



Gelijk op! Op weg naar een homogener asfalteerproces

Master thesis ter afsluiting van de Master Construction Management & Engineering

Marjolein Galesloot

September 2018

Colofon

Titel: Gelijk op! Op weg naar een homogener asfalteerproces
Subtitel: Model van het asfalteerproces

Onderwijsinstelling: Universiteit Twente,
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen,
Master Construction Management & Engineering
Afdeling Bouw & infra

Afstudeercommissie: Prof. Dr. Ir. A.G. Dorée (voorzitter en interne begeleider)
Dr. Ir. S.R. Miller (interne begeleider)
Dr. Ir. F. Vahdatikhaki (interne begeleider)
Ir. M. Oosterveld (externe begeleider)

Student: Marjolein Galesloot BSc
Studentnummer: s1089692
Email: m.galesloot@student.utwente.nl

Rapport

Onderdeel: Afstudeeronderzoek
Versie: Eindversie
Datum: 13-09-2018
Omvang rapport: 61 pagina's (+ 22 pagina's bijlagen)

Contactgegevens:

Universiteit Twente
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Drienerlolaan 5
7500 AE Enschede

BAM Infra Asfalt
Advies & Ontwikkeling
Plantijnweg 32
4104 BB Culemborg

**UNIVERSITEIT
TWENTE.**



Samenvatting

In het onderzoek van Arbeider (2016) is gebleken dat er meer aandacht gegeven moet worden aan de synchronisatie van de machines op een asfaltwerk. Met name aan het begin van zo'n werk is er sprake van een slechte samenwerking van de machines op het gebied van synchronisatie. Het probleem dat onderzocht is, is dan ook als volgt gedefinieerd: *“De werkvoorraden van de walsen en de asfaltspreidmachine nemen niet in gelijke mate toe en af, wat betekent dat de walsen, de asfaltspreidmachine(s) niet bij kunnen houden en/of vice versa en dit zorgt voor een minder consistent verloop van het asfalteerproces.”* In dit onderzoek is gewerkt om deze synchronisatie te vergroten door het ontwikkelen van een model en het ontwerpen van indicatoren die de status van synchronisatie kunnen weergeven. Dit zijn tevens de doelstellingen in dit project die antwoord moeten geven op de volgende onderzoeksvraag: *“Hoe kan het asfalteerproces uniformer uitgevoerd worden door het gebruik van het model en de implementatie van de indicatoren in de asfaltketen?”*

Om het probleem te verkleinen of op te lossen en de doelstellingen te behalen is er gekozen om een model te ontwikkelen met behulp van de modelleermethode System Dynamics. System Dynamics is gekozen omdat daarmee strategische besluiten van tevoren doorerekend kunnen worden op basis van verschillende alternatieven. Gedurende het onderzoek is besloten alleen te richten op het (real-time) monitoren van een project waardoor System Dynamics nu niet volledige tot recht is gekomen. Het model en de indicatoren zijn na ontwikkeling gevalideerd en het model is ook verifieerd.

Er zijn vijf verschillende indicatoren berekend, deze zijn: vooruitgang per machine (m^2/min), vooruitgang van het project (m^2/uur) en afgerond oppervlakte (m^2), temperatuur eerste walsovergang en aantal walsovergangen. Het model geeft het asfalteerproces weer en kan de duur van het project berekenen. De indicatoren zijn gevalideerd door twee asfalt teams en zijn allen als behulpzaam bevonden. Een belangrijk conclusie die getrokken is, is het ontbreken van de dimensie 'GPS locatie' in het model. Bij het uitwerken van het model bleek dat het model in AnyLogic alleen maar tijdsgebonden kan zijn en niet tijd en GPS-data gebonden. Er zijn verschillende aanbevelingen die gedaan kunnen worden aan de hand van dit onderzoek en de resultaten. De twee voornaamste aanbevelingen zijn om het model te implementeren in een programma zoals MATLAB waarbij locatie en tijd beiden gebruikt kunnen worden en om de indicatoren te implementeren in het asfalteerproces, waarbij goed gekeken moet worden naar hoe de informatie getoond wordt en de hoeveelheid informatie.

Inhoudsopgave

Colofon	2
Samenvatting.....	4
Lijst met figuren.....	3
Lijst met tabellen	4
1 Inleiding.....	5
1.1 Aanleiding onderzoek.....	5
1.2 Belang van het onderzoek	7
1.2.1 Asfalt in Nederland	7
1.2.2 Asfaltverdichting.....	7
1.2.3 Procesverbetering	9
1.2.4 Kennis(overdracht).....	9
1.3 Probleemstelling	10
1.4 Doel van en in het onderzoek	10
1.5 Ontwerp van het onderzoek en vraagstelling	12
1.6 Methoden	12
1.6.1 System Dynamics.....	13
1.6.2 Validatie en verificatie	13
2 Model	15
2.1 Simulaties.....	15
2.2 AnyLogic.....	16
2.3 Doelen, eisen en functies van het model.....	17
2.4 Het ideale model.....	18
2.5 Formules en parameters	18
2.6 Opbouw van het model	20
2.6.1 Aannames.....	20
2.7 Totale model	21
2.7.1 Het gereede model	22

2.7.2	Verificatie van het model	24
2.7.3	Het geverifieerde model	24
2.8	Validatie model	26
2.8.1	Project 1 – Statenweg in Emmen op 19 oktober 2017.....	26
2.8.2	Project 2 – Evert Harm Woltersweg in Aduard op 7 december 2017	27
2.9	Gebruik van het model	28
2.9.1	Projectieberekening.....	28
2.9.2	Gevoeligheidsanalyse.....	30
2.9.3	Scenariostudie.....	31
3	Proces indicatoren.....	35
3.1	Parameters en proces indicatoren in de wegenbouw	36
3.2	KPI's bij het asfalteren	37
3.2.1	Vooruitgang machines.....	39
3.2.2	Afgeronde oppervlaktes.....	41
3.2.2	Vooruitgang project.....	42
3.2.3	Temperatuur bij de 1e wals overgang.....	44
3.2.4	Aantal wals overgangen.....	45
3.3	Indicatoren als hulpmiddel	46
3.4	Validatie	46
3.4.1	Opzet workshop.....	46
3.4.2	Resultaat workshop	48
3.5	Eindresultaat indicatoren.....	53
4	Conclusie en discussie.....	54
5	Aanbevelingen	56
6	Referenties	59
	Bijlage A: Asfaltketenproces	62
	Bijlage B: Verificatie model	63
	Bijlage C: Validatie workshop.....	72

Lijst met figuren

Figuur 1: Schematische weergave variabelen in het asfaltverwerking.....	6
Figuur 2: Verdichtingsgraden. A&B zijn gewenst, C&D ongewenst.....	8
Figuur 3: Deelvragen gekoppeld aan de opzet van het onderzoek.....	12
Figuur 4: Schematische keuze simulatiemodel naar Hillen in Boenders (2007)	15
Figuur 5: Veelvuldig gebruikte symbolen AnyLogic	16
Figuur 6: Voorbeeld model marktwerking (Anylogic).....	17
Figuur 7: Het gereede model.....	23
Figuur 8: Het verifieerde model	25
Figuur 9: Verloop scenario 2 met oplossing 5	35
Figuur 10: De ijzeren driehoek (Atkinson, 1999)	36
Figuur 11: Gevisualiseerde verbeterde output van wals machinist (Vasenev A. N., 2015)....	37
Figuur 12: Gegeneraliseerd stroomschema alle indicatoren	38
Figuur 13: Gespecificeerde route alle indicatoren bij elkaar	39
Figuur 14: Vooruitgang machines (m ² /min)	41
Figuur 15: a) Afgerond oppervlakte na 3 uur b) Afgerond oppervlakte na 6 uur	42
Figuur 15: Vooruitgang project (m ² /uur)	44
Figuur 17: Temperatuur bij 1e wals overgang.....	45
Figuur 18: Aantal uitgevoerde wals overgangen	46
Figuur 19: Voorbeeld visualisatie opties.....	47
Figuur 20: Voorbeeld van te koud gewalst oppervlakte op de A59 Rosmalen -Heesch.....	49
Figuur 21: Voorkeursweergave voor m ² /min.....	51
Figuur 22: Asfaltketenproces	62
Figuur 23: Opdeling voor de stap-voor-stap doorloop.....	63
Figuur 24: Inhoud stap 1	64
Figuur 25: Inhoud stap 2	65
Figuur 26: Inhoud stap 3.....	65
Figuur 27: Inhoud stap 4.....	66
Figuur 28: a) Inhoud stap 5 b) Inhoud stap 6.....	67

Lijst met tabellen

Tabel 1: In- en output gevoeligheidsanalyse	30
Tabel 2: Resultaten scenario's in het model	32
Tabel 3: Stappenplan vooruitgang machine (m ² /min)	40
Tabel 4: Stappenplan afgerond oppervlakte	41
Tabel 5: Stappenplan vooruitgang project	43
Tabel 6: Stappenplan temperatuur ie walsovergang.....	44
Tabel 7: Stappenplan aantal wals overgangen.....	45
Tabel 9: Standaardwaarden	68
Tabel 10: Consistentietest stap 1	69
Tabel 11: Consistentietest stap 2	69
Tabel 12: Consistentietest stap 3.....	69
Tabel 13: Consistentietest stap 4-5-6.....	70
Tabel 14: Continuïteitsttest.....	70

1 Inleiding

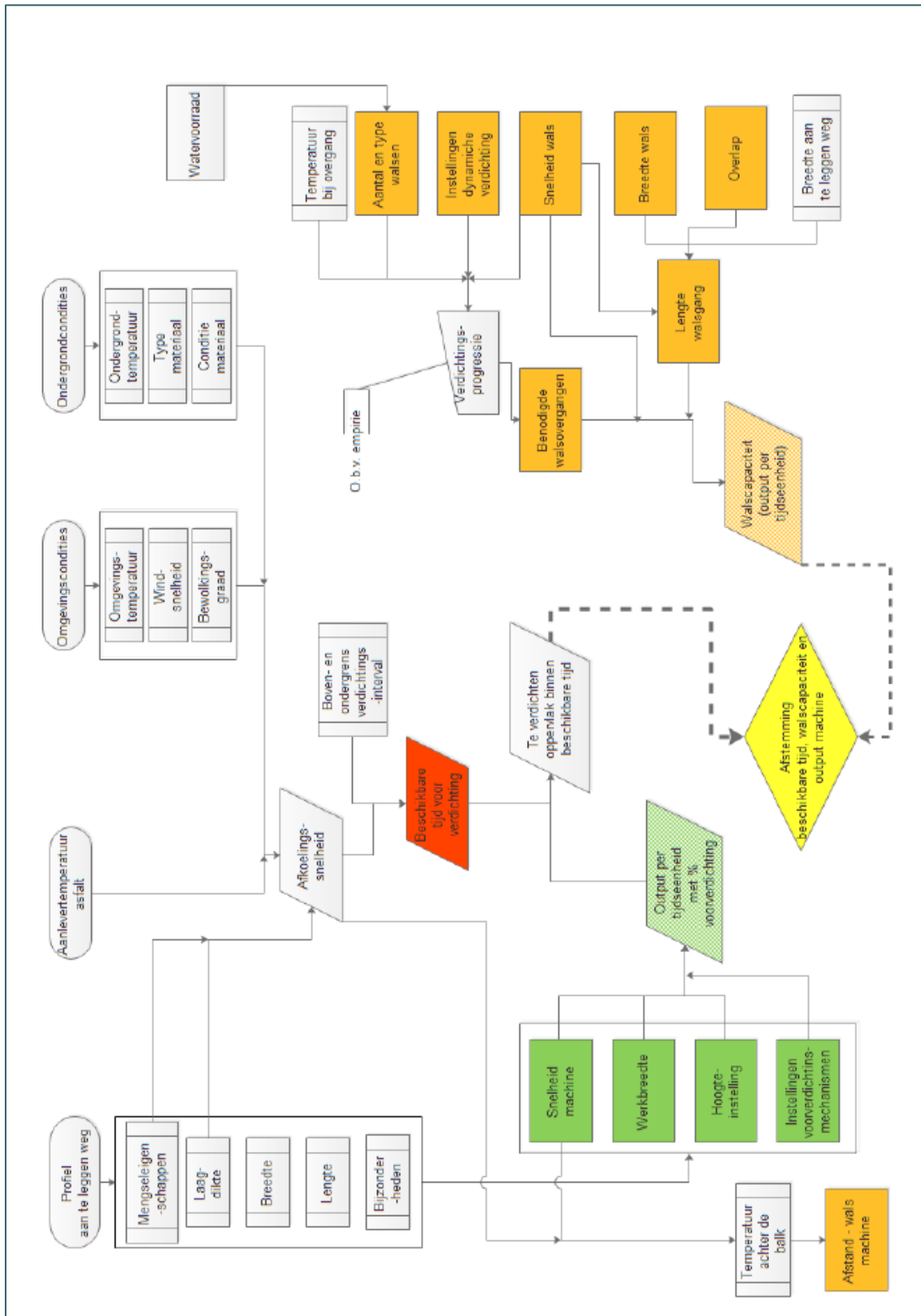
In dit eerste hoofdstuk wordt kenbaar gemaakt hoe het onderzoek opgezet is. Voor de opzet is het belangrijk om te weten wat de context is waarin dit onderzoek wordt uitgevoerd, de aanleiding vanuit de markt en literatuur en welk probleem dit onderzoek om draait. Na het uitwerken van deze onderwerpen, wordt het ontwerp van het onderzoek, de vraagstelling en de methode nog verder uitgelegd.

1.1 Aanleiding onderzoek

De aanleiding voor dit onderzoek is gegeven door ASPARi (“Asfalt Sector Professionalisering, Research & Innovatie”). ASPARi is een netwerk dat zijn standplaats kent op de Universiteit Twente. ASPARi is opgezet om de wegenbouw te professionaliseren en de vele handelingen en technieken die toegepast worden in de wegenbouw wetenschappelijk te onderbouwen, te sturen en te verbeteren. Dit onderzoek richt zich op het verbeteren van het asfaltverwerkingsproces, wat dus goed binnen de doelen van ASPARi valt. BAM Infra Asfalt is één van de partners van ASPARi en heeft het onderzoek voorafgaand aan dit onderzoek geleid (Arbeider, 2016). Gezien de bestaande kennis van het onderzoek en het proces, is het in het voordeel van zowel BAM als van de student dat dit vervolgonderzoek daar heeft plaats gevonden. Met het eindproduct van dit onderzoek is er de mogelijkheid om het asfaltverwerkings- en verdichtingsproces te verbeteren.

Er is uit de literatuur ook een aanleiding voor dit onderzoek (Arbeider, 2016). Arbeider heeft in samenwerking met ASPARi en BAM Infra Asfalt onderzoek gedaan naar alle variabelen die een rol spelen bij het verwerken en verdichten van asfalt op een asfaltwerk. Hij heeft hierbij zich gericht op de asfaltspreidmachine(s) en de walsen. Uit zijn onderzoek is het volgende schema gekomen, die de bruikbare en meetbare relaties weergeven die van toepassing zijn bij de verwerking van asfalt, zie Figuur 1. Dit schema is de basis in dit onderzoek, want het geeft alle variabelen en relaties weer die van toepassing zijn en een invloed hebben in het model. In dit onderzoek gaan er parameters geplaatst worden bij elke relatie. Dit betekent concreet dat de variabelen een bereik krijgen, waarin ze opereren.

Arbeider (2016) heeft de conclusie getrokken dat bij het opstarten van de verdichting op een asfaltwerk, de walsen niet gelijk op gaan met de asfaltspreidmachine(s). Dit betekent dat de asfaltspreidmachine(s) hetzij te snel gaan voor de walsen of dat de asfaltspreidmachine(s) niet genoeg snelheid hebben om de walsen bij te houden. Dit is dan ook een van de grootste uitgangspunten van dit onderzoek; het afstemmen van de asfaltspreidmachine(s) en de walsen, zodat ze synchroon opereren.



Figuur 1: Schematische weergave variabelen in het asfaltverwerking

1.2 Belang van het onderzoek

Het belang van het onderzoek in relatie tot de literatuur en de praktijk wordt in deze paragraaf duidelijk gemaakt.

1.2.1 Asfalt in Nederland

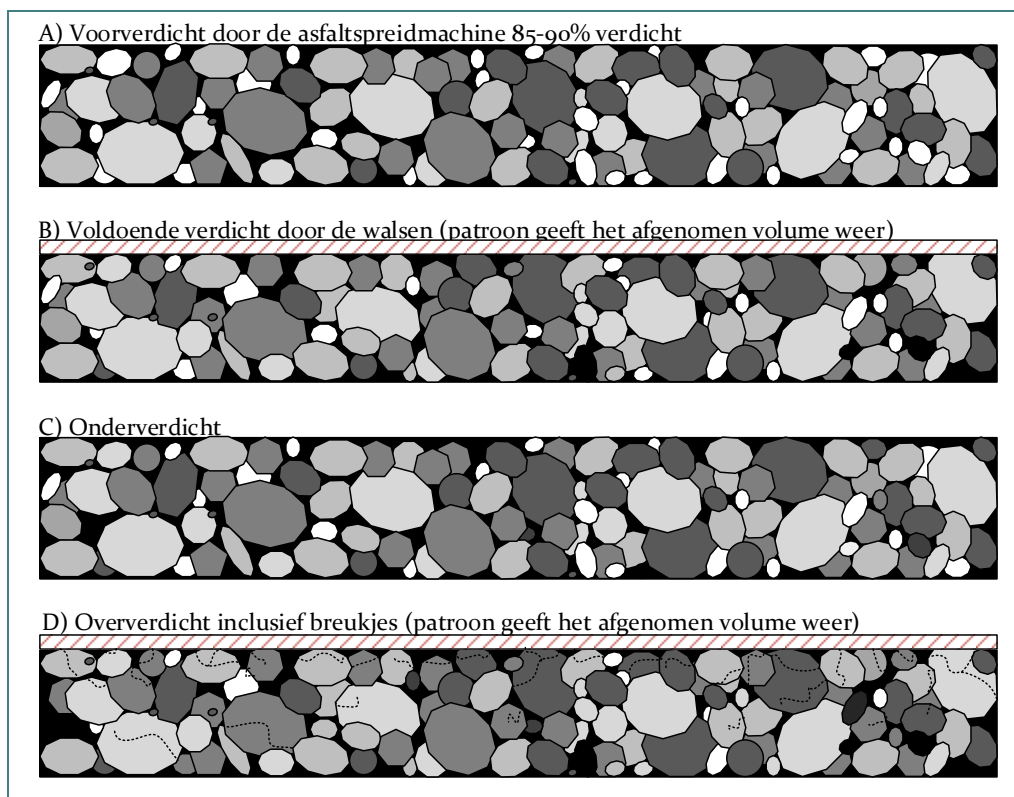
Nederland produceert jaarlijks meer dan 8 miljoen ton aan asfalt. Deze hoeveelheid asfalt komt uit één van de 38 verschillende asfaltcentrales, verspreid over heel Nederland (European Asphalt Paving Association, 2017). Het beleid van gemeenten, provincies en andere (lokale) overheden schuift de afgelopen jaren steeds meer naar duurzaamheid. De toepassing van duurzaam(heid) is dan ook in vele beleidstukken te vinden en een steeds grotere rol is weggelegd voor indexen zoals de levenscyclusanalyses (LCA) van het asfalt (Minchin, Hammons, & Ahn, 2008) (Giani, Dotelli, Brandini, & Zampori, 2015) (Bijleveld & Dorée, 2014). Dit betekent ook dat (lokale) overheden steeds meer moeten realiseren met minder. Een voorbeeld hiervan zijn het toenemende aantal verantwoordelijkheden, stijgende bouw- en bitumenprijzen die zij moeten realiseren met minder financiële tegemoetkomingen. Om meer met minder te kunnen realiseren worden er nieuwe technieken ontwikkeld, die processen meer efficiënt maken of de kwaliteitsborging verbeteren (Giani et. al, 2015) (Bijleveld & Dorée, 2014).

Om kosten te drukken en kwaliteit meer te waarborgen en te verbeteren, wordt er een andere houding gevraagd van zowel opdrachtgevers als opdrachtnemers. Met het gebruik van geïntegreerde contracten bij vele projecten, wordt er gezorgd dat de opdrachtnemers niet alleen nadenken over het bouwproces, maar ook over het voor- en natraject en de levensduur van het object. De nadruk ligt hierdoor meer bij kwaliteit en deze kwaliteit actief meten en waarborgen (Minchin et. al, 2008). Door deze nieuwe rolverdeling en contracten worden aannemers sneller geconfronteerd bij het leveren van een gebrekkig(er) product en is het ook steeds belangrijker om meer inzicht te krijgen in het verbeteren van processen en kwaliteitswaarborging (Minchin et. al, 2008) (Bijleveld et. al, 2016) (Hu, Shu, Huang, & Woods, 2017) (Bijleveld & Dorée, 2014).

1.2.2 Asfaltverdichting

Uit verschillende literatuur is naar voren gekomen dat het verdichten van het asfalt een zeer belangrijke rol speelt in de uiteindelijke kwaliteit van het wegdek (Chang et.al., 2009)(Bijleveld et.al., 2016) (Bijleveld & Dorée, 2014). Het Asphalt-Institute (2007) in Bijleveld et. al, 2016 definieert verdichting als het proces waarbij het asfalt van een gegeven volume samengedrukt wordt tot een kleiner volume. Het resultaat is een asfalt mengsel met een bepaalde dichtheid. Het bereiken van een specifieke dichtheid optimaliseert het mengsels' gewenste karakteristieken, waaronder de sterkte, bestendigheid en weerstand

tegen vervorming en vocht (Decker 2006 in Bijleveld et. al, 2016). Er zijn verschillende omstandigheden nodig om het asfalt zo optimaal mogelijk verdicht te krijgen. De verdichting is onder andere afhankelijk van de temperatuur van het asfalt, de omgevingstemperatuur en de afkoelingscurve van het asfalt (Bijleveld et. al, 2016) (Chang, Chang, & Chen, 2009) (Hu et. al, 2017) (Miller, Hartmann, & Dorée, Measuring and visualizing hot mix asphalt concrete paving operations, 2010). Naast deze omstandigheden zijn het aantal wals overgangen van belang. Elk mengsel heeft een ideaal aantal wals overgangen die van toepassing zijn. Als er minder wals overgangen gedaan zijn dan benodigd, dan is het mengsel onderverdicht. Een onderverdicht mengsel vervormt door de dagelijkse belading en scheurt. Als een mengsel oververdicht is en dus meer wals overgangen heeft gehad dan nodig, dan raakt het mengsel zijn stabiliteit kwijt. In Figuur 2 is een voorbeeld hiervan te zien. Het verdichtingsproces bestaat uit de volgende drie fasen: (i) voorverdichten: lucht wordt uit het asfalt gedrukt en het aggregaat herschikt zich; (ii) tussenverdichting: het mengsel wordt wat stijver en gedraagt zich daarom anders en (iii) naverdichten: het mengsel wordt aangedrukt totdat de gewenste dichtheid bereikt is en het oppervlakte wordt egaal gemaakt.



Figuur 2: Verdichtingsgraden. A&B zijn gewenst, C&D ongewenst

1.2.3 Procesverbetering

Omdat walsen een zodanig grote invloed heeft op het eindresultaat zijn er ook vele onderzoeken gedaan om dit proces te verbeteren (Vasenev, Hartmann, & Dorée, 2014a) (Bijleveld et. al, 2016) (Chang et.al, 2009) (Miller et. al, 2010). Wat Miller et. al (2010) heeft geconcludeerd is dat het meeste onderzoek zich richt op materialen in plaats van op het verdichtingsproces zelf. Het doel van deze onderzoeken is om het wals proces te vergemakkelijken door de mengsels of de interactie tussen de wals en het mengsel te verbeteren. Een aantal jaren geleden is het systeem van 'slim verdichten' (intelligent compaction) ontworpen. Dit systeem helpt de wals machinist met het bepalen van het aantal wals overgangen, dichtheid, temperatuur en de locatie van de wals, echter dit systeem wordt nog niet overal toegepast en heeft dus nog niet het gewenste bereik(t) (Hu et. al, 2017) (Miller et. al, 2010). Naast dit nog geringe bereik is het ook een containerterm voor alle aspecten die een verbetering opleveren voor het verdichten, dus uitleg bij de term is nodig. Naast onderzoek naar materialen is er onderzoek gedaan naar de temperatuur waarbij gewalst moet worden en hoe snel asfalt afkoelt (Bijleveld et. al, 2016) (Chang et.al, 2009). Ondanks dat het temperatuur bereik verschilt in de literatuur, is men het wel eens over de gevolgen voor het verdichten en het asfalt buiten de gewenste temperatuur. Als het asfalt te koud is tijdens de verdichting, dan kan het bitumen het aggregaat niet smeren en ontstaan er rafels en scheuren in de laag asfalt. Bij een te hoge verdichtingstemperatuur dan wordt er niet verdicht, maar verplaatst het mengsel zich door de krachten van de wals (Bijleveld et. al, 2016).

