

# **Op weg naar een beheerst asfaltverwerkingsproces**

7 februari 2007

# **Op weg naar een beheerst asfaltverwerkingsproces**

7 februari 2007

---

.....

## Colofon

### Afstudeeronderzoek

**Titel:** Op weg naar een beheerst asfaltverwerkingsproces

**Instelling:** Universiteit Twente, faculteit Construerende Technische Wetenschappen, opleiding Civiele Techniek, afdeling Bouwprocesmanagement

**Afstudeercommissie:** Prof.Dr.Ir A.G. Dorée, intern begeleider en voorzitter  
Dr.Ir H.L. ter Huerne, intern begeleider  
Ir S.R Miller, intern begeleider

**Student/Auteur:** Ing. B.J.A.G. Simons  
**Studentnummer:** S0065900  
**Mobiel:** +31 (0)6 11 11 14 69  
**Email:** simons.b.j.a@gmail.com  
BartSimons@hotmail.com

### Rapport

**Onderdeel:** Hoofdrapport  
**Bestandsnaam:** HR\_070207  
**Status:** Concept  
**Omvang rapport:** 139 pagina's  
**Datum:** 07-02-2007

### Contactgegevens

*Universiteit Twente*  
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen  
Drienerlolaan 5  
7522 NB Enschede

Postadres:  
Postbus 217  
7500 AE Enschede

Tel: (053) – 489 91 11  
Fax: (053) – 489 20 00



---

## Woord vooraf

---

Dit afstudeerrapport is het resultaat van mijn afstudeeronderzoek getiteld "Op weg naar een beheerst asfaltverwerkingsproces". De afstudeeropdracht is voortgekomen uit het onderzoeksprogramma "Professionalisering van de asfaltwegenbouw" welke geleid wordt door de afdeling Bouwprocesmanagement van de faculteit Civiele Techniek en Management van de Universiteit Twente.

Dit afstudeeronderzoek is de kroon op mijn studieperiode die in totaal 10 jaar heeft geduurd. Aan al het goede komt eens een eind, zo ook aan de studententijd. Het afstuderen is niet de makkelijkste periode van mijn studietijd geweest. Iemand vergeleek het afstuderen ooit als een mooie toertocht door de Franse Alpen. Met zware bergetappes en mooie afdalingen en als je eenmaal de finish bereikt hebt is de voldoening des te groter. Dat geldt zeker ook voor mijn afstudeeronderzoek. Dat ik de finish van deze zware etappe heb gehaald heb ik mede te danken aan een aantal personen.

Allereerst wil ik Prof.Dr.Ir A.G. Dorée, Dr.Ir H.L. ter Huerne en Ir S.R. Miller (PhD) bedanken voor de begeleiding en adviezen gedurende mijn afstudeerperiode.

Daarnaast wil ik de mensen bedanken die ik heb mogen interviewen voor mijn onderzoek, zonder hen had ik geen input gehad voor mijn afstudeeronderzoek. Als laatste, maar zeker niet als minste, wil ik mijn familie, mijn vriendin en mijn (studie)vrienden bedanken, die mij op enigerlei wijze geholpen of gesteund hebben gedurende mijn studie en afstudeerperiode.

Utrecht, februari 2007

B.J.A.G. Simons

---

## Samenvatting

---

De verhouding tussen opdrachtgever en opdrachtnemer in de Nederlandse GWW-sector verandert door de invoering van nieuwe contractvormen. Steeds vaker wordt er gebruik gemaakt van geïntegreerde contracten waaraan ook onderhoud wordt gekoppeld - de DB(F)M-contracten. Met deze nieuwe contractvormen komen meer verantwoordelijkheden en risico's bij marktpartijen te liggen. Deze marktpartijen proberen de risico's te beheersen en richten derhalve steeds meer aandacht op procesbeheersing en verbetering van de kwaliteit.

In dit onderzoek is gekeken naar de aspecten kwaliteit en procesbeheersing, en naar de samenhang tussen deze twee. Hoe heeft de aandacht voor kwaliteit zich in de loop der jaren ontwikkeld? Welke procesbeheersingstechnieken worden er onderscheiden?. Uit de literatuur blijkt dat, om een kwalitatief goed product of dienst te leveren, het van belang is dat het proces - dat leidt tot het product of dienst - goed wordt beheerst. De kern van procesbeheersing is terugdringen van de variabiliteit in het proces binnen toegestane toleranties. Om deze variabiliteit in de eindproducten te reduceren is het van belang om de beïnvloedende factoren te achterhalen en die beheersbaar te maken. Hiervoor is gedegen inzicht in het proces van groot belang.

In de uitvoeringspraktijk van de wegenbouw speelt de kennis en ervaring van de asfaltploegen een belangrijke rol. Door de ambachtelijke werkwijze is veel van die kennis en ervaring persoonsgebonden en impliciet; Er is relatief weinig expliciet inzicht in de procesparameters van het asfaltverwerkingsproces. Zonder dat inzicht zijn gerichte procesbeheersing en procesverbetering problematisch.

In dit onderzoek is op drie manieren geprobeerd de inzichtelijkheid in de uitvoeringsfactoren te vergroten. Eén: Achterhalen welke factoren volgens de literatuur invloed hebben op de beheersing asfaltverwerkingsproces. Twee: Teneinde het inzicht in het asfaltverwerkingsproces te vergroten, het functioneel beschrijven van een systeem waarmee de bewegingen van het materieel in het asfaltverwerkingsproces kunnen worden gemonitord. Drie: Om te achterhalen waar de asfaltploegen in de praktijk op sturen zijn er interviews afgenomen met machinisten en balkmannen.

In lijn met de literatuur, zijn er drie hoofdcategorieën van invloedsfactoren te onderscheiden. Dit zijn de categorieën: mengselsamenstellingsfactoren, omgevingsfactoren en uitvoeringsfactoren. Als een werk in uitvoering is, kunnen op locatie alleen de uitvoeringsfactoren nog worden beïnvloed. Het gaat daarbij voornamelijk om de handelingen van de asfaltploeg.

De bewegingen van materieel kunnen het beste in beeld gebracht worden met een GPS systeem (i.h.b. DGPS met een lokaal basisstation). Dat blijkt uit de uitgevoerde technologiescan waarin verschillende technologieën en toepassingen voor positiebepaling en monitoring naast elkaar zijn gezet. In dit rapport is beschreven [1] hoe positiebepaling met behulp van GPS werkt, [2] welke verstoringbronnen er zijn, en [3] met welke met welke configuratie de nauwkeurigheid kan worden behaald - zoals die voor de analyse van het asfaltverwerkingsproces gewenst is. Met de data die zo'n GPS-systeem verzamelt, kan het asfaltverwerkingsproces nader worden geanalyseerd en kan het inzicht in het procesverloop worden vergroot. Zo'n systeem verschaft in het verloop, maar geen inzicht in de overwegingen en factoren die leiden tot dat verloop. Om daar meer gegevens over te verzamelen zijn er interviews afgenomen bij zeven asfaltploegen.

---

Met de interviews is in kaart gebracht voor welke ta(a)ken de verschillende leden van de asfaltploegen zich verantwoordelijk voelen, hoe de onderlinge afstemming gebeurt, welke factoren zij meewegen bij instellen van de machines, op welke factoren zij letten gedurende de uitvoering van hun taak, en tenslotte op welke wijze ze het uitgevoerde werk in de praktijk controleren. De interviews bevestigde (de verwachting) dat tijdens de uitvoering de machinisten en balkmannen veel handelingen en beslissingen baseren op gevoel en ervaring. Opmerkelijk was ook dat een directe terugkoppeling of het resultaat voldoet aan de voldaan in enkele gevallen geheel ontbrak. Walsmachinisten moeten het asfalt naverdichten. Of een laag voldoende verdicht is, bepalen voornamelijk op basis van "het gedrag" van het asfalt, en de structurele en visuele eigenschappen. Indien er geen asfaltlaborant op het werk is om een dichtheidsmeting uit te voeren, ontbreekt elke directe terugkoppeling naar de walsmachinist. De walsmachinist weet dan niet of de beoogde verdichting bereikt is. De interviews maakte ook duidelijk dat asfaltploegen op verschillende manieren omgaan met de instellingen van voorverdichting en balkverwarming. Volgens de theorie zouden deze instellingen verschillen per project en situatie. In de praktijk blijken deze instellingen meestal constant gehouden te worden. Instrumenten voor temperatuurmeting blijven regelmatig ongebruikt. Ook blijken de walsmachinisten het aantal walsovergangen niet bij te houden.

Uit de eerder genoemde technologiescan blijkt dat verscheidene systemen voor verbetering van de procesbeheersing zijn ontwikkeld, maar dat de toepassing in de praktijk vaak moeizaam verloopt. Enkele van die nieuwe ontwikkelingen zijn in de interviews voorgelegd aan de leden van de asfaltploeg. Daar blijkt terughoudendheid bij het accepteren van enkele ontwikkelingen. Omdat op materieel meer en meer nieuwe technologieën beschikbaar komen, is het zinnig vervolgonderzoek te doen naar het gebruik en de adoptie van technologieën door asfaltploegen.

---

## Management summary

---

The relationship between client and contractor in the Dutch Civil Construction industry is changing due to introduction of new forms of contracts. Integrated contract forms are used more often with administration and maintenance being part of the contract. With these new forms of contracts the contractor bears more responsibility and risks. The contractors are trying to control these risks and concentrate more on process control and quality improvement.

This research focused on quality and process control and the coherence between them. How has the focus on quality developed in recent years? Which process control techniques can be singled out? Literature reveals that in order to deliver a product or service of good quality, it is important that the process which leads to the product or service is well controlled. The core issue of process control is that the variability in the process is reduced to permissible tolerances. To reduce the variability in the final product, it is important to investigate which factors are influencing the process and then make these factors controllable. Deeper insight into the process is of great importance.

The knowledge and experience of the entire asphalt team plays a vital role in the construction of Hot Mix Asphalt (HMA) roads. The knowledge and experience is personal and implicit because of the nature of work methods. There is relatively little explicit insight in the parameters of the process of constructing HMA roads. Without this insight, purposefully controlling the process and process improvement is problematic.

This research focuses on deepening the insight into construction aspects in three ways. Firstly, to assess which factors, from a literature point of view, have an influence on the control of the process of constructing HMA roads. Secondly, a system is described where movements of the equipment used in the HMA process can be monitored in order to improve insight into the process of constructing HMA roads. Thirdly, interviews are conducted with paver- and roller- and screed-operators in order to assess what the asphalt teams base their operational actions on.

The main factors influencing the compaction of the HMA, from a literature point of view, can be categorised into three classes and are: the mix composition, environmental conditions and the actual construction. When the process of constructing a HMA road is in progress on a site, only the construction characteristics can be influenced. It therefore mainly concerns the operations of the asphalt team.

A system based on Global Positioning System (GPS) technology, more specifically Differential GPS (DGPS) with a base station, is used to track the movements of the equipment during the process of constructing HMA roads. A technology scan is conducted and different technologies and applications are described which can be used for determining the position and monitoring the process of constructing HMA roads. In this report we describe [1] how position determining using the GPS works, [2] which sources of errors can be distinguished, [3] with which configuration the accuracy can be achieved which is necessary for analysing the process of constructing HMA roads. It is possible to analyse the process of constructing HMA roads and therefore increase the insight into the process with the data provided by a GPS-system. Such a system provides more insight into the process, but not into factors influencing the process. Interviews are therefore conducted with seven asphalt teams to collect additional data about the factors influencing the HMA construction process.

---

In these interviews different members of the asphalt team were asked what they what tasks they were responsible for, how co-operation takes place between different members of the asphalt team, on which factor(s) they base the setting(s) of the equipment they use, to which factors they pay attention during the execution of their tasks, and in which way they control the executed work. The interviews confirmed that during construction, the operators undertook most operations based on feeling and experience.

Notably a direct feedback loop to check if the result fulfilled the requirements is missing in some cases. Roller operators are responsible for the compaction of the asphalt mixture. The check if a layer is compacted sufficiently is mainly based on “the behaviour” of the asphalt mixture, and structural and visual properties. When there is no asphalt laboratory assistant on the project site to carry out a density measurement, a direct feedback loop to the roller operator is missing. The interviews also showed that the asphalt team dealt differently with the settings of pre-compaction and screed heaters. Theoretically, these settings should vary per project and situation. In practice it seems that these settings are kept constant. Also, instruments to measure temperature are not used regularly. It also seems that roller operator do not count the number of passes completed during the compaction process.

It can be deduced from the technology scan that several systems are developed with the purpose to improve process control, but that in practice the application is laborious. A few of these new technology developments were presented to members of the asphalt team during the interviews. There seems to be reluctance towards adopting new developments. Since more new technologies for paving machines and roller compactors are becoming available, it is recommended that follow-up studies be conducted in the use and adoption of new technologies in asphalt teams.



## Woord vooraf 4

## Samenvatting 5

## Management summary 7

### 1. Onderzoeksontwerp 12

- 1.1 Projectkader 12
- 1.2 Probleemstelling 14
- 1.3 Doelstelling 15
- 1.4 Onderzoeksmodel 16
- 1.5 Onderzoeksvragen 17
- 1.6 Begripsbepaling en afbakening 18
- 1.7 Onderzoeksstrategie 19
- 1.8 Leeswijzer 20

### 2. Kwaliteit en procesbeheersing 21

- 2.1 Inleiding 21
- 2.2 Kwaliteit in theorie 21
- 2.3 Kwaliteitsmanagement 23
- 2.4 Kwaliteitsborging/kwaliteitsbeheersing in de civiele bouw 25
- 2.5 Procesbeheersing 26
  - 2.5.1. Procesbeheersingstechnieken 27
  - 2.5.2. Procesverbeteringstechnieken 28
- 2.6 Samenvatting en conclusies kwaliteit en procesbeheersing 29

### 3. De invloed van het asfaltverwerkingsproces op de kwaliteit van de wegconstructie 30

- 3.1 Wat is asfalt? 30
- 3.2 Het asfaltspreidproces 30
- 3.3 Het verdichtingsproces 32
  - 3.3.1. Wat gebeurt er met het asfaltmengsel gedurende het verdichtingsproces? 32
  - 3.3.2. Verdichtingmaterieel 34
- 3.4 Kwaliteitscontrole bij productie en asfaltverwerking 35
- 3.5 Factoren die de kwaliteit beïnvloeden 37
  - 3.5.1. Mengsel samenstellingfactoren 38
  - 3.5.2. Omgevingsfactoren 38
  - 3.5.3. Uitvoeringsfactoren 39
- 3.6 Categorisering van invloedsfactoren 44
- 3.7 Samenvatting en conclusies asfaltverwerking-sproces 45

### 4. Dataverzamelmethode om inzicht in asfaltverwerkingsproces te vergroten 47

- 4.1 Inleiding 47
- 4.2 Analyse van het asfaltverwerkingsproces 47
- 4.3 Dataverzamelmethoden 48
  - 4.3.1. Handmatige dataverzamelmethode 48

---

4.3.2.	Autonome dataverzamelmethode	48
4.4	Positiebepalingmethoden	49
4.4.1.	Relatieve positiebepaling (dead-reckoning)	49
4.4.2.	Absolute positiebepaling	49
4.4.3.	Keuze voor plaatsbepalingmethode	50
4.5	Global Positioning System als autonome datacollectie methode	51
4.5.1.	Hoofdsegmenten van een satellietplaatsbepalingssysteem	51
4.5.2.	GPS satelliet signalen	52
4.5.3.	Basisconcept van GPS	52
4.5.4.	Verstoringbronnen van GPS-nauwkeurigheid	53
4.5.5.	Absolute of differentiële GPS-plaatsbepaling	55
4.5.6.	GPS ontvangers	57
4.6	Ontwerp van een monitoringssysteem voor het analyseren van het asfaltverwerkingsproces	58
4.7	Samenvatting en conclusies	61
<b>5.</b>	<b>Praktijkonderzoek: het asfaltverwerkingsproces in de praktijk</b>	<b>63</b>
5.1	Inleiding	63
5.2	Doel en afbakening van de interviews	63
5.3	De asfaltspreidmachinist	64
5.3.1.	Verantwoordelijkheid van de asfaltspreidmachinist	64
5.3.2.	Samenwerking tussen de asfaltspreidmachinist en de overige leden van de asfaltploeg	64
5.3.3.	Instellingen aan de machine door de asfaltspreidmachinist	65
5.4	De balkman	66
5.4.1.	Verantwoordelijkheid van de balkman	66
5.4.2.	Samenwerking tussen de balkman en de overige leden van de asfaltploeg	67
5.4.3.	Instelling aan de machine door de balkman	68
5.4.4.	Kwaliteitsborging bij het asfaltspreiden in de praktijk	70
5.5	De walsmachinist	70
5.5.1.	Verantwoordelijkheid van de walsmachinist	70
5.5.2.	Samenwerking tussen de walsmachinist en de overige leden van de asfaltploeg	72
5.5.3.	Instellingen aan de machine door de walsmachinist	73
5.5.4.	Kwaliteitsborging bij het verdichtingsproces in de praktijk	75
5.6	Samenvatting en conclusies	76
<b>6.</b>	<b>Ontwikkeling in de industrialisatie van het asfaltverwerkingsproces</b>	<b>78</b>
6.1	Waarom industrialiseren?	78
6.2	Ontwikkelingen in automatisering van het asfaltverwerkingsproces	78
6.2.1.	CIRCOM	78
6.2.2.	CIRPAV	80
6.2.3.	OSYRIS	82
6.2.4.	Het Asfalt Registratie Systeem (ARS)	83
6.2.5.	AutoPave	85
6.2.6.	Intelligent Compaction	85
6.3	Samenvatting en conclusies	88
<b>7.</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>90</b>
7.1	Inleiding	90
7.2	Conclusies	90

---

- 
- 7.2.1. Hoofdconclusies 90
  - 7.2.2. Deelconclusies 92
  - 7.3 Aanbevelingen 95
  - 7.3.1. Aanbevelingen ten aanzien van het asfaltverwerkingsproces 95
  - 7.3.2. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek 96
  - 7.4 Terugkoppeling op het onderzoek 97

**Begripsbepaling en afkortingen 98**

**Literatuurlijst 99**

**Bijlage A Causaal relatiediagram 105**

**Bijlage B Onderzoeksmodel 106**

**Bijlage C Relatiediagram invloedsfactoren (eind-)verdichting  
wegconstructie 107**

**Bijlage D Aanvoer asfalt vanuit de hopper naar de balk 108**

**Bijlage E Lijst met geïnterviewden 109**

**Bijlage F Grafieken asfaltspreidmachinisten 110**

**Bijlage G Grafieken balkmannen 115**

**Bijlage H Grafieken walsmachinisten 125**

**Bijlage I Computer Integrated Road Construction (CIRC) 135**

**Bijlage J Man Machine Interface (MMI) OSYRIS 137**

**Bijlage K AutoPave flowchart 138**

**Bijlage L Bomag's Intelligent Compaction systeem 139**

**Bijlage M Dynapac Asphalt Temperature Meter 140**

---

# 1. Onderzoeksontwerp

---

Volgens Doodbedard & Verschuren [2000] is een goed onderzoeksontwerp van wezenlijk belang voor elke studie. Dit onderzoek is dan ook opgezet op basis van deze onderzoeksmethode. Deze methode behandelt onder andere de formulering van de probleemstelling en doelstelling, het onderzoeksmodel, de onderzoeksvragen, het onderzoeksmateriaal, de onderzoeksstrategie en tenslotte de afbakening van het onderzoek.

## 1.1 Projectkader

De traditionele verhouding tussen opdrachtgever en opdrachtnemer verandert. Deze verandering is terug te vinden in de toepassing van innovatieve contractvormen. Steeds vaker wordt er gebruik gemaakt van geïntegreerde contracten waarbij onderhoudscontracten een onderdeel zijn van DB(F)M-contracten. De overheid is een dominante speler in de gww-sector en bepaald dan ook in sterke mate de ontwikkelingen in deze sector. De Rijksoverheid is één van de belangrijkste opdrachtgevers voornamelijk op het gebied van realisatie en instandhouding van infrastructuur [Dorée, 1999]. Rijkswaterstaat is één van de voorlopers aan opdrachtgeverzijde als het gaat om het toepassen van nieuwe contractvormen. In deze nieuwe contractvormen stelt de opdrachtgever steeds minder specifieke eisen op lager niveau (proces/bouwstof) maar worden er steeds meer functionele eisen gesteld, hierdoor is er een sterke focus naar de functiekwaliteit [[www.koac-npc.nl](http://www.koac-npc.nl)]. Opdrachtgevers laten hierbij de kwaliteitscontrole steeds meer over aan de opdrachtnemer (ontwerper en aannemers). Deze partijen hebben hierdoor meer verantwoordelijkheid gekregen voor de *kwaliteit*. Een belangrijke voorwaarde voor functiekwaliteit is een gepland en beheerst proces. Om de opdrachtgevers (klanten) zekerheid te geven dat de kwaliteit geleverd wordt, gaan volgens Bouwend Nederland [2005] steeds meer bouwbedrijven investeren in procesbeheersing. Voor bedrijven wordt het steeds belangrijker om bedrijfsmatiger te gaan werken en hun werkprocessen te *professionaliseren*.

Technologie speelt een belangrijke rol in de asfaltwegbouw. Voor een asfaltwegbouwproject is verschillend gespecialiseerd materieel nodig. Ondanks de toepassing van deze technologie is de kwaliteit van het aan te brengen asfalt op dit moment voor een groot deel afhankelijk van de ervaring/vakmanschap. De asfaltwegbouwsector kan worden getypeerd als een ambacht. Een ambacht wordt in het dagelijks taalgebruik vaak geassocieerd met vaakbekwaamheid, kwaliteit, degelijkheid en echtheid [EIM, 2001]. Dit blijkt ook uit de ervaring die benodigd is om de vereiste kwaliteit te behalen gedurende het verdichtingproces. Een belangrijk aspect bij professionalisering is *industrialisatie*. Uit de praktijk blijkt dat het verdichtingproces cruciaal is voor de kwaliteit van het eindproduct. Het verdichten van asfalt is hoofdzakelijk gebaseerd op *ervaringskennis*. Indien er met vergelijkbare materialen (mengsels) onder vergelijkbare condities wordt

---

gewerkt weet men vaak welke resultaten er verwacht mogen worden, dit op basis van ervaring. Het resultaat wordt echter onzeker indien er buiten het “ervaringsgebied” gewerkt wordt [Ter Huerne, 2004]. Het werken met verschillende mengsels en fluctuerende omstandigheden (temperatuur, asfalttemperatuur, zomer/winter) zorgen ervoor dat elk project maatwerk is [VBW, 3-2001].

Industrialisatie is van belang om de factor vakmanschap/ervaring (impliciete kennis) te verminderen, echter de vakbekwaamheid moet worden bevorderd [Ter Huerne *et al*, 2006]. Een optimale inzet van mensen en middelen en een betere beheersing van kwaliteit worden steeds belangrijker voor de concurrentiepositie. Om dit te bereiken is inzicht in de primaire werkprocessen van groot belang. Het toepassen van *nieuwe (ICT) technologieën* kunnen mogelijk een bijdrage leveren aan deze professionalisering. Door de Adviesraad Technologiebeleid Bouwnijverheid (ARTB) is in 1998 de ARTB Bouwvisie 2015 geschreven. In dit rapport wordt beschreven hoe de bouw er in 2015 mogelijk uit zal zien. Volgens de ARTB zal de uitvoeringstechniek op de bouwplaats steeds meer kenmerken vertonen van een industriële productiewijze. Een van de voorspellingen van de ARTB is dat het toevoegen van “intelligentie” (navigatiegereedschap, continu metingen) aan bestaand materiaal en materieel een brede toepassing zal krijgen. Doordat er steeds hogere eisen worden gesteld aan de kwaliteit en uitvoeringstijd, zullen er volgens de ARTB steeds meer technieken uit de industrie toegepast worden op de bouwplaats. Een van de belangrijkste groepen van innovatie zal bestaan uit hulpmiddelen die het registreren, positioneren, inmeten, opnemen, sonderen en communiceren zonder menselijke tussenkomst vergemakkelijken [ARTB, 1998].

#### **Onderzoek Universiteit Twente**

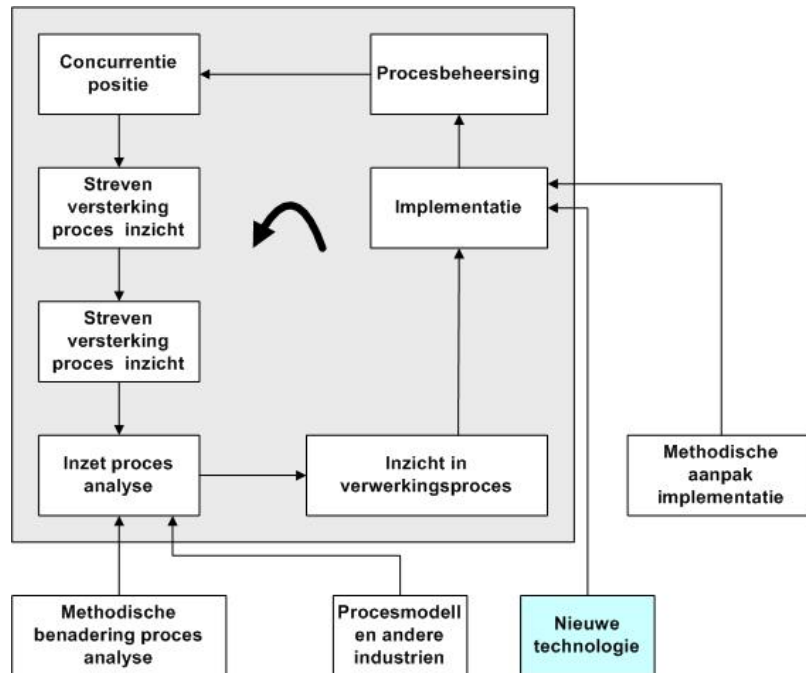
Vanuit de Universiteit Twente is er een onderzoekprogramma gestart naar de professionalisering van de asfaltwegenbouwsector. De verwachting is dat een betere procesbeheersing hieraan bij kan dragen. Door de kennis en ervaring van bedrijven uit de asfaltwegenbouwsector te combineren met de kennis en ervaring van de Universiteit Twente kan wellicht een versnelling tot stand worden gebracht in de professionalisering en concurrentiepositie van de bedrijven. In de wetenschap is op het gebied van de asfaltwegenbouw verreweg het meeste onderzoek uitgevoerd naar asfalt als materiaal en naar het constructieve ontwerp van wegen. Er is tot op heden relatief weinig onderzoek verricht naar de systematische inzet van mensen en middelen in het asfaltverwerkingsproces.

[ [www.cit.utwente.nl](http://www.cit.utwente.nl) ].

In deze aanleiding is onder meer naar voren gekomen dat *kwaliteit* en *procesbeheersing* steeds belangrijker worden. Maar wat verstaat men onder kwaliteit en procesbeheersing? De uitvoeringswijze zou volgens de ARTB in 2015 steeds meer kenmerken hebben van een industriële productiewijze. Maar hoe ver zijn ze in de ontwikkeling van technologieën die een geïndustrialiseerde werkwijze in de wegenbouw mogelijk maakt? En kan er een systeemarchitectuur worden ontworpen die toegepast kan worden bij pilotprojecten om data te verzamelen betreffende de inzet van mensen en middelen gedurende het asfaltverwerkingsproces?

## 1.2 Probleemstelling

Uit het projectkader welke in paragraaf 1.1 is beschreven is duidelijk dat momenteel veel beslissingen worden genomen op basis van ervaringskennis en dat er weinig expliciete kennis over het asfaltverwerkingsproces. Een continue monitoring van het asfaltverwerkingsproces waarbij direct ingrijpen bij onvolkomenheden mogelijk is ontbreekt op dit moment. Vanuit de Universiteit Twente wordt onderzoek verricht naar de professionalisering in de asfaltwegenbouw. Eén van de aspecten welke een bijdrage kan leveren aan de versnelling van professionalisering in de asfaltwegenbouw is de toepassing van nieuwe technologieën welke uiteindelijk een bijdrage kunnen leveren aan een verbeterde procesbeheersing (zie figuur 1.1).



Figuur 1.1: centrale cyclus van concurrentie en verbetering van bedrijfsprocessen

De toepassing van (nieuwe) technologieën dient om:

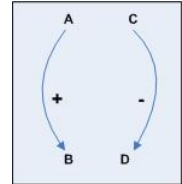
1. het materieel gebruikt bij het asfaltverwerkingsproces continu te monitoren zodat op elk tijdstip duidelijk is waar zich welke machine bevindt → *inzicht in het verwerkingsproces*
2. de factoren die invloed hebben op de uiteindelijke kwaliteit van het asfalt continu te monitoren gedurende het asfaltverwerkingsproces → *procesbeheersing*.
3. de bestuurder van het materieel te ondersteunen bij het uitvoeren van zijn werkzaamheden → *efficiëntere inzet mens en middelen*

De probleemstelling voor dit onderzoek kan als volgt worden geformuleerd:

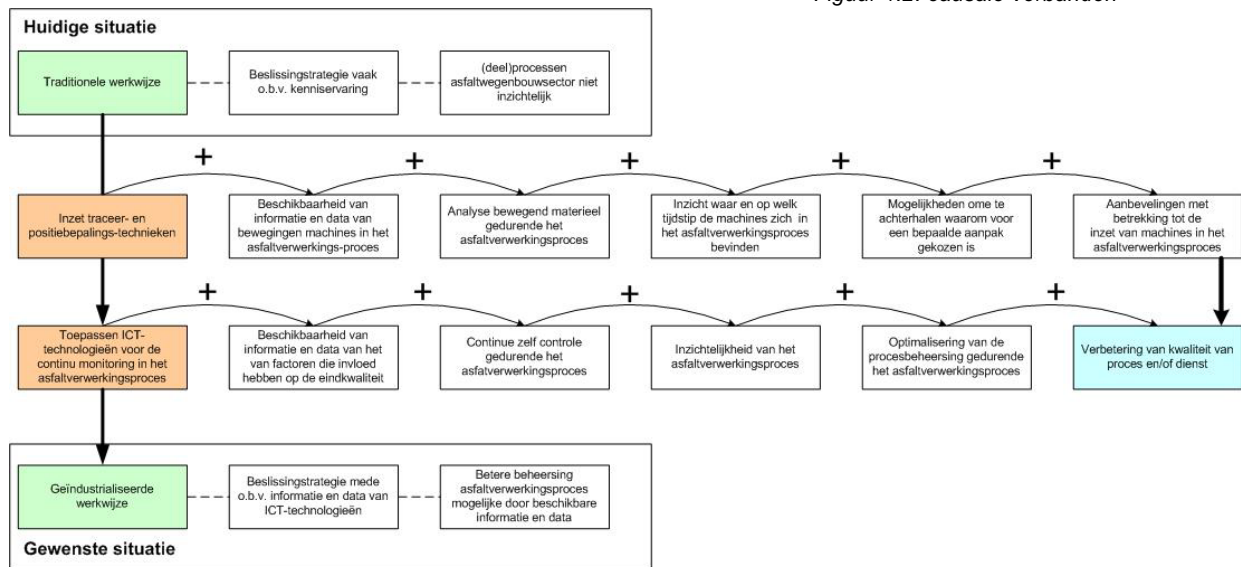
Er is relatief weinig inzicht in het asfaltverwerkingsproces en het is onduidelijk welke ontwikkelde of in ontwikkeling zijnde technologieën een bijdrage kunnen leveren aan het verbeteren van de procesbeheersing en het inzicht in het asfaltverwerkingsproces.

### 1.3 Doelstelling

Alvorens de doelstelling van dit onderzoek geformuleerd wordt zal eerst in een causaal relatiediagram aangegeven hoe de doelstelling een bijdrage zal leveren aan de problematiek, welke beschreven is in paragraaf 1.1. Een *causaal relatie diagram* is een schema welke gebruikt wordt om oorzaken en gevolgen in verband te brengen. In figuur 1.2 zijn A en C de oorzaken en de gevolgen worden gerepresenteerd door B respectievelijk D. Het positieve teken naast de pijl betekent dat als A toeneemt ook B zal toenemen. Verder geldt bij een negatief teken dat indien oorzaak C zal toenemen het gevolg (D) zal afnemen. In figuur 1.3 en bijlage A zijn in het kader van dit onderzoek de volgende causale verbanden weergegeven.



Figuur 1.2: causale verbanden



Figuur 1.3: causale relatie diagram professionalisering in de asfaltwegbouw

#### Toelichting op de causale relatie diagram

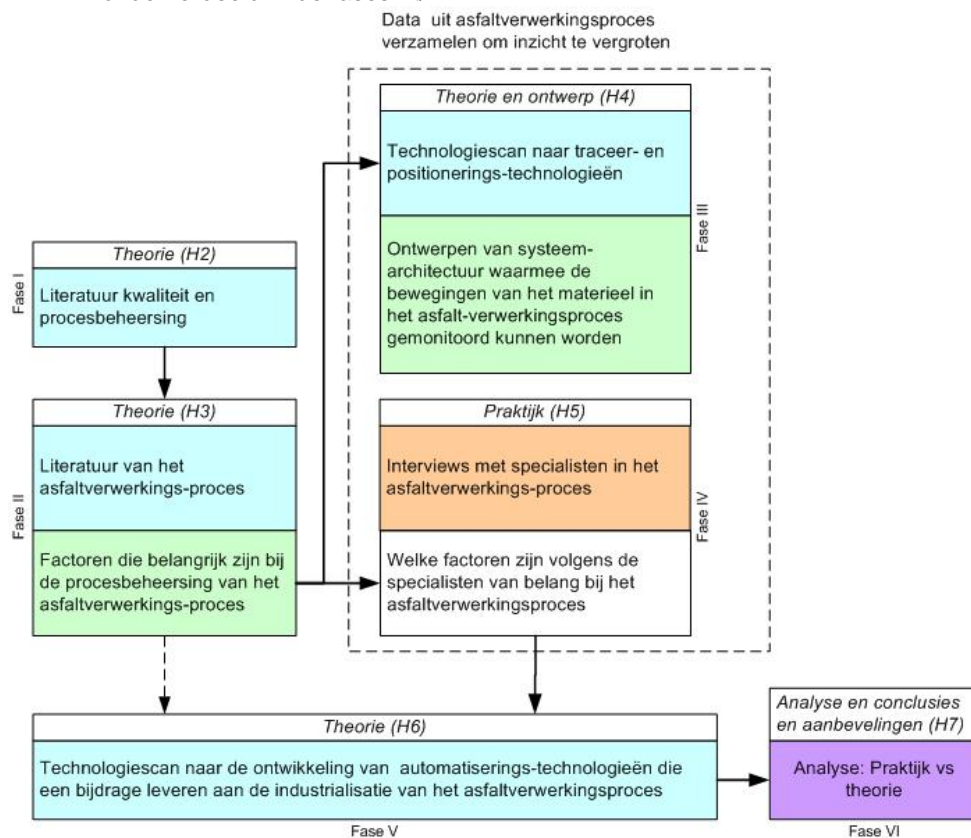
Het uiteindelijke doel is om de procesbeheersing en kwaliteit van het asfaltverwerkingsproces te kunnen verbeteren. Om dit te kunnen bereiken is er inzichtelijkheid in het asfaltproces benodigd. Door toepassing van ICT-technologieën kan er informatie en data verzameld en geanalyseerd worden. Vanuit deze analyse kunnen er aanbevelingen worden gedaan om het asfaltverwerkingsproces te kunnen optimaliseren. De toepassing van ICT technologieën kan er voor zorgen dat de traditionele werkwijze in de asfaltsector (deels) verlaten wordt en er een stap gezet wordt in de richting van een (meer) geïndustrialiseerde werkwijze.

Het doel van dit onderzoek is tweeledig en kan als volgt worden geformuleerd:

- (1) Het inzicht in het asfaltverwerkingsproces vergroten door (a) het beschrijven van een monitoringsysteem die o.a. de positie van het materieel kan bepalen en (b) het afnemen van interviews met asfaltploegen;
- (2) Het doen van aanbevelingen met betrekking tot de toepassing van ontwikkelde of in ontwikkeling zijnde technologieën die een bijdragen kunnen leveren aan de inzichtelijkheid en beheersing van het asfaltverwerkingsproces

## 1.4 Onderzoeksmodel

Alvorens er onderzoeksvragen worden geformuleerd wordt eerst globaal in beeld gebracht welke stappen er benodigd zijn om de doelstelling te bereiken. Dit gebeurt door het opstellen van een onderzoeksmodel. Het onderzoeksmodel (figuur 1.4 en bijlage B) zorgt er onder meer voor dat duidelijk wordt wat voor theoretische achtergronden (kernbegrippen en kaders) er in het kader van dit onderzoek van belang zijn. Het onderzoek is onderverdeeld in de fases I t/m VI.



Figuur 1.4: het onderzoeksmodel

### Toelichting op het onderzoeksmodel

Het onderzoek is op te delen in zes fasen. In *onderzoeksfase I* zal literatuur over kwaliteit en procesbeheersing bestudeerd worden. Vervolgens zal op basis van literatuur in *onderzoeksfase II* het asfaltverwerkingsproces worden beschreven. De uitkomst van *onderzoeksfase II* is een overzicht van factoren die van invloed zijn op het asfaltverwerkingsproces en de uiteindelijke kwaliteit van de wegconstructie. Het inzicht in het asfaltverwerkingsproces moet worden vergroot. In dit onderzoek wordt getracht op twee manieren het inzicht te vergroten. In *Onderzoeksfase III* wordt op basis van een technologiescan een technologie geselecteerd die het mogelijk maakt om de positie en snelheid van het wegebouwkundig materieel te monitoren. Zoals in de inleiding is beschreven gebeurt in het asfaltverwerkingsproces veel op basis van kennis en ervaring. In onderzoeksfase II zijn op basis van literatuur de invloedsfactoren en variabelen bepaald. In onderzoeksfase IV wordt getracht door middel van interviews te achterhalen op basis van welke factoren de asfaltploegen in de praktijk hun handelingen bepalen. Zoals in het



---

projectkader is beschreven wil men de asfaltwegenbouwsector professionaliseren. Een van de mogelijkheden hierbij is het automatiseren van processen, wat een vorm van industrialisatie is. Door producenten en wetenschappelijke instellingen worden er systemen/technologieën ontwikkeld die het asfaltverwerkingsproces moeten automatiseren en een bijdrage kunnen leveren aan de procesbeheersing. In *onderzoeksfase V* zal er een technologiescan worden uitgevoerd naar welke technologieën er ontwikkeld of in ontwikkeling zijn en die een bijdrage kunnen leveren aan het automatiseren en beheersen van het asfaltverwerkingsproces. In *onderzoeksfase VI* vindt de analyse plaats door theorie met de praktijk te confronteren. Hoe wordt er namelijk in de praktijk omgegaan met invloedsfactoren die in de literatuur zijn gevonden? En hoe sluiten de ontwikkelde systemen aan bij de huidige beheersstrategie in de asfaltwegenbouw?

## 1.5 Onderzoeksvragen

De onderzoeksopzet wordt verfijnd door het opstellen van onderzoeksvragen. Deze vragen worden geformuleerd door middel van centrale en deelvragen [Verschuren en Dodewaard, 2000]. Uit het projectkader (paragraaf 1.1) blijkt dat door een veranderende verhouding van opdrachtgever-opdrachtnemer en nieuwe contractvormen steeds meer de focus komt op kwaliteit en wordt er door bedrijven steeds meer wordt geïnvesteerd in procesbeheersing. Hierbij zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. ***Wat is de relatie tussen kwaliteit en procesbeheersing?***
  - a. Wat verstaan we onder kwaliteit?
  - b. Wat verstaan we onder procesbeheersing?

Voor het beheersen van een proces is het van belang om factoren cq. parameters te definiëren die van invloed zijn op de kwaliteit.

2. ***Welke parameters/factoren in het asfaltverwerkingsproces hebben volgens de literatuur invloed op de eindkwaliteit van de wegconstructie?***
  - a. Wat is een asfaltverwerkingsproces?
  - b. Welke factoren kunnen worden gedefinieerd die volgens de literatuur van invloed zijn op de eindkwaliteit van de wegconstructie?
  - c. Welke van deze factoren zijn op de projectlocatie nog te beïnvloeden?
  - d. Welke kwaliteitscontroles worden er uitgevoerd in het asfaltverwerkingsproces?

Op basis van de theorie van het asfaltverwerkingsproces is het mogelijk om factoren/parameters te definiëren die van invloed zijn op de kwaliteit. In het asfaltverwerkingsproces worden veel handelingen, zoals het aantal walsovergangen, bepaald op basis van ervaringskennis. Het is van belang om te achterhalen op basis van welke factoren in de praktijk werkzaamheden worden uitgevoerd. Enerzijds kunnen de invloedsfactoren uit de theorie gevalideerd worden en anderzijds wordt geprobeerd de expliciete ervaringskennis inzichtelijker te maken.

3. **Op welke wijze kan positie- en snelheidsdata van het materieel uit een asfaltverwerkingsproces verzameld worden?**

- Welke dataverzamelmethode(n) worden er onderscheiden?
- Welke methoden/technieken worden er in de literatuur onderscheiden om de positie van het materieel gedurende het asfaltverwerkingsproces te bepalen?
- Wat zijn de voordelen/nadelen en beperkingen van de verschillende positiebepalingstechnieken?
- Hoe ziet de systeemarchitectuur eruit voor het verzamelen van positie en snelheidsdata van het materieel gedurende het asfaltverwerkingsproces?

4. **Op welke wijze wordt er in de praktijk omgegaan met de op basis van de literatuur gedefinieerde invloedsfactoren?**

Om meer inzicht in het asfaltverwerkingsproces te krijgen is het verkrijgen van data van het asfaltverwerkingsproces van belang. Op basis hiervan zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd.

In het projectkader kwam ook het aspect industrialisatie ter sprake. Industrialisatie kan zorgen voor een optimale inzet van mensen en middelen. In de wetenschap wordt er in samenwerking met producenten onderzoek gedaan naar op welke wijze asfaltverwerkingsprocessen kunnen worden geïndustrialiseerd om de beheersing van het asfaltverwerkingsproces te verbeteren. Om de ontwikkelingen in kaart te brengen is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

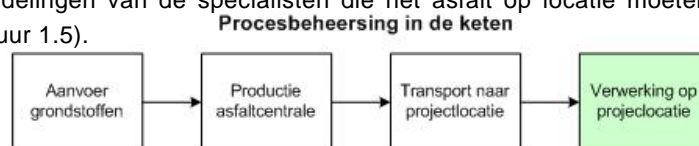
5. **Wat zijn de ontwikkelingen bij de industrialisatie van het asfaltverwerkingsproces?**

- Wat is de functie van de (ontwikkelde) systemen die het asfaltverwerkingsproces moeten industrialiseren?
- Wat zijn de voordelen en tevens de beperkingen van de systemen?

6. **Welke conclusies en aanbevelingen kunnen getrokken worden indien er gekeken wordt naar de aansluiting van de huidige ontwikkelingen van industrialisatie en de stand van procesbeheersing in het asfaltverwerkingsproces?**

## 1.6 Begripsbepaling en afbakening

Een afbakening zorgt voor een systematische begrenzing van de vraagstelling. Om een goede procesbeheersing te realiseren zal naar elke schakel in de (logistieke) keten gekeken moeten worden. In dit onderzoek wordt er echter alleen gekeken naar de procesbeheersing gedurende de asfaltverwerking op projectlocatie, met de focus op het bewegend materieel en handelingen van de specialisten die het asfalt op locatie moeten verwerken (figuur 1.5).



Figuur 1.5: afbakening van het onderzoek

Een verdere afbakening wordt bereikt door het formuleren van de kernbegrippen van het onderzoek (tabel 1.1)

Kernbegrippen	Theoretisch kader
Kwaliteit	Literatuur over kwaliteit
Procesbeheersing	Literatuur over procesbeheersing
Asfaltverwerkingsproces	Literatuur over asfaltverwerkingsproces
Positiebepaling en dataverzameling	Literatuur over positiebepaling en dataverzameling

Tabel 1.1: kernbegrippen en theoretisch kader

## 1.7 Onderzoeksstrategie

Een onderzoeksstrategie is een geheel van samenhangende beslissingen over de wijze waarop het onderzoek uitgevoerd gaat worden. Bij de uitvoering wordt in het bijzonder gedoeld op het vergaren van relevant materiaal en de verwerking van dit materiaal tot antwoorden op de vraagstelling [Verschuren en Dodewaard, 2000]. Alvorens een onderzoeksstrategie wordt gekozen zal er eerst een beslissing gemaakt moeten worden tussen de volgende type onderzoek:

1. Kwalificerend onderzoek vs. kwantificerend onderzoek;
2. Empirisch onderzoek vs. bureauonderzoek.

In de literatuur worden verscheidene onderzoeksstrategieën onderscheiden, Verschuren en Dodewaard [2000] onderscheiden de volgende:

- Survey
- Experiment
- Casestudy (gevalstudie)
- Gefundeerde theoriebenadering
- Bureauonderzoek

### *Gekozen onderzoeksstrategie*

Voor dit onderzoek zal er gebruik worden gemaakt van de combinatie bureauonderzoek en empirisch onderzoek. Het onderzoek zal *kwalitatief* van aard zijn, het kenmerk van kwalificerend onderzoek is dat er op een verbale en beschouwende wijze wordt gerapporteerd [Verschuren en Dodewaard, 2000]. Onderstaande tabel (tabel 1.1) geeft een overzicht wanneer een bureauonderzoek en wanneer een empirische onderzoeksstrategie wordt gebruikt voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen.

	onderzoeksstrategie	
	Bureau onderzoek	Empirisch onderzoek
Onderzoeksvraag 1	X	
Onderzoeksvraag 2	X	
Onderzoeksvraag 3	X	
Onderzoeksvraag 4		X
Onderzoeksvraag 5	X	

Tabel 1.2: bureau en/of empirisch onderzoek per onderzoeksvraag

### *Bureauonderzoek*

Antwoorden op de onderzoeksvragen 1,2,3 en 5 zullen worden gezocht in de literatuur, hiermee vallen deze vragen binnen de categorie "bureauonderzoek".

---

### *Empirisch onderzoek - Interview*

Bij de onderzoeksvraag 4 zal er empirisch onderzoek worden gedaan en gebruik worden gemaakt van de interviewtechniek als dataverzamelmethode. Een interview kan volgens Hutjes en van Buuren [1991] worden gedefinieerd als een vraaggesprek met als doel het verzamelen van informatie uit mededelingen van de ondervraagde persoon

## **1.8 Leeswijzer**

In *hoofdstuk 2* wordt op basis van literatuur de begrippen “kwaliteit” en “procesbeheersing” nader toegelicht. In dit hoofdstuk wordt ondermeer duidelijk wat de relatie is tussen kwaliteit en procesbeheersing.

In *hoofdstuk 3* wordt op basis van de literatuur het asfaltverwerkingsproces beschreven. Duidelijk zal worden op welke wijze heden ten dagen de kwaliteit gecontroleerd en beheerst wordt. Tevens worden er op basis van literatuur factoren gedefinieerd die binnen het asfaltverwerkingsproces van invloed zijn op de uiteindelijke kwaliteit van de wegconstructie?

In *hoofdstuk 4* wordt door middel van een technologiescan in kaart gebracht welke technologieën gebruikt kunnen worden voor het vastleggen van de bewegingen van het materieel gedurende het asfaltverwerkingsproces. Er wordt tevens een systeemarchitectuur ontworpen en beschreven waarmee de bewegingen van het materieel gedurende het asfaltverwerkingsproces gemonitord kunnen worden.

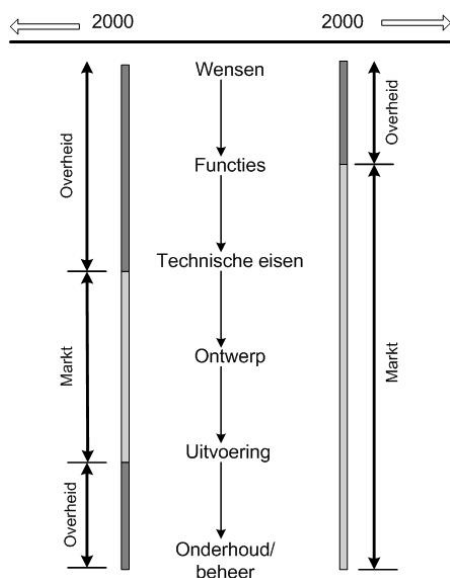
*Hoofdstuk 5* staat in het teken van praktijkonderzoek. In dit hoofdstuk wordt beschreven op welke wijze men in de praktijk omgaat met invloedsfactoren. Hoe voeren de specialisten hun werkzaamheden uit en op basis waarvan (factoren)? Wat zien zij als belangrijkste invloedsfactor op de kwaliteit van de wegconstructie?

De belangrijkste onderzoeken *naar* en ontwikkelingen *van* automatisering in de asfaltwegenbouw worden toegelicht in *hoofdstuk 6*. Er zijn verschillende systemen in ontwikkeling die het mogelijk maken om het asfaltverwerkingsproces verder te automatiseren en te beheersen.

Tenslotte worden in *hoofdstuk 7* conclusies getrokken ten aanzien van de uitkomsten van het onderzoek en worden er aanbevelingen gedaan.

## 2. Kwaliteit en procesbeheersing

### 2.1 Inleiding



Figuur 2.1: veranderende rollen  
[Bron: Ter Huerne et al, 2006]

Zoals genoemd in het projectkader (paragraaf 1.1) verandert de verhouding tussen opdrachtgever en opdrachtnemer door de komst van nieuwe contractvormen. Doordat de overheid het principe “de markt, tenzij...” hanteert komen steeds meer taken en verantwoordelijkheden bij marktpartijen te liggen (figuur 2.1). Door deze verschuiving krijgen marktpartijen meer vrijheid om een eigen aanpak te kiezen en wordt het toepassen van innovaties gestimuleerd. Met de komst van de nieuwe contractvormen is het voor marktpartijen mogelijk om meer geld te verdienen maar ook te verliezen met de beheersing en verbetering van het uitvoeringsproces [Ter Huerne et al, 2006]. Door de verschuiving komen er meer risico's en een verantwoordelijkheid voor het goed functioneren van de constructie bij de marktpartijen. De garantieperiode voor het product is meer dan verdubbeld, dit zorgt ervoor dat procesbeheersing en de verbetering van kwaliteit meer aandacht vragen van de uitvoerende partijen. Dit onderschrijft het belang van procesbeheersing. Maar wat verstaat men onder kwaliteit, en wat is de rol van procesbeheersing hierin?

### 2.2 Kwaliteit in theorie

Er zijn twee strategieën mogelijk waarop geconcurrereerd kan worden: *kostenleiderschap* en *product differentiatie* [Hill, 1988]. In het verleden was er vooral vraag naar goedkope producten, en was dus kostenleiderschap belangrijk. Tegenwoordig is deze vraag verschoven naar kwalitatief hoogwaardige producten. Deze verschuiving is ook terug te vinden in bouwsector door de komst van nieuwe contractvormen. Bij deze nieuwe contractvormen wordt er niet alleen aanbesteed op basis van laagste inschrijfprijs, maar wordt er ook gekeken naar de kosten gedurende de gehele levenscyclus van het product. Het kwaliteitsaspect wordt hierbij een steeds belangrijker beoordelingsaspect. Kwaliteit is echter een subjectief begrip, er is geen eenduidige definitie betreffende het begrip kwaliteit. In de literatuur zijn veel omschrijvingen van het begrip “kwaliteit” te vinden. Volgens Kok (1993) in Van Doorn en Spiering (2001) zijn deze omschrijvingen in te delen in twee benaderingswijzen:

- De eerste benaderingswijze gaat uit van een *interne oriëntatie*. Hierbij gaat het om de wijze waarop verschillende (bedrijfs)processen op elkaar zijn afgestemd. Het functioneren van de interne organisatie wordt als bepalend gezien voor de kwaliteit van de organisatiestructuur en haar producten cq diensten.
- De tweede benaderingswijze gaat uit van een *externe oriëntatie*. Hierbij is kwaliteit de manier waarop, en de mate waarin er tegemoet gekomen wordt aan de verwachtingen en eisen van de klant/opdrachtgever. De tevredenheid van de klant speelt in deze benaderingswijze de belangrijkste rol.

---

Het begrip “kwaliteit” geldend voor dit onderzoek kan het beste met de “interne” benaderingswijze worden benaderd. Dit omdat bij deze benadering het begrip kwaliteit vanuit een procesmatige kant beschreven wordt en de focus is gericht op hoe je door het inrichten en afstemmen van de processen de kwaliteitsstandaard kan halen. Bij de tweede benaderingswijze gaat het om een subjectieve mening. Er valt altijd over te discussiëren of een product of dienst kwalitatief wel of niet goed is. Vele wetenschappers hebben al over de subjectieve zijde van het begrip kwaliteit geschreven. Achtereenvolgens wordt het begrip “kwaliteit” beschreven volgens de wetenschappers Crosby, Garvin en Deming. Al deze wetenschapper beschrijven echter het begrip kwaliteit vanuit de *interne benaderingswijze*.

### **Kwaliteit volgens Crosby**

Crosby (1979) omschrijft kwaliteit als: “*kwaliteit is het conformeren aan specificaties*”. Deze definitie gaat ervan uit dat er specificaties dienen te worden opgesteld om een bepaalde kwaliteit te bereiken. Afwijking van deze specificaties wordt niet getolereerd. Het opstellen en handhaven van specificaties dient als raamwerk en heeft als doel: producten van een zelfde kwaliteit. Afhankelijk van de eisen aan, en productiewijze van het product, worden er specificaties bepaald. Deze benadering gaat ervan uit dat indien de productie processen optimaal zijn ingericht en consequent worden uitgevoerd, hier producten uit voort vloeien met de juiste specificaties en de juiste kwaliteit. Belangrijk in deze benaderingswijze is dat de kwaliteit dus niet wordt beoordeeld door de klant, omdat kwaliteit al geborgd wordt in het productieproces. Procesbeheersing zorgt ervoor dat er producten worden geproduceerd die voldoen aan bepaalde normen en standaarden. De normen en standaarden behorende bij het type product vormen de objectieve maatstaven.

### **Kwaliteit volgens Garvin**

Volgens Garvin (2003) zijn er vijf benaderingswijzen om het begrip kwaliteit te definiëren;

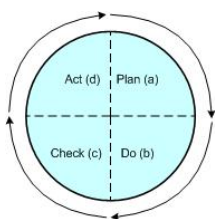
- Transcendente benadering (ideaalbeeldinvalshoek)
- Productgerichte benadering (economische invalshoek)
- Gebruikers georiënteerde benadering (marketing invalshoek)
- Productiegerichte benadering (technische invalshoek)
- Waardegerichte benadering (bedrijfskundige invalshoek)

De definitie voor “kwaliteit” geldend voor dit onderzoek kan het beste benaderd worden met de productiegerichte benadering omdat het proces in dit onderzoek centraal staat. Bij een productiegerichte benadering ligt de nadruk op de engineering- en productieprocedures. Volgens Garvin (2003) geldt in het algemeen voor een productiegerichte kwaliteitsdefinitie dat er overeenstemming moet zijn met de gestelde eisen. Indien er afwijkingen ten aanzien van het ontwerp of specificatie worden geconstateerd betekend dit een achteruitgang in kwaliteit. De productiegerichte benadering gaat ervan uit dat de mate waarin een proces beheerst wordt van invloed is op de kwaliteit van het eindproduct. Een kwaliteitsverbetering is in dit geval de vermindering van het aantal afwijking ten opzichte van het ontwerp en specificaties door een beheerst productieproces.

### Kwaliteit volgens Deming

Een belangrijke bijdrage in het kwaliteitsdenken is geleverd door W.M. Deming. Het begrip kwaliteit wordt door Deming (in Van Doorn en Spiering, 2001) als volgt gedefinieerd: “kwaliteit is een voorspelbare graad van uniformiteit en betrouwbaarheid, tegen een lage prijs en afgestemd op de markt”.

Bij deze kwaliteitsfilosofie wordt ervan uitgegaan dat naarmate de variabiliteit in het productieproces afneemt, de productiviteit en kwaliteit toenemen. Het uitgangspunt van Demings kwaliteitsfilosofie is dat alle factoren in het productieproces variëren en dat deze variaties door statistische technieken zichtbaar gemaakt kunnen worden. Door deze inzichtelijkheid kan vervolgens bepaald worden waar, wanneer en op welke wijze ingegrepen moet worden om de variatie te verminderen. Kwaliteitsverbetering wordt in dit verband gezien als een gerichte en continue inspanning om de variabiliteit tijdens het proces te verminderen (Van Doorn en Spiering, 2001). Deze continue inspanning om een proces te verbeteren is terug te vinden in de Deming-cirkel, ook wel kwaliteitscirkel genoemd. De kwaliteitscirkel (figuur 2.2) start met een planning van welke producten of diensten er geleverd gaan worden en op welke wijze deze geleverd gaan worden (plan-fase). In de 2<sup>e</sup> fase, de “do-fase” wordt het plan daadwerkelijk uitgevoerd. De 3<sup>e</sup> fase, checkfase, dient continu geverifieerd worden of dat wat in de planfase is bedacht ook wordt uitgevoerd. Indien er afwijkingen ten opzichte van het plan worden geconstateerd (check-fase) dienen deze in de “act”fase te worden aangepast.



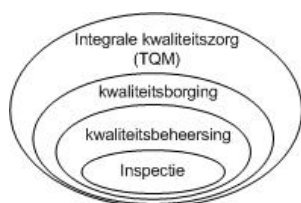
Figuur 2.2: de Deming cirkel

### Resumé

Alle drie de wetenschappers Crosby, Garvin en Deming zien *procesbeheersing* als belangrijke voorwaarden voor de kwaliteit van product of dienst. Het beheersen van kwaliteit (kwaliteitsmanagement) heeft een ontwikkeling doorgemaakt die zal worden beschreven in paragraaf 2.3.

## 2.3 Kwaliteitsmanagement

Volgens Anderson *et al* [1994] zijn er steeds meer organisaties die het strategische belang van kwaliteit en kwaliteitsmanagement onderkennen. Het voeren van effectief kwaliteitsmanagement kan zorgen dat competitieve bekwaamheid vergroot wordt. Hiermee kan een strategisch voordeel worden gecreëerd. De focus van kwaliteitsmanagement heeft zich volgens Tillema [2002] ontwikkeld van productgericht naar een totale kwaliteitsbenadering (TQM).



Figuur 2.3: ontwikkeling kwaliteitszorg  
[Bron: Doorn en Spiering, 2001]

Volgens Van Doorn en Spiering [2001] maakt de zorg van kwaliteit een ontwikkeling (zie figuur 2.3) door die te vergelijken is met de ontwikkeling in het kwaliteitsmanagement volgens Tillema [2002]. Het ontwikkelstadias “inspectie” en “integrale kwaliteitszorg” komen respectievelijk overeen met de productgerichte-benadering en Total Quality Managementbenadering van Tillema die onderstaand worden toegelicht.

#### 1. Productgerichte benadering

Het kwaliteitsmanagement aan het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw was een output gerichte benadering. De geproduceerde producten werden getest en steekproefsgewijs gecontroleerd en afgeleverd. Producten

---

die niet aan de kwaliteitseisen voldoen worden bij de output gerichte benadering pas vaak aan het einde van het productieproces ontdekt [Tillema, 2002].

2. *Productiegerichte benadering*

Het bleek dat de kosten die verbonden waren aan het controleren van afgekeurde series en het herstellen van producten te hoog waren. Het was beter om fouten in eindproducten te voorkomen in plaats van te constateren. Hierdoor kwam het besef dat het beter was om ook de primaire processen, die nodig waren om het product te maken, bij het kwaliteitsmanagement te betrekken, dit wordt ook wel de *productiegerichte benadering* genoemd.

3. *Systeemgerichte benadering*

Door de productiegerichte benaderingswijze kwam er meer inzicht in de processen. Men ontdekte dat de oorzaak van foute producten regelmatig in ondersteunende processen lag. Deze constatering is de basis van het ontstaan van de systeemgerichte benadering, waarin de aandacht vooral wordt gevestigd op relaties tussen de primaire en ondersteunende processen.

4. *Ketengerichte benadering*

Een niveau hoger in het kwaliteitsdenken is de keten gerichte benadering. Bij deze benadering wordt het belangrijk geacht om alle participanten in de keten erbij te betrekken wanneer het gaat om kwaliteit van producten en diensten.

5. *Totale kwaliteitsgerichte benadering*

Het overkoepelende niveau in het kwaliteitsdenken is de Total Quality Management benadering (TQM), waarbij organisaties volgens een structuur werken waarin verschillende elementen op elkaar inwerken en waarbij door deze interactie een nieuw systeem ontstaat.

De toepassing van het Total Quality Management (TQM) concept in o.a. de Japanse fabrieksindustrie heeft geleid tot een toename van de productiviteit, afname in productiekosten en een verbeterde product betrouwbaarheid [Arditi en Murat Gunaydin, 1997]. Volgens Arditi en Gunaydin is dit kwaliteitsconcept ook toepasbaar in de bouwsector. Bij TQM wordt kwaliteit een strategisch doel. TQM wordt bereikt door een gezamenlijke inspanning van het personeel op alle niveaus in een organisatie en op deze wijze de klanttevredenheid te vergroten door een continue verbetering van de prestaties. Hierbij concentreert TQM zich op procesverbeteringen, klant en leverancier betrokkenheid, teamwork, kosteneffectiviteit en een werk zonder mankementen. Bij kwaliteitsmanagement, of het nou gaat om de productgerichte benadering of het Total Quality Management, is gericht op het managen van kwaliteit. Binnen het kwaliteitsmanagement kan er volgens Tillema [2002] onderscheid gemaakt worden tussen het plannen van kwaliteit, kwaliteitsbeheersing, kwaliteitsborging en kwaliteitsverbetering.



