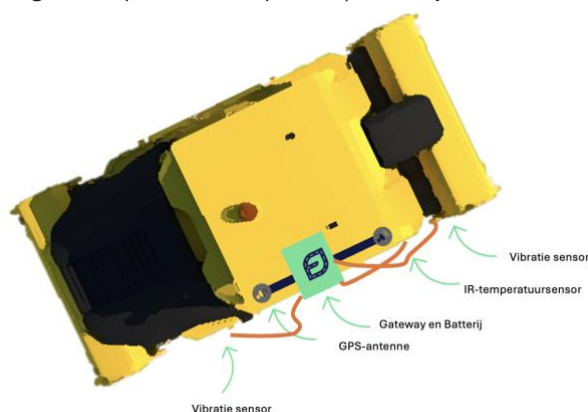
Om meetfouten te minimaliseren, wordt de IR-vlaksensor direct onder de GPS-antenne gemonteerd. Hierdoor is de relatieve positie tussen beide componenten gefixeerd en hoeft er achteraf geen horizontale correctie te worden toegepast. De IR-vlaksensor heeft een standaard hoogte, zodat deze waarde in alle DGOW-meetvakken consistent wordt gebruikt. De exacte montageplek op de asfaltspreidmachine is daardoor minder bepalend, zolang de sensor zo dicht mogelijk achter de balk is gepositioneerd en het zichtveld aan weerszijden wordt gerespecteerd.

Voor de ondergrondtemperatuurmeting geldt een iets andere benadering. Omdat deze meting plaatsvindt vóór het aanbrengen van asfalt, wordt de temperatuur gemeten op een vast punt tussen de hopper en de balk. Aangenomen wordt dat de temperatuur op deze locatie representatief is voor de ondergrond direct onder de balk. De relatieve afstand tussen sensor en gps-ontvanger zijn bij deze aanname niet relevant.

Wals

Op de asfaltwals worden de volgende hardwarecomponenten gemonteerd met behulp van beugels (Figuur 32):

- **Gateway + batterij**
- **GPS-ontvanger met antennes**, voor registratie van datum/tijd, positie, statische richting en snelheid
- **IR-puntsensor**, voor het meten van de oppervlaktetemperatuur onder de wals
- **Acceleratiesensor**, voor meting van frequentie en amplitude (alleen bij walsen die kunnen vibreren of oscilleren)

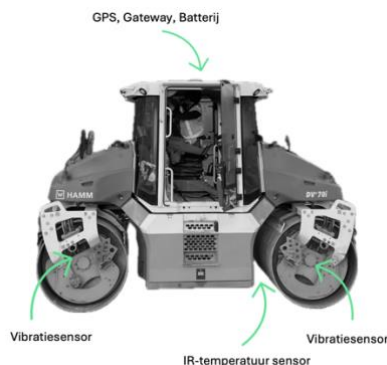


Figuur 32: Opstelling wals

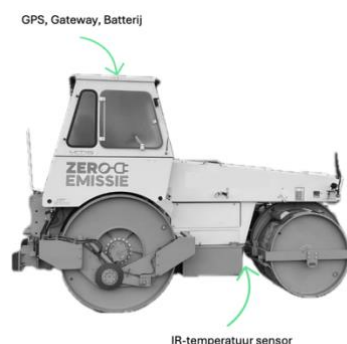
Bij het plaatsen van sensoren op de asfaltwals moet rekening worden gehouden met de stuurmethodiek en bouwvorm van de machine. Er zijn grofweg drie typen te onderscheiden: de tandemwals met gefixeerde walsrollen (Figuur 33), de tandemwals met individueel bestuurbare walsrollen (Figuur 34), en de drierolwals met een stuurbare voorrol en vaste achterrollen (Figuur 35).



Figuur 33: Tandemwals met gefixeerde walsrollen



Figuur 34: Tandemwals met individueel bestuurbare walsrollen

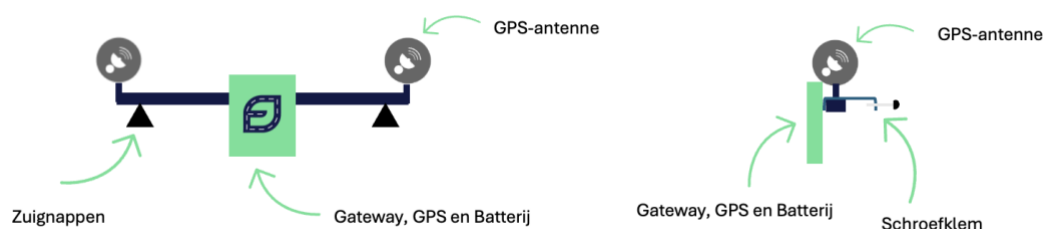


Figuur 35: Drierolwals met gefixeerde walsrol achter en stuurbare walsrol voor

Deze typen verschillen onderling in de beschikbare ruimte voor sensormontage. Bij tandemwalsen met gefixeerde walsrollen is er weinig ruimte tussen de walsrollen en het frame, maar wel tussen het voor- en achterframe. De wals met bestuurbare walsrollen biedt daarnaast ook ruimte aan de zijkanten en kan bovendien in hondengang rijden. De drierolwals heeft beperkte ruimte bij de achterste rol, maar juist meer ruimte rond de voorste, sturende walsrol.

Deze fysieke verschillen zijn bepalend voor de optimale positionering van onder andere de IR-puntsensor. Een correcte plaatsing is essentieel om de temperatuurmetingen consistent en representatief uit te voeren.

Ook het formaat van de wals speelt een rol bij de montage. Kleinere walsen zijn doorgaans uitgerust met een standaardbeugel, terwijl grotere walsen meestal beschikken over een dakconstructie. Om in alle gevallen een goede bevestiging te garanderen, zijn de beugels zo ontworpen dat ze zowel op een dak als op een bestaande beugel gemonteerd kunnen worden. Figuur 36 toont twee montagemogelijkheden: zuignappen (links) en met klemmen (rechts).



Figuur 36: Montage beugel Gateway, GPS en batterij (Links magnetisch, rechts met klemmen)

Metten oppervlaktetemperatuur onder de wals

De oppervlaktetemperatuur onder de wals wordt gemeten met een IR-puntsensor, die gericht is op één specifiek punt op het asfaltoppervlak. Het zichtveld van de sensor is beperkt, waardoor de afstand tot het oppervlak bepalend is voor de grootte van het gemeten gebied. Hoe dichter de sensor bij het oppervlak is geplaatst, hoe kleiner het meetvlak wordt. Er wordt aangenomen dat de temperatuur op dit punt representatief is voor het volledige contactoppervlak van de walsrol. De sensor wordt met een zuignap stevig op de wals bevestigd.

Metten vibratie van walsrollen

De trillingen van de walsrollen, zowel frequentie als amplitude, worden gemeten met een acceleratiesensor. Deze wordt uitsluitend geplaatst op rollen die kunnen vibreren of oscilleren. Omdat elke walsrol afzonderlijk kan worden ingesteld, wordt per trillende of oscillerende rol een aparte sensor gebruikt. De bevestiging vindt plaats op een onderdeel met vast contact met de walsrol, zoals de as, en wordt eveneens met een magneethouder uitgevoerd voor een stabiele montage.