1.2.4 Kennis(overdracht)

In de (wegen)bouw is er veel kennis aanwezig bij het bouwplaats personeel. Helaas is deze kennis vaak impliciet en lastig expliciet te maken (Bijleveld & Dorée, 2014). Wals machinisten weten wat ze moeten doen om het werk te verdichten, maar ze kunnen niet vertellen wanneer zij weten dat het werk voldoende verdicht is. Als gevolg van deze impliciete kennis, is de leercyclus erg lang (Bijleveld & Dorée, 2014). Een bijkomend doel van dit onderzoek is dan ook het expliciet maken van de werkvoorraden en de gevolgen als de werkvoorraden niet gelijk opgaan.

Dit onderzoek gaat vanwege de vele impliciete kennis in op de basis van het asfalteerproces. Er worden geen nieuwe technieken onderzocht, maar een nieuwe benadering wordt verkend om het proces explicieter te maken. Zowel de walsen als de asfaltspreidmachine(s) hebben een werkvoorraad die afgerond moet worden die dag. Als de af- en toename van deze werkvoorraden in evenwicht zijn, dan is het asfaltwerk weer een stuk voorspelbaarder qua kwaliteit door een meer consistente aanleg van het asfalt. Het evenwicht, zoals

genoemd hierboven, is het aantal m² die nog uitgevoerd moet worden door enerzijds de walsen (verdichting) en anderzijds de asfaltspreidmachine(s) (verwerking). Het evenwicht geeft niet de kwaliteit weer van het asfalt, hiervoor zijn andere parameters nodig.

Met de beantwoording van dit vraagstuk en de implementatie van het model, helpt dit de wegenbouw in het plannen van asfaltwerken en het reflecteren en leren van gedane asfaltwerken (Vasenev, Hartmann, & Dorée, 2014a). Door het model is er ook stimulatie in het verzamelen van data voor elk project, zodanig dat er voor elk project gereflecteerd kan worden en op deze manier kan ook de leercyclus verkort worden in de wegenbouw. Op deze manier is de kennis een stuk explicieter geworden.

1.3 Probleemstelling

Zoals uit de literatuur blijkt, ligt de nadruk bij onderzoek vooral op het gebied van materiaal(gebruik) en is er weinig onderzoek naar het verbeteren en documenteren van het asfalterproces (Miller, 2010). Uit het onderzoek van Arbeider (2016) is naar boven gekomen, dat de werkvoorraden van de asfaltspreidmachine(s) en de walsen niet in gelijke mate toe- en afnemen, vooral in het begin van een asfaltdag. Dit heeft als resultaat dat de walsen de asfaltspreidmachine(s) niet bij kunnen houden en/of vice versa. Een gevolg van deze (grote) verschillen is dan ook dat het proces moeilijker consistent te krijgen en te houden is. De probleemstelling die nu volgt is:

“De werkvoorraden van de walsen en de asfaltspreidmachine nemen niet in gelijke mate toe en af, wat betekent dat de walsen, de asfaltspreidmachine(s) niet bij kunnen houden en/ of vice versa en dit zorgt voor een minder consistent verloop van het asfalterproces.”

1.4 Doel van en in het onderzoek

Hier wordt ingegaan op het doel van en in het onderzoek. Het doel van het onderzoek komt voor uit de probleemstelling die in paragraaf 1.3 is omschreven. In de probleemstelling wordt duidelijk dat de werkvoorraden beter op elkaar afgestemd moeten worden, zodat er een consistent proces komt en de machines synchroon kunnen opereren. Door te streven naar een betere afstemming tussen de machines wordt er getracht ook meer bewustzijn te creëren over de complexiteit van het proces en de onderlinge relaties van de variabelen die van toepassing zijn. Het doel in dit onderzoek is daarom als volgt gedefinieerd:

“In dit onderzoek is het doel gesteld om een model te maken, die weergeeft wat de werkvoorraden zijn van de walsen en de asfaltspreidmachine(s) en ook om indicatoren te ontwikkelen die helpen bij het synchroniseren of de status van de synchronisatie weergeven.”

Om het doel in het onderzoek te realiseren zijn er verschillende deelresultaten gewenst. Het eerste belangrijke deelproduct is het basismodel in AnyLogic. Onder basismodel wordt verstaan dat de activiteiten goed gedefinieerd zijn op basis van bekende formules (Arbeider, 2016) en dat de voorraden op de juiste manier gedefinieerd zijn met de juiste eenheid. Tweede deelproduct is het vaststellen van proces indicatoren die de mate van synchronisatie en vooruitgang kunnen weergeven in het asfaltketenproces, zie

1.5 Ontwerp van het onderzoek en vraagstelling

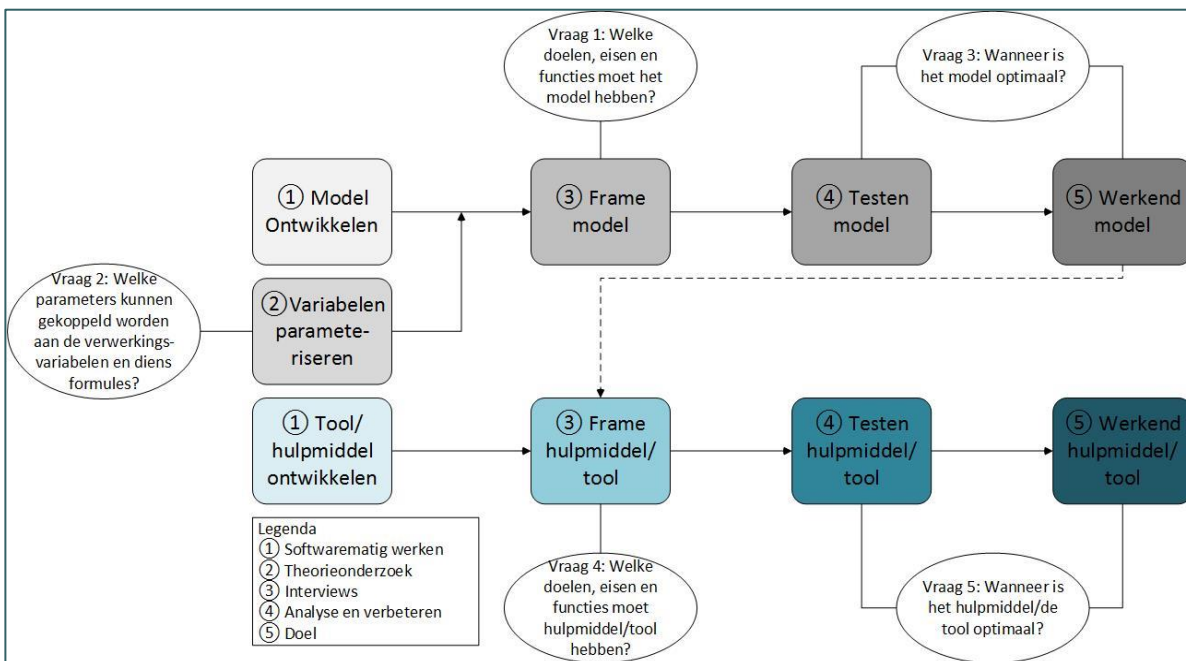
Om tot het beoogde doel te komen is het nodig dat het ontwerp van het onderzoek helder is. Naast een helder ontwerp is het ook van belang dat de hoofd- en deelvragen bekend zijn om een antwoord te kunnen geven op het probleem.

De hoofdvraag is als volgt: *“Hoe kan het asfalteerproces uniformier uitgevoerd worden door het gebruik van het model en de implementatie van het model in de asfaltketen?”*

De deelvragen die nodig zijn voor de beantwoording van de hoofdvraag zijn hieronder weergegeven.

1. Welke doelen, eisen en functies moet het model hebben?
2. Welke parameters kunnen gekoppeld worden aan de verwerkingsvariabelen en diens formules?
3. Wanneer is het model optimaal?
4. Welke doelen, eisen en functies moet het hulpmiddel/de tool hebben?
5. Wanneer is het hulpmiddel/de tool optimaal?

Het ontwerp van het onderzoek is uitgezet in Figuur 3. Dit figuur geeft de samenvoeging weer van de benodigde activiteiten (ontwerp van het onderzoek) en de deelvragen.



Figuur 3: Deelvragen gekoppeld aan de opzet van het onderzoek

1.6 Methoden

In dit onderzoek wordt er gebruik gemaakt van verschillende methoden. De gebruikte methoden zijn: System Dynamics, interviews en verifiëren. Hierna zal kort elke methode beschreven worden.

1.6.1 System Dynamics

System Dynamics is een methode die door Forrester is geïntroduceerd in de jaren '50. De toepassing van System Dynamics is geschikt als analytische methodes het gedrag van het systeem niet goed kan voorspellen. System Dynamics wordt al snel gebruikt als er sprake is van verschillende feedback cirkels in het systeem of onderlinge relaties tussen variabelen (naast de relaties tussen parameters en activiteit en tussen parameters en de voorraden. Deze methode is geschikt in de werkgebieden van sociaal-economie bijvoorbeeld, omdat in dit werkgebied het vaak lastig te bepalen is wat het effect van één gewijzigde variabele is op het gehele systeem. In System Dynamics modellen kunnen verschillende scenario's uitgewerkt worden, waarbij rekening gehouden wordt met alle variabelen. Hierdoor kunnen ook onverwachtse effecten zichtbaar gemaakt worden, bijvoorbeeld effecten die later pas optreden (Vafa-Arani, Jahani, Dashti, Heydari, & Moazen, 2014). Zoals Vafa-Arani et al. (2014) schreef helpt een simulatie bij het begrijpen van het proces of systeem en helpt het ook bij leren op basis van feedback. In dit onderzoek wordt dan ook gebruikt gemaakt van een simulatie van het asfalteerproces. Voor de simulatie en het te ontwikkelen model erachter wordt gebruikt gemaakt van de software AnyLogic. Dit programma wordt uitgelegd in paragraaf 0. Belangrijk bij het gebruik van AnyLogic is het voorkomen van een hybride benadering van het asfalteerproces. Doordat AnyLogic zowel discrete event simulation, agent based modelling en System Dynamics aanbiedt en het onderlinge gebruik van variabelen uit de verschillende methoden zeer makkelijk is, moet ervoor gewaakt worden dat er geen hybride aanpak ontstaat waarbij deze methoden door elkaar gebruikt worden.

1.6.2 Validatie en verificatie

Een model is een geschematiseerde en versimpelde versie van de werkelijkheid, maar als deze niet gevalideerd is, kan er geen waarde toegekend worden aan het model. Voordat het model gevalideerd en geverifieerd is, weet je nog geen nauwkeurigheid of wat de behaalde winst is van het model. Door het model te valideren controleer je of het model een juiste weergave van de werkelijkheid is en door het te verifiëren controleer je of er nog logische fouten in het model zitten.

Het valideren in dit onderzoek bestaat uit twee delen; de indicatoren en het model moeten gevalideerd worden. Allereerst de indicatoren; deze worden gevalideerd door een workshop te houden met uitvoerend personeel. Dit is een groep bestaande uit wals

machinisten, spreidmachine machinisten en uitvoerders. In deze workshop worden de indicatoren uitgelegd, erover gediscussieerd en uiteindelijk verbeterd zodat de indicatoren klaar zijn voor gebruik.

Het model wordt geverifieerd voordat deze gevalideerd wordt. Het model wordt geverifieerd door deze stap voor stap te doorlopen en alle formules en verbanden te controleren en deze stappen los te gebruiken in een run. Deze stappen worden gedocumenteerd, zodat ik als modelleur achter fouten kan komen door het op papier uit te leggen aan een derde. Een tweede test die gedaan wordt is een continuïteitstest. Er wordt gekeken als er één variabele een kleine verandering ondergaat, dat gedurende de run het model niet grote verschillen in output gaat vertonen ten opzichte van de standaard run. Laatste test is de consistentietest, waarin gekeken wordt of één wals met een output van 50 m²/min hetzelfde resultaat geeft als twee walsen met een output van 25 m²/min (Hillston, 2005). Door verschillende van deze opties te runnen in het model, kan gekeken worden of de output consistent is.

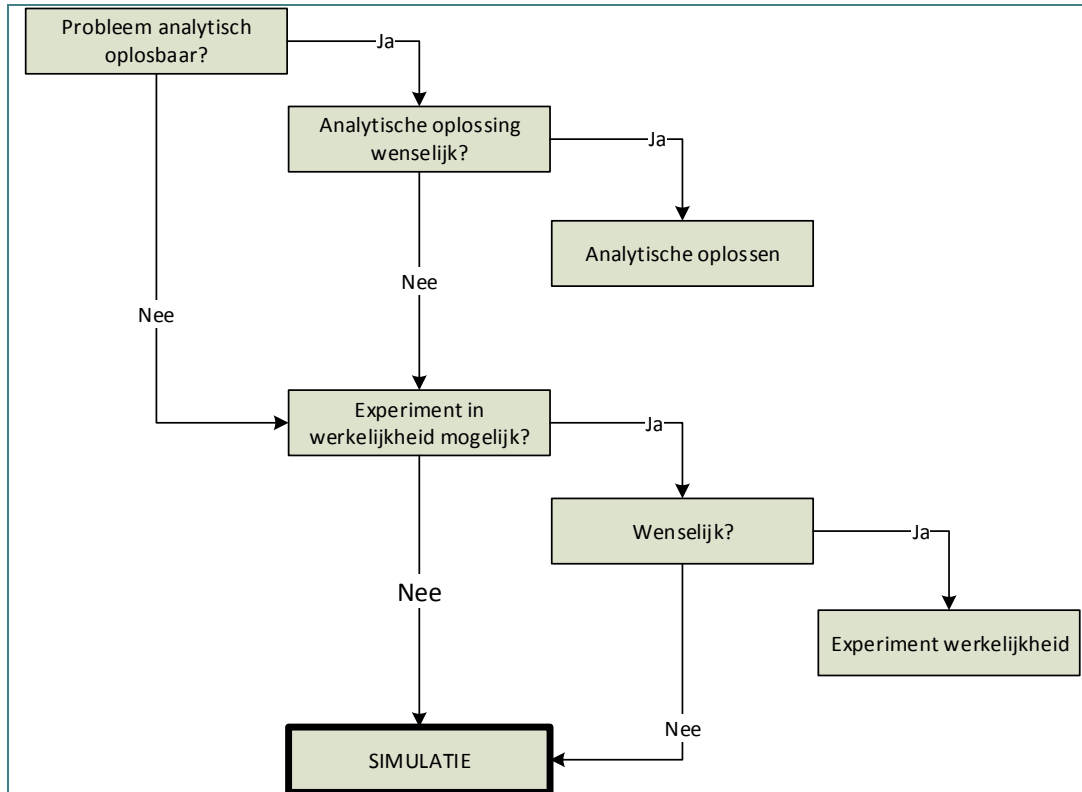
Als het model geverifieerd is en de eventueel ontdekte fouten zijn verbeterd, dan kan het model gevalideerd worden. Bij validatie moeten drie aspecten meegenomen worden: de aannames, input waarden van de variabelen en de output waarden en de conclusies die eruit getrokken kunnen worden. Gezien dit een nieuw model betreft, is het lastig om een complete validatie te krijgen. Allereerst wordt er gefocust op de output en de conclusies door op basis van historische data en theoretische analyse te kijken wat is de uitkomst van het model en hoe verhoudt dit zich tot de geplande uitkomst (Hillston, 2005). Dit resulteert in de behaalde winst die je hebt door het model te gebruiken. De nauwkeurigheid kan dan bekeken worden door de uitkomst van het model met de werkelijke uitkomst te vergelijken. Vanuit BAM is een nauwkeurigheid van 20% gewenst.

2 Model

Dit hoofdstuk is gewijd aan het model. In dit hoofdstuk wordt eerst bekeken waaraan het model moet voldoen, wat het optimale resultaat is qua model. Als dit afgerond is, worden relevant formules besproken met de parameters en erna wordt het model opgedeeld besproken.

2.1 Simulaties

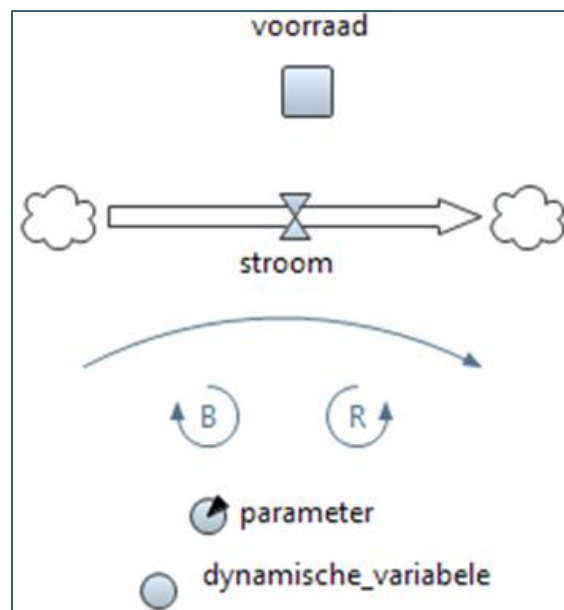
Simulaties worden gebruikt om complexe problemen of situaties zichtbaar te maken en om het begrip voor het probleem of de situatie te vergroten. Er zijn verschillende voor- en nadelen om gebruik te maken van simulaties in de (wegen)bouw. Middels een model kan een kostenbesparing gerealiseerd worden, een kortere tijdsduur en de complexiteit van het probleem (Kopenhagen, 2010). Verschillende alternatieven kunnen bekeken en uitgewerkt worden zonder dat daar hoge experimentkosten aan zijn verbonden. Na de keuze voor een model, is er nog de keuze te maken tussen een wiskundig analytisch model en een simulatie (Hillen in Boenders, 2007). Wiskundig analytisch model is in dit onderzoek niet gewenst, door de vele omstandigheden die plaatsvinden en allemaal effect hebben op het proces, dat het te onoverzichtelijk wordt. In Figuur 4 hieronder is de keuze voor een simulatie (model) schematisch weergegeven.



Figuur 4: Schematische keuze simulatiemodel naar Hillen in Boenders (2007)

2.2 AnyLogic

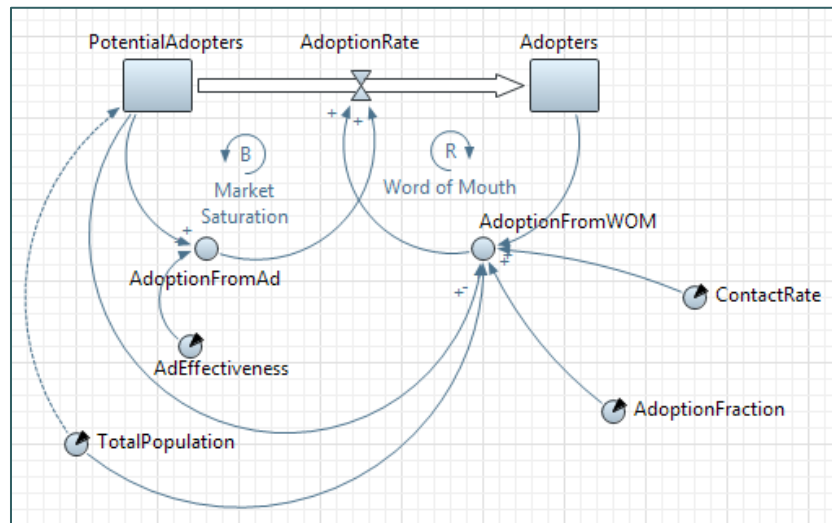
Om het model te maken en uit te voeren wordt er gebruik gemaakt van het programma AnyLogic. AnyLogic biedt ruimte voor drie simulatiemethoden. Dit zijn discrete event simulaties, agent based simulaties en System Dynamics simulaties. Het softwarepakket biedt een geïntegreerd pakket aan van deze drie simulatiemethoden, zodat deze ook hybride gebruikt kan worden. Voor de simulatie in dit onderzoek zal er alleen gebruik gemaakt worden van System Dynamics, om vooral inzicht te krijgen over de invloed van alle onderliggende relaties. Een van de belangrijke voordelen van System Dynamics zijn de feedback cirkels. Feedback cirkels kunnen bestaan tussen voorraden, parameters en stromen tussen de voorraden. Deze cirkels zijn het basisprincipe van System Dynamics.



Figuur 5: Veelvuldig gebruikte symbolen AnyLogic

Bij het modelleren zijn er verschillende symbolen die veelvuldig gebruikt worden en die dan ook de basis vormen van het System Dynamics model. De symbolen zijn te zien in Figuur 5. Van boven naar beneden zijn weergegeven: voorraad, stroom, relatie, feedback cirkels, parameter en dynamische variabele. Alle symbolen kunnen in grootte variëren, maar de betekenis van een symbool blijft gelijk. Een voorraad is weergegeven als een vierkantje in AnyLogic. Een stroom of activiteit van en naar een voorraad wordt aangegeven met een pijl en een dubbele driehoek. De stroom is nu los weergegeven, waardoor er twee wolkjes aan beide uiteinden zijn weergegeven. Deze verdwijnen als de stroom gekoppeld is aan een voorraad. De enkele pijl geeft een relatie aan tussen twee items in het model. Dit kunnen bijvoorbeeld een parameter zijn in combinatie met een voorraad. Zoals eerder gezegd is de basis van System Dynamics de feedback cirkel. Deze cirkels worden expliciet weergegeven in het model met de ronde pijltjes met een 'B' of 'R' erin. 'B' staat voor

‘balancing’, dat betekent dat de cirkel zichzelf in evenwicht houdt. ‘R’ staat voor ‘reinforcing’, wat betekent dat de cirkel zich elke ronde weer versterkt. De richting van de pijl geeft aan in welke richting de feedback cirkel werkt. Een voorbeeld van de twee soorten feedback cirkels zijn gegeven in het voorbeeld uit AnyLogic te zien in Figuur 6: Voorbeeld model marktwerking (Anylogic)Figuur 6. Figuur 6 geeft het voorbeeld van de verkoop van een product. De feedback cirkels geven dan de marktsituatie aan en maken deze niet lineaire situatie expliciet.



Figuur 6: Voorbeeld model marktwerking (Anylogic)

2.3 Doelen, eisen en functies van het model

In de eerste probleemstelling is beschreven dat het model twee doelen zou dienen: plannen en monitoren. Wegens de verschillende manier van insteken van het model voor deze twee doelen is besloten om alleen verder te gaan met het doel monitoren.

Het doel van het model is dan ook om het asfalteerproces in kaart brengen, zodat deze gereed is om bijna in de werkelijke tijd het project te kunnen monitoren en de indicatoren ook bijna gelijk op met de werkelijkheid te kunnen tonen. Dit is alleen mogelijk als de data uit de machines (bijna) gelijk beschikbaar is, maar het model kan daar wel startklaar voor gemaakt worden.

Functies en eisen van het model zijn een afgeleide van het doel dat hierboven beschreven is. Het is van belang dat iemand die geen of weinig verstand heeft van Anylogic gepaste instructie krijgt voor het aanpassen van het model indien daar behoefte aan is. Qua functies van het model, moeten de van toepassing zijnde formules naar behoren werken. Verder moet het model geen foutmeldingen geven en logischerwijs zijn opgebouwd. De

naamgeving van de variabelen moeten niet voor verwarring zorgen en dit moet dan ook gecheckt worden bij de verificatie van het model.

2.4 Het ideale model

Het model zou idealiter als een digitale tweeling meedraaien met het project dat uitgevoerd wordt. Om hier het beste gebruik van te kunnen maken wordt de data bijna tegelijkertijd als het verzameld wordt, bewerkt en gepresenteerd op een scherm op de bouwplaats. Om het model te runnen wordt de data omgezet in de indicatoren en deze indicatoren dienen als input voor het model. Als dit converteerproces geautomatiseerd is en het model is in een ander programma geïmplementeerd die continu data kan inlezen, ben je dichterbij real-time monitoren van het project. In het model wordt weergegeven hoe ver het project nu is, wordt de maximale voorraad per machine getoond die de machine mag hebben om binnen de afkoelingstijd te kunnen verdichten als ook hoe lang het project nog duurt. Deze voorspelling van projectduur is idealiter gekoppeld aan het programma Apex (logistiek van asfalt) waardoor vertraging vanuit transport is meegenomen. Bij deze voorspelling is het ook nodig om de geometrie in de berekening mee te nemen van de nog te asfalteren oppervlakte immers gaat het sneller om tien meter breed te asfalteren dan met zes meter breedte. Als al deze factoren correct zijn geïmplementeerd in het model, dan kan het model eventueel ook gebruikt worden om in te plannen wanneer het water wordt gehaald voor de walsen. Dit kan dan op een moment gebeuren dat dit beter uitkomt.

Om op strategisch level ook het model te kunnen gebruiken is het gewenst dat er kosten gekoppeld worden aan dit model. Als verspilling inzichtelijk is van bijvoorbeeld de walsen (te veel wals overgangen) kan er ook inzicht verkregen worden in over- en ondercapaciteit op een project en verspilling van eventueel tijd en personeel. Als laatste kan bij de geautomatiseerde versie van dit model de machinisten adviseren in snelheid of aantal wals overgangen, zodat een hogere efficiëntie bereikt kan worden op een werk.