## 2.4 Kwaliteitsborging/kwaliteitsbeheersing in de civiele bouw

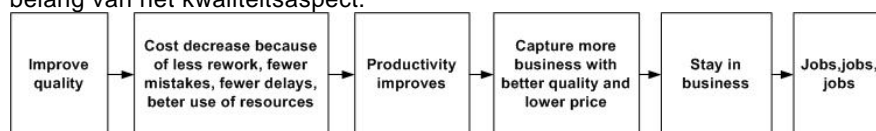
De focus in deze paragraaf is gericht op kwaliteitsbeheersing en kwaliteitsborging. De begrippen kwaliteitsborging en kwaliteitsbeheersing worden vaak door elkaar gebruikt. Doordat echter kwaliteitsbeheersing een onderdeel is van kwaliteitsborging is het van belang om deze begrippen van elkaar te scheiden. Onder **kwaliteitsbeheersing** wordt verstaan:

*“Een set van specifieke procedures die onderdeel zijn van het kwaliteitsborgingproces”.* [Bron: Arditi en Murat Gunaydin, 1997]

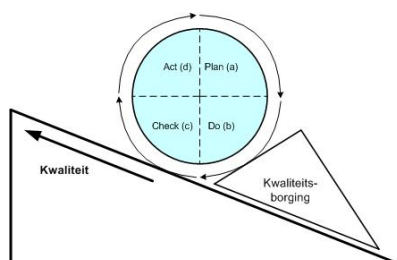
Onder **kwaliteitsborging** wordt verstaan:

*“Alle geplande en systematische activiteiten welke noodzakelijk zijn om er voor te zorgen dat er een vertrouwen is dat een structuur, systeem of component werkt volgens verwachting en conform specificaties.”* [Bron: Arditi en Murat Gunaydin, 1997]

Het begrip kwaliteitsborging is eind jaren '70 ontstaan. Bij kwaliteitsborging ligt de nadruk meer op de *proceskwaliteit* dan op de *productkwaliteit*. In de kwaliteitsborgingfase wordt er o.a. aandacht besteed aan het verbeteren van processen. Volgens Van Doorn en Spiering (2001) is de kwaliteitsborging in de Civiele Bouw, met uitzondering van de prefab betonindustrie, veel later op gang gekomen dan in de procesindustrie. In deze industrie is het proces en resultaat beter te voorspellen waardoor er ook gebruik kan worden van statistische proces beheersingstechnieken [Bovéé, 2003]. Volgens Van Doorn en Spiering [2001] kwam de aandacht voor kwaliteitsdenken in de civiele bouw later op gang onder andere door de traditionele en ambachtelijke werkwijze van de sector. Ook externe invloeden zoals de uniciteit van civiele projecten, externe invloeden op de projectlocatie hebben de toepassing van een kwaliteitssysteem niet bevorderd. In de grond-, weg- en waterbouwkunde sector hebben onderhoud en reparatiekosten een steeds grotere invloed op de life cycle kosten. Om o.a. deze kosten terug te dringen is het verbeteren van kwaliteit van de product of dienst van groot belang. De kettingreactie van Deming (figuur 2.4) heeft o.a. in Japan een belangrijke rol gespeeld als het gaat om de focus op kwaliteit. Deze benadering kan ook voor de civiele bouw van groot belang zijn. Dit vanwege de al eerder genoemde veranderende verhouding tussen opdrachtgever en opdrachtnemer en de toenemende belang van het kwaliteitsaspect.



Figuur 2.4: Deming ketenreactie [Bron: Saylor, 1992]



Figuur 2.5: kwaliteitsborging

De wig in figuur 2.5 symboliseert de kwaliteitsborging. Kwaliteitsborging dient ervoor om te zorgen dat er een minimum kwaliteitsniveau wordt gehaald. Om te zorgen dat er kwalitatief goede producten worden afgeleverd dient een bedrijf of sector gebruik te maken van een kwaliteitssysteem. Voor het beheersen van de kwaliteit zijn er in het verleden verscheidene technieken en procedures ontwikkeld. Door toepassing van deze technieken en procedures

---

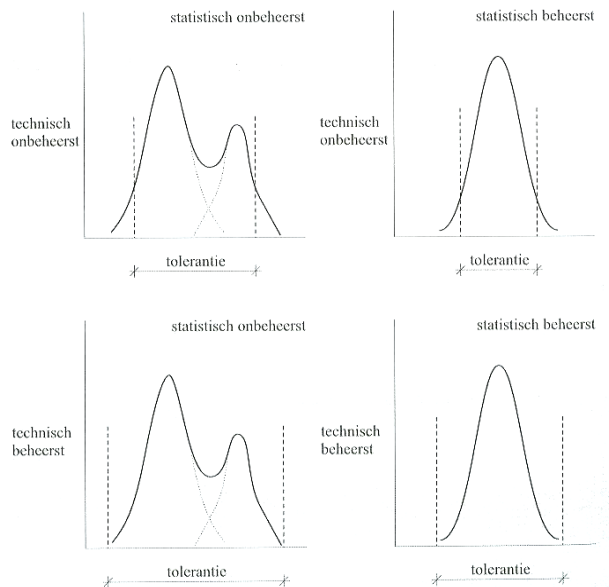
worden processen gemonitord en worden bronnen die kunnen leiden tot een verstoring van het proces opgespoord. De kwaliteit van een product of dienst wordt onder andere bepaald door de mate waarin het proces wordt beheerst. Een belangrijk aspect bij kwaliteitsbeheersing is het credo: *meten is weten*. Zonder meten heb je geen informatie en zonder informatie geen beheersing. Vanuit de Universiteit Twente wordt er onderzoek verricht naar de professionalisering van het asfaltverwerkingsproces. Het beheersen van het proces wordt steeds belangrijker vanuit kwalitatief oogpunt. De procesindustrie is al verder in het ontwikkelen en toepassen van procesbeheersingstechnieken. Maar wat er wordt verstaan onder procesbeheersing en welke technieken er te onderscheiden zijn, zal worden toegelicht in paragraaf 2.5.

## 2.5 Procesbeheersing

Het principe van procesbeheersing is dat het productieproces wordt opgedeeld in zo klein mogelijke stappen. Bij elke stap wordt een kwaliteitsmeting uitgevoerd. Op basis van de uitkomst van deze kwaliteitsmeting wordt het proces bijgestuurd. De eindkwaliteit van het product is onbekend, echter doordat men het proces beheerst kan men garanderen dat de kwaliteit constant is. Procesbeheersing is dus van belang om een bepaalde kwaliteitsstandaard te halen. In ieder (uitvoerings-)proces kunnen variaties voorkomen. Volgens Bovée [2003] tonen statistieken aan dat het bijna niet mogelijk is om producten af te leveren die exact voldoen aan de gestelde eisen, ook wel streefwaarden genoemd. Aan de afwijkingen ten opzichte van de streefwaarden worden maximale grenzen gesteld, ook wel toleranties genoemd. De variaties gedurende het proces zorgen ervoor dat ook in het eindproduct variaties ontstaan. Indien de variaties getoetst worden aan normen of standaarden kan worden achterhaald op welke wijze het proces is verlopen [Schipper, 2000]. Wanneer alle productkenmerken binnen de verwachte grenswaarden (toleranties) vallen is er sprake van een *beheerst proces*. De grenswaarde wordt bepaald op basis van variaties die inherent zijn aan het proces. Wanneer de productkenmerken buiten de grenswaarde vallen kunnen er naast van nature aanwezige procesvariabelen ook procesvreemde factoren aanwezig zijn. In dit laatste geval is er sprake van een *niet beheerst proces* [Bovée, 2003].

Een goede beheersing van het proces is essentieel voor de kwaliteit van het product. Bij procesbeheersing gaat het om (1) het kennen en beheersen van parameters die het proces kunnen beïnvloeden en (2) het monitoren van het proces om deze ad-hoc te kunnen bijsturen. Volgens Bovée [2003] moet er nog een extra onderscheid gemaakt te worden tussen:

1. *statistisch beheerste en niet beheerste*;
2. *technisch beheerste en niet beheerste processen (zie figuur 2.6)*.



**Figuur 2.6: statistisch (on)beheerst en technisch (on)beheerst**  
 [Bron: Bovée, 2003]

Een proces is *statistisch beheerst* wanneer het frequentie diagram een normale verdeling laat zien. Zijn er naast proces inherente invloeden ook procesvreemde factoren aanwezig, dan is dit terug te zien in een niet regelmatige vorm van de klokkromme. Men spreekt dan ook wel van een *statistisch niet beheerst* proces.

Een proces is *technisch beheerst* wanneer het frequentiediagram is gelegen binnen de maximale afwijkingen (toleranties). Indien het proces technisch niet beheerst is valt het frequentiediagram buiten de gestelde grenswaarden en dient het niveau ( $\mu$ ), de spreiding ( $\sigma$ ) of een combinatie van beiden worden teruggebracht tot acceptabele waarden.

De Mensen, de gehanteerde Methode, de toegepaste Machines en Materialen (4 M's) hebben een groot aandeel in de grootte van de spreiding (standaardafwijking). Een proces bestaat vaak uit verschillende deelprocessen. Variatie in spreiding en niveau in de verschillende deelprocessen kan volgens Bovée [2003] doorwerken in de afwijkingen in het totale proces.

### 2.5.1. Procesbeheersingstechnieken

Om de kwaliteit te beheersen zijn enkele technieken (methoden) ontwikkeld om de productieprocessen te beheersen. In de fabriekindustrie is een van de belangrijkste technieken de *Statistical Process Control* (SPC). Bij deze techniek wordt er gekeken naar de stabiliteit van een proces door het detecteren van de aanwezigheid van oorzaken van instabiliteit. Als gevolg van de verschuiving van productgerichte benadering naar de procesgerichte benadering (detectie naar preventie) is er ook een verschuiving gekomen in het beheersen van de variatie in de producteigenschappen naar het beheersen van procesfactoren die de oorzaak zijn van de variaties [Schippers, 2000]. Het doel van deze verschuiving is problemen in het proces te

herkennen en op te lossen voordat ze kunnen zorgen voor verstoringen/afwijkingen in het product. De toepassing van SPC heeft volgens Rungtusanathman [2000] invloed op zowel de *proceskwaliteit* alsook de *productkwaliteit*. Statistical Process Control (SPC) is momenteel een van de populairste methoden voor het bereiken van kwaliteitsverbeteringen. De toepassing is zeer divers, van de automobiel industrie tot levensmiddelen industrie. Rungtusanathman [2000] heeft overzicht gemaakt wat volgens verschillende wetenschappers de invloed van SPC op de proces- en productkwaliteit is. De uitkomsten van deze studie zijn opgenomen in tabel 2.1.

<b>Proces kwaliteit</b>		<b>Product kwaliteit</b>	
productiviteit	↑	Product kwaliteit	↑
kosten	↓	Aandeel afval	↓
nauwkeurigheid	↑	Product consistentie	↑
Cycle time	↑	Product uniformiteit	↑
Proces stabiliteit	↑	Faalkosten	↓
Proces variabiliteit	↓	Aandeel defecten	↓
Proces uniformiteit	↑		
Proces efficiëntie	↑		

**Legenda**  
 ↑ = toename  
 ↓ = afname

Tabel 2.1: invloed van SPC op proces en product kwaliteit  
 [Bron: Rungtusanathman, 2000]

Een andere vorm van procesbeheersing die in de fabriekindustrie wordt toegepast is *Automated Process Control* (APC). In tegenstelling tot SPC worden bij deze techniek niet de factoren die een proces verstoren, maar de procesinstellingen aangepast om verstoring in het eindproduct te compenseren [Schipper, 2000]. Deze aanpassing gebeurt automatisch zonder tussenkomst van een menselijke handeling.

### 2.5.2. Procesverbeteringstechnieken

Naast technieken om een proces te beheersen zijn er ook technieken om een proces te verbeteren. Het doel van procesverbeterings-technieken is om de variabiliteit van een proces te reduceren door de oorzaken van deze variaties te identificeren en hier gepast preventieve acties voor te generen [Schipper, 2000]. Een preventieve actie kan bestaan uit een structurele aanpassing van het proces. Voordat er verbetering in een proces worden aangebracht is het echter van belang om inzicht te hebben in het proces. Wanneer we kijken naar de asfaltwegenbouwsector is er weinig expliciete kennis aanwezig wanneer het gaat om processen. Alleen wanneer men weet hoe de (deel)processen samenhangen en waarom bepaalde activiteiten op die wijze worden uitgevoerd kan men gericht gaan zoeken naar procesverbeteringen.

---

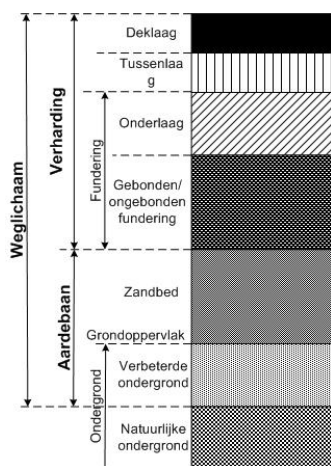
## 2.6 Samenvatting en conclusies kwaliteit en procesbeheersing

Door de komst van nieuwe contractvormen is het voor de opdrachtnemer mogelijk om zowel geld te verdienen als te verliezen met de beheersing en verbetering van het uitvoeringsproces. In dit hoofdstuk is vanuit de theorie het begrip "kwaliteit" en de samenhang met procesbeheersing nader beschreven. De interne benaderingswijze van het begrip "kwaliteit" waarbij de focus is gericht op de samenhang van processen sluit het beste aan in het kader van dit onderzoek. Hierop volgend is het begrip kwaliteit gedefinieerd volgens Crosby, Deming en Garvin. Overall was uit de benaderingswijze van deze wetenschappers te concluderen dat zij allen procesbeheersing als belangrijke voorwaarden zien voor de kwaliteit van een product of dienst. Ondernemingen onderkennen steeds meer het strategische belang van kwaliteit en kwaliteitmanagement. Binnen het kwaliteitsmanagement worden er verschillende ontwikkelstadia onderscheiden, van productgericht naar Total Quality Management. Het is van belang dat de vereiste kwaliteit *beheerst* en ook *gewaarborgd* wordt.

Het beheersen van kwaliteit kan worden bereikt doordat het proces wordt beheerst. De kern van procesbeheersing is dat de variabiliteit in het proces wordt gereduceerd tot toegestane toleranties. Het is vrijwel onmogelijk om producten te leveren die precies voldoen aan de gestelde eisen, de streefwaarden. Er zijn procesinherente invloeden aanwezig die zorgen voor variatie in proces en dus indirect in de eindproducten. De invloed inherent aan het proces zijn bepalend bij het vast stellen van de maximaal toegestane afwijking van de streefwaarde. Indien de toleranties worden overschreden zijn er procesvreemde factoren die het proces verstoren. Het is van belang om de procesvreemde factoren op te sporen en het proces bij te sturen. Er worden verschillende procesbeheersingstechnieken onderscheiden zoals, Statistical Process Control (SPC) en Automated Process Control (APC).

Onder kwaliteitsborging wordt verstaan, dat door te werken met een kwaliteitssysteem, de klant/opdrachtgever het vertrouwen wordt gegeven dat de producten/diensten de gewenste kwaliteit bezitten. Kwaliteitsborging is in de Civiele bouw, met uitzondering van de prefab betonindustrie, veel later op gang gekomen dan in de procesindustrie. De reden hiervoor zijn onder andere de traditionele en ambachtelijke werkwijze van de sector, de uniciteit van de civiele projecten en de externe invloeden op een projectlocatie. Onderhoud- en reparatiekosten hebben een steeds grotere invloed op de life cycle kosten in de grond-, weg- en waterbouwsector. Om deze kosten terug te dringen is het belangrijk om de kwaliteit van het product of dienst te verbeteren. Een belangrijke bijdrage in het kwaliteitsdenken is geleverd door Deming. Deming ziet kwaliteitsbeheersing als een gerichte en continue inspanning om de variabiliteit tijdens het proces te verminderen. De continue inspanning is nodig om de variabiliteit in het proces te verminderen en is terug te vinden in de kwaliteitscirkel van Deming. In deze kwaliteitscirkel worden vier fasen onderscheiden, te weten: plannen, uitvoeren, controleren en bijstellen. In de controlefase (terugkoppelloop) wordt gecontroleerd of aan de gestelde eisen wordt voldaan. Indien het product of dienst afwijkt ten opzicht van de planfase, dient het proces te worden bijgesteld.

# 3. De invloed van het asfaltverwerkingsproces op de kwaliteit van de wegconstructie



Figuur 3.1: opbouw van het weglichaam [Bron: VBW, 2000]

In hoofdstuk 2 zijn vanuit de theorie de begrippen kwaliteit en procesbeheersing nader beschreven. Uit de theorie blijkt het voor de beheersing van een proces, in dit afstudeeronderzoek het asfaltverwerkingsproces, het van belang is om te achterhalen welke parameters het proces en de uiteindelijke kwaliteit van het product beïnvloeden. Het asfaltverwerkingsproces is het laatste proces alvorens een weg is gerealiseerd. Een weglichaam is opgebouwd uit een aardebaan en verharding welke samen het weglichaam vormen (figuur 3.1). De verharding is dat gedeelte van het weglichaam, bestaande uit één of meerdere lagen, dat ten behoeve van het verkeer verhard is. De verharding kan opgebouwd zijn uit een deklaag, tussenlaag, onderlaag en een fundering. De deklaag is in dit geval de asfaltlaag die in de eindtoestand zichtbaar is wanneer de weg wordt bereiden. De tussenlagen en deklagen zijn bitumineuze mengsels die met behulp van gespecialiseerd materieel (asfaltsets) op het project aangebracht moeten worden [VBW, 2000]. De twee hoofdfasen in het asfaltverwerkingsproces zijn het spreiden (3.2) en het verdichten (3.3) van het bitumineuze mengsel.

## 3.1 Wat is asfalt?

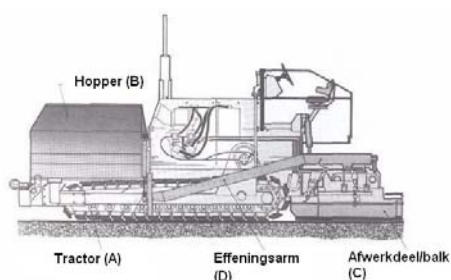
Asfalt is een product welke gebruikt kan worden om (grote) stukken oppervlakten op een economische wijze te verharden. Een asfaltmengsel bestaat uit twee hoofddelen [VBW, 2000]:

- Een *mineraal skelet* die het draagvermogen van het asfaltmengsel verzorgt. Voor de opbouw van het minerale skelet wordt meestal steenslag, grind of zand gebruikt.
- Materialen die zorgen voor de opvulling van holle ruimten in dat skelet. Hiervoor kan gekozen worden tussen een mortel welke bestaat uit een combinatie van vulstof en bitumen, of een mastiek die is opgebouwd uit een combinatie van bitumen, vulstof en zand. Het bitumen zorgen ervoor dat de minerale deeltjes aan elkaar gebonden worden.

Het asfaltmengsel wordt in een asfaltcentrale bereid en met behulp van speciaal materieel naar het project getransporteerd. Op het project dient het asfaltmengsel met de gewenste dikte, helling en afschot aangebracht te worden, dit wordt ook wel het *asfaltspreidproces* genoemd.

## 3.2 Het asfaltspreidproces

De beste manier om ervoor te zorgen dat aan de eisen helling, afschot en laagdikte wordt voldaan is door gebruik te maken van een zogenaamde asfaltspreidmachine [Lavin, 2003]. Een asfaltspreidmachine (figuur 3.2) bestaat uit twee basis units: een *tractor* (A) en het *verdichting gedeelte*. De primaire functies van de tractor, meer specifiek de hopper, is het ontvangen,



Figuur 3.2: asfaltspreidmachine [Bron: VBW, 2000]

---

leveren en spreiden van het asfaltmengsel aan de voorzijde van het verdichtingdeel en het voortbrengen van de tractor. De hopper (B) bevindt zich aan de voorzijde van de machine en zorgt dus voor de opvang van het asfaltmengsel. Middels transportbanden wordt het mengsel naar het spreidgedeelte gevoerd en door de spreidwormen over de werkbreedte van de machine verdeeld.

Volgens Ter Huerne [2004] is het belangrijkste deel van de asfaltspredmachine het verdichtinggedeelte/afwerkdeel (C), omdat deze het profiel en de voorverdichting van het aangebrachte asfaltmengsel bepaalt. De moderne asfaltspredmachine is meestal uitgerust met een zogenaamd zwevend afwerkdeel. Dit zorgt ervoor dat de asfaltspredmachine zelfnivellerend is. Zelfnivellering zorgt ervoor dat onvolkomenheden, qua vlakheid, in de onderlaag worden gecompenseerd door de asfaltspredmachine [Lavin, 2003]. Het verdichtinggedeelte is samengesteld uit strijkplaten en een verdichtingmechanisme. Het afwerkdeel, ook wel balk genoemd, is middels twee in hoogte verstelbare effeningarmen (D) aan het tractordeel verbonden waardoor veranderingen in de laagdikte aangebracht kan worden [VBW, 2000]. Elektronische meet- en regelsystemen zorgen voor een continue controle op de hoogte van de asfaltlaag. Volgens Ter Huerne [2004] wordt de hoogte van het verdichtingdeel bepaald door de snelheid van de asfaltspredmachine, de weerstand van het materiaal welke voorverdicht wordt en het eigengewicht van het verdichtingdeel. Volgens Lavin [2003] zijn de primaire functies van het verdichtingdeel:

1. Het op de gewenste breedte, laagdikte en hoogte spreiden van het asfaltmengsel;
2. Het op hoogte brengen, afvlakken en afdichten van het asfaltmengsel;
3. Het aanbrengen van een afschot of hellingshoek;
4. Het aanbrengen van voorverdichting.

De voorverdichting wordt aangebracht door het eigen gewicht van het verdichtingdeel en de toepassing van een trilplaat. De voorverdichting wordt aangebracht op het moment dat het asfaltmengsel zich nog gemakkelijk laat verdichten. Volgens Lavin [2003] zorgt het verdichtingdeel voor een voorverdichting van 80-85 procent van de maximale theoretische verdichting, volgens de VBW [2000] is dit 85-95%, afhankelijk van het type asfaltmengsel. De eindverdichting wordt voornamelijk bepaald door het gespecialiseerde verdichtingproces. De behaalde voorverdichting tijdens het spreidproces is van groot belang voor de uiteindelijke vlakheid, omdat het verdichtingproces met specifiek materieel start op een stabielere laag. Variatie in de verdichting behaald door het afwerkdeel leidt meestal ook tot variaties in de eindverdichting [Ter Huerne, 2004]. De kwaliteit van de vlakheid en verdichting van het asfalt wordt slechter door zogenaamde stopplaatsen van de asfaltspredmachine. Een stopplaats ontstaat doordat de asfaltspredmachine moet wachten op de aanvoer van het asfaltmengsel. Het is dus voor de kwaliteit van de asfaltconstructie van belang dat de asfaltmachine het spreidproces niet hoeft te onderbreken [VBW, 2000].

### 3.3 Het verdichtingsproces

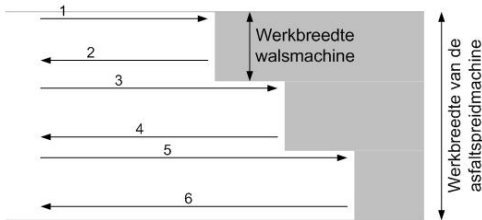
Volgens het Shell Bitumen Handboek [2003] is het verdichtingsproces wellicht de meest cruciale fase gedurende het asfaltverwerkingsproces. Een goede verdichting van het asfaltmengsel is essentieel voor het draagvermogen en een betere weerstand tegen weersinvloeden en deformatie ten gevolge van verkeersbelasting [Powell en Leech, 1983; Shell, 2003]. Het verdichtingsproces wordt uitgevoerd volgens een walsprocédé ook wel walsschema genoemd. Lavin [2003] definieert een walsschema (zie figuur 3.3) als het aantal walsovergangen uitgevoerd door elke wals, de locatie van de eerste walsovergang, de volgorde van opvolgende walsovergangen en de overlap tussen de overgangen. Verdichten is volgens Lavin [2003] een mechanisch proces waarbij de dichtheid van het materiaal toeneemt. De hoofdredenen waarom een asfaltmengsel worden verdicht zijn:

- Om de uiteindelijk vereiste verdichting te behalen die vastgelegd is in de specificaties. Een asfaltlaag moet voldoende verdicht zijn om uiteindelijk voldoende weerstand te bieden tegen belasting;
- Om te zorgen voor een glad oppervlak.

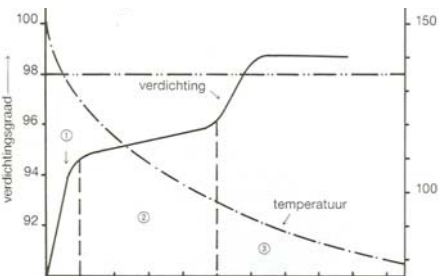
Binnen het verdichtingsproces kunnen er twee fasen worden onderscheiden, het voorwalsen en het afwalsen. Het doel van het afwalsen is om walsafdrukken en onregelmatigheden te verwijderen.

#### 3.3.1. Wat gebeurt er met het asfaltmengsel gedurende het verdichtingsproces?

Gedurende het verdichtingsproces kunnen er volgens de SBW [1992] en de VBW [2003] drie fasen worden onderscheiden [zie figuur 3.4].



Figuur 3.3: walsschema  
[Bron: Lavin, 2003]



Figuur 3.4: de drie fasen in het verdichtingsproces  
[Bron: SBW, 1992]

#### Fase I

In fase I vindt er een korrelrangschikking plaats. Door het gewicht van de wals wordt het korrelskelet samengedrukt, het volume neemt hierdoor af, echter de dichtheid neemt toe.

#### Fase II

Het type toepaste bitumen speelt een belangrijk rol bij het verdichten van het asfalt. Bitumen gedragen zich visco-elastisch. Hiermee wordt bedoeld dat het mengsel een viskeuze vervorming heeft die blijvend is wanneer de tijdelijke belasting wordt weggenomen (de wals). De elastische vervorming is een vervorming die na het wegnemen van de tijdelijke belasting volledig verdwijnt. In geval van een relatief dicht mengsel treedt een fase op waarin het asfaltmengsel elastisch gaat reageren (Fase II). Dit elastische gedrag komt doordat door toenemende dichtheid en stijfheid van het mengsel lucht wordt ingesloten. In de elastische fase bestaat de kans dat het asfalt gaat schuiven en/of scheuren doordat de verdichtingsenergie niet meer kan worden gebruikt voor het verdichten van het mengsel. Deze effecten zijn zelf sterker als er trillend verdicht wordt, omdat trillingen zowel een resultante in horizontale als verticale hebben. Het schuiven van asfalt kan daarnaast ook ontstaan doordat er met te hoge temperatuur wordt gewalst, de ondergrond glad is en er een grote laagdikte wordt toegepast. Het schuiven van het asfalt kan o.a. worden voorkomen door het opruwen en uitvullen van de ondergrond, een lagere walssnelheid en een goede communicatie tussen walsmachinist en balkman



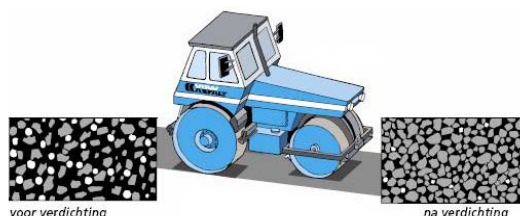
---

over verandering in de gespreide laagdikte. Bij open mengsel zoals Zeer Open Asfalt Beton (ZOAB), treedt deze fase niet op. Doordat de verdichting in deze fase verwaarloosbaar is, wil dit niet zeggen dat er niet gewalst hoeft te worden. Het is namelijk van belang dat in deze fase (licht) gewalst wordt, dit om de temperatuurkrimp en ingesloten lucht bij te houden [SBW, 1992].

### Fase III

In de *fase III* wordt het volume verder gecomprimeerd doordat water, lucht of een combinatie van beide, die zich in de holle ruimtes tussen de deeltjes van het asfalmengsel bevinden, worden uitgestoten door de kracht en voortstuwing van de wals [Lavin, 2003].

Volgens de SBW [1992] komen echter in de praktijk de drie fasen echter niet keurig verdeeld terug in het asfaltverwerkingsproces. Door onder andere een ongelijkmatige asfalttemperatuur, afkoeling van het mengsel en verschil in laagdikte kunnen er in de verschillende fasen ongelijkmatigheden optreden. Los materiaal zal zich van nature in verloop van tijd verdichten. Echter door de toepassing van mechanische krachten, d.m.v. verdichtingmaterieel (wals), wordt de tijd om de benodigde verdichting te verkrijgen sterk gereduceerd (zie figuur 3.5).



*Figuur 3.5: reduceren van percentage holle ruimte [VBW, 2003]*

Een asfalmengsel kan door een van de volgende typen mechanische krachten worden verdicht: statische druk, schokwerking, trilling/vibratie of manipulatie [Lavin, 2003]. De verhouding tussen het gewicht en de rolafmeting van de verschillende walstypen dragen volgens de VBW [2000] in grote mate bij aan het verdichtingseffect van een walsrol. Niet de verticale maar de horizontale verplaatsing van de walsrol heeft volgens de VBW [2000] een belangrijke invloed op de verdichting van de asfaltlaag. Om geschikt materieel te kiezen voor het verdichtingsproces wordt er onder Nederlandse omstandigheden (materieelinzet en asfalttypen) gewerkt met een zogenaamde walskarakteristiek. Een walskarakteristiek is de verhouding tussen het rolgewicht en de breedte en diameter van de rol. Om de gewenste asfaltverdichting te bereiken na het verdichtingsproces is een adequate en uniforme verdichting van belang. De walsmachinisten gebruiken hun ervaring en subjectieve beoordeling om te beslissen of de wegconstructie uniform en overall op de juiste wijze is verdicht [Veeramani *et al*, 1998; Pampagnin, 1998, Krishnamurthy, 1998]. Het menselijk subjectieve element bij de beslissing of een wegconstructie uniform is verdicht leidt vaak tot onderverdichting aan de randen en oververdichting in het centrum van de constructie. Onderverdichting van de wegconstructie kan leiden tot de niet gewenste sterkte en duurzaamheid, terwijl oververdichting zorgt voor een afname van het gewenste percentage holle ruimte. Het verdient de aandacht dat een mengsel niet zo sterk verdicht wordt dat het percentage holle ruimte na verdichting

---

lager is dan het minimale percentage holle ruimten dat aanwezig moet zijn. Volgens Ter Huerne [2004] bestaat dan namelijk het gevaar van vetslaan en een instabiel mengsel wanneer het mengsel door een hoge temperatuur uitzet. Oververdichting kan tevens leiden een zwakkere wegconstructie doordat het mogelijk is dat het mineraal aggregaat verbrijzeld is [Krishnamurthy *et al*, 1998, Li *et al*,1996].

### 3.3.2. Verdichtingmaterieel

Volgens Ter Huerne [2004] is de keuze van het type in te zetten verdichtingmaterieel afhankelijk:

- van het type werk (aanleg of onderhoud);
- de verdichtbaarheid van het mengsel;
- de breedte van de wals;
- de breedte van de aan te brengen asfaltstrook;
- de snelheid van de wals;
- de afkoelingsnelheid van het asfaltmengsel.

Voor het verdichten van asfaltmengsels worden er een drietal walstypen onderscheiden: stalen-statische wals, statische –trilwals en pneumatische bandenwals [Ter Huerne, 2004]. Bij de inzet van de wals dient er ook rekening te worden gehouden met het halen van water welke benodigd is voor het nat houden van de walsrollen. Een wals die water gaat halen is niet meer inzetbaar, indien dit de wals is die achter de asfaltspredmachine aan het verdichten is dient deze onmiddellijk vervangen te worden [VBW, 1992].

#### *Stalen statische wals (figuur 3.6)*

Stalen walsen kunnen worden uitgevoerd met twee (tandem-wals) of drie rollen. De drierolwals heeft één brede rol voor en twee smallere rollen aan de achterzijde. Een tandemwals wordt meestal ingezet bij het voorwalsen en drierol wals bij het nawalsen. Bij een statische wals wordt de verdichtende werking bereikt door het eigengewicht van de langzaam draaiende niet vervormbare stalen wielen of rollen. Het eigengewicht kan vergroot worden door de rollen te verzwaren met extra ballast in de vorm van zand of water [VBW, 2000]. De drierolwals heeft een grote stabiliteit en is effectief in het verwijderen van walsnaden in de eindfase van de verdichting [Powell en Leech, 1983]. Om deze reden wordt de stalen drierol bij grote wegenbouw projecten meestal ingezet aan het einde van het walsprocédé nadat het asfaltmengsel tot de juiste graad is verdicht met een stalen trilwals of pneumatisch walstype. Het strijkijzer effect van een stalen wals zorgt voor een glad oppervlak. De machinist van een statische wals kan alleen de snelheid van de wals en het gewicht van de ballast als verdichtingvariabelen veranderen [Lavin, 2003].



*Figuur 3.6: stalen wals*  
*Bron: Ter Huerne (2004)*



*Figuur 3.7: stalen trilwals*  
*Bron: Ter Huerne (2004)*

#### *Stalen trilwals (figuur 3.7)*

Bij trilwalsen wordt het verdichtingseffect vergroot door een excentrisch gewicht in de stalen rollen in trilling te brengen, hierdoor werkt de rol als een soort hamer op het asfalt [VBW, 2000; Powell en Leech, 1983]. Het trillen van asfalt wordt meestal toegepast om het korrelskelet van moeilijk verdichtbare mengsels met veel gebroken materiaal en/of stugge mortel te herrangschikken. Meestal wordt de stalen trilwals dual uitgevoerd, zodat zowel separaat als simultaan een statische als trillende kracht kan worden gebruikt bij de verdichting. Stalen trilwalsen hebben volgens Ter Huerne

---

[2004] een grotere effectiviteit dan statische walsen, maar vragen ook meer discipline van de walsmachinist voor wat betreft het walsprocédé. Het selecteren van het verkeerde krachtniveau, walsen met te hoge snelheid en het maken van teveel walsovergangen met ingeschakelde vibreerstand kan leiden tot scheurvorming van het materiaal door te grote belasting. Het trillen van een mengsel kan ook een averechts effect hebben en de verdichting doen afnemen. Dit verschijnsel treed op als de asfaltlaag de extra energie niet meer kan opnemen voor het herrangschikken van het korrelskelet. De energie wordt dan gebruikt voor het uit elkaar drukken van het korrelskelet. Tevens kan het asfalt vetslaan indien er wordt getrild op een te warm asfaltmengsel. Powell en Leech [1983] raden het af om te trillen bij de eerste walsovergang achter de asfaltspreidmachine omdat op deze wijze walsnaden ontstaan die moeilijk zijn te verwijderen worden voorkomen.



Figuur 3.8: pneumatische wals  
Bron: Ter Huerne (2004)

#### *Pneumatische bandenwals (figuur 3.8)*

De bandenwals wordt meestal ingezet bij het verdichten van onder- en tussenlagen [VBW, 2003]. De reden hiervoor is dat het knedende effect van de banden een betere verdichting geeft. Bij de toepassing van een bandenwals kan per situatie de luchtdruk worden aangepast. De druk in de banden bepaald de grootte van het contactoppervlak en dus het verdichtend vermogen. Bij een hoge bandenspanning is er een kleiner contactvlak wat leidt tot een groter verdichtend vermogen. De banden zijn zo ten opzichte van elkaar geconfigureerd dat deze elkaar deels overlappen en hierdoor zorgen voor een betere en gelijkmatigere verdichting van het asfaltmengsel. Volgens Ter Huerne [2004] wordt echter de bandenwals in Nederland relatief weinig toegepast.

### **3.4 Kwaliteitscontrole bij productie en asfaltverwerking**

Zowel in de productiefase als de asfaltverwerkingsfase vinden er controlemomenten plaats die van belang zijn voor de kwaliteit van de constructie. Als eerste vindt er controle plaats op de bouwstoffen bij de asfaltcentrale. Dit is voor een aannemer van belang om aan te kunnen tonen dat de door hem gebruikte materialen aan de kwaliteitseis voldoen. Onderzoek naar bouwstoffen is tijdrovend en duur. Om deze reden wordt er alleen onderzoek gedaan naar eigenschappen die kunnen variëren, snel zijn te bepalen of belangrijk zijn voor de besturing van de productie (steenslag/korrelverdeling) [VBW,2000]. Sommige bouwstoffen zoals vulstoffen worden voorzien van een zogenaamd KOMO-certificaat waarmee de kwaliteit van de bouwstof wordt gegarandeerd. Gedurende de asfaltproductie wordt met behulp van de extractiemethode het bitumengehalte en korrelverdeling van het asfaltmengsel bepaald. Indien er afwijkingen ontstaan die buiten de te verwachte schommeling valt dient het productieproces aangepast te worden. De temperatuur van het asfaltmengsel speelt een belangrijke rol bij de verwerkbaarheid en verdichtbaarheid van het mengsel. De temperatuur wordt dan ook verscheidene malen gemeten en geregistreerd gedurende het asfaltproductieproces. De laatste controle op de kwaliteit vindt plaats gedurende de asfaltverwerking. Hierbij worden de laagdikte, dichtheid, vlakheid en stroefheid van de asfaltconstructie gecontroleerd. De laagdikte wordt bepaald door de beheersing van het langs-

---

en dwarsprofiel tijdens het spreiden van het asfalt. De vlakheid kan gedurende het asfaltspreidproces worden bepaald met behulp van een licht metalen rei met een lengte van 3m. Door deze controle regelmatig gedurende het asfaltspreidproces uit te voeren kunnen fouten of incidentele verstoringen in de automatische hoogteregelingsapparatuur worden vastgesteld [VBW, 2000].

Voor de controle op de verdichting worden er twee dichtheidsmetingen onderscheiden [Li et al,1996; Jaselskis et al, 2001; Brown, 1990]:

- destructieve meting (boorkern onderzoek);
- non-destructieve meting (nucleaire meting).

#### **Destructieve meting**

Bij de destructieve methode wordt er een boorkern genomen van de asfaltconstructie. Volgens Brown [1990] is de boorkernmethode de standaard waar alle andere methoden mee worden vergeleken. Op basis van de boorkern kan in een laboratorium het percentage holle ruimte en/of de verdichtinggraad worden bepaald [VBW, 2000]. Tevens kunnen de boorkernen gebruikt worden om de ontmengingverschijnselen en verbrijzelingseffecten van het mineraalaggregaat te bepalen, dit door de boorkernen te onderzoeken op samenstelling en korrelverdeling. Het nadeel van deze methode is dat deze erg tijdrovend is en dat daar waar de boorkernen genomen zijn er een verzwakking in de wegconstructie ontstaat [Jaselskis et al, 2001; Brown, 1990; Sanders et al, 1994]. Het is namelijk pas mogelijk boorkernen te nemen als de asfaltmat voldoende is afgekoeld. De resultaten van de proeven zijn nooit op tijd beschikbaar om aanpassingen door te kunnen voeren gedurende het asfaltverwerkingsproces. De destructieve boorkernen methode is wel de traditionele en meest gevestigde methode voor het bepalen van de dichtheid [Sanders et al, 1994].

#### **Non-destructieve meting**

Een tweede, maar non-destructieve methode waarmee de dichtheid bepaald kan worden is de nucleaire meting [Li,1996; Jaselskis et al, 2001; Brown,1990; Sanders et al, 1994]. Deze methode wordt al gebruikt vanaf 1960 en was al snel "the state of the art" methode om de dichtheid van het asfaltmengsel te bepalen. Het voordeel van deze methode is dat de resultaten van de meting real-time (binnen 2 minuten) beschikbaar zijn en indien de metingen gedurende het asfaltverwerkingsproces worden uitgevoerd het proces nog bijgestuurd kan worden [VBW,2000]. Het bepalen van de dichtheid met een nucleair systeem heeft ook zijn beperkingen. Het nadeel van deze methode heeft betrekking op de nauwkeurigheid en gevoeligheid van het systeem. Het nucleaire meetapparaat wordt gekalibreerd op basis van een specifieke laagdikte en de compositie en dichtheid van de onderlaag [Sanders et al, 1994]. Een nucleaire dichtheidsmeting kan door de volgende factoren worden beïnvloed:

- de laagdikte, de betrouwbaarheid is afhankelijk van de laagdikte waarvan de dichtheid moet worden bepaald. Nucleaire metingen kunnen voor zowel dikke als dunne lagen worden gebruikt, echter de nauwkeurigheid bij dikke lagen is nauwkeuriger dan die bij dunne lagen.
- de variatie in laagdikte, de meetapparatuur wordt gekalibreerd op een bepaalde laagdikte, variatie in de laagdikte heeft invloed op de betrouwbaarheid van de meting

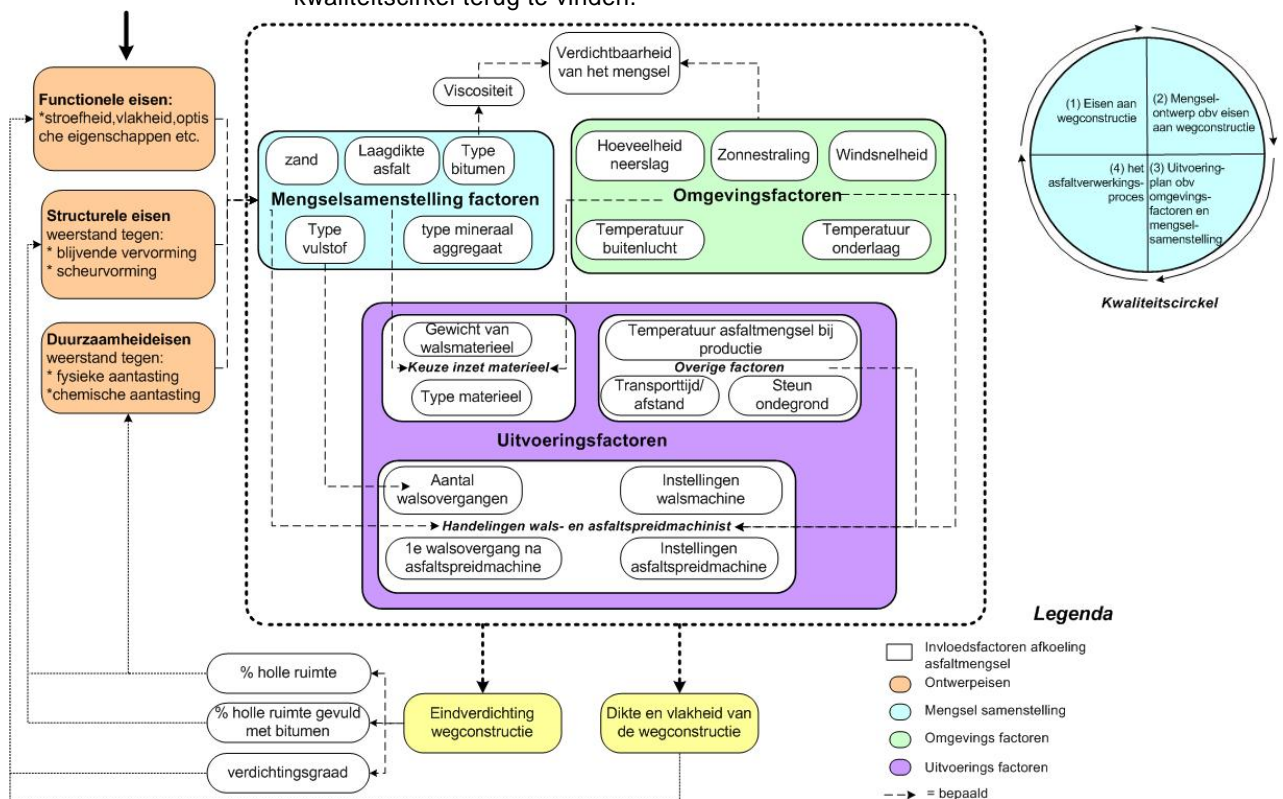
- variabiliteit van het onderliggende materiaal, de nucleaire meters worden meestal op locatie gekalibreerd. Indien het type ondergrond of de dichtheid van de ondergrond gedurende het traject varieert heeft dat invloed op de nauwkeurigheid van de meting.

Volgens Brown [1990] kunnen nucleaire dichtheidsmetingen het beste worden gebruikt als indicatie van de verdichtinggraad en voor het ontwikkelen van walspatronen gedurende het verdichtingproces. Tevens adviseert Brown om boorkernen te nemen om de nauwkeurigheid van de nucleaire metingen te verifiëren. Een ander nadeel volgens de VBW [2000] is dat deze methode uitgevoerd moet worden door bekwaam personeel en de apparatuur gecertificeerd moet zijn omdat er gewerkt wordt met radioactief materiaal.

Zowel het nemen van boorkernen als nucleaire metingen gebeurt steekproefsgewijs en heeft hierbij de kenmerken van een *productgerichte kwaliteitsbenadering* welke beschreven is in paragraaf 3.3. De kwaliteitsborging in het asfaltproductieproces is daarentegen productiegericht en er wordt gebruik gemaakt van het zogenaamde *statistical process control* (SPC) de procesbeheersingmethode welke beschreven is in paragraaf 2.5.1. In de volgende paragraaf worden de factoren beschreven die invloed hebben op de eindkwaliteit van de constructie.

### 3.5 Factoren die de kwaliteit beïnvloeden

Vanuit de beschrijving van het asfaltverwerkingsproces kan een relatiediagram worden opgesteld met factoren die invloed hebben op de eindverdichting van de wegconstructie. De factoren worden in drie hoofdcategorieën verdeeld, te weten: mengeselsamenstellingsfactoren, omgevingsfactoren en uitvoeringsfactoren. In het relatiediagram (figuur 3.8) is tevens een kwaliteitscirkel terug te vinden.



Figuur 3.9: invloedsfactoren verdichting asfaltmengsel Gebaseerd op causaal relatiediagram van Ter Huerne (2004)

---

De eisen zijn je startpunt, op basis hiervan wordt de mengselsamenstelling bepaald. Op basis van ondermeer de mengselsamenstelling en omgevingsfactoren wordt een uitvoeringsplan opgesteld (plan-fase). De uitkomst van het uitvoeringsplan (do-fase) moeten zodanig zijn dat de eigenschappen van de wegconstructie voldoen aan de gestelde eisen (check-fase). De onderlinge samenhang tussen de factoren is weergegeven in figuur 3.9 en bijlage C.

### **3.5.1. Mengsel samenstellingfactoren**

Het samenstellen van een asfaltmengsel vindt plaats op basis van functionele, structurele- en duurzaamheidseisen. Volgens Lavin [2003] zijn de mengseleigenschappen en de ontwerpdikte van de asfaltlaag van invloed op het verdichtingresultaat. De eigenschappen van het asfaltmengsel die invloed hebben op de verdichtbaarheid zijn: hoekigheid, oppervlakte textuur en vorm van het aggregaat. Volgens Leech en Powell [1974] heeft de gradatie van het aggregaat invloed op de verdichting. Specifieke aggregaat eigenschappen bepalen de weestand van het asfaltmengsel tegen interne verplaatsing en bepalen de verwerkbaarheid bij het verdichtingproces. Een aggregaat welke zeer hoekig is en een ruw structuuroppervlak heeft is moeilijker verdichtbaar dan aggregaat welke glad en rond is [Lavin, 2003; VBW, 1992]. Ook het type bitumen (bindmiddel) in het asfaltmengsel bepaalt mede de verdichtbaarheid. Een meer viscose bindmiddel is moeilijker verdichtbaar dan een zacht bindmiddel uitgaande van dezelfde mate van verdichting en temperatuur tijdens het spreidproces. Volgens de VBW [2003] zijn gemodificeerde asfaltmengsel moeilijker te verdichten dan een asfaltmengsel met normale bitumen. De dikte van de asfaltlaag en de nominale maximale aggregaat afmeting van het aggregaat hebben ook invloed op de mate van verdichtbaarheid van het asfaltmengsel [VBW, 2000]. De dikte van de asfaltlaag heeft invloed op de beschikbare tijd voor het verdichtingproces. Volgens Daines [1985] kan de tijd die beschikbaar is voor het verdichten van het mengsel met 50% toenemen indien de laagdikte met 25% wordt vergroot. Volgens de VBW [2000] is ook het type en de aard van de vulstof die wordt gebruikt in het asfaltmengsel van invloed op het aantal benodigde walsovergangen. Het type asfaltmengsel bepaald tevens welke walsprocédé het beste gekozen kan worden, omdat dit samenhangt met de afkoelingstijd behorende bij het samengestelde asfaltmengsel [VBW, 2000].

### **3.5.2. Omgevingsfactoren**

Volgens Daines [1985] en Lavin [2003] wordt de afkoeling van een mengsel beïnvloed door de windsnelheid, luchttemperatuur, laagdikte, temperatuur van de onderlaag en zonnestraling. De snelheid waarmee een asfaltmengsel afkoelt bepaalt de tijd die beschikbaar is voor het verdichtingproces. De verdichtbaarheid van een asfaltmengsel wordt dus mede bepaald door de temperatuur van het asfaltmengsel [Lavin, 2003]. Bij een bepaalde temperatuur, verschillend per asfaltmengsel, is het niet meer mogelijk om het mengsel te verdichten. De verwerkbaarheid verschilt per mengsel en wordt dus bepaald in de ontwerpfase. Volgens Jordan en Thomas [1976] hebben veranderingen in klimatologische omstandigheden zoals temperatuur van de buitenlucht, windsnelheid en neerslag invloed op de afkoelingsgraad. Aan het

---

oppervlak wordt de afkoeling van het mengsel meer beïnvloed door de windsnelheid dan door de omgevingstemperatuur [Brown, 1980]. En er wordt meer warmte van het mengsel verloren via de bodem dan aan het oppervlak van het mengsel direct na het spreiden. De periode dat er meer warmteverlies is via de ondergrond is afhankelijk van de klimatologische omstandigheden. Bij een toenemende omgevingstemperatuur zal deze periode langer zijn en bij een toenemende windsnelheid is deze korter.

Bij een hoge temperatuur reageert een bindmiddel als een glijmiddel en zorgt het ervoor dat aggregaatdelen zich makkelijker laten verdichten. In het algemeen geldt dat hoe hoger de temperatuur van het asfaltmengsel hoe makkelijker het te verdichten is. De temperatuur moet echter ook niet te hoog worden. Het walsen op een te warm mengsel kan leiden tot het ontstaan van dwarsscheuren [VBW, 1992]. Een te warm mengsel zorgt er namelijk voor dat het asfaltbindmiddel vloeibaar wordt en er op deze wijze te weinig (interne) weerstand geboden kan worden bij het verdichten van het asfaltmengsel [Lavin, 2003]. Naarmate de temperatuur van het asfaltmengsel lager wordt zal de viscositeit afnemen en de interne weerstand toenemen. Hierdoor laat het mengsel zich moeilijker verdichten. De minimale temperatuur van het mengsel gedurende het verdichtingsproces is 80°C, terwijl de maximale temperatuur varieert tussen 130-170°C. Dit is afhankelijk van het type bitumen [Lavin, 2003]. Een andere omgevingsfactor is de temperatuur van de buitenlucht en ondergrond, deze dragen bij aan de mate waarin het asfaltmengsel afkoelt. Ook de windsnelheid en zonnestraling hebben invloed op de afkoeling het asfaltmengsel. De snelheid waarmee het asfaltmengsel uiteindelijk afkoelt wordt in grote mate bepaald door dikte van de aan te brengen asfaltlaag. Hoe dikker de laag, hoe meer tijd er is voor het verdichtingsproces [Lavin, 2003]. Vochtigheid en kou bepalen ook de tijdsduur die beschikbaar is voor het verdichten van het mengsel. Bij warm en zonnig weer is er meer tijd beschikbaar voor het verdichtingsproces dan bij kou en vochtig weer [VBW, 2000]

### **3.5.3. Uitvoeringsfactoren**

De laatste categorie invloedsfactoren zijn de uitvoeringsfactoren. Bij de uitvoeringsfactoren zijn er drie invloedsfactoren te onderscheiden:

1. de keuze en inzet van materieel
2. overige factoren zoals transport afstand en steun van de ondergrond
3. Handelingen van de asfaltspreidmachinist en walsmachinist

#### **De keuze en inzet van materieel**

In paragraaf 3.3.2 is beschreven dat volgens Ter Huerne [2004] de inzet en keuze van het materieel onder meer afhankelijk is van het type werk, de verdichtbaarheid van het mengsel en de afkoelingssnelheid van het mengsel. De afkoelingssnelheid wordt onder andere bepaald door de weersomstandigheden. Daarom wordt per project afgewogen welk materieel ingezet moet worden om zo een optimaal resultaat te bereiken.

#### **Overige factoren**

De transporttijd en afstand zijn van invloed op de afkoeling van een asfaltmengsel. Een andere uitvoeringsfactor die invloed heeft op het verdichtingsproces is de steun van de ondergrond. De onderlaag dient

---

voldoende verdicht te zijn om als platform te dienen voor het asfaltsprei – en verdichtingmaterieel zonder dat deze onder de druk vervormt [Lavin, 2003]. Leech en Powell [1974] beschrijven de invloed van de ondergrond op de verdichting van de asfaltconstructie. Enkele empirische onderzoeken op bouwterreinen, die zijn beschreven in Leech en Powell [1974], hebben uitgewezen dat de stijfheid van de onderlaag invloed heeft op de verdichting. Laboratorium onderzoek wijst echter uit dat een hogere stijfheid van de ondergrond slecht tot een marginale hogere dichtheid leidt. Volgens de VBW [1992] heeft de ondergrond wel invloed op het verdichtingsproces. Indien de ondergrond terugveert, bestaat de kans op het ontstaan van dwarsscheurtjes. Dwarsscheuren dient met echter te voorkomen omdat dit duid op een kapotte microstructuur van het asfalt.

### **Handelingen van de asfaltspreidmachinist, balkman en walsmachinist**

Aan zowel de asfaltspreidmachine als aan de walsmachine kunnen gedurende het asfaltverwerkingsproces instellingen worden gevarieerd die van invloed zijn op het proces en dus op de eindkwaliteit. In het bijzonder de laagdikte, vlakheid en verdichting van de wegconstructie. Onderstaand worden handelingen en instellingen toegelicht die een asfaltspreidmachinist, balkman en walsmachinist gedurende het asfaltverwerkingsproces kan variëren.

### **Handelingen asfaltspreidmachinist**

Een asfaltspreidmachinist kan onder andere de snelheid van de asfaltspreidmachine en de aanvoer van het asfalt van hopper naar de balk bepalen. De hoeveelheid en snelheid waarmee het asfalt naar de balk wordt getransporteerd bepaald de hoeveelheid asfalt voor de balk. Deze variabelen zullen nader worden toegelicht.

#### *1. Snelheid van de asfaltspreidmachine*

De ideale snelheid van de asfaltspreidmachine is volgens Lavin [2003] en het US Army Corps of Engineers [2000] afgestemd op (a) de asfaltcentrale, (b) de capaciteit van aanvoer door de asfaltwagens en (c) de breedte en dikte van de te spreiden asfaltlaag. Tevens is de snelheid afgestemd op de verdichtingcapaciteit en bekwaamheid van de walsmachines. De ideale snelheid is die snelheid die zorgt voor een continue asfaltsprei proces zonder stoppen of onderbrekingen. De snelheid van de asfaltspreidmachine moet zodanig zijn dat het voor de walsmachinisten mogelijk is om de vereiste verdichting aan te kunnen brengen. Volgens Lavin [2003] wordt de kritische of maximale snelheid van de asfaltspreidmachine bepaald door de capaciteit van de walsmachinisten om het asfaltmengsel te verdichten zonder toe te laten dat het asfaltmengsel tot onder de temperatuur waar het mengsel nog verdichtbaar is. In de praktijk blijkt dat het onmogelijk is om een asfaltspreidmachine niet te laten stoppen. Het spreiden van het asfalt is namelijk afhankelijk van de aanvoer vanaf de asfaltcentrale. Indien een asfaltspreidmachine gedurende lange tijd heeft stilgestaan is het mengsel in de hopper en voor de balk gedaald in temperatuur. Dit heeft een verandering in textuur van het mengsel en verandering in laagdikte als gevolg. Het verdient de aanbeveling dat als de asfaltspreidmachine voor lange tijd heeft stilgestaan een dwarsnaad aan te brengen.



---

## 2. Aanvoer asphalt van hopper naar de balk (zie bijlage D, figuur 1)

Het asphalt wordt vanuit de hopper via zogenaamde uitstroomgaten, door twee transportbanden richting de balk getransporteerd (zie bijlage D, figuur 2). De snelheid van de aanvoer kan handmatig of door middel van een automatisch systeem worden bepaald. De uitstroomgaten bepalen hoeveel asphalt van de hopper naar balk wordt getransporteerd (zie bijlage D, figuur 2). De hoeveelheid en snelheid van het getransporteerde asphalt bepaald de hoeveelheid asphalt voor de balk [Lavin, 2003]. Voor de balk bevindt zich een wormwiel welke het asfaltmengsel verdeeld over de gehele breedte van de balk (zie bijlage D, figuur 4).

## 3. Hoeveelheid asphalt voor de balk

De hoeveelheid asphalt voor de balk is van invloed op de hoogte-instelling van de balk. Indien er meer asphalt voor de balk ligt zorgt deze voor een opwaartse kracht en zal de dikte van de gespreide asfaltlaag toenemen. Als er minder asphalt voor balk ligt zal de hoogte van de balk en de dikte van de gespreide laag afnemen. Het controleren van de hoeveelheid asphalt voor de balk is van groot belang om te zorgen voor een consistente laagdikte. De hoeveelheid materiaal voor de balk kan worden gecontroleerd en gereguleerd door de transportbanden, de uitstroomgaten en de wormwielen. Variaties in de hoeveelheid asphalt voor de balk resulteert in variaties in laagdikte en oppervlakte textuur. Indien de hoeveelheid asphalt voor de balk te weinig is zal dit resulteren in een lagere weerstand van de balk. Door de lagere weerstand zal balk zakken en de laagdikte afnemen. Het tegenovergestelde is ook mogelijk. Als er teveel asphalt voor de balk ligt zorgt deze voor een opwaartse druk op de balk en neemt de laagdikte toe. De hoeveelheid asphalt voor de balk kan ook veranderen door de snelheid van de asfaltspreidmachine. Een hoge snelheid zorgt ervoor dat het asphalt minder lang voor en onder de balk is waardoor de mogelijkheid bestaat dat de balk gaat zakken. Het stijgen en dalen van de balk in relatie tot de snelheid van de balk gebeurt alleen wanneer de hoogte-instellingen en hoeveelheid aangevoerd asphalt constant wordt gehouden. Bij het spreiden van een asfaltmengsel moet ook worden voorkomen dat een hopper leeg gedraaid wordt omdat dit ook van invloed is op de hoeveelheid asphalt voor de balk [Lavin, 2003; US Army Corps of Engineers, 2000].

### **Handelingen balkman**

De balkman is werkzaam op de balk van de asfaltspreidmachine en is verantwoordelijk voor onder andere de hoogte en dikte van de te spreiden asfaltlaag. Naast de hoogte-instelling kan de balkman ook de instellingen van de balkverwarming en de voorverdichting aanpassen. Onderstaand zullen deze instellingen nader worden toegelicht.

#### 1. De hoogte-instelling

De hoogte-instelling van de balk bepaald de laagdikte van de gespreide asfaltlaag. Bij moderne asfaltspreidmachines is het mogelijk om de hoogte van de balk automatische of handmatig te beheersen. Bij een automatische hoogteregeling wordt de elevatie van de trekpunten op de asfaltspreidmachine op een vooraf bepaalde hoogte gehouden welke gerelativeerd is aan een referentiepunt. Het referentiepunt kan bestaan uit een draad die op een bepaalde hoog is gespannen. Het primaire doel van de automatische

---

hoogteregeling is om te zorgen voor een asfaltlaag die vlakker is dan wanneer alleen gebruikt wordt gemaakt van de drijvende balk en de wielbasis als referentiepunt. De laag die gespreid wordt is altijd dikker dan de in het contract gestelde eisen. Dit omdat de gespreide asfaltlaag nog wordt verdicht. De laagdikte van de verdichte asfaltlaag moet overeen komen met de gestelde eisen ten aanzien van de laagdikte.

### *2. De balkverwarming*

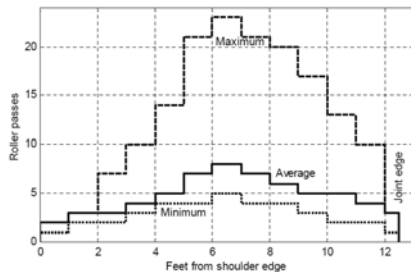
Een balk is uitgerust met een zogenaamde balkverwarming. De balkverwarming bestaat uit branders die voor aanvang van het asfaltspreadsproces worden aangezet. Het doel van de balkverwarming is om te voorkomen dat het warme aangeleverde asfaltmengsel blijft kleven aan de koude stalen balk. Indien de balk niet wordt verwarmd tot dezelfde temperatuur van het aangeleverde mengsel bestaat de kans dat het warme mengsel aan de balk blijft kleven en de gespreide asfaltlaag open trekt. Daarnaast bestaat de kans dat een koude balk invloed heeft op de dikte van de asfaltlaag omdat het asfaltmengsel niet makkelijk onder de balk door vloeit. De balkverwarming kan niet worden gebruikt voor het opwarmen van een koud of afgekoeld asfaltmengsel omdat alleen de top van het mengsel dan verwarmd wordt. Indien de balkverwarming voor lange tijd wordt gebruikt bestaat de kans dat de balk krom trekt en het de bovenlaag van het asfaltmengsel verbrandt. De balkverwarming moet gedurende het spreidproces uitgeschakeld zijn en alleen voor het opwarmen worden gebruikt [Lavin, 2003; US Army Corps of Engineers, 2000].

### *3. De voorverdichting van de balk*

De balk zorgt voor een voorverdichting van het gespreide mengsel. De verdichting wordt veroorzaakt door het gewicht van de balk en versterkt door roterende excentrische gewichten of stampmessen die zijn opgenomen in de balk. De voorverdichting gebaseerd op excentrische gewichten wordt het meest toegepast. De excentrische gewichten kunnen trillen op een bepaalde frequentie en met een bepaalde amplitude. De frequentie varieert volgens Lavin [2003] van 1500-4500 vibraties per minuut of 25 tot 75 Hz. De instellingen van de amplitude is afhankelijk van de dikte van de gespreide asfaltlaag [Lavin, 2003; US Army Corps of Engineers, 2000]. De uiteindelijke verdichting die door het afwerkdeel/balk behaald wordt is ook afhankelijk van de snelheid van de asfaltspreads machine. Bij een hogere snelheid kan de verdichtingsenergie namelijk minder lang inwerken op het asfaltmengsel [US Army Corps of Engineers, 2000].