Locatiebepaling oppervlaktetemperatuur en vibratie

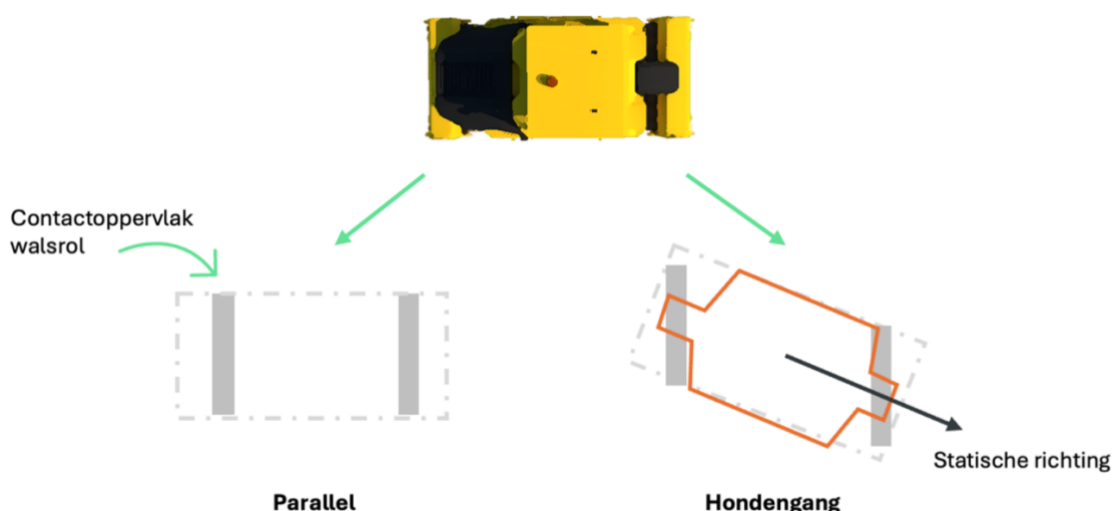
De metingen van oppervlaktetemperatuur en trillingen worden gekoppeld aan de positie van de walsrollen, omdat deze bepalen welk deel van het asfaltoppervlak is verdicht.

Voor een nauwkeurige positiebepaling is het belangrijk om de horizontale afstand tussen de walsrollen en de GPS-ontvanger te kennen. Om te voorkomen dat deze afstand bij elk project opnieuw moet worden ingemeten, wordt de beugel met GPS-antennes altijd op een vaste positie op de wals gemonteerd. Bij walsen met een dak wordt de GPS-antenne standaard in de rechter achterhoek geplaatst. Bij walsen met een montagebeugel bevindt de antenne zich aan de rechterzijde van de beugel. Omdat deze montageposities vooraf bekend zijn, kan de afstand tussen de GPS-antenne en de walsrollen per type en merk wals eenmalig worden vastgelegd en later gebruikt voor automatische correctie in de dataverwerking.

Hondengang registreren

De GPS-ontvanger is uitgerust met twee antennes, waarmee zowel de statische richting (de oriëntatie van de machine) als de dynamische richting (de bewegingsrichting) kan worden bepaald. Bij walsen met individueel bestuurbare walsrollen is het mogelijk om in hondengang te rijden, waarbij de walsrollen niet meer in lijn liggen met de rijrichting van de cabine (zie Figuur 35).

Omdat het middelpunt van de walsrollen een vaste positie heeft ten opzichte van de cabine, kan dit punt worden bepaald op basis van de statische richting. Door vervolgens opeenvolgende GPS-posities te combineren voor een dynamische richting, kan nauwkeurig worden vastgesteld in welke richting de walsrol daadwerkelijk rijdt. Op die manier kan de exacte positie van de walsrollen worden afgeleid, ook bij afwijkende rijpatronen zoals hondengang.



Figuur 37: Tandemwals in reguliere en hondengang positie

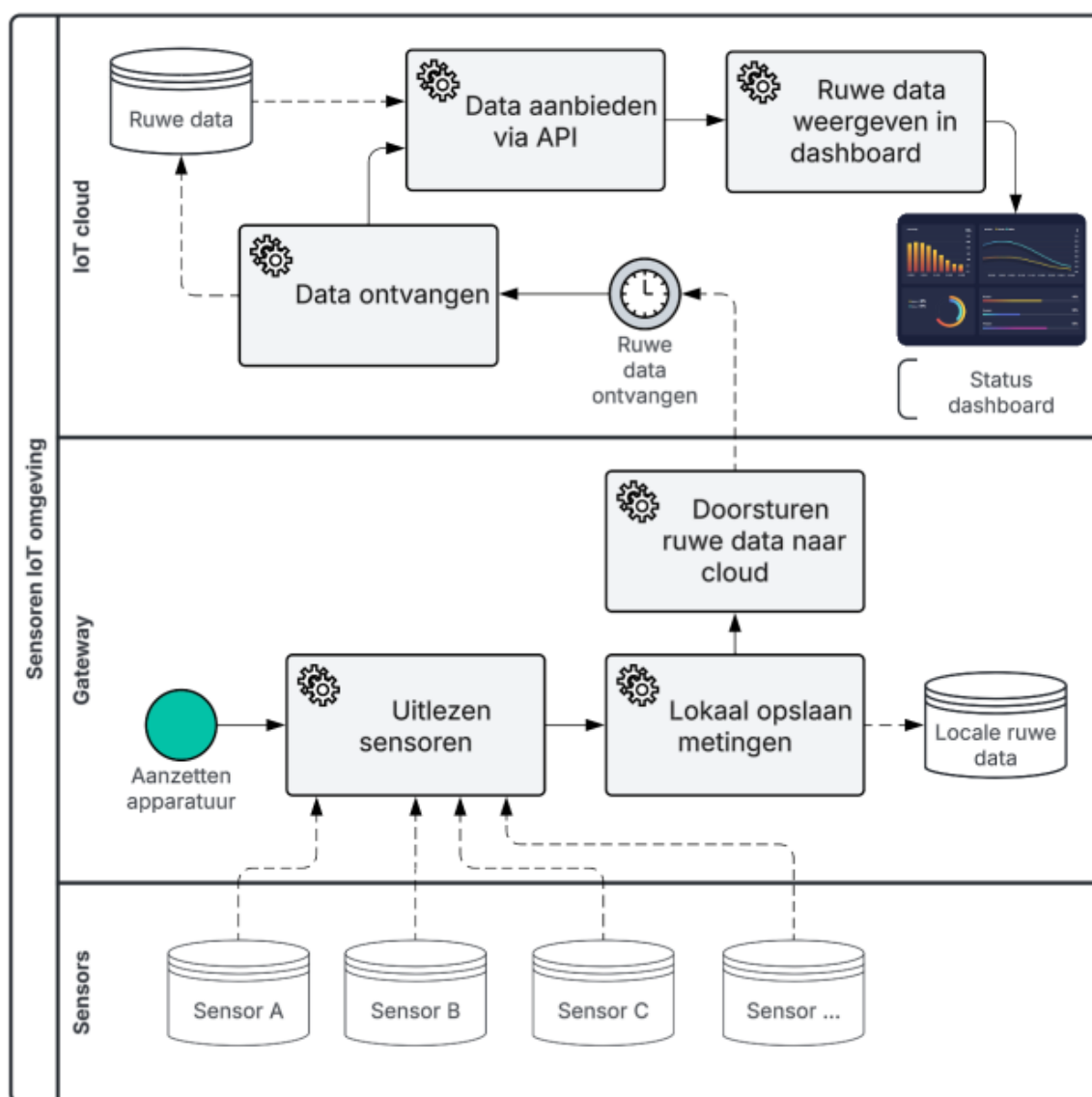
Bijlage 6 Registratieformulier meetdag begeleider