2.5 Formules en parameters

Om in het model de parameters de juiste methode met elkaar te verbinden, zijn er verschillende formules gebruikt (Floss, 2001). Floss heeft met formules weergegeven wat de verbanden zijn tussen de verschillende output waarden van de gebruikte machines. Voor het plannen van de wals inzet zijn er door Arbeider (2016) verschillende formules van Floss (2001) gebruikt. De formules die in het model gebruikt worden, zijn hieronder weergegeven en zijn ook van Floss (2001). Er is gekozen om deze formules te gebruiken omdat voorlopig gemiddeld wordt tussen relatief grotere tijdvakken (van 1 uur bij projectieberekening). Bij

het verkleinen van deze tijdsvakken en het verzamelen van real-time gegevens kan dit op den duur vervangen worden door data vanuit de sensoren.

$$M_{sm} = \frac{F_{sm} \cdot g}{1000} \text{ omgezet naar } F_{sm} = \frac{M_{sm} \cdot 1000}{g} \quad \text{Formule 1}$$

Waarin:

M_{sm} = volumetrische productie spreidmachine (ton/uur)

F_{sm} = oppervlakte productie spreidmachine (m²/uur)

g = legginggewicht (kg/m²)

$$F_{sm} = B \cdot v_{sm} \cdot f_n \quad \text{Formule 2}$$

Waarin:

F_{sm} = oppervlakte productie spreidmachine (m²/uur)

B = verwerkingsbreedte spreidmachine(m)

v_{sm} = verwerkingssnelheid spreidmachine(m/min)

f_n = efficiëntie factor (bij het monitoren heeft deze waarde 1,0)

f_n is afhankelijk van de volumetrische productie en ziet er als volgt uit:

$f_n = 0,8 - 1,0$ voor volumetrische productie tot 100 ton/uur

$f_n = 0,7 - 0,9$ voor volumetrische productie van 100-200 ton/uur

$f_n = 0,6 - 0,8$ voor volumetrische productie vanaf 200 ton/uur

$$F_w = \frac{b_{eff} \cdot v_w \cdot f_n}{n} \quad \text{Formule 3}$$

Waarin:

F_w = oppervlakte productie wals (m²/uur)

b_{eff} = effectieve wals breedte (m) (bij het monitoren heeft deze waarde 1,0)

v_w = wals snelheid(m/min)

f_n = efficiëntie factor (bij het monitoren heeft deze waarde 1,0)

n = aantal wals passages

$$b_{eff} = \frac{B}{N} \quad \text{Formule 4}$$

Waarin:

b_{eff} = effectieve wals breedte (m)

B = verwerkingsbreedte spreidmachine (m)

N = aantal parallelle walsgangen

Bij het monitoren van het project is b_{eff} gelijk aan 1,0. De wals vermindert niet in breedte tijdens het walsen, maar vormt overlap voor een nieuwe

wals overgang. Dus met één walsgang kan je deels een eerste wals overgang als een tweede wals overgang bereiken.

$$N = \frac{B}{0,9 \cdot b} \quad \text{Formule 5}$$

Waarin:

N = aantal parallelle walsgangen

B = verwerkingsbreedte spreidmachine (m)

b = breedte wals (m)

$$t = \frac{L \cdot n \cdot N}{v_w} \quad \text{Formule 6}$$

Waarin:

t = wals tijd

L = lengte van de walsgang (m)

n = aantal wals overgangen

N = aantal parallelle walsgangen

v_w = wals snelheid(m/min)

2.6 Opbouw van het model

Het model is opgebouwd op basis van bestaande formules, het stroomschema in Figuur 1 en de principes van System Dynamics. Om duidelijkheid te krijgen in de opbouw, zijn eerst een aantal aannames uitgelegd, alvorens het complete model te bespreken en erna de voorraden stuk voor stuk om de effecten ervan kenbaar te maken op het totale model.

Het asfalterproces kan niet gemodelleerd worden zonder een afbakening. In het model is als uitgangspunt de aanvoer constant beschouwd en is het proces afgerond bij het afronden van de nawalsfase. Bij het gebruiken van dit model moet er daarom rekening mee gehouden worden, dat na afloop van het nawalsen het asfalt nog niet op de juiste temperatuur is om opengesteld te worden of om een tweede laag toe te passen.

2.6.1 Aannames

Om het model niet te complex te laten worden zijn er een aantal aannames gemaakt om onder andere het model af te bakenen.

- *De aanvoer van asfalt is constant:* het onderzoek richt zich op het synchroniseren van de asfaltspreidmachine(s) en de walsen. Hierbij wordt de asfaltspreidmachine als leidend genomen en daarbij is er gekozen dat er altijd voldoende asfalt aanwezig is om te asfalteren. Stopplekken als gevolg van een gebrek aan asfalt zijn hierdoor

niet meegenomen. Een stop (ongeacht de reden) is terug te zien in de lagere vooruitgang en de effectieve snelheid van de asfaltspreidmachine.

- *De wals overgangen die nodig zijn voor 100% verdichting, zijn het aantal wals overgangen die in de verwerkingsadviezen gegeven zijn:* binnen BAM zijn er verwerkingsadviezen opgesteld per mengsel die aangeven hoeveel wals overgangen er nodig zijn voor een verdichting van 100%. Deze adviezen worden als maatgevend gezien met betrekking tot de indicatoren over wals overgangen.
- *Negatieve voorraad bestaat niet:* System Dynamics is een methode die een proces beschouwt over tijd. De formules die hierbij gebruikt worden zijn integralen en differentialen. Wiskundig gezien, kan een voorraad hierdoor een negatieve waarde aannemen. In het asfalterproces kunnen de walsen niet voor de asfaltspreidmachine walsen, gezien daar geen asfalt ligt. Het model moet zo worden ingericht dat een negatieve voorraad dus niet mogelijk is en die activiteit dan (tijdelijk) gestopt wordt. Bij overmatig walsen gaat de vooruitgang van de walsen omlaag en dit is dan ook te zien in de waarde van de bijbehorende 'flow'. Er is nu geen maatregelen getroffen om dit te splitsen in voldoende + overmatig gewalst.
- *Temperatuur is zowel tijd als locatie gebonden:* in Anylogic is het niet mogelijk om het model ook locatie gebonden (op basis van GPS-data) te modelleren. Hierdoor is gekozen om temperatuur niet te modelleren op een abstracte manier.

2.7 Totale model

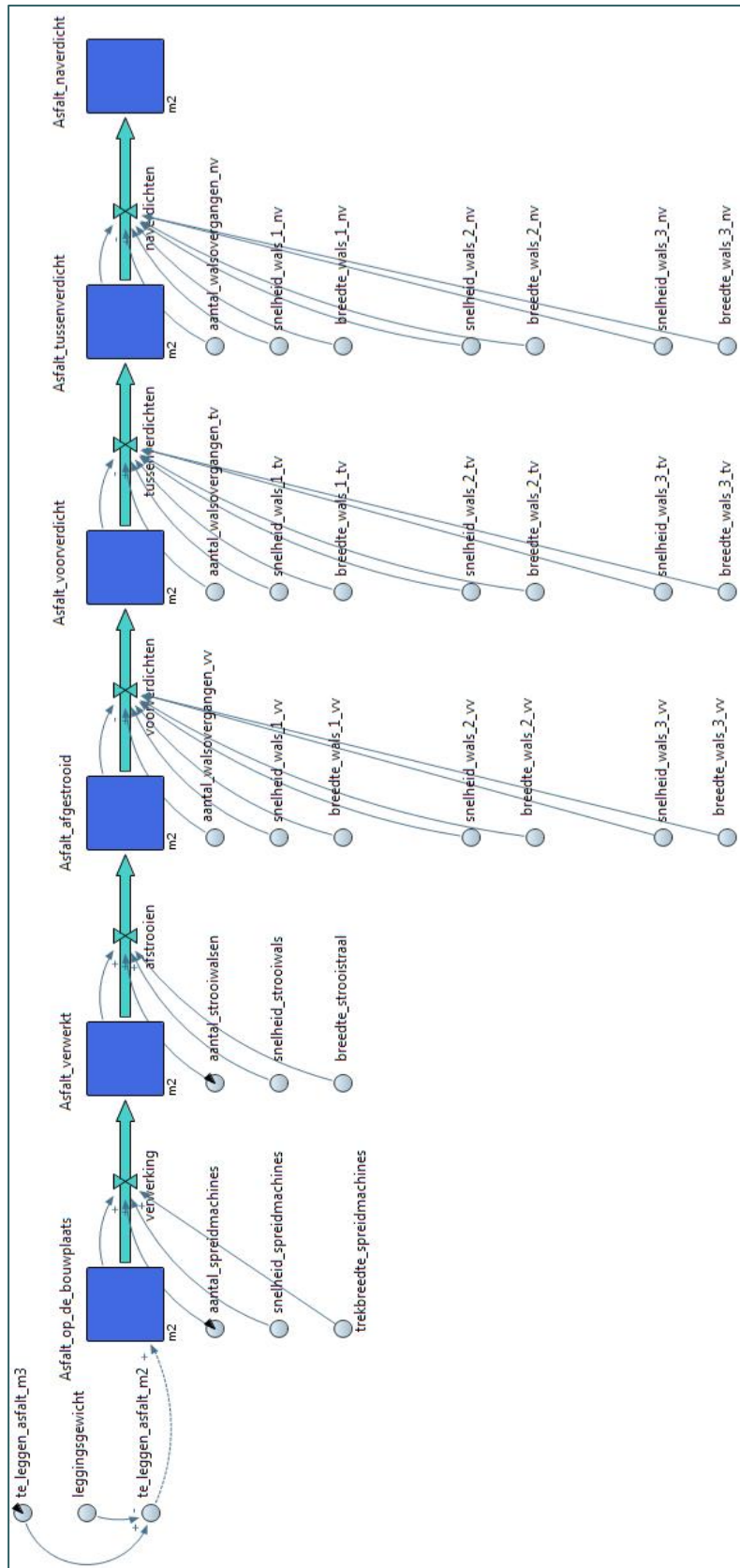
Het model is uitgewerkt in het programma Anylogic, zoals uitgelegd in paragraaf 2.2 Anylogic. Zoals eerder uitgelegd is in dit onderzoek enkel System Dynamics gebruikt. Het gereede model als geheel is te zien in Figuur 7.

Bij de opbouw van het model is er gekozen voor zes verschillende voorraden waar vijf activiteiten tussen plaatsvinden. De activiteiten zijn op basis van wat er in de praktijk aan stappen plaatsvinden bij het asfalteren, namelijk: verwerken, afstrooien en verdichten van het asfalt. In het model zijn de verschillende fases van het verdichten opgesplitst in voorverdichten (vv), tussenverdichten (tv) en naverdichten (nv). Elke activiteit staat voor de output van een machine. Deze output per machine is gedefinieerd in de literatuur en is hier toegepast bij activiteiten. (Floss, 2001). Het doel van het model is om te kunnen monitoren hoe ver is het project en werken de machines synchroon (qua output) en hoe ver is het project gevorderd als dit vergeleken wordt met de planning.

2.7.1 Het gereede model

Het gereede model wordt allereerst beschreven. Deze woordelijke omschrijving loopt de lezer door het model heen. Na deze omschrijving wordt het model geverifieerd. Dit zal hoogstwaarschijnlijk verschillende wijzigingen als gevolg hebben. Na de verificatie is er sprake van 'het verifieerde model'. Die versie van het model wordt aan de validatie onderworpen.

Het model begint met de scope in tonnen asfalt. Door een leggingsgewicht toe te kennen (kg/m^2) wordt er rekening gehouden met mengsel en dikte van de laag. Deze twee factoren samen bepalen hoeveel m^2 er gelegd wordt. Deze hoeveelheid m^2 dient overeen te komen met de geometrie (m^2) van het te maken werk. Door de aanname dat er altijd asfalt op het werk is, kan de spreidmachine ten aller tijden zijn werk doen. Deze spreid het asfalt over de gewenste trekbreedte met de gewenste of benodigde snelheid. Bij een deklaag wordt er vaak afgestrooid om vanaf het begin aan de gewenste stroefheid te voldoen. Dit wordt door één of meerdere walsen uitgevoerd. Er is één walsgang nodig (per maximale breedte spreidmachine) om de benodigde hoeveelheid steentjes aan te brengen op de deklaag. Hier is dus de breedte van de strooistraal en de snelheid die gereden wordt bepalend voor de output van deze wals. Dan komen achtereenvolgens de wals fasen. Deze zijn identiek opgebouwd. De breedte van de wals en de snelheid bepalen de output van de wals. Echter omdat een wals meerder keren over hetzelfde oppervlakte heen moet voor de juiste verdichting, wordt de output gedeeld door dit aantal benodigde wals overgangen. Na het afronden van de naverdichting moet nog tijd in acht genomen worden waarin het asfalt tijd heeft om af te koelen tot de juiste temperatuur voor openstelling of voor het aanbrengen van een nieuwe laag.



Figuur 7: Het gereede model

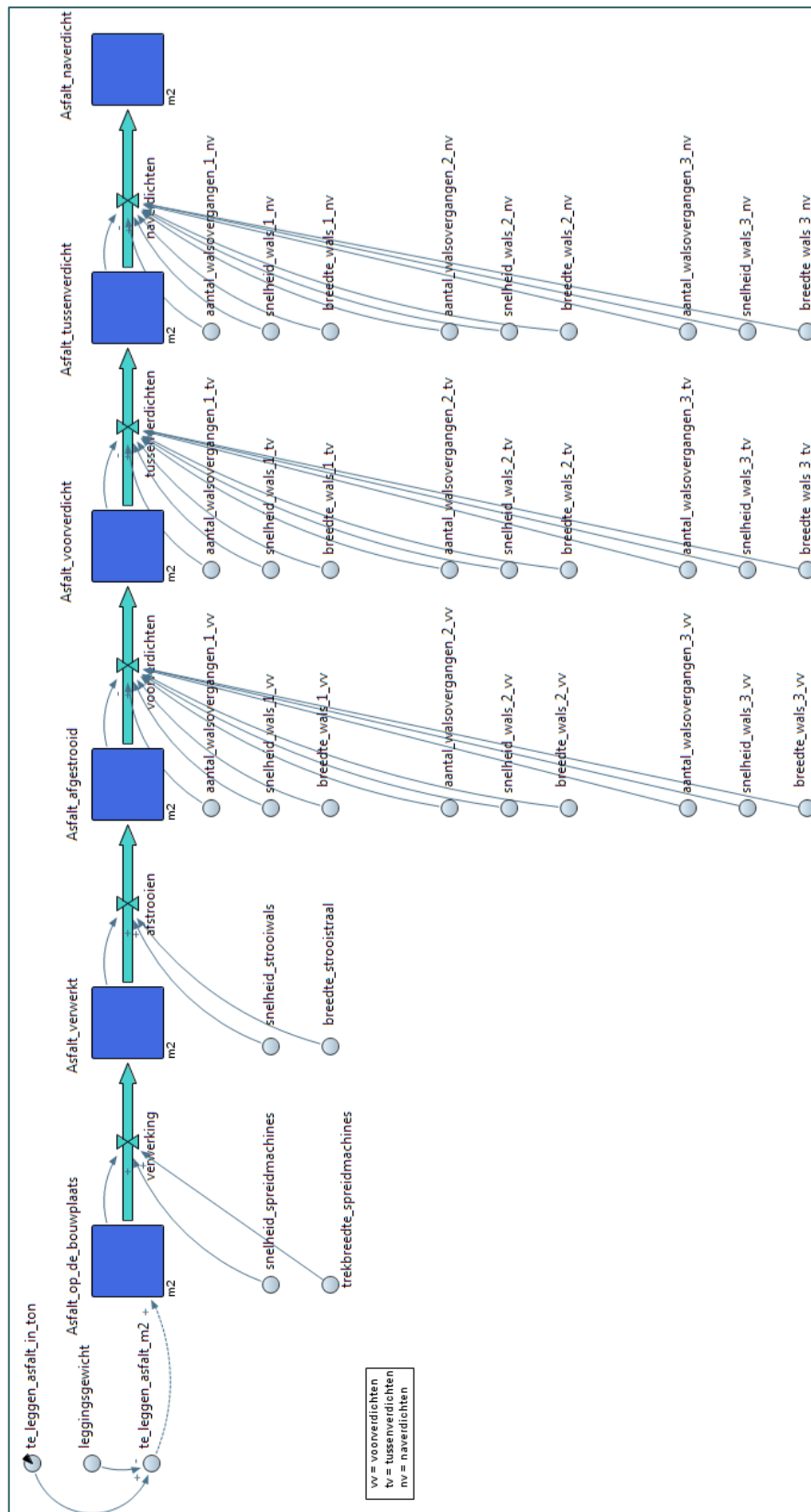
2.7.2 Verificatie van het model

Het model is geverifieerd aan de hand van drie verschillende methoden. Allereerst een stap-voor-stap doorloop waarbij het model aan een derde wordt uitgelegd, een consistentietest om te zien of twee maal vijf dezelfde output geeft in het model als één maal tien. Laatste test is een continuïteitstest waarbij gekeken wordt of een kleine verandering geen uitschieters geeft in de output. De uitgebreide verificatie is te vinden in Bijlage B: Verificatie model. De continuïteitstest en de consistentietest gaven geen reden voor het veranderen van het model. Bij de stap-voor-stap doorloop van het model is één fout ontdekt in de interpretatie van één gebruikte formule, namelijk tonnen en kubieke meters waren verkeerd gebruikt. De volgende verbeteringen zijn geopperd:

- De variabele ‘aantal spreidmachines’ verwijderen, per spreidmachine (+ bijbehorende walsen) het model runnen;
- De variabele ‘aantal strooiwalsen’ verwijderen, gezien er vaak maar één enkele wals per spreidmachine hiermee bezig is;
- De afkortingen ‘vv’-‘tv’-‘nv’ worden niet uitgelegd, deze moeten in het model duidelijk zijn;
- In het kader van individuele verbeteringen en zelf kunnen aansturen op de vooruitgang is het nodig om per wals het aantal wals overgangen in te vullen.

2.7.3 Het geverifieerde model

Het geverifieerde model is hieronder te zien in Figuur 8: Het verifieerde model. Alle voorgestelde veranderingen zijn doorgevoerd en de fout in de formule is hersteld. Dit model wordt gebruikt voor de validatie in paragraaf 2.8.



Figuur 8: Het verifieerde model

2.8 Validatie model

Om het model te valideren is gekeken naar de output van het model op basis van werkelijke gemeten waarden uit HCQ en Roadscan. Het model heeft twee runs gemaakt voor twee verschillende projecten waarvoor minimaal één wals gemonitord was en één asfaltspreidmachine. Allereerst wordt de informatie weergegeven en erna het resultaat. De aannames die bij het verzamelen van de informatie zijn toegepast zijn:

- Als de asfaltspreidmachine over de gehele breedte geen temperatuur weergeeft van 60 °C of hoger, dan wordt dit als rijden beschouwd en niet als het spreiden van asfalt en daarmee achterwege gelaten.
- Breedte van de asfaltspreidmachine is bepaald door alle temperatuursensoren op te tellen die 0 °C of hoger zijn op die stationering.
- Ongebruikte walsfasen wordt de snelheid van de walsen op 0 gezet en bij afwezigheid van afstrooien wordt deze op een fictief hoog getal gezet, waardoor deze niet van invloed is op de uitkomst van het model.

2.8.1 Project 1 – Statenweg in Emmen op 19 oktober 2017

Dit project bestaat uit twee sessies die aan elk kaar zijn gekoppeld voor de validatie, gezien de sessie voor de asfaltspreidmachine in tweeën is en de wals één sessie weergeeft voor de deklaag. Het project is uitgevoerd op 19 oktober 2017 op de Statenweg in Emmen. Hierbij is een deklaag neergelegd zonder afstrooien.

Algemene informatie

Datum project: 19-10-2017

Locatie: Statenweg in Emmen

Laagsoort: Deklaag

Werkduur asfaltspreidmachine: 149 minuten

Werkduur wals: 159 minuten

Totaal duur project: 169 minuten

Scope

Te leggen asfalt in ton:	204,78 ton
Te leggen asfalt in m ² :	2430 m ²
Leggingsgewicht in kg/m ² :	$\frac{204,78 \text{ ton} \cdot 1000}{2430 \text{ m}^2} = 84,27 \text{ kg/m}^2$

Asfaltspreidmachine

Afgelegde meters sessie 1:	179,75 meter
Gemiddelde breedte sessie 1:	3,62 meter
Afgelegde meters sessie 2:	267,50 meter
Gemiddelde breedte sessie 2:	5,25 meter

Totaal afgelegde meters:	$179,75 + 267,50 = 447,25$ meter
Gemiddelde breedte totaal:	$\frac{(179,75 \text{ m} \cdot 3,62 \text{ m}) + (267,50 \text{ m} \cdot 5,25 \text{ m})}{447,25 \text{ m}} = 4,59$ meter
Gemiddelde snelheid	$\frac{447,25 \text{ meter}}{169 \text{ minuten}} = 2,65$ m/min

Wals

Aantal wals overgangen:	$\frac{9 \text{ rolpassages}}{2 \text{ rollen per wals}} = 4,5$ wals overgangen
Snelheid wals:	$\frac{5,1 \frac{\text{km}}{\text{u}} \cdot 1000 \text{ m}}{60 \text{ min}} = 85$ m/min
Breedte wals:	1,68 meter

Output projectduur: 200 minuten

Nauwkeurigheid output model: $\frac{200 \text{ minuten model output}}{169 \text{ minuten project output}} = 118,3\%$, dus 18,3% afwijking.

2.8.2 Project 2 – Evert Harm Woltersweg in Aduard op 7 december 2017

Dit project bestaat uit twee sessies die aan elk kaar zijn gekoppeld voor de validatie, gezien de sessie voor de asfaltspreidmachine in tweeën is en de wals één sessie weergeeft voor de deklaag. Het project is uitgevoerd op 7 december 2017 op de Evert Harm Woltersweg. Hierbij is een onderlaag neergelegd.

Algemene informatie

Datum project: 7-12-2017

Locatie: Evert Harm Woltersweg in Aduard

Laagsoort: Onderlaag

Werkduur asfaltspreidmachine: 243 minuten

Werkduur wals: 227 minuten

Totaal duur project: 243 minuten*

* te zien is dat de asfaltspreidmachine langer bezig is geweest dan de totale duur van de eerste wals. Dit komt waarschijnlijk door een meetfout of vervuiling van de data, echter waar de fout zit kan achteraf niet achterhaald worden.

Scope

Te leggen asfalt in ton:	410,00
Te leggen asfalt in m ² :	2561 m ²
Leggingsgewicht in kg/m ² :	$\frac{410,00 \text{ ton} \cdot 1000}{2561 \text{ m}^2} = 160,09$ kg/m ²

Asfaltspreidmachine

Afgelegde meters sessie 1:	339,25
Gemiddelde breedte sessie 1:	4,31 meter
Afgelegde meters sessie 2:	347,00 meter
Gemiddelde breedte sessie 2:	3,84 meter

Totaal afgelegde meters:	$339,25 + 347,00 = 686,25$ meter
Gemiddelde breedte totaal:	$\frac{(339,25 \cdot 4,31) + (347,00 \cdot 3,84)}{686,25} = 4,07$ meter
Gemiddelde snelheid totaal	$\frac{686,25 \text{ meter}}{243 \text{ minuten}} = 2,82$ m/min

Wals

Aantal wals overgangen:	$\frac{10 \text{ rolpassages}}{2 \text{ rollen per wals}} = 5$ wals overgangen
Snelheid wals:	$\frac{4,7 \frac{\text{km}}{\text{u}} \cdot 1000 \text{ m}}{60 \text{ min}} = 78,33$ m/min
Breedte wals:	1,68 meter

Output projectduur: 224 minuten

Nauwkeurigheid output model: $\frac{224 \text{ minuten model output}}{243 \text{ minuten project output}} = 92,2\%$ nauwkeurig.

Op basis van de gedane twee validatie runs kan gezegd worden dat het model voldoet aan de 20% nauwkeurigheid die BAM heeft gesteld, echter zijn twee runs minimaal en was er geen complete data set waarbij meer dan één wals gekoppeld was aan HCQ. Deze data moet eerst verzameld worden wil op deze manier het complete model gevalideerd kunnen worden.

2.9 Gebruik van het model

Met een gevalideerd model kan deze gebruikt worden waarvoor hij is bedoeld. Het monitoren van het project. Om een beeld te schetsen wat het model kan is één van de projecten uit de validatie gebruikt om een zogenoemd projectberekening te maken. Daarnaast kan het model gebruikt worden om een eerste scenariostudie te doen om een beeld te krijgen wat het draaien aan de verschillende controleerbare knoppen voor effect heeft op het gehele proces.