### **Handelingen walsmachinist**

Volgens Ter Huerne [2004] is het verdichten van asfalt hoofdzakelijk gebaseerd op basis van ervaringskennis. Indien met vergelijkbare mengsel onder vergelijkbare omstandigheden (klimatologische factoren) gewerkt wordt weet men door ervaring welke resultaten er verwacht mogen worden. Indien echter gewerkt wordt onder niet vergelijkbare omstandigheden is ook het resultaat onzeker. Op basis van het type mengsel en perceptie van de omgevingsfactoren bepalen een asfaltspreads- en walsmachinist de handelingen om de gespecificeerde eindverdichting te behalen. Volgens Hunter [2000] moet er gerealiseerd worden dat onder andere de vaardigheden van de walsmachinist een significant effect hebben op de verdichting van de asfaltlaag. Voor wat betreft de handelingen van de walsmachinist is er tot op

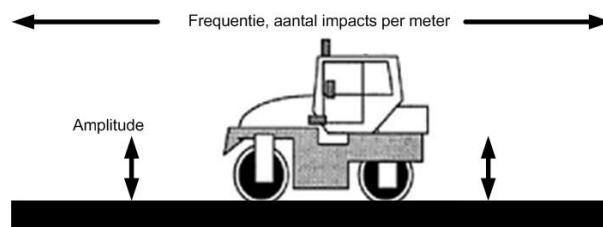


Figuur 3.10 : laterale variaties in het aantal walsovergangen  
[Bron: Jurasz, 2003]

heden geen standaard, waarbij precies kan worden bepaald hoeveel walsovergangen er gedaan zijn. Alleen het geheugen van de walsmachinist wordt gebruikt om het aantal walsovergangen te bepalen [Pampagnin et al, 1998; Krishnamurthy,1998; Veeramani, 1998]. Te veel en te zwaar walsen kan een averechts effect hebben op de walsverdichting en kan, zoals toegelicht in paragraaf 3.3 zelfs leiden tot een zwakkere wegconstructie doordat het mineraal aggregaat verbrijzeld is [VBW,2000; Krishnamurthy,1998]. Hetzelfde geldt voor het (reeds) gewalste gebied. De walsmachinist bepaalt op basis van ervaring of de asfaltaag uniform is gewalst en aan de vereiste verdichting voldoet [Veeramani,1998; Krishnamurthy,1998]. Volgens het Shell Bitumen Handbook [2003] ontstaan er eerder problemen bij een asfaltmengsel welke niet gelijkmatig verdicht is dan wanneer dit wel het geval was geweest. De huidige controle op het uniform walsen geschiedt nog handmatig en kan dus leiden tot beoordelingsonnauwkeurigheden. Deze onnauwkeurigheden zouden kunnen leiden tot over-verdichting in het midden van de asfaltmat en onderverdichting aan de randen (figuur 3.10). Onderverdichting kan volgens Krishnamurthy et al [1998] leiden tot een kortere levensduur verwachting, over-verdichting daarentegen, zorgt voor verspilling van energie en middelen en zelfs tot het scheuren van het asfalt. Gedurende het verdichtingsproces kan een walsmachinist de volgende parameters variëren:

#### 1. De hoeveelheid toegevoegde verdichtingsenergie

Bij een trilwals wordt naast het eigen gewicht gebruik gemaakt van dynamische energie voor het verdichten van een asfaltmengsel. De dynamische energie is evenredig aan de bewegingen van de excentrische gewichten en de snelheid van roteren. De frequentie en amplitude waarmee de excentrische gewichten roteren, bepalen de mate waarin het asfaltmengsel wordt verdicht. De instelling van de amplitude wordt bepaald door ondermeer de laagdikte. Indien namelijk een dunne asfaltaag verdicht wordt met een hoge amplitude bestaat de kans dat de rol begint te stuiten en het aggregaat verbrijzeld wordt. De frequentie is het aantal gehele omwentelingen per minuut van het excentrische gewicht. Hoe sneller de gewichten roteren, hoe hoger de frequentie. Afhankelijk van het type wals varieert de frequentie tussen de 1500-4000 vibraties per minuut. De instelling van de frequentie is afhankelijk van de snelheid van de walsmachine. Indien de frequentie afneemt en de snelheid neemt toe, dan zal dit resulteren in een afname van het aantal verdichtingslagen per meter (zie figuur 3.11). Volgens Lavin is het optimale aantal schokeffecten 30 á 40 per meter. Hiermee wordt voldoende verdichtingsenergie toegevoegd zonder dat de snelheid van walsmachine de productiesnelheid van de asfaltspreidmachine beïnvloed [Lavin, 2003; US Army Corps of Engineers, 2000].



Figuur 3.11: frequentie en amplitude verdichtingsproces  
[Bron: Lavin, 2003]

## 2. De snelheid walsmachine

De snelheid van de walsmachine wordt volgens Lavin [2003] bepaald door enerzijds de frequentie waarmee de excentrische gewichten trillen en anderzijds de productiesnelheid van de asfaltspreidmachine. De snelheid van de walsmachine en de asfaltspreidmachine moet op elkaar afgestemd zijn.

Twee situatie moet worden voorkomen:

- dat de asfaltspreidmachine van de walsmachine wegloopt;
- dat de walsmachine moet wachten op de asfaltspreidmachine

Volgens de VBW [1992] kunnen de vervormingkrachten die zorgen voor de verdichting bij een lagere snelheid beter worden opgenomen door de asfaltlaag. Hierdoor treed er een groter verdichtend effect op.

## 3. Het aantal walsovergangen

Het aantal walsovergangen is van invloed op de verdichting van het asfaltmengsel. Te veel walsovergangen kan leiden tot oververdichting en het stuk walsen met het mengsel. Onderverdichting kan leiden tot een kortere levensduur [Krishnamurthy,1998].

### 3.6 Categorisering van invloedsfactoren

Door specifieke kenmerken van een voortbrengingsproces in de asfaltwegenbouw, zoals het werken in de buitenlucht (niet geconditioneerd) en de locatieafhankelijk is het niet mogelijk dat alle factoren beïnvloedt en beheerst worden. In paragraaf 3.5 is er een categorisering gemaakt van factoren die van invloed zijn op de eindkwaliteit van het asfalt. Binnen deze categorisering kan er vervolgens onderscheid worden gemaakt tussen factoren die wel en niet beïnvloedbaar zijn op de projectlocatie ten tijde van het asfaltverwerkingsproces (zie tabel 3.1).

Beïnvloedbare factoren/instellingen	Niet beïnvloedbare factoren
<i>Instellingen aan de asfaltspreidmachine</i>	➤ Temperatuur van de buitenlucht
➤ Snelheid asfaltspreidmachine	➤ Temperatuur van de ondergrond
➤ Snelheid waarmee asfalt wordt getransporteerd van hopper naar balk	➤ Windsnelheid
➤ Hoeveelheid asfalt die wordt getransporteerd van hopper naar de balk	➤ Steun/gesteldheid van de ondergrond ten tijde van asfaltverwerkingsproces
➤ Hoeveelheid asfalt voor de balk	➤ Zonnestraling
➤ Instelling balkverwarming	➤ Transporttijd/transportafstand
➤ Hoogte-instellingen van de balk	➤ Temperatuur asfaltmengsel bij productie
➤ Instelling frequentie en amplitude verdichtingdeel balk	➤ Mengselsamenstelling
<i>Instellingen aan de walsmachine</i>	➤ Temperatuur asfalt bij walsovergang
➤ Snelheid van de walsmachine	➤ Hoeveelheid neerslag
➤ Afstand van de walsmachine tot de asfaltspreidmachine	
➤ Het aantal walsovergangen	
➤ 1 <sup>e</sup> walsovergang na asfaltspreidmachine	
➤ Het walspatroon	
➤ Instelling frequentie en amplitude bij trilwalsen	
➤ Bandendruk bij een bandenwals	
➤ Gewicht van een statische wals	

Tabel 3.1: categorisering invloedsfactoren

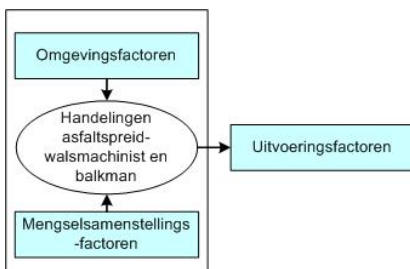
### Niet beïnvloedbaar factoren

De factoren die genoemd zijn bij mengselsamenstellingsfactoren en omgevingsfactoren zijn op de projectlocatie niet meer beïnvloedbaar. Doordat echter de klimatologische factoren van invloed zijn op het uitvoeringsproces is het wel van belang data van deze factoren te verzamelen.

### Beïnvloedbaar factoren

- De handelingen van de asfaltspreidmachinist, balkman en de walsmachinist zijn de factoren die op een projectlocatie nog beïnvloedbaar zijn. Tabel 3.1 geeft een overzicht van factoren/instellingen die gedurende het asfaltverwerkingsproces door de asfaltspreidmachinist, balkman en walsmachinist verandert kunnen worden.

Een asfaltspreidmachinist, balkman en walsmachinist baseert zijn handelingen onder meer op basis van zijn kennis en ervaring ten aanzien van de omgevingsfactoren en mengselsamenstellingsfactoren ( zie figuur 3.12).



Figuur 3.12: basis voor menselijke handeling

Volgens Ter Huerne weet een balkman, asfaltspreidmachinist en walsmachinist welke resultaten er verwacht mogen worden indien ze werken met vergelijkbare mengsels (mingselsamenstellingsfactoren) onder vergelijkbare omstandigheden (omgevingsfactoren). Op basis hiervan bepalen zij hun handelingen. Het doel van dit onderzoek is om de inzichtelijkheid in het asfaltverwerkingsproces te vergroten. Twee aspecten uit het asfaltverwerkingsproces zullen in dit afstudeeronderzoek nader worden geanalyseerd:

1. De bewegingen, positie en snelheid van het materieel gedurende het asfaltverwerkingsproces. De positie en snelheid van het materieel kan inzichtelijk worden gemaakt door een data analyse methode te gebruiken. In hoofdstuk 4 zal nader worden toegelicht welke data analysemethode en technologieën er worden onderscheiden. En welke technologie het beste gebruikt kan worden voor het bepalen van depositie van het materieel voor de analyse van het asfaltverwerkingsproces.
2. Op basis van welke factoren een asfaltspreidmachinist, balkman en walsmachinist in de praktijk zijn handelingen uitvoert. Om de inzichtelijkheid in deze handelingen te vergroten is gekozen voor het afnemen van interviews met enkele asfaltploegen. De resultaten van deze interviews zullen in hoofdstuk 5 worden toegelicht.

## 3.7 Samenvatting en conclusies asfaltverwerkingsproces

In dit hoofdstuk is het asfaltverwerkingsproces beschreven en is er onderscheid gemaakt tussen de asfaltspreidfase en de verdichtingfase. Voor het spreiden van het asfalt wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde asfaltspreidmachine. De functie van de deze machine is het asfalt met de juiste breedte, hoogte en afschot aan te spreiden. Het asfalt wordt verdicht door gebruik te maken van een wals. Uit de literatuur blijkt dat de verdichting

---

van het asfaltmengsel de grootste invloed heeft op de uiteindelijke kwaliteit van de wegconstructie.

Op verschillende momenten in het asfaltverwerkingsproces worden er kwaliteitscontroles uitgevoerd. Zo wordt de kwaliteit van de grondstoffen getoetst middels een certificaat. Bij de productie van asfalt wordt het proces beheerst en gecontroleerd door gebruik te maken van de statische proces controle techniek. Er worden twee methoden onderscheiden om de verdichting van het mengsel te controleren; de destructieve en non-destructieve methode. Bij de destructieve methode worden er boorkernen genomen van de wegconstructie. Deze methode is nauwkeurig maar daarentegen ook tijdrovend. Bij deze methode zijn de gegevens met betrekking tot de dichtheid pas laat beschikbaar, waardoor het asfaltverwerkingsproces niet meer bijgestuurd kan worden. De non-destructieve methode vangt de tekortkomingen van de destructieve methode op. Bij een non-destructieve methode wordt met behulp van een nucleaire meting de dichtheid van de wegconstructie bepaald. Het nadeel van deze methode is de nauwkeurigheid en gevoeligheid van het systeem. Daarom wordt het in de literatuur ook aangeraden om nucleaire metingen te gebruiken als indicatie van de verdichting en voor het bijsturen van het verdichtingsproces. Zowel het nemen van boorkernen als de nucleaire meting gebeurt steekproefsgewijs en hebben hierbij de kenmerken van een productgerichte kwaliteitsbenadering.

Het resultaat van de eindverdichting wordt beïnvloed door een samenspel van factoren die kunnen worden gecategoriseerd in: mengsel-samenstellingsfactoren, omgevingsfactoren en uitvoeringsfactoren. Binnen deze categorisering kan er vervolgens onderscheid worden gemaakt tussen factoren die wel en niet beïnvloedbaar zijn op de projectlocatie ten tijde van het asfaltverwerkingsproces. Door de specifieke kenmerken van een voortbrengingsproces in de asfaltwegenbouw, zoals het werken in de buitenlucht (niet geconditioneerd) en locatieafhankelijkheid is het namelijk niet mogelijk dat alle factoren beïnvloedt en beheerst kunnen worden. De factoren die genoemd zijn bij mengsel-samenstellingsfactoren en omgevingsfactoren zijn op een projectlocatie niet meer beïnvloedbaar. De instellingen aan de asfaltspreidmachine en walsmachine en de handelingen van de operators zijn daarentegen wel beïnvloedbaar.

Het spreiden en verdichten van het asfalt gebeurt echter vaak op basis van kennis en ervaring van de asfaltploeg. Hierdoor is het vaak niet duidelijk hoe en waarom deze processen/handelingen op een bepaalde wijze worden uitgevoerd. Door de uitvoeringsprocessen inzichtelijk te maken kunnen deze verbeterd en daar waar nodig geoptimaliseerd worden.

---

## 4. Dataverzamelmethode om inzicht in asfaltverwerkingsproces te vergroten

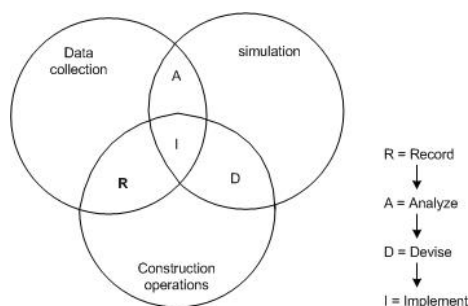
---

### 4.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is het asfaltverwerkingsproces nader beschreven en is er onderscheid gemaakt tussen de asfaltspreidfase en verdichtingsfase. Daarnaast is er een categorisering gemaakt van factoren die vanuit procesbeheersingsoogpunt op een projectlocatie nog te beïnvloeden zijn. Het blijkt dat vooral de uitvoeringsfactoren, in het bijzonder de handelingen van de operators, beïnvloedbaar zijn. De handelingen van deze operators gebeuren veelal op basis van kennis en ervaring, dit is echter expliciete kennis. Om het inzicht in het asfaltverwerkingsproces te vergroten is het van belang om de bewegingen, positie en snelheid van het materieel gedurende het asfaltverwerkingsproces te monitoren. Op basis van deze data kan vervolgens het asfaltverwerkingsproces nader worden geanalyseerd. In dit hoofdstuk zal de systeemarchitectuur van een monitoringsysteem functioneel beschreven worden. Met dit monitoringssysteem is het mogelijk om data te verzamelen uit het asfaltverwerkingsproces. In paragraaf 4.2 wordt beschreven welke fasen er in een procesanalyse worden onderscheiden.

### 4.2 Analyse van het asfaltverwerkingsproces

Bij de analyse van een proces kunnen volgens Oglesby *et al* [1998] vier fasen onderscheiden worden (zie figuur 4.1): *recordfase*, *analysefase*, *devisefase* en *implementfase*. Waarbij de *record-fase* betrekking heeft op het verzamelen van data en andere waardevolle informatie die nodig is voor de analyse. De *analysefase* heeft betrekking op het realistisch modelleren en het opnieuw bekijken van het constructieproces. Het doen van aanbevelingen en het uitzetten van strategieën op basis van de analysefase gebeurt in de *devisefase*. Gedurende de laatste fase, de *implement-fase*, worden de aanbevelingen ten aanzien van het proces daadwerkelijk doorgevoerd. Deze stappen zijn ontwikkeld om processen beter te begrijpen zodat hierdoor verbeteringen kunnen worden gerealiseerd [Hildreth, 2002].



Figuur 4.1: fasen bij analyse uitvoeringsproces  
[Bron: Hildreth, 2002]

Alvorens er aanbevelingen gedaan kunnen worden (implement fase) ten aanzien van het asfaltverwerkingsproces dient het asfaltverwerkingsproces eerst geanalyseerd te worden. In de doelstelling van dit onderzoek is beschreven dat wordt getracht om de inzichtelijkheid in het asfaltverwerkingsproces te vergroten. Op basis van een technologiescan naar positioneringstechnologieën wordt een monitoringsysteem beschreven waarmee data van de bewegingen van het materieel kan worden verzameld en uiteindelijk geanalyseerd. In paragraaf 4.3 zal worden beschreven welke dataverzamelmethode er onderscheiden worden.

---

## 4.3 Dataverzamelingmethoden

Bij de beschikbare data-analysetechnieken kan er onderscheid worden gemaakt tussen een handmatige en autonome dataverzamelingmethode.

### 4.3.1. Handmatige dataverzamelingmethode

Een analyse wordt handmatig genoemd wanneer in minstens één fase in het proces een menselijke tussenkomst noodzakelijk is [Kannan, 1999]. Voorbeelden van handmatige dataverzamelingmethoden zijn de toepassing van stopwatch, time-lapse photography en video data acquisition [Helbreth, 2002]. Handmatige dataverzamelingmethoden hebben volgens Oglesby [1998] significantie beperkingen. De observeerder dient namelijk continu te beslissen wanneer een activiteit stopt en wanneer de volgende start. Bij de analyse van een uitvoeringsproces zijn er vaak veel componenten (werknemers en materieel) die gelijktijdig gemonitord moeten worden. Dit is voor één enkele observeerder niet mogelijk waardoor er meerdere observeerders vereist zijn wat de stopwatchstudie erg intensief en duur maakt [Navon en Shpatnisky, 2005]. Een handmatige meting is volgens Kannan et al [2000] wel geschikt voor de toepassing van job studies maar niet toereikend voor een simulatie. Voor modelleer en simulatietechnieken zijn er namelijk grote hoeveelheden data nodig die statistisch geanalyseerd kunnen worden. Indien deze data met behulp van handmatige dataverzamelingmethoden verkregen moet worden is dat een erg dure wijze van data verzamelen [Hildreth, 2003]. De handmatige dataverzamelingmethode is volgens Hildreth [2003] echter niet bruikbaar voor de analyse van een uitvoeringsproces omdat ongeacht of er bij de handmatige methode gebruik wordt gemaakt van stopwatch, foto- of video-opnamen om een proces te analyseren ze allemaal gelimiteerd worden door het beschikbare gezichtsveld van de observeerder. Tevens is de beschikbare informatie te gelimiteerd door het detailniveau van de verzamelde data. Volgens Kannan en Vorster [2000] kunnen de onvolkomenheden die kunnen ontstaan bij handmatige datacollectie zoals o.a. beoordelingsfouten worden voorkomen door gebruik te maken van een *autonome data verzamelingmethode*.

### 4.3.2. Autonome dataverzamelingmethode

Bij de toepassing van autonome dataverzamelingmethode wordt menselijke tussenkomst bij het verzamelen van procesdata tot een minimum beperkt [Hildreth, 2003; Kannan, 2000]. Het voordeel van een autonome data collectie is dat deze continu en autonoom wordt uitgevoerd en dus niet zoals bij de handmatige methode wordt beïnvloed door een beschikbaar gezichtsveld van de observeerder en klimatologische omstandigheden gedurende de meting [Kannan en Vorster, 2000]. De AdviesRaad Technologie Bouwnijverheid (ARTB) heeft in 1998 een toekomstvisie geschreven over de bouwsector. Daarin werd geschreven dat er in de toekomst technologieën toegepast zullen worden die het inmeten positioneren en registreren mogelijk zou maken zonder menselijke tussenkomst, dus op een autonome wijze. In paragraaf 4.4 wordt toegelicht welke positiebepalingmethoden er worden onderscheiden.



---

## 4.4 Positiebepalingsmethoden

Zoals in de inleiding staat beschreven is het voor het inzichtelijk maken van het asfaltverwerkingsproces van belang om de bewegingen en posities van het materieel te monitoren. Voor het bepalen van de positie van het materieel in het asfaltverwerkingsproces kunnen er twee positiebepalingsmethoden worden onderscheiden: de *relatieve positiebepaling* (dead-reckoning) en *absolute positiebepaling* (referentie-gebaseerde systemen). [Peyret (1998); Borenstein et al (1996)]:

### 4.4.1. Relatieve positiebepaling (dead-reckoning)

Bij dead-reckoning wordt de nieuwe positie bepaald ten opzichte van de vertrekplaats van het object met behulp van informatie die verkregen wordt door middel van sensoren die in het systeem geïntegreerd zijn. De afgelegde afstand wordt bepaald door middel van een wielsensor, ook wel odometer genoemd. De odometer telt het aantal omwentelingen dat het wiel heeft gemaakt vanaf vertrek. De richtingsverandering wordt bepaald met behulp van een kompas en het aanbrengen van wielsensoren in de voorwielen. Doordat in een bocht het binnenwiel langzamer rondraait dan het buitenwiel kan bepaald worden welke hoek wordt gemaakt en dus in welke mate verandering van richting plaatsvindt. Het nadeel van dead-reckoning is dat fouten in een eerdere plaatsbepaling doorwerken in je nieuwe positie indien je de nieuwe positie niet kunt refereren aan een bekende positie. De nieuwe plaatsbepaling is hierdoor hoogstens net zo nauwkeurig als de oude. Bovendien kan de nieuwe plaatsbepaling slechts vastgesteld worden indien het mogelijk is snelheid en richting nauwkeurig te meten. De afwijking bij dead-reckoning is afhankelijk van de nauwkeurigheid van de toegepaste sensors [Bonsen et al, 2003].

### 4.4.2. Absolute positiebepaling

Bij *absolute plaatsbepaling* wordt de huidige positie bepaald door metingen te verrichten naar bakens waarvan de positie bekend is. Deze bakens zijn normaal binnen een bereik van enkele meters tot enkele kilometers van het object. De uitzondering hierop is indien er gebruik wordt gemaakt van satellieten als bakens (GPS). Volgens Peyret [1998] zijn er drie soorten bakens te onderscheiden: een *actieve baken* die een signaal uitzendt, een *semi-actieve baken* die is voorzien van een actieve sensor en een *passieve baken* die alleen signalen reflecteert. Volgens Peyret [1998] zijn er drie typen stralen te onderscheiden die gebruikt kunnen worden voor de afstandmetingen:

- *Ultrasonische stralen*  
Deze vinden de toepassing in sensoren op materieel en worden volgens Peyret [1998] nooit toegepast als hoofdonderdeel van een absoluut plaatsbepalingsstelsel. Volgens Oloufa et al [2003] hebben ultrasonische technologieën echter lage implementatiekosten, kleine afmetingen en een snelle responstijd. Het grootste nadeel van deze technologie is dat ze echter onder bepaalde omstandigheden niet betrouwbaar zijn en een bereik hebben van slechts enkele meters.
- *Licht stralen*, zichtbaar of onzichtbaar (infrarood), coherent (laser) of niet-coherent. De positieve kenmerken van infrarood is dat ze een snelle

---

responstijd en kleine afmetingen hebben. De betrouwbaarheid van technologieën op basis van infraroodstraling is echter niet zo groot en het bereik is beperkt. Laserstralen worden vooral toegepast voor afstand- en hoogtemetingen. Volgens Peyret [1998] is het mogelijk om op basis van laserstralen de positie te bepalen van langzaam bewegende voertuigen. Ook een robotic total station kan gebruikt worden voor het bepalen van een 3D positie van een object.

- *Microstralen* hebben een ongelimiteerd bereik in het geval satellietgebaseerde systemen en tot honderden kilometers in geval van land beacon systems. Systemen die gebruik maken van microstralen zijn echter niet geschikt voor het bepalen van hoekmetingen maar worden vooral gebruikt voor afstandsmeting.

#### 4.4.3. Keuze voor plaatsbepalingmethode

Dead-reckoning wordt volgens Peyret [1998] vooral gebruikt als aanvulling op de absolute plaatsbepaling, meestal om de ratio en beschikbaarheid van de metingen te verbeteren. Vanwege de nadelen zal deze plaatsbepalingmethode niet als hoofdsysteem worden gebruikt voor het bepalen van de positie van het materieel in het asfaltverwerkingsproces.

Binnen de absolute plaatsbepaling methode hebben systemen die werken met ultrasonische of lichtstralen als tekortkoming dat ze een zogenaamd *direct line of sight* vereisen. Er moeten altijd drie bekende bakens zichtbaar zijn om de positie te kunnen bepalen. Indien deze techniek op een bouwplaats toegepast zou worden zorgen de voertuigbewegingen voor onderbrekingen in deze zichtbaarheid vandaar dat dit systeem niet geschikt is als plaatsbepalingssysteem voor de analyse van het asfaltverwerkingsproces. Een ander nadeel van een systeem op basis van laserstralen zoals de robotic total station, is dat indien deze toegepast wordt als monitoringsinstrument er per machine één total station benodigd is [Retcher, 2002]. Voor het bepalen van de positie van het materieel in het asfaltverwerkingsproces zal daarom gebruik worden gemaakt van een systeem die werkt op basis van microstralen. Het bekendste systeem dat onder deze groep valt is het Global Positioning System (GPS). Met GPS is het mogelijk om data op een autonome wijze te verzamelen. Het grootste voordeel van GPS boven de andere genoemde systemen is dat deze niet afhankelijk is van een zogenaamde *line of sight* [Oloufa, 2001].

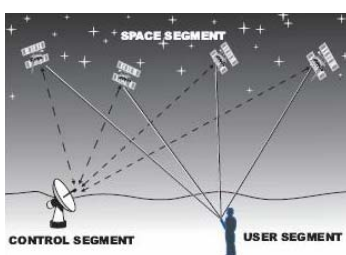
De GPS techniek heeft een breed toepassingsgebied. In het grondverzet is en wordt GPS toegepast om processen te automatiseren en dit heeft geleid tot indrukwekkende resultaten in zowel hoeveelheid- en kwaliteitscontrole [Navon et al, 2003]. De GPS-technologie kan worden gebruikt voor het verzamelen van data, maar ook kan ook dienen voor voertuiggeleiding. Volgens Hildreth [2003] heeft de toepassing van de GPS-technologie op het materieel in de Moreci kopermijn geleid tot zowel prestatieverbetering als kostenbesparingen. Van alle positietechnieken is GPS momenteel de meest toegepaste techniek voor de positiebepaling van een object [Peyret 1998]. Voor de ontwikkeling van het monitoringssysteem is vanwege de bovenste voordelen gekozen voor de GPS-technologie voor het bepalen van de positie van het materieel in het asfaltverwerkingsproces. Wat GPS precies is, hoe het werkt en welke beperking het heeft wordt toegelicht in paragraaf 4.5.

---

## 4.5 Global Positioning System als autonome datacollectie methode

Het Global Positioning System (GPS) is een op satelliet gebaseerd radionavigatiesysteem en wordt op steeds grotere schaal gebruikt om positiedata te verkrijgen. Het GPS-systeem is in de jaren 60 ontwikkeld en wordt beheerst door het US Department of Defence (DoD) [Hildreth, 2003]. Vanaf 1980 is het systeem ook toegankelijk voor civiele doeleinden. Momenteel zijn er twee onafhankelijk satelliet-navigatiesystemen operationeel, het Amerikaanse GPS en het Russische GLONASS, een derde, GALLILEO (Europees) is in ontwikkeling [Topcon, 2005]. Het satellietplaatsbepalingssysteem is een integratie van drie hoofdsegmenten die in paragraaf 4.5.1 worden toegelicht.

### 4.5.1. Hoofdsegmenten van een satellietplaatsbepalingssysteem



Figuur 4.2: hoofdcomponenten GPS  
[Bron: Garmin, 2000]

Volgens [Spencer et al, 2003; Garmin, 2000] bestaat een satellietplaatsbepalingssysteem uit de volgende drie hoofdcomponenten: het ruimtesegment, het controlesegment en het gebruikerssegment (zie figuur 4.2).

#### Ruimtesegment

Tot het ruimtesegment behoren de satellieten die zich in een baan om de aarde bevinden. Elke satelliet zendt een zeer nauwkeurig radiosignaal uit waarmee de gebruikers de positie op de aarde kunnen bepalen. Het Amerikaanse GPS-systeem bestaat uit een 29-tal satellieten, waarvan er 24 gebruikt worden. De satellieten bevinden zich in zes verschillende banen op een hoogte van 20.000km boven het aardoppervlak. De constellatie is zo ontworpen dat er minimaal vier satellieten zichtbaar zijn op elk moment op elke plek op aarde [Spencer et al, 2003].

#### Controle segment

In totaal bestaat het controlesegment uit één Mastercontrol Station en enkele gewone controlestations die zo verdeeld zijn dat elke satelliet continu in het bereik is van minstens één controle station. De controlestations verzamelen op passieve wijze data over de exacte positie van de satelliet [Hildreth, 2003]. De gegevens die door de controlestation verzameld zijn worden gebruikt om het gedrag van de satelliet(-baan) en klokinstelling te bepalen. Het controle segment heeft de verantwoordelijkheid om ervoor te zorgen dat de satellietbaan- en klokafwijkingen binnen vastgestelde limieten blijven. Indien de daadwerkelijk uitgezonden data afwijken van de voorspelde tijd en baangegevens van de satelliet worden er correctieopdrachten vanuit het mastercontrol station verstuurd [Spencer, 2003].

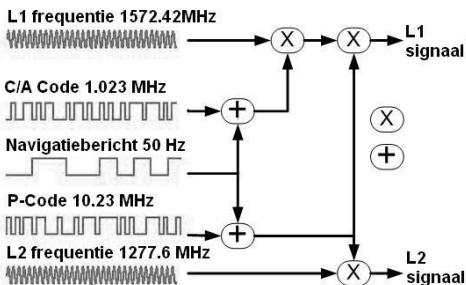
#### Gebruikerssegment

De satellieten zenden continu data naar gebruikersapparatuur en het controle station. De uitgezonden GPS-signalen worden opgevangen met een GPS-ontvanger. Nadat de GPS-signalen door de processor zijn bewerkt is de plaatsbepaling voor het object of persoon, in termen van lengtegraad, breedtegraad en hoogte beschikbaar [Kannan, 1999]. Nadat de positie bekend is, is het voor de GPS-ontvanger ook mogelijk om andere bruikbare informatie zoals: snelheid, baan, afgelegde weg en afstand tot eindpunt te bepalen. Dit

zijn ook belangrijke factoren die meer inzicht verschaffen in het asfaltverwerkingsproces.

#### 4.5.2. GPS satelliet signalen

Satellieten die behoren tot het GPS-systeem zenden radiosignalen uit op twee frequenties (draaggolven), namelijk de L1/frequentie en L2/frequentie (figuur 4.3). Op deze frequenties worden verschillende gecodeerde PRN (Pseudo Random Noise) signalen uitgezonden. Het eerste signaal is de zogenaamde C/A (Coarse Acquisition) code ook wel Standard Positioning Service (SPS) genoemd. Elke satelliet heeft een unieke SPS code waaraan hij herkend kan worden. Een tweede code is de P (Precision) code, ook wel de Precise Positioning Service (PPS) genoemd. De L1 frequentie wordt gemoduleerd door de P-code (Precise Code) en de C/A (Coarse Acquisition) Code. De L2 frequentie verzendt informatie die alleen met speciale hardware gedecodeerd kan worden en bevat de P-Code en een navigatie bericht. Beide draaggolven worden voorzien van een navigatiebericht die informatie bevat informatie m.b.t. de baan van de satelliet, klok correcties en andere systeem parameters [Oloufa en Aty, 2001].



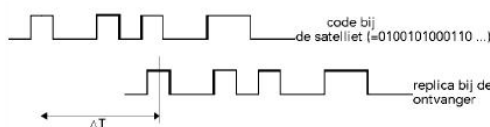
Figuur 4.3: satelliet signalen

#### 4.5.3. Basisconcept van GPS

Een GPS-ontvanger kan zijn positie bepalen door de GPS-satellieten als referentiepunten te gebruiken. Een GPS-ontvanger bepaalt de locatie op basis van de afstand tussen de GPS-ontvanger en minimaal drie GPS-satellieten, dit wordt ook wel *trilateratie* genoemd. Satellieten worden gebruikt als referentiepunt, omdat deze onder continu toezicht staan en hierdoor altijd zeer nauwkeurig hun positie bekend is [Oloufa en Aty, 2001]. De afstand van ontvanger tot de satellieten kan op twee manieren worden bepaald: door middel van *pseudo-range meting* of door *carrier-phase meting* (fasemeting).

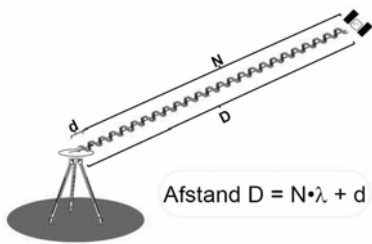
##### Pseudo-range meting

Bij de pseudo-range meting wordt op basis van de C/A code of de P/code de afstand bepaald. De afstand tussen ontvanger en satelliet is eenvoudig te bepalen met de vergelijking:  $D = T * C(o)$ . Hierbij is D, de afstand van de ontvanger tot de satelliet die kan worden bepaald op basis van de snelheid C(o) van het GPS-signaal. De snelheid C(o) van het satelliet signaal is gelijk aan de voortplantingssnelheid van licht<sup>a</sup>. De variabele tijd (T) is in dit geval het tijdsinterval dat nodig is om de code gegenereerd door de ontvanger te correleren met de ontvangstcode van de satelliet. In ideale omstandigheden is het tijdsinterval gelijk aan het verschil ontvangsttijdstip op de ontvanger en de vertrektijd bij de satelliet (figuur 4.4). Het worden "pseudo-afstanden" genoemd omdat in deze afstand ook de tijdsvertraging als gevolg van het gebruik van een precieze atoomklok in de satelliet en een eenvoudige klok in de ontvanger [Peyret, 2000].



Figuur 4.4: tijdsintervalmeting bij pseudo-range meting

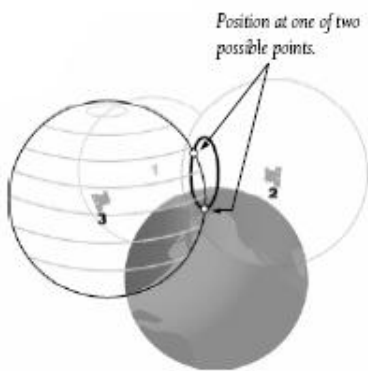
<sup>a</sup> De snelheid van het licht in het vacuüm bedraagt 299.792.458 meter per seconde (= ca. 300.000 km/s).



Figuur 4.5: fasemeting  
[Bron: Garmin 2000]

### Carrier-phase meting

Bij de fasemeting (zie figuur 4.5) wordt de afstand bepaald door het verschil in fase gemeten tussen de ontvangen draaggolf (L1 en/of L2) en de door de ontvanger gegenereerde golf. Hierbij kan de afstand worden bepaald met de formule  $D = N \cdot \lambda + d$ . In deze vergelijking is  $D$ , de afstand tussen ontvanger en satelliet. De afstand wordt bepaald door het eerste gedeelte van de golflengte ( $d$ ), de fasemeerduideligheid (aantal hele golven,  $N$ ) en de lengte van één golfje ( $\lambda$ ) [Thales, 2005].



Figuur 4.6: trilateratie meting  
[Bron: Garmin, 2000]

Indien de afstanden tussen de ontvanger en satelliet bepaald zijn of door pseudo-range meting of door carrier-fase meting, is het mogelijk om de positie te bepalen. Stel nu dat een GPS-ontvanger de afstand tot satelliet p1 bepaald heeft op 23.000 km. Dan wil dit zeggen dat de GPS-ontvanger zich ergens bevindt op de denkbeeldige bol met een straal van 23.000 km en als middelpunt de satelliet. Indien de GPS-ontvanger bepaalt dat de afstand tot een tweede satelliet (p2) 26.000 km bedraagt, zijn de enige plekken waar de GPS-ontvanger zich kan bevinden, de twee snijpunten van de twee denkbeeldige bollen. Deze insnijding is een cirkel van punten. Een derde meting (p3) zorgt voor een derde denkbeeldige bol en snijdt de cirkel van punten gevormd door satelliet 1 en 2. Door deze snijding zijn er nog maar 2 mogelijke posities van de GPS-ontvanger (figuur 4.6). Een vierde meting (s4) zou door een van deze twee punten gaan om daarmee de definitieve positie van de GPS-ontvanger te bepalen. Voor het bepalen van de exacte locatie is deze meting echter niet benodigd omdat één punt onredelijk, bijvoorbeeld enkele duizenden kilometers van het aardoppervlak verwijderd is. Een vierde meting is wel om een andere reden noodzakelijk. Doordat de satellieten zich op een hoogte van ongeveer 20.000 km boven het aardoppervlak bevinden kan een afwijking in de reistijd (t.g.v. klokfout) van het GPS-sigitaal zorgen voor een afwijking in positiebepaling van enkele honderden meters. Doordat satellieten zijn uitgerust met extreem precieze atoomklokken en een GPS-ontvanger met een kwartsklok is het onmogelijk deze te synchroniseren, dit wordt ook wel de klokfout genoemd [Spencer, 2003]. Om deze fout te elimineren is een vierde satelliet nodig. In paragraaf 4.5.4 worden de verstoringbronnen toegelicht de nauwkeurigheid van de GPS-meting negatief beïnvloeden.

#### 4.5.4. Verstoringbronnen van GPS-nauwkeurigheid

Nauwkeurigheid is één van de belangrijkste gebruikerselementen van het GPS-systeem en bepaald tevens welk type GPS-ontvanger vereist is. Volgens Oloufa et al [2001] wordt er onder nauwkeurigheid verstaan:

*“De mate waarin de gemeten positie, tijd en/of snelheid van de GPS-ontvanger afwijkt van de actuele, real-world waarde”.*

Bij de nauwkeurigheid van een plaatsbepaling worden er twee componenten onderscheiden: de positie ( $x,y$ ) en de hoogte ( $z$ ). Volgens Topcon [2005] wordt er in de positie ( $x,y$ ) een hogere nauwkeurigheid behaald dan in de hoogte ( $z$ ). Dit komt doordat er bij een positiebepaling het principe van driehoeksmetingen wordt gebruikt. Doordat de satellieten zich enkele duizenden kilometers boven

---

het aardoppervlak bevinden en de mobiele gps-ontvanger (rover) en het basisstation maar enkele kilometers uit elkaar zijn, is de hoogte (z) moeilijker te bepalen dan de positie (x,y) [Topcon, 2005]. Een hoge nauwkeurigheid van een GPS-ontvanger vereist een enorme rekencapaciteit, krachtig ingebouwde software en een fouteliminatie. Hoe nauwkeurig de GPS-ontvanger, hoe nauwkeurig de positiedata, hoe duurder het systeem. Volgens Spencer [2003] zijn er tal van obstakels en storingsbronnen die de satelliet signalen en hiermee de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling beïnvloeden, deze zijn: ephemeris errors, receiver clock errors, multipath interferentie, position dilution of precision, selective availability.

#### **Ephemeris errors (satelliet-drift)**

Ephemeris fouten zijn discrepanties tussen de voorspelde satellietbaan en het actuele pad die de satelliet heeft afgelegd. Wanneer in werkelijkheid de satelliet een andere positie heeft dan voorspeld is, zal de berekende afstand van de GPS-ontvanger tot de satelliet niet juist zijn. Dit heeft gevolgen voor de nauwkeurigheid [Spencer, 2003].

#### **Atmosferische errors**

De satelliet signalen buigen af (refractie) en worden afgeremd wanneer ze de verschillende luchtlagen passeren.

#### **Receiver klok errors**

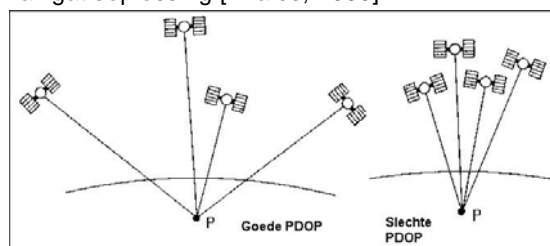
De atoomklokken in de GPS-satellieten zijn veel preciezer dan de klok in de GPS-ontvanger. Door dit verschil kan er de afwijking ontstaan in de bepaling hoeveel tijd het signaal nodig heeft om de afstand tussen satelliet en ontvanger te overbruggen.

#### **Multipath interferentie**

Een van de grotere foutenbronnen is die van multipath interferentie. De GPS-signalen kunnen niet door massieve objecten zoals bomen en gebouwen heen. Het correcte signaal wordt door tussenkomst van meer bomen, gebouwen en auto's gereflecteerd. Multipath is te herkennen aan sterke fluctuaties in de hoogte. Voor dynamische toepassingen is multipath een van de belangrijkste storingsbronnen [Thales, 2005]

#### **Position dilution of precision (PDOP)**

De geometrische positie van de satellieten ten opzichte van de gebruiker is ook van invloed op de positieberekening [Spencer, 2003]. De veranderingen in geometrie worden veroorzaakt door satelliet bewegingen als mede veranderingen van de gebruiker. De satelliet geometrie (zie figuur 4.7) wordt uitgedrukt in een waarde de zogenaamde *Dilution Of Precision* (DOP). Deze waarde geeft het effect van de geometrie op de nauwkeurigheid van navigatieoplossing [Thales, 2005].



Figuur 4.7: satelliet geometrie

---

### **Selective Availability (SA)**

Het Amerikaanse plaatsbepalingsysteem (GPS) is in eerste instantie ontwikkeld voor militaire doeleinden. Bij de ontwikkeling van het systeem is er rekening mee gehouden dat het systeem kon worden gebruikt voor niet militaire doeleinden, echter wel met een opzettelijk beperkte nauwkeurigheid. Selective Availability is echter vanaf het jaar 2000 opgeheven waardoor de nauwkeurigheid voor de toepassing bij civiele doeleinden is verbeterd [Kösters en Crombaghs, 2000].

#### **4.5.5. Absolute of differentiële GPS-plaatsbepaling**

Er kan bij het uitvoeren van een GPS meting onderscheid worden gemaakt tussen een *absolute* en *differentiële plaatsbepaling*.

##### **Absolute plaatsbepaling**

Bij absolute plaatsbepaling worden de in paragraaf 4.5.4 beschreven foutenbronnen *niet* geëlimineerd en de positie wordt bepaald door één enkele GPS-ontvanger. Bij deze oplossing wordt door middel van één mobiele ontvanger de positie bepaald met een nauwkeurigheid tussen de vijf en tien meter [Topcon, 2005]. Indien een nauwkeurigere positiebepaling vereist is, dan is volgens Peyret [2000] één enkele ontvanger niet voldoende en dient men twee of meer ontvangers te gebruiken. Dit wordt ook wel een differentiële plaatsbepaling genoemd.

##### **Differentiële plaatsbepaling**

Differentiële GPS (DGPS) maakt het mogelijk om enkele foutenbronnen te corrigeren en de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de GPS data te vergroten [Kannan 1999; Oloufa, 2003]. DGPS reduceert de invloed van ephemeris, satelliet signaal vertraging en klokfouten. Voor dynamische positiebepaling kan DGPS op twee verschillende manieren worden toegepast [Peyret, 2000]:

- differentiële modus, afstand op basis van pseudo-afstandsmeting (DGPS)
- kinematische modus, afstand op basis van fasemetingen, zogenaamde “kinematische GPS” (RTK DGPS)

Bij DGPS meet een ontvanger de coördinaten van een stationair punt, ook wel de basis genoemd. Het verschil in 3D tussen de gemeten positie en daadwerkelijke positie van het basispunt zal ongeveer gelijk zijn aan de meetfout van een tweede mobiele ontvanger (rover). Nu de meetfout bekend is kan de positie van de rover gecorrigeerd worden door gebruik te maken van een correctiesignaal [Peyret, 2000b].

##### **Post-processing of real-time correctiemethode**

De berekeningen van de differentiële correcties kunnen achteraf, *postprocessing*, of *real-time* uitgevoerd worden. Het voordeel van postprocessing is dat er hogere nauwkeurigeden behaald kunnen worden. De meet sessies daarentegen zijn lang en het is niet mogelijk om real-time de coördinaten in het veld te krijgen [Thales, 2005]. De laatste modus, waarbij

---

real-time correctie data naar de rover wordt gestuurd wordt ook wel real-time kinematische DGPS (RTK DGPS) genoemd [Peyret, 2000b].

### **Kinematische DGPS (RTK DGPS)**

Bij kinematische DGPS worden zowel de code- als de fasemetingen van het satelliet signaal, van zowel basisstation als rover, gebruikt om het correctiesignaal (3D-vector) te berekenen. De precisie van een kinematische plaatsbepaling kan worden verbeterd door de toepassing van een zogenaamde Kalman-filter. Een Kalman-filter is een rekenmethode waarmee het mogelijk is verstoringen uit meetreeksen te verkleinen. Een Kalman-filter bij positiebepaling maakt gebruik van de informatie van voorgaande posities om de actuele positie te verbeteren. Hierdoor zal de betrouwbaarheid van de plaatsbepaling worden verhoogd en kan er informatie worden gegeven met betrekking tot de snelheid van het voertuig [Husti, 2000]. Met de kinematische DGPS-methode kan een centimeter nauwkeurigheid behaald worden. Deze nauwkeurigheid kan worden vergroot tot 1mm door (1) het toepassing van een Kalman-filter en (2) de berekeningen te middelen over een langere tijdsperiode. Deze methode kan gebruikt worden voor uitzetwerkzaamheden doordat positie en hoogte real-time beschikbaar zijn [Thales, 2005]. De prestatie van RTK DGPS wordt mede bepaald door de prestaties van de radio link die het correctiesignaal moet overbrengen en de software van de fabrikant [Peyret, 2000b, Peyret, 1998]. Het ontstaan van zogenaamde clips is het grootste nadeel bij de toepassing van RTK DGPS. Cycle clips ontstaan wanneer het GPS-signaal voor een (zeer) korte tijd wordt onderbroken. Hierdoor ontstaat er een discontinuïteit in de fasemetingen. Bij het gebruik van RTK DGPS is het van belang dat deze discontinuïteit wordt gedetecteerd en gecorrigeerd met behulp van een softwarepakket.

### *Referentiestation bij differentiële plaatsbepaling*

Zowel bij DGPS als RTK DGPS wordt er gebruik gemaakt van referentiestations die een correctiesignaal versturen. Een referentiestation dat een correctiesignaal uitzend is volgens Boogaard et al [2003] in principe zelf in te richten maar in de praktijk blijkt dit toch erg lastig te zijn. Daarnaast is het voordeel van een vast referentie station boven een eigen station dat een vast referentiestation niet dagelijks opgezet hoeft te worden. Naast een besparing in tijd en kosten wordt ook de kans op fouten geëlimineerd. In Nederland zijn enkele providers die een netwerk van referentiestations hebben opgezet waarvan de correctiesignalen voor DGPS of RTK-DGPS toepassingen al dan niet tegen betalingen kunnen worden ontvangen. Het verschil tussen een DGPS en RTK DGPS meting is de nauwkeurigheid. Voor een DGPS toepassing kan naast nationale DGPS-diensten gebruik worden gemaakt van het *European Geostationary Navigation Overlay System* (EGNOS). Bij deze dienst worden er correctiesignalen uitgezonden via communicatiesatellieten om de fouten in de GPS-positiebepaling ten gevolge van atmosferische invloeden op te heffen. Met EGNOS is het mogelijk om een absolute plaatsbepaling te verbeteren met een nauwkeurigheid van 3 meter. Voor de grotere nauwkeurigheid bij een RTK-DGPS meting is het noodzakelijk om iedere 25-30 km een referentiestation te hebben, omdat de invloed van de atmosfeer binnen een gebied met een straal van 15 km constant is [Min et al, 2002]. De afstand tussen de referentiestations kan echter worden vergroot (tot 75km) indien er gebruik wordt gemaakt van een netwerkopzet. Met een netwerkopzet is het mogelijk om met minder referentiestations een bepaald



gebied te dekken. Bij een netwerkopzet wordt er niet van één van maar van meerdere referentiestations gebruik gemaakt. De data van verschillende beschikbare referentiestations worden op één centrale plek met elkaar gecombineerd [Boogaard, 2003]. In tabel 4.1 zijn de twee providers opgenomen die in Nederland over een netwerk van vaste referentiestations beschikken voor het verzenden van correctiedata bij (RTK)-DGPS metingen [Min et al, 2002].

Naam	Dekkinggebied	RTCM	Verzendmethode	Precisie
O6-GPS www.06-gps.nl	Landsdekkend	Ja	GSM	1-10cm
LNR Globacom www.lnrglobalcom.nl	Landdekkend	Ja	GSM en UHF (radio)	1-10 cm

Tabel 4.1: overzicht van aanbieder RTK-DGPS correctiesignalen  
[Bronnen: Boogaard, 2003 en www.lnrglobalcom.nl ]

#### Verzenden correctiedata

Bij het verzenden van het correctiesignaal is het formaat en de verzend/ontvangstmethode van belang. Er is een internationale standaard afgesproken voor het verzenden van DGPS en RTK-DGPS correctiedata, het zogenaamde *Radio Technical Commission for Maritime Services* (RTCM). Voor het verzenden en ontvangen van de correctiesignalen kunnen er drie manieren worden onderscheiden: via radiomodems, via satellietverbinding of via een GSM-verbinding [Min et al, 2002]. Het correctiesignaal bij DGPS is een pseudo-range-correctie en bij RTK DGPS is het een correctie van een fasewaarneming. Een datalink zorgt voor de overdracht van de correcties tussen referentiestation en rover. In de meeste gevallen wordt daar een GSM-verbinding of een UHF-radioverbinding voor gebruikt. Een verschil tussen beide methode is dat de dekking van een GSM datalink veel groter is dan die van een radioverbinding. Het bereik van een radioverbinding is gelijk aan die van de het maximale dekkinggebied van een referentiestation. Het groter bereik van een GSM-verbinding is in dit geval geen voordeel. De ontvangstkwaliteit van de GSM-verbinding is wel beter dan die van een radioverbinding, de kosten zijn in het algemeen wel ook groter. De prestatie van RTK DGPS wordt mede bepaald door de prestaties van de datalink die het correctiesignaal moet overbrengen, daarom wordt bij RTK DGPS gekozen voor de betrouwbare GSM-verbinding.

In tabel 4.2 is een overzicht opgenomen van nauwkeurigheid bij absolute of differentiële plaatsbepaling.

Type meting	Nauwkeurigheid
Absolute plaatsbepaling met pseudo-range meting	5 meter
Differentiële plaatsbepaling met pseudo-range meting (DGPS)	2 meter
Differentiële plaatsbepaling met fasemeting (RTK DGPS)	<0,1 meter

Tabel 4.2: meetmethoden met bijbehorende nauwkeurigheid [Thales, 2005]

#### 4.5.6. GPS ontvangers

Peyret [1998] heeft een overzicht gemaakt van de hoofd modi, de bijbehorende nauwkeurigheid en het toepassingsgebied van type GPS-

---

ontvangers. Het merendeel van de GPS-ontvanger gebruikt de L1-frequentie, maar daar waar een grote nauwkeurigheid vereist is, is het ook noodzakelijk om ook informatie van de L2-frequentie te gebruiken. De GPS-ontvangers kunnen als *single frequency* (L1) of *dual frequency* (L1+L2) uitgevoerd worden. De single frequency gps-ontvangers kunnen verder worden onderverdeeld in C/A-code en een carrier type [Oloufa 2003]. Elk van de ontvangers bieden verschillende niveaus van nauwkeurigheid en de prijs van de GPS-ontvanger is afhankelijk van de nauwkeurigheid. Dual frequency ontvanger worden vaak daar toegepast waar een hoge nauwkeurigheid vereist is. Het nadeel is echter dat Dual frequency ontvangers prijzig zijn. Echter volgens Oloufa [2002] worden de nieuwere single-frequency ontvanger zo ontworpen dat deze zowel gebruik kunnen maken van GPS en het Russische Glonass. Hiermee kan een vergelijkbare nauwkeurigheid worden behaald voor de helft van de prijs. Belangrijke aspecten bij de keuze van een GPS-ontvanger is het aantal kanalen, dit bepaalt namelijk hoeveel satelliet signalen er verwerkt kunnen worden. En hoe vaak per seconde data verwerkt en verstuurd kan worden, dit wordt aangegeven in Hz. Met de komst van een derde constellatie van satellieten (GALILEO) wordt verwacht dat de markt hierop zal reageren met GPS-ontvangers die elk signaal accepteert van een willekeurige satelliet plaatsbepalingssysteem. Hiermee wordt de beschikbaarheid, nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het gehele systeem verbeterd [Oloufa, 2003].

#### **4.6 Ontwerp van een monitoringssysteem voor het analyseren van het asfaltverwerkingsproces**

In deze paragraaf zal op functionele wijze de architectuur van een systeem worden beschreven waarmee het mogelijk is om data van het asfaltverwerkingsproces te verzamelen. Specifiek gaat het om positie- en snelheidsdata van het materieel die toegepast wordt in het asfaltverwerkingsproces. In paragraaf 4.5.5 is gekozen voor de toepassing van een relatief positiebepalingssysteem en dan meer specifiek voor de toepassing van het GPS-systeem. Bij GPS is het mogelijk om data te verzamelen over de positie en snelheid van het materieel op een bepaald tijdstip. De GPS data wordt gebruikt als input voor het analyseren van het asfaltverwerkingsproces. Wanneer data beschikbaar is van de positie van het materieel op een gegeven tijdstip is het mogelijk om zogenaamde tijd-wegdiagram te gebruiken. Een tweede mogelijkheid is om de GPS data te gebruiken voor het opstellen van een simulatiemodel van het asfaltverwerkingsproces. Het ontwerp van het systeem zal beperkt blijven tot het beschrijven van de systeemarchitectuur. Als eerste zal worden beschreven waaraan het systeem zal moeten voldoen.

##### **Waar moet het systeem aan voldoen?**

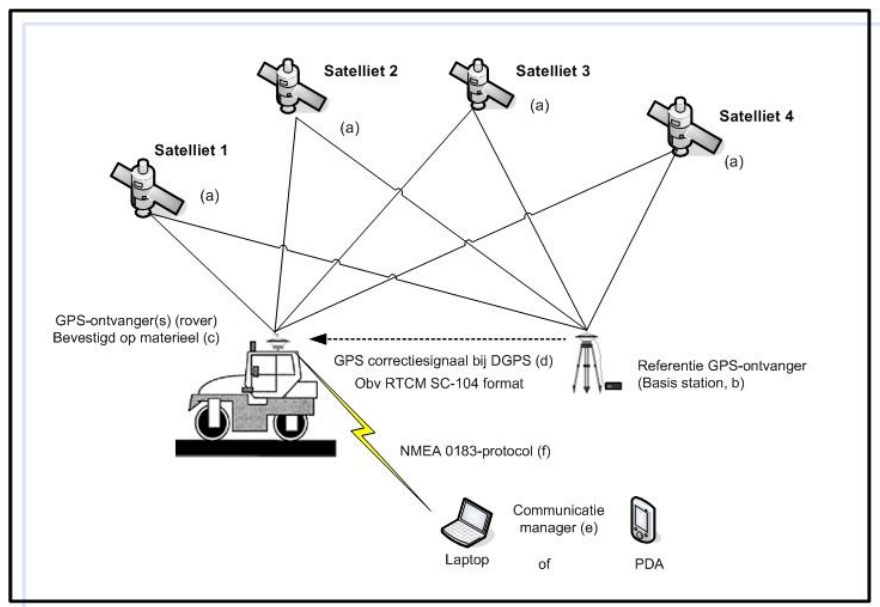
Het monitoringssysteem zal worden gebruikt voor het verzamelen van data uit het asfaltverwerkingsproces. Doordat het systeem gebruikt zal worden op projectlocaties dient het systeem *transportabel* te zijn. Een tweede vereiste is dat het systeem zal moeten werken in het *nationale coördinatenstelsel*.

### Type GPS-meting: absoluut of relatief?

In paragraaf 4.4.5 is er onderscheid gemaakt tussen de absolute en relatieve plaatsbepalingmethode. De relatieve plaatsbepalingmethode is vele malen nauwkeurig dan de absolute plaatsbepalingmethode omdat er gebruik wordt gemaakt van een referentieontvanger om de nauwkeurigheid te vergroten. Om de positie van het materieel te bepalen is er een nauwkeurigheid vereist van <math><0,1\text{m}</math>. Deze nauwkeurigheid is alleen te bereiken indien gebruik wordt gemaakt van relatieve plaatsbepaling (DGPS) op basis van fasemeting (4.5.3).

### Systeemarchitectuur

Het systeem bestaat uit drie hoofdcomponenten, te weten: hardware, software en een communicatie manager. Tot de categorie hardware behoren de GPS-ontvangers (zowel rover als basisstation) en de GPS antenne. De softwarecomponent is een nog te ontwikkelen programma waarmee de GPS-data verwerkt kan worden. De nog te ontwikkelen software dient op de communicatiemanager te kunnen worden geïnstalleerd. Een PDA of laptop zou gebruikt kunnen worden als communicatiemanager of database. In geval van een communicatie manager wordt de GPS-data alleen doorgestuurd naar een andere server.



Figuur 4.8: systeemarchitectuur monitoringssysteem

### Toelichting monitoringssysteem

Figuur 4.8 is een visuele weergave van het monitoringssysteem. Voor het bepalen van een positie zijn zoals is toegelicht in paragraaf 4.5.3, vier satelliet signalen (a) nodig. De satelliet signalen worden door zowel de GPS ontvangers van het basisstation (b) als de rover op het materieel (c) gebruikt om de positie te bepalen. De reden voor de toepassing van een basisstation is dat de exacte positie van de rover door verschillende bronnen verstoord kan zijn (paragraaf 4.5.4). Doordat de positie van het basisstation (b) geodetisch bekend is en aangenomen wordt dat beide ontvangers beïnvloed worden door dezelfde verstoringbronnen is het mogelijk om een correctiesignaal te bepalen (d). Het correctiesignaal kan zoals beschreven is in paragraaf 4.5.5 achteraf of real-time verzonden worden. Het overbrengen van differentiële correcties tussen het basisstation en rover gebeurt op basis van het RTCM SC-104

format protocol [Thales, 2005]. De gecorrigeerde GPS-data van de rover dient vervolgens gecommuniceerd te worden met de communicatiemanager (e). Er is door de “National Marine Electronics Association (NMEA)” een standaardformaat opgesteld voor de uitwisseling van data tussen marin navigatie-instrumenten. Tegenwoordig zenden de meeste GPS-ontvangers uit volgens het zogenaamde “NMEA 0183 GPS message format (f)”. De output van de GPS-ontvanger is de input voor de softwarecomponent die op de communicatiemanager wordt geïnstalleerd. Om deze reden representeert de NMEA 0183 de ASCII interface (*American Standard Code for Information Interchange*), de belangrijkste en meest toegepaste standaard bij PC-gebruik. De NMEA 0183 is in de vorm van een continue stroom van sentences. Elke sentence bestaat uit een aantal vooraf gedefinieerde data velden welke door middel van komma’s gescheiden worden. Door de NMEA is een standaard specificatie opgesteld voor verschillende sentence typen. De meest relevante sentence die gebruikt kan worden voor de analyse van het uitvoeringsproces is de zogenaamde GPRMC-sentence. De GPRMC-sentence bevat alle nauwkeurige tijd-, positie- en snelheidsinformatie [Bhat et al, 2004]. Dit is ook de informatie die nodig is voor het bepalen van de positie en snelheid van het materieel dat toegepast wordt in het asfaltverwerkingsproces. Bij de GPRMC-sentence staat GP staat voor GPS en RMC voor Recommended Minimum Specific GPS/Transit data. In onderstaand tabel 4.3 is een voorbeeld weergegeven van een GPRMC-sentence [Oloufa, 2001]:

```
$GPRMC, 221846, A, 4916.45, N , 12311.12, W , 050.5, 054.7, 191199, 020.3, E*68
[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12]
```

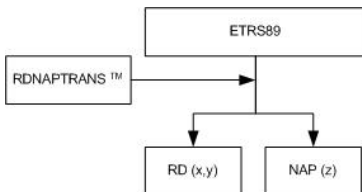
Field	Beschrijving	Formaat/Waarde
1	GPRMC geeft aan welke type GPS output er door de sentence wordt weergegeven	GPRMC
2	Tijd van de positiemeting (in Coordinated Universal Time of Greenwich Mean Time)	hhmmss.ss
3	ontvangerstatus (A= valid/OK, V= navigation receiver warning)	A/V
4	lengtegraad	ddmm.mmmm
5	Specificatie van de lengtegraad (noordelijk- (N) of zuidelijk (S)- halfmond)	N/S
6	breedtegraad	ddmm.mmmm
7	Specificatie van de breedtegraad (ten oosten (E) of ten westen (W) van de 0°-meridiaan)	E/W
8	Snelheid over de grond (in knots)	0.0 to 999.9
9	bewegingsrichting	0.0 to 359.9
10	Datum van positiemeting (in Coordinated Universal Time of Greenwich Mean Time)	ddmmyy
11	Afwijking van het magnetisch noorden	000.0 to 180.0
12	Specificatie van de afwijking van het magnetisch noorden (E= East, W= West)	E/W

Tabel 4.3: toelichting GPRMC-sentence

De output van de GPS-ontvanger is de input voor de softwarecomponent die op de communicatiemanager wordt geïnstalleerd. De GPS-data wordt wereldwijd weergegeven in het World Geodetic System (WGS84) in lengte- en breedtegraden en een hoogte boven de ellipsoïde.