Dit onderdeel is nog in ontwikkeling en volgt binnenkort

Bijlage 7 Montage- en kalibratieprotocol meetopstelling

Dit onderdeel is nog in ontwikkeling en volgt binnenkort

Bijlage 8 Visuele representatie van de sensor Cloud omgeving



Figuur 38: Datastromen sensorsysteem

Bijlage 9 Datavelden en nauwkeurigheden sensormetingen

Tabel 10: Datavelden sensormetingen

	Spreidmachine	Asfaltwals	Logistiek	Weer
	<i>.spreidmachine.dgow</i>	<i>.asfaltwals.dgow</i>	<i>.logistiek.dgow</i>	<i>.weer.dgow</i>
Meetgegevens	Tijdstempel	Tijdstempel	Tijdstempel	Tijdstempel
	Temperatuur ondergrond	Temperatuur oppervlakte	Weegbonnummer	Temperatuur omgeving
	Temperaturen oppervlakte	Frequentie voor ¹	Startmoment lossen	Luchtvochtigheid
	Breedte oppervlak temperaturen	Frequentie achter ¹	Stopmoment lossen	Windsnelheid
	Lengte oppervlak temperaturen	Amplitude voor ¹		Windrichting
	Temperatuur ondergrond	Amplitude achter ¹		Zonnestraling
				Neerslag
Locatiegegevens	Latitude (WGS84)	Latitude (WGS84)		
	Longitude (WGS84)	Longitude (WGS84)		
	Richting (statisch)	Richting (statisch)		
	Snelheid	Snelheid		
	Basisfout horizontaal	Basisfout horizontaal		
	Basisfout richting	Basisfout richting		
	Basisfout snelheid	Basisfout snelheid		
	RTK-modus	RTK-modus		
	RTK-AGE	RTK-AGE		
	Aantal satellieten	Aantal satellieten		
	HDOP	HDOP		
	Standaardafwijking Horizontaal (σ)	Standaardafwijking Horizontaal (σ)		
Machine configuratie	Merk	Merk		
	Type	Type		
	Offset	Gewicht (gemiddeld)		
		Breedtewalsrol voor 1		
		Breedtewalsrol achter 1		
		Breedtewalrol achter 2 ^{1,2}		
		Offset walsrol voor 1		
		Offset walsrol achter 1		
		Offset walsrol achter 2 ^{1,2}		

²Enkel de drierolwals heeft 2 walsrollen achter

Tabel 11 geeft per dataveld de eenheid, nauwkeurigheid en meetfrequentie weer, gebaseerd op de momenteel beschikbare hardware en praktijktoepasbaarheid. Het betreft dus de technisch haalbare specificaties, niet de minimaal benodigde nauwkeurigheden voor kwaliteitsborging.

Tabel 11: Datatype, eenheid en nauwkeurigheid per dataveld

	Veldnaam	Data type	Eenheid	Nauwkeurigheid sensor/ observatie
Sensormetingen	Temperatuur ondergrond	Decimaal (1)	Graden Celsius	0,5 °c
	Temperatuur oppervlakte	Decimaal (1)	Graden Celsius	2,5 °c
	Temperaturen oppervlakte (vlak)	Decimaal (1)	Graden Celsius	2,5 °c
	Walsrol Frequentie	Decimaal (1)	Hertz	0,1 hertz
	Walsrol Amplitude	Decimaal (3)	Meter	0,001 meter
	Temperatuur omgeving	Decimaal (1)	Graden Celsius	0,5 °c
	Luchtvochtigheid	Geheel getal	Percentage	[3%]
	Windsnelheid	Decimaal (1)	Meter / seconde	0,5 m/s (onbevestigd)
	Windrichting	Geheel getal	Graden	12 graden
	Zonnestraling	Decimaal (1)	Watt / meter ²	[5%]
	Neerslag	Decimaal (3)	Meter	[7%]
Positiemetingen	Tijdstempel	Tijdstempel (yyyy-mm-dd H:i:s) UTC (ISO 8601)	-	0,001 s
	Latitude (WGS84)	Decimaal (9)	Graden	0,0006 meter + 0.5 ppm ¹
	Longitude (WGS84)	Decimaal (9)	Graden	0,0006 meter+ 0.5 ppm ¹
	Richting (statisch)	Decimaal (2)	Graden	0,15 graden
	Snelheid	Decimaal (2)	Meter/s	0,05 meter / seconde (onbevestigd)
	Basisfout horizontaal	Decimaal (2)	Meter	-
	Basisfout richting	Decimaal (2)	Graden	-
	Basisfout snelheid	Decimaal (2)	Meter/seconde	-
	RTK-modus	Tekst	-	-
	RTK-AGE	Geheel getal	Seconden	-
	Aantal satellieten	Geheel getal	-	-
	HDOP	Decimaal (1)	Meter	-
	Standaardafwijking Horizontaal (σ)	Decimaal (3)	Meter	-
Observaties	Merk	Tekst	-	-
	Type	Tekst	-	-
	Gewicht	Geheel getal	Kilo	-
	Offset	Decimaal (4)	Meter	0,0005 meter
	Breedte oppervlak temperaturen	Decimaal (4)	Meter	0,0005 meter
	Lengte oppervlak temperaturen	Decimaal (4)	Meter	0,0005 meter
	Snelheid stampmessen	Geheel getal	Slagen per minuut	-
	Ingestelde temperatuur balk	Decimaal (1)	Graden Celsius	0,5 °c
	Breedte walsrol	Decimaal (4)	Meter	0,0005 meter
	Weegbonnummer	Tekst	-	-
	Start/stop moment lossen	Tijdstempel ("yyyy-mm-dd H:i") UTC (ISO 8601)	-	1 minuut

Bijlage 10 Uitwerking nauwkeurigheid GPS

Effect van nauwkeurigheid op positie

Een vastgelegd traject door een GPS-ontvanger bestaat uit een reeks individuele meetpunten. Deze meetpunten vormen geen perfecte rechte lijn, zoals weergegeven in Figuur 39. GPS-metingen hebben te maken met onnauwkeurigheden, veroorzaakt door atmosferische verstoringen of objecten tussen de ontvanger en satellieten. Hierdoor heeft elke meting een geschatte nauwkeurigheid.

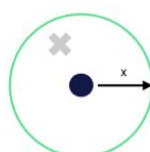


Figuur 39: gps-metingen asfaltspreidmachine

De nauwkeurigheid van een meting wordt weergegeven als een gemeten locatie met daaromheen een cirkel, zoals geïllustreerd in Figuur 40. De daadwerkelijke locatie van de GPS-sensor bevindt zich binnen deze cirkel. Dit wordt uitgedrukt in basisfout, wat de straal van een cirkel is waarin 1 standaardafwijking van de GPS-metingen valt. Voor een 95% betrouwbaarheid kan daarom een cirkel met een straal van $2 \times$ de basis fout worden gehanteerd.

Bij moderne GPS-systemen met correctie is een basisfout van 2 cm gebruikelijk en kostenefficiënt.

- ✕ Echte locatie
- Gemeten locatie
- GPS nauwkeurigheid



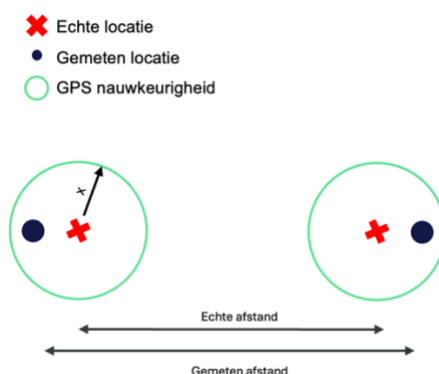
Figuur 40: Weergave nauwkeurigheid GPS-meting

Effect van nauwkeurigheid op dynamische snelheid

De snelheid van een machine kan met de GPS-ontvanger op twee manieren worden bepaald:

- Dopplereffect: Nauwkeuriger bij hogere snelheden, maar minder betrouwbaar bij lage snelheden.
- Na-verwerking van meetpunten: Gebaseerd op opeenvolgende GPS-metingen en altijd toepasbaar, zoals in eerdere ASPARI-projecten.

Bij lagere snelheden neemt de nauwkeurigheid af, wat bij asfaltspreidmachines extra verstoringen veroorzaakt vanwege hun relatief lage werksnelheid.