2.9.1 Projectieberekening

In deze berekening wordt gekeken naar de duur van het project aan de hand van de vooruitgang (m²/uur) in combinatie met afgerond oppervlakte. Bij de validatie is het gemiddelde over het gehele project genomen om te bekijken hoe nauwkeurig het model is, bij de deze berekening is gekeken naar de gemiddelden over een stukje van het project. Er is bij de projectieberekening gekeken naar tijdstappen van één uur beginnend op het tijdstip dat de spreidmachine begint. Voor deze projectieberekening zijn drie verschillende runs doorgelopen met het model allen met als doel het berekenen van de eindtijd (totale projectduur).

Run 1: Projectie totale projectduur op basis van t = 0 tot en met t = 60 minuten;

Run 2: Projectie totale projectduur op basis van $t = 0$ tot en met $t = 120$ minuten;

Run 3: Projectie totale projectduur na afloop van 60 minuten met alleen de data van $t = 61$ tot en met $t = 120$ minuten.

Voor deze projectieberekening is het project Statenweg in Emmen van de validatie op deze manier doorgerekend.

Run 1

De gegevens voor run 1 zijn weergegeven hieronder. De waarden betreffen de gemiddelde over de periode van $t = 0$ tot en met $t = 60$.

Snelheid spreidmachine:	2,99 m/min
Trekbreedte spreidmachine:	3,62 meter
Snelheid wals:	3,8 km/u = 63,33 m/min
Breedte wals:	1,68 meter
Aantal overgangen:	5 x

Op basis van deze gegevens wordt de verwachte projectduur 225 minuten. Dit komt neer op 3 uur en 45 minuten.

Run 2

De gegevens voor run 2 zijn weergegeven hieronder. De waarden betreffen de gemiddelde over de periode van $t = 0$ tot en met $t = 120$ en geven een projectie voor de totale projectduur.

Snelheid spreidmachine:	2,72 m/min
Trekbreedte spreidmachine:	4,65 meter
Snelheid wals:	5,1 km/u = 85,0 m/min
Breedte wals:	1,68 meter
Aantal overgangen:	3,5 x

Op basis van deze gegevens wordt de verwachte projectduur 193 minuten. Dit komt neer op 3 uur en 13 minuten.

Run 3

De gegevens voor run 3 zijn weergegeven hieronder. De waarden betreffen de gemiddelde over de periode van $t = 61$ tot en met $t = 120$ na afronding van $t = 0$ tot en met $t = 60$. Deze projectie is dus alleen op basis van het laatste uur.

Snelheid spreidmachine:	2,45 m/min
Trekbreedte spreidmachine:	5,67 meter
Snelheid wals:	5,2 km/u = 86,66 m/min
Breedte wals:	1,68 meter

Aantal overgangen:	1,5 x
--------------------	-------

Op basis van deze gegevens wordt de verwachte projectduur 188 minuten. Dit komt neer op 3 uur en 8 minuten.

Uit deze projectie berekening blijkt dat het model en de berekening steeds nauwkeuriger wordt na verloop van tijd in het project. Gezien de korte duur van het project, 169 minuten van de echte meting en 200 minuten in het model, is het model in staat om de projectduur in te schatten. Run 2 en 3 zijn twee losse runs die beiden gebruikt kunnen worden voor de voorspelling van de projectduur. Afhankelijk van de vertraging die opgetreden is in de uren, kan er dus voor gekozen worden om of een projectie te doen over alle afgeronde data of op basis van een deel van die data.

2.9.2 Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd om te kijken wat de effecten van veranderingen zijn in de waarden van de variabelen. Als bekend is welke invloed een variabele heeft, dan kan gemakkelijker gekeken worden naar maatregelen die helpen bij het synchroniseren van het asfalterproces en bij de scenariostudie is het dan ook makkelijker redeneren wat er gebeurt en hoe je dit kan oplossen. In Tabel 1 staan de standaardwaarde waar een run mee gedaan is en $\pm 10\%$. Naast de inputwaarden zijn er drie kolommen die de output waarden weergeeft van het model. Variabelen waarbij de waarde niet aangepast kan worden, zoals de breedte van de wals, zijn niet meegenomen in de gevoeligheidsanalyse.

Tabel 1: In- en output gevoeligheidsanalyse

Naam variabele	Waarde input -10%	Waarde input	Waarde input +10%	Uitkomst -10% input (minuten)	Uitkomst standaard (minuten)	Uitkomst + 10% input (minuten)
Te leggen asfalt in ton (ton)	180	200	220	66.0	73.3	80.7
Leggingsgewicht (kg/m ²)	90	100	110	81.5	73.3	66.7
Snelheid spreidmachine (m/min)	4.5	5.0	5.5	74.1	73.3	73.3
Trekbreedte spreidmachine (m)	5.4	6.0	6.6	74.1	73.3	73.3
Snelheid strooiwals (m/min)	76.5	85.0	93.5	73.3	73.3	73.3

Breedte strooiwals (m)	5.4	6.0	6.6	73.3	73.3	73.3
Aantal wals overgangen wals 1 vv (-)	5.4	6	6.6	73.3	73.3	78.6
Snelheid wals 1 vv (m/min)	90	100.0	110	79.4	73.3	73.3
Aantal wals overgangen wals 1 tv (-)	3.6	4.0	4.4	73.3	73.3	80.6
Snelheid wals 1 tv (m/min)	58.5	65.0	71.5	81.5	73.3	73.3
Aantal wals overgangen wals 1 nv (-)	3.6	4.0	4.4	73.3	73.3	80.6
Snelheid wals 1 nv (m/min)	58.5	65.0	71.5	81.5	73.3	73.3

Bij de standaardwaarden is gekozen om de machines zodanig af te stemmen dat deze bijna synchroon werken. Dit zie je goed terug in de waarden bij de gevoeligheidsanalyse. Als een machine dominant wordt, oftewel de langzaamste van allen, dan treedt daar een verstoring op met een stijgende voorraad en langere projectduur als gevolg. Deze machine zorgt dan in zijn eentje voor de vertraging van het proces. Bij een scenariostudie is het daarom van belang om deze versturende machine als eerste te synchroniseren met de anderen. In deze analyse zijn alle waarden $\pm 10\%$ gedaan. Bij wals overgangen kan er alleen een heel of half getal staan. Een heel getal betekent dat de hele wals er overheen gegaan is, een half betekent dat één van de twee rollen eroverheen gegaan is.

2.9.3 Scenariostudie

Het tweede doel waar het model gebruikt voor kan worden, is het uitvoeren van een scenariostudie. In een scenariostudie kan gekeken worden naar de effecten van het draaien aan één van de knoppen aan de voorkant en dan kunnen de effecten inzichtelijk worden aan de achterkant.

Allereerst is er gekeken naar wat er gebeurt bij verschillende afwijkingen met een verschillende duur. Bij bijna alle afwijking betekent dit meteen vertraging in het project. Deze eerste inschatting is te zien in Tabel 2. Deze scenario's zijn uitgewerkt aan de hand van de standaardwaarden die gebruikt zijn bij de gevoeligheidsanalyse, zie paragraaf XXX. Zowel voor als na de onderbreking zijn dezelfde waarden aangehouden.

Tabel 2: Resultaten scenario's in het model

Scope	Afwijking	Duur afwijking	Tijdstip gebrek	Resultaat projectduur
1000 ton	Basis situatie	-	-	366.4
1000 ton	Geen spreidmachine	5 min	t=90	366.4
1000 ton	Geen spreidmachine	15 min	t=90	372.5
1000 ton	Geen spreidmachine	30 min	t=90	387.5
1000 ton	Water halen in voorverdichting	5 min	t=90	369.0
1000 ton	Water halen in voorverdichting	10 min	t=90	374.0
1000 ton	Water halen in tussenverdichting	5 min	t=90	371.4
1000 ton	Water halen in tussenverdichting	15 min	t=90	381.4
1000 ton	Trekbreedte wordt 4 m	45 min	t=90	369.5
1000 ton	Trekbreedte wordt 8 m	45 min	t=90	366.4
1000 ton	Trekbreedte wordt 10 m	45 min	t=90	366.4

Nu bekend is, wat de effecten van verschillende afwijkingen zijn, wordt gekeken naar verschillende oplossingen om de opgebouwde voorraad weg te krijgen. De groen gemarkeerde scenario's worden daarbij uitgewerkt en gekeken oplossingen worden uitgetest.

Scenario 1 - Geen spreidmachine voor 30 minuten

Door het stoppen van de asfaltspreidmachine voor 30 minuten is er een vertraging in het project van ruim 20 minuten ontstaan. In dit scenario wordt gekeken wat de mogelijkheden zijn om deze vertraging in te lopen. Tabel x geeft aan dat de vertraging voornamelijk bij de spreidmachine ligt, die hierbij dus leidend is.

Nr.	Oplossing	Projectduur	Opmerkingen
1	Verhogen snelheid spreidmachine naar 5,2 m/min bij heropstarten.	387.5 minuten	Er ontstaat een voorraad van meer dan 800 m ² bij de voorverdichting.
2	Snelheid spreidmachine naar 4,5 m/min bij heropstarten.	390.4 minuten	Er is evenwicht in de voorraden.
3	Verhogen snelheid wals voorverdichting naar 6,5 km/u en verhogen spreidmachine naar 5,2 m/min bij heropstarten.	387.5 minuten	Er ontstaat een voorraad van meer dan 600 m ² bij de tussenverdichting

4	Verhogen snelheid voorverdichting naar 6,5 km/u, tussen- en naverdichting naar 4,5 km/u en spreidmachine naar 5,2 m/min bij heropstarten.	360.7 minuten	Onder originele projectduur. Er ontstaat een voorraad van meer dan 200 m ² voor de voorverdichting. Echter is dit 6 meter breed, dus maar een lengte van iets meer dan 30m.
5	Voorverdichting van 6 naar 5 wals overgangen	387.5 minuten	Er ontstaat een voorraad van meer dan 600 m ² bij de tussenverdichting
6	Voorverdichting van 6 naar 5 wals overgangen en tussen- en naverdichting van 4 naar 3 wals overgangen	363.4 minuten	Er is evenwicht in de voorraden.
7	Voorverdichting van 6 naar 5 wals overgangen en tussen- en naverdichting naar 4,5 km/u.	363.4 minuten	Er is evenwicht in de voorraden.

Uit het runnen van hetzelfde scenario met verschillende aanpassingen om de tijd terug te dringen en de achterstand in te halen wordt duidelijk hoe erg de machines samen werken. Als er één fase teveel achterloopt, groeit de voorraad in die fase in een rap tempo. Hierdoor ontkom je er niet aan om in elke fase aanpassingen te doen om de synchronisatie in stand te houden. Bij gelijk blijvende snelheden na een verstoring kan in dit geval prima, bij verandering aan de vooruitgang moet er bij elke fase verandering plaatsvinden om grote voorraden en de daar bijhorende afkoeling te voorkomen.

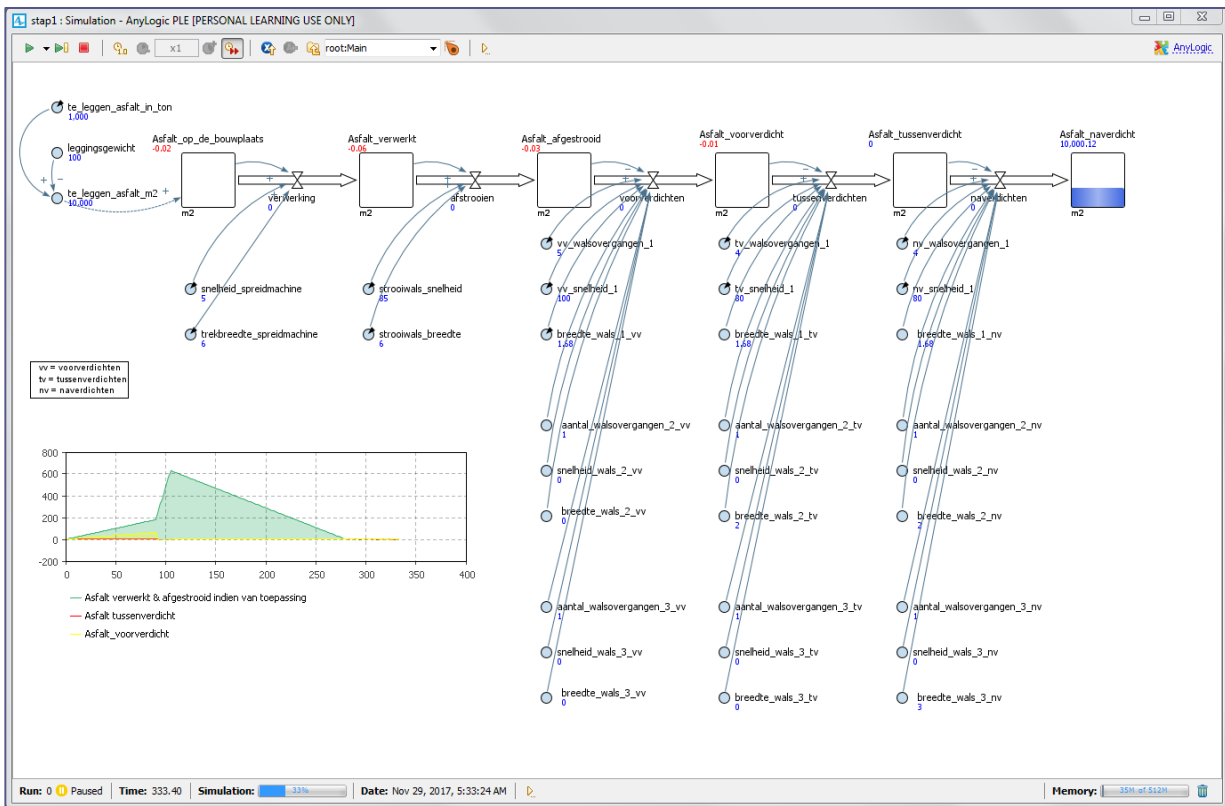
Scenario 2 - Water halen in de tussenverdichtingsfase voor 15 minuten

In dit scenario is de vertraging direct terug te leiden naar deze fase, hier ontstaat de verstoring met de huidige ingevulde waarden. Na heropstarten van de wals is er bij de eerste opzet met dezelfde snelheid verder gewalst.

Nr.	Oplossing	Projectduur	Opmerkingen
1	Verlagen snelheid spreidmachine naar 4,5 m/min	379.0 minuten	Er ontstaat een voorraad van 600 m ² als gevolg van de verstoring. De toevoer neemt niet genoeg af om de voorraad snel af te laten nemen.
2	Verhoog snelheid voorverdichting naar 6,5 km/u	379.0 minuten	Er ontstaat een voorraad van meer dan 600 m ² bij de voorverdichting en bijna 800 m ² bij de tussenverdichting.
	Voorverdichting van 6 naar 5 wals overgangen	379.0 minuten	Er ontstaat een voorraad van meer dan 1100 m ² bij de tussenverdichting. Voorraad voorverdichting neemt wel snel af.

4	Verhogen snelheid tussen- en naverdichting naar 4,5 km/u	372.2 minuten	Er ontstaat een voorraad van meer dan 1100 m ² bij de voorverdichting.
5	Voorverdichting van 6 naar 5 wals overgangen en verhogen snelheid tussen- en naverdichting naar 4,5 km/u	342.5 minuten	De voorraad in de voorverdichting neemt rap af en de tussenverdichtingsvoorraad wordt net geen 400 m ² . Evenwicht is er niet, maar de voorraden zijn niet buiten proportie. (zie Figuur 9: Verloop scenario 2 met oplossing 5Figuur 9)
6	Voorverdichting van 6 naar 5 wals overgangen en verhogen snelheid tussen- en na verdichting naar 80 m/min	333.4 minuten	Voorraad voorverdichting neemt rap af en alle walsen zijn in evenwicht.

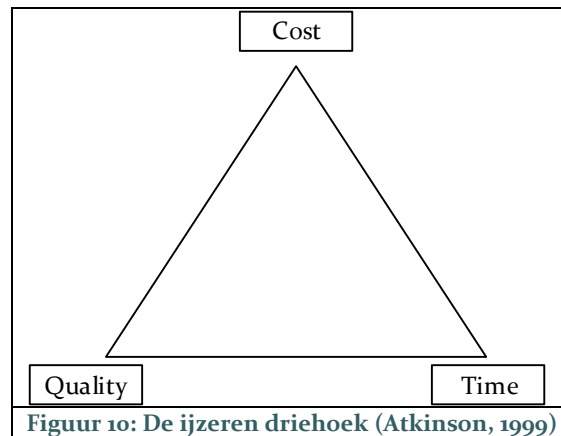
Bij het in evenwicht krijgen van de walsen moet er altijd in meerdere fasen tegelijk bijgesteld worden, wil het evenwicht kunnen herstellen. Daarnaast is er een grotere voorraad die ook rap naar beneden gebracht moet worden om binnen de tijd te kunnen verdichten. Bij deze scenariostudie is daarom geen rekening gehouden met het weer, omdat er nu gekeken moest worden naar welke controleerbare knoppen kunnen benut worden om de balans zo goed mogelijk te herstellen zonder buiten proportionele voorraden te creëren.



Figuur 9: Verloop scenario 2 met oplossing 5

3 Proces indicatoren

Kritische proces indicatoren (KPI's) zijn indicatoren die verwijzen naar een mate van vooruitgang of status van het project. Dit kan een indicator zijn die aangeeft of het project nog binnen budget en tijd opereert of dat deze voorwaarden overschreden zijn, maar het kan ook aangeven hoe ver het project gevorderd is. Binnen projectmanagement wordt er vaak geopperd dat de drie succesfactoren van een project tijd, geld en kwaliteit zijn en dat deze samen de ijzeren driehoek vormen ('iron triangle') vormen, zie Figuur 10. Deze driehoek suggereert dat er een spanningsveld is tussen deze drie factoren, waardoor het één altijd invloed heeft op het andere en ernaar gestreefd wordt om binnen deze driehoek te opereren. Deze succesfactoren zijn zeer algemeen gespecificeerd en ondanks dat ze veel gebruikt zijn in projectmanagement, nog weinig zeggend over het asfalteerproces ondanks dat dit (deel)projecten zijn die ook in goede banen geleid moeten worden.

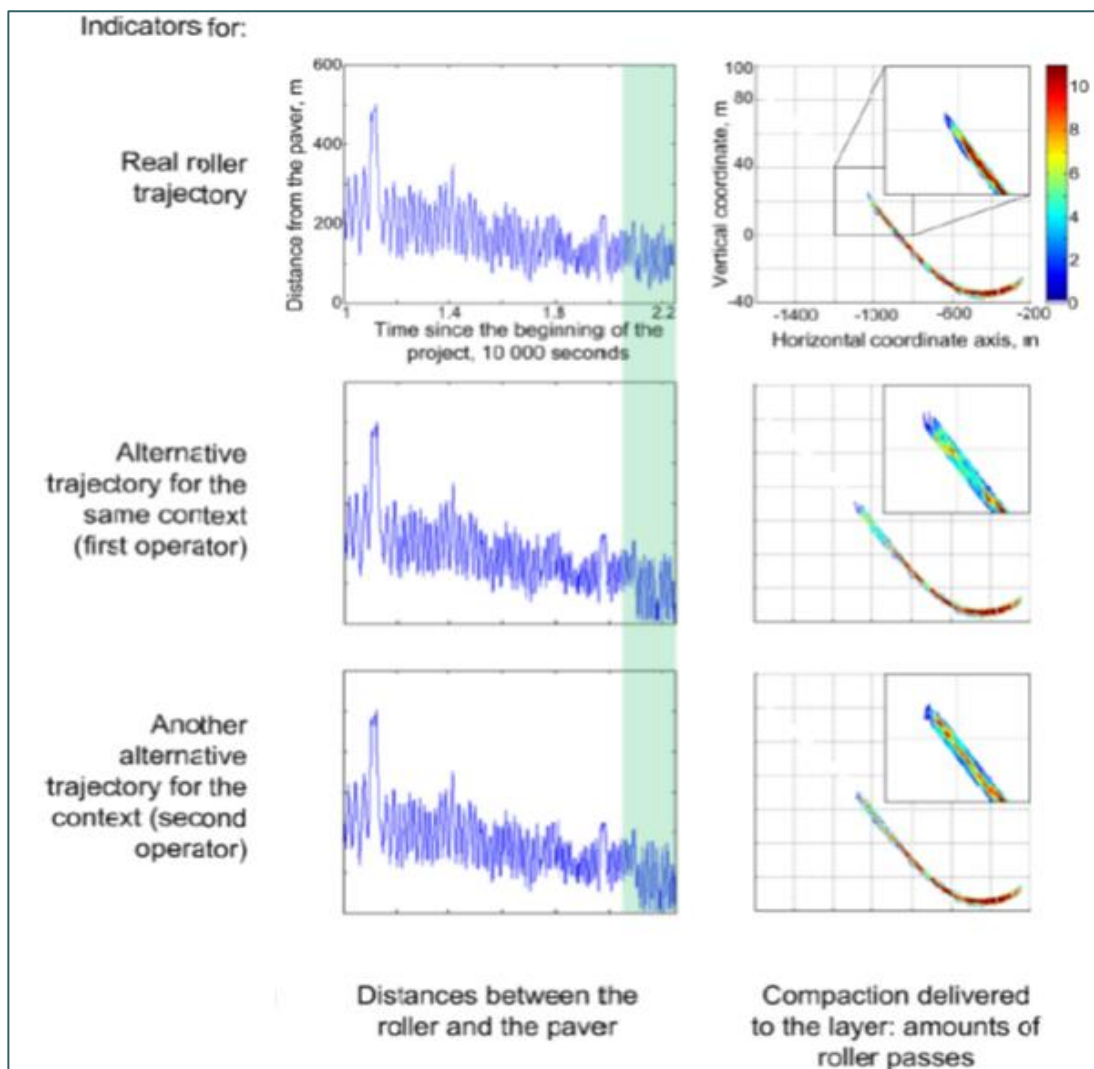


Voor het asfalteerproces is het van belang om rekening te houden met bovengenoemde succesfactoren, zodat het (deel)project een succes wordt (al is dat geen garantie), maar moeten ze ook meer gespecificeerd zijn om een oordeel te kunnen geven over de staat van het asfalteerproces. Zelfs na jaren van het implementeren van projectmanagement zijn de kostoverschrijdingen nog steeds significant met 20% voor wegen en 34% voor tunnels en bruggen wereldwijd. De voorspelling en de kostoverschrijdingen zijn niet gedaald in de laatste 70 jaar, dus op dat vlak is er geen vooruitgang geboekt (Flyvbjerg, Skamris holm, & Buhl, 2003).

3.1 Parameters en proces indicatoren in de wegenbouw

In de wegenbouw wordt er op productieniveau geen tot weinig gebruik gemaakt van proces indicatoren. Voor elk project is er wel een budget en tijdsvenster waarin het geasfalteerd moet worden, maar niet om de vooruitgang of status binnen dit project te kunnen monitoren. Parameters die belangrijk gevonden worden bij het leren en beslissingen nemen ter plekke zijn: het aantal wals overgangen, temperatuur, snelheid van de asfaltspreidmachine, tussenstops van de asfaltspreidmachine, de afstand tussen de walsen en de asfaltspreidmachine en de (vooruitgang in) dichtheid van de asfaltlaag, afkoelingscurve van het asfalt beïnvloedt door het weer en de laagdikte, routes van de walsen (Bijleveld, Miller, & Dorée, 2015) (Bijleveld & Dorée, 2014), (Timm et al. 2001, Willoughby, 2003 en Co et al., 2012, Decker, 2006, Asphalt-Institute, 2007 in Bijleveld, Miller en Dorée, 2014) (Miller, Hartmann, & Dorée, 2010). Naast deze parameters die belangrijk zijn is er ook onderzoek gedaan naar de informatie die belangrijk is voor de wals machinisten om gevisualiseerd te zien op de wals. In dit onderzoek is de afstand tussen de walsen en de asfaltspreidmachine, de lengte van de walsgangen en het aantal wals overgangen gevisualiseerd en zijn er significante verbeteringen gesignaleerd bij het verbeteren van het proces (Vasenev, Miller, Hartmann, & Dorée, 2016). In Figuur 11: Gevisualiseerde verbeterde output van wals machinist is te zien in de lichtblauwe strook

de verschillen tussen het origineel en het later (op afstand) opnieuw virtueel asfalteren van hetzelfde project.