### Van wereldwijd referentiesysteem naar nationaal referentiesysteem

Naast het World Geodetic System (WGS84) is er ook een Europese referentiesysteem voor satelliet plaatsbepaling, het *European Terrestrial Reference System* (ETRS89). Het ETRS89 wordt gedefinieerd door een aantal vaste punten op de Europese plaat. In Nederland bevinden zich vijf stations die onderdeel zijn van het ETRS89 referentiesysteem en zijn gedefinieerd in het zogenaamde Actief GPS Referentiesysteem voor Nederland (AGRS.NL). Het AGRS.NL is de basis voor de bewaking van het nationale referentie stelsel. In Nederland worden twee referentiesystemen gebruik:



Figuur 4.9 RDNAPTRANS™

Bron: Thales [2005]

- Het RD-stelsel voor de positie in het platte vlak uitgedrukt in X- en Y-coördinaat;
- In het verticale vlak wordt de hoogte uitgedrukt ten opzichte van het Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Om het systeem in het nationale referentiesysteem te laten opereren is een transformatie nodig van ETRS89 coördinaten naar het nationale referentiestelsel (RD en NAP). De transformatie van ETRS89 naar RD en NAP coördinaten gebeurt in Nederland door middel van de RDNAPTRANS™-procedure (zie figuur 4.9)

## 4.7 Samenvatting en conclusies

Om het inzicht in het asfaltverwerkingsproces te vergroten is het van belang om de bewegingen, positie en snelheid van het materieel gedurende het asfaltverwerkingsproces te monitoren. Met behulp van een dataverzamelmethode kan data verzameld worden waarmee het asfaltverwerkingsproces nader kan worden geanalyseerd. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen een handmatige en autonome dataverzamelmethode. In het kader van dit onderzoek is gekozen voor een autonome dataverzamelmethode omdat de handmatige dataverzamelmethode te veel beperkingen heeft wanneer deze toegepast wordt voor het analyseren van constructieprocessen.

Om de beweging en positie van het materieel gedurende het asfaltverwerkingsproces inzichtelijk te maken wordt er gebruik gemaakt van een zogenaamde plaatsbepalingmethode. In de literatuur wordt er onderscheid gemaakt tussen relatieve en absolute plaatsbepaling. Bij relatieve plaatsbepaling wordt de nieuwe positie bepaald t.o.v. de oude door de afgelegde afstand en richting te meten. Deze methode wordt vrijwel nooit als hoofdsysteem gebruikt voor het bepalen van de positie maar als aanvulling op het absolute plaatsbepalingssysteem.

Bij de absolute plaatsbepaling wordt de huidige positie bepaald door metingen te verrichten naar bakens waarvan de positie bekend is. Voor de afstandsmeting tot de bakens kan gebruik worden gemaakt van gebruik worden gemaakt van ultrasonische stralen, lichtstralen of microgolven. Een systeem op basis van ultrasonische stralen is voor de analyse van een constructieproces niet toepasbaar omdat ze onder bepaalde omstandigheden niet betrouwbaar zijn en een bereik hebben van slecht enkele meters. Gekozen is voor een systeem op basis van microgolven omdat deze niet,

---

zoals bij een systeem op lichtstralen, een zogenaamde "direct line of sight" vereisen om een meting te kunnen verrichten. Het bekendste systeem dat werkt op basis van microgolven is het Global Positioning System (GPS). Het GPS-systeem is momenteel het meest toegepaste plaatsbepalingssysteem en heeft verschillende configuraties. Verschillende bronnen kunnen de nauwkeurigheid van een GPS-meting beïnvloeden. Momenteel wordt met een GPS-plaatsbepaling een grotere nauwkeurigheid gehaald in positie (x,y) dan in de hoogte (z). De nauwkeurigheid van de ontvanger speelt ook een grote rol. Hoe nauwkeuriger de GPS-ontvanger, hoe nauwkeuriger de positiesdata en hoe duurder het systeem. Er wordt onderscheid gemaakt tussen single frequency en dual frequency ontvangers. Een zijn twee belangrijke aspecten bij de keuze van een ontvanger, namelijk (a) het aantal kanalen en (b) de frequentie (Hz) van de ontvanger. Het aantal kanalen bepaald hoeveel satelliet signalen er ontvangen kunnen worden, de frequentie (Hz) hoe vaak per seconde data wordt verwerkt en verstuurd. Er wordt onderscheid gemaakt tussen absolute en relatieve GPS-metingen. Bij een absolute meting wordt er gewerkt met één ontvanger. De absolute GPS-meting heeft hiermee een nauwkeurigheid van 5-10 meter. Wanneer er met een tweede ontvanger gewerkt wordt op een bekend punt is het mogelijk om enkele afwijkingen van verstoringbronnen te berekenen. Op basis van deze afwijking wordt een correctiesignaal gestuurd naar de ontvanger. Met deze constellatie wordt een nauwkeurigheid gehaald van 0.1-2.0 meter, afhankelijk of het correctiesignaal real-time (RTK GPS) of achteraf (postprocessing) wordt verzonden en de afstandmeting op basis van pseudo-range of fase meting is. Het is mogelijk om zelf een referentiestation op te stellen die een correctiesignaal uitzendt, echter in de praktijk blijkt dit toch erg lastig te zijn. Maar in Nederland zijn er ook enkele providers die een correctiesignaal beschikbaar stellen tegen betaling. De GPS technologie is de kern van het monitoringsysteem dat functioneel is beschreven. Eisen aan het monitoringsysteem waren dat deze transportabel moest zijn en moest werken in het nationale coördinatenstelsel. Het monitoringsysteem is opgebouwd uit drie hoofdcomponenten, namelijk: hardware, software en een communicatiemanager. Tot de hardware behoren de GPS-ontvanger en antenne. De software component is een nog te ontwikkelen programma waarmee de GPS-data verwerkt kan worden. Een PDA of laptop zou gebruikt kunnen worden als database of communicatiemanager. Vanwege de vereiste nauwkeurigheid van het materieel in het asfaltverwerkingsproces zal gebruik worden gemaakt van de relatieve plaatsbepalingmethode. Door middel van een referentieontvanger wordt een correctiesignaal verstuurd waardoor de nauwkeurigheid van het monitoringsysteem wordt vergroot tot <math><0.1\text{m}</math>. Met de zogenaamde RDNAPTRANS<sup>tm</sup>-procedure kan de GPS-data worden getransformeerd naar het vereiste nationale coördinatenstelsel. Met het beschreven monitoringsysteem is het mogelijk om positie- en snelheidsdata te verzamelen. De GPS-data kan vervolgens gebruikt worden voor het opstellen van tijd-wegdiagrammen en als input dienen voor een simulatie van het asfaltverwerkingsproces.

---

# 5. Praktijkonderzoek: het asfaltverwerkingsproces in de praktijk

---

## 5.1 Inleiding

Op basis van literatuur is in hoofdstuk 2 de samenhang tussen kwaliteit en procesbeheersing beschreven. Uit de literatuur blijkt dat procesbeheersing van belang is om kwalitatief goede producten en diensten te leveren. De kern bij procesbeheersing is dat het van belang is om de variabiliteit in het proces te reduceren. Door het reduceren van variaties ontstaan er kleinere afwijkingen ten opzichte van de eisen/streefwaarden. Kwaliteit wordt door enkele wetenschappers gezien als het voldoen aan de eisen (paragraaf 2.2). Bij procesbeheersing is het van belang om de parameters te achterhalen die een proces kunnen beïnvloeden. Vanuit kwalitatief perspectief is het van belang dat deze parameters gemonitord, gecontroleerd en uiteindelijk beheerst worden. Op basis van literatuur over het asfaltverwerkingsproces is er een causaal-relatiediagram van invloedsfactoren opgesteld (paragraaf 3.5). Grofweg zijn deze te categoriseren in mengesamenstellingsfactoren, omgevingsfactoren en uitvoeringsfactoren. In de praktijk echter worden de handelingen van de asfaltspreidmachinist, balkman en walsmachinist uitgevoerd op basis van ervaring. Het is niet inzichtelijk op basis waarvan de specialisten (balkman, asfaltspreidmachinist en walsmachinist) bepaalde handelingen uitvoeren en waarom ze dat zo doen? Dit hoofdstuk is het empirische deel van het afstudeeronderzoek.

## 5.2 Doel en afbakening van de interviews

Voor het afnemen van de interviews is contact opgenomen met aannemers die werkzaam zijn in de asfaltwegenbouw sector. In bijlage E is een lijst opgenomen van geïnterviewde personen. Het afnemen van de interviews zal zich beperken tot de asfaltspreidmachinisten (7 interviews), balkmannen (7 interviews) en walsmachinisten (14 interviews). Het doel van de interviews met deze specialisten is tweeledig:

1. Enerzijds het valideren van de invloedsfactoren die gevonden zijn in de literatuur en die beschreven zijn in hoofdstuk 3;
2. Anderzijds wordt getracht om meer inzicht te krijgen in de wijze waarop de specialisten in het asfaltverwerkingsproces hun werkzaamheden afstemmen en uitvoeren en op basis van welke factoren dit gebeurt.

### Discussie t.a.v. de onderzoekstechniek

De interviews heb ik afgenomen op de projectlocatie en vaak op de machine waar de specialisten werkzaam zijn. De interviews zijn afgenomen in de maand oktober, deze behoort tot de drukste periode van het jaar in de wegenbouw. De geïnterviewden hadden niet de tijd om voor een interview een half uurtje van het werk te zijn. Ik ben me echter ervan bewust dat het afnemen van interviews op de machine ook van invloed kan zijn op

---

beantwoording van de vragen. De geïnterviewde moet namelijk én hun werk werkzaamheden uitvoeren én mijn vragen zien te beantwoorden. Anderzijds kan het op deze wijze afnemen van interviews ook weer een voordeel hebben doordat de mensen op hun eigen machine werken en doordat ze met hun werkzaam bezig zijn beter de vragen kunnen beantwoorden.

## **5.3 De asfaltspreidmachinist**

### **5.3.1. Verantwoordelijkheid van de asfaltspreidmachinist**

De asfaltspreidmachinist is de bestuurder van de asfaltspreidmachine. De werkervaring van de geïnterviewde asfaltspreidmachinisten varieert van enkele maanden tot 39 jaar (zie grafiek a1, Bijlage F). Uit de interviews blijkt dat de meerderheid van de geïnterviewde asfaltspreidmachinisten de aanvoer van het asfalt naar balk (5/7)<sup>b</sup> en het bepalen van de snelheid van de asfaltspreidmachine als grootste verantwoordelijkheid zien (zie grafiek a2, Bijlage F). Dit komt overeen met enkele kerntaken die zijn geformuleerd in de beroepscompetentieprofiel van de SBW [SBW, 2004a]. Hierin staat beschreven dat een asfaltspreidmachinist onder andere verantwoordelijk is voor: de besturing van de asfaltspreidmachine, de aanvoer van het mengsel vanuit de hopper en de snelheid van de asfaltspreidmachine (in afstemming met de balkman). Uit de interviews blijkt dat een meerderheid van asfaltspreidmachinisten, gedurende het asfaltspreidproces, naast de positie van de asfaltspreidmachine let op de hoeveelheid asfalt voor de balk (4/7) en de hoeveelheid asfalt in de hopper (4/7). Een kleine minderheid van de geïnterviewde asfaltspreidmachinisten geeft ook aan te letten op de aanvoer van het asfalt door de trucks en de veiligheid rondom de machines (zie grafiek a3, Bijlage F). Van de geïnterviewde balkmannen geeft een meerderheid (5/7) aan dat het moeilijkste aan hun taak is om uit te komen met de juiste hoeveelheid asfalt (zie grafiek a4, Bijlage F). Aan het einde van het werk moet namelijk voorkomen worden dat er nog een grote hoeveelheid asfalt voor de balk ligt omdat dit handmatig verwijderd moet worden. Daarnaast gaven de geïnterviewden aan dat projecten waarin bochten, kruisingen, rotondes en drempels zijn opgenomen moeilijker zijn dan een recht-toe-recht aan project, omdat hier meer aandacht voor vereist is. Een belangrijke factor welke door een minderheid van de geïnterviewde is genoemd (2/7) betreft het niet werken met de eigen machine. Volgens de geïnterviewden werkt iedere machine anders, indien je met een machine moet werken waar je normaliter niet meer werkt moet je eerst zien te achterhalen hoe de machine reageert. Één asfaltspreidmachinist is geïnterviewd tijdens nachtelijke werkzaamheden en gaf aan dat het werken in de nacht ook moeilijk is omdat je dan minder zicht hebt (zie grafiek a4, Bijlage F).

### **5.3.2. Samenwerking tussen de asfaltspreidmachinist en de overige leden van de asfaltploeg**

Een asfaltploeg bestaande uit een asfaltuitvoerder, asfaltspreidmachinist, balkman, walsmachinist en afwerkers zijn gezamenlijk verantwoordelijk voor

---

<sup>b</sup> (X/7) wil zeggen, X aantal van de in totaal 7 geïnterviewden asfaltspreidmachinisten



---

de aanleg van een wegconstructie. Uit de interviews blijkt dat de meerderheid van de asfaltspreidmachinisten de sterkste werkrelatie hebben met de balkman (zie grafiek a5, Bijlage F).

*Asfaltspreidmachinist – uitvoerder*

Een meerderheid (5/7) van de geïnterviewde zegt de werkzaamheden af te stemmen met de uitvoerder. De afstemming heeft betrekking op de te hanteren werkwijze (begin- en eindpunt) en de snelheid van de asfaltspreidmachine.

*Asfaltspreidmachinist – balkman*

De afstemming tussen asfaltspreidmachinist en balkman heeft betrekking op het verloop van de weg (breedte), de aanvoer van het asfalt naar de balk en de snelheid van de asfaltspreidmachine (zie grafiek a6, Bijlage F).

*Asfaltspreidmachinist – afwerker*

Uit de interviews blijkt dat een minderheid (3/7) aangeeft de werkzaamheden af te stemmen met de afwerkers. Daar waar er afstemming plaatsvindt, heeft dit betrekking op het kunnen bijhouden van de snelheid van de asfaltspreidmachine.

*Asfaltspreidmachinist – chauffeur van asfaltwag*

In de beroepen competentielijst van de SBW [2004a] staat beschreven dat de asfaltspreidmachinist ook samenwerkt met de chauffeur van de asfaltwag die het asfalt aanvoert naar de hopper. In de interviewronde heeft echter een minderheid (3/7) aangegeven hun werkzaamheden af te stemmen met de chauffeur van de asfaltwag.

De werkzaamheden van een asfaltspreidmachinist wordt volgens het merendeel van de geïnterviewden beïnvloed door de aanvoer van het asfalt (zie grafiek a7, Bijlage F). In het bijzonder speelt de kundigheid van de chauffeur van de asfaltwag een rol. De positie van de asfaltwag, het aanstoten van de asfaltwag tegen de asfaltspreidmachine en de mate waarin de rem wordt gebruikt bepalen de bestuurbaarheid van de asfaltspreidmachine. Dit komt overeen met de literatuur waarin beschreven wordt dat het aanstoten van de asfaltwag zorgt voor krachten die worden doorgegeven aan de afwerkbalk en onregelmatigheid in de asfaltlaag als gevolg hebben [Lavin, 2003].

### **5.3.3. Instellingen aan de machine door de asfaltspreidmachinist**

Uit de interviews blijkt dat de asfaltspreidmachinist de aanvoer van het asfalt naar de balk bepaald en de snelheid van de asfaltspreidmachine. Onderstaand zullen deze te variëren parameters nader worden toegelicht.

*Aanvoer van het asfalt naar de balk*

De aanvoer van het asfalt vanuit de hopper naar het afwerkdeel kan op handmatige of automatische wijze gebeuren (zie ook paragraaf 3.5.3). De meerderheid (5/5) van geïnterviewde asfaltspreidmachinisten geven aan dat de aanvoer meestal automatisch is en dat soms van de handmatige functie gebruik wordt gemaakt bij bochtenwerk of kruisingen (zie grafiek a8, Bijlage F). Volgens de geïnterviewden wordt de aanvoersnelheid bepaald door de

---

laagdikte, het type mengsel dat er gespreid wordt, de breedte van de asfaltlaag en de snelheid van de asfaltspreidmachine (zie grafiek a9, Bijlage F). Nadat de aanvoersnelheid bepaald is, is het volgens de geïnterviewden het beste om de snelheid van de aanvoer constant te houden. Ook de literatuur wijst erop dat een constante aanvoersnelheid van belang is voor een constante vullingsgraad voor de balk. Variaties in de vullingsgraad, en dus de hoeveelheid asfalt voor de balk, zorgt volgens Lavin [2003] voor variaties in de laagdikte en oppervlakte structuur.

#### *Snelheid van de asfaltspreidmachine*

Uit de interviews blijkt dat in principe de snelheid van de asfaltspreidmachine bepaald wordt door de asfaltspreidmachinist in afstemming met de balkman. De snelheid van de asfaltspreidmachine wordt volgens een meerderheid van de geïnterviewde bepaald door de aanvoer van het asfalt en het type werk. Met het type werk wordt bedoeld of het een project op de autosnelweg betreft welke recht-toe-recht aan is of een project binnen de bebouwde kom met bochten, kruising ed. Bij projecten binnen de bebouwde kom ligt de snelheid lager, omdat deze projecten meer aandacht vragen van zowel, de asfaltspreidmachinist, de balkman en de afwerkers.

Volgens de geïnterviewden (4/6) bepaalt de aanvoer dus in grote mate de snelheid van de asfaltspreidmachine (zie grafiek a10, Bijlage F). Afhankelijk hoe lang de aanvoer op zich laat wachten wordt besloten de machine te stoppen of op langzame snelheid door te gaan met het spreidproces. Volgens een minderheid van de geïnterviewden wordt indien er een deklaag wordt gespreid meestal met een langzamere snelheid gespreid omdat stopplekken in de deklaag ernstiger zijn dan in de onderlaag. Een kleine meerderheid van de geïnterviewde geeft aan dat indien de aanvoer te lang op zich laat wachten er een dwarsnaad aangebracht zal moeten worden. In de interviews is naar voren gekomen dat vaak een warme balk op het asfalt wordt gezet indien de aanvoer er nog niet is. Dit is tegenstrijdig met wat er in de literatuur wordt beschreven omdat volgens Lavin [2003] de balkverwarming niet geschikt is voor het opwarmen van een asfaltmengsel omdat de kans dat het mengsel verbrand indien een asfaltmengsel gedurende een lange tijd wordt blootgesteld aan het warme afwerkdeel. Volgens Lavin [2003] mag de balkverwarming alleen gebruikt worden voor het opwarmen van het afwerkdeel en moet deze gedurende het asfaltspreidproces uitgeschakeld zijn.

## **5.4 De balkman**

### **5.4.1. Verantwoordelijkheid van de balkman**

Een balkman bevindt zich samen met de asfaltspreidmachinist op de asfaltspreidmachine. Er zijn 7 balkmannen van verschillende aannemers geïnterviewd. De werkervaring van de geïnterviewde balkmannen varieert van 4 - 25 jaar (zie grafiek b1, bijlage G). Op basis van de uitkomsten van de interviews met de balkmannen blijkt dat de meerderheid zich verantwoordelijk voelt voor de juiste breedte (6/7), dikte (7/7) en afschot (6/7) van de te spreiden asfaltlaag (zie grafiek b2, bijlage G). Uit de interviews blijkt dat bij het asfaltspreiden een meerderheid (6/7) van de balkmannen, naast de breedte,

---

hoogte, dikte en afschot van de asfaltlaag aandacht hebben voor oneffenheden in de ondergrond (zie grafiek b3, bijlage G). De reden hiervoor is dat daar waar (grote) oneffenheden in de onderlaag zitten de laagdikte plaatselijk afwijkend is en ze de hoogteregeling moeten aanpassen. De door de geïnterviewde balkmannen genoemde verantwoordelijkheden komen overeen met de primaire functies van het afwerkdeel die in paragraaf 3.2 zijn beschreven en de beroepscompetentielijst van de balkman opgesteld door SBW [2004]. Een verantwoordelijkheid die in deze lijst is opgenomen maar die door geen enkele geïnterviewden is genoemd, is het instellen van de voorverdichting en de balkverwarming. Dit terwijl uit de theorie blijkt dat een goede voorverdichting van het afwerkdeel van groot belang is voor de uiteindelijke vlakheid (zie paragraaf 3.2) van de gespreide asfaltlaag. Van de geïnterviewde balkmannen geeft een kleine meerderheid (4/7) aan dat er niets aan hun taak moeilijk is. Terwijl andere geïnterviewden aangeven dat zij een rotonde, bocht, kruising, een slechte onderlaag of project waaraan strenge eisen zijn gesteld als moeilijk ervaren, omdat dit meer aandacht vraagt dan een recht-toe-recht-aan project zoals op de autosnelweg (zie grafiek b4, bijlage G). Één interview met een balkman is afgenomen tijdens nachtwerk. Deze balkman gaf aan dat nachtwerk moeilijker is omdat er minder zicht is dan bij werken bij daglicht. Volgens deze balkman geldt dat: *“werk dat je s’nachts maakt ook s’nachts moet controleren”*. Hieruit blijkt dat ook de balkman zijn werk visueel controleert en aangeeft dat het nachtwerk van invloed is op zijn beoordeling of het asfalt wel of niet goed verwerkt is.

#### **5.4.2. Samenwerking tussen de balkman en de overige leden van de asfaltploeg**

Gedurende het asfaltverwerkingsproces worden binnen de asfaltploeg de werkzaamheden op elkaar afgestemd. Uit de interviews blijkt dat een meerderheid van de balkmannen een sterke werkrelatie heeft met de uitvoerder, de asfaltspreidmachinist en de walsmachinist. In mindere mate is er afstemming met de afwerkers (zie grafiek b5, bijlage G). De sterkere werkrelaties zullen wat verder geanalyseerd worden.

##### *Balkman – uitvoerder*

Een meerderheid (5/7) van de geïnterviewden balkmannen geeft aan dat tussen balkman en uitvoerder er vooral afstemming is over de te spreiden laagdikte. Een kleine minderheid (3/7) geeft aan dat er ook afstemming was over de hoeveelheid asfalt die verwerkt moet worden. De werkwijze en hoogte van de asfaltlaag zijn twee andere aspecten die uit de interviews naar voren zijn gekomen (zie grafiek b6, bijlage G).

##### *Balkman – asfaltspreidmachinist*

Uit de interviews blijkt dat er tussen de balkman en asfaltspreidmachinist vooral afstemming plaats vindt over de te hanteren werkwijze, de breedte van de asfaltlaag en de snelheid van de asfaltspreidmachine (zie grafiek b7, bijlage G).

##### *Balkman – walsmachinist*

Een meerderheid van de balkmannen geeft aan dat de afstemming tussen de balkman en walsmachinist betrekking heeft op een verandering in de laagdikte van het asfalt (zie grafiek b8, bijlage G). Dit is ook waarschijnlijk de reden

---

waarom de balkman let op oneffenheden in de ondergrond zodat hij deze kan doorgeven aan de walsmachinist.

Normaliter is de asfaltuitvoerder verantwoordelijk voor de aansturing van het werk. Uit de interviews blijkt dat de meerderheid van alle geïnterviewden aangeeft dat bij afwezigheid van de asfaltuitvoerder de balkman de taken van de asfaltuitvoerder overneemt. De balkman wordt dan gezien als "projectleider" en is dan ook verantwoordelijk voor de aansturing van de asfaltploeg. Uit de interviews blijkt dat de werkzaamheden van de balkman het meeste worden beïnvloed door de handelingen van de asfaltspreidmachinist. Dit komt omdat de asfaltspreidmachinist de hoeveelheid asfalt voor de balk (3/7) en de snelheid van de asfaltspreidmachine (3/7) bepaald (zie grafieken b9 + b10, bijlage G). De hoeveelheid asfalt voor de balk heeft invloed op de hoogte van het afwerkdeel. Indien er te weinig asfalt voor de balk ligt bestaat de mogelijkheid dat het afwerkdeel wegzakt, het wegzakken van de balk is van invloed op de laagdikte. Het is dus volgens de geïnterviewde balkmannen van belang dat de vullingsgraad voor de balk voldoende is om de juiste laagdikte te behouden. Andere factoren die volgens de geïnterviewde balkmannen de werkzaamheden kunnen beïnvloeden zijn de temperatuurverschillen tussen de verschillende vrachten. De balk kan hierdoor wegzakken en is hiermee van invloed op de hoogte instelling van het afwerkdeel en de vlakheid van de asfaltlaag.

#### **5.4.3. Instelling aan de machine door de balkman**

Uit de competentielijst van de SBW [2004b] blijkt dat de balkman naast de breedte, dikte, hoogte en afschot van de asfaltlaag verantwoordelijk is voor de instelling van de balkverwarming en de voorverdichting van het afwerkdeel. In deze paragraaf zal worden toegelicht op basis van welke factoren de instellingen van de hoogteregeling, balkverwarming en voorverdichting in de praktijk worden bepaald.

##### *Hoogteregeling*

Het instellen van de hoogte van het afwerkdeel gedurende het asfaltverwerkingsproces kan handmatig of automatische geschieden. Bij een automatische instelling kan met behulp van elektronische meet- en regelsystemen de hoogte van het afwerkdeel worden ingesteld. Uit de interviews met de balkmannen blijkt dat de meerderheid aangeeft (7/7) dat de aanwezigheid van een referentie bepaald of er met de elektronische meet- en regelsystemen wordt gewerkt. Naast de aanwezigheid van een referentieniveau bepalen de eisen die gesteld zijn aan het werk of er gebruik wordt gemaakt van elektronische meet- en regelsystemen (grafiek b11, bijlage G). Het opstellen van een eigen referentieniveau (draad) bij afwezigheid van een andere asfaltlaag of gootsteen kost veel tijd. Uit de interviews is ook naar voren gekomen dat het werken in de automatische modus volgens enkele balkmannen meer geld kost omdat de kans bestaat dat er meer asfalt gebruikt wordt dan in de handmatige modus. Ondanks dat de mogelijkheid bestaat dat er meer asfalt verbruikt wordt, geeft een meerderheid de voorkeur aan het gebruik van de automaat omdat deze nauwkeuriger is dan de handmatige modus.

Een meerderheid van de geïnterviewde balkmannen (6/7) geeft aan dat de snelheid van de asfaltspreidmachine en het type mengsel dat gespreid wordt

---

(4/7) de belangrijkste invloedsfactoren zijn op de hoogte instelling van het afwerkdeel (zie grafiek b12, bijlage G). Andere factoren die de hoogte instelling bepalen zijn de temperatuur van het asfalt, oneffenheden in de onderlaag en het type ondergrond. Het type ondergrond bepaald namelijk of en hoe ver de asfaltspreidmachine wegzakt. Enkele van de door de balkmannen genoemde factoren komen overeen met de literatuur. Want volgens Ter Huerne (2004) wordt de hoogte van het afwerkdeel bepaald door de snelheid van de asfaltspreidmachine, de weerstand van het mengsel en het gewicht van de afwerkbalk. De laatste factor, het gewicht van de afwerkbalk is door de geïnterviewden balkmannen echter niet als invloedsfactor genoemd.

#### *Balkverwarming*

Het afwerkdeel van een asfaltspreidmachine is uitgerust met balkverwarming. De balkverwarming dient ervoor om te voorkomen dat het warme asfalt aan het koude afwerkdeel blijft plakken. Een kleine minderheid van de geïnterviewde balkmannen (2/7) geeft aan dat de instelling van de balkverwarming constant wordt gehouden en dat het mengseltype niet van invloed is (zie grafiek b13, bijlage G). Twee balkmannen zijn niet op de hoogte van de instelling van de balkverwarming, ondanks dat deze taak volgens de beroepen competentielijst van de SWB [2004b] toebehoort aan de balkman. Drie geïnterviewde balkmannen geven echter aan dat het mengseltype en de buitentemperatuur wel van invloed is op de instelling (grafiek b14, bijlage G). Op basis van structurele kenmerken geven enkele balkmannen (2/7) aan te herkennen of de balkverwarming de juiste temperatuur heeft. Indien het asfalt gaat strepen is dat een teken om de instellingen van de balkverwarming aan te passen. Uit de literatuur blijkt dat de temperatuur van de balkverwarming gelijk moet zijn aan de temperatuur van het aangeleverde mengsel. Uit de interviews blijkt echter dat de instelling van de balkverwarming niet wordt afgestemd op de temperatuur van het aangeleverde mengsel. De instelling van de balkverwarming varieerde tussen de geïnterviewde asfaltploegen van 120°C tot 170°C en (zie grafiek b15, bijlage G). Ondanks andere omstandigheden bij verschillende projecten blijft de instelling van de balkverwarming constant.

#### *Voorverdichting*

De balkman is volgens de beroepscompetentielijst van de SBW [2004b] ook verantwoordelijk voor de instelling van de voorverdichting van de balk. Uit de interviews blijkt dat volgens de meerderheid (7/7) van de balkmannen het type mengsel van invloed is op de instelling van de voorverdichting. Naast het type mengsel noemden enkele balkmannen ook nog de snelheid van de asfaltspreidmachine en de laagdikte als factoren die van invloed waren op de instellingen van de voorverdichting. Een van de geïnterviewde geeft aan dat bij een dikkere laag een hogere frequentie wordt gebruikt. (zie grafiek b16, bijlage G). Ondanks dat enkele balkmannen op de hoogte zijn van de parameters die van invloed zijn op de voorverdichting blijkt dat een kleine minderheid van de geïnterviewden (3/7) de voorverdichting op een constant waarde te houden (zie grafiek b17, bijlage G). Volgens de geïnterviewden wordt veelal de instelling van de voorverdichting bepaald op basis van je ervaring/gevoel.

---

#### **5.4.4. Kwaliteitsborging bij het asfaltspreiden in de praktijk**

Vanuit het oogpunt van kwaliteitsborging is het van belang dat de laagdikte, hoogte en vlakheid van de gespreide asfaltlaag teruggekoppeld wordt aan de eisen die aan het werk gesteld zijn. Uit de interviews blijkt dat het merendeel van de balkmannen (7/7) visueel controleert, aan de hand van oppervlakte kenmerken, of de verwerking van het asfalt goed is (zie grafiek b18, bijlage G). Uit de interviews blijkt dat de aanwezigheid van grindnesten een teken zijn van ontmenging. De geïnterviewden balkmannen zeggen steekproefsgewijs te controleren of aan de vereiste laagdikte en vlakheid wordt voldaan. De meerderheid (7/7) van de geïnterviewden controleert de laagdikte door gebruik te maken van een duimstok of prikstok, het afschot wordt door het merendeel van de geïnterviewden (6/7) gemeten met een digitale procenten waterpas (zie grafiek b19, bijlage G). In de literatuur (paragraaf 3.4) staat beschreven dat de vlakheid gecontroleerd dient te worden met lange stalen rij om eventuele fouten of verstoringen in de automatische hoogteregeling apparatuur te kunnen vast stellen. Slechts één geïnterviewde balkman controleert de vlakheid door gebruik te maken van een touwtje.

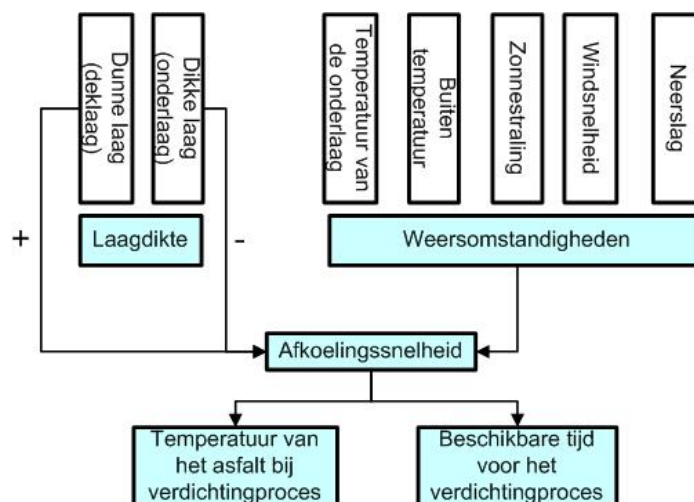
Volgens de literatuur bepaald de temperatuur van het aangeleverde mengsel de instelling van de balkverwarming. Uit de interviews blijkt echter dat het meten van de asfalttemperatuur voor de balk maar door een kleine minderheid (2/7) van de balkmannen regelmatig wordt gedaan (zie grafiek 20, bijlage G). Een kleine meerderheid (4/7) geeft aan dat de temperatuur alleen wordt gemeten indien er specifiek door de opdrachtgever om wordt gevraagd. Bij overheidswerken wordt volgens de geïnterviewden vaak vereist dat gedurende het asfaltverwerkingsproces stelselmatig te temperatuur van het asfaltmengsel voor de balk opgenomen wordt.

### **5.5 De walsmachinist**

#### **5.5.1. Verantwoordelijkheid van de walsmachinist**

De walsmachinist is de laatste specialist in het asfaltverwerkingsproces. Er zijn 14 walsmachinisten geïnterviewd waarbij de werkervaring varieerde van enkele weken tot tientallen jaren (zie grafiek w1, bijlage H ). Op basis van de interviews met de walsmachinisten blijkt het merendeel zich verantwoordelijk te voelen voor de verdichting (13/14) en vlakheid (9/14) van de gespreide asfaltlaag (zie grafiek w2, bijlage F). Dit komt overeen met het doel van het verdichtingsproces welke in paragraaf 3.3 is beschreven. De door het SBW opgestelde beroepen competentielijst voor machinisten van wegenbouwkundig materieel geeft geen specifieke werkomschrijving voor de walsmachinist. Er staat alleen geformuleerd dat deze het werk conform de opdracht moet uitvoeren en op basis van kennis en naar eigen inzicht een werkwijze moet kiezen [SBW, 2004a]. Uit de interviews blijkt dat een minderheid van de geïnterviewde walsmachinisten (5/14) niets moeilijk vindt aan hun taak vanwege de ervaring die ze hebben opgebouwd. Aspecten die volgens andere geïnterviewde walsmachinisten wel als moeilijk worden ervaren zijn het

werken in woonwijken, nachtwerk, het niet werken met de eigen machine, het bepalen van de juiste werkwijze, het walsen van rotondes en kruisingen en het feit dat je niet kan zien of de verdichting aan de gestelde eisen voldoet (zie grafiek w3, Bijlage H). De moeilijkheid bij woonwijken volgens de geïnterviewden heeft betrekking op het feit dat er meer mensen rondom de machines zijn, dit vraagt meer aandacht en concentratievermogen. Ook bevinden zich in een woonwijk vaak meer bochten, drempels en kruisingen, deze vragen volgens de geïnterviewden meer aandacht en concentratievermogen van een walsmachinist dan een recht-toe-recht aan project op een autosnelweg. Een van de geïnterviewde walsmachinisten gaf aan nachtwerk moeilijk te vinden. Dit omdat het bij nachtwerk, ondanks het kunstlicht, moeilijker te zien is hoe een asfaltmengsel zich gedraagt. Uit de interviews blijkt het voor een walsmachinist van belang is om te zien hoe een mengsel zich gedraagt omdat de handelingen hier vaak op worden gebaseerd (grafiek w4, Bijlage H). Het niet werken met je eigen machine is volgens een geïnterviewde moeilijk omdat elke machine anders reageert op bepaalde instellingen. Het is volgens een van de geïnterviewde lastig om te bepalen of de verdichting voldoet aan de gestelde eisen. Er zijn volgens de geïnterviewden wel uiterlijke kenmerken van het asfalt die een indicatie zijn of de verdichting voldoet zoals de kleur van het mengsel, maar het blijft een beslissing op basis van uiterlijke kenmerken. Één van de geïnterviewde walsmachinisten was pas enkele weken werkzaam als walsmachinist en wist nog niet goed hoe de machine precies werkte en hoe hij om moest gaan met de verschillende instellingen. De walsmachinist is verantwoordelijk voor de verdichting en vlakheid van het wegconstructie. Om er voor te zorgen dat de verdichting en vlakheid voldoet aan de gestelde eisen let de walsmachinist gedurende het verdichtingsproces op verscheidene factoren. Uit de interviews blijkt dat het merendeel van de walsmachinisten vooral let op het gedrag van het asfalt (10/14), de weersomstandigheden (12/14), de afkoelingsnelheid (12/14) van het mengsel, de temperatuur van het asfalt (4/14) en de laagdikte (8/14) (zie grafiek w4, Bijlage H). Al deze factoren zijn onderling gerelateerd. Middels onderstaand relatiediagram (figuur 4.1) wordt getracht dit te verduidelijken.



Figuur 4.1: relatiediagram afkoelingsnelheid

---

De laagdikte en weersomstandigheden hebben volgens de geïnterviewden de grootste invloed op de afkoelingsnelheid van het mengsel (grafiek w5, Bijlage H). De afkoelingsnelheid van het mengsel bepaald de temperatuur van het asfaltmengsel gedurende het verdichtingsproces. De snelheid waarmee een asfaltmengsel afkoelt bepaald de tijd die beschikbaar is voor het verdichtingsproces. Volgens enkele geïnterviewden koelt een dunnere laag sneller af dan een dikkere, doordat er om deze reden minder tijd beschikbaar is voor het walsen wordt er met de walsmachine korter op de asfaltspredmachine gewalst. Volgens de literatuur geldt in het algemeen dat hoe hoger de temperatuur van het asfaltmengsel is, hoe gemakkelijker het mengsel zich laat verdichten. En hoe dikker de asfaltlaag hoe meer tijd er beschikbaar is voor het verdichtingsproces (zie paragraaf 3.5). Deze aspecten worden bevestigd door enkele geïnterviewden walsmachinisten die aangeven dat de laagdikte onder andere invloed heeft op de snelheid van de wals vanwege de beschikbare tijd om het mengsel te verdichten. Wel geven enkele geïnterviewden aan dat de kans op scheurvorming groter is indien er te snel op een warm mengsel gewalst wordt.

Van de geïnterviewde walsmachinisten geeft het merendeel (12/14) aan te letten op het gedrag van het asfalt. Uit de interviews blijkt dat de walsmachinisten dan vooral erop letten of het asfalt gaat schuiven of scheuren (zie grafiek w6, Bijlage H). Volgens enkele geïnterviewde walsmachinisten is het schuiven van het asfalt een gevolg van oververdichting, een slechte ondergrond (klankbord), of het walsen op een nog te warm mengsel. Dit komt overeen met de theorie die beschreven is in paragraaf 3.5.3.

#### **5.5.2. Samenwerking tussen de walsmachinist en de overige leden van de asfaltploeg**

De walsmachinist is de laatste schakel in het asfaltspredproces en dient zijn werkzaamheden binnen de asfaltploeg af te stemmen. Uit de interviews blijkt dat er een sterke werkrelatie is met de balkman, collega walsmachinist, afwerker en de uitvoerder (zie grafiek w7, Bijlage H). Deze sterke werkrelaties zullen nader beschreven worden.

##### *Walsmachinist- balkman*

De walsmachinist heeft volgens de geïnterviewden de sterkste werkrelatie met de balkman en dan specifiek over de verandering van de laagdikte (13/14) en het profiel welke aangebracht is (zie grafiek w8, Bijlage H). Deze sterke werkrelatie wordt bevestigd omdat deze ook terug te vinden is bij de afstemming van de balkman met de walsmachinist welke besproken is in paragraaf 5.4.2. Het is volgens de geïnterviewde voor een walsmachinist van belang om te weten of de laagdikte verandert omdat een dikkere laag niet direct gewalst mag worden, omdat er dan kans is op scheurvorming. Bij een dunne laag is het juist wel van belang dat deze snel gewalst, omdat deze sneller afkoelt. Daarnaast is het voor een walsmachinist ook van belang om te weten of en welk profiel er door de balkman is aangebracht om te voorkomen dat hij dat met zijn machine eruit walst.

##### *Walsmachinist- uitvoerder*

Een meerderheid van de geïnterviewden walsmachinisten (10/14) zegt de werkzaamheden af te stemmen met de uitvoerder. Dit heeft vooral betrekking



---

op de werkwijze, inzet van het type materieel en waar de waterwagen geplaatst is. De positie van de waterwagen is voor de walsmachinist van belang omdat deze de watertank van de sproei-installatie op de wals moet kunnen bijvullen. De sproei-installatie op de wals zorgt ervoor dat het warme asfalt niet aan de rollen blijft kleven. (zie grafiek w9, Bijlage H).

#### *Walsmachinist – collega walsmachinist*

Volgens een meerderheid van de geïnterviewden walsmachinisten (11/14) stemt deze zijn werkzaamheden af met de collega walsmachinist. Bij het verdichtingsproces wordt er volgens de literatuur onderscheid gemaakt tussen het voorwalsen en afwalsen (paragraaf 3.3). Uit de interviews is naar voren gekomen dat er tussen de walsmachinisten onderlings afgestemd wordt over de werkwijze die gehanteerd gaat worden en indien de taak tijdelijk overgenomen moet worden (zie grafiek w10, Bijlage H). Het overnemen van taak is noodzakelijk indien een van de walsmachinisten zijn watertank moet bijvullen. Een andere reden voor het overnemen van de taak volgens de interviews is dat het mogelijk is dat een walsmachinist met zijn materieel de werkzaamheden niet goed uit kan voeren, bijvoorbeeld vanwege de wendbaarheid (zie grafiek w10, Bijlage H).

#### *Walsmachinist - afwerkers*

Een kleine meerderheid van de geïnterviewden (8/14) zegt de werkzaamheden af te stemmen met de afwerkers. De afstemming tussen walsmachinist en afwerkers heeft vooral betrekking op het door de afwerkers uitgevoerde handwerk. Het is volgens de geïnterviewden namelijk van belang dat deze (handwerk)plekken zo snel mogelijk worden gewalst vanwege de snelle afkoeling van het mengsel (zie grafiek w11, Bijlage H).

Uit de interviews blijkt dat de werkzaamheden van de walsmachinisten in belangrijke mate wordt beïnvloed door de snelheid van de asfaltspreidmachine en de werkzaamheden van de collega walsmachinist (zie grafiek w12, Bijlage H). Echter ook de verdichting van de ondergrond heeft invloed op de verdichtingwerkzaamheden. Een merendeel van de geïnterviewde walsmachinisten geeft aan dat ze hinder ondervinden indien de ondergrond niet goed verdicht is. Enkele walsmachinisten merkten op dat indien de onderlaag niet goed verdicht is er een slecht klankbord is waardoor het moeilijker wordt om de verdichting te behalen.

### **5.5.3. Instellingen aan de machine door de walsmachinist**

De walsmachinist zal naar eigen inzicht een werkwijze moeten bepalen waardoor uiteindelijk zal worden voldaan aan de eisen die aan het werk gesteld zijn. Zoals blijkt uit paragraaf 3.5.3 zijn er verschillende parameters die door de walsmachinist kunnen worden bepaald maar die wel van invloed zijn op de uiteindelijke verdichting en vlakheid van de weg. Onderstaand wordt op basis van de uitkomsten van de interviews toegelicht op basis van welke factoren de walsmachinist de instellingen bepaald van de walsmachine.

#### *Snelheid van de walsmachine*

Uit de interviews blijkt dat een meerderheid van de geïnterviewden (13/14) aangeeft dat de snelheid van de walsmachine bepaald wordt door de snelheid van de asfaltspreidmachine. Volgens de geïnterviewden walsmachinisten zijn

---

ook de laagdikte (5/14) en de weersomstandigheden (8/14) van invloed op de afkoelingsnelheid van het mengsel (zie grafiek w14, Bijlage H). Dit komt overeen met de literatuur die beschreven is in paragraaf 3.5.2. Volgens de literatuur houdt een dikkere asfaltlaag de warmte langer vast waardoor er meer tijd beschikbaar is voor het verdichtingsproces. Binnen de invloedsfactor “weersomstandigheden” wordt door de geïnterviewden de temperatuur van de buitenlucht, de wind en neerslag als belangrijkste invloedsfactoren gezien op de afkoeling van het asfaltmengsel (zie grafiek w5, Bijlage H). De afkoelingsnelheid heeft weer invloed op de tijd die er beschikbaar is voor het walsen en dus op de snelheid van de walsmachine. De tijd die beschikbaar is voor het walsen wordt volgens een geïnterviewde walsmachinist ook beïnvloed door zonnestraling. Door de zon blijft het mengsel bij een warme zomerdag langer warm en verlengt hiermee de beschikbare tijd voor het verdichtingsproces. Een aspect welke vermeld moet worden is dat bij het afnemen van de interviews op de machines van de walsmachinisten de moderniteit van het materieel en de beschikbaarheid van hulpmiddelen sterk varieerde. Van machines met digitale weergave van de snelheid en stapsgewijze instelling van de snelheid door middel van tiptoetsen tot machines waarin geen snelheidsmeter was opgenomen en de snelheid ingesteld moest worden met een handel. In het laatste geval wordt de snelheid en de consistentie ervan geheel bepaald op gevoel van de walsmachinist.

#### *Instellingen van de verdichtingsenergie*

Uit de interviews blijkt dat het wel of niet trillen van een mengsel afhankelijk is van verschillende factoren (zie grafiek w15, Bijlage H). Volgens een meerderheid van de geïnterviewde walsmachinisten (8/14) is het type mengsel van invloed. Er zijn namelijk mengsels die niet of maar heel licht getrild mogen worden zoals Zeer Open Asfalt Beton (ZOAB) en Steen Mastiek Asfalt (SMA). Een kleine minderheid van de geïnterviewde (4/14) zegt de instelling van de verdichtingsenergie constant te houden en het werken met ingeschakelde trilstand te beperken. Daar waar handwerk is uitgevoerd, bij het verdichten van onderlagen, plekken waar de verdichting door omstandigheden moeilijk kan worden aangebracht zoals stopplekken en direct achter de asfaltspredmachine wordt er gewerkt met een ingeschakelde trilstand. Volgens enkele geïnterviewden is de instelling van de verdichtingsenergie afhankelijk van de laagdikte en de verdichting van de ondergrond. De ondergrond moet namelijk als klankbord dienen bij het verdichten van de asfaltlagen. Volgens een kleine minderheid (5/14) van de geïnterviewden worden de instellingen bepaald op basis van gevoel. De walsmachinist merkt aan het gedrag van de machine of de verdichtingsenergie moet worden aangepast. Indien de trilrol namelijk begint te stuiteren op het asfalt is het voor de walsmachinist een teken dat de verdichtingsenergie niet meer kan worden overgebracht en dat deze dus aangepast zal moeten worden. Een van de geïnterviewde gaf aan de verdichtingsenergie aan te passen op basis van aanwijzingen van de asfaltlaborant.

#### *Aantal walsovergangen en de overlap tussen de walsovergangen*

Volgens de literatuur is een gelijkmatige verdichting van het asfalt van groot belang. Het verdichtingsproces wordt uitgevoerd aan de hand van een walspatroon. Het is het geheugen van de walsmachinist die moet onthouden en bepaald of het wegvlak voldoende en gelijkmatig is verdicht (paragraaf 3.3.1). De theorie gaat er dus vanuit dat de walsmachinisten het aantal

---

walsovergangen probeert te onthouden met het oog op een gelijkmatige verdichting. Uit de interviews blijkt echter dat het merendeel van de geïnterviewde walsmachinisten niet op de hoogte is van het aantal gerealiseerde walsovergangen (zie grafiek w16, bijlage G). Een meerderheid geeft aan te letten op het gedrag van het asfalt in plaats van het aantal walsovergangen. Volgens de walsmachinisten zorgt het gehanteerde walsproces voor een gelijkmatige verdichting. Uit de literatuur blijkt echter dat er verschil zit in het aantal walsovergangen in het centrum en de rand van de wegconstructie (zie figuur 4.8, paragraaf 3.5). Enkele geïnterviewde walsmachinisten gaven aan gebruik te maken van een referentiepunt om te onthouden waar ze gestart en geëindigd waren met de walsgang. Een walsmachinist die aan het voorwalsen is kan nog aan het gedrag van het mengsel (spoorvorming) zien waar hij geweest is. Indien een walsmachinist echter aan het nawalsen is, is de spoorvorming en het gedrag van het mengsel (bijna) niet meer waar te nemen. Uit de interviews blijkt dat de helft van de geïnterviewde walsmachinisten let op het gedrag van het mengsel om te bepalen of de verdichting naar hun mening voldoende is (zie grafiek w5, Bijlage G). De overlap tussen de walsovergangen wordt door een kleine meerderheid van de geïnterviewde (8/14) bepaald op basis van gevoel, een kleine meerderheid (6/14) bepaald de overlap door gebruik te maken van een referentiepunt. Een eerdere walsovergang, een object of de asfaltspreidmachine wordt door de geïnterviewden gebruikt als referentiepunt (zie grafiek w17, Bijlage G).

#### *Gewicht van de statische wals*

Uit de theorie in paragraaf 3.3.2 blijkt dat het gewicht van een statische wals gevarieerd kan worden door zand of water in de rollen aan te brengen. Volgens de geïnterviewde walsmachinisten wordt echter het gewicht van de wals zelden gevarieerd. De rollen zijn of leeg of gevuld. Het is de walsmachinist zelf, de uitvoerder of de laborant die besluit om een wals toch te verzwaren. Volgens de geïnterviewden kan een slechte ondergrond of het type mengsel bepalen of het gewicht verzwaard moet worden. Een van de geïnterviewden gaf aan dat een verzwaarde wals ook nadelig kan zijn met werken. Met een verzwaarde wals ontstaan er namelijk diepere snijsporen en bestaat de kans op overhellen bij het verdichten van de rotonde.

#### **5.5.4. Kwaliteitsborging bij het verdichtingsproces in de praktijk**

Vanuit het oogpunt van kwaliteitsborging en dan specifiek de kwaliteitscirkel van Deming die in paragraaf 2.2 is beschreven is het van belang om terug te koppelen of aan de vooraf gestelde eisen is voldaan. Voor wat betreft het verdichtingsproces moet achterhaalt worden of de verdichting voldoet aan de vooraf gestelde dichtheidseisen. Uit de interviews is gebleken dat de walsmachinisten visueel controleren of de verdichting voldoet aan de gestelde eisen door te letten op het gedrag van het asfalt (grafiek w4, Bijlage G). Doordat dit visueel en op basis van de inschatting van de walsmachinist gebeurt, is er altijd sprake van een subjectiviteit. Er zijn geen harde gegevens waaruit blijkt dat de verdichting voldoet aan de gestelde eis, tenzij er gebruikt wordt gemaakt van een dichtheidsmeting. Uit de theorie blijkt dat er twee methoden worden onderscheiden waarmee de verdichting kan worden vastgesteld: de destructieve methode (boorkernen) en niet-destructieve methode (nucleaire meting). De voor- en nadelen van deze methode zijn reeds

---

behandeld in paragraaf 3.4. Indien alleen gebruik wordt gemaakt van de destructieve methode blijft een walsmachinist gedurende het verdichtingsproces altijd in het ongewisse over de verdichting en ontbreekt de terugkoppelloop uit de Deming-cirkel (zie paragraaf 2.2). Een asfaltlaborant kan gedurende het verdichtingsproces metingen uitvoeren en de walsmachinist een indicatie geven met betrekking tot de verdichtingsgraad. Uit de interviews blijkt dat een asfaltlaborant niet altijd op een werk aanwezig is. De aanwezigheid van een laborant op een werk wordt volgens enkele geïnterviewden bepaald door het type werk dat uitgevoerd wordt, het type mengsel dat verwerkt wordt en de eisen die aan het project zijn gesteld (zie grafiek w18, Bijlage G). Een asfaltploeg heeft in de interviews aangegeven dat ze de asfaltlaborant vaker op een project zouden willen hebben voor het geven van feedback op de door hun uitgevoerde werkzaamheden. Indien een asfaltlaborant geen nucleaire dichtheidsmetingen op het werk uitvoert ontbreekt de directe terugkoppelloop in de Deming-cirkel, het is voor de walsmachinist dan niet duidelijk of aan de gestelde eisen is voldaan. Het is dan ook niet mogelijk om ad-hoc herstelwerkzaamheden uit te voeren. Uit de interviews blijkt dat een kleine minderheid van de geïnterviewde walsmachinisten (4/14) aangeeft behoefte te hebben aan informatie die aangeeft of de verdichting aan de eis voldoet (zie grafiek w19, Bijlage G).

Naast informatie of de verdichting aan de gestelde eisen voldoet heeft een merendeel (9/14) van de geïnterviewde behoefte aan informatie met betrekking tot de temperatuur van het mengsel. Uit de interviews blijkt dat een kleine minderheid (6/13) van de geïnterviewde walsmachinisten een temperatuur meter heeft om gedurende het asfaltverwerkingsproces de temperatuur van het mengsel te meten (zie grafiek w20, Bijlage H). In de meeste gevallen betreft het een handmatige infrarood temperatuurmeter. Echter van deze minderheid geeft een meerderheid (4/6) aan de temperatuurmeter bijna nooit te gebruiken. Uit de interviews blijkt dat eerder wordt gekeken naar het gedrag van het mengsel of een mengsel nog verder verdicht kan worden.

## **5.6 Samenvatting en conclusies**

Dit hoofdstuk is het empirische deel van het afstudeeronderzoek. Op basis van de interviews is er bijdrage geleverd aan het inzicht in:

- de werkrelaties binnen de asfaltploeg;
- op welke factoren de asfaltspreidmachinist, de balkman en de walsmachinisten letten gedurende de uitvoering van de werkzaamheden;
- op basis van welke factoren de instellingen worden bepaald aan de asfaltspreidmachine en de walsmachine;
- welke technieken/technologieën er door de asfaltspreidmachinist, balkman en walsmachinist worden gebruikt om te controleren of aan de gestelde eisen wordt voldaan.

Uit de interviews blijkt dat het asfaltverwerkingsproces inderdaad voor een groot deel afhangt van de kennis en ervaring van de asfaltploeg. Veel instellingen aan de machines gebeuren op gevoel en ervaring.

---

### *Asfaltspreidproces*

Volgens de theorie bepaald de temperatuur van het aangeleverde mengsel, bij aanvang van een werk de temperatuurstelling van de balkverwarming. Uit de interviews blijkt tevens dat de temperatuur van het asfaltmengsel zelden wordt gemeten en dat de instelling van de balkverwarming meestal op een constante waarde wordt gehouden. Volgens de theorie zijn de instellingen van de voorverdichting ondermeer afhankelijk van de laagdikte en snelheid van de asfaltspreidmachine. Uit de interviews blijkt dat enkele asfaltploegen, ondanks dat ze op de hoogte zijn van de parameters die de instelling bepalen, de instellingen op een constante waarde houden en deze bepalen op basis van gevoel en ervaring. Uit de interviews komt naar voren dat de balkman gedurende het asfaltverwerkingsproces, met behulp van een duimstok of priktstok, steekproefsgewijs controleert of de laagdikte voldoet aan de gestelde eis. Een andere belangrijke bevinding uit de interviews is het gebruik van de hoogteregelingsapparatuur door de balkman. Het doel van de hoogteregelingsapparatuur is om variaties in de vlakheid van de asfaltlaag te minimaliseren. Uit de interviews komt echter naar voren dat de het toepassen van deze automaten nauwkeuriger, is maar dat dit onder andere afhankelijk is van de eisen die gesteld zijn aan het project en of er een referentieniveau aanwezig is.

### *Verdichtingsproces*

Bij het verdichten van een mengsel zijn bij gelijkblijvende instellingen het aantal walsovergangen van belang. Onder en oververdichting moet worden voorkomen. De theorie beschrijft dat een walsmachinist het aantal walsovergangen tijdens zijn werkzaamheden moet onthouden om zo te zorgen voor een gelijkmatige verdichting. Uit de interviews blijkt echter dat het merendeel van de walsmachinisten het aantal walsovergangen niet bijhoudt maar eerder let op het gedrag van het mengsel om te bepalen of het asfalt voldoende verdicht is. Bij het gedrag van het asfalt wordt er gekeken of het asfalt gaat schuiven of scheuren. Doordat de walsmachinist visueel controle uitvoert levert dit vooral problemen op bij nachtwerk. Ondanks het kunstlicht is het s'nachts moeilijk om het gedrag van het mengsel te beoordelen. Uit de interviews blijkt dat naast de visuele controle, de nucleaire meting of de boorkern het enige controlemoment voor het verdichtingsproces. Bij een boorkernmeting krijg zijn pas achteraf de resultaten beschikbaar. Een asfaltlaborant kan door middel van een nucleaire meting de walsmachinist een indicatie geven ten aanzien van de verdichtingsgraad en indien nodig het walsproces bijsturen. Uit de interviews blijkt echter dat de aanwezigheid van een asfaltlaborant ondermeer afhankelijk is van de eisen aan het project. Enkele geïnterviewden walsmachinisten gaven aan dat ze de asfaltlaborant graag vaker op de projectlocatie zouden zien. Indien er geen asfaltlaborant op de projectlocatie aanwezig is ontbreekt de terugkoppelloop zoals die aanwezig is in de kwaliteitscirkel van Deming. Achteraf kan dan pas vastgesteld worden of aan de verdichtingseisen is voldaan. Bij het verdichtingsproces is de temperatuur van het mengsel een belangrijke factor. De temperatuur bepaald namelijk of het asfaltmengsel nog te warm of al te koud is om verdicht te worden. Ook de geïnterviewde walsmachinisten noemen de temperatuur als één van de belangrijkste invloedsfactoren in het verdichtingsproces. Uit de interviews blijkt echter dat het merendeel van de walsmachinisten de temperatuur van het asfaltmengsel gedurende het verdichten niet meet.

---

## 6. Ontwikkeling in de industrialisatie van het asfaltverwerkingsproces

---

### 6.1 Waarom industrialiseren?

Een belangrijk aspect bij professionalisering van de asfaltwegenbouwsector is industrialisatie. Volgens Ter Huerne et al [2006] is dit van belang om het asfaltverwerkingsproces minder afhankelijk te maken van de factor vakmanschap en ervaring. Een vorm van industrialisatie is het automatiseren van het asfaltverwerkingsproces. Door Veeramani et al (1998) wordt een toenemende interesse in het zogenaamde "Computer Integrated Construction" (CIC) geconstateerd. Dit is volgens hen het gevolg van een afnemende effectiviteit en productiviteit in de uitvoering, een toename in aandacht ten aanzien van veiligheid, kwaliteit en gewenste afname van projectduur en projectkosten. Volgens Krishnamurty et al [1998] kan het automatiseren van het asfaltverwerkingsproces leiden tot (a) een grotere efficiëntie en kwaliteit van het proces (b) een afname in de overall projectduur en projectkosten en (c) een verlenging van de levensduur van de wegconstructie. Volgens Haas en Kim [2002] ondervindt de bouwsector positieve ervaringen bij het automatiseren van processen. De voordelen die ontstaan door het toepassen van technologieën zoals plaatsbepalingssystemen, geavanceerde controle methoden en grafische interfaces zullen in de toekomst alleen maar toenemen. In paragraaf 6.2 worden de laatste technologische ontwikkelingen beschreven voor respectievelijk het asfaltverwerkingsproces.

### 6.2 Ontwikkelingen in automatisering van het asfaltverwerkingsproces

Door Kley [2004] wordt er onderscheid gemaakt tussen drie type systemen die een bijdrage kunnen leveren aan het automatiseren van het asfaltverwerkingsproces:

- *Passief systeem*,  
Waarbij het reeds uitgevoerde werk visueel en real-time aan de operator wordt weergegeven (CIRCOM-systeem, CIRPAV-systeem, het OSYRIS-systeem en het Asfalt Registratie Systeem (ARS));
- *Semi-automatisch systeem*  
Waarbij naast real-time visualisering een planning wordt gemaakt van de te volgen baan (AutoPave);
- *Semi-automatisch en actief systeem*  
Bij deze systemen worden er real-time berekeningen uitgevoerd. Op basis van deze resultaten kan dan direct actie worden genomen om het proces, daar waar nodig, bij te sturen (Intelligent Compaction).

#### 6.2.1. CIRCOM

Door de Europese Commissie is in de periode 1997-1999 het *Computer Integrated Road Construction (CIRC)* – project gefinancierd. Het doel van dit project was het introduceren van een nieuwe generatie controle- en monitoringstechnieken voor asfaltwegenbouwprojecten. Deze nieuwe

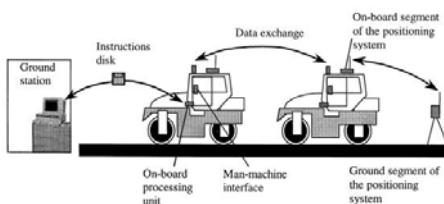
technieken hebben als doel om significante verbeteringen te bereiken in projectresultaten. In de ontwerpfase zijn informatietechnologieën zoals AutoCad niet meer weg te denken. In het asfaltverwerkingsproces worden ICT technologieën nog niet op brede schaal toegepast. Het doel van het CIRC-project is het gat tussen de computeriseerde ontwerpfase en uitvoeringsfase op te vullen. De oplossing hiervoor is dat door een digitale verbinding tussen de ontwerpfase en de projectlocatie het mogelijk is om real-time de uitvoering te vergelijken met het ontwerp [Pampagnin et al, 1998; Peyret, 2000]. Hierdoor is het mogelijk om bij afwijkingen direct het proces bij te sturen. Om dit te kunnen realiseren zijn de volgende hoofdtechnologieën benodigd: CAD software technieken, automatische controle, korte afstand en data communicatie, en als belangrijkste een real-time plaatsbepaling technologie [Peyret, 2000a]. Binnen het CIRC-project zijn er twee prototypes ontwikkeld die uitgerust zijn met deze controle- en monitoringstechnieken. Dit zijn respectievelijk voor de walsmachine het CIRCOM-systeem en voor de asfaltspreidmachine het CIRPAV-systeem [Pampagnin et al, 1998; Peyret, 2000]. Beide systemen worden respectievelijk in deze en paragraaf 6.2.2 beschreven.



Figuur 6.1: MMI bij CIRCOM  
[Bron: Haas et al, 2000]

Nadat het asfalt gespreid is dient het verdicht te worden om zijn uiteindelijke verdichtingsgraad te behalen. Het verdichtingsproces wordt uitgevoerd met behulp van walsen. Voor de verdichting is het van belang dat de juiste hoeveelheid verdichtingsenergie wordt overgebracht naar het materiaal en dat dit op uniforme wijze gebeurt. Bij gelijkblijvende instellingen van de walsmachine wordt de verdichting bepaald door het aantal walsovergangen van de wals. Het doel van CIRCOM is tweeledig: het eerste doel is om de bestuurder van de wals te assisteren bij zijn taak, zodat hij het exact aantal walsovergangen met de juiste snelheid kan uitvoeren. De assistentie wordt bereikt door een zogenaamde Man-Machine Interface (MMI), waarbij op eenvoudige wijze grafische data en informatie wordt weergegeven aan de bestuurder van de wals (figuur 6.1). Een vereiste aan het systeem is dat deze continu, dat wil zeggen overal op de projectlocatie, op 10 cm nauwkeurig zowel de longitudinale als transversale positie moet kunnen bepalen [Peyret, 2000b]. Het systeem kan zowel bij één wals (Mono Circom) als bij meerdere walsmachines aangebracht worden (Multi Circom). Een tweede doel is om het uitgevoerde werk te registreren en dit af te zetten tegen het vooraf bepaalde aantal walsovergangen. Doordat het nu voor de walsmachinist mogelijk is om te zien waar hij of een van collega's al is geweest en hoeveel walsovergangen er exact uitgevoerd zijn, wordt het mogelijk om een optimaal verdichtingsresultaat te bereiken en een bijdrage te leveren aan de kwaliteitscontrole/kwaliteitsborging [Navon en Shpatnitsky, 2005].