Figuur 41: Nauwkeurigheid GPS-coördinaten

Voorbeeld: Afwijking in snelheid bij een asfaltspreidmachine

- Werkelijke snelheid: 10cm/s (6 m/min)
- GPS-nauwkeurigheid: ± 2 cm
- GPS-frequentie: 1 Hz

Maximale afwijking in snelheid asfaltspreidmachine:

- Werkelijke afstand tussen meetpunten: 10 cm
- Maximale afwijking door GPS: ± 2 cm per meting
- Maximale gemeten afstand: 14 cm ($10 \text{ cm} + 2 \times 2 \text{ cm}$)
- Afwijking t.o.v. werkelijkheid: 4 cm ($14 \text{ cm} - 10 \text{ cm}$)
- Foutmarge in snelheid: 2,4 m/min (4 cm/s)

Gemeten snelheid door GPS: 8,4 m/min ($6 \text{ m/min} + 2,4 \text{ m/min}$)

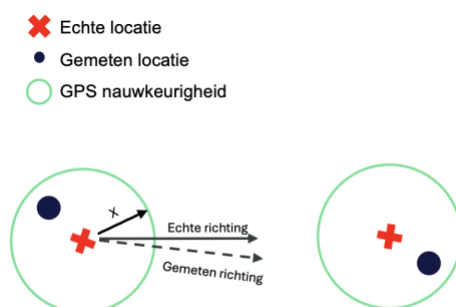
Door de meetonnauwkeurigheid kan de GPS een snelheid meten die tot 40% hoger ligt dan de werkelijke snelheid. Hier moet rekening mee worden in de dataverwerking. De 0,04 m/s nauwkeurigheid is een voorbeeld onder condities waar er 2cm GPS-nauwkeurigheid bereikt kan worden. Voor GPS-sensoren die intern snelheid bepalen is bij RTK een nauwkeurigheid van 0,05m/s gangbaar.

Effect van nauwkeurigheid op dynamische richting

De richting van de machine kan met de GPS-ontvanger net als de snelheid op 2 manieren worden bepaald.

- **Dynamische richting:** Op basis van 2 opeenvolgende punten
- **Statische richting:** Bij GPS-ontvangers met 2 antennes op basis van fase verschillen tussen de 2 antennes.

De statische richting heeft bij een afstand tussen beide antennes van 1m voor de Septentrio een nauwkeurigheid 0,15°. Bij de dynamische richting kan dit berekend worden op basis van 2 opeenvolgende posities. Ook hier geldt bij de dynamische richting dat een lagere snelheid een hogere onnauwkeurigheid heeft.



Figuur 42: Nauwkeurigheid dynamische GPS-richting

Rekenvoorbeeld: Afwijking in dynamische richting asfaltspreidmachine

- Werkelijke snelheid: 10cm/s (6 m/min)
- GPS-nauwkeurigheid: ±2 cm
- GPS-frequentie: 1 Hz

Maximale afwijking in dynamische richting asfaltspreidmachine:

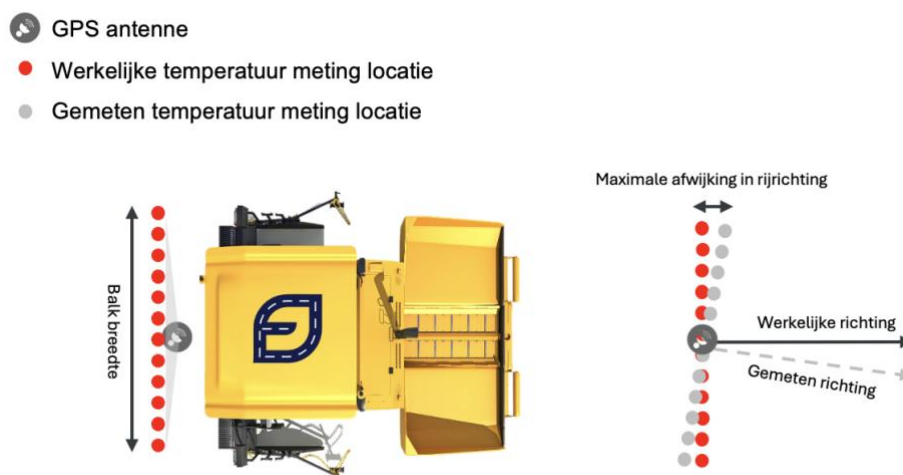
- Werkelijke richting: **90°**
- Maximale afwijking in richting ($t \text{ an}^{-1} (2 * \text{nauwkeurigheid}) / \text{afstand}$): **21,8°**

De gemeten rijrichting van de asfaltspreidmachine door de GPS is 121,8° terwijl de werkelijke richting 90° is. Dus ook hier geldt dat bij het gebruik van de dynamische richting in de dataverwerking rekening moet worden gehouden, bijvoorbeeld door te filter. In het "Plan van Aanpak dataverwerking" wordt hier verder op ingegaan.

In de volgende 2 paragrafen worden 2 situaties geschetst met het gebruik van de dynamische richting.

Dynamische en Statische richting bij afleiden meetpunt locaties IR-vlaksensor

Op de asfaltspreidmachine wordt de rijrichting gebruikt voor het bepalen van de locatie van de IR-vlaksensor meetpunten. Oftewel, bepalen van de positie van de balk. Om dit te bepalen wordt de positie van de GPS-ontvanger gebruikt en kan met de richting de locatie van alle meetpunten langs de balk worden bepaald. Bij GPS-ontvangers met 1 antenne is dit de dynamische richting en bij GPS-ontvangers met 2 antennes is dit de statische richting. Het effect op de nauwkeurigheid van de afgeleide meetpunt locaties is afhankelijk van de balkbreedte. Hoe verder weg een punt van de GPS-antennes zit, hoe groter de afwijking.



Figuur 43: Locatie temperatuurmeting achter de balk op basis van GPS-antenne

Rekenvoorbeeld: Afwijking meetpunt locatie IR-vlaksensor meting uiteinde balk

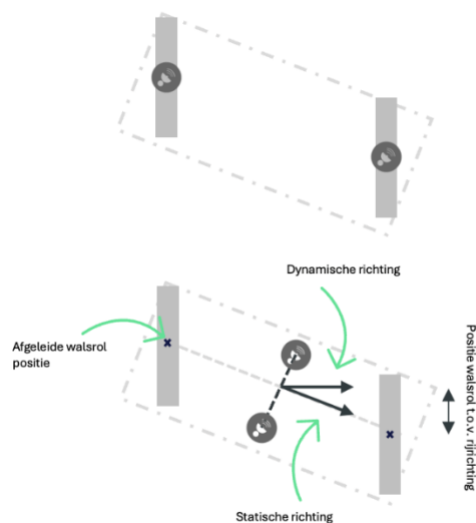
- **Nauwkeurigheid dynamische richting:** 21,8°
- **Nauwkeurigheid statische richting:** 0,15°
- **Balkbreedte:** 6 meter

Maximale afwijking:

- Afstand tot GPS ontvanger (balkbreedte / 2): $6\text{m} / 2 = 3\text{m}$
- Afwijking met dynamische richting ($\sin(x) \cdot \text{afstand}$): $\sin(21,8^\circ) \cdot 3\text{m} = 1,11\text{m}$
- Afwijking met statische richting ($\sin(x) \cdot \text{afstand}$): $\sin(0,15^\circ) \cdot 3\text{m} = 0,008\text{m}$

Deze afwijking laat zien dat als de dynamische richting wordt gebruikt voor het bepalen van de temperatuurmeetpunten achter de balk er rekening moet worden gehouden met grote onnauwkeurigheid. Bij de Statische richting is de nauwkeurigheid erg groot.

Effect nauwkeurigheid dynamische richting op positie walsrollen in hondengang



Rekenvoorbeeld:

Positie walsrol t.o.v. rijrichting

Oriëntatie t.o.v. richting: 30°

Nauwkeurigheid statische richting: $\pm 0,4^\circ$

Wielbasis: 3 meter

Berekening van maximale afwijking walsrol positie

1. Normale positie t.o.v. breedte:
 $\sin^{-1}(30^\circ) * \frac{1}{2} * 300 \text{ cm} = 75 \text{ cm}$
2. Positie inclusief afwijken t.o.v. breedte:
 $\sin^{-1}(30^\circ + 0,4^\circ) * \frac{1}{2} * 300 \text{ cm} = 76 \text{ cm}$
3. Afwijking in positie t.o.v. breedte:
 $76 \text{ cm} - 75 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$

Conclusie:

De gemeten positie van het midden van de walsrol ten opzichte van de rijrichting is 76 cm. De werkelijke positie is 75 cm. Er is een afwijking van 1 cm.