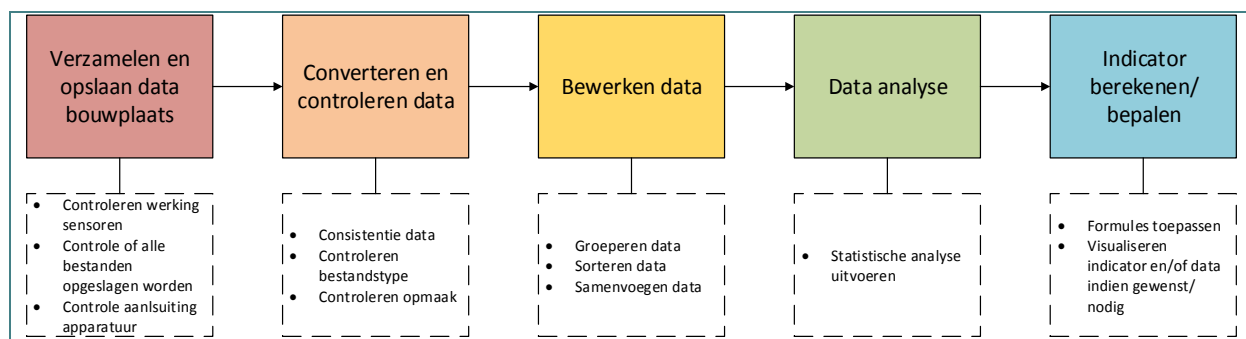
Figuur 11: Gevisualiseerde verbeterde output van wals machinist (Vasenev A. N., 2015)

3.2 KPI's bij het asfalteren

Veelvuldig zijn dezelfde parameters van belang tijdens het asfalteren. Deze parameters zijn dus van belang om te monitoren tijdens het project. Ze zijn echter niet direct een KPI. Een KPI moet met een getal of range aangeven hoe goed of slecht het gaat met dat facet van het project of proces. Tijdens het asfalterproces is er nu weinig sturing op basis van de beschikbare data. Om het proces inzichtelijker te maken in een oogopslag is er gekozen voor KPI's. Onderstaande KPI's geven weer in hoeverre het proces is afgerond en hoe goed of op welke manier deze is afgerond.

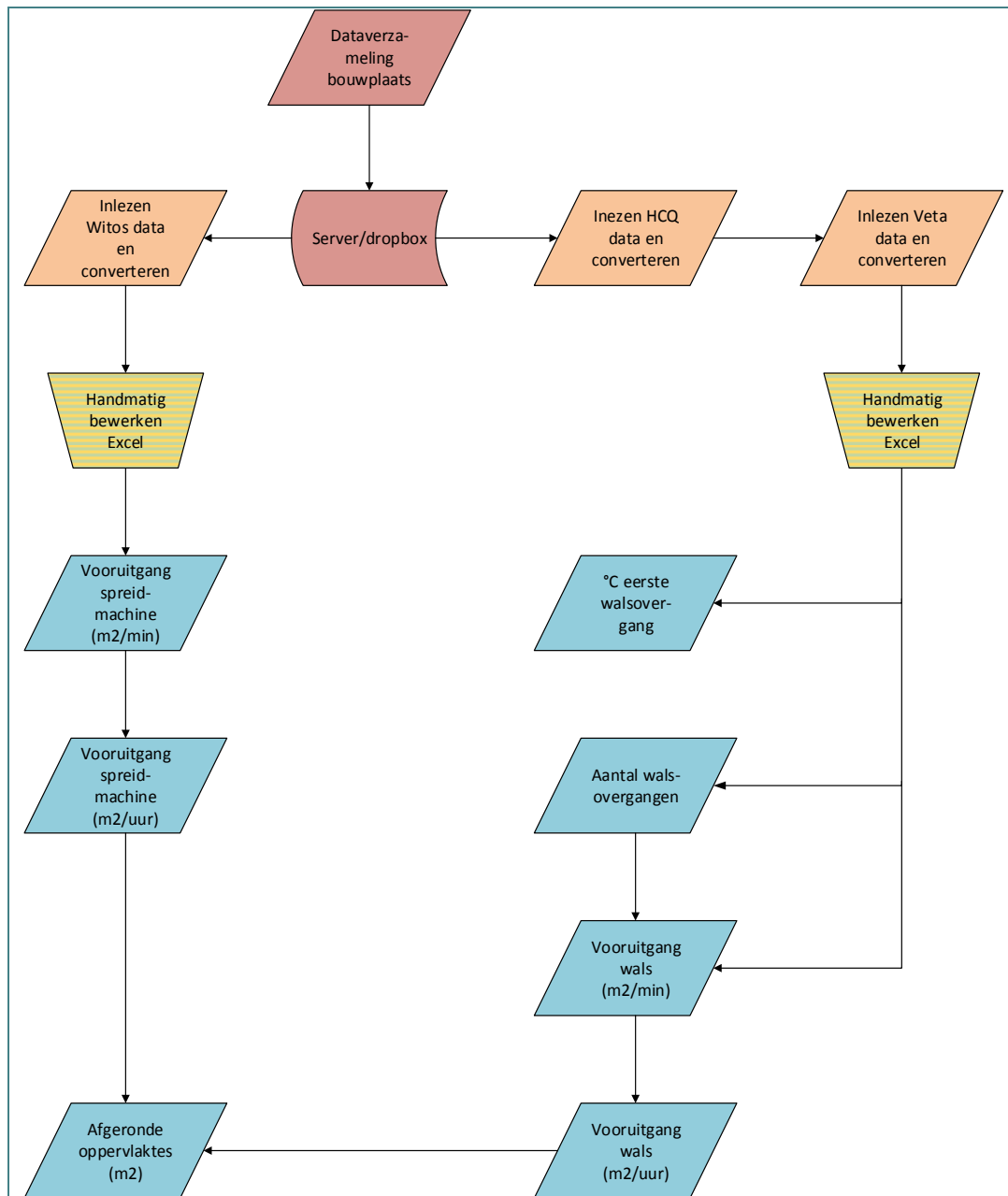
Het model geeft aan hoe het proces verloopt op basis van de ingevoerde waarden. Deze ingegeven waarden veranderen mettertijd (bij bijna gelijktijdig monitoren) per minuut. Door deze snelle wisselingen is het van belang om met een paar indicatoren aan te geven hoe ver het project en de machines gevorderd zijn en daarnaast niet alleen naar kwantiteit te kijken, maar ook naar kwaliteit. Kwaliteit parameters zijn hierbij de mate van verdichting (hier uitgedrukt in het aantal wals overgangen) en de asfalttemperatuur waarbij deze verdichting plaatsvindt. Om in te schatten hoe ver het project gevorderd is en in hoeverre er voldoende wals overgangen zijn uitgevoerd in de juiste temperatuurvensters zijn onderstaande indicatoren uitgewerkt. Ze worden hierna kort toegelicht:

- Vooruitgang machines (m^2/min)
- Vooruitgang project (m^2/uur)
- Temperatuur bij de 1^e wals overgang ($^{\circ}\text{C}$)
- Aantal wals overgangen (#)
- Afgeronde oppervlaktes (m^2)



Figuur 12: Gegeneraliseerd stroomschema alle indicatoren

Om deze indicatoren te berekenen en te bepalen is een stroomschema nodig die weergeeft welke stappen er ondernomen moeten worden voordat je tot de indicatoren komt. Het algemene stroomschema is te zien in Figuur 12. Gezien het een gegeneraliseerde weergave is, voor alle indicatoren geldt en er meerdere stappen in plaats kunnen vinden, zijn er geen bijpassende iconen toegevoegd. Elke indicator is in een opvolgende paragraaf toegelicht en gespecificeerd met een eigen stroomschema en visualisatie. In Figuur 13 is het verband tussen alle indicatoren weergegeven met de bijbehorende iconen.



Figuur 13: Gespecificeerde route alle indicatoren bij elkaar

Het nadeel van de huidige opzet is de vele stappen die ondernomen moeten worden voordat gegevens uitgelezen kunnen worden en bijna nihil mogelijkheden door de gebruikte programma's om dit bijna gelijktijdig met het asfalteer- en verdichtingsproces te kunnen uitlezen en te bewerken. HCQ en Witos zijn daar nog niet geschikt voor gemaakt.

3.2.1 Vooruitgang machines

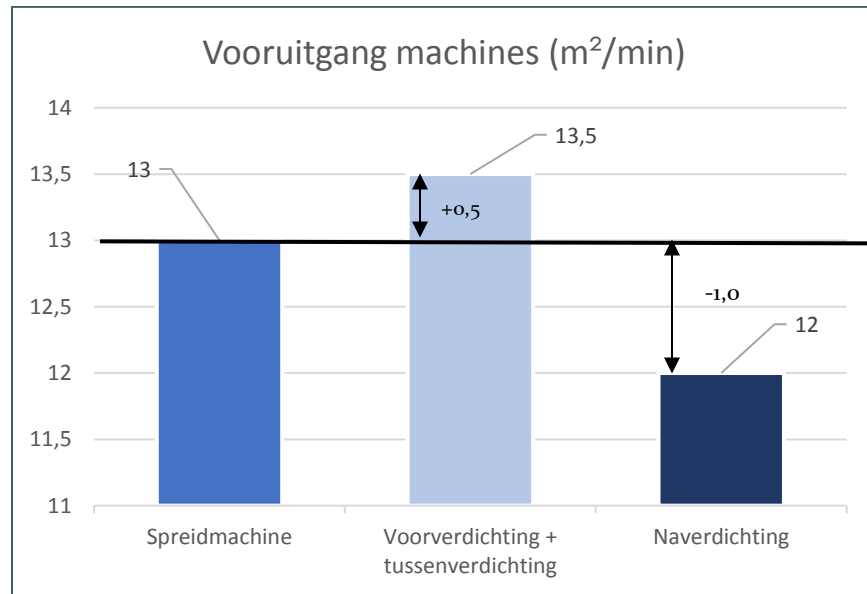
Met de "vooruitgang machine" wordt de snelheid weergegeven waarmee er asfalt verwerkt wordt en, per fase, asfalt wordt gewalst. Idealiter is de vooruitgang (toename) in alle fasen

van het asfalteerproces (in het model gerepresenteerd als “de voorraden”) gelijk, zodat er netto o verschil is in de vooruitgang. Als het nettoverschil voor één der fasen groter is dan de vorige (en de vorige fase is nog bezig) dan moeten de machines uit deze fase op een gegeven moment stoppen of vertragen of de machines uit de vorige fasen moeten versnellen. Of als er de situatie is dat de opvolgende fase het niet kan bijbenen dan ontstaat er een steeds groter worden voorraad, wat vervolgens met een steeds kleiner tijdsvenster verdicht kan worden. Het stappenplan is weergegeven in Tabel 3, waarna Figuur 14 een visualisatie weergeeft.

Tabel 3: Stappenplan vooruitgang machine (m²/min)

Stappenplan wals	Route wals	Is het beheersbaar en door wie?
- Kopieer de tabellen uit Veta Analysis voor 'pass count', 'speed' en plak deze in Excel. - Kopieer breedte wals uit 'Data Files' en plak deze in Excel. - Pas toe: $\frac{\text{Mean speed } (\frac{km}{u}) \cdot \text{width roller (m)}}{3,6 \cdot \frac{\text{Mean roller passes}}{2}}$ (3,6 is voor het omzetten naar m/min). Let op! 'Mean roller passes' moeten door tweeën gedeeld worden omdat Veta rekent met rolpassages in plaats van wals overgangen en de formule is gebaseerd op wals overgangen. - Visualiseer data zoals benodigd.		Ja, walsmachinist
Stappenplan spreidmachine	Route spreidmachine	Is het beheersbaar en door wie?
- Exporteer 'inbouwtemp. [°C]' uit WITOS Paving Analysis en haal het Excel bestand op uit je e-mail. Witos stuurt het bestand automatisch naar de e-mail van de gebruiker. - Bereken snelheid (m/min) door toe te passen: $\frac{\text{locatie}_{x+1}(m) - \text{locatie}_x(m)}{\text{tijd}_{x+1} - \text{tijd}_x} \cdot 84600(s)$ 60 (84600 is om de tijdnoteering om te zetten naar getal, 60 is voor het converteren van seconde naar minuut). - Bepaal breedte door alle vakken met een temperatuur van >70°C mee te nemen. Deze filter wordt in WITOS Paving Analysis automatisch		Ja, machinist spreidmachine

toegepast, maar wordt niet meegegeven in Excel.		
4. Pas toe: $Snelheid \left(\frac{m}{min}\right) \cdot breedte (m)$.		
5. Visualiseer data zoals benodigd.		



Figuur 14: Vooruitgang machines (m²/min)

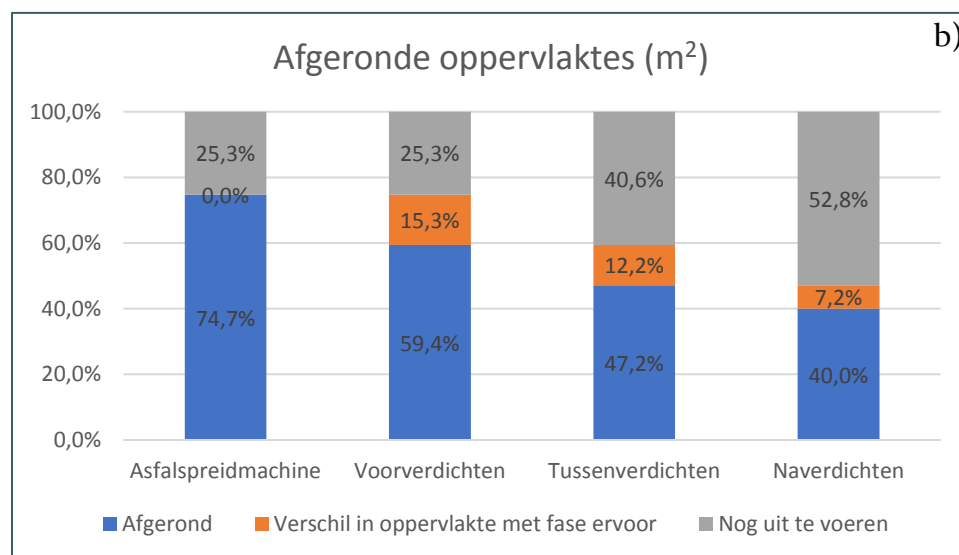
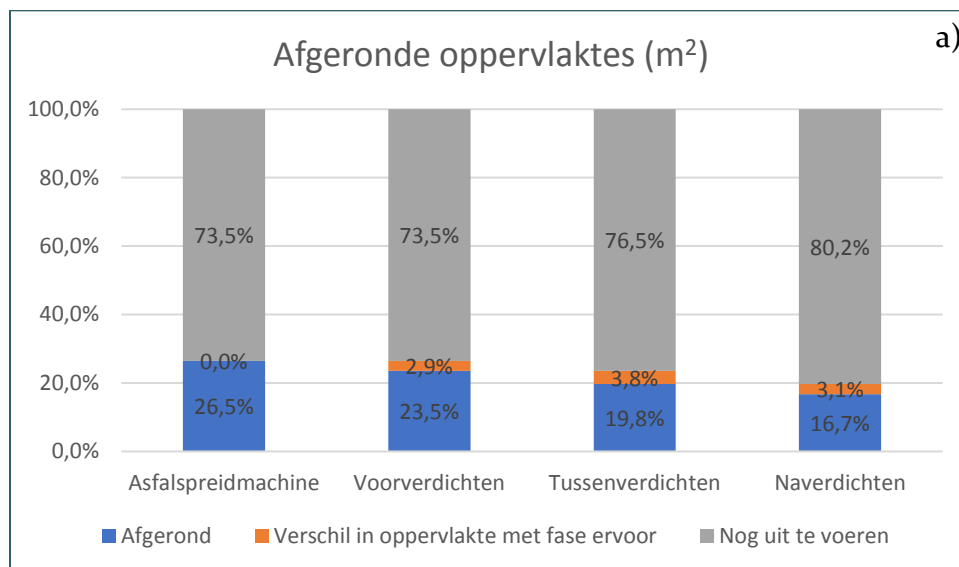
3.2.2 Afgeronde oppervlaktes

Om inzicht te krijgen in de voortgang van het project als totaal, is het van belang om te zien hoever elke fase is. Omdat het verschil met de vorige fase op zichzelf niet zoveel zegt, moet deze gezien worden in combinatie met de andere fasen en het totaal gezien worden, zoals te zien is in Figuur 15 en het stappenplan van Tabel 4 ook aangeeft.

Tabel 4: Stappenplan afgerond oppervlakte

Stappenplan wals & spreidmachine	Route wals & spreidmachine	Is het beheersbaar en door wie?
- Bereken indicator vooruitgang machine voor de juiste machine (m²/min). - Pas toe: $vooruitgang\ machine \cdot verstreken\ tijd$ voor elke minuut en tel deze bij elkaar op. - Visualiseer data zoals benodigd.		Ja, machinist spreidmachine
Stappenplan wals	Route wals	Is het beheersbaar en door wie?
<u>Optie 1</u> - De machinist vindt in zijn professionele mening dat hij klaar is met het stuk asfalt vb. hij is al 20 minuten niet op die locatie geweest. - Visualiseer data zoals benodigd.		Ja, wals machinist

Optie 2 1. Bepaal welk oppervlakte er geasfalteerd is. 2. Bepaal welk oppervlakte het beoogde aantal walsovergangen heeft bereikt. 3. Druk dit aantal uit in % of m² en visualiseer data zoals benodigd.		
---	--	--



Figuur 15: a) Afgerond oppervlakte na 3 uur b) Afgerond oppervlakte na 6 uur

3.2.2 Vooruitgang project

Om de vooruitgang van het asfalteerproces in het algemeen te kunnen beschouwen is er gekeken naar de productie van elke fase. Er wordt gekeken naar de gemiddelde vierkante meters die per uur zijn/worden afgerond en dit wordt vergeleken met de productie zoals

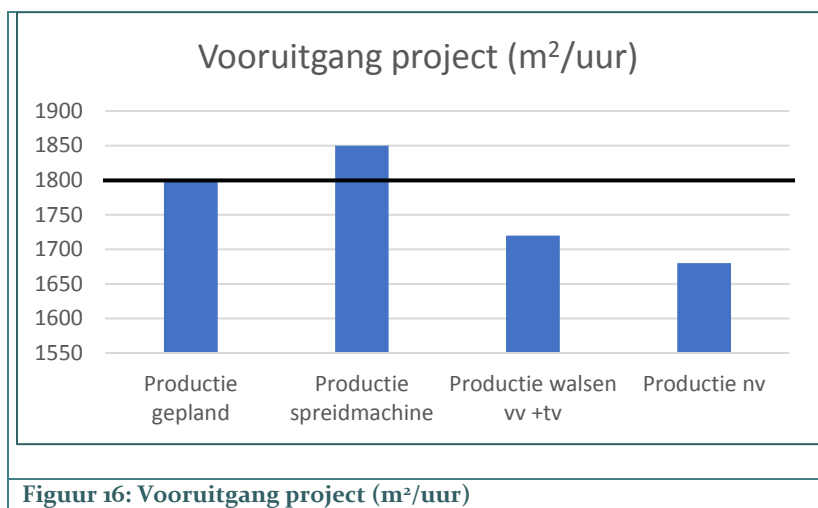
deze is gepland. Zo ontstaat er bij het asfaltteam inzicht in de voortgang en kan er eventueel worden bijgestuurd. Daarbij wordt ook de uitvoerder tijdig geïnformeerd en kan er eventueel worden ingegrepen op het proces. In Figuur 16 is dit gevisualiseerd, na het stappenplan in Tabel 5.

Tabel 5: Stappenplan vooruitgang project

Stappenplan wals	Route wals	Is het beheersbaar en door wie?
- Kopieer de tabellen uit Veta Analysis voor 'pass count', 'speed' en plak deze in Excel. - Kopieer breedte wals uit 'Data Files' en plak deze in Excel. - Pas toe: $\frac{\text{Mean speed}(\frac{\text{km}}{\text{u}}) \cdot 1000 \cdot \text{width roller}(m)}{\frac{\text{Mean roller passes}}{2}}$ (1000 is voor het omzetten naar m/u). Let op! 'Mean roller passes' moeten door tweeën gedeeld worden omdat Veta rekent met rolpassages in plaats van wals overgangen en de formule is gebaseerd op wals overgangen. - Visualiseer data zoals benodigd.		Ja, walsmachinist
Stappenplan spreidmachine	Route spreidmachine	Is het beheersbaar en door wie?
- Exporteer 'inbouwtemp. [°C]' uit WITOS Paving Analysis en haal het Excel bestand op uit je e-mail. Witos stuurt het bestand automatisch naar de e-mail van de gebruiker. - Bereken snelheid (m/min) door toe te passen: $\frac{\text{locatie}_{x+1}(m) - \text{locatie}_x(m)}{\text{tijd}_{x+1} - \text{tijd}_x} \cdot 3600$ (84600 is om de tijdnoteering om te zetten naar getal, 3600 is voor het converteren van seconde naar uur). - Bepaal breedte door alle vakken met een temperatuur van >70°C mee te nemen. - Pas toe: $\text{Snelheid}(\frac{m}{\text{uur}}) \cdot \text{breedte}(m)$. Visualiseer data zoals benodigd.		Ja, machinist spreidmachine

Figuur 16 laat zien dat de spreidmachine sneller gaat dan gepland en dat de verdichting minder snel gaat dan gepland. Dit resulteert in een 'gat' tussen de machines. Als gevolg hiervan kunnen twee ongewenste situaties ontstaan: 1) er zullen te weinig wals overgangen

worden uitgevoerd (dan gepland) of 2) het gat tussen spreidmachine en walsen zal gedurende het project steeds groter worden en op een gegeven moment zal er in een te koud temperatuurgebied worden gewalst met de gevolgen van dien.



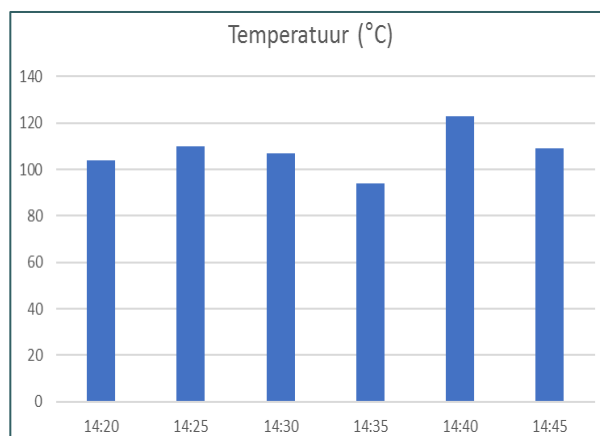
Figuur 16: Vooruitgang project (m²/uur)

3.2.3 Temperatuur bij de 1e wals overgang

Om de walsmachinisten een goede start te geven, wordt de gemiddelde temperatuur bij de eerste wals overgang getoond. De temperatuur achter de balk die gemeten is, kan dan al achterhaald zijn. Dit geldt zeker als er sprake is van een achterstand op de asfaltspreidmachine. Eerst is het stappenplan te zien in Tabel 6 en erna de is de temperatuur van de 1^e wals overgang als volgt gevisualiseerd worden in Figuur 17.

Tabel 6: Stappenplan temperatuur 1e walsovergang

Stappenplan wals	Route wals	Is het beheersbaar en door wie?
1. Exporteer alle data uit Veta. 2. Open bestand met de naam die als volgt opgebouwd is: 'naam project - Temperature - Pass 1 - datum export - tijd export.xlsx'. 3. Visualiseer data zoals benodigd.	<pre> graph LR A[/Dataverzameling bouwplaats/] --> B[(Server/dropbox)] B --> C[/Inlezen HCQ data en converteren/] B --> D[/Inlezen Veta data en converteren/] C --> E[/Handmatig bewerken Excel/] D --> F[/°C eerste walsovergang/] E --> F </pre>	Ja, walsmachinist



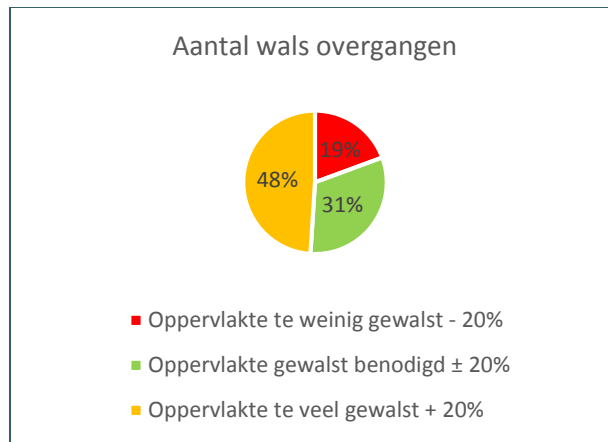
Figuur 17: Temperatuur bij 1e wals overgang

3.2.4 Aantal wals overgangen

Uit de praktijk blijkt dat er bij het verdichten van asfalt in het algemeen, te veel wals overgangen worden uitgevoerd in het midden van het dwarsprofiel terwijl er aan de buitenranden vaak te weinig overgangen worden uitgevoerd. Om het verdichtingsproces meer homogeen te krijgen, is er een indicator opgesteld om aan te geven welk oppervlakte (%) er te weinig, goed, en te veel gewalst is. Te veel wals overgangen zorgen al snel voor een significante stijging in de gebruikte tijd om te walsen, zeker gezien het overbodig is en mogelijk ook schade kan aanbrengen aan het asfalt. De richtlijnen zijn opgesteld voor een zo'n optimaal mogelijk proces en resultaat. De hoeveelheid wals overgangen die gemaakt zijn, zijn weergegeven in Figuur 18 na het stappenplan in Tabel 7.