### Systemarchitectuur CIRCOM



Figuur 6.2: systeemarchitectuur CIRCOM  
[Bron: Peyret, 2000a]

Het prototype van CIRCOM bestaat uit drie subsystemen (zie figuur 6.2), te weten een grondsubstelsysteem (GSS), een positiebepalingssysteem en een on-board subsysteem [Peyret, 2000a; Haas et al, 2000]. De functie van het grondsubstelsysteem is de walsmachinist te voorzien van geometrische data (CAD-data) van de projectlocatie en richtlijnen ten aanzien van het uitvoeringsproces. Belangrijke gegevens worden gedurende het asfaltspreidproces opgeslagen in een database. Op deze wijze wordt ook de kwaliteit gedurende de uitvoering gewaarborgd. Het doel van het positionering

---

sub-systeem is om de precieze locatie van het materieel te bepalen door gebruik te maken van de meest geavanceerde plaatsbepalingstechnologieën. Bij CIRCOM is gekozen voor de nauwkeurigste plaatsbepalingmethode, namelijk RTK DGPS. Het positie-systeem wordt aangevuld met dead-reckoning (zie paragraaf 4.4.1) sensors voor de schaduwgebieden van GPS. Met een schaduwgebied wordt bedoeld die gebieden of momenten waarbij het GPS-signaal wegvalt en er geen nauwkeurige plaatsbepaling meer mogelijk is [Haas et al, 2000; Peyret, 2000a, Pampagnin, 1998].

Het On-board subsystem zorgt voor de aansturing van de Man-Machine Interface (MMI). Daarnaast verwerkt het instructie data, positie data en afgerond werk en slaat deze ook op [Peyret, 2000a]. Een MMI is een display waarop de, voor de asfaltspredmachinist, belangrijkste parameters worden weergegeven. Voor een voorbeeld van een MMI van CIRCOM-systeem wordt verwezen naar bijlage I.

### **Bevindingen van het CIRCOM systeem**

De verwachting is dat de CIRC-producten, dus ook het nog te beschrijven CIRPAV-systeem, leiden tot een besparing in personeelskosten, materieel gebruik, materiaal en een verbetering van de kwaliteit van de wegconstructie. Het CIRCOM systeem is bij een aantal pilot-projecten getest. De bevindingen waren positief en het prototype heeft voldaan aan het hoofddoel waar het systeem voor ontworpen is. De toegepaste combinatie van GPS met dead-reckoning sensors heeft ervoor gezorgd dat ook in de schaduwplekken van GPS plaatsbepaling mogelijk was. Tijdens de pilot-projecten zijn de bevindingen van de walsmachinisten in kaart gebracht. De belangrijkste tekortkomingen zijn op het gebied van ergonomie en gebruiksmak. Bij de toepassing van multi-CIRCOM werd het door de asfaltmachinisten als zeer positief ervaren om hun eigen positie t.o.v. hun collega te zien. Hiermee werden namelijk de joints tussen de walsovergangen geminimaliseerd en was duidelijk waar zij verder konden gaan met de werkzaamheden waar de ander gestopt was [Peyret, 2000a; Haas et al, 2000].

### **Wat vinden de geïnterviewde walsmachinisten van het CIRCOM systeem?**

De belangrijkste bevindingen van de walsmachinisten ten aanzien van dit systeem is, dat ze het geen prettig idee vinden dat vanuit het hoofdkantoor gezien kan worden wat de productiviteit is. Het systeem geeft het aantal walsovergangen aan, dit zegt volgens één van de geïnterviewde walsmachinisten echter niet iets over de mate van verdichting. Wel wordt er een indicatie gegeven over de gelijkmatigheid waarmee de asfaltlaag verdicht is. Volgens één van de geïnterviewden is het op een groot werk wel handig om te zien wat de collega heeft gedaan. Op grote terreinen is het vaker moeilijker om te oriënteren wat je gedaan hebt. De toepassing van een dergelijk systeem is volgens de geïnterviewden dan ook erg afhankelijk van het type en de grootte van het werk.

## **6.2.2. CIRPAV**

Binnen het in paragraaf 6.2.1 toegelichte CIRC-project is nog een tweede prototype ontwikkeld, het CIRPAV systeem. Het CIRPAV systeem is een asfaltspredmachine welke is uitgerust met controle- en



---

monitoringstechnieken voor het beheersen en bijsturen van het asfaltspreadsproces. Zoals in paragraaf 3.2 is beschreven wordt een asfaltlaag aangebracht met een zogenaamde asfaltspreidmachine. Het doel van deze machine is om een vlakke asfaltlaag met de juiste dikte op het juiste niveau aan te brengen. Er zijn contractueel vaak scherpe eisen gesteld aan hoogteafwijkingen die er mogen zitten in de aangebrachte asfaltlaag. Per asfaltlaag verschilt dit van  $\pm 3$  cm voor de onderlaag tot  $\pm 1$  cm voor de toplaag [Peyret, 2000b; Bouvet et al, 2001]. Controle in de hoogteregeling van de asfaltspreidmachine is dan ook van groot belang om te voldoen aan de eisen die worden gesteld ten aanzien de hoogte, helling en afschot van de weg. Het niveau wordt bepaald door hoogte-instelling van de afwerkbalk en wordt ingesteld door de zogenoemde balkman [VBW, 2000]. Momenteel worden er lasers toegepast als geleidingssystemen voor het bepalen van de hoogte. Echter met deze geleidingsmethode gaat veel arbeid gemoeid zoals het opstellen van een referentieniveau en het controleren van de instellingen [Peyret, 2000a]. De hoofdfuncties van CIRPAV zijn dan ook het begeleiden van de asfaltspreidmachinist bij: (a) het volgen van het juiste traject met de juiste snelheid en (b) de controle op de nauwkeurige positie en afschot van de afwerkbalk, die zowel automatisch als manueel bijgesteld kan worden [Peyret, 2000a]. Net als het CIRCOM systeem is ook het CIRPAV systeem opgebouwd uit een grond subsysteem, een positiebepalingssysteem en een on-board subsysteem (zie figuur 6.3). Het belangrijkste verschil tussen het CIRCOM en CIRPAV systeem is de positiebepaling. Bij CIRPAV wordt er namelijk gebruikt gemaakt van twee technologieën, GPS en deadreckoning sensors voor de positiebepaling en het Laserguide-systeem voor de hoogtebepaling. De nauwkeurigheid in hoogte is bij RTK GPS onder normale omstandigheden  $\pm 2$ cm en voldoet hiermee niet aan de eisen die gesteld zijn aan de meeste asfaltlagen. Voor het bepalen van de hoogte en hoeken wordt daarom een 6D lasersysteem (Laser-guide) toegepast voor een grotere nauwkeurigheid. Dit systeem genereert continu en automatisch een set van zes coördinaten [Peyret,2000a; Bouvet et al, 2001]. Voor een uitgebreidere beschrijving van het Laserguide-systeem wordt verwezen naar Peyret [2000a] en Bouvet et al [2001]. Het CIRPAV-systeem werkt met twee Man Machine Interfaces, namelijk één voor de bestuurder en één voor de balkman die de hoogte van de afwerkbalk bepaalt. Voor het instellen van de hoogte van de afwerkbalk kan gekozen worden voor een handmatige of automatische modus. In het geval van een automatische modus wordt de hoogteregeling van de afwerkbalk aangestuurd door het On-Board subsystem. Voor een voorbeeld van een MMI van CIRPAV-systeem wordt verwezen naar bijlage I.

### **Wat vinden de geïnterviewde balkmannen van het CIRPAV systeem?**

Bij enkele interviews met de balkmannen is het mogelijk geweest om de laatste ontwikkeling voor te leggen op het gebied van industrialisatie van het asfaltverwerkingsproces. Aan enkele balkmannen is het CIRPAV systeem voorgelegd. Uit de interviews blijkt dat de balkmannen het een interessante ontwikkeling vinden. Volgens één van de geïnterviewden wordt in de toekomst steeds meer gewerkt met GPS op de machines. De nauwkeurigheid van het werk wordt met de komst van automaten vergroot, omdat een computer altijd nauwkeuriger kan werken dan de mens. Een van de kritiekpunten van één van de geïnterviewden is dat er teveel op de machines gaat komen en dat je hierdoor teveel gaat corrigeren en het oog verliest voor het grotere geheel. In

---

het interview is tevens naar voren gekomen dat enkele balkmannen vinden dat de nieuwe bedieningsapparatuur een te ingewikkelde menustructuur krijgen waardoor mensen vaak niet weten hoe ze er mee om moeten gaan. Een andere punt van kritiek volgens één van de geïnterviewden is dat het systeem geen rekeningen houdt met oneffenheden in de onderlaag. Uit het praktijkonderzoek (hoofdstuk 5) is naar voren gekomen dat deze factor de belangrijkste factor is die een balkman in de gaten houdt bij het asfaltspreidproces.

### **6.2.3. OSYRIS**

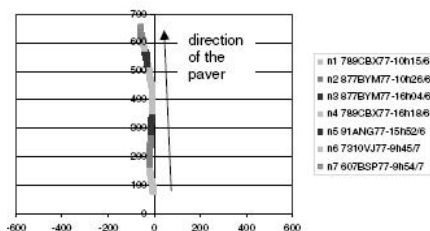
OSYRIS staat voor “Open SYstem for Road Information Support” en is een door de Europese Commissie gefinancierd project, waarin de ontwikkeling van de informatie infrastructuur voor wegenbouw- en onderhoudsprojecten centraal staan [Peyret en Tasky, 2004]. In de kwaliteitscontroleketen, van productie naar het spreiden, ontstaat volgens Peyret en Tasky [2004] een natuurlijk discontinuïteit: het transport. Deze discontinuïteit zorgt voor verlies van kwalitatieve en kwantitatieve informatie. Het overdragen van zowel kwalitatieve als kwantitatieve informatie tussen asfaltcentrale en projectlocatie is van groot belang voor een effectief asfaltverwerkingsproces. Het is namelijk essentieel om op de hoogte te zijn van de fabricage parameters met bijbehorende variaties (temperatuur, korrelafmetingen etc.), omdat deze van invloed zijn op het asfaltverwerkingsproces (snelheid van de wals en asfaltspreidmachine, aantal walsovergangen, etc). Binnen OSYRIS is er een systeem ontworpen waarmee meerdere asfaltparameters gemonitord kunnen worden van productie tot de asfaltverwerking. Op deze wijze wordt getracht de kwalitatieve en kwantitatieve gegevens tussen asfaltcentrale en projectlocatie te borgen.

#### **Werking van het OSYRIS systeem**

Bij de ontwikkeling van het systeem is er door Peyret en Tasky [2004] voor gekozen om de volgende parameters op te nemen:

- Kwaliteitsparameters van de asfaltcentrale (o.a mengsel-samenstelling, mengsel temperatuur)
- Kwantitatieve parameters van het weegstation (o.a. gewicht van de batch)
- Overige parameters (o.a. identificatie project, batch nummer, begin- en eindtijd productie batch)

Voor het opnemen van bovenstaande parameters is een systeem ontwikkeld die opgebouwd is uit twee hoofdtechnologieën: RFID-technologie en GPS-technologie. RFID staat voor Radio Frequency IDentification en is een technologie om op autonome wijze (paragraaf 4.3.2) data te verzamelen. De technologie bestaat uit drie hoofdelementen, te weten: een transponder (tag), een ontvanger en een antenne [Hildreth, 2003]. Een tag bestaat uit een antenne en een microchip. Op de microchip kan in digitale vorm informatie worden opgeslagen. In het OSYRIS systeem wordt op automatische wijze relevante informatie van het fabricageproces en het monitorings- en kwaliteitscontrolesysteem van de asfaltcentrale gehaald. Deze informatie wordt opgeslagen op de tag die gemonteerd zit op de truck die het asfalt naar het project transporteert. Op de projectlocatie bevindt zich een ontvanger. De functie van de ontvanger is het detecteren van de tag. De ontvanger is voorzien van een buffer waarop de ontvangen data kan worden opgeslagen.



Figuur 6.4: locatie van de batches

Bron: Peyret en Tasky [2004]

Deze data kan vervolgens real-time of in batch-mode verzonden worden van de ontvanger naar een basis computer. Vervolgens wordt de informatie die van de tag is gehaald verstuurd naar de asfaltmachine zodat van de informatie gebruik kan worden gemaakt gedurende het asfaltverwerkingsproces. De GPS-technologie in dit systeem heeft als doel om geografisch vast te leggen waar welke batch is gespreid. Door te weten waar, wanneer en welke batch is gespreid kan achteraf ingeval van onderhoud worden achterhaald welke mengsamenstelling er gebruikt is (zie figuur 6.4). Tevens optimaliseert het onderhoudwerkzaamheden doordat het mogelijk is om zwakke plekken te lokaliseren als gevolg van slechte fabricageparameters [Peyret en Tasky, 2004]. Voor het weergeven van belangrijke parameters aan de asfaltspreidmachinist wordt er gebruik gemaakt van een Man Machine Interface (MMI). Voor de asfaltspreidmachinist worden belangrijke gegevens zoals temperatuur van het asfalt bij het verlaten van de asfaltfabriek, productie ton/huur, snelheid van de asfaltspreidmachine weergegeven (Bijlage J)

### Bevindingen van het OSYRIS systeem

Er was volgens Peyret en Tasky [2004] nog niet veel ervaring met betrekking tot de toepassing van RFID-technologie. Ondanks de kwaliteit van de resultaten heeft menselijke interferentie voor verstoringen gezorgd. Peyret en Tasky [2004] concludeerden dat het noodzakelijk is om het systeem volledig te automatiseren om een hoge betrouwbaarheid van het systeem te kunnen garanderen. Voor het verder ontwikkelen van het systeem zijn er twee mogelijkheden: of het wordt geïntegreerd in OSYRIS producten of het wordt een autonoom product. Momenteel worden er nog steeds aanpassingen aan het systeem gedaan vooral op softwarematig gebied.

#### 6.2.4. Het Asfalt Registratie Systeem (ARS)

Door Roadware [[www.roadware.nl](http://www.roadware.nl)] is het zogenaamde *Asfalt Registratie Systeem (ARS)* ontwikkeld. Dit systeem kan een bijdrage leveren aan de kwaliteitsborging gedurende het asfaltverwerkingsproces. Normaliter is de uitvoerder verantwoordelijk voor de administratie die betrekking heeft op de asfaltverwerking zelf. De gegevens dienen handmatig verzameld en verwerkt te worden. Echter het ARS-systeem verzamelt automatisch belangrijke parameters uit het asfaltverwerkingsproces. Hiermee komt dit systeem overeen met de automatische datacollectiemethode die in paragraaf 4.3.2 is beschreven. Doordat parameters gedurende het asfaltverwerkingsproces geregistreerd worden kan het asfaltverwerkingsproces ook geanalyseerd worden. De geregistreerde parameters kunnen als kwaliteitsdocument dienen bij geschilpunten met de opdrachtgever. In tabel 6.1 is een overzicht van de parameter die gedurende het asfaltverwerkingsproces en achteraf beschikbaar zijn.

Beschikbaar gedurende het werk	Achteraf beschikbaar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Het actuele asfaltverbruik (kg/m<sup>2</sup>)</li> <li>• Het gemiddelde asfaltverbruik (kg/m<sup>2</sup>)</li> <li>• De geregistreerde afgelegde weg (m)</li> <li>• Het dakprofiel (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatuur</li> <li>• Start en stopplaatsen</li> <li>• Vrachtgegevens</li> <li>• Gebruikte hoeveelheid asfalt</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• De werkbreedte (cm)</li> <li>• De asfalttemperatuur (°C)</li> <li>• De start- en stopplaatsen</li> <li>• De vrachtgegevens en verbruikte hoeveelheid asfalt</li> <li>• Ook mogelijk tijdens het werk:</li> <li>• Handmatige invoer van handwerk</li> <li>• Oude vrachtnummers oproepen</li> <li>• Met één druk op de knop inzicht in resterende tonnen voor die dag</li> </ul>	

Tabel 6.1: overzicht beschikbare parameter tijdens en na het asfaltverwerkingsproces  
[Bron: [www.roadware.nl](http://www.roadware.nl) ]

De vrachtgegevens worden handmatig door de asfaltspredmachinist of balkman ingevoerd in het systeem. Het aangebrachte profiel, de temperatuur van het asfalt, de afgelegde weg en de breedtemeting gebeurt automatisch. Het is mogelijk om de gegevens achteraf te bewerken met verwerkingssoftware. Hiervoor is het echter noodzakelijk dat de gegevens van de machine wordt getransporteerd naar de computer. Door Roadware worden hiervoor verschillende manieren aangedragen. Een van de manieren is het verzenden van de gegevens via een modem. Dit heeft als voordeel dat dit snel en efficiënt is en dat het mogelijk wordt om vanuit kantoor het asfaltverwerkingsproces kan worden gevolgd.

Vanaf januari 2007 is het mogelijk om het ARS systeem uit te breiden met E-routes [\[www.mindsinc.ca\]](http://www.mindsinc.ca). E-routes gebruikt dezelfde dataverzamelingstechnologie als bij OSYRIS het geval is. Namelijk doormiddel van de RFID-technologie worden gegevens vanuit de asfaltcentrale zoals het type mengsel, gewicht, temperatuur en percentages op de RFID-chip geladen en op de projectlocatie uitgelezen. Ook informatie met betrekking tot de positie, snelheid en andere technische data van zowel asfaltspred- en walsmachine is mogelijk omdat er gebruik wordt gemaakt van onder andere GPS-technologie, GSM/GPRS communicatie en de RFID-technologie.

#### **Wat vinden de balkmannen van het Asfalt Registratie Systeem**

Enkele geïnterviewde balkmachinisten waren op de hoogte van dit systeem. Ze vonden dit geen prettig systeem, aangezien de baas op afstand kan zien of de productie nog wel voldoende is en wanneer de machine heeft stil gestaan. Één van de balkmannen heeft tijdens het interview aangegeven dat hij twijfels had of een dergelijk systeem welk aangekocht wordt. Deze geïnterviewden gaf hier als reden voor dat er nu geen registratie is van de verwerkte hoeveelheid asfalt waardoor er gesjoemeld kan worden met hoeveelheden. Hier is juist vaak door de aannemer wat aan te verdienen.

---

### 6.2.5. AutoPave

Door Krishnamurthy *et al* [1998] wordt er een semi-automatisch asfaltverwerkingsstelsel, genaamd *AutoPave* beschreven. Ook dit stelsel benadrukt het belang van het aantal walsovergangen in relatie tot de eindverdichting van de wegconstructie. Het stelsel bestaat uit drie fasen: de inputfase, motion planning en real-time guiding. Een flowchart van het *AutoPave* stelsel is opgenomen in Bijlage K. In de inputfase worden variabelen ingevoerd die betrekking hebben op:

- Eigenschappen van de wegconstructie zoals geometrie, dikte van de verharding, mengsamenstelling
- Materieel eigenschappen zoals gewicht van de wals, minimale/maximale snelheid van de walsmachine
- Gemengde input zoals weersomstandigheden, afkoelingsgraad, temperatuur asfaltmat.

Het stelsel werkt samen met een ander stelsel "Instantaneous Motion Planning and Controlling Tool (IMPACT)" genaamd [Navon, 2005]. In de motion planningfase worden wiskundige modellen en relaties tussen de input factoren gebruikt om een betere controle te krijgen op de overall invloedsfactoren en hierdoor te zorgen voor een effectievere en uniformere verdichting. Wanneer de correlatie tussen het aantal walsovergangen en de invloedsfactoren is vastgelegd, kunnen het aantal benodigde walsovergangen voor een effectieve verdichting worden bepaald. Uit deze walsovergangen wordt een verdichtingsmodel opgesteld die gebruikt wordt voor het asfaltverwerkingsproces. Voor de controlefase maakt het IMPACT-stelsel gebruik van RTK DGPS voor het meten van de locatie van het materieel. Wanneer de walsmachine afwijkt van het geplande traject kan op deze wijze ad-hoc acties worden genomen om het proces bij te sturen. Ook hier assisteert de MMI door middel van een grafische weergave de bestuurder met het verdichtingsproces. Volgens Krishnamurthy *et al* [1998] heeft het stelsel economische voordelen doordat er indirect kostenbesparingen behaald kunnen worden door betere prestaties van de asfaltconstructie, gereduceerde onderhoudskosten en een gereduceerde onderbreking van het verkeer.

#### Bevindingen van het *AutoPave* stelsel

Het stelsel is bij een aantal pilot-projecten gebruikt. Op basis van deze pilots zal het stelsel verder verbeterd en ontwikkeld worden [Krishnamurthy *et al* ,1998].

### 6.2.6. Intelligent Compaction

Een walsmachinist bepaald op basis van uiterlijke kenmerken van de asfaltmat of de verdichting van de gespreide asfaltmat volgens hem voldoet aan de gestelde eisen. Het herkennen van signalen die duiden op onderverdichting, oververdichting, of wanneer het asfalt nog te warm of al te koud is, wordt alleen opgebouwd door ervaring. Volgens Wilson [2005] is een ervaren walsmachinist echter nog geen garantie voor een succesvolle verdichting. De walsmachinisten gebruiken namelijk de ervaring die ze opgedaan hebben bij andere projecten en omstandigheden als referentie. Net als Ter Huerne [2004] merkt Wilson [2005] op dat indien onder andere omstandigheden wordt gewerkt zoals een ander type asfalt, ook de eisen aan het verdichtingsproces

---

zullen veranderen. De fabrikanten van walsmateriaal willen de invloed van de factor ervaring/vakmanschap op de eindkwaliteit reduceren. Hiervoor wordt het walsmaterieel uitgerust met verdichtingsmeters en controle systemen waardoor de menselijke beoordeling in het verdichtingsproces bijna geheel wordt verwijderd, dit wordt ook wel **Intelligent Compaction** genoemd.

Potts in LTAP [2006] omschrijft **Intelligent Compaction** als:

*“Een machine die de asfaltverdichting meet, de meting weergeeft aan de operator, de meetresultaten opslaat door middel van nauwkeurige GPS-coördinaten én de verdichtingsenergie van de walsmachine controleert en stuurt als reactie op resultaten van het meetsysteem”*

Intelligent compaction is voor het eerst geïntroduceerd in 1990. De meeste fabrikanten van walsmaterieel hebben een intelligent compaction systeem in hun productielijn opgenomen of zijn bezig een dergelijk systeem te ontwikkelen. De systemen verschillen per fabrikant maar hebben wel allemaal hetzelfde doel namelijk: het meten en reageren op de veranderende stijfheid van het materiaal dat verdicht wordt [Wilson, 2005]. In bijlage L zijn enkele figuren opgenomen van het Intelligent Compaction systeem van Bomag.

Volgens Potts in LTAP [2006] zijn er drie verschillende benaderingen voor het meten van de verdichting:

**1. Compaction meter value methode**

Deze methode maakt gebruik van accelometers om verticale bewegingen te meten. De informatie wordt gebruikt om de amplitude van de walsrol bij te stellen

**2. Kracht vs displacement methode**

Dit is volgens Potts een meer directe meettechniek waarmee door middel van accelometers en positie-sensoren de stijfheid wordt bepaald. De resultaten van deze metingen worden gebruikt om de amplitude en de frequentie van de trilrollen te controleren.

**3. Energy vs power method**

Deze methode is niet gebaseerd op basis van de vibratie van de walsrol, maar relateert de rolweerstand van de walsrol aan de stijfheid van het materiaal en is ontwikkeld door Caterpillar [Siekmeier, 2005]. In dit geval geldt: hoe lager de rolweerstand, hoe hoger de materiaalstijfheid. Doordat geen gebruik wordt gemaakt van accelometers is deze methode zowel bij trilrollen als niet trilrollen te gebruiken [LTAP, 2006]

Onder andere in Amerika is er onderzoek verricht naar de Intelligent Compaction systemen. De belangrijkste bevindingen ten aanzien van de Intelligent Compaction zullen nader worden beschreven.

**Bevindingen Intelligent Compaction (IC-systemen)**

Door de verscheidene producenten van verdichtingmaterieel wordt er onderzoek verricht naar Intelligent Compaction. Naast de voordelen van deze techniek zijn er ook nadelen. De voor- en nadelen van Intelligent Compaction zullen hieronder nader beschreven worden. Op Intelligent Compaction is nog wel kritiek omdat het niet duidelijk is of IC-systemen ook effectief zijn wanneer ze toegepast worden bij het verdichten van asfalt. Volgens Moore (2006) zijn

---

de belangrijkste kritieken. De voor- en nadelen van intelligent compaction zullen nader worden beschreven.

#### *Voordelen van Intelligent Compaction*

- Verbeterde efficiëntie, doordat de machine het aantal walsovergangen bepaald voor het bereiken van de maximale verdichting. Daarnaast werkt de machine altijd in de meest optimale amplitude en frequentie en zijn er minder handmatige dichtheidscontroles benodigd [Moore, 2006; Wilson, 2006].
- Er wordt continu data gemeten en opgeslagen, het betreft de locatie van de wals, de amplitude en frequentie en het aantal walsovergangen dat is uitgevoerd. Hierdoor is van elke plek op de asfaltmat bekend wat de verdichting is. Dit levert een belangrijke bijdrage aan de kwaliteitsborging en kwaliteitscontrole.
- Doordat de data van het verdichtingsproces worden opgeslagen kunnen deze naast kwaliteitscontrole en kwaliteitsborging ook worden gebruikt voor analyse. De resultaten van de analyse kunnen worden gebruikt in toekomstig ontwerp.
- De operator kan bepalen of een gebied de vereiste verdichting heeft behaald [LTAP, 2006].
- Oververdichting wordt op twee manieren voorkomen, enerzijds door de machine door de automatische aanpassing van de amplitude, anderzijds door de operator door het reduceren van het aantal walsovergangen [LTAP, 2006].
- De informatie wordt weergegeven op een man-machine-interface (MMI) waardoor de operator gelijk beschikt over kwantitatieve data. Wat resulteert in reductie van verspilling van inspanning en een beter uitgevoerde werkzaamheden. "Intelligent" geldt hierbij dus voor zowel de machine als voor de operator [LTAP, 2006]
- Intelligent Compaction zorgt voor een betere en meer consistente verdichting wat resulteert in minder falen van de wegconstructie [LTAP, 2006]
- Het aanpassen van de amplitude en vibratie frequentie gedurende het verdichtingsproces kan het aantal benodigde walsovergangen die benodigd zijn om de verdichting te halen, te reduceren.

#### *Nadelen c.q. beperkingen van Intelligent Compaction*

- Het is moeilijk te onderscheiden of de stijfheid veroorzaakt wordt door de verdichting van het materiaal of door de afkoeling van het asfaltmengsel en hiermee een afname in viscositeit [Moore, 2006].
- Het is moeilijk te onderscheiden of de stijfheid die gemeten is die van de oppervlaktelaag is of die van een onderliggende laag (in geval van een dunne laagdikte) [Moore, 2006].
- Dat de effectiviteit van accelerometers, de basissensors in een IC-systeem, voor het meten van asfaltstijfheid in twijfel wordt getrokken [Moore, 2006].
- Dat het de vraag is of er betrouwbare stijfheidsmetingen gemaakt kunnen worden wanneer de wals de trilstand heeft ingeschakeld [Moore, 2006].
- De conditie van de onderlaag is kritiek voor een succesvolle verdichting van een asfalttoplaag [LTAP, 2006].

- 
- Bij het meten van de asfaltverdichting bestaat de kans dat ook de verdichting van onderliggende lagen van invloed zijn op de meting. In hoeverre de onderlagen worden meegenomen in de dichtheidsbepaling is afhankelijk van de laagdikte en welk type meetsysteem er wordt gebruikt [LTAP, 2006].
  - Verschillen in asfalttemperatuur heeft invloed op de stijfheid van het mengsel. De metingen moeten op basis van de temperatuur worden gecorrigeerd [LTAP, 2006].

Het intelligent compaction systeem zorgt ervoor dat het verdichtingsproces beter beheerst wordt doordat de operator o.b.v. beschikbare informatie kunnen bepalen of de verdichting voldoet aan de gestelde eisen. Een ander aspect wat voor de walsmachinist ook van belang is, is het tijdstip wanneer begonnen moet worden met het verdichten van het mengsel. De temperatuur van het asfalt is hierbij van groot belang. De kans bestaat dat het asfalt gaat schuiven als deze nog te warm is. Indien het asfalt echter al te koud is kan deze niet meer verdicht worden. Enkele Intelligent Compaction systemen zijn dan ook uitgerust met een temperatuur sensor. Deze sensor geeft de operator een signaal wanneer het asfalt te warm en er verder van de asfaltspreidmachine gewalst moet worden. Een voorbeeld hiervan is het systeem van Dynapac die doormiddel van 3 verschillende kleurcodes aangeeft of het mengsel te koud is, de ideale temperatuur heeft of te warm is om gewalst te worden (zie bijlage M).

Volgens Moore [2006] is het van belang om door een combinatie van academisch onderzoek, in-field experimenten en bevindingen van daadwerkelijke toepassing van aannemers te achterhalen wat precies de mogelijkheden zijn van een IC-systeem. Indien het systeem zijn nauwkeurigheid heeft gekregen die vereist is zorgt het voor het controleloop die terug te vinden is in de kwaliteitscirkel van Deming. Uit de interviews blijkt dat deze controleloop ontbreekt indien de asfaltlaborant gedurende het verdichtingsproces de verdichting niet meet met een nucleair apparaat.

### **6.3 Samenvatting en conclusies**

Om de asfaltwegbouwsector verder te professionaliseren is het van belang dat het proces minder afhankelijk wordt van de kennis en ervaring van de asfaltploeg, echter de vakbekwaamheid moet worden bevorderd. Een mogelijke bijdrage aan de professionalisering wordt geleverd door de automatisering en industrialisatie van het asfaltverwerkingsproces. De fabrikanten van wegenbouwkundig materieel zijn zich ook bewust dat momenteel de kwaliteit in het asfaltverwerkingsproces onder andere wordt bepaald door de kennis en ervaring van de asfaltploeg en ontwikkelen. Daarom worden er verschillende technologieën ontwikkeld en wordt er onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om het asfaltverwerkingsproces te industrialiseren. In dit hoofdstuk zijn de laatste ontwikkelingen beschreven op het gebied van industrialisatie van het asfaltverwerkingsproces. Hierbij is er onderscheid gemaakt tussen (a) een passief systeem (b) een semi-automatisch systeem en (c) een semi-automatisch en actief systeem. In hoofdzaak worden bij al deze ontwikkelingen gebruik gemaakt van GPS-technologie voor (a) het bepalen van de positie van het materieel en (b) als



---

voertuiggeleiding voor de machinisten. De GPS-technologie is in de beschreven ontwikkelingen alleen toegepast voor positiebepaling in het platte vlak. Bij het spreiden van het asfalt is de hoogte van de afwerkbalk van belang. GPS is echter nog te onnauwkeurig om ook te worden toegepast voor hoogtemetingen. Bij het ontwikkelde CIRPAV systeem is ervoor gekozen om het GPS-systeem aan te vullen met een systeem dat werkt met laserstralen om de hoogte en hoekverdraaiingen (helling/afschot) te kunnen meten. De resultaten van het uitgevoerde werk worden real-time vergeleken met wat in de ontwerpfase was gepland. Op deze wijze is het mogelijk om real-time afwijkingen te constateren en indien nodig direct correctieve acties uit te voeren. Het voordeel hiervan is dat fouten direct en niet pas achteraf hersteld hoeven te worden. Dit heeft invloed op de mogelijke reparatie en herstel kosten. Zoals blijkt uit hoofdstuk 5, heeft het gebruik van de GPS-technologie als voertuiggeleiding al zijn waarde getoond bij het grondverzet. Het heeft daar geleid tot een optimale inzet van mensen en middelen. De GPS-data, waaruit het aantal walsovergangen, het gewalste gebied en positie van het materieel kan worden berekend, wordt in de beschreven systemen gedigitaliseerd en kan hierdoor dienen als kwaliteitsdocument. Hiermee wordt een bijdrage geleverd aan de borging van de kwaliteit. Twee andere systeem welke ook een bijdrage kunnen aan de kwaliteitsborging zijn OSYRIS en het Asfalt Registratie Systeem. Bij deze systeem wordt in de keten gekeken naar asfaltparameters die van invloed zijn op de kwaliteit van het asfalt. Door gebruik te maken van de RFID technologie en GPS wordt er geen data verloren tussen de productie van asfalt en het daadwerkelijk spreiden van het mengsel. De RFID technologie zorgt voor de overdracht van parameters uit het productieproces. De GPS technologie heeft als doel om geografisch vast te leggen waar welke batch asfalt gespreid is.

Een systeem specifiek gericht op het verdichtingsproces is het zogenaamde "Intelligent Compaction". Bij dit systeem worden er gedurende het verdichtingsproces stijfheidmetingen uitgevoerd. Op basis van deze meting wordt de verdichtingsgraad bepaald en visueel weergegeven aan de machinist. Indien blijkt dat een bepaald gebied de vereiste dichtheid nog niet heeft bereikt kan hier direct op worden gereageerd. Met dit systeem wordt er een terugkoppelloop gecreëerd die overeenkomt met de kwaliteitscirkel van Deming. De meeste fabrikanten van walsmaterieel hebben een intelligent compaction systeem in de productielijn opgenomen of zijn bezig een dergelijk systeem te ontwikkelen. Het nadeel echter is dat Intelligent Compaction niet kritiekloos is. Critici beweren dat de huidige systemen nog niet ver genoeg ontwikkeld zijn en dat hier meer onderzoek voor noodzakelijk is.

---

# 7. Conclusies en aanbevelingen

---

## 7.1 Inleiding

Het doel van dit afstudeeronderzoek is om de inzichtelijkheid van het asfaltverwerkingsproces te vergroten. Het asfaltverwerkingsproces heeft de kenmerken van een ambacht, handelingen en instelling aan de machines door de asfaltploeg worden gebaseerd op basis van gewoonte, gevoel en ervaring.. Door verschillende ontwikkelingen op de markt zijn procesbeheersing en kwaliteit zijn steeds belangrijker wordende aspecten. Voor een goede procesbeheersing is inzicht in het asfaltverwerkingsproces echter van groot belang. Het inzicht in het asfaltverwerkingsproces kan worden vergroot door de toepassing van een monitoringssysteem. De kern van het monitoringssysteem is een positiebepalingssysteem waarmee data uit het asfaltverwerkingsproces verzameld kan worden. Met deze data is het mogelijk om het procesverloop in kaart te brengen doordat de positie en snelheid van het materieel op een willekeurig tijdstip in het proces bekend zijn. Met deze data is het ook mogelijk het aantal walsovergangen en tijd-weg-diagrammen te bepalen. Een monitoringssysteem geeft inzicht in het verloop maar geen inzicht in de overwegingen en factoren die leiden tot dat verloop. Om hier meer inzicht in te krijgen zijn er interviews afgenomen met asfaltspreidmachinisten, balkmannen en walsmachinisten die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor de aanleg van een weg. Met deze interviews is geprobeerd te achterhalen op basis waarvan de specialisten in de praktijk hun werkzaamheden uitvoeren. In paragraaf 7.2 staan hoofd- en deelconclusies die zijn getrokken uit het afstudeeronderzoek beschreven. In paragraaf 7.3 worden vervolgens aanbevelingen gedaan ten aanzien van het asfaltverwerkingsproces en vervolgonderzoek. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een korte reflectie op de afstudeerperiode.

## 7.2 Conclusies

De conclusies naar aanleiding van het onderzoek zijn onderverdeeld in hoofdconclusies en deelconclusies. De reden hiervoor is dat de hoofdconclusies de belangrijkste conclusies zijn van dit afstudeeronderzoek. De deelconclusies zijn ook belangrijk maar zijn ondergeschikt aan de hoofdconclusies, vormen de beantwoording van de onderzoeksvragen, en hebben wat meer diepgang dan de hoofdconclusies. De hoofdconclusies worden beschreven in paragraaf 7.2.1 en de deelconclusies in paragraaf 7.2.2.

### 7.2.1. Hoofdconclusies

1. Uit zowel de interviews als literatuur blijkt dat in de praktijk veel instellingen en handelingen van de asfaltploeg, gebeuren op basis van gewoonte, gevoel en ervaring.

- 
2. Bij de confrontatie tussen theorie en praktijk zijn twee belangrijke discrepanties geconstateerd. De eerste discrepantie heeft betrekking op instellingen aan de machine. Volgens de theorie zijn namelijk de instellingen voor de voorverdichting en van de balkverwarming afhankelijk van onder andere het mengseltype en temperatuur van het asfaltmengsel. Uit de interviews blijkt echter dat enkele asfaltploegen de instellingen met betrekking tot de voorverdichting en de balkverwarming op een constante waarde laten staan en deze niet per situatie aanpassen.

De tweede discrepantie heeft betrekking op het verdichtingsproces. In de theorie staat beschreven dat voor een gelijkmatige verdichting het van belang is te verdichten volgens een walsprocédé. Een belangrijk aspect van het walsprocédé zijn het aantal uitgevoerde walsovergangen. Volgens de theorie bepaald een walsmachinist zijn geheugen hoeveel walsovergangen er zijn uitgevoerd. Uit de interviews blijkt echter dat de meerderheid van de walsmachinisten het aantal walsovergangen niet onthouden. En dat de meerderheid van de walsmachinisten, om te bepalen of een mengsel voldoende verdicht is, let op het gedrag van het mengsel en structurele en visuele eigenschappen.

3. Uit de interviews blijkt dat een asfaltlaborant niet altijd op een project locatie aanwezig is om de verdichting te controleren. Het ontbreekt dan aan objectieve dichtheids metingen. Hierdoor ontbreekt er directe feedback en een leerproces voor de walsmachinist en het is hierdoor niet mogelijk om het verdichtingsproces bij te sturen. De mogelijkheid om een afwijking te corrigeren gaat hiermee verloren.
4. Uit de theorie blijkt dat de temperatuur een belangrijke factor is bij het verdichtingsproces. Uit de interviews blijkt echter dat de walsmachinisten, ook al hebben ze de beschikking over een temperatuurmeter, deze dan niet gebruiken. Ze bepalen visueel en op basis van het gedrag van het mengsel of de temperatuur van het mengsel het toelaat om al of nog te verdichten. Het is een subjectieve beslissing omdat de beslissing in dit geval niet genomen worden op basis van objectieve waarnemingen (metingen).
5. Uit de interviews blijkt dat de beschikbare technologieën die een bijdrage kunnen leveren aan de beheersing van het asfaltverwerkingsproces niet altijd worden gebruikt. Tevens blijkt er aversie tegen nieuwe technologische ontwikkelingen die in dit rapport zijn beschreven. Het belangrijkste kritiekpunt is dat volgens de geïnterviewde het voor de baas mogelijk is om op afstand het uitgevoerde werk kan controleren. Zij vinden dit geen prettige gedachte. Woorden zoals enige en enkele voegen niet veel toe.

---

## 7.2.2. Deelconclusies

De beantwoording van de afzonderlijke onderzoeksvragen vormen de deelconclusies van dit afstudeeronderzoek en hebben wat meer diepgang dan de hoofdconclusies.

### **1. Wat is de relatie tussen kwaliteit en procesbeheersing?**

Uit de literatuur blijkt dat er een sterke relatie is tussen de procesbeheersing en kwaliteit. Om consistent een constante kwaliteitstandaard te halen is een goede beheersing van het proces van belang. De kern bij procesbeheersing is dat de factoren die een proces beïnvloeden continu gemonitord en beheerst worden. Een belangrijke bijdrage in het kwaliteitsdenken is geleverd door Deming. Deming heeft een kwaliteitscirkel ontwikkeld waarmee doormiddel van terugkoppelloop gecontroleerd wordt of aan de eisen wordt voldaan. Indien dit niet het geval is kunnen er correctieve acties worden uitgevoerd.

### **2. Welke parameters/factoren in het asfaltverwerkingsproces hebben volgens de literatuur invloed op de eindkwaliteit van de wegconstructie?**

Een asfaltverwerkingsproces bestaat uit het asfaltspreidproces en een verdichtingsproces. Bij het asfaltspreidproces wordt het asfaltmengsel gespreid met de juiste breedte, dikte, hoogte, afschot en voorverdichting. Bij het verdichtingsproces is het doel om de juiste vlakheid en eindverdichting van de asfaltlaag te realiseren. Het verdichtingsproces wordt als meest cruciale proces gezien voor de levensduur van de wegconstructie. Uit de literatuur blijkt dat binnen het asfaltverwerkingsproces de invloedsfactoren onderverdeeld kunnen worden in mengselsamenstellingsfactoren, omgevingsfactoren en uitvoeringsfactoren. Als een werk in uitvoering is kunnen alleen op een projectlocatie alleen nog de uitvoeringsfactoren worden beïnvloed. Het gaat hierbij dan vooral om de handelingen en instellingen aan de machines door de asfaltploeg. Mengselsamenstellingsfactoren en omgevingsfactoren kunnen juist doordat ze op een projectlocatie niet meer beïnvloedbaar, dus wel van invloed zijn op de uiteindelijke kwaliteit van het product.

### **3. Op welke wijze kan positie- en snelheidsdata van het materieel uit een asfaltverwerkingsproces verzameld worden?**

Uit de literatuur blijkt dat er van een proces op handmatige of autonome wijze data verzameld kan worden. De handmatige dataverzamelmethode echter heeft onder andere als beperking het detailniveau van de opgenomen data, de menselijke interactie wat resulteert in subjectiviteit. Deze beperkingen worden opgelost door de toepassing van een autonome dataverzamelmethode. Uit een technologiescan blijkt de GPS-technologie de beste toepassing is voor het in kaart brengen van bewegingen, snelheid en positie van het wegebouwkundig materieel gedurende het asfaltverwerkingsproces. Voor het bepalen van de positie van het wegebouwkundig materieel is een zeer nauwkeurige plaatsbepaling nodig. Om deze reden is voor het beschreven monitoringsysteem gekozen voor Real-Time-Kinematic GPS (RTK GPS) waarmee het mogelijk is om op centimeter nauwkeurig een positie te bepalen.

### **4. Op welke wijze wordt er in de praktijk omgegaan met de op basis van de literatuur gedefinieerde invloedsfactoren?**

Door het afnemen van interviews met asfaltspreidmachinisten, balkmannen en walsmachinisten is er meer inzicht gekomen op basis van welke factoren de

---

instellingen op de asfaltspreidmachine en walsmachine worden bepaald. Onderstaand zullen de belangrijkste conclusies ten aanzien van de instellingen aan de machines worden toegelicht.

Op basis van de interviews kan geconcludeerd worden dat de zowel de balkman als de walsmachinist veel instellingen bepalen op gewoonte, gevoel en ervaring. Een walsmachinist bepaald op basis zijn handelingen en instelling aan de wals op basis van uiterlijke kenmerken en het gedrag van het asfalt (schuiven en scheuren). Het schuiven van het asfalt is een teken dat het asfaltmengsel nog te warm is om verdicht te worden. Het scheuren van het asfaltmengsel kan een teken van oververdichting zijn. Uit de interviews kan geconcludeerd worden dat er geen eenduidigheid is voor wat betreft de instellingen van de voorverdichting van het afwerkdeel. Uit de literatuur blijkt dat de frequentie van de voorverdichting afhankelijk is van de laagdikte en de snelheid van de asfaltspreidmachine. Uit de interviews blijkt echter dat de voorverdichting van het afwerkdeel bij sommige asfaltploegen op een constante waarde gehouden, ondanks dat ze weten dat de voorverdichting afhankelijk is van factoren die in de literatuur zijn beschreven. Bij andere asfaltploegen is instelling m.b.t de voorverdichting wel variabel en ondermeer afhankelijk van de weersomstandigheden, het type asfalt, de snelheid van de asfaltspreidmachine en de laagdikte. Tevens blijkt uit de interviews dat de instellingen van de voorverdichting worden bepaald op basis van ervaring/gevoel. Er zijn geen richtlijnen die aangegeven welke instellingen onder bepaalde omstandigheden gebruikt moeten worden.

Op basis van de uitkomsten van de interviews kan geconcludeerd worden dat er ook geen eenduidigheid is voor wat betreft de instellingen van de balkverwarming. Volgens de literatuur moet de temperatuur van de balkverwarming gelijk zijn aan de temperatuur van het aangeleverde mengsel en dient de balkverwarming gedurende het asfaltspreidproces uitgeschakeld te zijn. Een meerderheid van de asfaltploegen meet de temperatuur van het mengsel voor de balk niet. De temperatuur van de balkverwarming staat meestal op een constante waarde en varieerde per asfaltploeg tussen de 120-170°C. De asfaltploegen die de temperatuur van de balkverwarming wel variabel instellen, stellen de temperatuur in op basis van de buitentemperatuur en het type mengsel dat gedraaid wordt. Geen enkele geïnterviewden gaf aan dat de temperatuurinstelling afhankelijk is van het de temperatuur van het aangeleverde mengsel, dit is wel volgens de literatuur van belang.

In de theorie m.b.t. kwaliteitbeheersing, staat beschreven dat het van belang is om te controleren of aan de gestelde eisen wordt voldaan. Indien er een afwijking wordt geconstateerd kan het proces of instelling aan de machine aangepast worden. Onderstaand wordt voor zowel het asfaltspreidproces als voor het verdichtingsproces beschreven op welke wijze gecontroleerd wordt of er aan de gestelde eisen is voldaan.

#### *Asfaltspreidproces*

In het geval van de balkman vindt de controle ten aanzien van de laagdikte plaats door gebruik te maken van een prikstok of duimstok. Hiermee wordt steekproefsgewijs gecontroleerd of aan de eisen van de laagdikte wordt voldaan. De laagdikte wordt bepaald door de hoogte-instelling van de balk en kan geschieden op een handmatige of automatische hoogteregeling. Op basis

---

van de interviews kan geconcludeerd worden dat het gebruik van automatische hoogteregeling afhangt of er een referentie (draad, gootsteen) aanwezig is waarvandaan ze de hoogte kunnen meten en aan de eisen die gesteld zijn aan het project. Bij hoge eisen ten aanzien van de nauwkeurigheid wordt eerder gebruik gemaakt van automatische hoogteregeling. Uit de interviews blijkt dat met de automatische hoogteregeling vaak meer asfalt verwerkt wordt. Ondanks een groter verbruik geven een aantal balmannen de voorkeur aan de automatische hoogteregeling omdat deze nauwkeuriger is. Indien geen referentie aanwezig is wordt er handmatig gewerkt.

#### *Verdichtingsproces*

Uit de theorie blijkt dat het onder andere het aantal walsovergangen de verdichtingsgraad bepalen. Uit de interviews blijkt echter dat de walsmachinisten het aantal walsovergangen op de gespreide asfaltlaag niet bijhouden. Er wordt eerder gekeken naar het gedrag en de structuur van het mengsel om te bepalen of volgens de interpretatie van de walsmachinist de verdichting voldoet aan de gestelde eis. Uit de interviews blijkt dat dit visueel controleren van het gedrag van het asfalt moeilijk is en dat bij nachtwerk nog meer gewerkt wordt op basis van gevoel. De controle op de verdichting van het asfalt gebeurt dus in eerste instantie visueel door de walsmachinist. Uit de interviews blijkt dat walsmachinisten graag op de hoogte willen zijn van de verdichtingsgraad omdat dit behoort tot hun primaire taak. Een verdichting kan op twee manieren bepaald worden, achteraf met behulp van een boorkern en gedurende het proces door het uitvoeren van een nucleaire dichtheidsmeting. Het voordeel van deze laatste methode is dat het verdichtingsproces kan worden bijgestuurd indien nog niet aan de eisen van de verdichtingsgraad wordt voldaan. Uit de interviews blijkt dat er niet bij elk project een asfaltlaborant aanwezig is maar dat dit afhangt van het type werk, de eisen die aan het project zijn gesteld en of het een mengsel is die moeilijk is te verdichten. Indien een asfaltlaborant geen dichtheidsmeting uitvoert, ontbreekt er voor de walsmachinist een directe terugkoppelloop zoals die is terug te vinden in de kwaliteitscirkel van Deming. Een ander belangrijk aspect bij het verdichten van asfalt is de temperatuur van het asfaltmengsel. Uit de literatuur blijkt dat een mengsel niet te warm mag zijn als het gewalst wordt omdat dan de kans op het schuiven en scheuren van het asfalt groter is. Het mengsel mag ook niet te koud zijn want dan kan het niet meer verdicht worden. Uit de interviews blijkt dat een merendeel van de walsmachinisten de temperatuur van het asfaltmengsel als een van belangrijkste parameters beschouwen. Van de 14 geïnterviewden walsmachinisten blijken er 6 de beschikking te hebben over een temperatuurmeter. Van deze 6 walsmachinisten geven 4 walsmachinisten aan de temperatuurmeter nauwelijks te gebruiken. Deze twee bevindingen staan haaks op elkaar, enerzijds behoefte aan informatie m.b.t. de temperatuur van het asfaltmengsel, en anderzijds de technologie hebben deze te bepalen, maar het hulpmiddel niet gebruiken.

#### **5. Wat zijn de ontwikkelingen bij de industrialisatie van het asfaltverwerkingsproces?**

Ook de producenten van wegenbouwkundig materieel zijn er zich van bewust dat in de asfaltwegenbouw veel beslissingen worden genomen op basis van kennis en ervaring van de asfaltploeg. Om de invloed van het aandeel kennis en ervaring te verminderen zijn of worden er een aantal technologieën ontwikkeld die een bijdrage kunnen leveren aan de beheersing van het asfaltverwerkingsproces. Alle ontwikkelde technologieën hebben als doel om

---

de bestuurders van het wegenbouwkundig materieel te ondersteunen bij het uitvoeren van de werkzaamheden. In veel gevallen wordt er data uit het proces verzameld en opgeslagen en door middel van een scherm (man-machine-interface) aan de bestuurder weergegeven. De opgeslagen data kan tevens gebruikt worden als kwaliteitsborgingdocument. Doordat de bestuurder van het materieel nu de beschikking heeft over kwantitatieve data kan hij op basis daarvan zijn handelingen bepalen. De meeste nieuwe technologieën die in dit onderzoek zijn besproken zijn voorzien van GPS als positiebepalingstechnologie. Bij het afnemen van de interviews met de asfaltploegen zijn ook enkele nieuwe ontwikkelingen aan de geïnterviewden voorgelegd. Over het algemeen is te concluderen dat de meningen van de geïnterviewde personen verdeeld waren m.b.t. de nieuwe technologieën. Als belangrijkste nadeel werd genoemd dat bij de meeste nieuwe technologieën het mogelijk is dat de baas op afstand kan zien wat er op de projectlocatie afspeelt. Dat dit in zijn geheel in de gaten gehouden wordt, vinden enkele geïnterviewden geen prettige gedachte. Één technologie sluit wel aan op de wens van enkele geïnterviewde walsmachinisten, namelijk het intelligent compaction systeem. Dit systeem geeft onder andere aan wanneer de vereiste verdichting is gehaald. Hiermee worden onder- en oververdichting van de asfaltconstructie voorkomen.

## **7.3 Aanbevelingen**

### **7.3.1. Aanbevelingen ten aanzien van het asfaltverwerkingsproces**

- Op basis van de uitkomsten van de interviews blijkt dat de toepassing van automatische hoogteregeling apparatuur de voorkeur heeft vanwege de nauwkeurigheid. Uit de interviews blijkt dat het gebruik van dit systemen ondermeer afhankelijk is van de eisen aan de wegconstructie en of er een referentie aanwezig is. De ontwikkelingen van GPS-technologieën op de asfaltspreidmachine kunnen het opstellen van een eigen referentieniveau (draadje) in de toekomst wellicht overbodig maken. Momenteel is echter de nauwkeurigheid van GPS in hoogte nog onvoldoende. Het in dit rapport beschreven CIRPAV systeem heeft daarom voor de hoogtebepaling, als aanvulling op GPS, gekozen voor een lasersysteem. Het heeft de aanbeveling om de ontwikkeling van deze systemen nauwlettend te volgen.
- In dit onderzoek is een monitoringsysteem beschreven gebaseerd op GPS. Meer specifiek RTK-DGPS, waarmee het mogelijk is om het aantal uitgevoerde walsovergangen op de centimeter nauwkeurig te bepalen. Deze informatie in combinatie met informatie van boorkernen kan meer inzicht verschaffen tussen de relatie van dichtheid en het aantal walsovergangen voor een specifiek mengsel. Het is van belang dat de resultaten van dergelijk onderzoek aan de walsmachinist teruggekoppeld wordt. Hiermee kan een bijdrage worden geleverd aan het leerproces van de walsmachinist.
- Om het leerproces van een walsmachinist te verbeteren is het van belang dat gedurende het verdichtingsproces de verdichtingswaarde terug gekoppeld worden. Dit is mogelijk door het uitvoeren van

---

nucleaire dichtheidsmetingen door een asfaltlaborant. Met de gemeten informatie kan de walsmachinist zodoende aangestuurd worden in zijn werkzaamheden. Zolang de asfaltlaborant niet op het werk aanwezig is zal de walsmachinist altijd op basis van zijn eigen ervaring en inzicht bepalen of volgens hem de verdichting voldoet aan de gestelde eisen. De nieuwe ontwikkelingen van Intelligent Compaction lijken een belangrijke bijdrage te kunnen gaan leveren aan de beheersing van het verdichtingsproces. Het is aan te bevelen nader onderzoek te doen naar de bijdrage die het Intelligent Compaction systeem kan leveren aan de beheersing van het verdichtingsproces.

### **7.3.2. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek**

- Het is aan te bevelen verder onderzoek te doen naar het gebruik van een temperatuurmeter door de walsmachinisten en balkmannen. Op basis van de interviews blijkt dat de temperatuurmeter door een walsmachinist bijna nooit wordt toegepast terwijl de meerderheid van de geïnterviewden aangeeft informatie te willen hebben over de temperatuur van het mengsel. De temperatuur van het asfalt is namelijk een belangrijke indicatie voor de resterende hoeveelheid tijd die nog beschikbaar is voor verdere het verdichting. Daarnaast moet voorkomen worden het walsen aangevangen wordt als het asfaltmengsel nog te warm. Er bestaat dan namelijk de kans dat het asfalt gaat schuiven en/of scheuren.
- Het is tevens aan te bevelen nader onderzoek te doen naar de instellingen van de voorverdichting bij verschillende mengseltypen, verschillende laagdikten en verschillende snelheden van de asfaltspreidmachine. Daar de voorverdichting volgens de literatuur grote invloed heeft op de uiteindelijke vlakheid van een weg.
- Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen naar de instelling van de balkverwarming voor verschillende type mengsel, laagdikten en weersomstandigheden. Uit de interviews blijkt namelijk dat de instellingen van de balkverwarming meestal constant worden gehouden. Echter de instelling van de temperatuur verschillende per asfaltploeg. In de literatuur wordt aanbevolen om de balkverwarming gelijk te stellen aan de temperatuur van het aangeleverde mengsel. En de balkverwarming uit te schakelen indien het mengsel gespreid wordt.
- Uit de interviews is ondermeer naar voren gekomen dat de nieuwe technologieën die in ontwikkeling zijn enige weerstand oproepen. Vervolg onderzoek naar de adoptie en gebruik van technologieën die de beheersing van het asfaltverwerkingsproces kunnen ondersteunen is daarom van groot belang. Als de asfaltploeg dient te werken met de nieuwe technologieën dienen deze wel eerst succesvol te worden geadopteerd.
- Het monitoringssysteem welke beschreven is in hoofdstuk 4 dient uitsluitend voor het bepalen van bewegingen, positie en snelheid. Het



---

functionele ontwerp zal in de praktijk nog wel getoetst moeten worden. Het verdient de aanbeveling om te analyseren of er nog extra sensors aangebracht moeten worden die data verzamelen over andere aspecten die van invloed zijn op het asfaltverwerkingsproces zoals bijvoorbeeld de meteorologische factoren wind, neerslag, zonnestraling en temperatuur.

## **7.4 Terugkoppeling op het onderzoek**

Het afstudeeronderzoek is in april 2006 gestart. Na het schrijven van een onderzoeksplan, wat de blauwdruk is van de afstudeerperiode, is in juni daadwerkelijk gestart met het afstudeeronderzoek. In eerste instantie zou het onderzoek gericht zijn op het ontwerpen en toetsen van een monitoringsysteem in één of enkele pilot-projecten. In september is tijdens een vergadering in overeenstemming met de afstudeercommissie besloten om alleen het systeem op functionele wijze te beschrijven. Het was in mijn afstudeerperiode niet meer mogelijk om een pilot-project op te zetten. Met de afstudeercommissie is toen besloten om de inzichtelijkheid in het asfaltverwerkingsproces te vergroten door middel van interviews met asfaltploegen. Vooral het afnemen van de interviews met de asfaltspredmachinisten, balkmannen en walsmachinisten vond ik interessant en leerzaam. Terugkijkend op het onderzoek heb ik een beter inzicht gekregen m.b.t. de aspecten kwaliteit- en procesbeheersing in relatie tot het asfaltverwerkingsproces. Met zowel het bestuderen van de theorie en praktijk ben ik van mening dat ik alle onderzoeksvragen heb kunnen beantwoorden en hiermee aan mijn geformuleerde doelstelling heb voldaan.

---

## Begripsbepaling en afkortingen

### Begrippen

Absolute positiebepaling:	Bij absolute positiebepaling wordt de positie van het object bepaald ten opzichte van bakens/referentie punten waarvan de positie bekend is
Asfaltverdichtingsproces:	Het deelproces binnen het asfaltverwerkingsproces waarbij met behulp van een walsmachine de vereiste verdichting en vlakheid van de asfaltlaag wordt aangebracht.
Asfaltspreidproces:	Het deelproces binnen het asfaltverwerkingsproces waarbij met behulp van een asfaltspreidmachine een asfaltlaag met de vereiste breedte, afschot en dikte van de laag wordt gespreid.
Asfaltverwerkingsproces:	Het proces waarbij het asfalt verwerkt wordt op de projectlocatie door middel van twee deelprocessen, als eerste het asfaltspreidproces en ten tweede het asfaltverdichtingsproces
Autonome dataverzameling:	Dataverzamelmethode waarbij de menselijke tussenkomst tot een minimum wordt beperkt
Intelligent Compaction:	Een wijze van verdichten waarbij een machine de asfaltverdichting meet, de meting weergeeft aan de operator, de meetresultaten opslaat door middel van nauwkeurige GPS-coördinaten, en de verdichtingsenergie van de walsmachine controleert en stuurt als reactie op resultaten van het meetsysteem”
Kwaliteit:	Onder kwaliteit wordt in dit onderzoek verstaan: <i>het voldoen aan de vereiste specificaties</i>
Procesbeheersing:	Een methode waarbij de parameters die een proces en de uitkomsten van dit proces beïnvloeden worden gemonitord en beheerst.
Relatieve positiebepaling:	De nieuwe positie van een object wordt bepaald ten opzichte van de vertrekplaats door informatie met betrekking tot afgelegde weg en richtingsverandering die door geïntegreerde sensoren worden gegenereerd.

### Afkortingen

ARTB:	AdviesRaad Technologiebeleid Bouwnijverheid
CIRCOM:	Computer Integrated Road Compactor
CIRPAV:	Computer Integrated Road Paver
DGPS:	Differential Global Positioning System
GPS:	Global Positioning System
MMI:	Man Machine Interface
OSYRIS:	Open SYstem for Road Information Support
RTK-GPS:	Real Time Kinematic - Global Positioning System
SPC:	Statistical Process Control
TQM:	Total Quality Management
VBW:	Vereniging tot bevordering van werken in asfalt

---

## Literatuurlijst

---

### Boeken

Bovée (2003), *Statische procesbeheersing in de betonindustrie*, Woerden, ENCI Media, 2003

Corsby, P.B (1979), *Quality is free: the art of making quality free*, McGraw-Hill, New York.

Hutjes, J.M. en van Buuren, J.A. (1992), *De Gevalstudie, strategie van kwalitatiefonderzoek*, Open Universiteit Heerlen, 2e druk

Hunter, R.N (2000), *Asphalt in road construction*, Thomas Telford Publishing, Londen

Husti, G.J. (2000), *Global Positioning System*, Delft University Press, 1<sup>e</sup> druk, Delft

Kok, J.A.A.M.,H.J.Oosterveld (1993), *Certificering en kwaliteitszorg: een gespannen relatie*, Groningen.

Lavin, P (2003), *Asphalt pavement, a practical guide to design, production and maintenance for engineers and architects*, 1st edition, Spon Press, Londen

Oglesby et al (1989), *Productivity improvement in construction*, McGraw Hill.

Saylor, J.H. (1992), *TQM Field Manual*, McGraw-Hill, 1st edition, New York

Spencer et al (2003), *Global Positioning System, a field guide for the social science*, Blackwell Publishing, 2003

Schippers,W.A.J (2000), *Structure and applicability of quality tools: decision support for the application of process control and improvement techniques*, proefschrift TUE, Technische Universiteit Eindhoven.

Ter Huerne, H.L (2004), *Compaction of asphalt road pavements : using finite elements and critical state theory*, Proefschrift Universiteit Twente, Enschede.

Tillema, K (2002), *Activity-Based Quality Management: een synthese van kwaliteitsmanagement en Activity-Based Costing*, Koninklijke Van Gorcum BV te Assen.

Van Doorn en Spierings (2001), *Kwaliteitsborging en samenwerken in de civiele bouw*, Proefschrift Universiteit Tilburg, Offsetdrukkerij Haveka bv te Alblasterdam

---

Verschuren, P en Dodewaard, H (2000), *het ontwerpen van een onderzoek*, Utrecht: Lemma 3<sup>e</sup> druk

VBW (2000), *Asfalt in de wegen- en waterbouw*, tiende druk, Breukelen november 2000.

VBW (1992), *Het verdichten van asfalt in de praktijk*, Breukelen, april 1992

Whiteoak, D, Read, J (2003), *The Shell Bitumen Handbook*, fifth edition, Thomas Telford Publishing, Londen.