Figuur 44: Bepalen van walsrol locaties op basis van GPS-ontvanger met 2 antennes

Dit betekent dat bij het gebruik van de statische richting de kwaliteit van de dynamische richting bepaling moet worden verbeterd door filtering. Dit zal in de dataverwerking verder worden uitgewerkt

Bijlage 11 Afleiden van voetafdruk uit positie en machinegeometrie

Om een voetafdruk ruimtelijk correct vast te leggen, is niet alleen de positie van de machine nodig, maar ook de oriëntatie en de relatieve positie van het meetsysteem ten opzichte van het middelpunt van de machine. Voor zowel de spreidmachine als de wals geldt dat de sensoren zich op een vaste offset bevinden ten opzichte van het centrale referentiepunt (bijvoorbeeld het gps-ontvanger punt of machine-as). Deze offset is vooraf gespecificeerd of tijdens de montage vastgelegd. In deze paragraaf zijn de stappen voor het bepalen van posities van een voetafdruk verder uitgewerkt.

Validatie en verbetering van GPS-data

De kwaliteit van gps-metingen kan variëren door factoren zoals satellietdekking, reflecties of interferentie. Binnen DGOW worden alle posities daarom vooraf gevalideerd en waar nodig gecorrigeerd via een gestandaardiseerde procedure. Deze bestaat uit drie stappen:

- *Semantische validatie*
De data worden gecontroleerd op aannemelijkheid van snelheid, versnelling, richtingsverandering en de mate van kwaliteit. Waarden buiten realistische/ betrouwbare grenzen worden gemarkeerd als afwijkend (zie Tabel 12).
- *Smoothing (gladstrijken)*
Met behulp van een Rauch-Tung-Striebel (RTS) smoother [3] worden tijdelijke meetruis en fluctuaties in de positie gecorrigeerd. Dit levert een vloeiender en betrouwbaarder positiepad op.
- *Detectie van stilstand*
Tijdens stilstand is geen sprake van actieve verwerking. Daarom worden periodes van stilstand gemarkeerd.

Semantische validatie

Onrealistische bewegingen of gps-fouten worden gedetecteerd op basis van vooraf ingestelde grenswaarden. Deze zijn afgestemd op realistische snelheden en gedragingen van de machines. In Tabel 12 zijn initiële voorwaarden gegeven op basis van een geïnformeerde schatting. De uiteindelijke waarden moeten blijken uit de uitvoering van de 100 DGOW-meetvakken.

Tabel 12: Voorwaarden semantische validatie

Parameter	Voorwaarde
Snelheid spreidmachine	$\leq 10 \text{ m/min}$
Snelheid Wals	$\leq 50 \text{ m/min}$
Versnelling spreidmachine	$\leq 0,1 \text{ m/s}^2$
Versnelling wals	$\leq 1,0 \text{ m/s}^2$
Afstand tot vorige punt	$\leq 1,5 \times (\text{versnelling} \times \text{snelheid})$
Aantal satellieten	≥ 10 (uit meerdere constellaties)
Standaardafwijking (σ)	$< 0,5 \times \text{gekozen tegelgrootte}$
HDOP	< 2
RTK-modus	"FIX"

Smoothing (gladstrijken)

De meetruis in GPS-data wordt in DGOW verminderd met behulp van de Rauch-Tung-Striebel (RTS) smoother, een uitbreiding op Kalman-filtering [3,4,5]. Deze methode maakt gebruik van zowel eerdere als latere waarnemingen om de meest waarschijnlijke positie van de machine of sensor te reconstrueren. Het resultaat is een verbeterde tijdreeks van GPS-posities, waarin tijdelijke fluctuaties, ruis en meetfouten zijn gladgestreken op basis van aannames over verwachte beweging. Het is daarom essentieel dat het toegepaste bewegingsmodel realistisch is. Voor de DGOW-systematiek wordt uitgegaan van een zogenaamd constant velocity model, waarbij aangenomen wordt dat de machine zich met een (bij benadering) constante snelheid voortbeweegt.

Modelling: constant velocity

In dit model worden de volgende grootheden geschat:

- **Positie:** x, y
- **Snelheid:** v_x, v_y

De berekening verloopt in drie stappen:

- **Voorspelling (predictie):** de positie op tijdstip t wordt voorspeld op basis van de positie en snelheid op tijdstip $t-1$.
- **Correctie (update):** de daadwerkelijke observatie op t (de GPS positie) wordt gebruikt om deze voorspelling bij te stellen, waarbij de onzekerheid van zowel voorspelling als meting wordt meegewogen.
- **Smoothing (RTS-backward-pass):** in een achterwaartse stap wordt de geschatte toestand op t geoptimaliseerd met behulp van informatie van latere tijdstippen (zoals $t+1$), volgens de RTS-methode.

Modelparameters

Het filter vereist twee parameters:

- **Transition covariance (Q):** deze parameter drukt de onzekerheid in het bewegingsmodel uit. Hogere waarden laten meer afwijkingen toe, bijvoorbeeld door versnellingen of stuurbewegingen.
- **Observation covariance (R):** deze parameter beschrijft de onzekerheid in de observaties (GPS-posities). Binnen DGOW wordt deze gebaseerd op de standaardafwijking van de GPS-metingen.

De onderstaande bandbreedtes (Tabel 13) worden binnen DGOW gehanteerd, afgestemd op de eigenschappen van het gebruikte materieel. Definitieve waarden worden op basis van de eerste metingen bijgesteld en onderbouwd met echte data.

Tabel 13: Constant velocity model parameters

Parameter	Spreidmachine	Asfaltwals
Transition covariance (Q)	0,05 – 0,2 m/s ²	0,1 – 0,3 m/s ²
Observation covariance (R)	σ_{gps}	σ_{gps}

Door toepassing van deze methode ontstaat een geschoonde tijdreeks van machine- of sensorposities. Deze vormt de basis voor het nauwkeurig afbakenen van voetafdrukken binnen DGOW.

Markeren en Filteren van stilstand

De stilstand van zowel de asfaltspredmachine als de asfaltwals is een relevante verwerkingsparameter. Tegelijkertijd leveren de sensormetingen tijdens stilstand doorgaans geen nieuwe informatie op over het verwerkingsproces. Er wordt immers geen nieuw asfalt aangebracht of verdicht. Om onnodige opslag en verwerking van irrelevante data te voorkomen, worden er daarom geen voetafdrukken gedurende stilstand bepaald.

Om het gedrag van de machine correct te interpreteren, worden momenten van stilstand gemarkeerd. De feitelijke meetregels (rijen) tijdens stilstand worden verwijderd uit de dataset voor verdere verwerking, maar de informatie dat en wanneer de stilstand plaatsvond wordt behouden via een stilstand markering. Elke regel in de dataset krijgt twee extra attributen:

- **Stilstand vlag:** geeft aan of het vorige datapunt een stilstand betrof.
- **Stilstand duur:** cumulatieve tijd dat de machine stilstaat, in seconden.

Stilstand betekend een snelheid van 0 m/s. Dit is wat anders dan een stopplek. Stopplekken worden gedefinieerd als onderdeel van het duiden van verwerkingskwaliteit.

Traditioneel wordt stilstand gedetecteerd op basis van de snelheid. Bij asfaltspredmachines is dit echter onbetrouwbaar: de rijsnelheid ligt vaak onder de 10 m/min (0,17 m/s), waardoor GPS-ruis snel leidt tot foutieve interpretaties. Een kleine schommeling in de GPS-snelheid kan onterecht als beweging worden gezien, of omgekeerd.