Tabel 7: Stappenplan aantal wals overgangen

Stappenplan wals	Route wals	Is het beheersbaar en door wie?
- Kopieer de tabel uit Veta Analysis voor 'pass count' en plak deze in Excel. - Visualiseer data zoals benodigd.	<pre> graph TD A[Dataverzameling bouwplaats] --> B[Server/dropbox] B --> C[Inlezen HCQ data en converteren] B --> D[Inlezen Veta data en converteren] C --> E[Handmatig bewerken Excel] D --> E E --> F[Aantal wals-overgangen] </pre>	Ja, walsmachinist



Figuur 18: Aantal uitgevoerde wals overgangen

3.3 Indicatoren als hulpmiddel

De gevalideerde indicatoren kunnen gebruikt worden als hulpmiddel voor de uitvoerende partijen om hun werk te vergemakkelijken. Als zij bijna real-time weergave krijgen van de indicatoren, kunnen zij op basis daarvan hun strategie verbeteren en kunnen zij dienen als hulpmiddel. De validatie in de workshop is hiervoor zeer belangrijk, omdat dan gekeken wordt of de bedachte indicatoren inderdaad als hulpmiddel kunnen dienen.

3.4 Validatie

Het bedenken en ontwikkelen van een model en indicatoren zijn niet goed op waarde te schatten tenzij deze gevalideerd zijn. Er is een workshop gehouden onder uitvoerende experts (walsmachinisten, uitvoerders, spreidmachine machinisten) om de vijf indicatoren te valideren. De workshop bestaat uit drie inhoudelijke onderdelen: stellingen, visualisatie en een samenvatting. Eerst zal de opzet van de validatie workshop besproken worden en erna worden de uitkomsten gepresenteerd.

3.4.1 Opzet workshop

Hier zal kort per onderdeel ingegaan worden op de opzet en de inhoud van de workshop.

3.4.1.1 Stellingen

De stellingen zijn geïntroduceerd om een inschatting te kunnen maken van de huidige situatie van de kennis en kunde in de dagelijks gang van zaken in de wegenbouw. Ze kunnen dan ook als onderbouwing dienen voor het wel of juist niet meenemen van indicatoren. De stellingen behandeld in de workshop zijn de volgende:

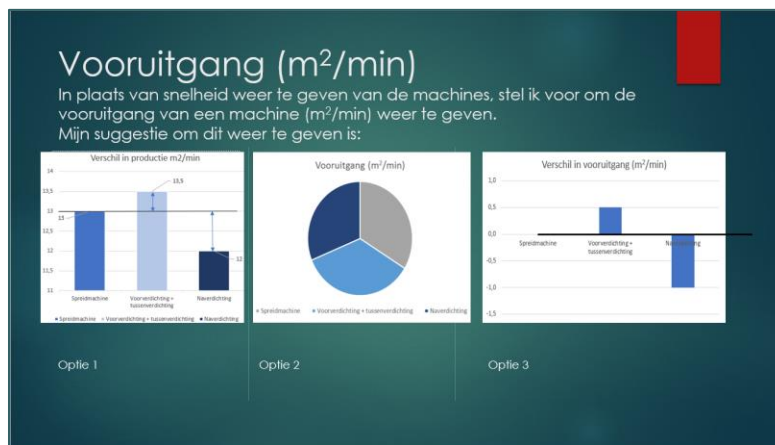
- ♦ Snelheid van een machine is belangrijk om te weten

- ◆ Naast de stukken die we walsen zoals benodigd, wordt er in het midden meer dan benodigd gewalst en aan de randen minder dan benodigd.
- ◆ Naast het walsen in het juiste temperatuurgebied, walsen we ook in het gebied dat onder de kritische waarde ligt van het mengsel dat we aanbrengen.
- ◆ Elke machinist weet hoe ver de walsmachinisten zijn in hun werk en er wordt gecommuniceerd als er problemen over deze vooruitgang ontstaan.
- ◆ Op elk willekeurig moment kan ik een inschatting maken van de vordering/vooruitgang van het asfaltwerk van vandaag en inschatten hoe ver we zijn.
- ◆ Ik weet dus hoe ver de verdichting is gevorderd, en hoeveel ik dus nog moet walsen.
- ◆ Ik krijg mijn werk af (goed uitgevoerd) binnen de planning.

Het doel van de stellingen is dus om een begin beeld te creëren waarin duidelijk wordt aan welke informatie behoefte is tijdens het asfalteerproces. Tijdens deze stellingen kan ik ook mijn gedachtegang aan de experts kenbaar maken en deze dus ook een controle meegeven.

3.4.1.2 Visualisaties

De tweede stap in de workshop is om mijn visie op de indicatoren te geven en een aantal voorbeelden van hoe deze gevisualiseerd kunnen worden. Wat ook bij de visualisaties gaat gebeuren is dat de experts hun mening kunnen geven of de indicator überhaupt bijdraagt aan het synchroniseren van de machines en de vooruitgang die zij boeken. Een voorbeeld van verschillende visualisatie die getoond worden in de workshop is te zien in Figuur 19. Een grotere versie is te zien in Bijlage C: Validatie workshop.



Figuur 19: Voorbeeld visualisatie opties

In dit deel van de workshop is het van belang om te weten te komen of de indicator volgens de experts kan bijdragen aan het synchroniseren gedurende het asfalteerproces en op welke manier die volgens het, het beste getoond kan worden aan alle betrokken partijen. Alle slides van de workshop zijn opgenomen in Bijlage B: Verificatie model. De resultaten van de workshop zijn te vinden in de volgende paragraaf.

3.4.2 Resultaat workshop

Validatie indicatoren In de workshop zijn twee inhoudelijke onderdelen aan bod gekomen; stellingen en de visualisaties van de indicatoren. Allereerst zijn de stelling en de daarbij behorende reacties uitgewerkt en erna de reacties op de visualisaties en de indicatoren. De workshop is gehouden voor een complete asfaltploeg.

3.4.2.1 Resultaat stellingen

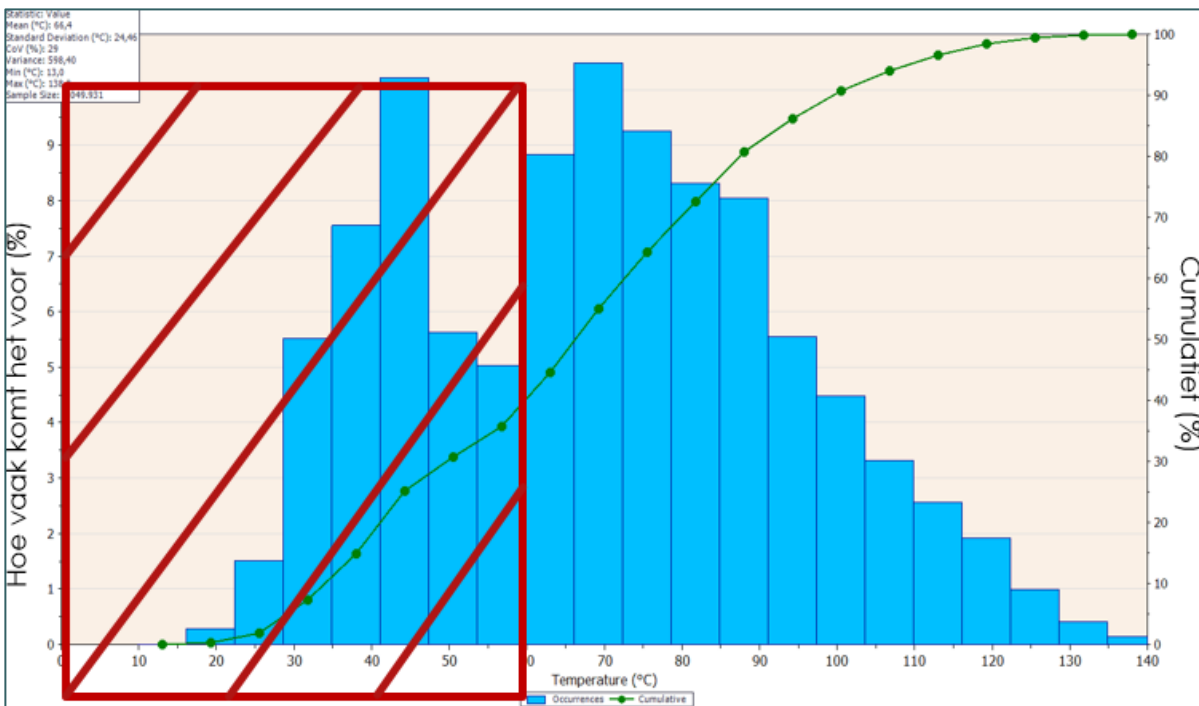
Per stelling worden de reacties van de asfaltploegen kort uitgelegd en samengevat.

“Snelheid van een machine is belangrijk om te weten.” Snelheid van de spreidmachine is een belangrijk gegeven. Deze is wel onder invloed van de aanvoer van het asfalt, mengselspecificaties, laagdikte en de trekbreedte. Continuïteit moet vooral bewaakt worden tijdens het spreiden, zeker bij de wat meer kritische mengsels. Naast deze factoren speelt kwaliteit een belangrijke rol alsmede de tijdsdruk die van toepassing is. Kwaliteit wordt gezien als ondergeschikt aan de kosten voor een extra wals en extra dieplader als dat nodig is. Er wordt dan niet gekeken naar de eventuele kosten aan de achterkant wanneer de kwaliteit ondermaats is en het werk afgekeurd wordt. De walsen worden nooit als leidend gezien, maar transport bijna altijd. Het is aan de wals machinisten om aan te geven als ze het niet bij kunnen houden. Eén of twee vrachtwagens meer of minder kunnen veel verschil maken. Dit ligt dan vooral bij de voorbereidende werkzaamheden voor het werk.

“Naast de stukken die we walsen zoals benodigd, wordt er in het midden meer dan benodigd gewalst en aan de randen minder dan benodigd.” Het is logisch dat er in het midden meer gewalst wordt dan aan de zijkant. Vooral bij kleine werken heb je al snel overlap in het midden als je van buiten naar binnen walst. Door de overlap heb je in het midden dan meer overlap dan aan de zijkanten. Bij een breed werk (met twee walsen in dezelfde fase) werk je van buiten naar binnen, waardoor in het midden ook extra overlap plaatsvindt. Daarnaast heeft HCQ een afwijking zitten in het meetgebied (meetfout van ongeveer 15 centimeter), waardoor je altijd een randje houdt waar maar één wals overgang plaatsgevonden heeft.

“Naast het walsen in het juiste temperatuurgebied, walsen we ook in het gebied dat onder de kritische waarde ligt van het mengsel dat we aanbrengen.”

De eerste reacties waren dat het niet normaal is om erg/zo koud te walsen, zoals het plaatje liet zien (zie Figuur 20) en dat dit waarschijnlijk de laatste wals geweest is. Het gebeurt doordat de walsen te ver achteruitgaan of zijn. Dit kan gebeuren doordat je iemand hebt ingehuurd die minder vaardig is (onkunde), er een leerling op de wals zit of het kan je overkomen. Niet alles is in de hand te houden en ook dit kan gebeuren. Het valt wel op dat de temperatuursensoren erg gevoelig zijn en deze ook snel af kunnen wijken. Veelvuldig kalibreren van de sensoren en het checken van de temperatuurverschillen tussen het asfalt en de sensoren is hierbij van groot belang. Eén van de voorbeelden hiervan was dat er een verschil van zo'n 5 °C tussen de voorste en achterste sensor op de wals in een tijdsbestek van enkele seconde. Een andere reactie was dat vrij vlot na de balk de eerste 'klappen' gegeven moeten worden aan de verdichting en de walsen erachter moet het laatste stukje verdichting aanbrengen. Walsen hebben overcapaciteit waardoor er mogelijkheden zijn om in te lopen op de machine, echter bij grote werken wil de machine nog wel eens weggelopen van de walsen. Bij ondercapaciteit haal je de verdichting niet, bijvoorbeeld door een kapotte wals. Laboranten zijn nodig om de verdichting te meten, zonder laboranten kan het zijn dat je teveel walst en haarscheuren creëert.



Figuur 20: Voorbeeld van te koud gewalst oppervlakte op de A59 Rosmalen -Heesch

“Elke machinist weet hoe ver de walsmachinisten zijn in hun werk en er wordt gecommuniceerd als er problemen over deze vooruitgang ontstaan.” & “Ik weet hoe ver de verdichting is gevorderd, en hoeveel ik dus nog moet walsen.” Er wordt

onderling aan de bel getrokken als de vooruitgang niet gaat zoals gewenst. Zowel de balkman als de walsmachinisten initiëren dit. De communicatie gebeurt via verschillende kanalen zoals naar elkaar schreeuwen, handgebaren of een telefoontje naar elkaar toe plegen. Het bezoek van een laborant op het werk om de verdichting te meten wordt gezien als positief. Hierdoor krijgen de walsmachinisten bevestiging van hun werk terwijl zij er nog iets aan kunnen verbeteren of bevestiging dat het goed is zoals het nu is. De ploeg zag een stijgende lijn in deze bezoeken, wat zij als erg prettig ervoeren. De walsmachinisten krijgen niet alle mee qua wijzigingen in aanvoer of snelheid van de asfaltspreidmachine. Verder is de dagstart erg belangrijk om goede afspraken te maken over de walsstrategie en werkwijze van het team, vooral bij nieuwe leden of ingehuurd personeel. Als er niet aan de afspraken gehouden wordt, dan vliegt zo’n machinist er tussendoor en kunnen anderen ook in de war raken over de vooruitgang.

“Op elk willekeurig moment kan ik een inschatting maken van de vordering/vooruitgang van het asfaltwerk van vandaag en inschatten hoe ver we zijn.” De walsmachinisten

krijgen niet alles mee qua wijzigingen in aanvoer of veranderingen in de snelheid van de asfaltspreidmachine. Ze weten ook niet altijd goed wat het werk in zijn totaliteit inhoudt, dus ze volgen de spreidmachine in het werk dat ze doen en zien wanneer het werk klaar is. Het is dan ook niet altijd van belang om het te weten. Wat wel gemist wordt in dit opzicht is feedback van de laborant na afloop van een werk. Er wordt nog weinig terugkoppeling gegeven over de bereikte laagdiktes en het verdichtingspercentage voor sommige regio’s terwijl andere ploegen regelmatig per mail een terugkoppeling krijgen. Als er feedback wordt gegeven is dit periodiek. De periodes tussen deze feedbacksessies is te groot, bijvoorbeeld een jaar, waardoor de omstandigheden van het werk niet meer bekend zijn bij de ploegen en de feedback dus niet het gewenste effect heeft. Graag zien zij bij het bekend worden van de lab resultaten een overzicht daarvan hun kant op komen. Er is wel een grote inhaalslag gemaakt omtrent de aanwezigheid van laboranten op het werk.

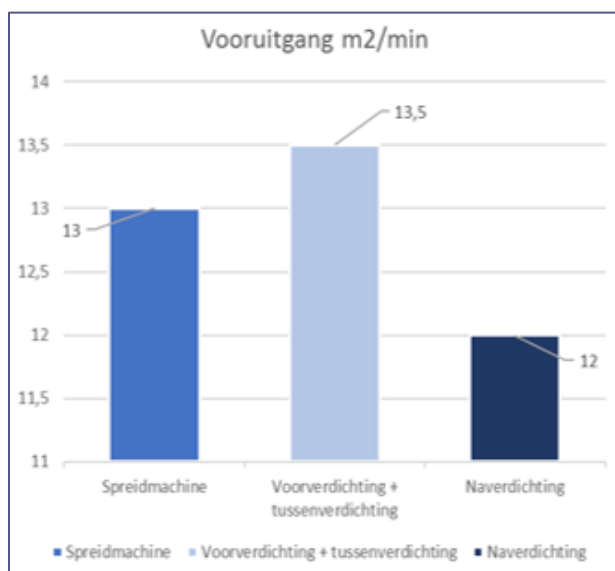
“Ik krijg mijn werk af (goed uitgevoerd) binnen de planning.” Deze vraag was voornamelijk gericht aan de walsmachinisten. Zij hebben aan het begin van het werk extra tijd, waardoor er daar meer wals overgangen plaatsvinden. Aan het einde van een werk moeten de walsen op de dieplader of hebben ze ook niet altijd even veel zin meer en willen ze het werk af hebben. Het aantal wals overgangen is hier dan ook significant minder dan

aan het begin van het werk. Verder wordt in de nachten veel tijdsdruk ervaren, er is alleen tijd ingepland (zo lijkt het) om het asfalt te spreiden, maar niet om het verdicht te krijgen.

3.4.2.2 Resultaat visualisatie indicatoren

Na de stellingen zijn de indicatoren voorgelegd met de bijbehorende visualisaties en zijn er vragen gesteld aan de hand van de gegeven antwoorden omdat niet alles in één keer duidelijk was.

De eerste indicator was de vooruitgang in m^2/min . Hierbij werd aangegeven dat er voorkeur is voor Figuur 21 en dat de indicator door de meesten als een nuttige toevoeging werd gezien. De eenheid werd niet direct openlijk ontvangen en er werd ook gereageerd soms met 'geen commentaar'. In de tweede ploeg die gevraagd werd, werd aangegeven dat er nu al gewerkt wordt om de output in evenwicht te brengen tussen de machines. De dagstart zorgt voor een belangrijke bijdrage in deze samenwerking. Als tip werd gegeven, dat er in de winterstop een sessie gewijd zou moeten worden aan leren samen werken of op dezelfde manier samenwerken waardoor het uitwisselen van personeel makkelijker wordt en voor de weekenden waarbij een team vaak samengesteld is, de samenwerking soepeler verloopt.



Figuur 21: Voorkeursweergave voor m^2/min

De tweede indicator geeft aan hoeveel vooruitgang het afgelopen uur gemaakt is met een eenheid van m^2/uur . Deze indicator zou wel kunnen helpen, maar er moet niet vergeten worden dat walsen en de output die de walsen hebben niet makkelijk weer te geven is in een nummertje of te berekenen valt. Er komt veel ervaring en (onderbuik)gevoel bij kijken om het goed te krijgen. Deze indicator kan helpen, maar kan ook snel afleidend werken. HCQ wordt nu, door de constante aanwezigheid, al als afleidend ervaren. Als er meer

informatie bij komt is de machinist meer bezig met het scherm dan met het werk. Het kan wel helpen in het kader van gelijk op samenwerken, maar waarschijnlijk is het afdoende is om in de wals de snelheid van de spreidmachine te laten zien of om een melding weer te geven aan de walsmachinist als de spreidmachine van snelheid verandert. De andere ploeg gaf juist aan dat deze indicator fijn is door de combinatie met planning, hierdoor kan een afwijking al snel getackeld worden. Hiernaast is het fijn bij de overdracht van de wals dat deze indicator aanwezig is eventueel op de achtergrond.

Derde indicator is het afgeronde oppervlakte. Ook voor deze indicator geldt dat het gewalste deel die afgerond is, niet gemakkelijk weer te geven is in een nummertje. Echter heeft deze ploeg met het eerder Pavelog gewerkt waar zij zeer tevreden over waren. Veel informatie over de spreidmachine was daardoor beschikbaar, waaronder informatie die zij nu missen zoals nog te verwerken tonnen, helling en snelheid. In tegenstelling dus tot het vroegere Pavelog, omvat het nieuwe systeem (Apex) alleen het transport gedeelte van de asfaltketen. Afgeronde of de voorraad die nog voor de boeg ligt is dus wel van belang om te weten voor de betrokken partijen.

Vierde indicator is het aantal gemaakte wals overgangen van één enkele walsfase of wals. Deze indicator werd alleen als handig gevonden bij het overdragen van het werk van de ene op de andere wals. Hierdoor worden stukken niet dubbel gedaan ook in het geval van twee strooiwalsen. Voor deze situaties werd dit voornamelijk handig gevonden. Hiernaast werd deze ook handig bevonden bij 'prutswerk' zoals een rotonde of in het geval van water halen.

De vijfde indicator gaf de temperatuur weer bij de eerste wals overgang. Deze indicator is niet als toegevoegde waarde, omdat de HCQ deze al weergeeft tijdens het walsen. Een enkel nummer voegt dan niks toe ook niet in relatie tot de verwerkingsadviezen. Andere ploeg gaf echter aan dat deze specifieke waarde kon helpen bij invallend personeel of bij een nieuwe lichting. Daarnaast kan al die apparatuur helpen bij een positiever imago van de wegebouw.

Als laatste is gevraagd naar kleuren en geluiden. Het antwoord dat daar gegeven werd is vooral houdt het simpel. Er wordt met verschillende schermen/weergaven al veel gevraagd van de mannen en minder heeft dan ook de voorkeur boven meer verschillende weergaven. Geluid willen ze helemaal niet aan beginnen, dat leidt ook meer af dan bevorderlijk. Ze stonden wel positief tegenover kleuren zoals bijvoorbeeld een groen/oranje/rood systeem, die respectievelijk staan voor: goed/pas op/niet goed. Andere ploeg gaf echter aan dat een

piepje fijn is als er iets is, hierdoor hoef je niet altijd op je scherm gericht te zijn, maar krijg je wel een waarschuwing in het geval van een mogelijk probleem.

3.5 Eindresultaat indicatoren

Concluderend uit de antwoorden op de stellingen is dat snelheid belangrijk is van de asfaltspreidmachine in relatie tot andere factoren als de breedte, aanvoer, mengsel en de laagdikte. Het wordt als logisch gezien dat er in het midden meer gewalst wordt dan aan de zijkanten vanwege een snelle overlap bij een smal werk en bij een breed werk door het werken van buiten naar binnen toe. Walsen in een te koud gebied komt bij een ervaren eigen wals machinist eigenlijk weinig voor tenzij de omstandigheden zodanig zijn dat het als het ware je overkomt. Te koud walsen komt vaker voor bij ingehuurd personeel en leerlingen. Dit werd genoemd als zijnde onkunde. Temperatuursensoren zijn erg gevoelig en moeten vaak gecheckt worden. En over de vooruitgang op het project voelt men zich allen verantwoord om aan de bel te trekken. Communicatie hierover gaat via verschillende kanalen zoals een telefoontje. De communicatie van het laboratorium naar de ploegen toe is per regio verschillend, dit zou meer gestandaardiseerd kunnen worden. Wals machinisten krijgen meestal hun werk af binnen de planning, met een piek aan het begin met extra wals overgangen en een dip aan het einde omdat het werk afgerond moet worden, hetzij door tijdsdruk hetzij doordat men er klaar mee is.

De conclusies die getrokken kunnen worden uit de indicatoren is dat m^2/min een nuttige toevoeging is, maar dat goed naar de implementatie hiervan gekeken moet worden. Misschien dat de snelheid en breedte los aangeven ook volstaat en meer tot de verbeelding van de wals machinisten spreekt. Voor de balkman is het minder van belang om te zien of het gat tussen de machines groter wordt. Dit wordt namelijk niet als leidend gezien, zoals bij de stellingen naar voren is gekomen. M^2/uur is als vervolg hierop dan ook als achtergrondinformatie van belang, zodat aan de hand van de planning problemen vroegtijdig gesignaleerd kunnen worden. Afgerond oppervlakte is een indicator die op sommige momenten van belang kan zijn voor alle partijen. Het is geen indicator die gezien wordt als van belang op elk moment, maar wel informatie kan verschaffen indien nodig.. Het aantal wals overgangen is niet van belang om te weten indien er per walsfase één wals betrokken is, maar wel van belang bij meerdere walsen in één walsfase of bij het overdragen van de wals aan een volgend team. De temperatuur indicator werd bij de één gezien als overbodig net zoals geluiden in zijn totaliteit en bij de ander werd beiden gezien als positief. Kleuren kunnen wel bijdragen bij het weergeven van een indicator.

4 Conclusie en discussie

Eerst zullen er een aantal conclusies getrokken worden over het model en erna over de indicatoren. Naast conclusies zullen ook een aantal punten ter discussie gesteld worden.

Geconcludeerd mag worden over het model is dat op basis van de validatie van het model de uitkomsten geen grote afwijkingen laat zien. Vanuit BAM is er een nauwkeurigheid gewenst van 20% en met een afwijking van 18,3% en 17,8% bij deze twee runs valt dit er netjes binnen. Voor de validatie is eerst het model verifieerd. Bij de stap-voor-stap verificatie zijn een heel aantal verbeterpunten naar voren gekomen die verbeterd zijn voor de uitvoering van de validatie. Voorbeeld hiervan was dat per wals het aantal wals overgangen ingevuld moest kunnen worden. Daarnaast is er één fout geconstateerd en dat was in een gebruikte formule. De continuïteitstest en de consistentietest is het model doorgekomen zonder dat er verbeteringen nodig waren. Een groot gemis in het model is de combinatie met de GPS-locatie van het verspreiden en walsen van asfalt. Hierdoor kan er minder advies gegeven worden met betrekking tot locatie en temperatuur en allen op basis van tijd en temperatuur. Het model is nu zodanig opgesteld dat afstrooien altijd onderdeel van het proces is, terwijl dit in de werkelijkheid nu niet zo is. Bij de validatie runs is aangenomen dat afstrooien dan extreem snel gebeurd (wat dus niet het geval is) zodat dat geen invloed uitoefent op de duur van het project. Er is echter niet gekeken naar de exacte gevolgen hiervan, ze zijn alleen ingeschat op o effect. Een ander nadeel van de huidige uitwerking is dat System Dynamics niet optimaal benut wordt. System Dynamics is bedoeld om te plannen/voorspellen wat de (neven)effecten zijn van bijvoorbeeld een ander beleid, zodat deze getest kan worden van tevoren. In het huidige uitvoering is gekozen om de eerste stappen naar real-time monitoren uit te voeren met behulp van de System Dynamics methodiek. Dit matcht niet compleet, waardoor de feedback cirkels uit System Dynamics nu niet gebruikt zijn en het een relatief lineair model is geworden.