### **Documenten/rapporten**

ARTB (1998), *ARTB Bouwvisie 2015*, De Haag, januari 1998

Bhat et al (2004), *Conversion of volunteer-collected GPS diary data into travel time performance measures*, Research Report 5176-1 by the Center for Transportation Research University of Texas, December 2004

Boogaard (2003), *RTK-DGPS diensten in Nederland*, GeoNieuws, nummer 1, jaargang 2003, zie ook [www.geonieuws.nl](http://www.geonieuws.nl)

Bouwende Nederland (2005), *Visie document*, november 2005

Dorée (1999), *dictaat "bouwprocessen"*, Universiteit Twente, Enschede

EIM (2001), *Ondernemen in het ambacht 2001*, Zoetermeer 2001

Garmin (2000), *GPS Guide for beginners*, December 2005

Kok, J.A.A.M. , Oosterveld, H.J. (1993) *Certificering en kwaliteitszorg: een gespannen relatie*, Groningen

Kösters en Crombaghs (2000), *Opzettelijke verslechtering GPS beëindigd*, GeoNieuws, nummer 3, jaargang 2000, zie ook [www.geonieuws.nl](http://www.geonieuws.nl)

L.T.A.P. (2006), *Minnesota Pavement Conference, Session Summaries*, Conference Center University of Minnesota St. Paul Campus, February 16, 2006

Min, E de (2002), *DGPS-diensten in Nederland*, GeoNieuws, nummer 4, jaargang 2002, zie ook [www.geonieuws.nl](http://www.geonieuws.nl)

Moore, W (2006), *Intelligent Compaction: Outsmarting Soil and Asphalt*, April 1, 2006 op [www.constructionequipment.com](http://www.constructionequipment.com)

Retscher, G (2002), *Multi-sensor systems for machine guidance and control*, International Congress, Washington DC, USA, april 19-26 2002

Topcon (2005), *Meer dan alléén GPS, een beknopte beschrijving van satelliet-plaatsbepaling en wat Topcons GPS+ Systemen extra kunnen bieden*, Capelle a/d/ IJssel

---

SBW (2004a), Beroepscompetentieprofiel machinist wegenbouwmachines, versie 02, 14-10-2004

SBW (2004b), Beroepscompetentieprofiel balkman, versie 03, 11-05-2005

Siekmeier, J (2005), *Intelligent Compaction for Continuous Compaction Control*, Mn/DOT Materials Engineering Meeting, Duluth, Minnesota, April 21, 2005

Thales (2005), Handleiding GPS; [www.thales-navigation.com](http://www.thales-navigation.com)

Turner, H.F. (2001), *Quality assurance and self-control in road construction*, Stockholm, Sweden

US Army Corps of Engineers (2000), *Hot-mix asphalt paving handbook 2000*, July 2000

VBW (2000), *De balkman*, Breukelen, april 2000

VBW (2001), *De walsmachinist*, 28e jaargang, asfalt nummer 3, oktober 2001

VBW (2003), *Waarom walsen*, Breukelen, februari 2003

Wilson, S (2005), *How compaction measurement systems are making roadbuilding more simple, reliable and profitable*, Associated Construction Publication, October 26, 2005

### **Wetenschappelijke artikelen/rapporten**

Anderson, J.C., Rungtusanatham, M., Schroeder, R.G (1994), *A Theory of Quality Management Underlying the Deming Management Method*, Academy of Management Review, Vol. 19, No. 3, Special Issue: "Total Quality" (Jul., 1994), pp. 472-509.

Arditi, D., Murat Gunaydin, H (1997), *Total Quality Management in the construction process*, International Journal of Project Management, Vol. 14, No 3, pp 235-243.

Bonsen et al (2005), *Combining GPS with sensor-based dead reckoning*, GPS world ([www.gpsworld.com](http://www.gpsworld.com))

Borenstein et al [1997], *Mobile Robot Positioning: Sensor and Techniques*, Journal of robotic systems 14(4), pp 231-249)

Bouvet et al (2001), *Precise 3-D localization by automatic laser theodolite and odometer for civil engineering machines*, International Conference on Robotics & Automation, Seoul, Korea, May 21-26, 2001

Brown, J.R. (1980), *The cooling effect of temperature and wind on rolled asphalt surfacing*, Transport and Road Research Laboratory Report 624, Crownthorne, Berkshire 1980

---

Brown, E.Ray (1990), *Density of asphalt concrete - How much density is needed*, National Center for Asphalt Technology Report No. 90-3, Washington, January 1990

Daines, M.E. (1985), *Cooling of bituminous layers and time available for their compaction*, Transport and Road Research Laboratory Report 4, Crownthorne, Berkshire 1985

Garvin, D.A. (2003), *What does "product quality" really mean?*, Sloan Management Review, Reprint 2613, Fall 1984, vol.26, no., pp 25-43.

Haas,C.T, Kim, Y-S, *Automation in infrastructure construction*, *Construction Innovation*, vol.2 (2002), pp.191-210

Haas et al (2000), *Automation in transportation system construction and maintenance*, Transportation Research Circular Number E-C017, Washington

Hill,C.W.L, *Differentiation versus low cost or differentiation and low cost, a contingency framework*, The Academy of management review, vol. 13, no.3.(juli 1998), pp 401-412.

Hildreth, J.C . (2003), *Disseration: The use of short-interval GPS Data in construction operation analysis*, Blacksburg, Virginia, 2003.

Jaselskis et al (2001), *Status of roller mountable microwave asphalt pavement density sensor*, journal of construction engineering and management, January/February 2001

Jordan, P.G., Thomas, E.M. (1976), *Prediction of cooling curves for hot mix paving materials by a computer program*, Transport and Road Research Laboratory Report 729, Crownthorne, Berkshire 1976

Kannan, G (1999), *Disseration: Methodology for the development of a production experience database for earthmoving operation using automated data collection*, Blacksburg, Virginia, 1999

Kannan,C, Vorster,M (2000), *Development of an experience database for truck loading operations*, journal of construction engineering and management, may/june 2000, pp. 201-209

Krishnamurthy et all (1998), *Autopave: towards an automated paving system for asphalt pavement compaction operations*, Automation in construction, volume 8, p. 165-180

Kley, Karl Ludwig (2004), *Positionierungslösung für Straßenwalzen - Grundlage für eine kontinuierliche Qualitätskontrolle und Dokumentation der Verdichtungsarbeit im Asphaltbau*, Universität Karlsruhe, Fak. f. Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften. Diss. v. 14.01.2004.

---

Leech, D en Powell, W.D (1974), *Levels of compaction of dense coated macadam achieved during pavement construction*, Transport and Road Research Laboratory Report 619, Crownthorne, Berkshire 1974

Li et al (1996) *A GIS-based system for tracking pavement compaction*, Automation in construction, volume 5 (1996), pp 51-59

Minchin,R.E, Thomas,H.R, (2003) *Validation of vibration based-onboard asphalt density measuring system*, journal of construction engineering and management, january/february 2003, pp 1-7

Navon et al (2003), *A concept proving prototype of automated earthmoving control*, automation in construction, vol.13 (2004), pp 225-239

Navon,R, Shpatnitsky, Y (2005), *A model for automated monitoring of road construction*, Construction Management and Economics (November 2005), 23, pp. 941-951

Navon,R (2005), *Automated project performance control of construction projects*, automation in construction, vol.14 (2005), pp. 467-476.

Oloufa en Aty (2001), *Application of DGPS for collision avoidance in intelligent transportations systems in a wireless environment*, February 2001

Oloufa (2002), *Quality Control of asphalt compaction using GPS-based system architecture*, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, march 2002

Oloufa et al (2003), *Situational awareness of construction equipment using GPS, wireless and web technologies*, automation in construction, vol.12 (2003), pp. 737-748

Pampagnin et al (1998), *Architecture of a GPS-based guiding system for road compaction*, International Conference on Robotics & Automation, Leuven, Belgium, may 1998

Peyret, F (1998), *A new facility for testing accurate positioning systems for road construction robotics*, automation in construction, vol.8 (1998), pp. 209-221

Peyret, F et al (2000a), *The Computer Intergrated Road Construction project*, automation in construction, vol.9 (2000), pp. 447-461

Peyret, F et al (2000b), *High-precision application of GPS in the field of real-time equipment positioning*, Automation in Construction, vol.9 (2000), pp. 299-314

Peyret en Tasky (2004), *A traceability system between plant and work site for asphalt pavement*, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 19 (2004), pp. 54-63

---

Powell, W.D, Leech, D, *Compaction of bituminous road materials using vibratory rollers*, Transport and Road Research Laboratory Report 1102, Crownthorne, Berkshire 1983

Rungtusanathman (2000), *The Quality and Motivational Effects of Statistical Process Control*, Journal of quality management, Volume 4, No. 2, pp. 243-264

Ter Huerne, H.L, Dorée, A.G, Tolman, F, (2006), *Professionalisering asfaltwegenbouw sector: van ambacht naar industrie*, bijdrage Wegenbouwkundige Werkdagen, 22 juni 2006 te Dodewerth

Sander et al (1994), *Comparison of nuclear and core pavement density measurements*, Journal of Transportation Engineering, volume 120, no.6, November/December 1994, pp. 953-966

Veeramani et al (1998), *Computer Integrated collaborative design and operation in the construction industry*, automation in construction 7 (1998), pp 485-492

### **Websites**

[www.cit.utwente.nl](http://www.cit.utwente.nl)

[www.koac-npc.nl](http://www.koac-npc.nl)

[www.topcon.nl](http://www.topcon.nl)

[www.trimble.com](http://www.trimble.com)

[www.thales-navigation.com](http://www.thales-navigation.com)

[www.garmin.com](http://www.garmin.com)

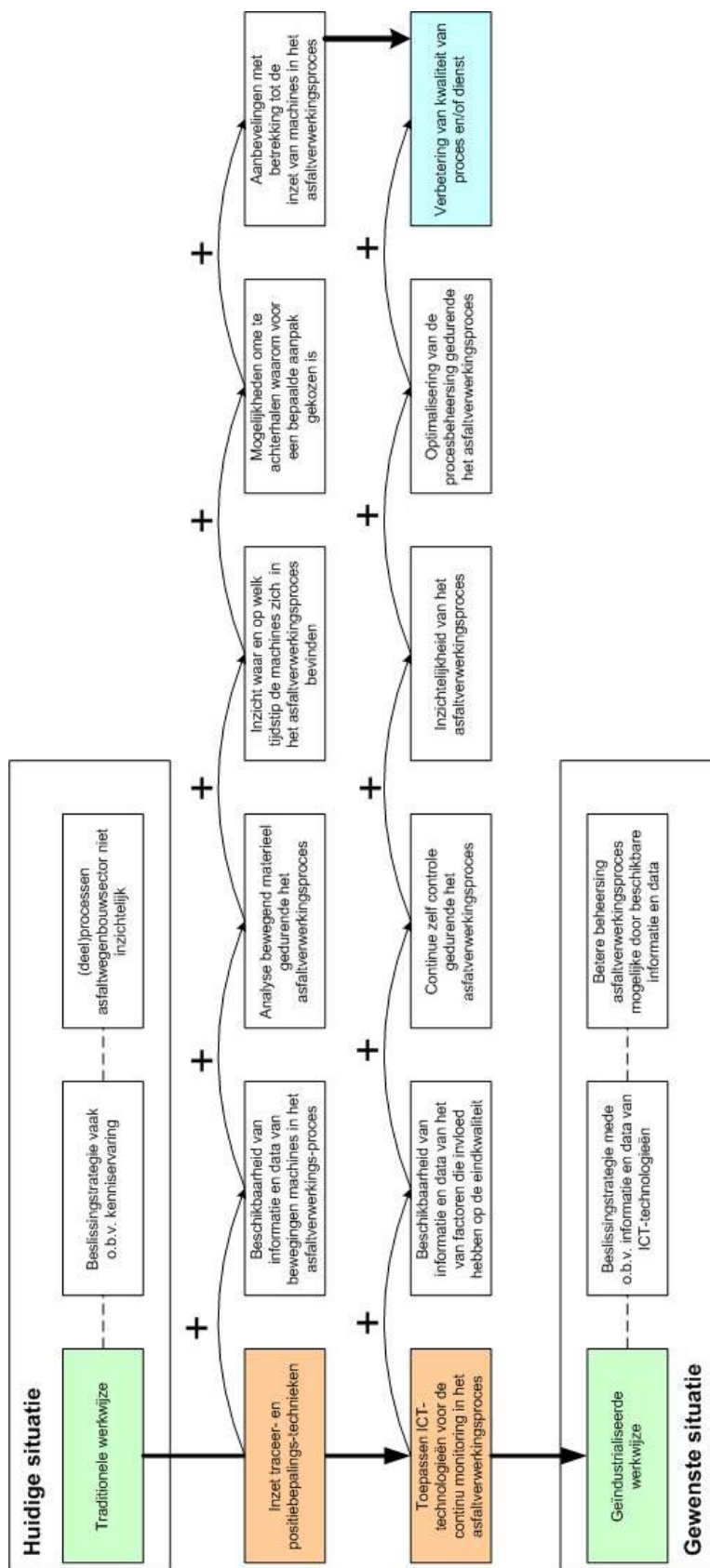
[www.constructionequipment.com](http://www.constructionequipment.com)

### **Overig**

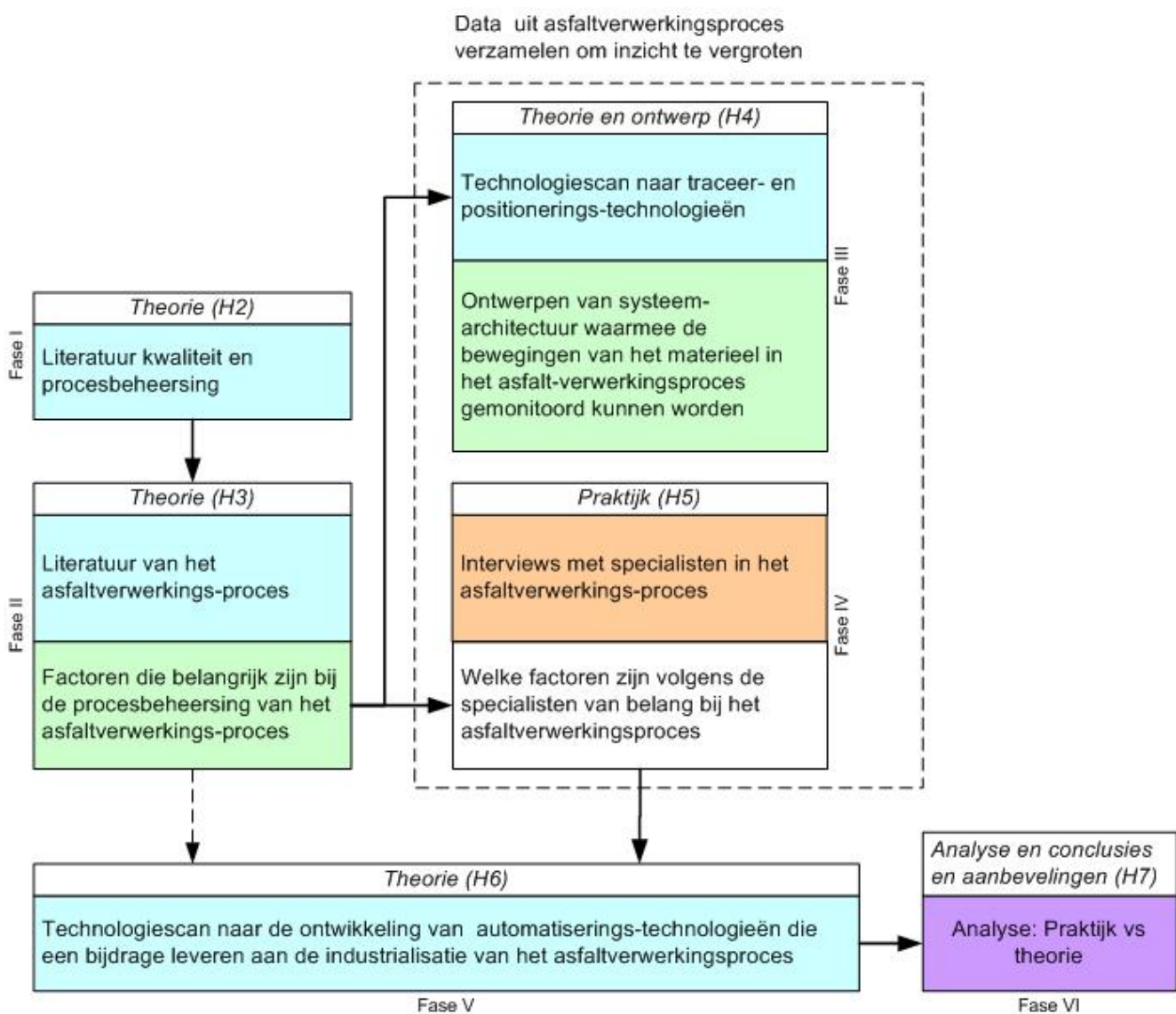
Deelnamen *Wegenbouwkundige Werkdagen*, georganiseerd door de CROW op 21-22 juni 2006 te Dodewerth.



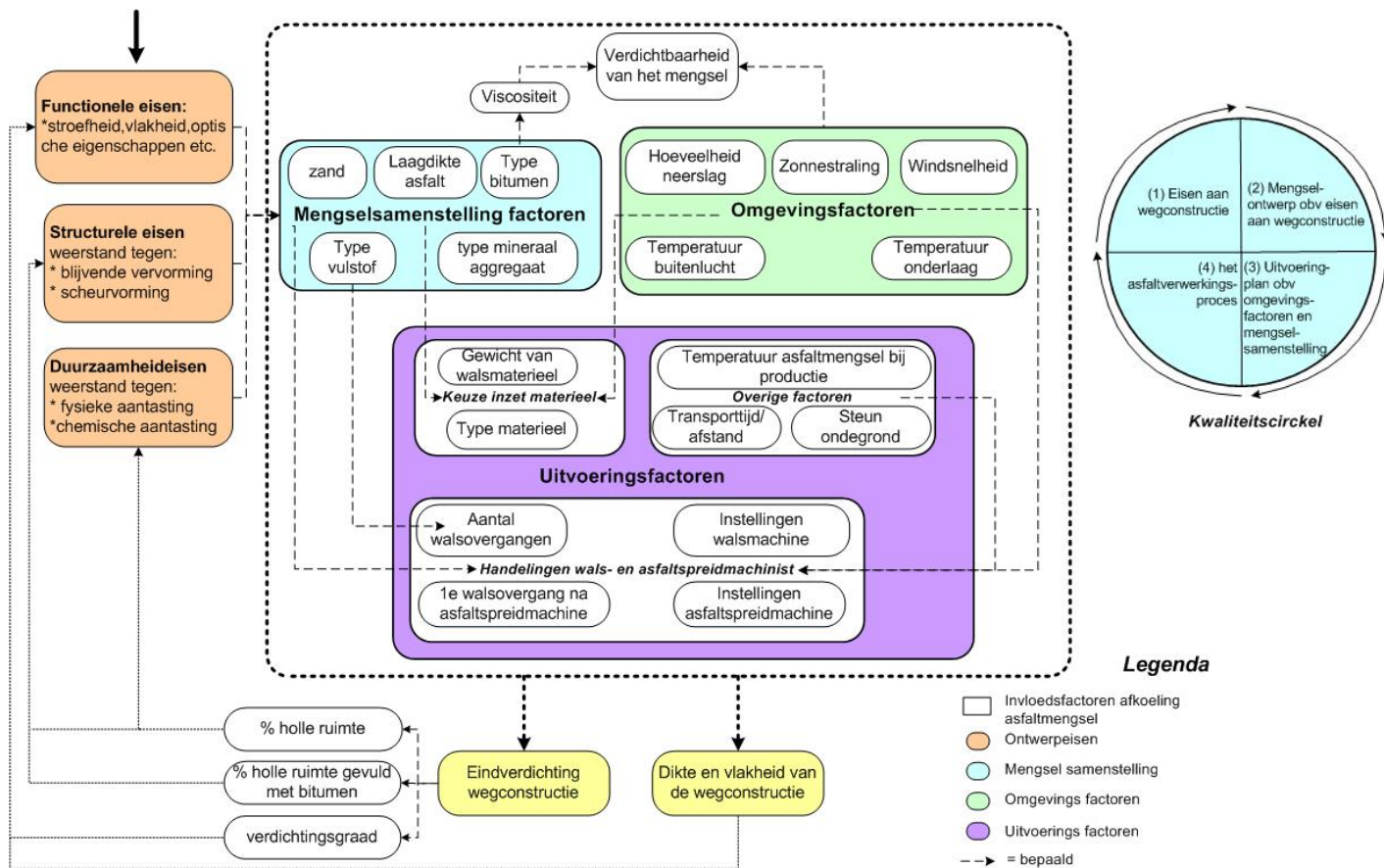
# Bijlage A Causaal relatiediagram



## Bijlage B    Onderzoeksmodel

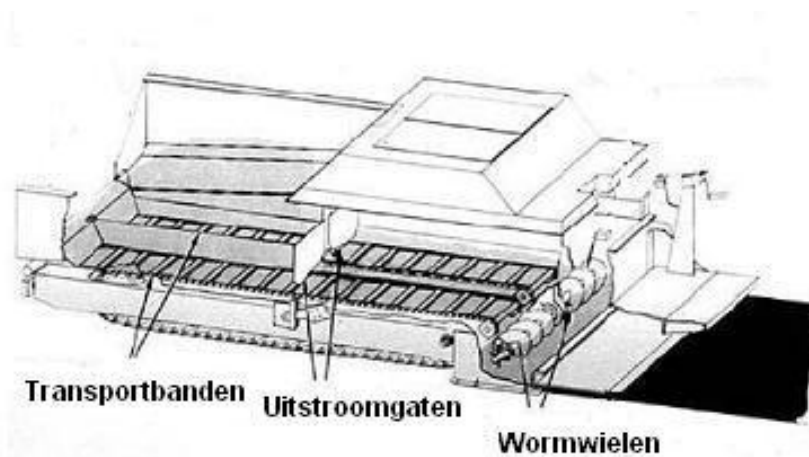


## Bijlage C Relatiediagramm invloedsfactoren (eind-)verdichting wegconstructie



## Bijlage D Aanvoer asfalt vanuit de hopper naar de balk

---



*Figuur 1: Doorsnede aanvoerlijn asfaltspreidmachine*

*Bron: US Army Corps of Engineers (2000)*



*Figuur 2: Horizontale transportbanden die asfalt van hopper naar balk transporteert*

*Bron: US Army Corps of Engineers (2000)*



*Figuur 3: Uitstroomgaten waarmee de hoeveelheid getransporteerd asfalt kan worden geregeld*

*Bron: US Army Corps of Engineers (2000)*



*Figuur 4: Wormwiel voor gelijkmatige verdeling van asfalt over werkbreedte*

*Bron: US Army Corps of Engineers (2000)*

---

## Bijlage E Lijst met geïnterviewden

---

---

<b>Asfaltspreidmachinist (7)</b>	<b>Bedrijf</b>
Bert Nijland	Dura Vermeer Groep NV
Gerrit van Doorn	Heijmans NV
Fokke Walters	Reef Infra BV
André Wesselink	Twenste Weg en Waterbouw BV
Rien de Laat	Koninklijke BAM Groep NV
Karel van Eijlen	Koninklijke BAM Groep NV
Edwin van Beesten	Roelofs Wegenbouw BV

---

---

<b>Balkman (7)</b>	<b>Bedrijf</b>
Tony Tuitert	Dura Vermeer Groep NV
Jan Krumpelman	Heijmans NV
Jan Bint	Reef Infra BV
Erwin Laageveen	Twenste Weg en Waterbouw BV
Sjaak Nelissen	Koninklijke BAM Groep NV
Kees van Rijsbergen	Koninklijke BAM Groep NV
Martin Renterkamp	Roelofs Wegenbouw BV

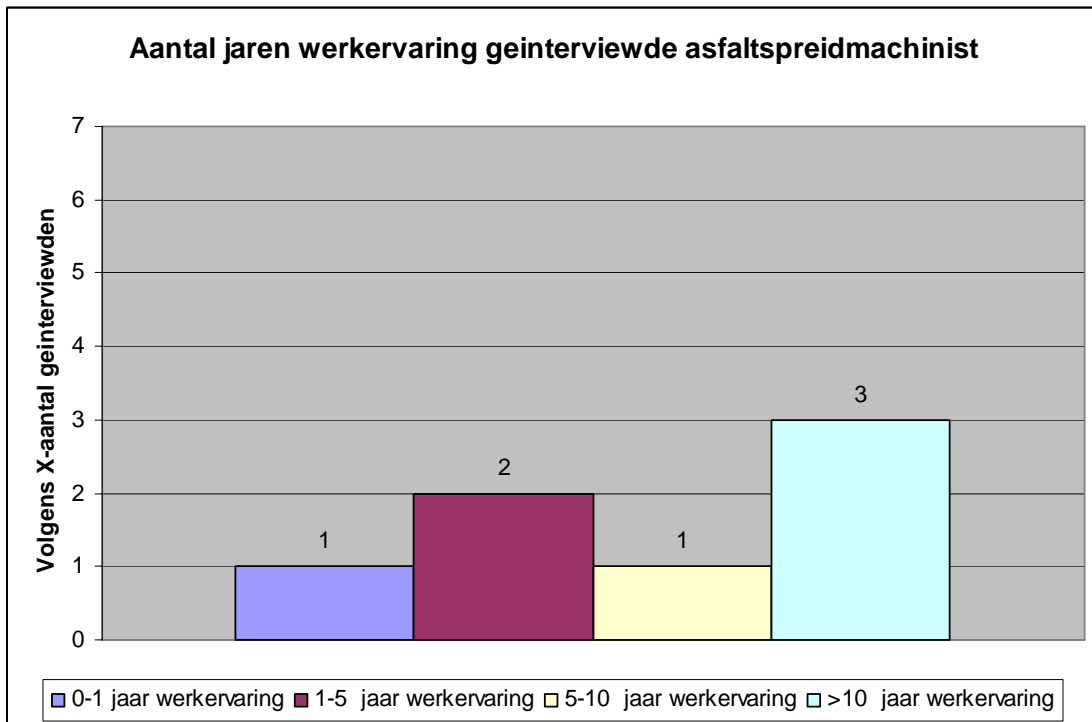
---

---

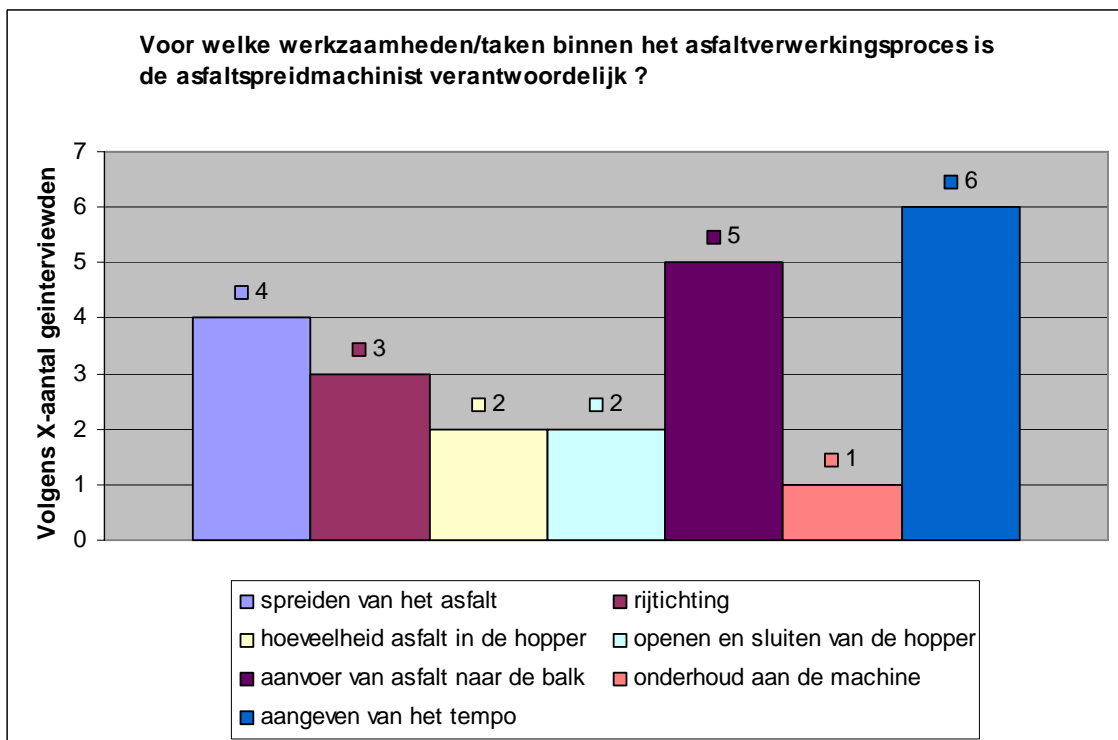
<b>Walsmachinist (14)</b>	<b>Bedrijf</b>
William Groot	Dura Vermeer Groep NV
Raymond Vorsenbelt	Dura Vermeer Groep NV
Lenorn Serge	Heijmans NV
Kevin Doomernik	Heijmans NV
Ad Klompenmaker	Zelfstandige
Arjan Zandbergen	Reef Infra BV
Gerard Klieverik	Reef Infra BV
Pascal Ankone	Twenste Weg en Waterbouw BV
Arend Weelink	Twenste Weg en Waterbouw BV
Ron de Wolde	Koninklijke BAM Groep NV
Peter Overheul	Koninklijke BAM Groep NV
Ard van Eijlen	Koninklijke BAM Groep NV
Gerrit Gerritsen	Roelofs Wegenbouw BV
Roel Veltink	Roelofs Wegenbouw BV

---

## Bijlage F Grafieken asfaltspreidmachinisten

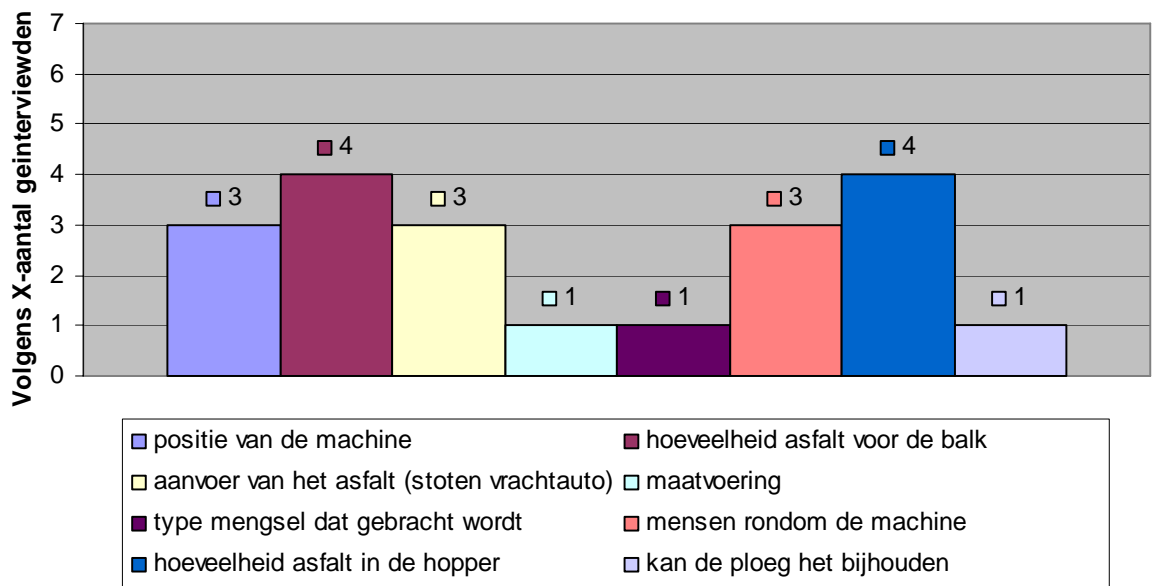


Grafiek a1: Aantal jaren ervaring geïnterviewde balmannen



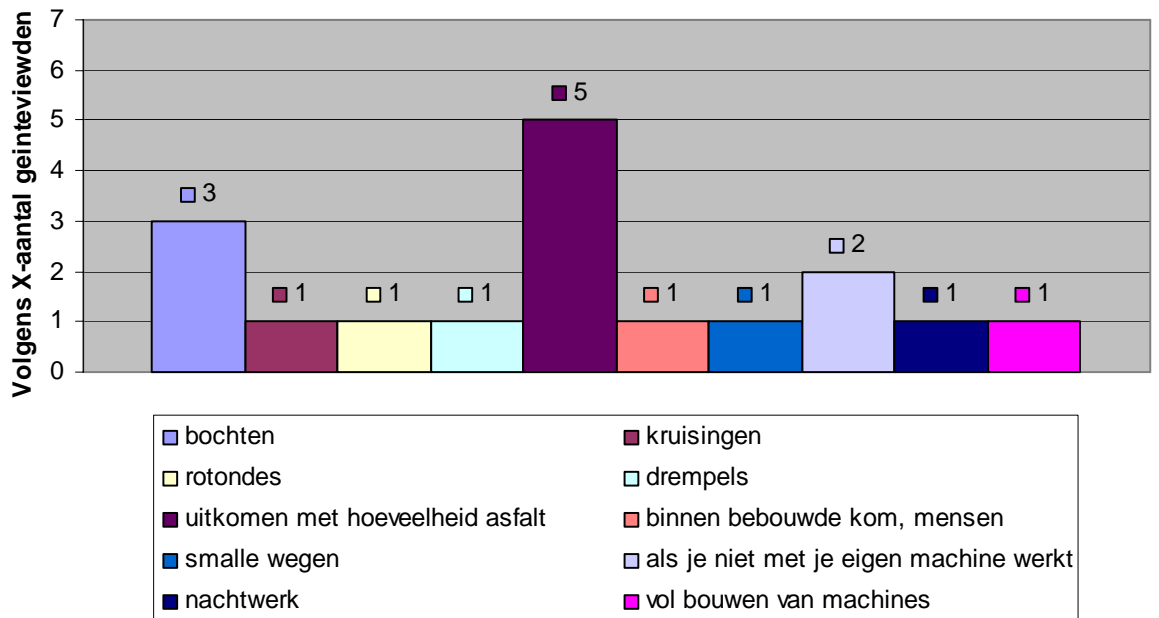
Grafiek a2: Voor welke werkzaamheden in het asfaltverwerkingsproces voelt een balk zich verantwoordelijk?

### Op welke factoren let een asfaltspreidmachinist bij de uitvoering van zijn taak om te zorgen voor een goed eindresultaat ?

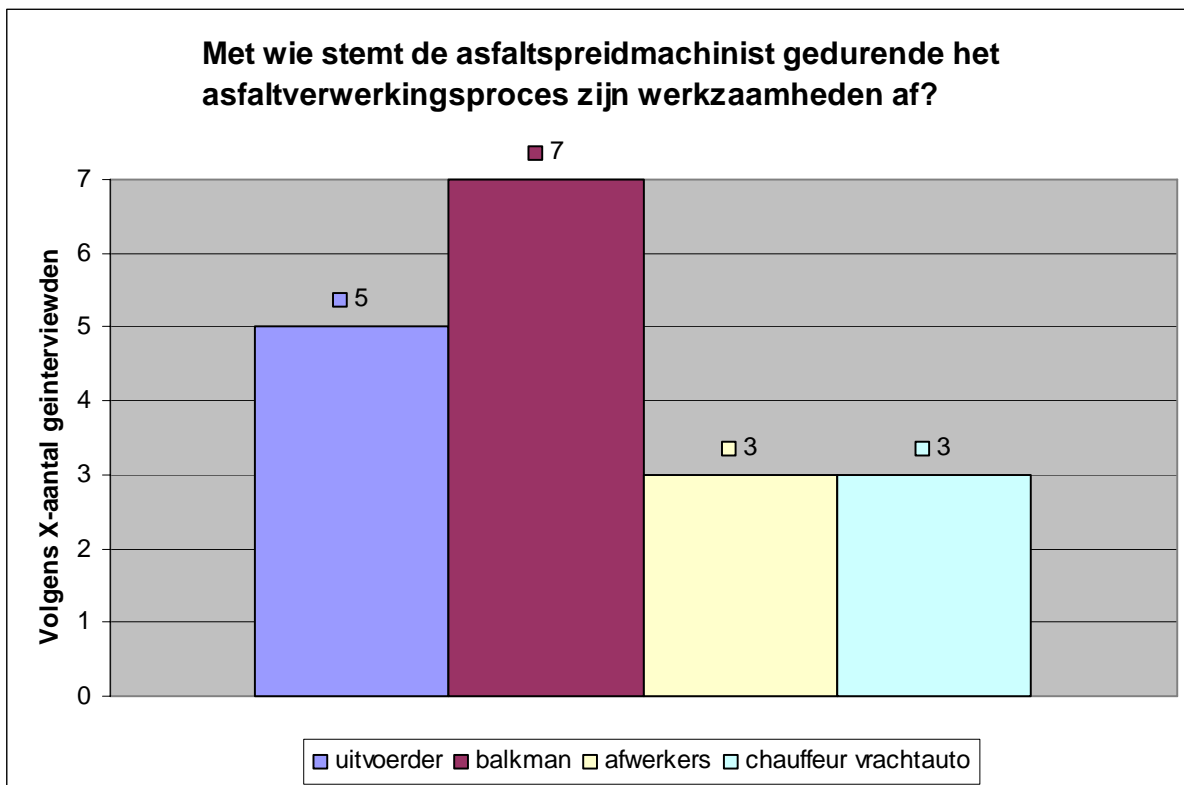


Grafiek a3: Op welke factoren let een asfaltspreidmachinist gedurende het asfaltverwerkingsproces om te zorgen voor een goed eindresultaat?

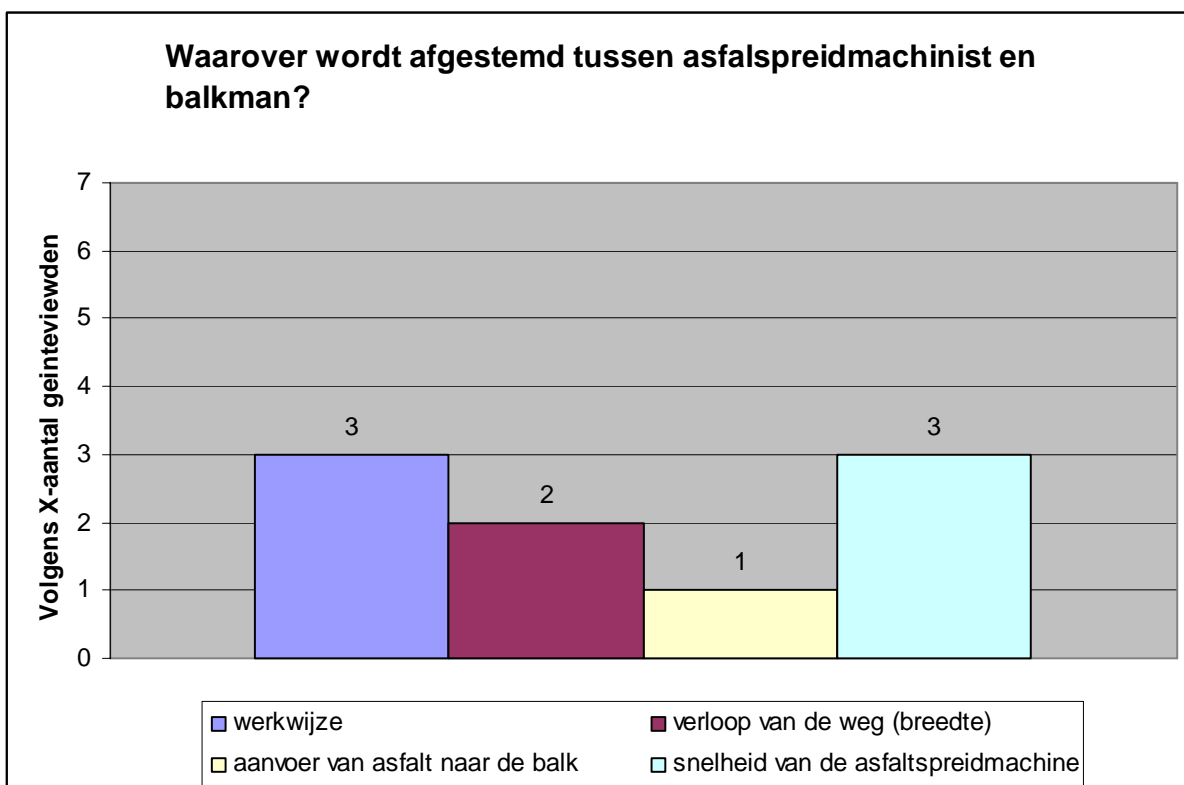
### Wat vindt u als asfaltspreidmachinist het moeilijkste van uw taak?



Grafiek a4: Wat vindt de asfaltspreidmachinist moeilijk aan zijn taak?

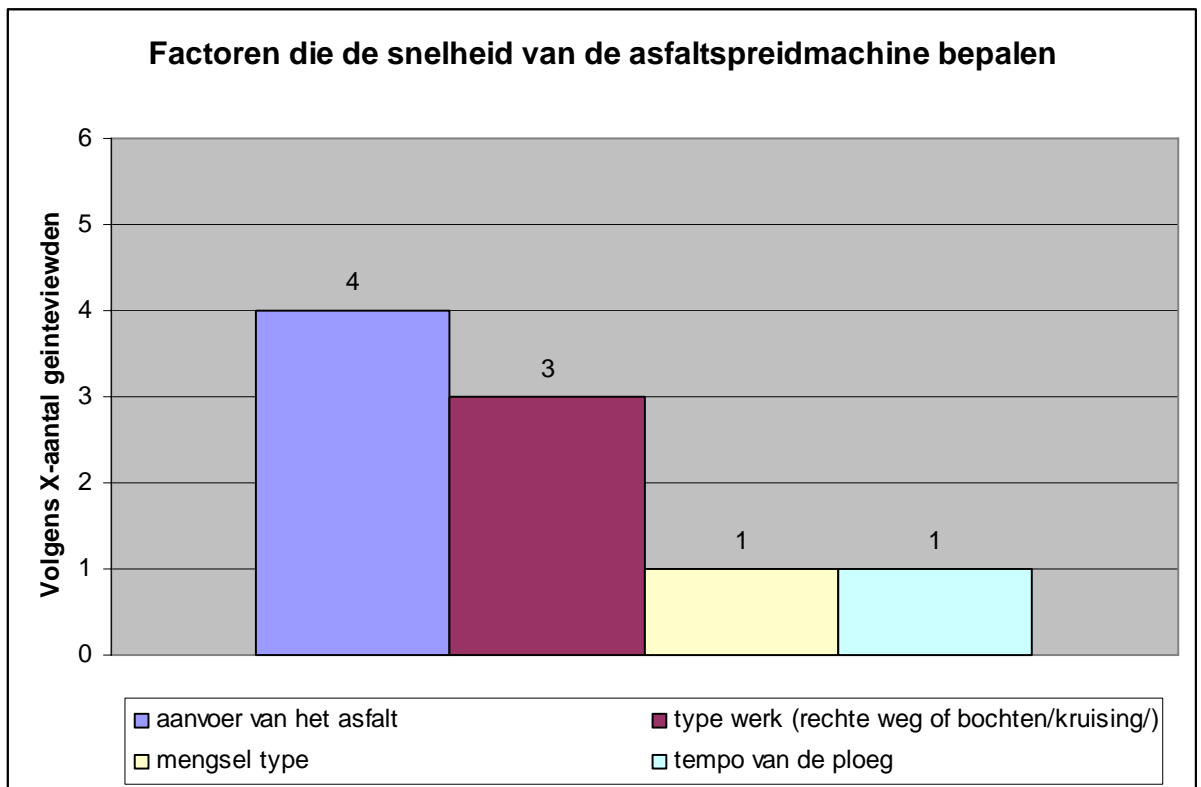


Grafiek a5: Met wie stemt de asfaltspreidmachinist zijn werkzaamheden af gedurende het asfaltverwerkingsproces?

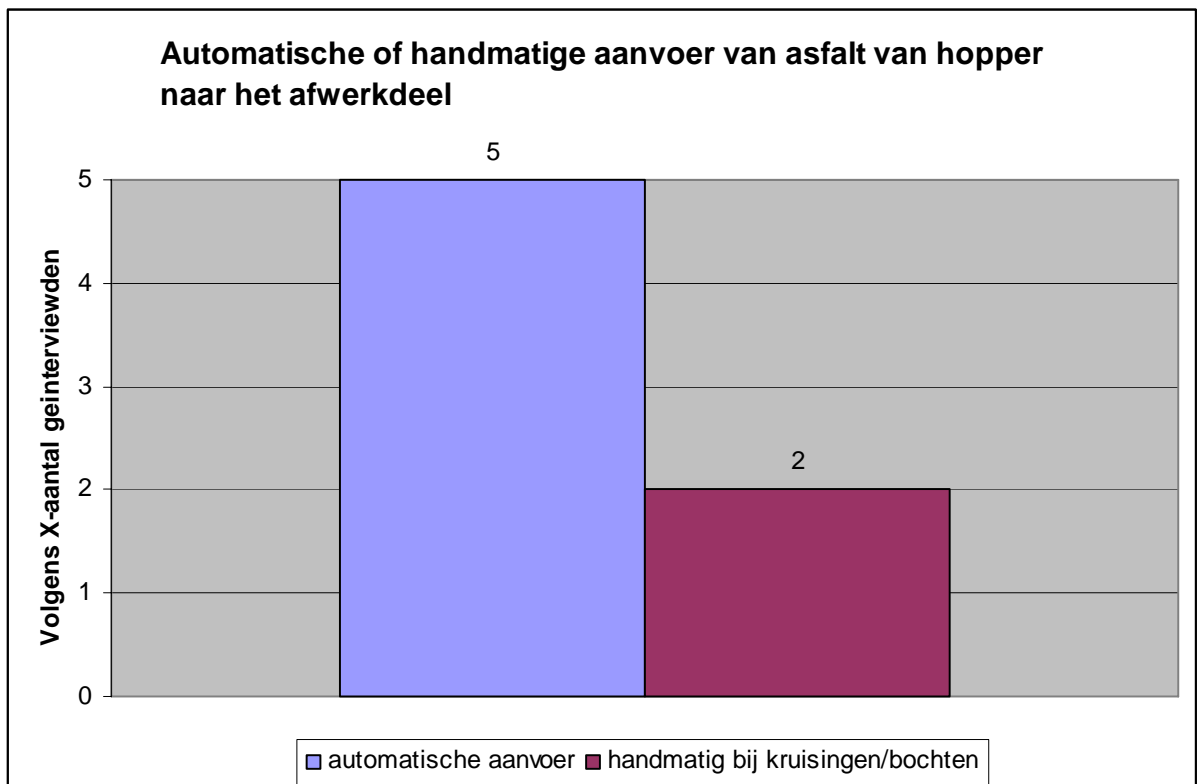


Grafiek a6: Waarover gaat de afstemming tussen asfaltspreidmachinist en uitvoerder?

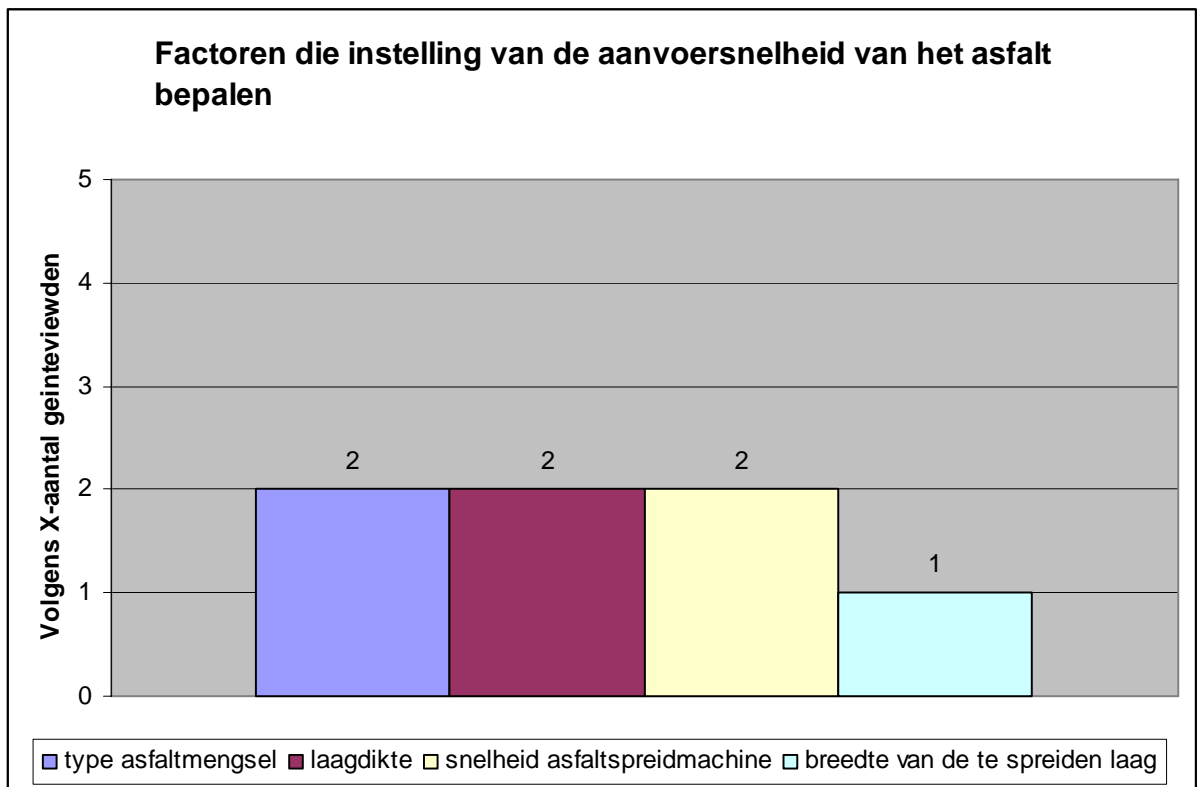




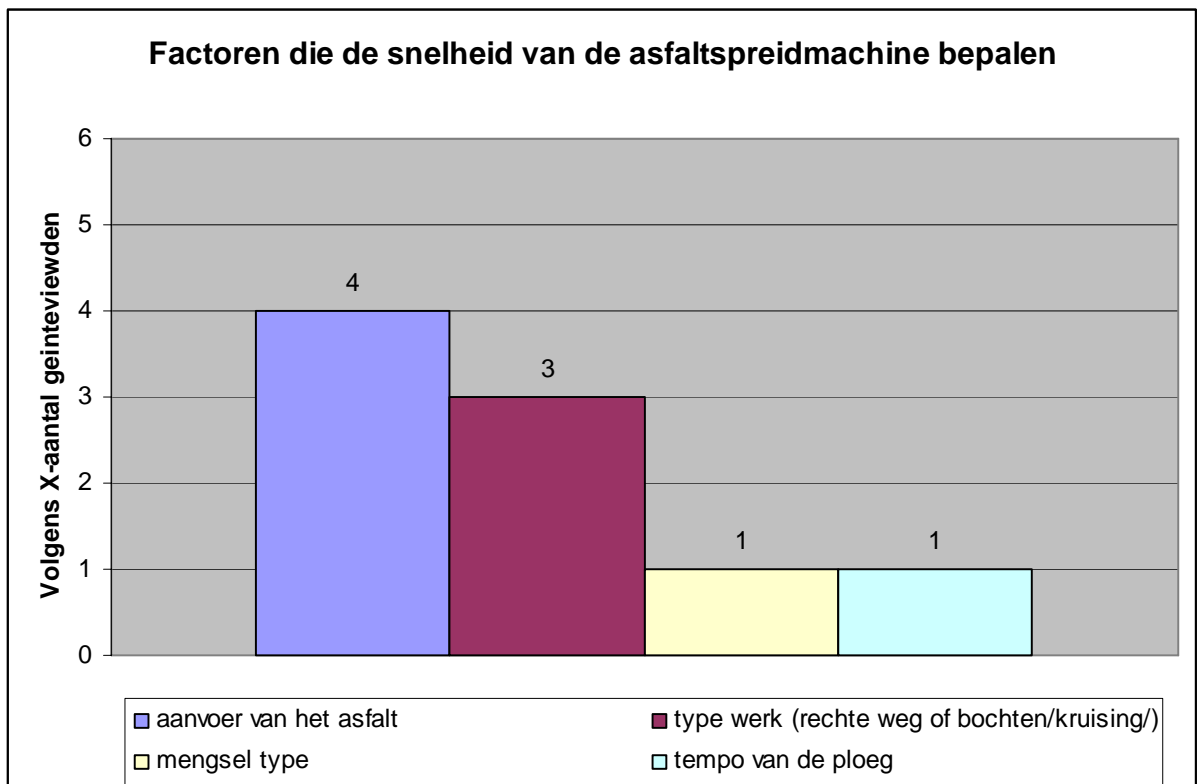
Grafiek a7: Factoren die de snelheid van de asfaltspreidmachine bepalen



Grafiek a8: automatische of handmatige toevoer van asfalt van hopper naar balk

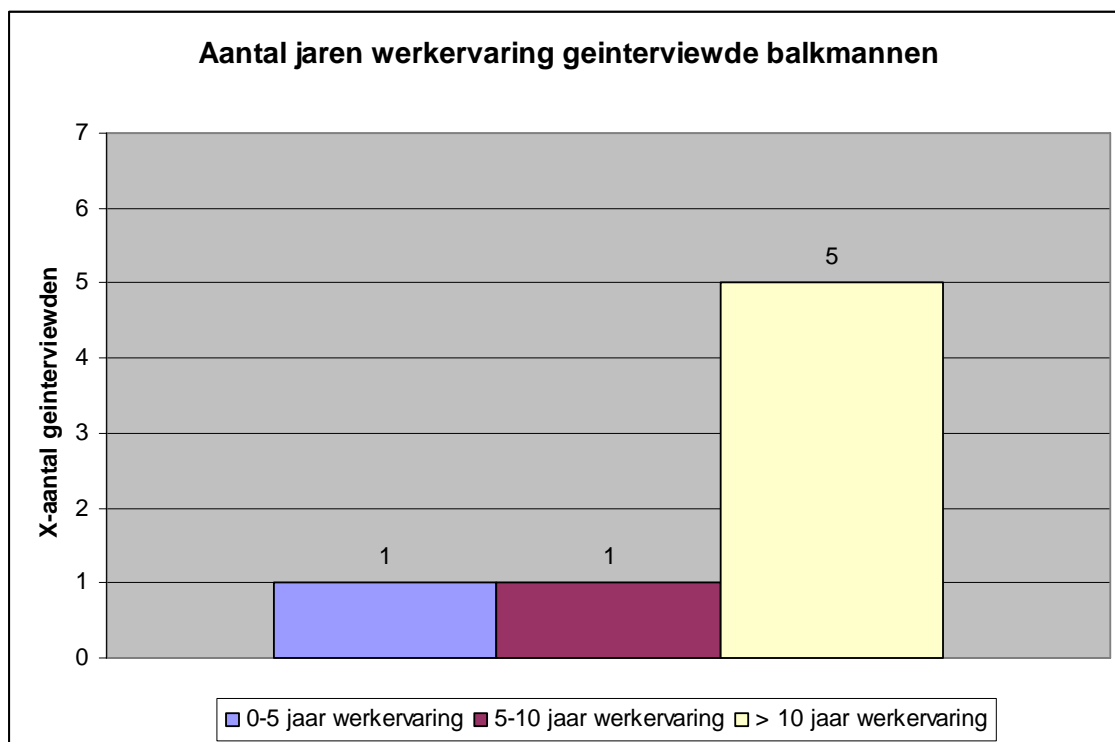


Grafiek a9: Factoren die aanvoersnelheid van asfalt bepalen

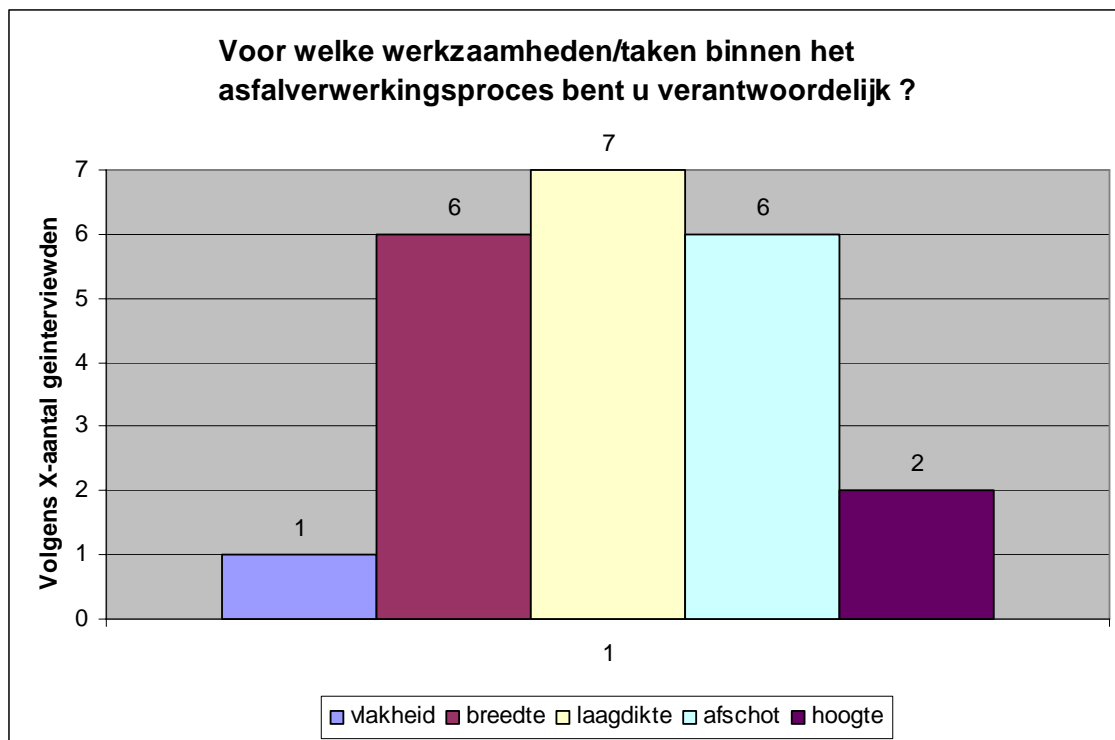


Grafiek a10: Factoren die de snelheid van de asfaltspreidmachine bepalen

## Bijlage G Grafieken balkmannen

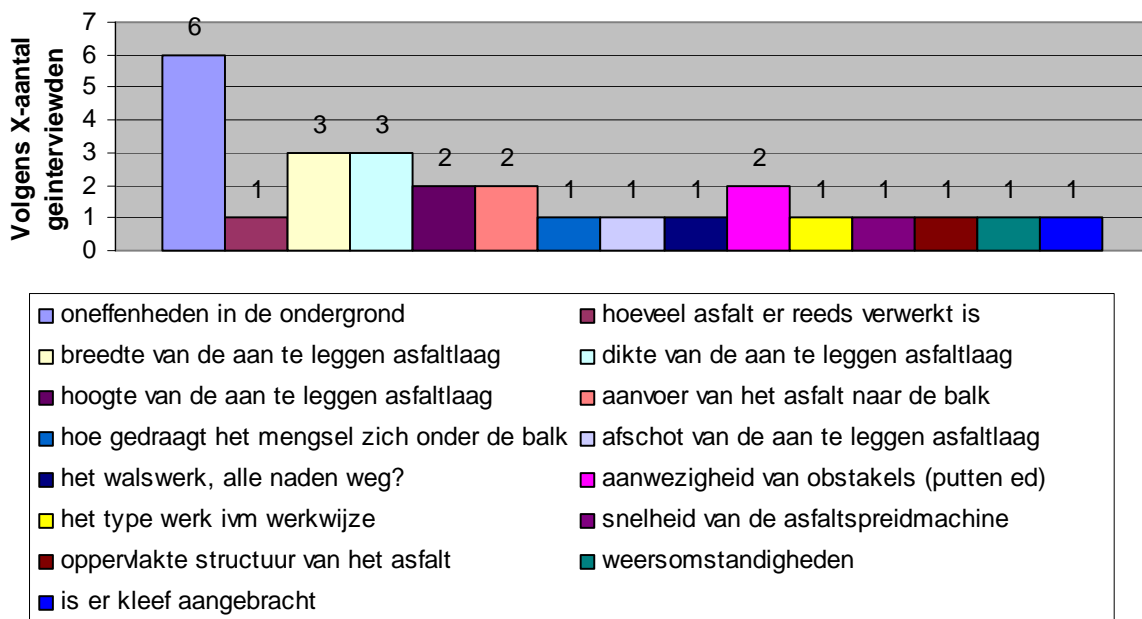


Grafiek b1: Aantal jaren ervaring geïnterviewde balkmannen



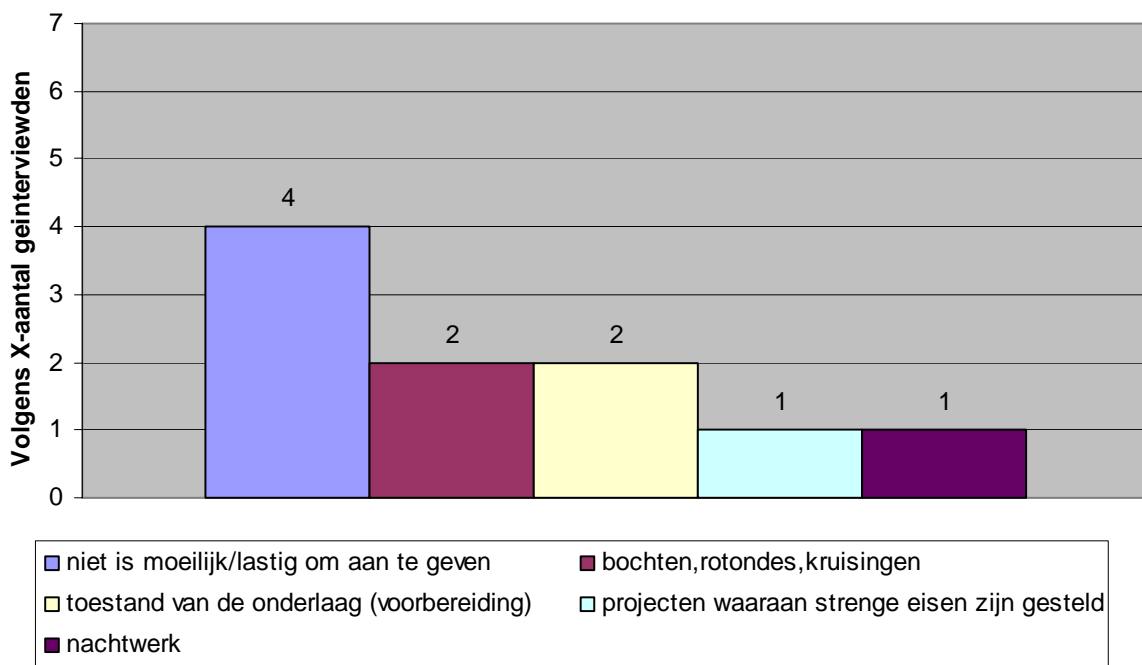
Grafiek b2: Voor welke werkzaamheden in het asfaltverwerkingsproces voelt een balk zich verantwoordelijk?