Daarom wordt in DGOW een alternatieve, robuustere methode gebruikt, gebaseerd op positionele stabiliteit over tijd. Voor elk meetpunt op tijdstip t wordt stilstand bepaald door het vergelijken van het gemiddelde van de afgelopen 4 posities inclusief de huidige positie en het gemiddelde van de daaropvolgende 5 meetpunten.

$$d(t) = \|\bar{p}_{voor}(t) - \bar{p}_{na}(t)\| \quad (3)$$

$$\bar{p}_{voor}(t) = \frac{1}{5} \sum_{i=t-4}^t p_i \quad (4)$$

$$\bar{p}_{na}(t) = \frac{1}{5} \sum_{i=t+1}^{t+5} p_i \quad (5)$$

Waar:

p_i = Positie op tijdstip i in RD (x, y) [-]

$d(t)$ = De afstand tussen twee gemiddelden (euclidische norm) [Meter (m)]

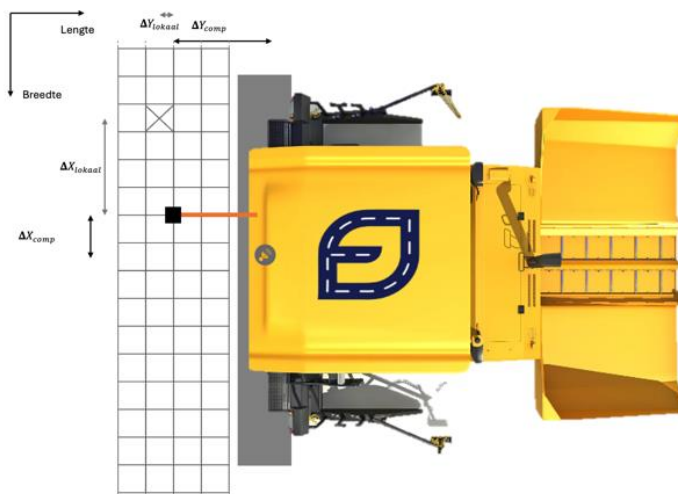
De drempelwaarde voor stilstand komt erg nauw en zal worden bepaald op basis van echte data gedurende DGOW projecten. Als beginpunt wordt de waarde in Tabel 14 weergegeven.

Tabel 14: Regels voor het bepalen van stilstand

Voorwaarde	Waarde / toelichting
Vershil in positie	$\leq 0,01$ m

Bepalen voetafdruk spreidmachine

Op basis van de gevalideerde, verbeterde en gefilterde GPS-posities worden de voetafdrukken per tijdstap bepaald. Voor de asfaltspredmachine gebeurt dit aan de hand van de interne matrix structuur van de IR-vlaksensor en de oriëntatie, in combinatie met de offset en van de sensor ten opzichte van de GPS-antenne.



Figuur 45: Visuele weergave van de positie compensaties

Op basis van de positie in de matrix, de offset en de richting waarop de IR-vlaksensor georiënteerd staat worden de vier hoekpunten van een voetafdruk in de matrix bepaald.

$$x_{hoek} = y_{ref} + (\Delta y_{comp} + \Delta y_{relatief}) * \cos(\theta) - x_{ref} + (\Delta x_{comp} + \Delta x_{relatief}) * \sin(\theta) \quad (6)$$

$$y_{hoek} = y_{ref} + (\Delta y_{comp} + \Delta y_{relatief}) * \sin(\theta) + x_{ref} + (\Delta x_{comp} + \Delta x_{relatief}) * \cos(\theta) \quad (7)$$

Waar:

x_{ref}, y_{ref} = Gemeten GPS positie

Δx_{comp} = Offset in breedte richting [Meter (m)]

Δy_{comp} = Offset in lengte richting [Meter (m)]

$\Delta x_{relatief}$ = relatieve breedte offset t.o.v. middelpunt matrix [Meter (m)]

$\Delta y_{relatief}$ = relatieve lengte offset t.o.v. middelpunt matrix [Meter (m)]

θ = Wiskundige orientatie hoek afgeleid van de Statische orientatie hoek matrix (90 – st hoek) [Radialen]

Relatieve offset t.o.v. middelpunt matrix

Voor elk voetafdruk (i,j) wordt de relatieve offset voor ieder hoekpunten bepaald in lokale aan de hand van de volgende formules (Tabel 15):

Tabel 15: Berekening hoekpunten

Hoekpunt	$\Delta x_{relatief}$	$\Delta y_{relatief}$
Linksachter (LA)	$(i - 1) * B_{cell} - c_x$	$(j - 1) * L_{cell} - c_y$
Rechtsachter (RA)	$i * B_{cell} - c_x$	$(j - 1) * L_{cell} - c_y$
Rechtsvoor (RV)	$i * B_{cell} - c_x$	$j * L_{cell} - c_y$
Linksvoor (LV)	$(i - 1) * B_{cell} - c_x$	$j * L_{cell} - c_y$

Waarbij:

$$c_x = \frac{B}{2} \quad (8)$$

$$c_y = \frac{L}{2} \quad (9)$$

$$B_{cell} = \frac{B_{matrix}}{N} \quad (10)$$

$$L_{cell} = \frac{L_{matrix}}{M} \quad (12)$$

C_x = Relatief middelpunt in breedte [**Meter (m)**]

C_y = Relatief middelpunt in lengte [**Meter (m)**]

B_{cell} = Breedte van een cel [**Meter (m)**]

L_{cell} = Lengte van een cel [**Meter (m)**]

B_{matrix} = Breedte van de matrix [**Meter (m)**]

L_{matrix} = Lengte van de matrix [**Meter (m)**]

N = Aantal cellen in matrix (breedte richting) [-]

M = Aantal cellen in matrix (lengte richting)[-]

Output

Elke temperatuurmeting uit de sensormatrix resulteert in een vierhoekige voetafdruk, gedefinieerd door de vier hoekpunten:

$$[(X_{LA}, Y_{LA}), (X_{RA}, Y_{RA}), (X_{RV}, Y_{RV}), (X_{LV}, Y_{LV})]$$

Bepalen voetafdruk wals

Voor de asfaltwals worden voetafdrukken afgeleid op basis van het contactvlak van de walsrol met het asfalt tussen twee opeenvolgende tijdstappen. Dit vlak representeert het verdichte oppervlak en wordt per walsrol berekend.

De voetafdruk wordt benaderd als een rechthoek die loopt van de positie van de walsrol op tijdstip $t-1$ tot t , met als breedte de rolbreedte en als oriëntatie de rijrichting. De precieze positie van het rolcontactvlak wordt bepaald in twee stappen: eerst het middelpunt van de walrol per tijdstip, dan de vier hoekpunten van het vlak dat hoort bij ieder tijdstip.

Berekenen van het middelpunt van een walsrol

Het middelpunt van een walsrol wordt berekend aan de hand van de volgende formule:

$$x_{mid} = x_{ref} + \Delta x_{comp} * \cos(\theta) - \Delta y_{comp} * \sin(\theta) \quad (13)$$

$$y_{mid} = y_{ref} + \Delta y_{comp} * \sin(\theta) - \Delta x_{comp} * \cos(\theta) \quad (14)$$

Waar:

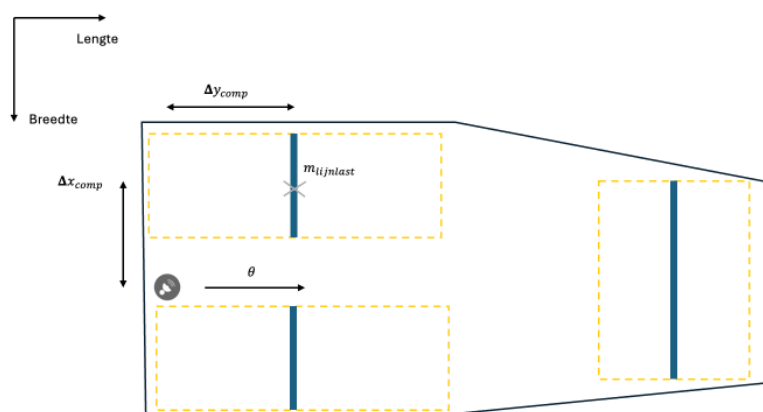
x_{ref}, y_{ref} = Gemeten GPS positie

θ = Statische oriëntatie hoek cabine [**Radialen**]