Naast het model zijn er in dit onderzoek een vijftal indicatoren bedacht om te helpen met het synchroniseren van de machines. Deze indicatoren zijn: vooruitgang machine (m^2/min), vooruitgang project (m^2/uur), afgerond oppervlakte (m^2), aantal wals overgangen en temperatuur bij 1^e wals overgang. Bij de validatie van deze indicatoren is aangegeven dat HCQ voldoende voorziet in het weergegeven van het aantal wals overgangen en de temperatuur, maar dat deze vooral voor een jongere generatie erg nuttig kunnen zijn. Echter is de temperatuursensor wel gevoelig voor meetfouten onder andere als gevoel van viezigheid, deze moeten vaak gecheckt worden. Naast een gevoelige temperatuursensor heeft de HCQ ook een meetfout van 15 cm zitten op de breedte. Dit zorgt ervoor dat er een stukje vaak weergegeven zal worden met 1 rol passage. Gezien de

spreidmachine (tezamen met het transport) als leidend gezien worden, zal de snelheid en de capaciteit van de walsen daarop afgestemd moeten worden. De overige drie indicatoren zijn wel een toevoeging op het werk om de machines te synchroniseren. Misschien is het echter wel beter als deze op de achtergrond meedraaien en geselecteerd kunnen worden als ze nodig zijn of om deze in de vorm van een waarschuwing/melding op het scherm te tonen. Het berekenen van de indicatoren is daarnaast een tijdrovende klus doordat er veel verschillende handelingen plaatsvinden en deze ook in verschillende programma's gebeuren. Bij verder gebruik dient dit in acht genomen te worden. Er moeten bij de berekening van de indicatoren een aantal aannames gemaakt worden zoals bij de breedte van de spreidmachine (alle waarden groter dan 60°C worden meegenomen) die voor fouten zorgen. De sensoren meten niet altijd de juiste waarde waardoor middenin een gelegd asfalt de temperatuur opeens 34°C is terwijl alles eromheen 130°C en hoger is. Dit zijn fouten waar nu geen rekening mee gehouden zijn en welke er nu ook niet uitgefilterd zijn. Een indicator is een indicator en is een versimpeling van de werkelijkheid waarin gewerkt wordt en kan ondersteunen, maar zeker nog lang geen mensen vervangen.

5 Aanbevelingen

Na afronding van dit onderzoek zijn er aantal opmerkingen die gemaakt kunnen worden voor toekomstig onderzoek of voor het verbeteren van het proces. Puntsgewijs zullen deze aanbevelingen hieronder weergegeven worden.

Modulair model

Het model is nu opgezet als één model waarbij alle facetten van verspreiden tot naverdichting zijn meegenomen. Afstrooien is daarbij ook een van de processtappen. Afstrooien is echter een processtap die alleen bij verschillende deklagen wordt toegepast, dus vaak ook niet wordt toegepast. Daarnaast is er geen rekening gehouden nu met het transport, afkoeling of de planning door de scope. Door het model modulair te maken waarbij modules gekozen kunnen worden, wordt de toepasbaarheid vergroot.

Eén bestandstype voor alle programma's

Bij het berekenen van de input waarden voor de variabelen en het berekenen van de indicatoren zijn er een vijftal programma's gebruikt (Microsoft Word, Microsoft Excel, Witos, HCQ Navigator en Veta 5.0) die allen een andere bestandstypen gebruiken, waardoor handmatig items overgezet of geconverteerd moeten worden. Misschien kan bij exporteren van bestanden gekozen worden voor ene meer uniform bestandstype zoals bijvoorbeeld een .CSV-bestand.

Implementeren van indicatoren

Een vervolgstap na dit onderzoek is de implementatie van de drie nuttige indicatoren. Bij de implementatie moet gekeken worden naar de manier van implementeren en dan met name of het als een dashboard altijd aanwezig is of dat de weergaven gekozen kunnen worden doormiddels van het selecteren van de indicator. Bij de implementatie en real-time uitwerking is het gebruik van kleuren gewenst, maar moet rekening gehouden worden met alle variabelen en weergaven die de (wals)machinisten al te zien krijgt.

Automatiseren van de berekeningen

De berekeningen van de indicatoren en de waarden voor het model worden nu handmatig berekend. Het is een stuk minder arbeidsintensief als dit geautomatiseerd kan worden. Dit zou ook een stuk makkelijker gaan in combinatie met het gebruik van een uniform bestandstype.

Uniforme naam aanduiding projecten Roadscan en HCQ

Bij het zoeken naar data en informatie gedurende dit onderzoek is gebleken dat de naamgeving van de data nogal verschilt. Bij Roadscan bestaat de naam uit het serienummer

van de machine de datum en nog een achtervoegsel en bij de HCQ wordt dit handmatig ingevuld met allerlei verschillende weergaven en informatie in de naam. Indien mogelijk is het aan te raden om de namen van Roadscan en HCQ gelijk te trekken. Voorstel voor de uniforme aanduiding is: DATUM_STAD_STRAATNAAM_MACHINE_SOORT LAAG. Door deze informatie weer te geven wordt het zoeken naar data makkelijker en minder intensief en zal het ook sneller gebruikt gaan worden als ondersteuning voor presentatie of teksten.

Kalibratie sensoren

Bij de workshop is naar voren gekomen dat de gebruikte sensoren met regelmaat nog weleens af willen wijken en dat er ook een standaardafwijking zit op de HCQ breedtesensoren. Het is aan te raden een protocol of handeling toe te voegen aan het begin van de werkdag waarbij tenminste de temperatuursensoren gekalibreerd worden en dat bij Hamm gekeken wordt naar het verkleinen van de huidige afwijking van 15 centimeter.

Installatie HCQ en Roadscan op al het materieel

Tijdens het zoeken naar informatie is gebleken dat er weinig tot geen complete datasets aanwezig zijn in het BAM-archief. Gedeeltelijk komt dit doordat niet al het materieel voorzien is van HCQ sets of Roadscan, maar ook omdat de sets niet altijd gebruikt worden. Op drie verschillende machines zit Roadscan geïnstalleerd, maar alleen bij één ploeg wordt deze veelvuldig gebruikt tezamen met de HCQ. Om écht inzichtelijk te krijgen wat er gebeurt bij het asfalteren van een weg dient al het materieel voorzien te zijn van de juiste programma's en dienen deze ook gebruikt te worden.

Uitwerking model

Bij het uitwerken van het model is gebleken dat gps niet gekoppeld kan worden aan het model in AnyLogic. Dit is een groot gemis, omdat er nu niet qua locatie gestuurd kan worden op temperatuur alleen qua tijd. Er mist dus een dimensie die in de werkelijkheid van groot belang is, zeker bij een plaatselijke regenbui of grote veranderingen in temperatuur door bijvoorbeeld het stilstaan van de spreidmachine gedurende 10 minuten. MATLAB is een goed alternatief voor het uitwerken van het asfalteerproces en de indicatoren gezien de tijd/locatie combinatie hier wel in gemaakt kan worden, zoals ook te zien is in het werk van Vasenev (2016).

Toevoeging kosten

In het huidige model is er geen rekening gehouden met een andere context dan het proces zelf. Om er meer dynamiek aan te geven en het in het bedrijfsproces aan te laten sluiten op strategische besluiten is het van belang om kosten te koppelen aan het model. Er kan dan gekeken worden of het bijvoorbeeld het geld waard is om een extra wals mee te nemen.

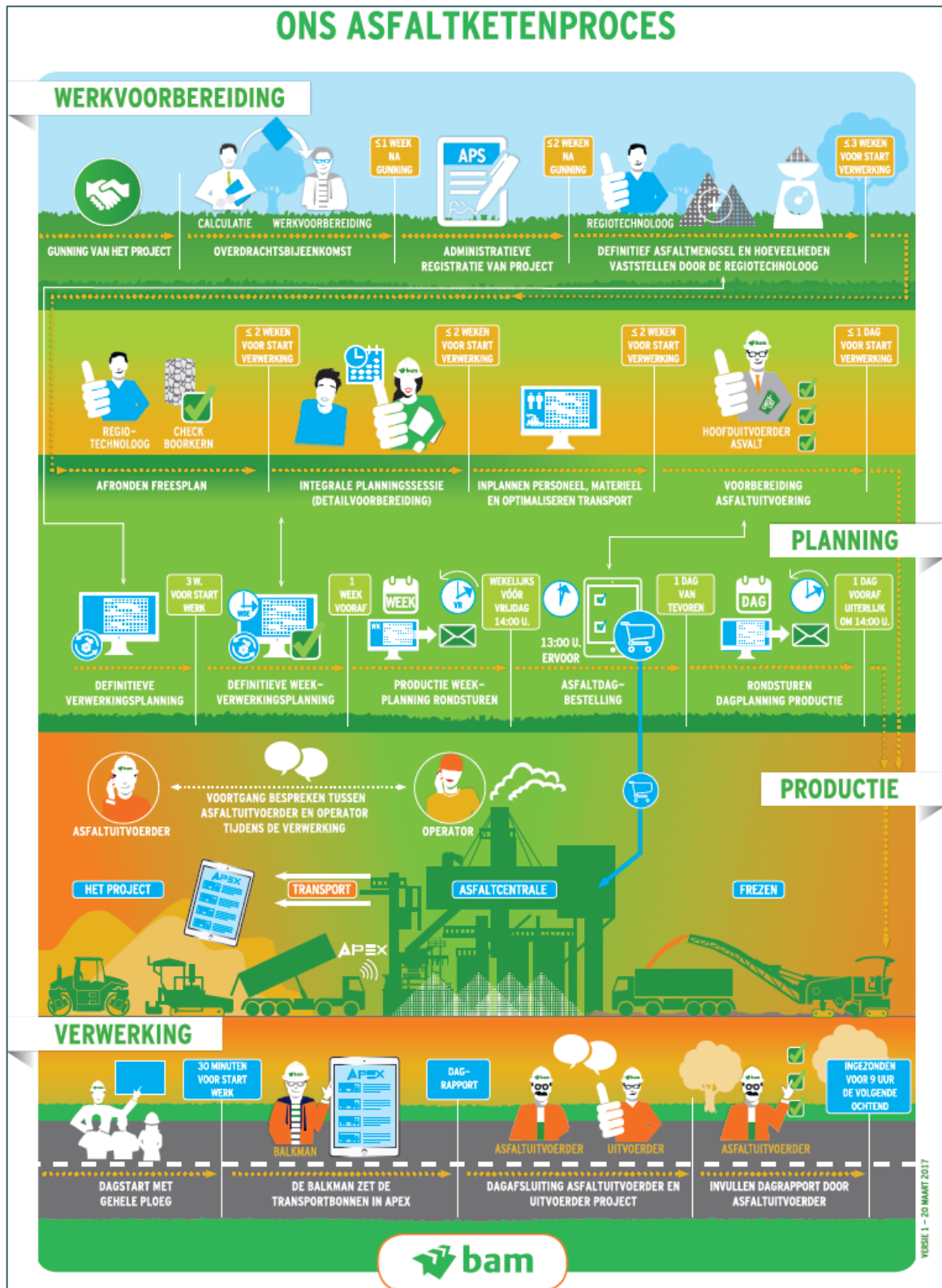
Door een run te doen met en zonder die extra wals, kan bekeken worden hoeveel invloed dit heeft op de projectduur en de daarmee gemoeide kosten.

6 Referenties

- Anylogic. (sd). Anylogic. Opgeroepen op december 1, 2017
- Arbeider, C. (2016). *Een consistent asfaltverwerkingsproces - de afstemming tussen spreidmachine en wals*1. Master thesis.
- Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*, 17(6), 337-342.
- Bijleveld, F. R., & Dorée, A. G. (2014). Method-based learning: a case in the asphalt construction industry. *Construction Management and Economics*, 665-681.
- Bijleveld, F. R., & Dorée, A. G. (2014). Method-based learning: a case in the asphalt construction industry. *Construction Management and Economics*, 32(7-8), 665-681.
doi:10.108/01446193.2014.887211
- Bijleveld, F. R., Miller, S. R., & Dorée, A. G. (2015). Making operational strategies of asphalt teams explicit to reduce process variability. *Journal of Construction Engineering Management*, 141(5).
doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000969
- Bijleveld, F. R., Miller, S. R., de Bondt, A. H., & Dorée, A. G. (2016). Aligning laboratory and field compaction practices for asphalt - the influence of compaction temperature on mechanical properties. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(8), 727-740.
- Bijleveld, F., Miller, S., & Dorée, A. (2014). On-Site Process Variability and Common Practices: a Case in Asphalt Compaction. *Proceedings of the International Conference on Construction in a Changing World* (p. 13). Manchester (United Kingdom): The University of Salford. doi:978-1-907842-54-2
- Chang, C.-M., Chang, Y.-J., & Chen, J.-S. (2009, Mei 1). Effect of Mixture Characteristics on Cooling Rate of Asphalt Pavements. *Journal of Transportation Engineering*, 135(5), 297-304.
- European Asphalt Paving Association. (2017). *Asphalt in figures 2015*.
- Floss, R. (2001). *Compaction technology in earthwork, highway and transportation engineering Volume 1 - Basic principles of vibratory compaction, compaction of soil and rock, compaction of asphalt*. (T. GmbH, Vert.) Boppard, Duitsland: BOMAG GmbH & Co. OHG.
- Flyvbjerg, B., Skamris holm, M. K., & Buhl, S. L. (2003). How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects. *Transport Reviews*, 23(1), 71-88.
doi:10.1080/01441640309904
- Giani, M. I., Dotelli, G., Brandini, N., & Zampori, L. (2015). Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 224-238.

- Hillston, J. (2005). Model Validation and Verification. In J. Hillston, *Modelling and Simulation* (pp. 102-109). Opgeroepen op Maart 24, 2018, van <http://www.inf.ed.ac.uk/teaching/courses/ms/notes/Notes.ps>
- Hu, W., Shu, X., Huang, B., & Woods, M. (2017). Field investigation of intelligent compaction for hot mix asphalt resurfacing. *Front. Struct. Civ. Eng.*, 11(1), 47-55.
- Miller, S. R., Hartmann, T., & Dorée, A. G. (2010). Measuring and visualizing hot mix asphalt concrete paving operations. *Automation in Construction*, 20, 474-481. doi:10.1016/1.autcon.2010.11.015
- Miller, S. R., Hartmann, T., & Dorée, A. G. (2010). Measuring and visualizing hot mix asphalt concrete paving operations. *Automation in Construction*, 20, 474-481.
- Minchin, R. E., Hammons, M. I., & Ahn, J. (2008). A construction quality index for highway construction. *Construction Management and Economics*, 26(12), 1313-1324.
- Vafa-Arani, H., Jahani, S., Dashti, H., Heydari, J., & Moazen, S. (2014). A System Dynamics modeling for urban air pollution: A case study of Tehran, Iran. *Transportation Research Part D* 31, 21-36.
- Vasenev, A. N. (2015). *Visualizing Asphalt Roller Trajectories in Context: Acquiring, Processing, and Representing Sensor Readings*. PhD thesis, Enschede. doi:978-90-365-3860-2
- Vasenev, A., Hartmann, T., & Dorée, A. (2014a). A distributed data collection and management framework for tracking construction operations. *Advanced Engineering Informatics*, 28, 127-137.
- Vasenev, A., Miller, S. R., Hartmann, T., & Dorée, A. G. (2016). Visualization environment for reviewing and experimenting with compaction equipment trajectories in context. *Advanced Engineering Informatics*, 30(2), 95-108. doi:10.1016/j.aei.2016.02.002

Bijlagen



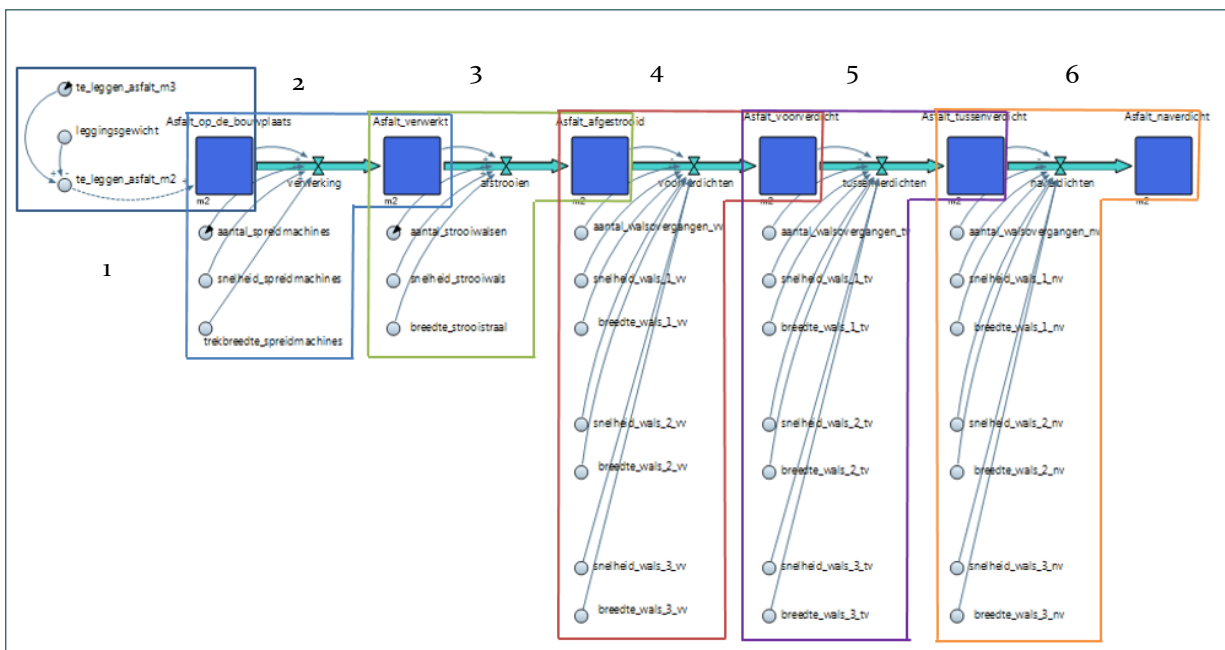
Figuur 22: Asfaltketenproces

Bijlage B: Verificatie model

Om het model te verifiëren is er gekozen om het model te testen op fouten op drie verschillende manieren. De eerste manier is door het stap-voor-stap doorlopen van het model. Tweede manier van verifiëren is gedaan door middel van een consistentietest. Er wordt gekeken of verhoudingsgewijs het model klopt. Dit betekent dat gekeken wordt of 1x10 hetzelfde resultaat geeft als 2x5 voor de output van het model. Derde en laatste test is de continuïteitstest. Bij deze test wordt er gekeken naar het resultaat van kleine veranderingen in de output van het model. Het model die gezien wordt als het gereede model is onderworpen aan deze testen. Na de verificatie zal het model aangepast worden op de aangegeven fouten en verbeterpunten.

B.1 Stap-voor-stap doorlopen van het model

Door het model op stap-voor-stap door te lopen en uit te leggen aan de lezer, kan de modelleur op fouten stuiten, met als doel dat deze verbeterd kunnen worden voor de validatie. In Figuur 23 hieronder is de opdeling van het model getoond. Per vak (stap) wordt het model beschreven en er wordt uitgelegd welke formules en aannames gebruikt zijn.



Figuur 23: Opdeling voor de stap-voor-stap doorloop

Stap 1

De eerste stap is de input van de eerste voorraad en de eerste voorraad. De eerste voorraad is 'Asfalt op de bouwplaats' en de input op deze voorraad wordt bepaald door de scope van het project. De scope van het project wordt hier aangegeven in kubieke meters asfalt. Om

tot de scope in m² te komen is het ‘leggingsgewicht’ nodig. Dit is de hoeveelheid asfalt per vierkante meter die neergelegd wordt. Bij controle van de formule van Floss (2001) blijkt echter dat de formule verkeerd geïnterpreteerd is. De formule die gebruikt is, is formule 1:

$$M_{sm} = \frac{F_{sm} \cdot g}{1000} \text{ omgezet naar } F_{sm} = \frac{M_{sm} \cdot 1000}{g} \quad \text{Formule 1}$$

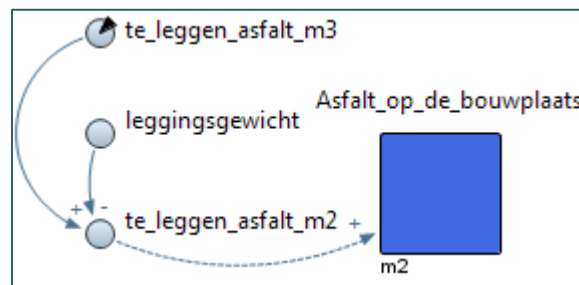
Waarin:

M_{sm} = volumetrische productie spreidmachine (~~m³/uur~~)(ton/uur)

F_{sm} = oppervlakte productie spreidmachine (m²/uur)

g = leggingsgewicht (kg/m²)

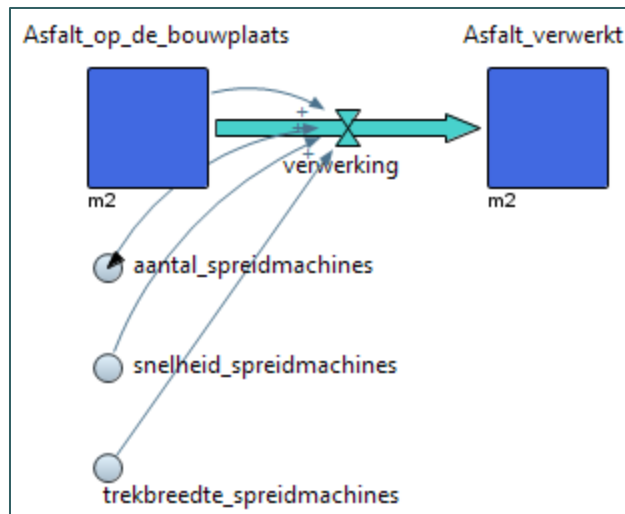
M_{sm} is hier weergegeven als m³/uur (zie Figuur 24) terwijl dit door Floss (2001) aangegeven is als ton/uur. Zeker gezien het veelvuldig gebruik van tonnages in de wegenbouw, moet dit verbeterd worden. De naam van de scope wordt veranderd van m³ naar ton en formule 1 wordt ook correct weergegeven. Dit moet zowel in het verslag als in het model gewijzigd worden.



Figuur 24: Inhoud stap 1

Stap 2

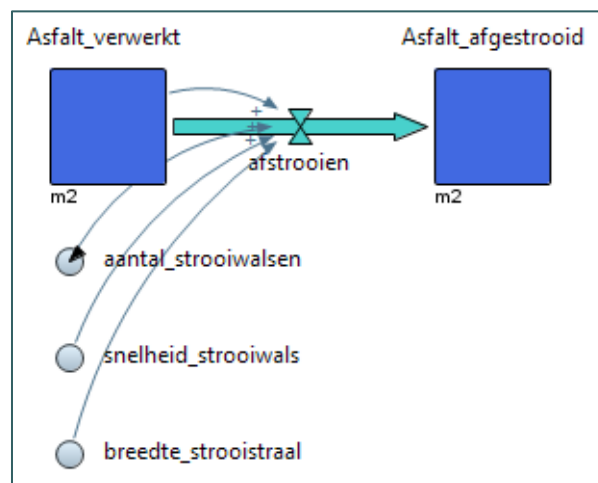
In deze stap (zie Figuur 25) wordt het verwerken van asfalt uitgerekend door de gemiddelden van alle spreidmachines te nemen en deze te vermenigvuldigen met het aantal spreidmachines die aan het werk zijn. Bij grotere werken kan er sprake zijn van meerdere spreidmachines (+ bij behorende walsen). Hier kan rekening mee gehouden worden door het model voor elke machine apart te runnen, maar dan moeten de termen in het model gewijzigd worden naar één enkele spreidmachine. Deze aanname is te doen, omdat de walsen achter de spreidmachine vaak alleen het pad achter de spreidmachine verwerkt.