### Op welke factoren let u als balkman tijdens de uitvoering van uw taak om een goed eindresultaat te krijgen?

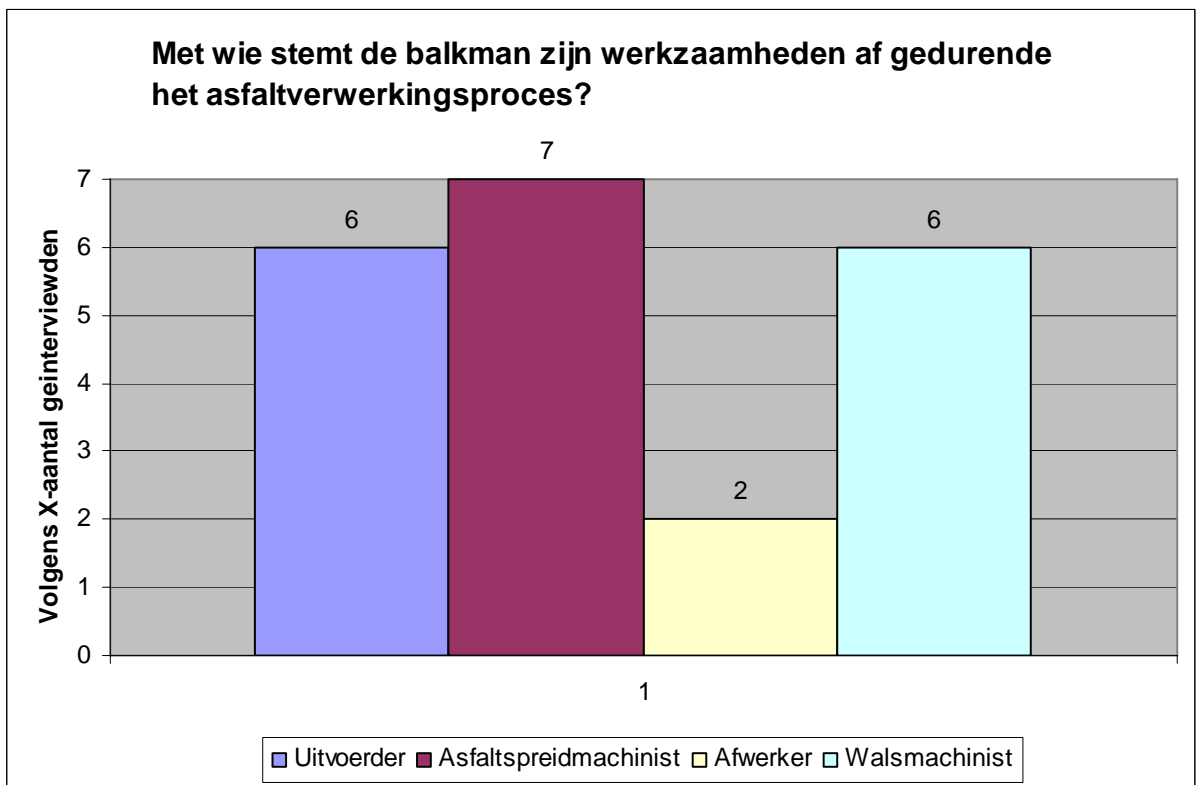


Grafiek b3: Op welke factoren let een balkman gedurende het asfaltverwerkingsproces om te zorgen voor een goed eindresultaat?

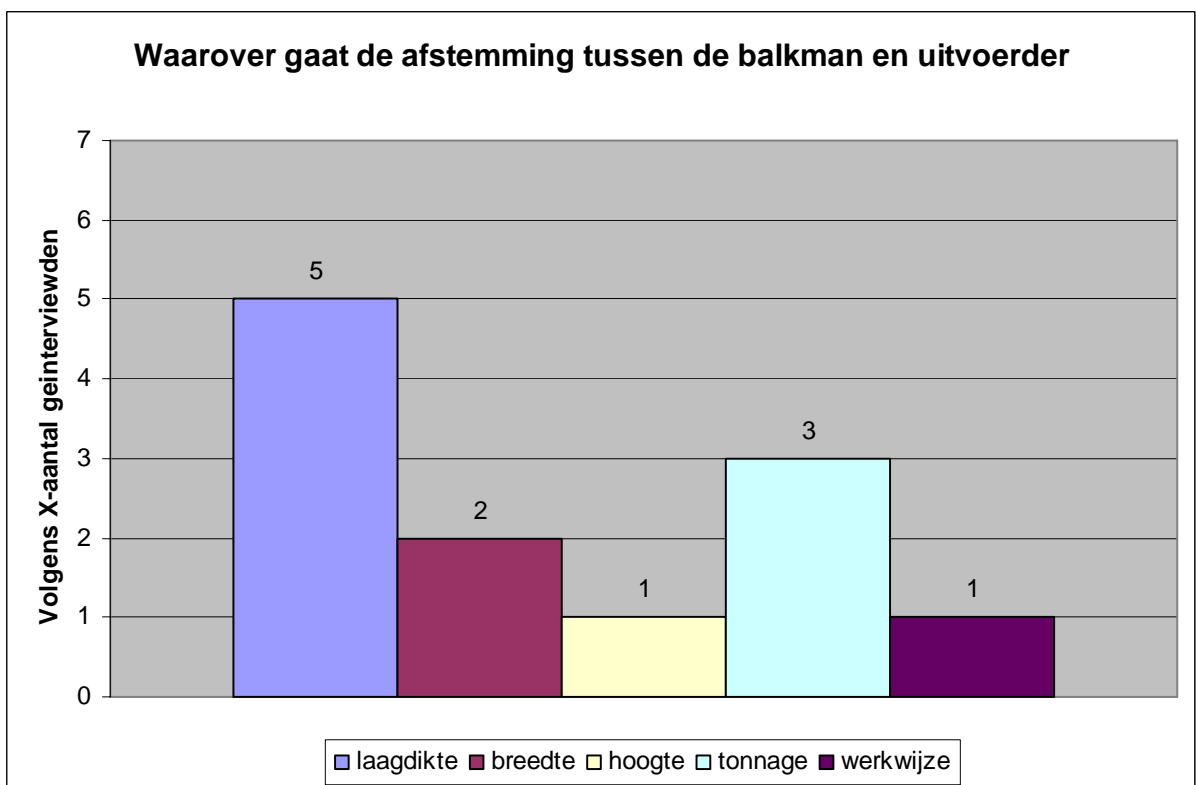
### Wat vindt de balkman het moeilijkste aan zijn werk ?



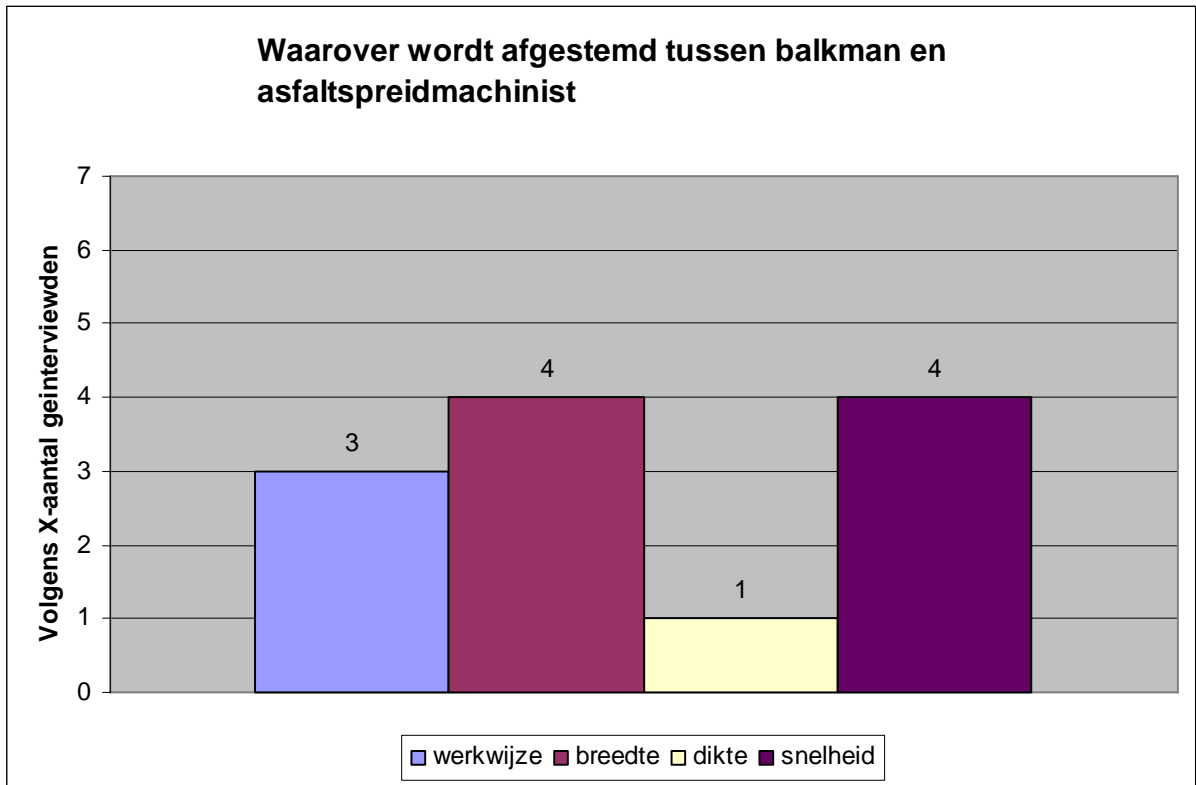
Grafiek b4: Wat vindt de balkman moeilijk aan zijn taak?



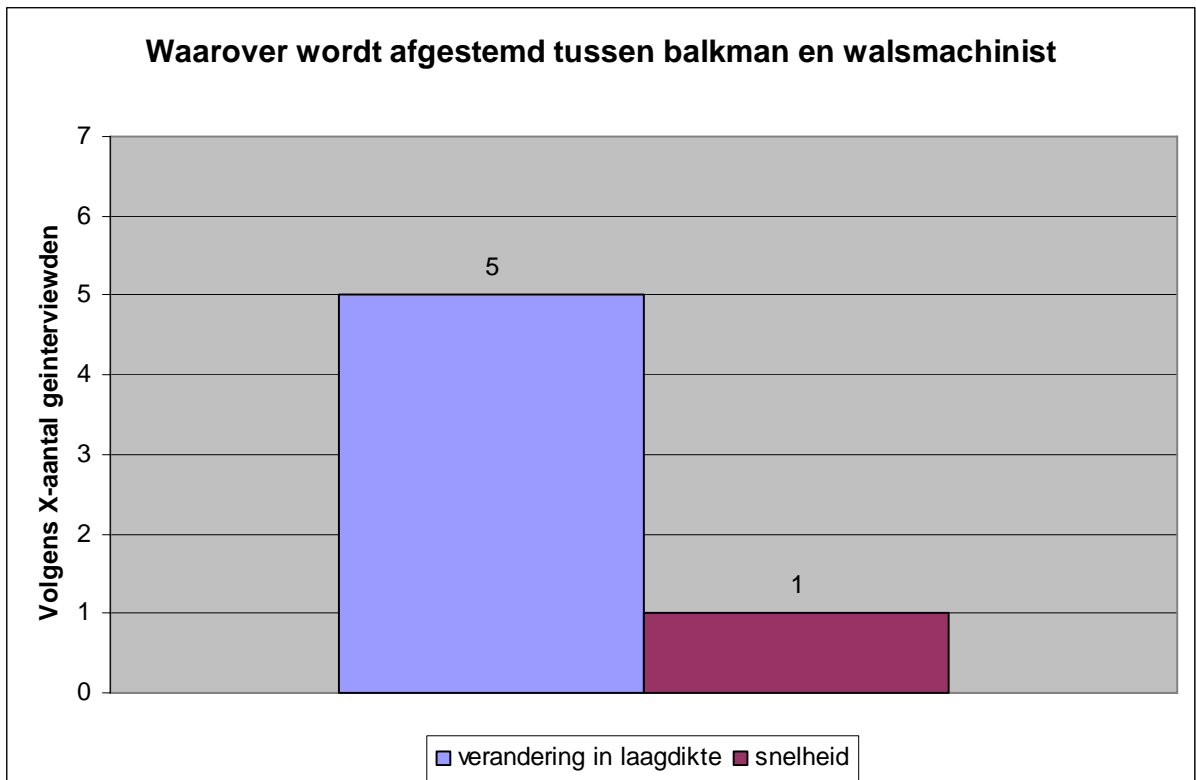
Grafiek b5: Met wie stemt de balkman zijn werkzaamheden af gedurende het asfaltverwerkingsproces?



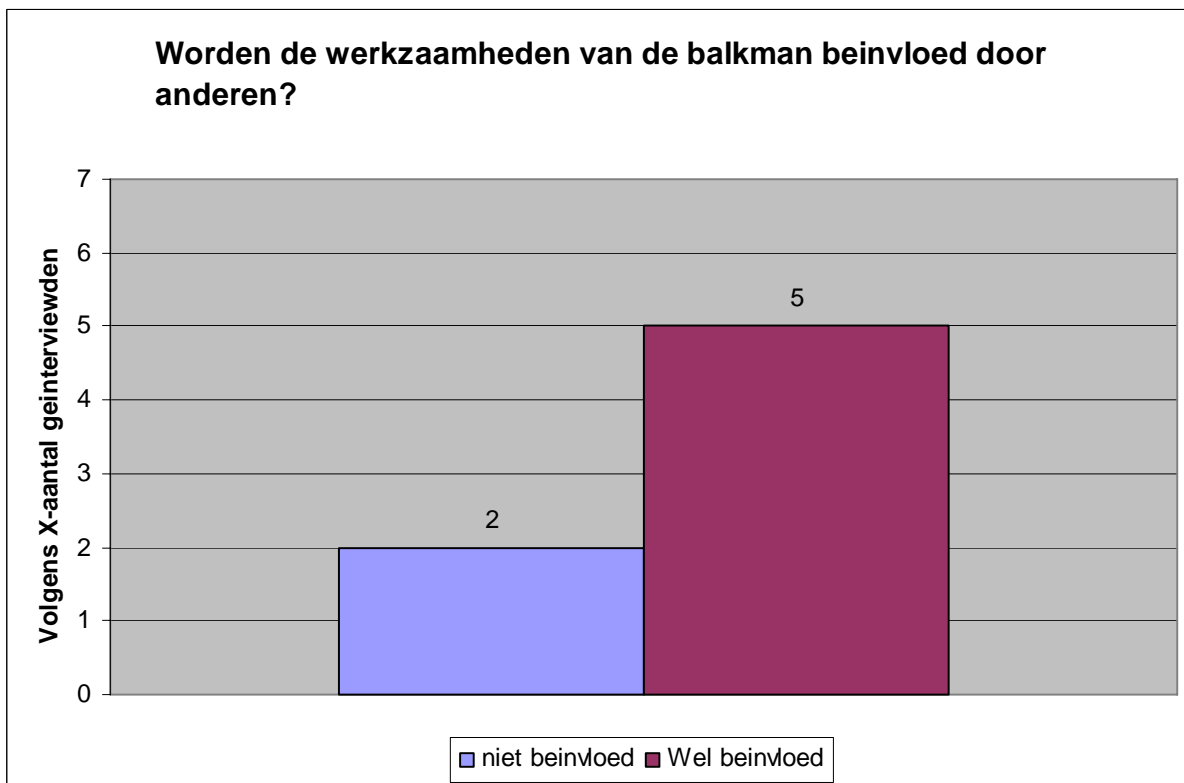
Grafiek b6: Waarover gaat de afstemming tussen balkman en uitvoerder?



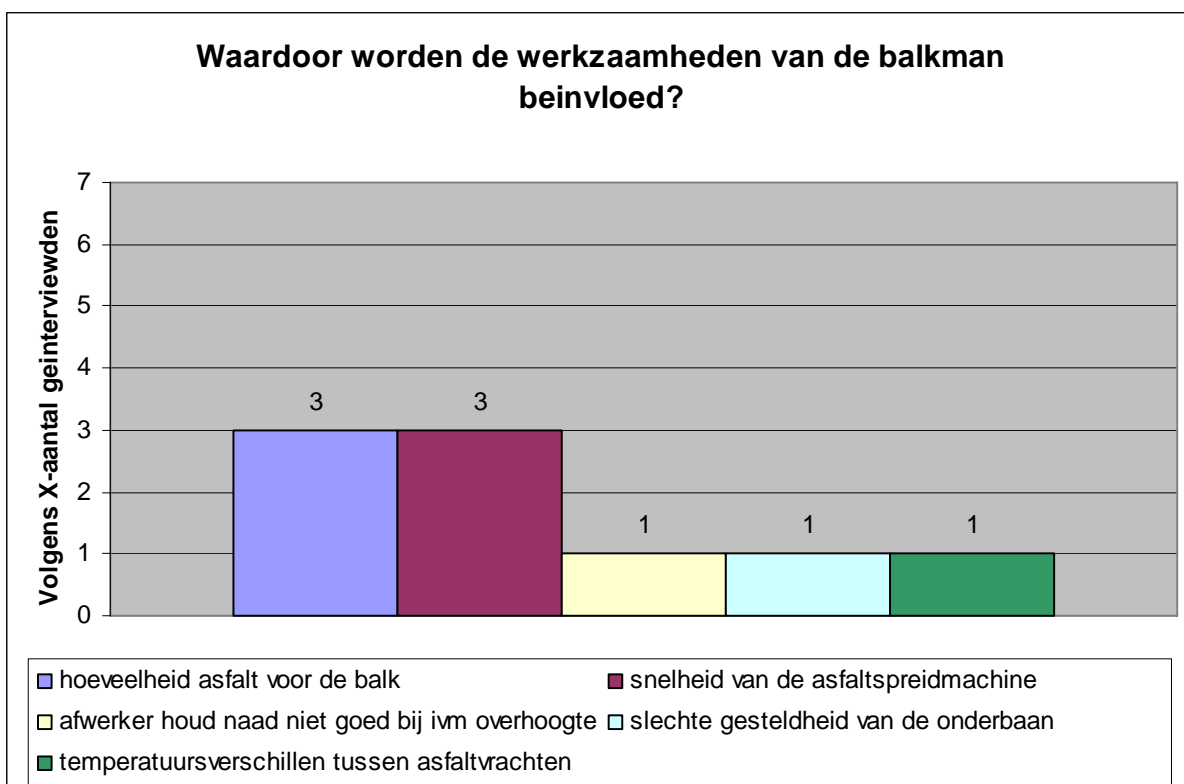
Grafiek b7: Waarover gaat de afstemming tussen balkman en asfaltspreidmachinist?



Grafiek b8: Waarover gaat de afstemming tussen balkman en walsmachinist?

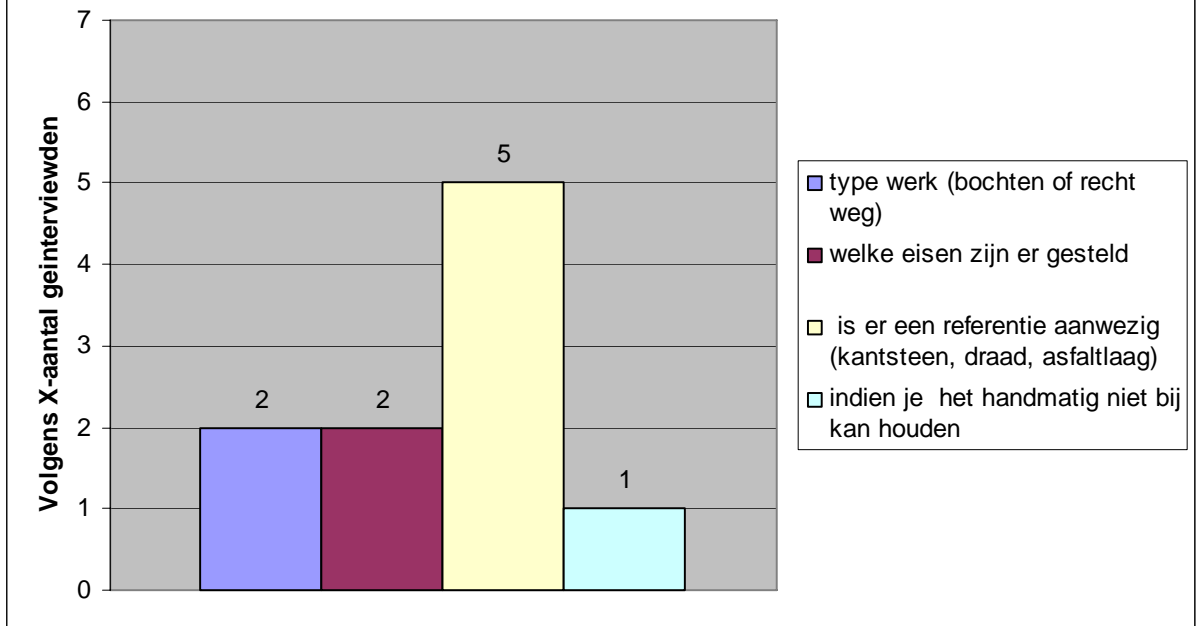


Grafiek b9: Worden de werkzaamheden van de balkman beïnvloed door anderen?



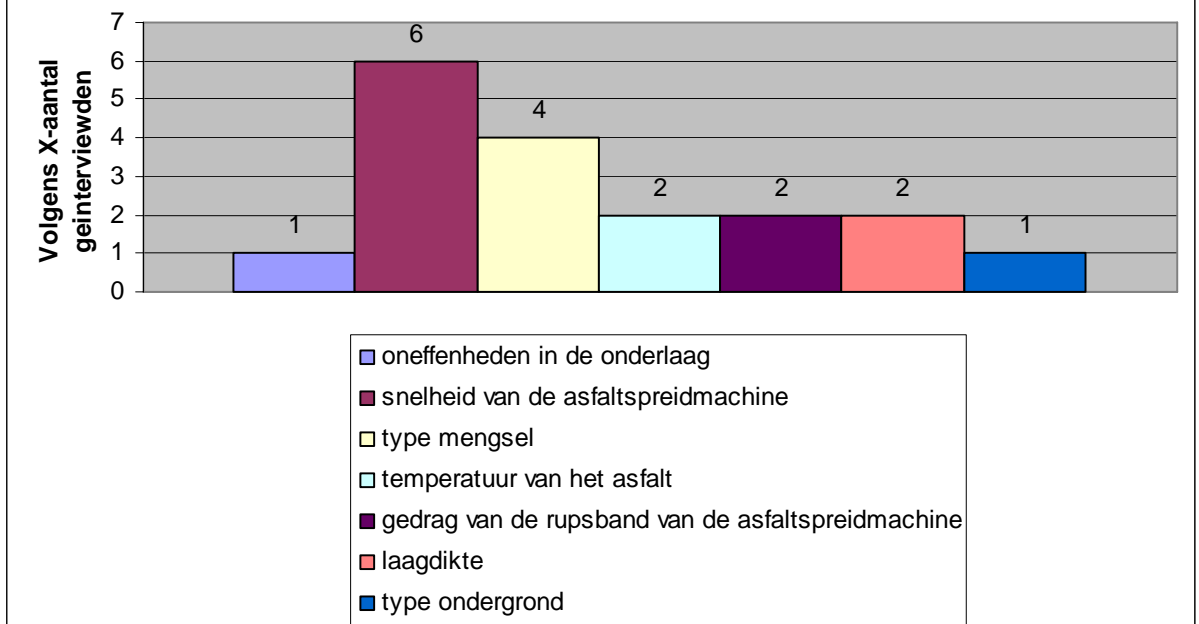
Grafiek b10: Waardoor worden de werkzaamheden beïnvloed?

### Wanneer wordt er wel/niet gebruik gemaakt van automatische hoogteregeling



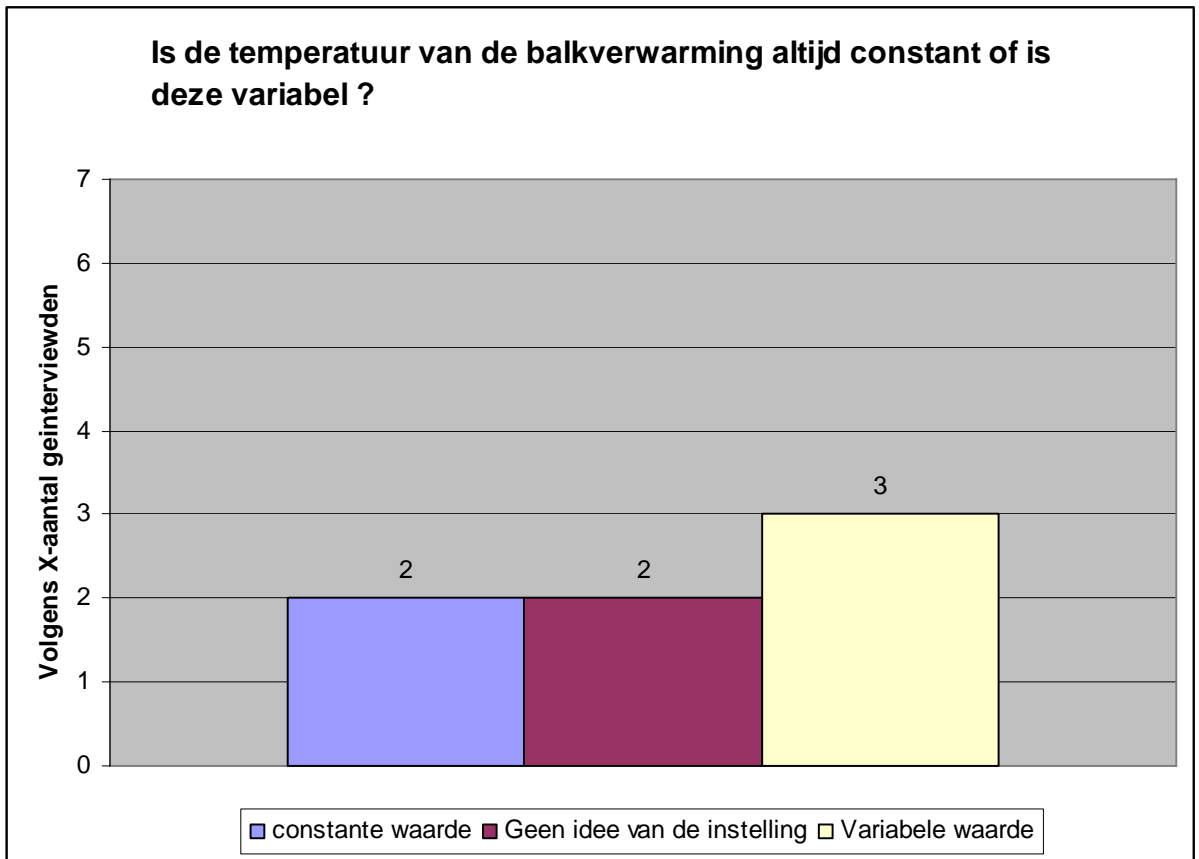
Grafiek b11: Wat bepaald het gebruik van automatische hoogteregeling?

### Welke factoren zijn voor de balkman van belang om de hoogte van het afwerkdeel in te stellen?

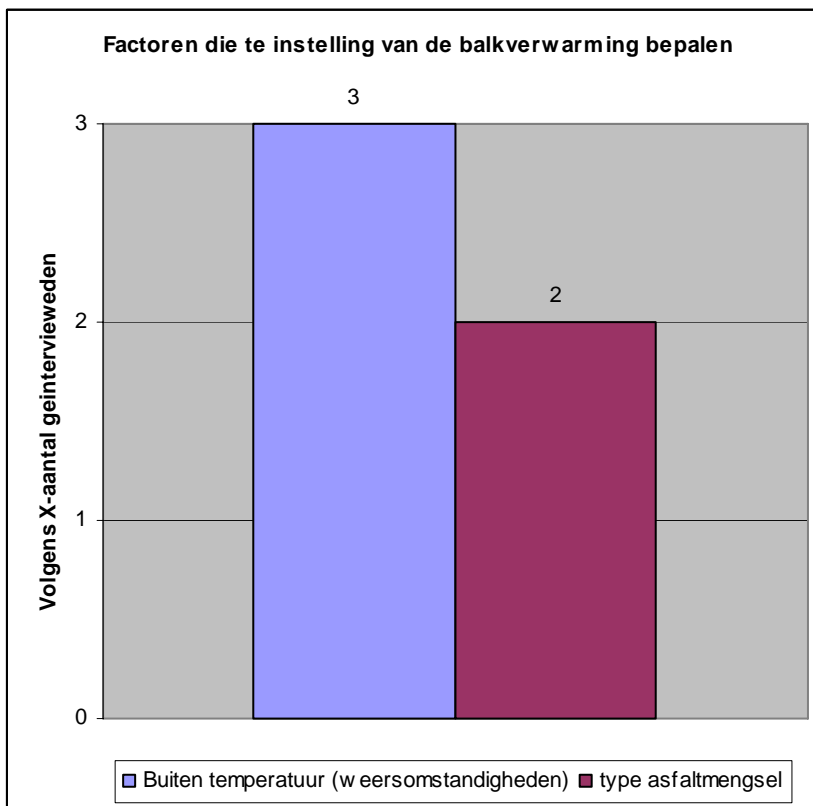


Grafiek b12: Welke factoren hebben invloed op de hoogte instelling van het afwerkdeel?

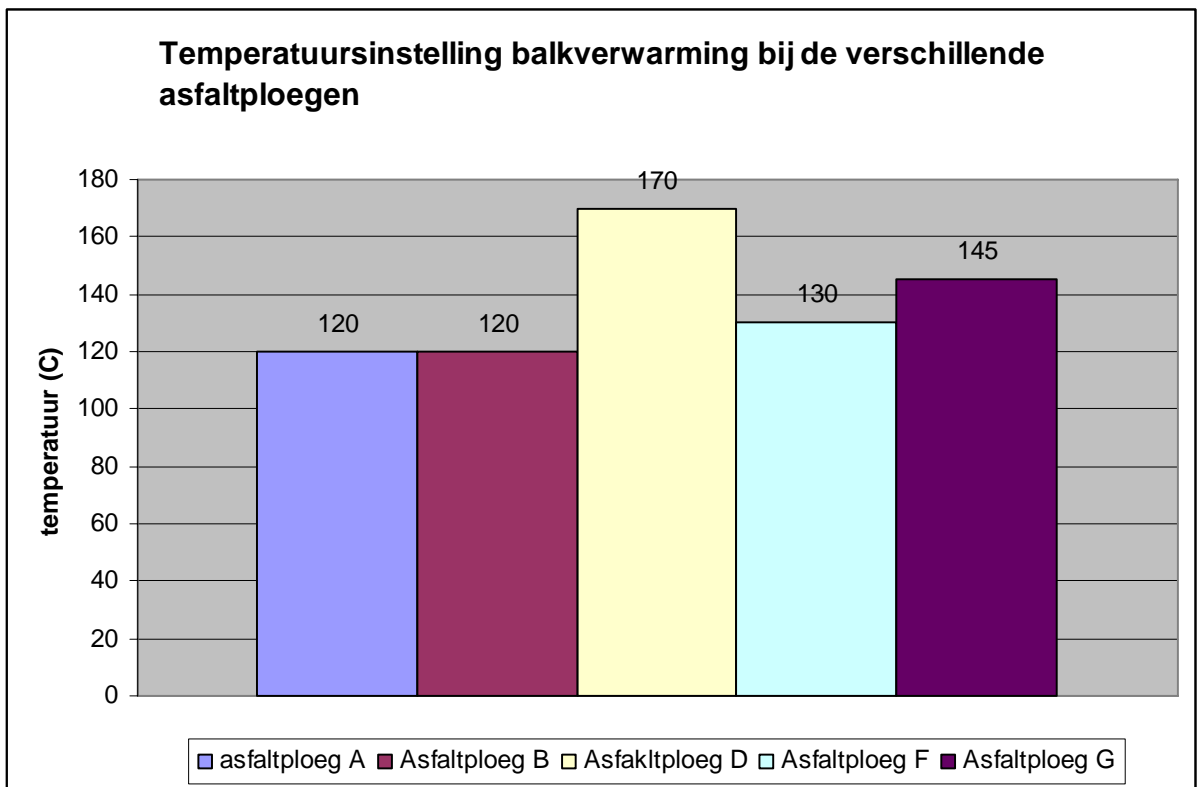




Grafiek b13: Zijn de instelling van de balkverwarming constant of variabel?

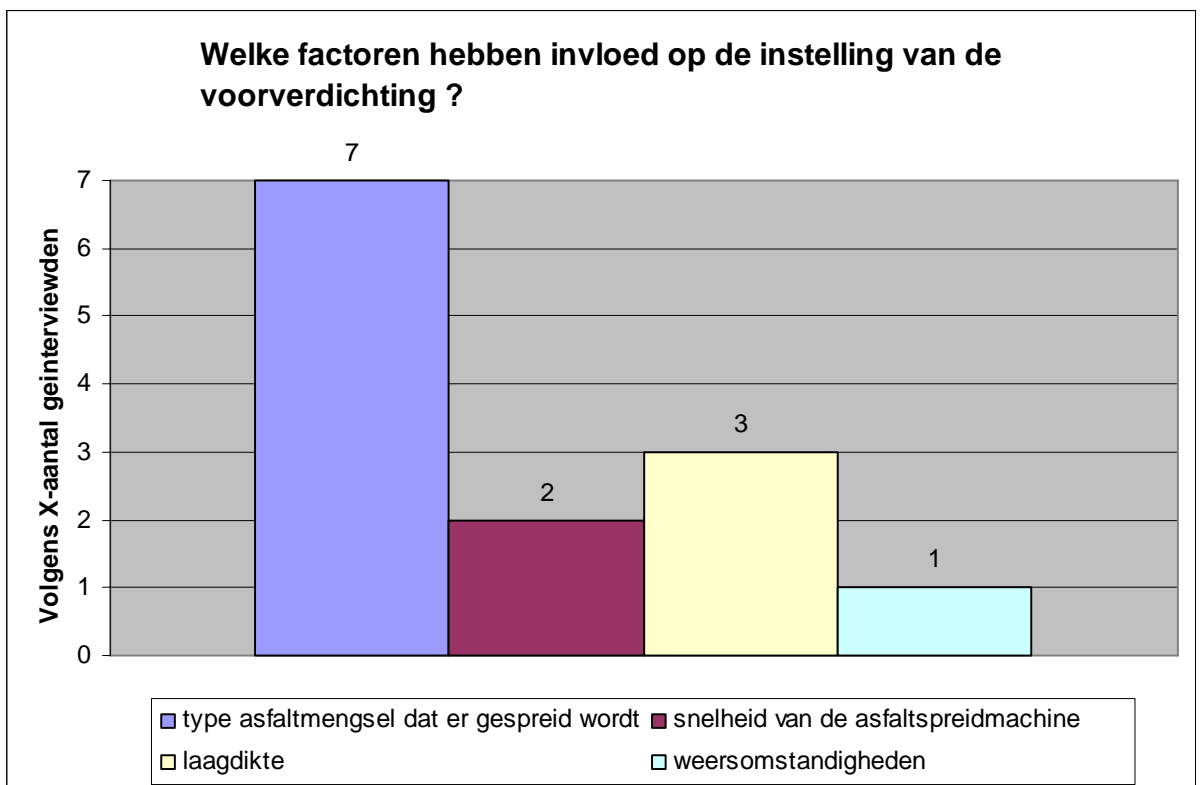


Grafiek b14: Welke factoren bepalen variabele instelling balkverwarming?



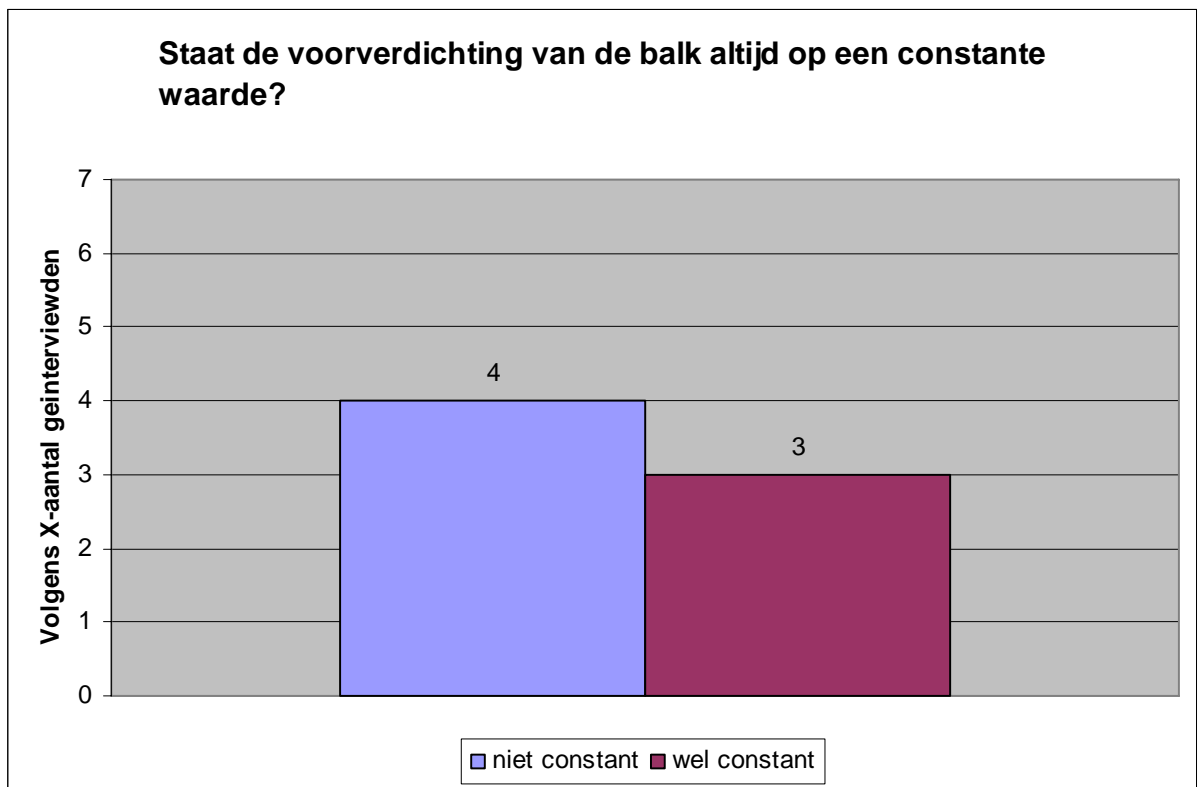
Grafiek b15:

Welke temperatuur heeft de balkverwarming bij de verschillende asfaltploegen doorgaans?

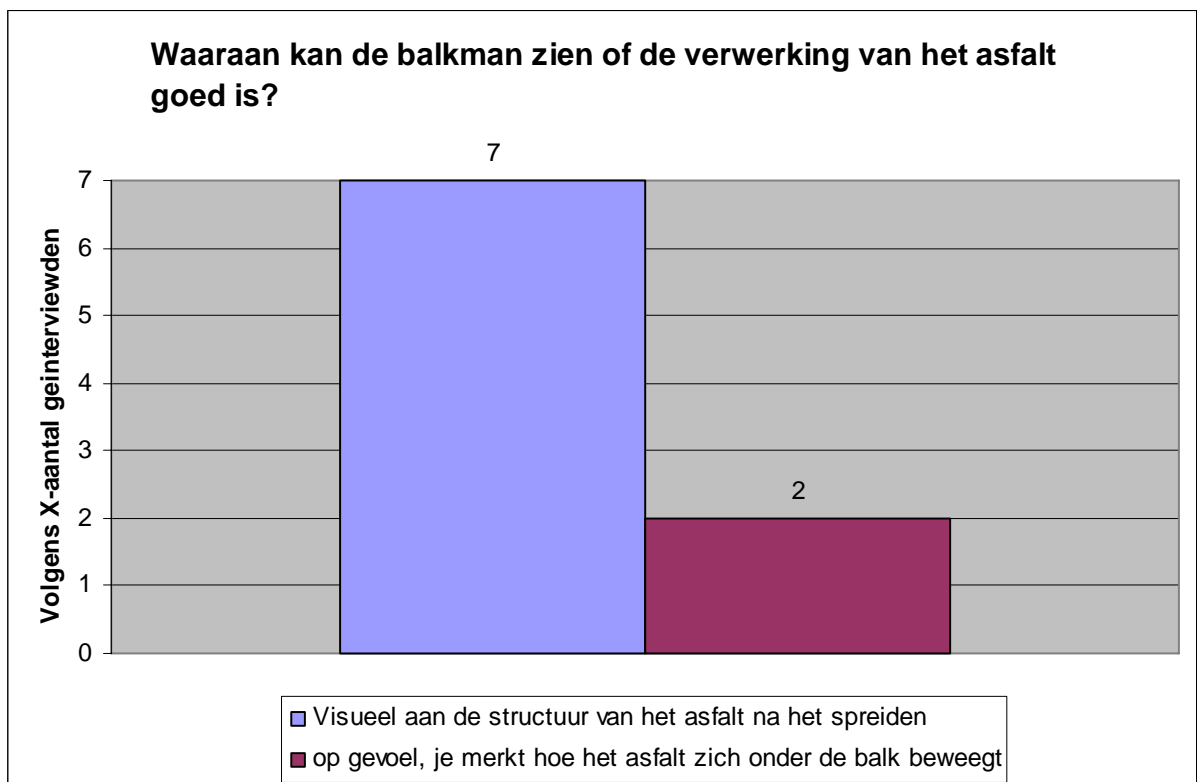


Grafiek b16:

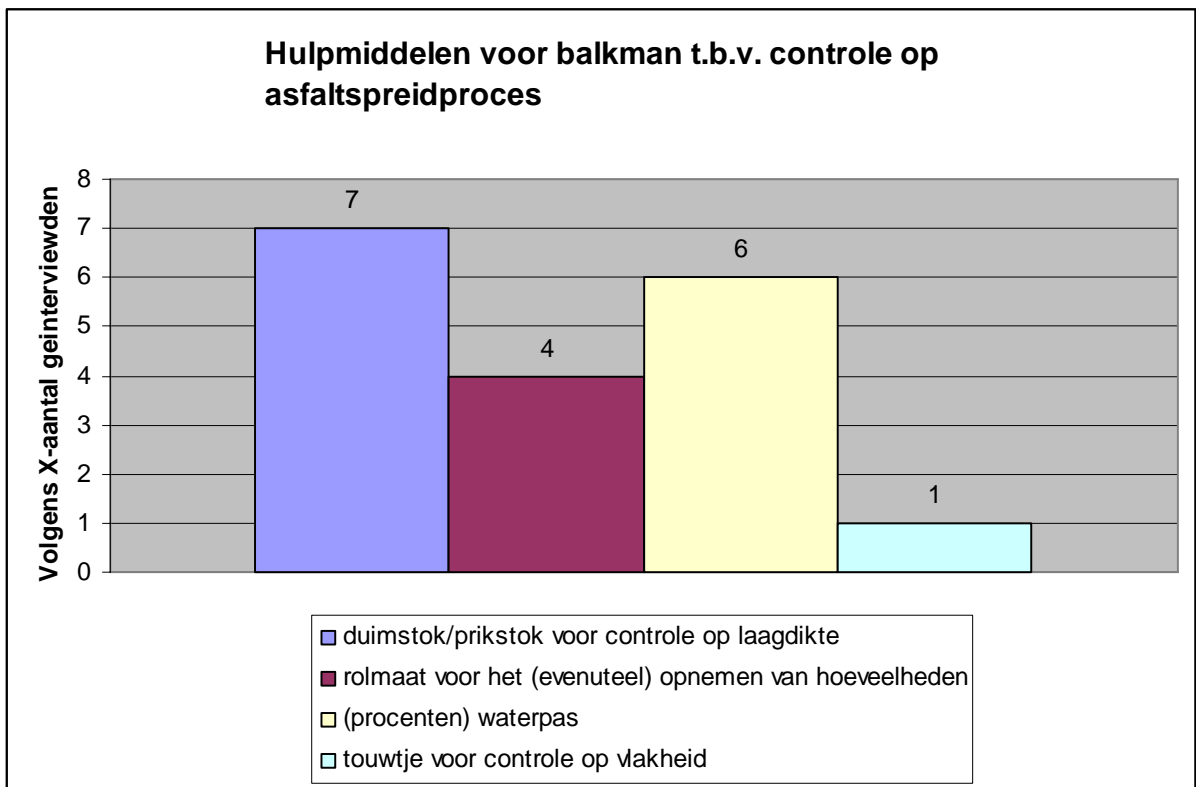
Welke factoren bepalen de variabele instelling van de voorverdichting



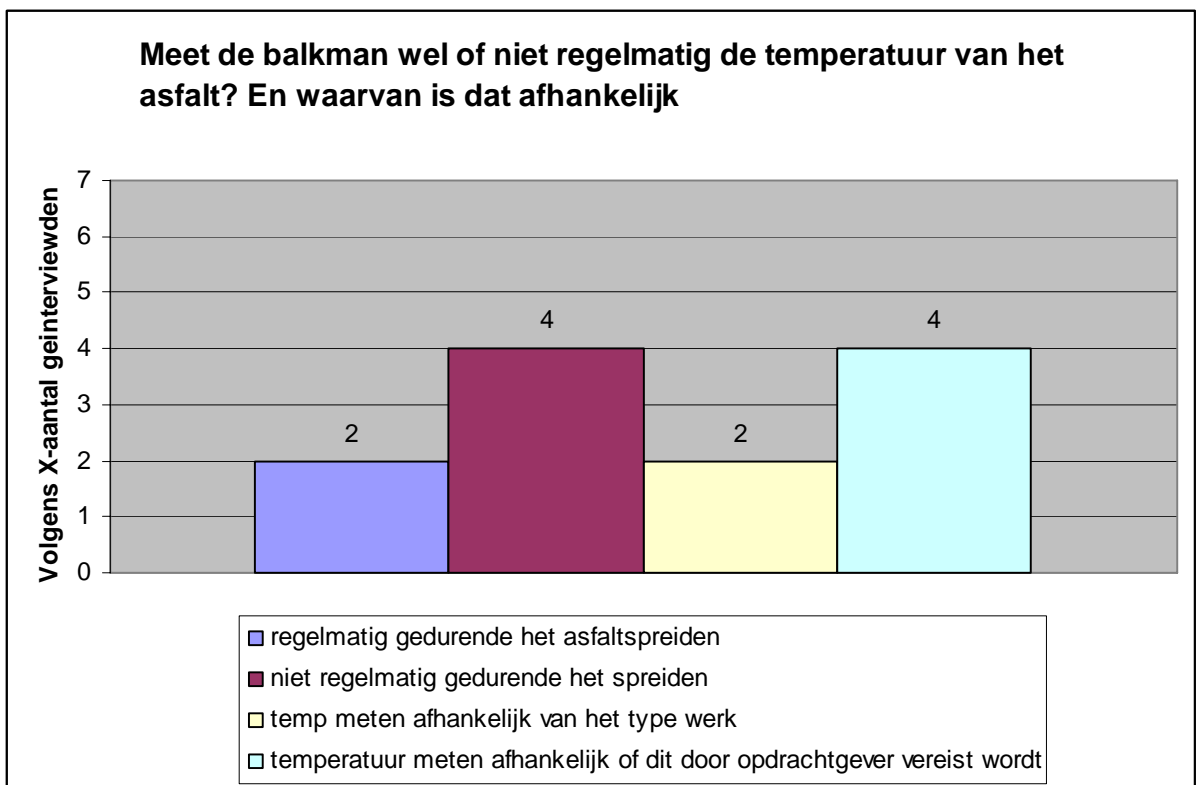
Grafiek b17: Zijn de instelling van de voorverdichting variabel of constant?



Grafiek b18: Waarom ziet een balkman of de verwerking van het asfalt goed is?

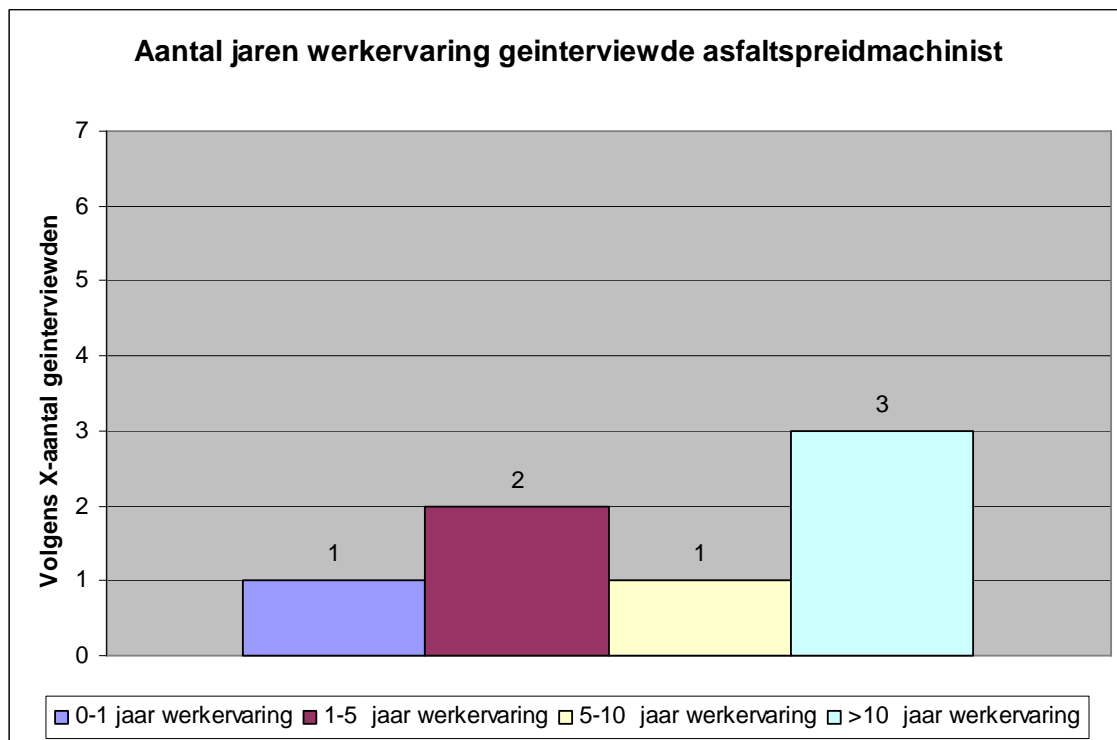


Grafiek b19: Welke hulpmiddelen gebruikt een balkman zijn werkzaamheden te controleren?

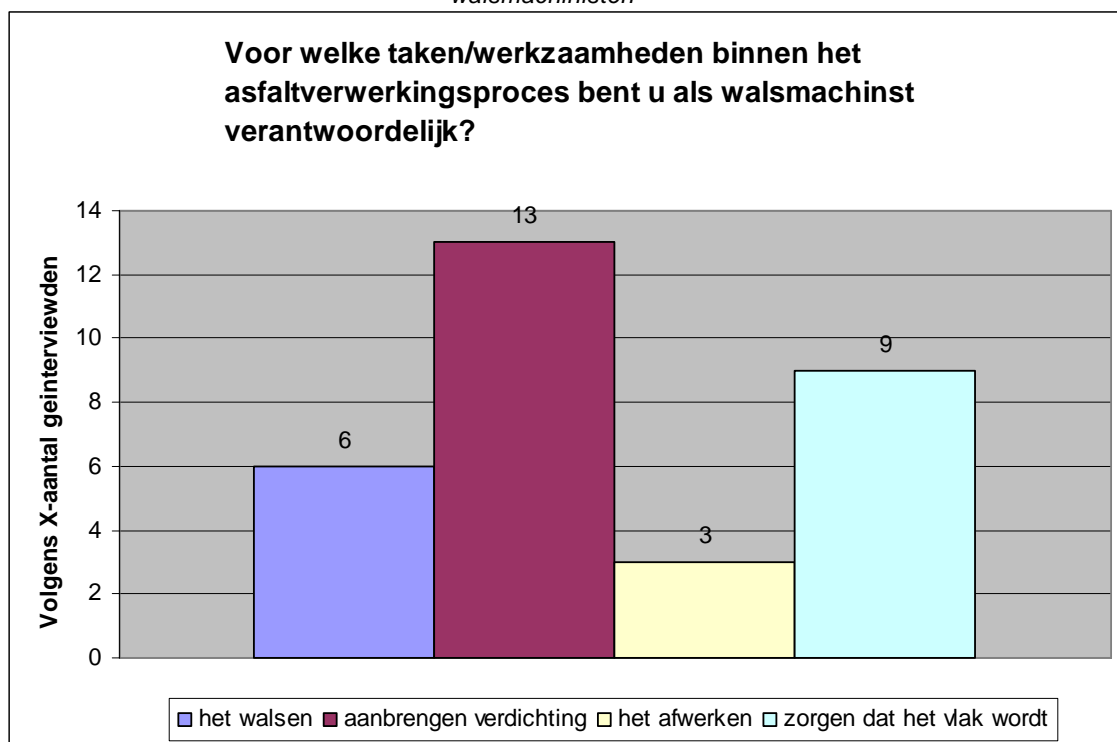


Grafiek b20: Hoe vaak wordt de temperatuur van het asfalt voor de balk gemeten gedurende het spreiden?

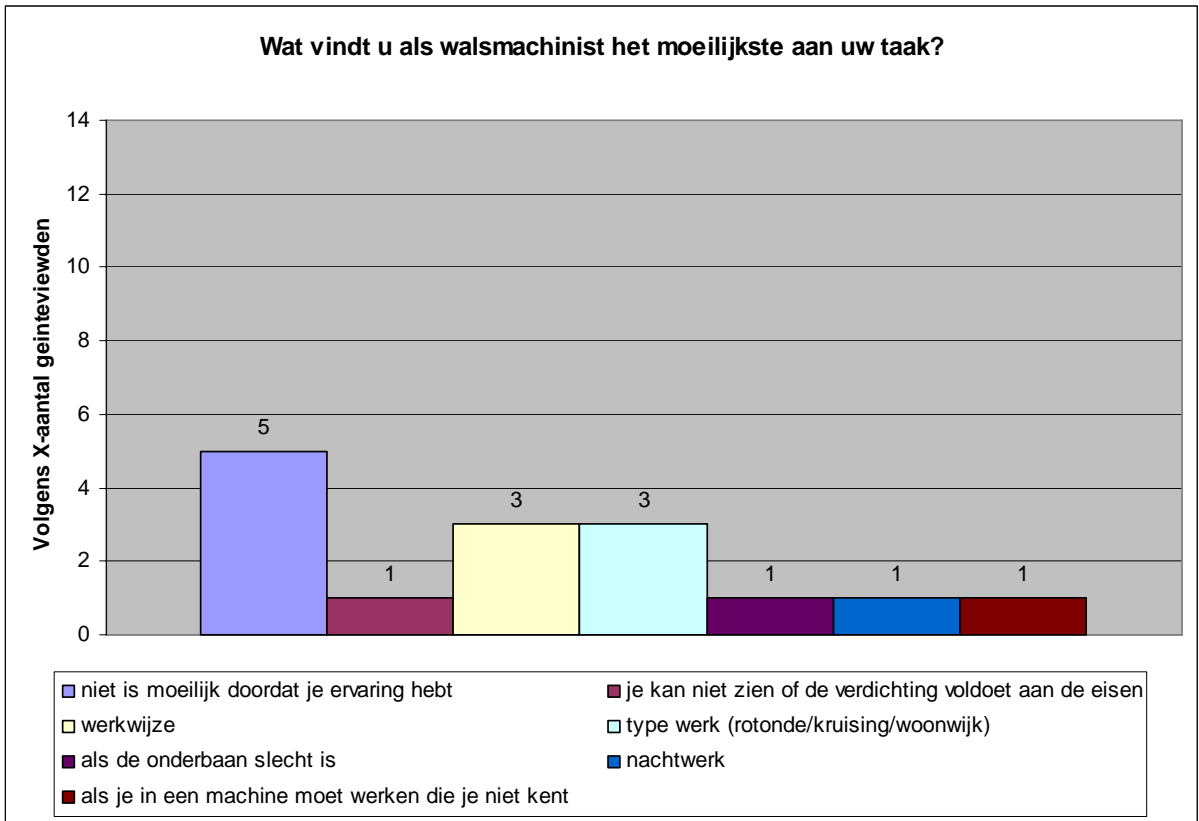
## Bijlage H Grafieken walsmachinisten



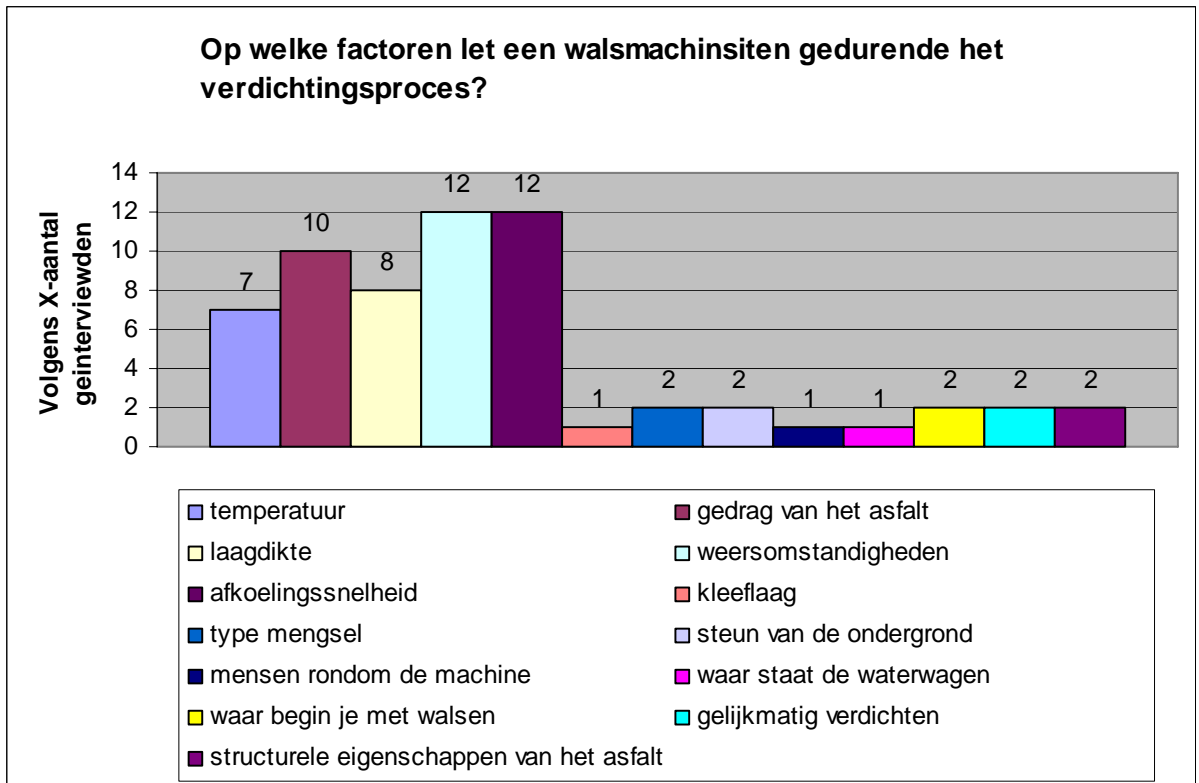
Grafiek w1: Categorisering aantal jaren werkervaring geïnterviewde walsmachinisten



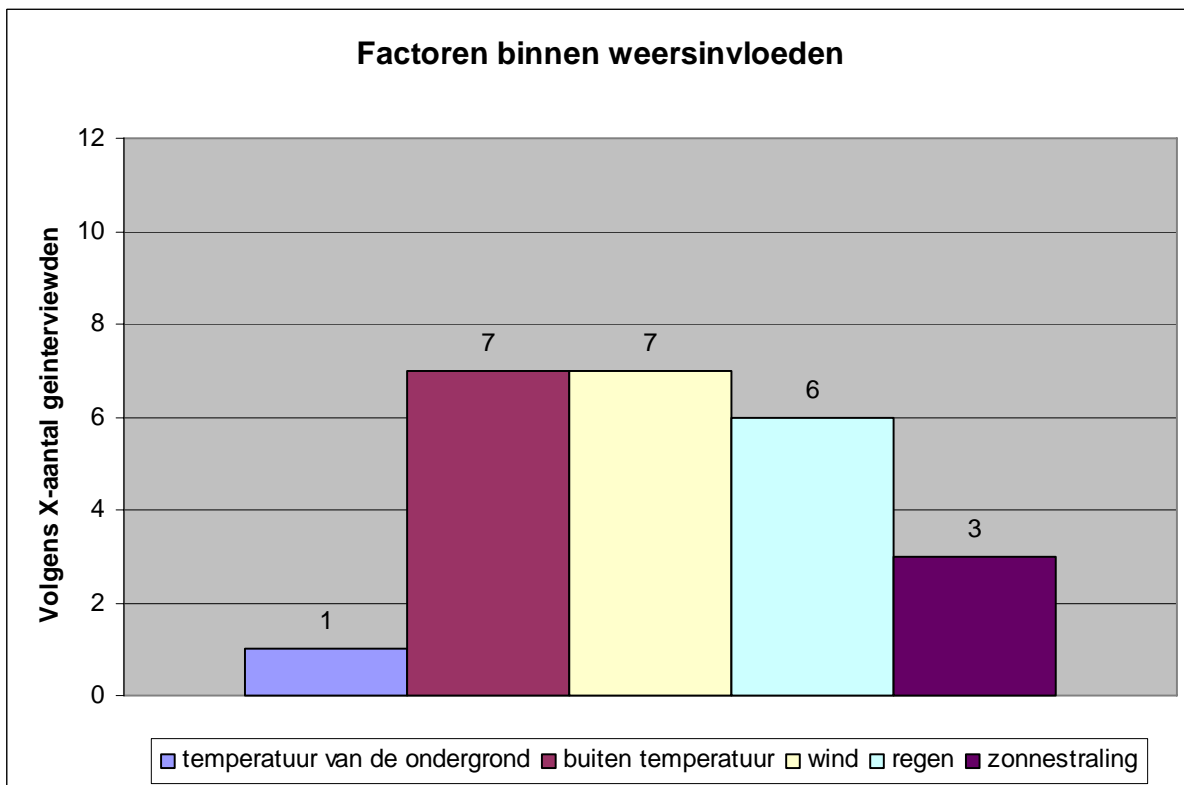
Grafiek w2: Voor welke werkzaamheden in het asfaltverwerkingsproces voelt een walsmachinist zich verantwoordelijk



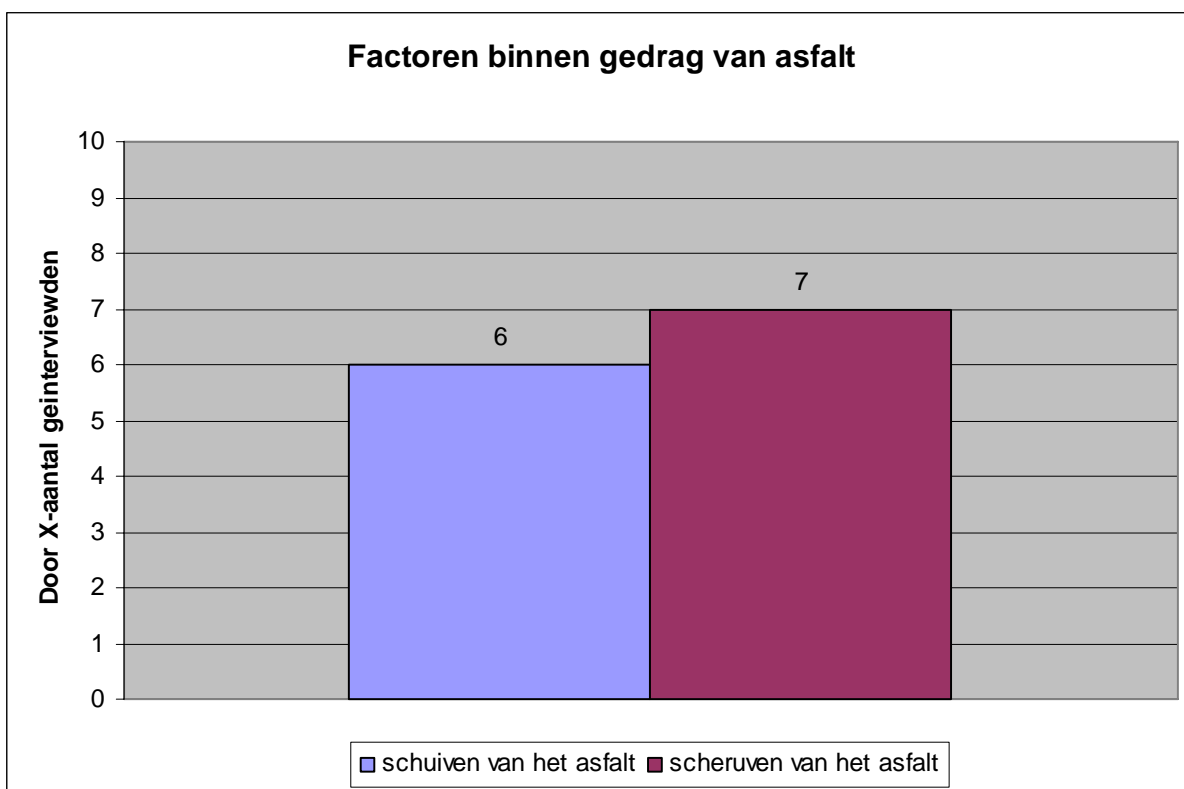
Grafiek w3: Wat vindt een walsmachinist moeilijk aan zijn taak?