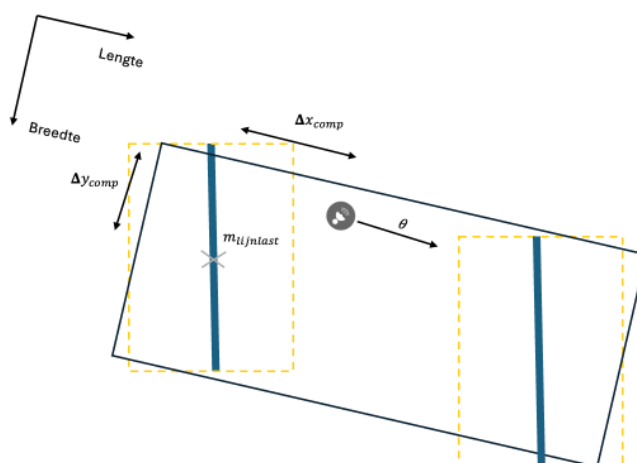
Δx_{comp} = Offset in breedte richting [**Meter (m)**]

Δy_{comp} = Offset in lengte richting [**Meter (m)**]

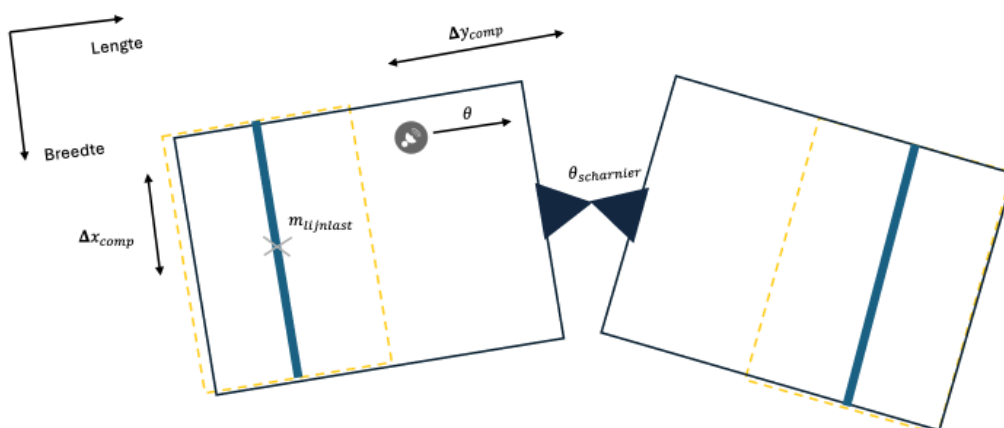
De offset is vooraf bekend per machinetype. Bij tandem- of drierolwalsen (Figuur 46, Figuur 47) zijn deze vast. Bij knik gestuurde walsen kan de berekening minder nauwkeurig zijn, omdat de gps zich mogelijk op een ander chassisdeel bevindt dan de voorste walsrol (Figuur 48). In DGOW wordt deze afwijking geaccepteerd, bij gebrek aan een praktische correctiemethode.



Figuur 46: Wals met voorgestuurde walsrollen (voorbeeld: drierol)



Figuur 47: Wals met individueel bestuurbare walsrollen



Figuur 48: Knik gestuurde wals

Bepalen van de walsrol uiteinde

Voor elk tijdstip t wordt het contactvlak van de walsrol bepaald. Dit vlak loopt van de positie op tijdstip $t-1$ naar t . De zijanten van dit vlak worden gedefinieerd door de uiteindes (links en rechts) van de walsrol, loodrecht op de bewegingsrichting. De zijanten van de walsrol op t kunnen dan worden berekend als volgt (Tabel 16):

Tabel 16: Berekeningen walsrol uiteindes

Uiteinde	x	y
Links	$x_{mid} - \frac{1}{2} * B_{walsrol} * n_x$	$y_{mid} - \frac{1}{2} * B_{walsrol} * n_y$
Rechts	$x_{mid} + \frac{1}{2} * B_{walsrol} * n_x$	$y_{mid} + \frac{1}{2} * B_{walsrol} * n_y$

Waar:

$x_{mid}, y_{mid}(t)$ = Het middelpunt van de walsrol op tijdstip t

$B_{walsrol}$ = De walsrolbreedte [meter (m)]

$\vec{v}(t-1, t)$ = De genormaliseerde richtingsvector van $t-1$ naar t

$\vec{n}(t-1, t)$ = De loodrechte vector op $\vec{v}$

$$v(x, y) = \frac{(x_t - x_{t-1}, y_t - y_{t-1})}{\sqrt{[(x_t - x_{t-1})^2 + (y_t - y_{t-1})^2]}} \quad (15)$$

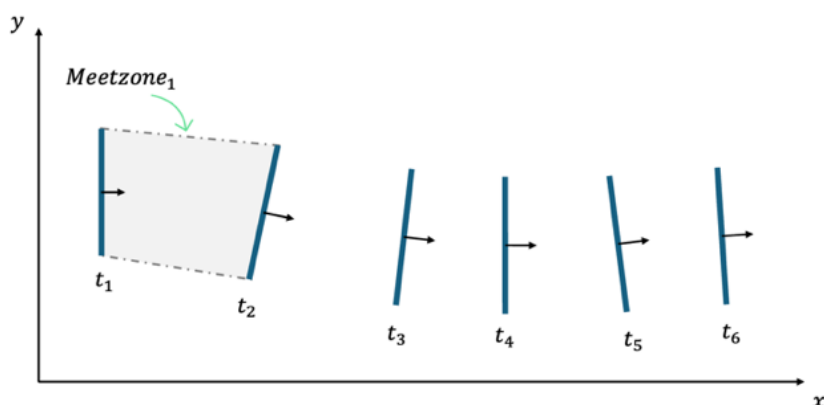
$$n(x, y) = (-v_y, v_x) \quad (16)$$

Bepalen van voetafdruk verdichtingsoppervlak

Zodra de linker- en rechterzijde op $t-1$ en t zijn bepaald, worden de vier hoekpunten van de voetafdruk opgebouwd:

$[(x(t)_{rechts}, y(t)_{rechts}), (x(t+1)_{rechts}, y(t+1)_{rechts}), (x(t+1)_{links}, y(t+1)_{links}), (x(t)_{links}, y(t)_{links})]$

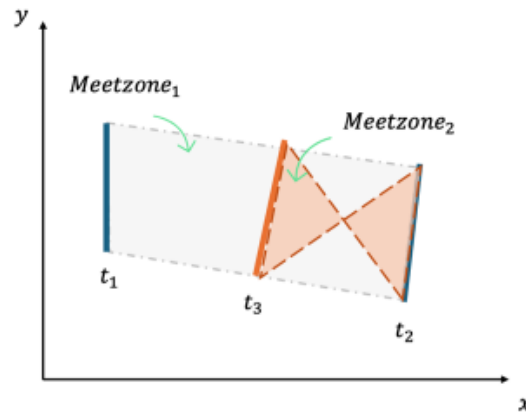
Figuur 49 toont de voetafdrukken zoals opgebouwd tussen opeenvolgende rolposities.



Figuur 49: Weergave van een positie reeks van een walsrol door de tijd

Uitzondering: Richtingsomkering

Bij veranderen van rijrichting van de wals verandert de richting met ongeveer 180°. Hierdoor kan het verdichtingsvlak geometrisch vervormen tot een zogeheten 'zandloper', een of zichzelf kruisend en daarmee ongeldig vlak.