Figuur 25: Inhoud stap 2

Stap 3

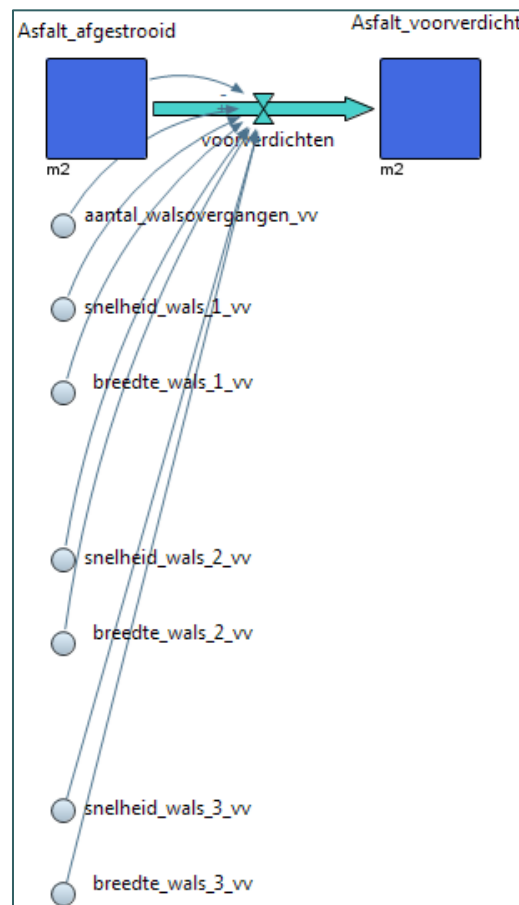
Deze stap in het asfalterproces is optioneel (figuur x). Bij sommige deklagen is het nodig dat deze afgestrooid worden met fijne steentjes om de stroefheid van de weg vanaf het begin te kunnen waarborgen. Deze activiteit wordt uitgevoerd door een of meerdere walsen die hun verdichting tijdelijk staken en in één walsgang de gehele breedte afstrooien alvorens het stuk asfalt te verdichten. Vaak wordt één enkele wals gebruikt voor het afstrooien. Een verbeterpunt zou daarom zijn om aantal strooiwalsen weg te halen voor de duidelijkheid. $\text{Snelheid wals (m/min)} \cdot \text{breedte van de strooistraal (m)}$ geeft na wijzigen dan de output aan. In de praktijk gebeurt het afstrooien met intervallen; 100 meter wordt afgestrooid en verdicht en dan wordt de volgende 100 meter afgestrooid. In het model wordt een continue activiteit beschouwd, dus de output zal verdeeld worden over een grotere tijdsduur dan deze in de praktijk zal zijn.



Figuur 26: Inhoud stap 3

Stap 4

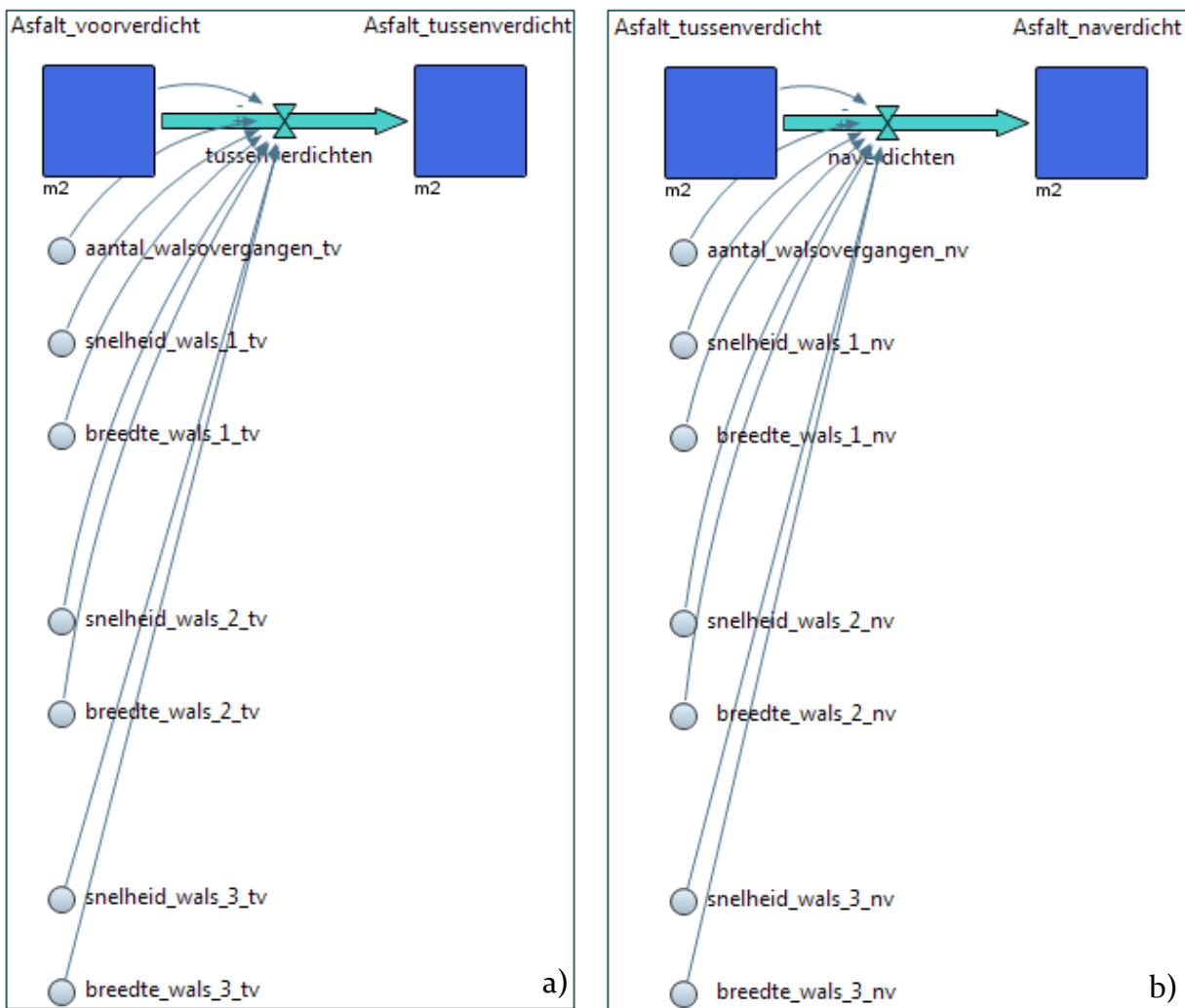
Stap vier is de stap van de voorverdichting. Tijdens deze fase gaan de eerste walsen van start met de verdichting van het asfalt. Het oppervlakte dat afgerond wordt, wordt bepaald door de breedte van de wals vermenigvuldigt met de snelheid. Omdat een wals meerdere keren over hetzelfde stuk heen gaat, moet het bewerkte oppervlakte gedeeld worden door het aantal wals overgangen die de wals ter plekke gemaakt heeft. In deze stap is het aantal wals overgangen voor alle walsen hetzelfde genomen. Dit is vanuit het principe; we werken allemaal tezamen om voor te verdichten heel begrijpelijk. Echter in combinatie met indicatoren en verbetermogelijkheden van een individuele machinist is dit minder gewenst. Voor het model is het daarom beter om het aantal wals overgangen per wals in het model te implementeren. In het model zelf wordt de afkorting niet kenbaar gemaakt, dit zou wel toegevoegd moeten worden voor de duidelijkheid.



Figuur 27: Inhoud stap 4

Stap 5 en 6

In deze stappen wordt het asfalt verder verdicht en afgewerkt. Dit is de tussen- en naverdichting van het asfalt (zie figuur x). De output van deze walsfasen zijn op eenzelfde manier als stap 4 opgebouwd. Deze twee stappen zijn daarom samen genomen. Voor de tussen- en naverdichting zijn dezelfde aannames gebruikt met betrekking tot het aantal wals overgangen. Voor een bredere inzet van het model (zoals individueel verbeteren), moeten ook hier per wals het aantal wals overgangen ingevuld kunnen worden. De afkortingen gebruikt in deze stappen zijn ook niet uitgelegd in het model, deze moeten toegevoegd worden.



Figuur 28: a) Inhoud stap 5 b) Inhoud stap 6

Samengevat zijn de volgende verbetervoorstellen voorgesteld en fouten ontdekt tijdens het stap-voor-stap doorlopen van het model:

- M^3 in plaats van tonnages gebruikt in de scope van het project;

- De variabele ‘aantal spreidmachines’ verwijderen, per spreidmachine (+ bijbehorende walsen) het model runnen;
- De variabele ‘aantal strooiwalsen’ verwijderen, gezien er vaak maar één enkele wals per spreidmachine hiermee bezig is;
- De afkortingen ‘vv’- ‘tv’- ‘nv’ worden niet uitgelegd, deze moeten in het model duidelijk zijn;
- In het kader van individuele verbeteringen en zelf kunnen aansturen op de vooruitgang is het nodig om per wals het aantal wals overgangen in te vullen.

B.2 Consistentietest

In deze verificatie ronde wordt er gekeken of er sprake is van consistentie in het model. Consistentie houdt in dit model bijvoorbeeld in dat de duur van het project 2x zo lang duurt bij een 2x zo grote scope of indien de inzet van de walsen in de voorverdichting halveert, dat die fase 2x zo lang duurt. Per stap uit de eerste verificatiemethode wordt dit doorgelopen behalve stap 1. In de eerste stap zit geen activiteit, dus hiervoor wordt het gehele model gerund.

De standaardwaarden die tijdens deze tests gebruikt zijn, zijn te zien in Tabel 8Tabel 8: Standaardwaarden.

Tabel 8: Standaardwaarden

Naam van de variabele	Standaardwaarde
Te leggen asfalt ton	500 ton
Leggingsgewicht	100 kg/m ²
Snelheid spreidmachine	5 m/min
Breedte spreidmachine	12 m
Snelheid strooiwals	85 m/min
Breedte strooistraal	12 m
Snelheid wals*	85 m/min
Breedte wals*	2 m
Aantal wals overgangen**	3

*dit geldt voor elke wals die verdicht in het model

**dit geldt voor elke walsfase

Stap 1

Voor stap 1 wordt het model gerund met een scope van 250 – 500 – 1000 ton. De duur van het runnen model wordt verwacht met dezelfde verhoudingen toe of af te nemen (zie Tabel 9). In elke fase zullen er twee walsen bezig zijn met verdichten van het asfalt. De derde wordt niet ingezet.

Tabel 9: Consistentietest stap 1

Inputwaarde scope	Outputwaarde model in projectduur
250 ton	41,66 min
500 ton	83,4 min
1000 ton	166,67 min

De waarden die als output uit het model komen zijn consistent. Als de scope van het project verdubbeld wordt, dan is de projectduur ook tweemaal zo lang. De waarden zijn echter nog geen realistische waarden, dit wordt bij de validatie dan ook nog gecheckt.

Stap 2

Bij stap 2 wordt er gekeken of de output van één spreidmachine op halve snelheid of halve breedte inderdaad ook de helft van de standaard output geeft. In de huidige opzet is het ook mogelijk om meerdere spreidmachines in te vullen, deze wordt ook nog benut (zie Tabel 10).

Tabel 10: Consistentietest stap 2

Inputwaarde spreidmachine	Outputwaarde model in projectduur
2,5 m/min, 12 m trekbreedte, 2 machines	83,4 min
5,0 m/min, 12 m trekbreedte, 1 machine	83,4 min
5,0 m/min, 6 m trekbreedte, 2 machines	83,4 min

Uit deze drie runs blijkt dat het model consistent is voor deze activiteit. De verhouding zijn evenredig en consistent.

Stap 3

In deze stap wordt gekeken of de waarden van de strooiwals consistent is. Er wordt gekeken of de output in verhouding is met de input. Hetzelfde als in stap 1 wordt herhaald voor deze stap. Uit de runs blijkt dat ook deze stap consistent is (zie Tabel 11).

Tabel 11: Consistentietest stap 3

Inputwaarde strooiwals	Outputwaarde model in projectduur
42,5 m/min en breedte strooistraal 24 m	83,4 min
85,0 m/min en breedte strooistraal 12 m	83,4 min
170,0 m/min en breedte strooistraal 6 m	83,4 min

Stap 4 - 5 - 6

In deze stap wordt de consistentie van alle drie de walsfase getest. Gezien het in alle drie de fase om dezelfde stappen en test gaat, is dit in één tabel samengevat nadat per fase de

test uitgevoerd is. Uit Tabel 12 blijkt dat het model ook bij deze laatste stappen consistent is.

Tabel 12: Consistentietest stap 4-5-6

Aantal walsen	Inputwaarden	Outputwaarde model vv	Outputwaarde model tv	Outputwaarde model nv
1	170 m/min, 2 m breed, 3x	83,4 min	83,4 min	83,4 min
2	85 m/min, 2 m breed, 3x	83,4 min	83,4 min	83,4 min
3	56,66 m/min, 2 m breed, 3x	83,4 min	83,4 min	83,4 min

Uit deze compleet uitgevoerde verificatie blijkt dat het model zich consistent gedraagt. Vanuit deze test hoeven er dus geen verbeteringen doorgevoerd te worden in het model.

B.3 Continuïteitstest

Als laatste wordt het model getest op continuïteit. Bij de continuïteitstest wordt gekeken of bij een kleine verandering van de input de outputwaarde geen grote uitschieters krijgt. De standaardwaarden uit de consistentietest zijn genomen en zijn met $\pm 10\%$ ingevuld. Onderstaande waarden zijn getest, zie Tabel 13. Elke run is één variabele gewijzigd. Bij de walsen zijn wederom twee walsen gebruikt. Bij een wijziging van een wals worden de twee walsen in dezelfde fase aangepast. De standaard output van het model is 83,4 minuten. Er is in deze test geen rekening gehouden met de werkelijkheid. Een wals kan bijvoorbeeld niet van breedte wisselen.

Tabel 13: Continuïteitstest

Naam van de variabele	Standaard/ -10%/ +10%	Output (verandering %)
Te leggen asfalt ton	550 ton (+10%)	91,7 min (+10%)
Leggingsgewicht	90 kg/m ² (-10%)	92,6 min (+11%)
Snelheid spreidmachine	4,5 m/min (-10%)	92,6 min (+11%)
Breedte spreidmachine	13,2 m (+10%)	75,8 min (-9%)
Snelheid strooiwals	76,5 m/min (-10%)	83,4 min (0%)
Breedte strooiwals	10,8 m (-10%)	83,4 min (0%)
Snelheid wals	93,5 m/min (+10%)	83,4 min (0%)
Breedte wals	1,8 m (-10%)	83,4 min (0%)
Aantal wals overgangen	2,7 (-10%)	83,4 min (0%)

Uit Tabel 13 blijkt dat er overcapaciteit is ten opzichte van de spreidmachine indien er twee walsen worden gebruikt met deze standaardwaarden. Hierdoor maakt het minder tot niet

uit als er kleine veranderingen plaatsvinden op het gebied van walsen, de spreidmachine is dan leidend voor de duur van het project. Er vinden geen uitschieters plaats in de output op basis van kleine veranderingen in de input variabelen. Op basis van deze test hoeven er geen veranderingen gemaakt te worden aan het model.

Bijlage C: Validatie workshop

In deze bijlage zijn de sheets te vinden die gebruikt zijn in de workshop.



Inhoud van de workshop

3

10-4-2018

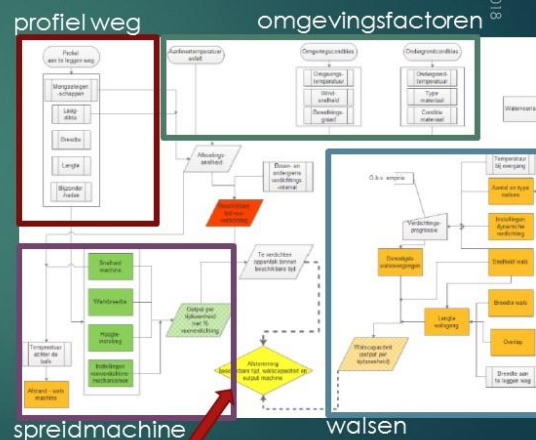
- Introductie
- Stellingen
- Visualisaties/afbeeldingen

Introductie

4

10-4-2018

- Onderzoek van Christiaan Arbeider
- Waar gaat mijn onderzoek over?
- Waar heb ik jullie voor nodig?



Stellingen

5

10-4-2018

Snelheid van een machine is belangrijk om te weten

6

10-4-2018

5,0 m/min?



5,0 m/min?



Er wordt gewalst in een lager temperatuurgebied dan in de verwerkingsadviezen staat aangegeven

8

10-4-2018

A59 Rosmalen - Heesch

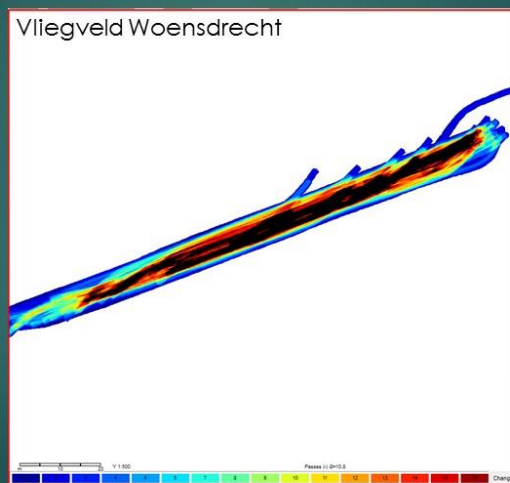
- ▶ 4 van elke 10 walsovergangen is gedaan onder de kritische temperatuur
- ▶ Onderzoek verwerkingsadviezen o.l.v. Marco



Er wordt in het midden veel meer gewalst dan aan de buitenzijden.

7

10-4-2018

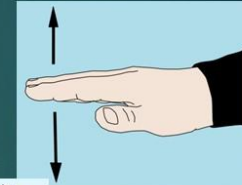
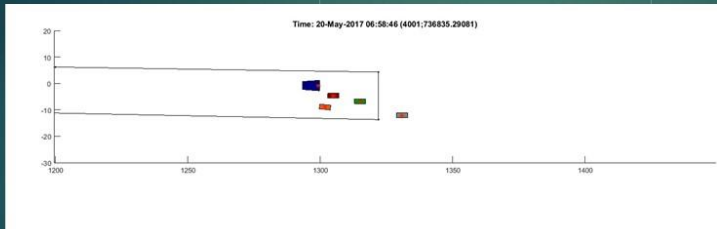


Elke machinist weet hoe ver de walsmachinisten zijn in hun werk en er wordt gecommuniceerd als er problemen over deze vooruitgang ontstaan.

9

10-4-2018

Communicatie



Op elk moment weet ik hoe ver we zijn en hoeveel we nog moeten.

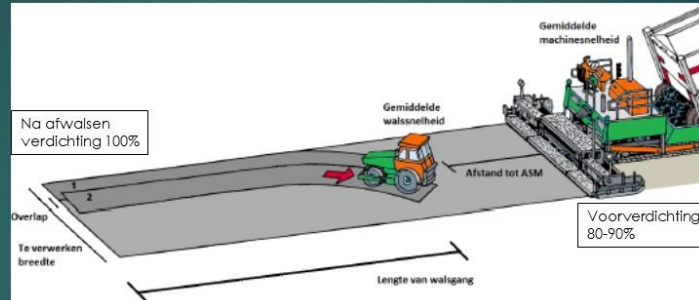
10

10-4-2018

Ik weet hoe ver de verdichting is gevorderd, en hoeveel ik dus nog moet walsen.

11

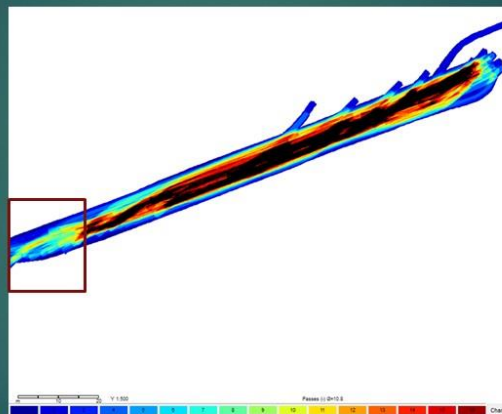
10-4-2018



Ik krijg als walsmachinist mijn werk af (goed uitgevoerd) binnen de planning.

12

10-4-2018



Einde stellingen

13

10-4-2018

Indicatoren

14

10-4-2018

"Een indicator is een meetbaar fenomeen dat een signalerende functie heeft en een aanwijzing geeft over de mate van kwaliteit. Wijkt een indicator af van een afgesproken norm dan is bijsturing mogelijk."

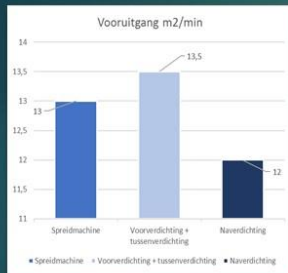
- ▶ Vooruitgang machine (m^2/min)
- ▶ Vooruitgang project (m^2/uur)
- ▶ Afgerond oppervlakte
- ▶ Aantal wals overgangen
- ▶ Temperatuur bij 1^e wals overgang



Vooruitgang (m²/min)

15

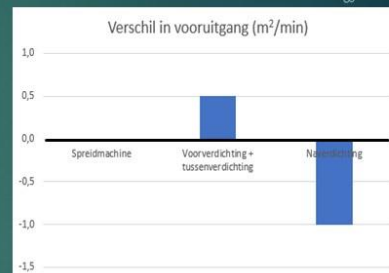
10-4-2018



Optie 1



Optie 2



Optie 3

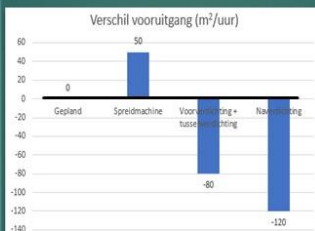
Vooruitgang (m²/uur)

16

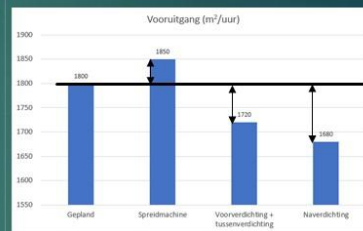
10-4-2018



Optie 1



Optie 2

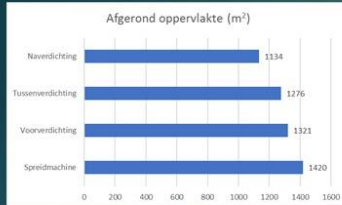


Optie 3

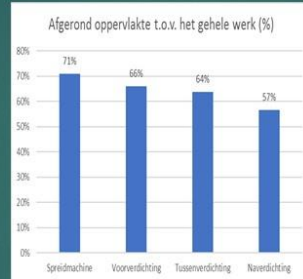
Afgerond oppervlakte

17

10-4-2018



Optie 1 afgerond oppervlakte per fase (m²)



Optie 2 afgerond oppervlakte als deel van het gehele werk (%)



Optie 3 afgerond oppervlakte t.o.v. vorige fase en/of gepland (m²)

Aantal walsovergangen

18

10-4-2018

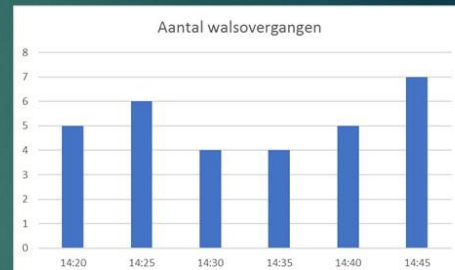
6
WALSOVERGANGEN
GEMIDDELD IN
LAATSTE 5 MINUTEN

4
WALSOVERGANGEN
GEMIDDELD IN DIT
PROJECT

Optie 1: Per # minuten/project

VOORWALS UITGEVOERD: 4
TUSSENWALS UITGEVOERD: 5
BENODIGD VOORWALS: 3
BENODIGD TUSSENWALS: 3

Optie 2: Gerelateerd tot benodigd



Optie 3: Tijdsbalken per # minuten/project

Temperatuur 1^e walsovergang

19

10-4-2018

121 °C
GEMIDDELD IN
LAATSTE 5 MINUTEN

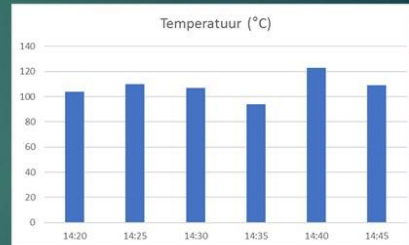
104 °C
GEMIDDELD IN DIT
PROJECT

Optie 1: Per # minuten/project

VOORWALS
UITGEVOERD: 108 °C
TUSSENWALS
UITGEVOERD: 88 °C

BENODIGD
VOORWALS:
100-130 °C
BENODIGD
TUSSENWALS:
80-100 °C

Optie 2: Over het hele project



Optie 3: Tijdsbalken per #
minuten/project

Kleuren/getallen/geluiden

20

10-4-2018

- ▶ Zijn kleuren afleidend of bevorderend?
- ▶ Zijn getallen interessant überhaupt of liever zoveel mogelijk in kleuren
- ▶ Geluidjes als een piepje, zoemer
- ▶ Stem zoals in navigatie



Wat missen jullie nog?

21

10-4-2018

- ▶ Is er een aspect in het proces onderbelicht?
- ▶ Welk getal/omschrijving/feedback mis je om je werk beter/anders/makkelijker te kunnen doen?
- ▶ Als je een indicator ziet, welk advies wil je dan krijgen? En op welke manier? En van wie?

Afsluiting

22

10-4-2018

- ▶ Bedankt!