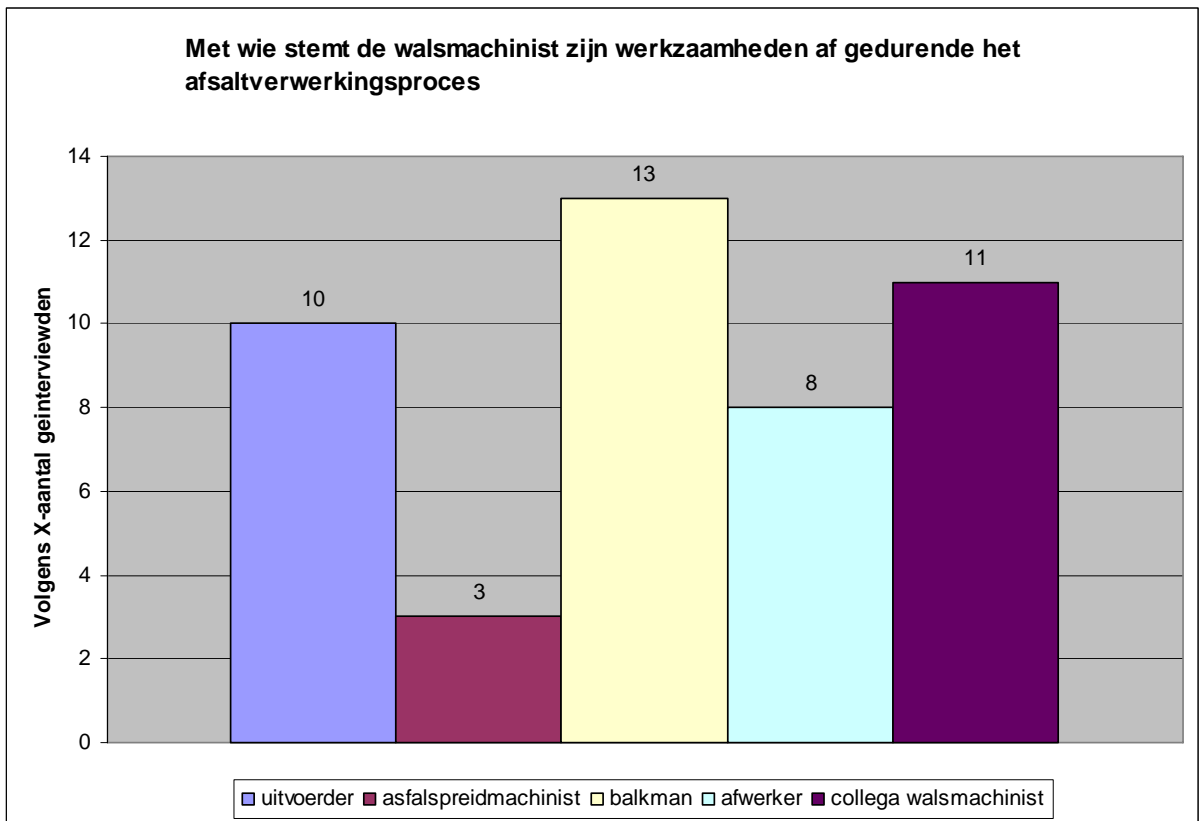
Grafiek w4: Op welke factoren let een asfaltspredmachinist gedurende het verdichtingsproces om te zorgen voor een goed eindresultaat?



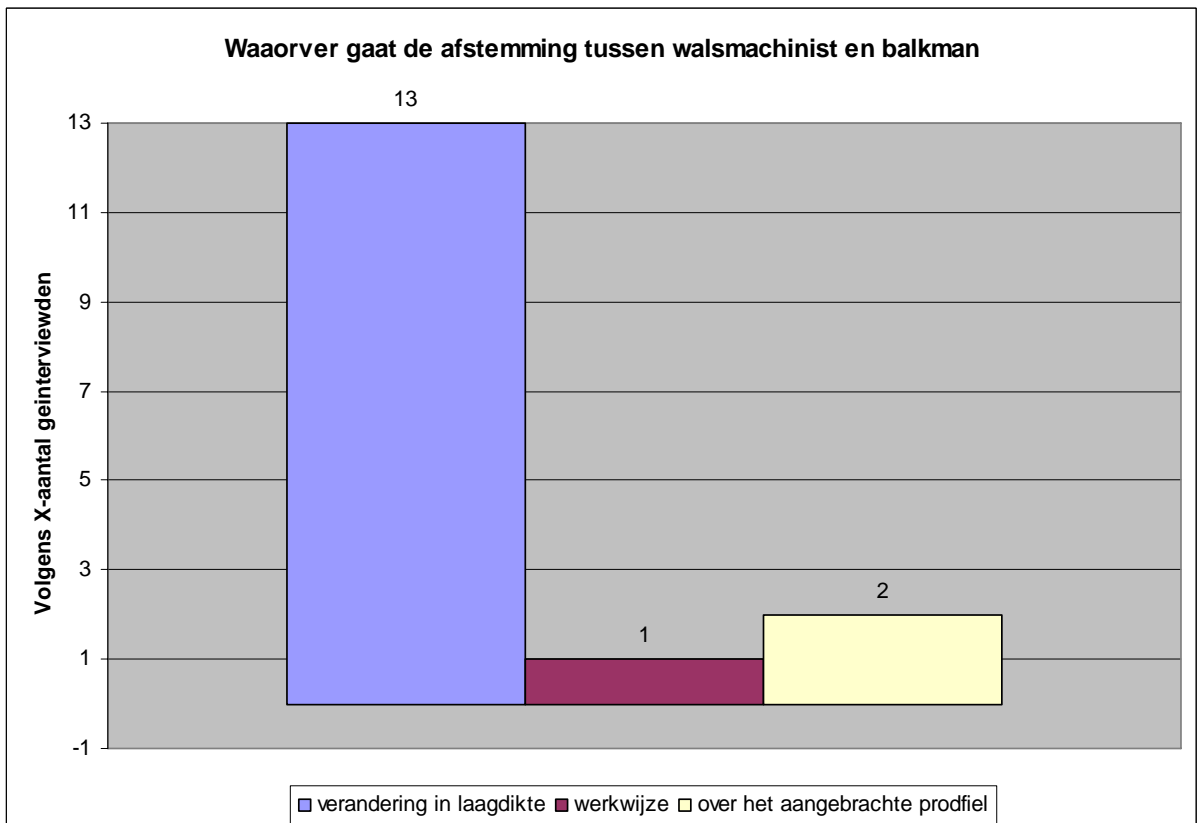
Grafiek w5: Factoren binnen de weersinvloeden



Grafiek w6: Factoren binnen het gedrag van asfalt

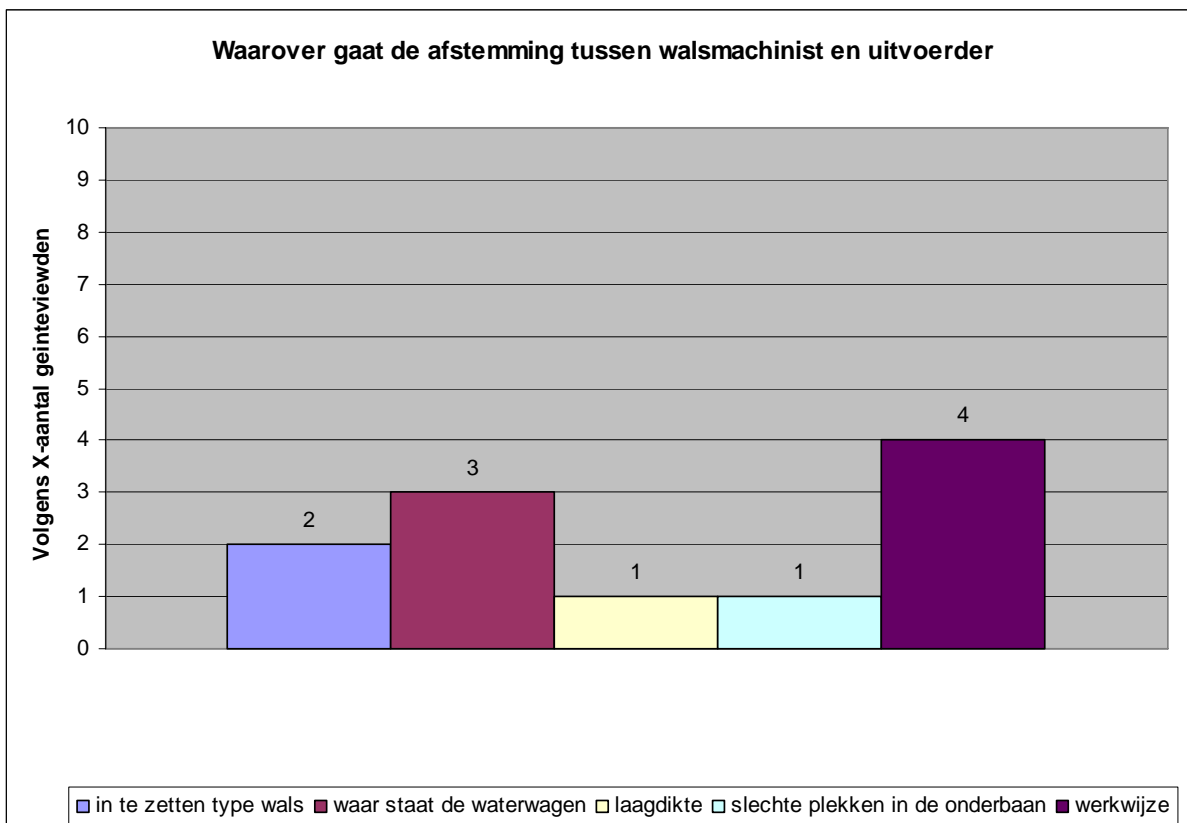


Grafiek w7: *Met wie stemt de walsmachinist zijn werkzaamheden af gedurende het asfaltverwerkingsproces*

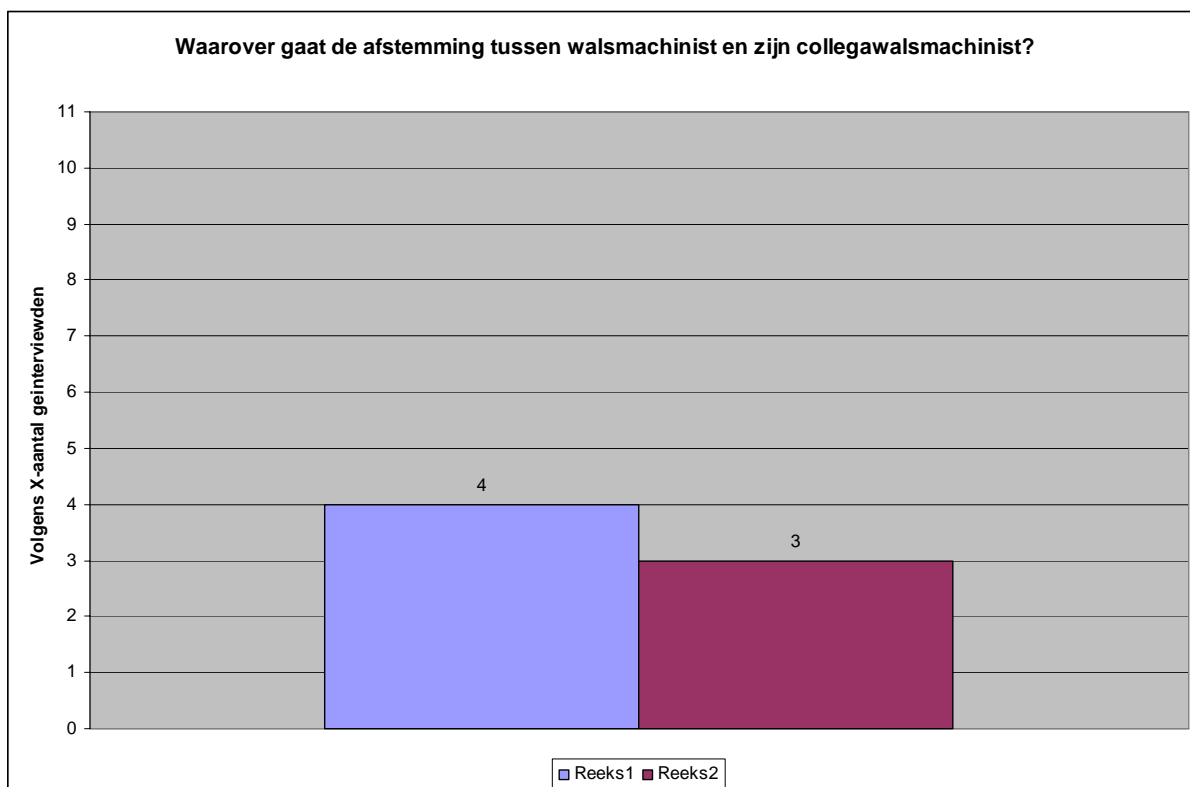


Grafiek w8: *Waarover gaat de afstemming tussen walsmachinist en balkman?*

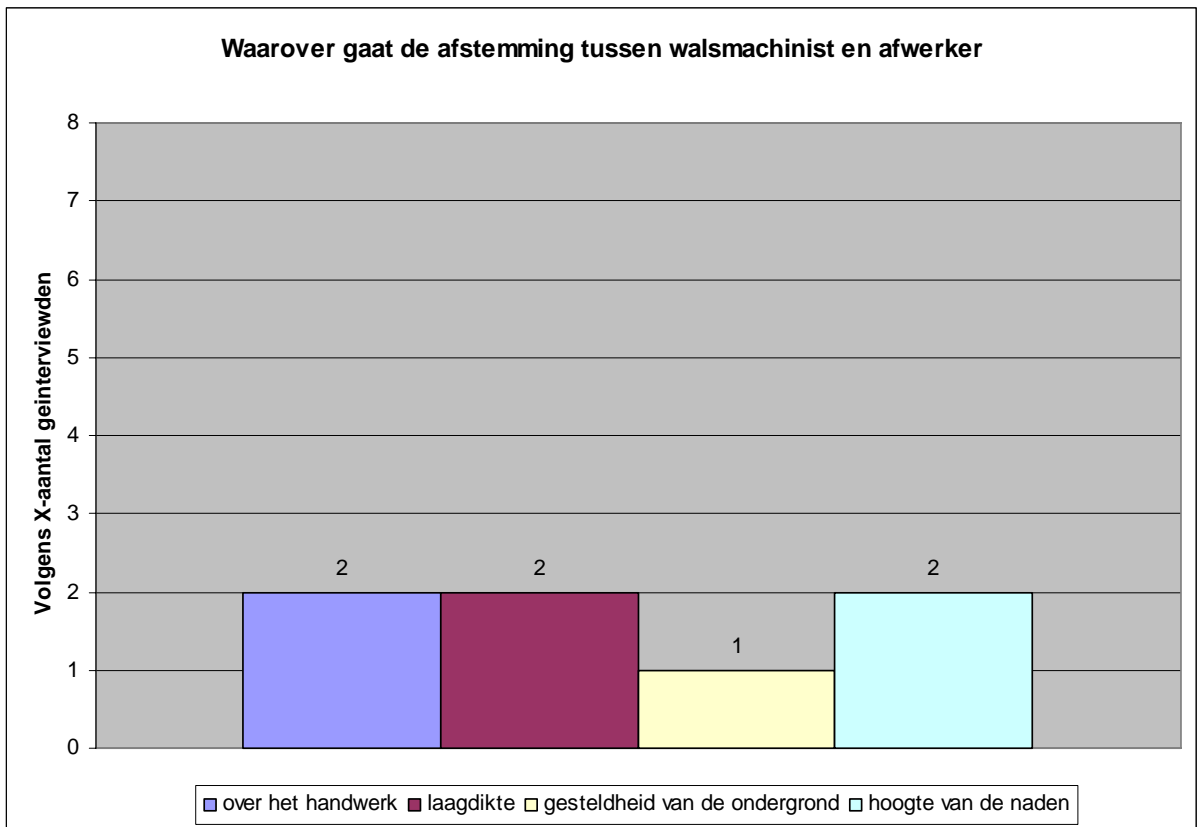




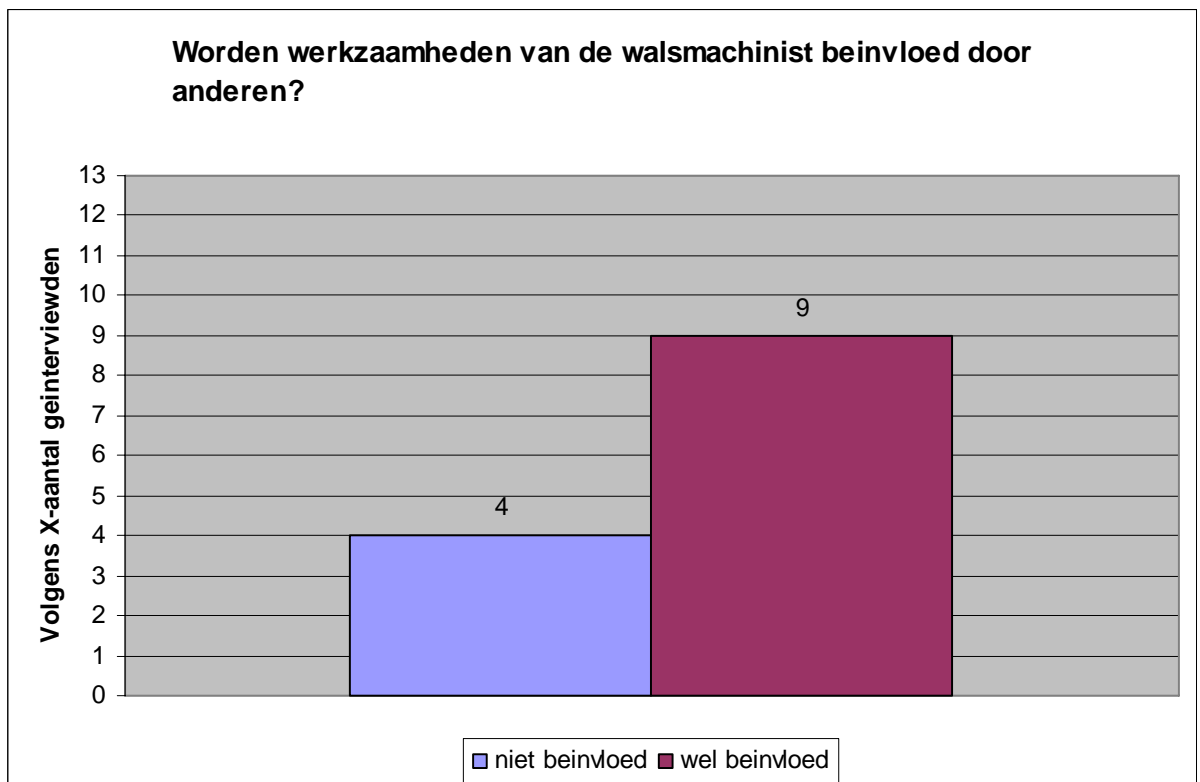
Grafiek w9: Waarover gaat de afstemming tussen walsmachinist en uitvoerder?



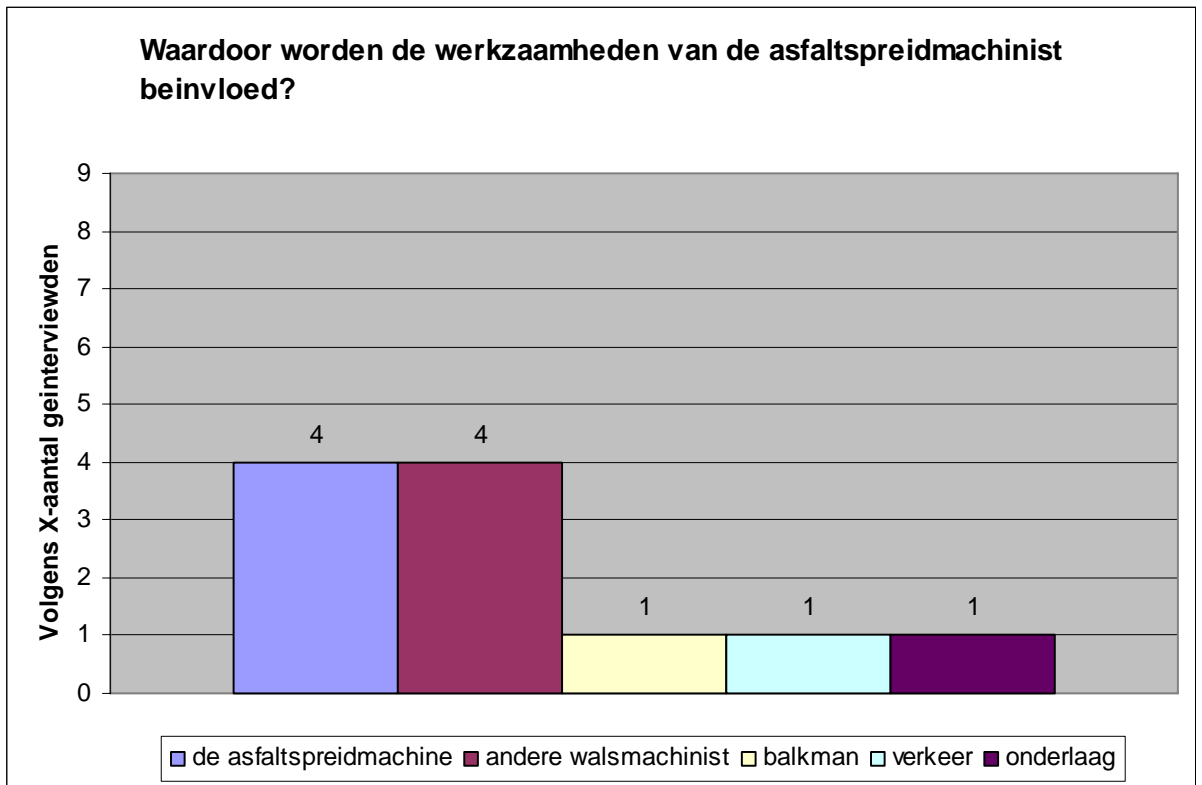
Grafiek w10: Waarover gaat de afstemming tussen walsmachinist en zijn collega walsmachinist?



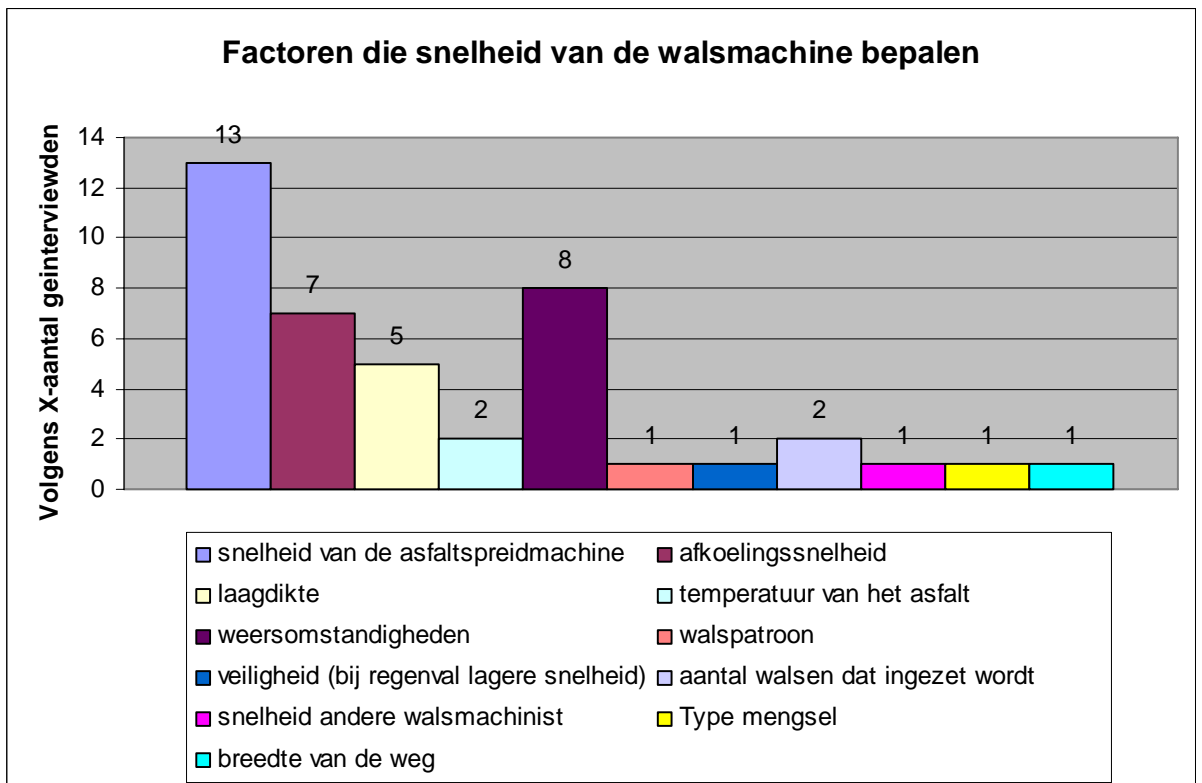
Grafiek w11: Waarover gaat de afstemming tussen walsmachinist en afwerker?



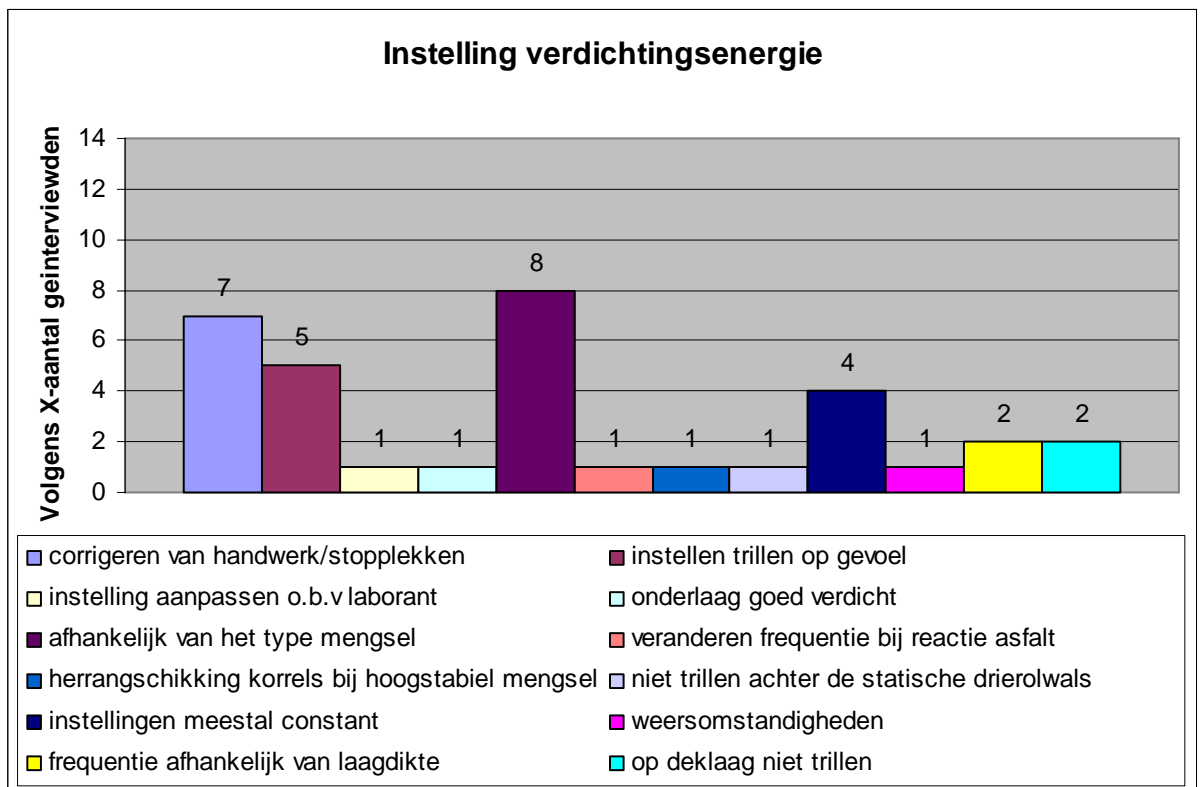
Grafiek w12: Worden de werkzaamheden van de walsmachinist beïnvloed door anderen?



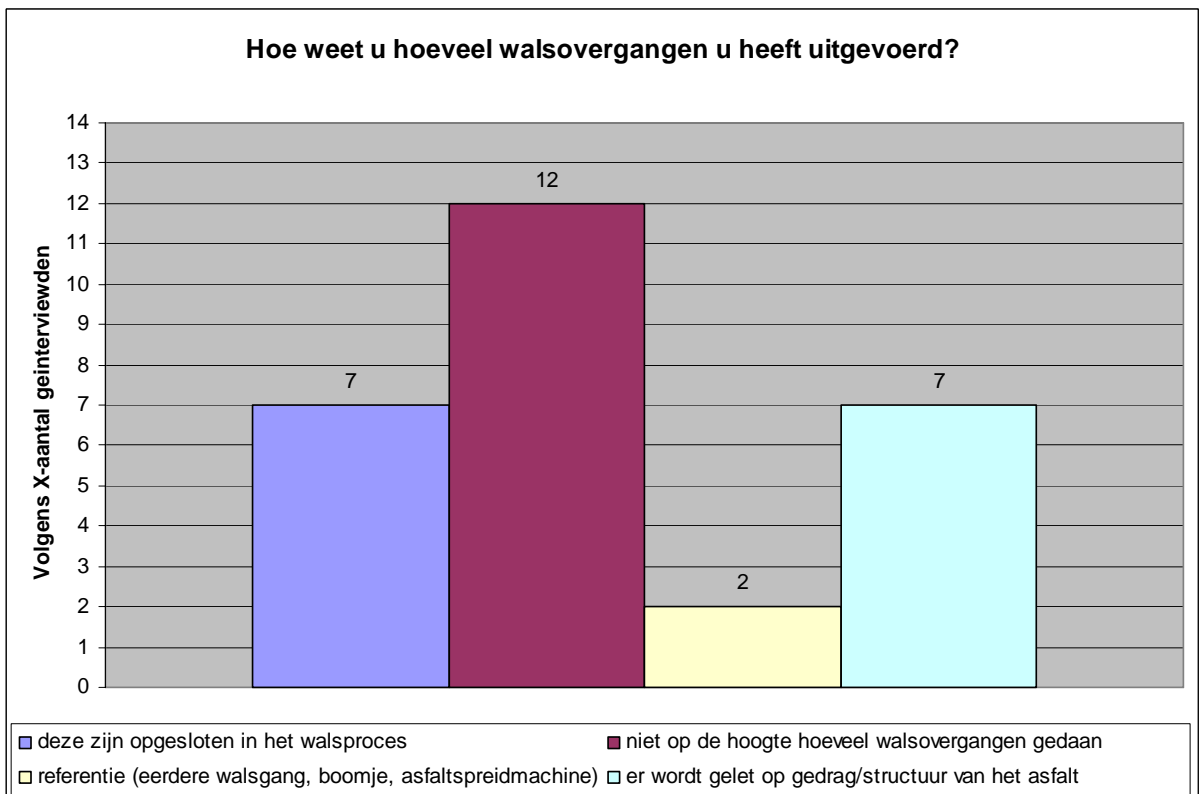
Grafiek w13: Waardoor worden de werkzaamheden beïnvloedt?



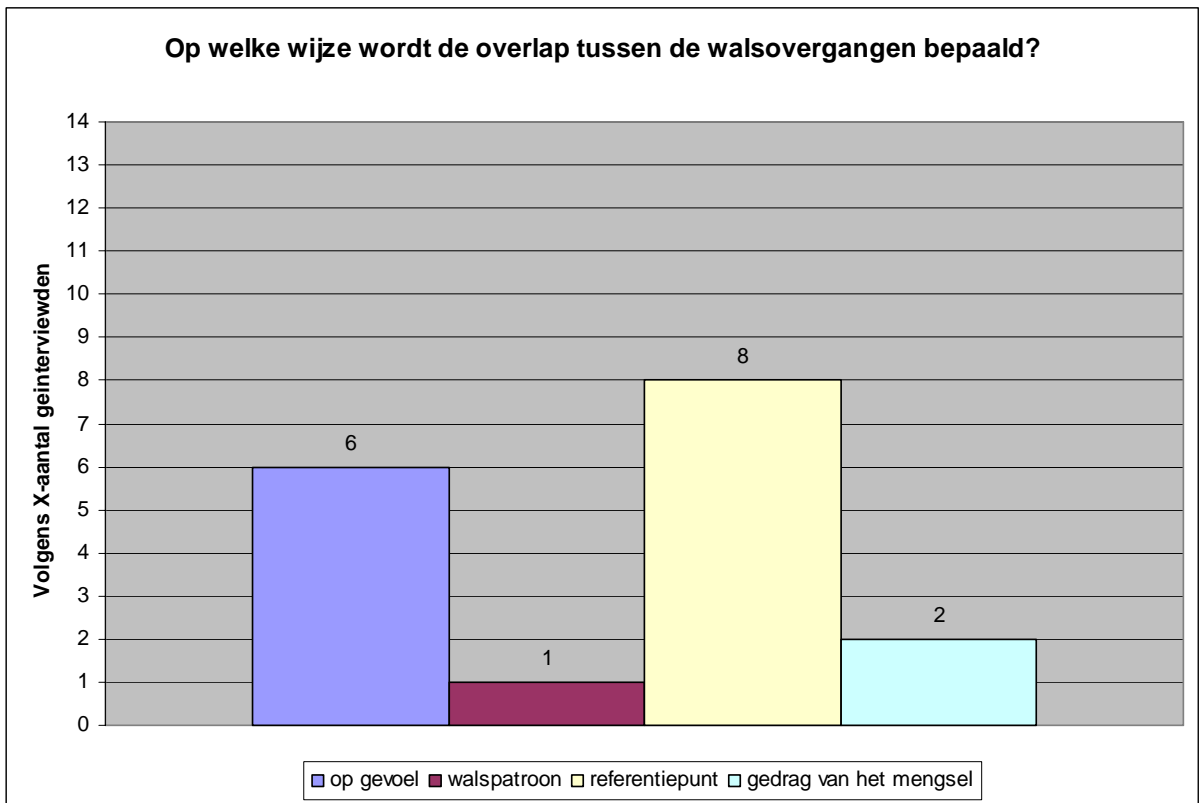
Grafiek w14: Welke factoren bepalen de snelheid van de asfaltspreidmachine?



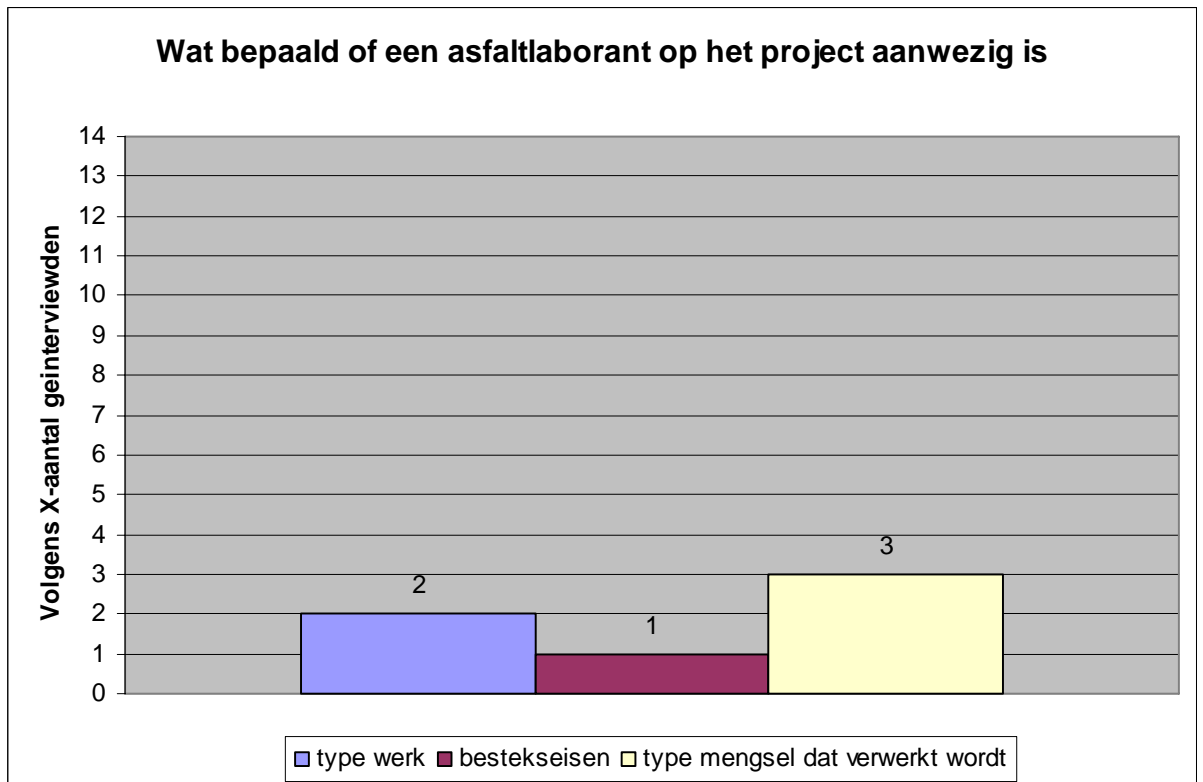
Grafiek w15: Instelling verdichtingsenergie?



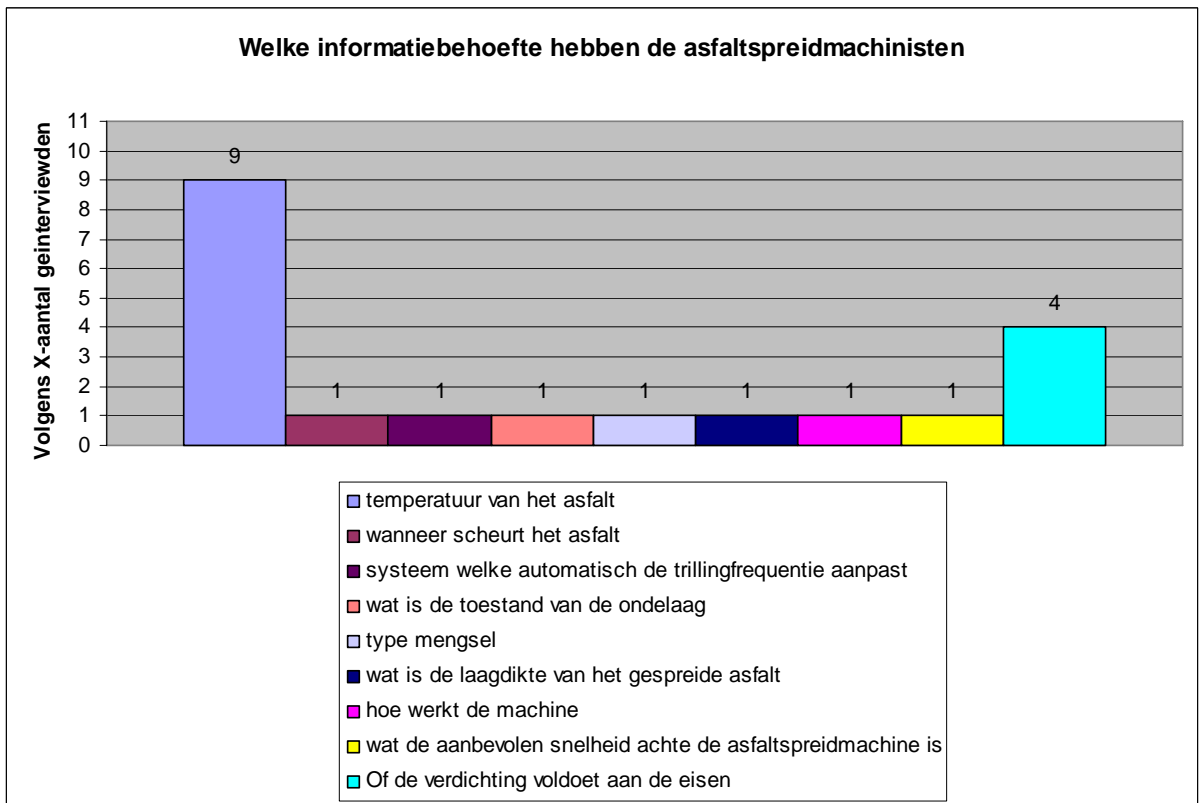
Grafiek w16: Hoe weet een walsmachinist hoeveel walsovergangen hij heeft uitgevoerd?



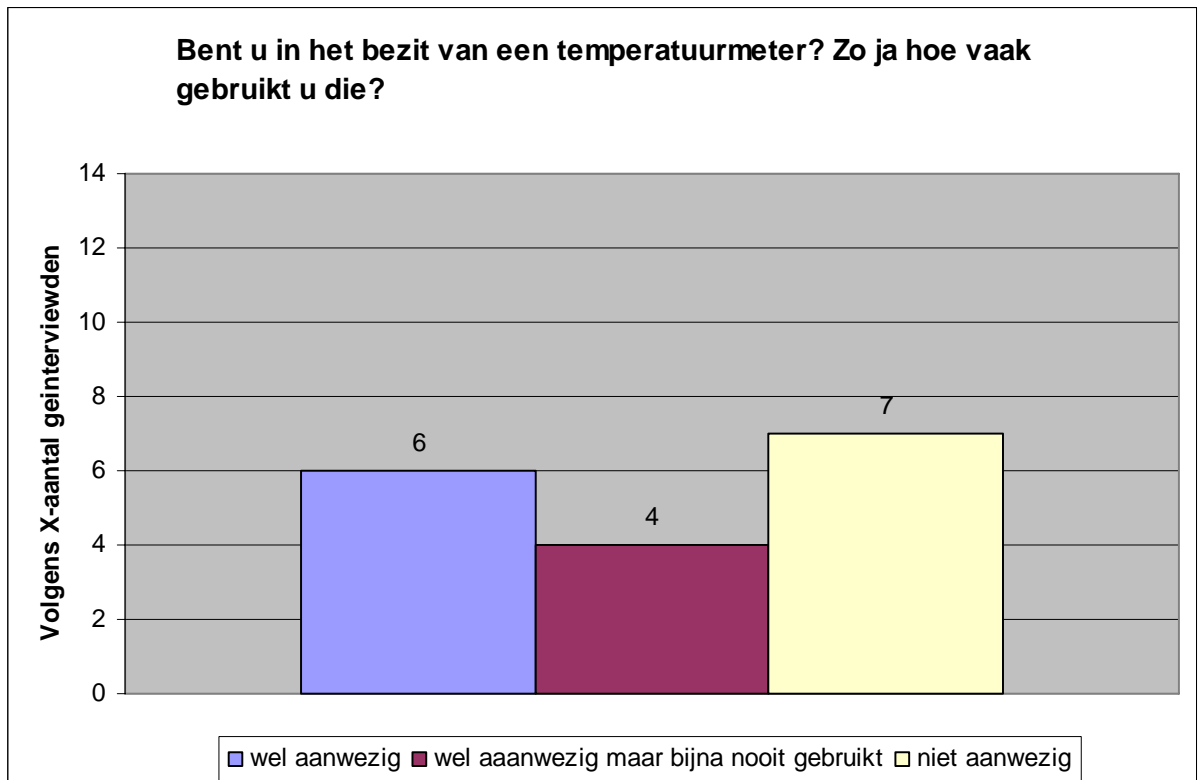
Grafiek w17: Hoe wordt de overlap tussen de walsovergangen door de walsmachinist bepaald?



Grafiek w18: Wat bepaald of een asfaltlaborant op het project aanwezig is?



Grafiek w19: Welke informatiebehoefte hebben de walsmachinisten?



Grafiek w20: Is er een temperatuurmeter aanwezig? Zo ja, hoe vaak wordt deze gebruikt?

Man-machine interface van het CIRCOM-systeem

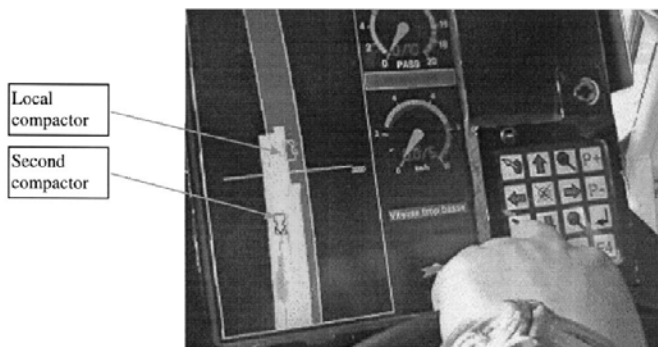


Fig. 17. On-board display during multi-compactors operation.

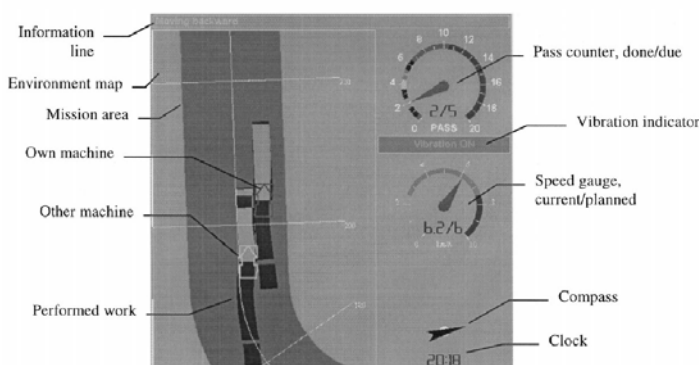


Fig. 4. CIRCOM OB main MMI.

Figuur 1: MMI van het CIRCOM-systeem [Bron: Peyret, 2000, automation in construction 9 pp 447-461]

Toelichting figuur 1

In bovenstaande figuren is de MMI te zien van het CIRCOM systeem. Dit systeem ondersteunt de walsmachinist gedurende het verdichtingsproces. In één oogopslag kan de walsmachinist op de hoogte van de geplande en de huidige snelheid, het aantal geplande en uitgevoerde walsovergangen en de positie t.o.v. zijn collega. Hiermee wordt het probleem ondervangen dat beslissingen met betrekking tot het aantal walsovergangen alleen het geheugen van de walsmachinist is opgeslagen. Hij kan hier immers een fout mee maken, en weet hij nog precies waar hij over is geweest?

## CIRPAV

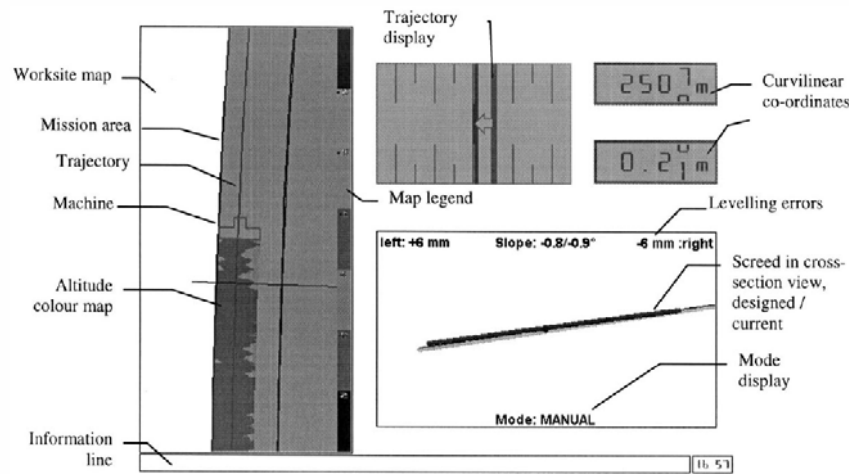


Fig. 5. CIRPAV OB MMI.

*Figuur 2: MMI van het CIRCOM-systeem [Bron: Peyret, 2000, automation in construction 9 pp 447-461]*

### Toelichting figuur 2

In bovenstaande figuren is de MMI te zien van het CIRPAV-systeem. Dit systeem ondersteunt de asfaltspreidmachinist gedurende het spreidproces. In één oogopslag is machinist op de hoogte van het gevolgde traject, afwijking in hoogte, dwarshelling en afschot ten opzichte van het ontwerp.



## Bijlage J Man Machine Interface (MMI) OSYRIS

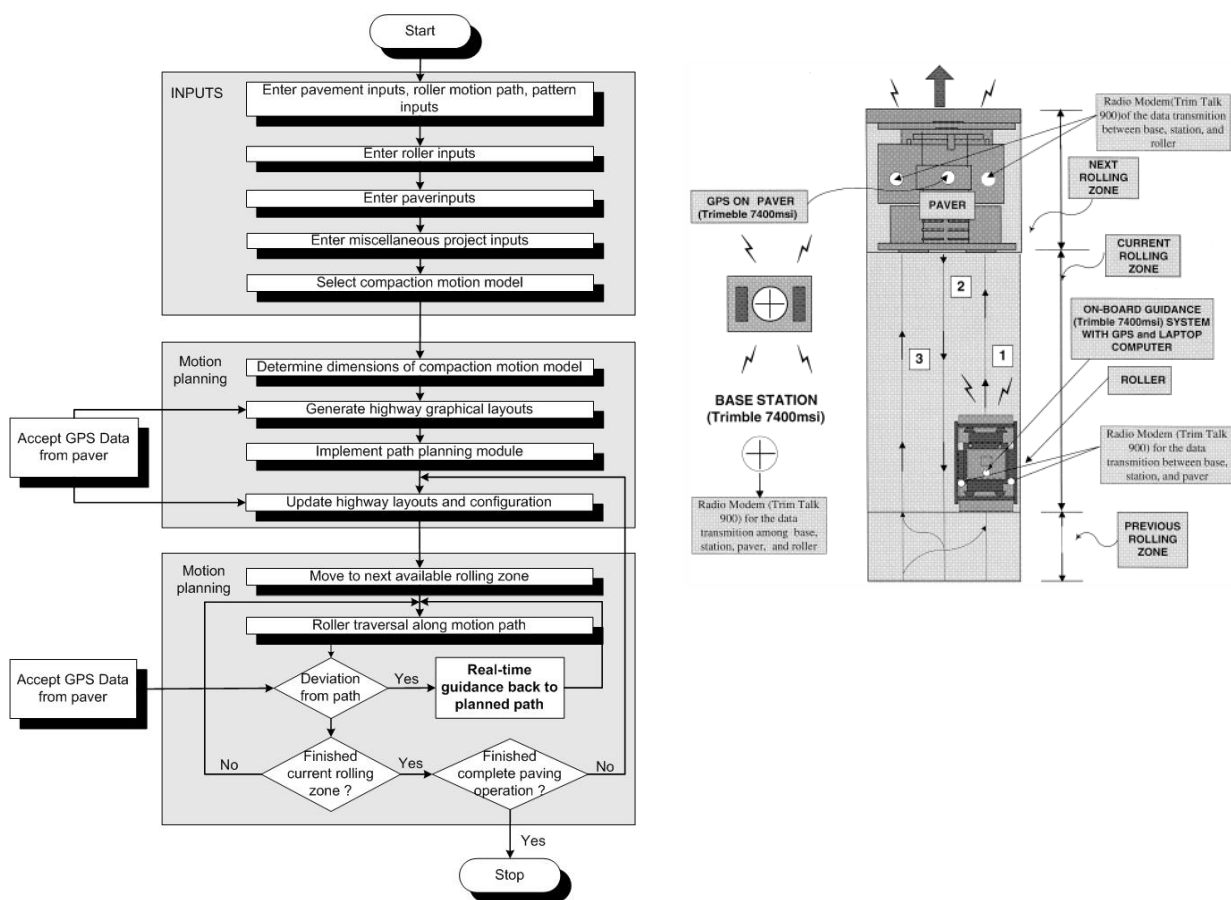


Figuur 1: MMI OSYRIS (Bron: Peyret en Tasky, 2004)

### Legenda van figuur 1

- 1 temperatuur van het asfalt bij het laden in de truck
- 2 gewicht van batch voor elke truck
- 3 indentificatienummer van de batch op de truck
- 4 tijd waarop de truck gewogen is
- 5 productie van de asfaltcentrale , gebruikmakend makend van het gewicht van de batch en de fabricagetijd
- 6 het aandeel van bitmumen in het materiaal, uitgedrukt in procenten
- 7 gemiddelde productie van de asfaltspreidmachine uitgedrukt in ton/uur
- 8 rendement van het asfaltspreidproces
- 9 snelheid van de asfaltspreidmachine
- 10 aanbevolen snelheid van de asfaltspreidmachine om de maximale output te behalen
- 11 average asphalt weight per unit area
- 12 totale cumulatieve gewicht van het asphalt
- 13 totale cumulatieve lengte geasfalteerde wegconstructie
- 14 geschatte laagdikte voor verdichting, waarbij gebruik wordt gemaakt van parameter (15)
- 15 theoretische specifiek gewicht van het verdichte materiaal

## Bijlage K AutoPave flowchart



Highway inputs (1)	Equipment inputs (2)	Miscellaneous inputs (3)
Geometrie weg	Afmetingen sfaaltspreid- en walsmachine	Weersomstandigheden projectlocatie
Dikte van de verharding	Min/max snelheid van asfaltspreid- en walsmachine	Temperatuur van de asfaltmat
Structuur verharding	Trilfrequentie van de wals	Afkoelingsgraad
Mengselsamenstelling verharding	Gewicht van de wals, model type	Relatieve vochtigheid
GPS positie coördinaten	Gewicht van de asfaltspreidmachine, model type	Windsnelheid
Gewenste eindverdichtingsgraad	Operating specifications	Verkeer, beperkingen

Tabel: Input voor het AutoPave-systeem

### Output results

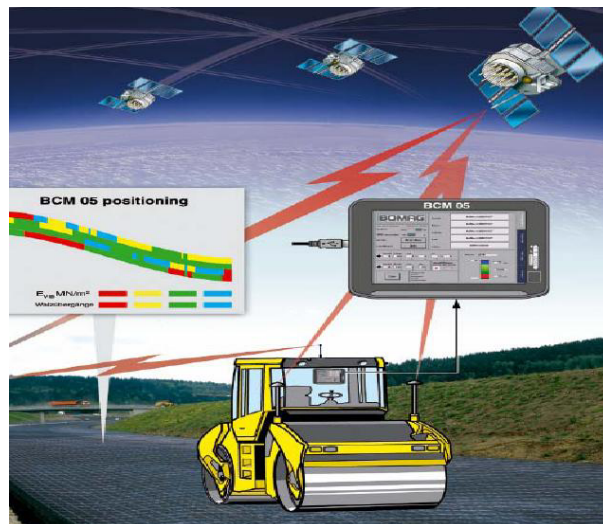
Aantal walsovergangen	Lokale X,Y- coördinaten van de wals en asfaltspreidmachine
Nummer huidige verdichtingszone	Local angular orientation adjustment
Lengte van de verdichtingszone	Motion path patern
Instantaneous overlap value	Snelheid van de wals en asfaltspreidmachine
Cumulatieve lengte geasfalteerd (project status)	Coverage pattern
Real-time audio/ visuele geleiding (MMI)	Range limits

Tabel: Output van het AutoPave-systeem

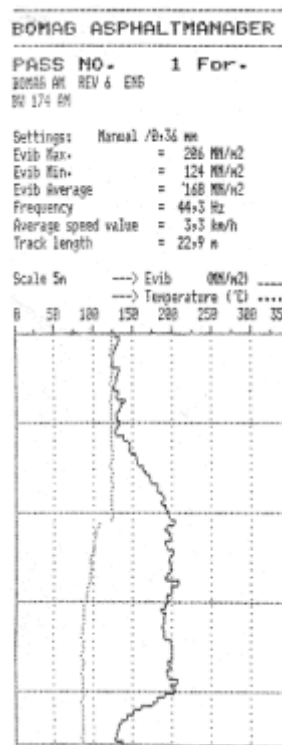
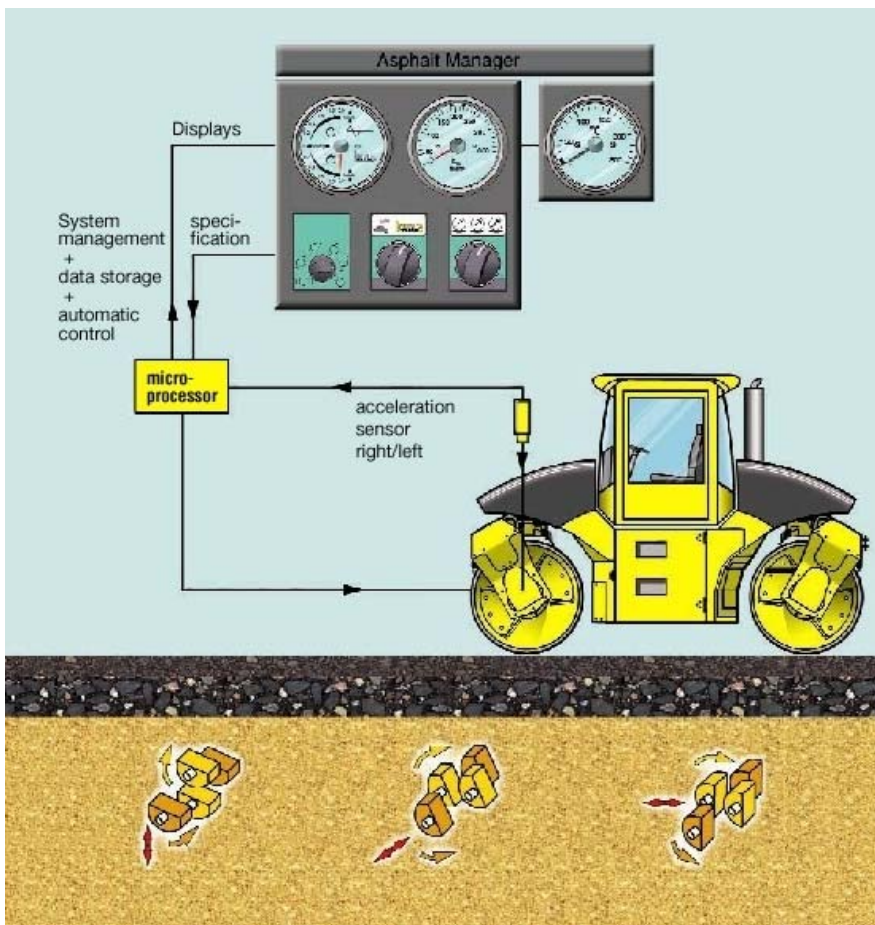
## Bijlage L Bomag's Intelligent Compaction system



Figuur 1: Bomag's Asphalt Manager  
[Bron: www.bomag.com]



Figuur 2: Bomag's Asphalt Manager uitgerust met GPS  
[Bron: www.bomag.com]



Figuur 3: Bomag's Asphalt Manager en uitdraai karakteristieke walsovergang  
[Bron: www.bomag.com]

---

## Bijlage M Dynapac Asphalt Temperature Meter

---



*Figuur 1: Dynapac Asphalt Temperature Meter  
[Bron: [www.dynapac.com](http://www.dynapac.com)]*