Figuur 50: Voorbeeld van een zelf kruisend vlak

Daarom wordt bij sterke richtingsverandering de richtingsvector omgedraaid. Als het verschil tussen de richtingsvectoren van opeenvolgende tijdstappen groter is dan $\sim 150^\circ$ (14), wordt er gespiegeld. Zo blijven de voetafdrukken geometrisch correct en consistent.

$$\cos(\theta) = \vec{v}_t \cdot \vec{v}_{t+1} < 0,9 \quad (16)$$

$$\vec{v}_{t,gespiegeld} = (-v_y, -v_x) \quad (18)$$

Bijlage 12 Verwerkingsstappen van voetafdruk naar datategel

De praktische stappen om de voetafdrukken aan aggregatie tegels te koppelen zijn als volgt.

Voorselectie van aggregatietegels

Per voetafdruk wordt eerst het ruimtelijke bereik bepaald waarin het middelpunt van aggregatietegels zou kunnen vallen. Dit gebeurt door de uiterste coördinaten van de voetafdruk vast te stellen:

$$(x_{max}, y_{max}) = \max([x_1, x_n], [y_1, y_n]) \quad (19)$$

$$(x_{min}, y_{min}) = \min([x_1, x_n], [y_1, y_n]) \quad (20)$$

Vervolgens worden op basis van deze coördinaten alle aggregatietegels geselecteerd waarvan het middelpunt binnen deze grenzen kan liggen. Omdat het RD-raster bestaat uit een vaste, regelmatige structuur, kunnen de coördinaten van aggregatietegels eenvoudig worden gegenereerd door rasterindices in stapgrootte (de tegelgrootte) af te lopen.

De set van potentiële middelpunten wordt wiskundig gedefinieerd als:

$$(x_{mid}, y_{mid}) \in \left(x_i + \frac{1}{2}s, y_j + \frac{1}{2}s \right) \quad (21)$$

$$x_i \in [[x_{min}/s] \cdot s, [x_{max}/s] \cdot s] \quad (22)$$

$$y_j \in [[y_{min}/s] \cdot s, [y_{max}/s] \cdot s] \quad (23)$$

Waarbij:

x_i, y_j = Middelpunt van aggregatietegel (i, j)

s = Tegelformaat [Meter (m)]

Deze voorselectie is een essentiële stap in de verwerking. Zonder beperking van het zoekgebied zou elke voetafdruk moeten worden getoetst tegen alle aggregatietegels van het projectgebied, wat computationeel onhaalbaar is bij landelijke schaal. Door vooraf alleen relevante tegels te selecteren, blijft de verwerking efficiënt en schaalbaar, ook bij hoge resolutie en grote hoeveelheden meetdata.

Geometrische verificatie

De geselecteerde aggregatietegels worden getoetst via een 'point-in-polygon' analyse. Alleen tegels waarvan het middelpunt daadwerkelijk binnen de voetafdruk valt (inclusief rand), worden gekoppeld. Hiervoor worden bewezen bibliotheken gebruikt zoals GEOS [6] of JTS [7] (FOSS GIS-bibliotheken), of hun implementaties in programmeertalen.

Bepalen verwerkingsparameter per aggregatie tegel

Voor elke gekoppelde aggregatietegel worden verwerkingsparameters bepaald. Naast de directe meetwaarden kunnen ook afgeleide parameters worden berekend, zoals:

- Aantal walsovergangen
- Tijd tussen spreiden en eerste walsovergang
- Aandeel dynamische walsovergangen

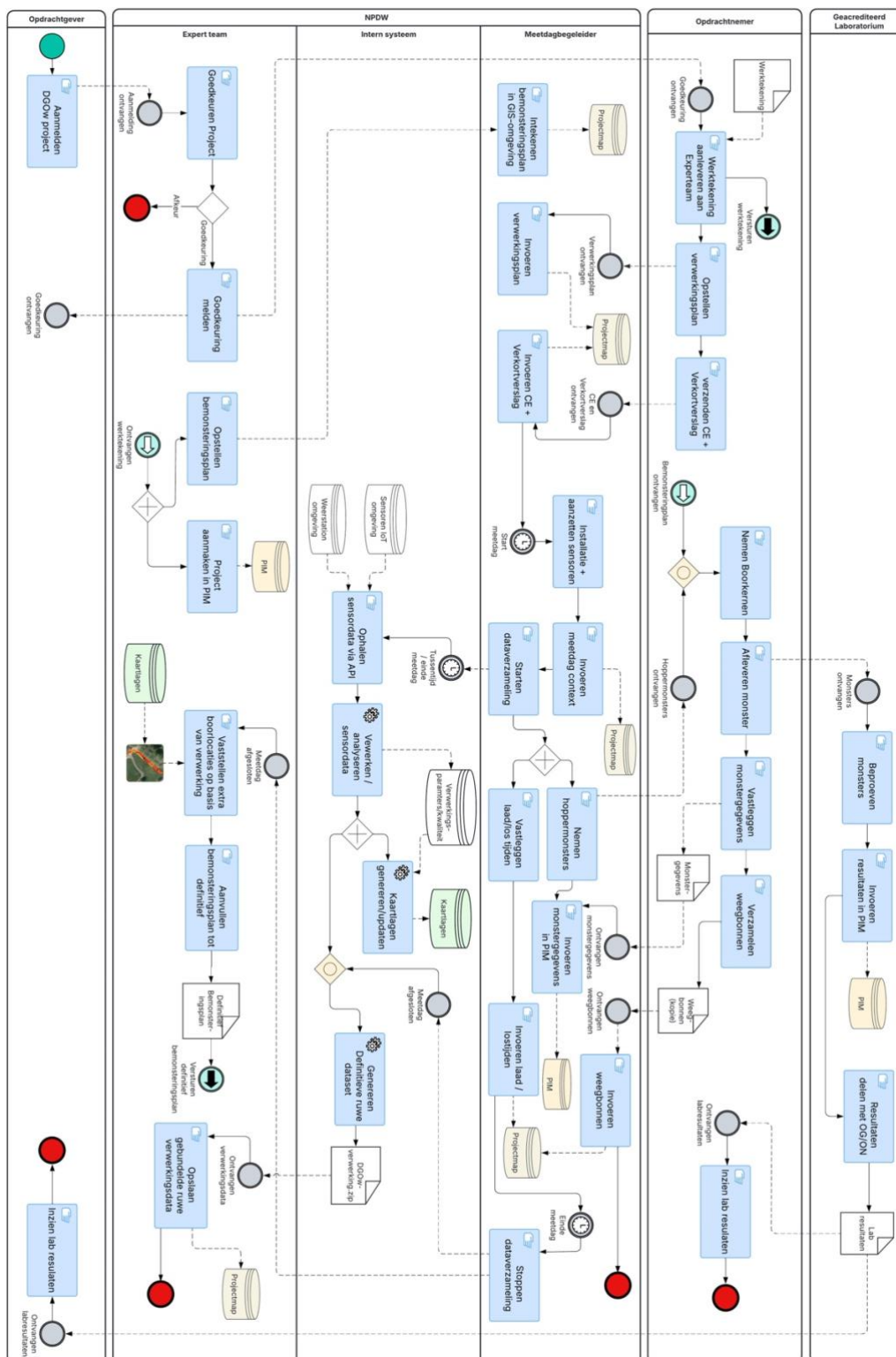
Deze parameters worden op aggregatieniveau berekend op basis van de onderliggende ruwe metingen.

Opschalen van aggregatietegels naar datategels

In de laatste stap worden de aggregatietegels samengevoegd tot datategels van het gewenste formaat. Een datategel wordt pas gevuld als minimaal 50% van het tegeloppervlak bestaat uit aggregatietegels met geldige meetwaarden voor de betreffende parameter. Deze ondergrens is met name relevant aan de randen van het werkvlak. Bij het opschalen worden voor elke parameter meerdere statistieken vastgelegd, waaronder:

- Gemiddelde waarde
- Spreiding (variantie of standaardafwijking)
- Minimum en Maximum

Bijlage 13 Datastromen



Figuur 51: Datastromen uitvergroet

