

Vochtreductie bij de Asfalt Productie Westerbroek

Inzicht verschaffen over de impact van vocht reducerende maatregelen op de CO2 emissie van Asfaltproductie



UNIVERSITY
OF TWENTE.

Trung Nguyen
Oktober 2017

Colofon

Titel: Vochtreductie bij de Asfaltproductie Westerbroek

Subtitel: Inzicht verschaffen over de impact van vocht reducerende maatregelen op de CO₂ emissie van Asfaltproductie

Versie: Eindverslag

Plaats en datum: Enschede, 10 oktober 2017

Auteur

Trung Nguyen

Voortsweg 102

7523CJ Enschede

T: +31 6 81003869

E: kt.nguyen2807@gmail.com

Studentnummer: s1308300

Onderwijsinstelling: Universiteit Twente

Faculteit: Engineering Technology

Opleiding: Bachelor Civiele Techniek

Begeleiding namens Universiteit Twente

Dr. ir. S.R. Miller

ASPARi

P.O. Box 217

7500 AE Enschede

T: +31 53 489 4601 (vast)

T: +31 6 2350 8491 (mobiel)

E: s.r.miller@utwente.nl

Begeleiding namens opdrachtgever

Roelofs groep

Ing. A. Steenbergen

Manager Asfalt en Techniek

Postbus 12

7683 ZG Den Ham

T: +31 6 2322 9898 (mobiel)

E: a.steenbergen@roelofsgroep.nl

Begeleiding namens Asfalt Productie Westerbroek

G. Wolters

Chef AMI

Energieweg 20

9608 PZ Westerbroek

T: +31 598 361000 (vast)

E: g.wolters@apw-asfalt.nl

Voorwoord

Voor u ligt de eindversie van mijn onderzoeksrapport: “Vochtreductie op de Asfalt Productie Westerbroek”. Dit onderzoek is gericht op het bepalen van de impact van vocht reducerende maatregelen op het asfaltproductieproces van de Asfalt Productie Westerbroek. Dit rapport is geschreven in het kader van een Bacheloropdracht van de opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Dit rapport is het resultaat van het onderzoek dat ik van juli tot september heb uitgevoerd.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van verschillende instanties. Het onderzoek is namens ASPARi uitgevoerd voor Roelofs en de APW. Hoofdinitiator in dit onderzoek is Roelofs. Roelofs is een middelgroot aannemersbedrijf dat zich richt op alle aspecten van de (her)inrichting van de openbare ruimte. De ambitie van Roelofs is om een toonaangevende middelgrote onderneming te zijn, die op een duurzame, maatschappelijk verantwoorde manier bouw- en infraprojecten ontwikkelt en realiseert. Roelofs is een van de aandeelhouders van de APW. In samenwerking met de APW is het onderzoek opgezet. Het onderzoek is vervolgens aangeboden aan ASPARi om uit te voeren. Ik heb dit onderzoek namens ASPARi uitgevoerd in kader van mijn bachelor eindopdracht.

Gedurende het onderzoek ben ik begeleid vanuit de verschillende instanties dhr. dr. ir. Seirgei Miller (ASPARi & UT), dhr. ing. Albertus Steenbergen (Roelofs) en dhr. Grietinus Wolters (APW). Graag zou ik de heren willen bedanken voor de kennis en ondersteuning die ze mij hebben gegeven en bovenal voor het aanbieden van deze kans.

Daarnaast zou ik graag alle werknemers van de APW willen bedanken voor een leuke tijd, de interesse en alle hulp. Ik heb het erg naar mijn zin gehad op de APW. Tot slot wil ik graag mijn familie bedanken voor het vertrouwen en de geruststelling die ze mij hebben gegeven tijdens deze periode en zullen blijven geven.

Dan rest mij niets anders dan u veel plezier te wensen bij het lezen van dit rapport.

Trung Nguyen

Datum: 14-9-2017

Samenvatting

Het overgrote deel van het wegennetwerk van Nederland is geasfalteerd. Elk jaar moeten er wegen onderhouden worden. De APW is een van de grootste asfaltcentrales in Noord Nederland en produceert jaarlijks meer dan 200.000 ton asfalt voor aanleg en onderhoud. Het productieproces van asfalt vereist veel energie, wat gehaald wordt uit de verbranding van aardgas. Als gevolg van de verbranding wordt er door het proces CO₂ uitgestoten.

In een eerder uitgevoerd onderzoek is gekeken naar de invloed van verschillende parameters binnen het productieproces op de mate van gasgebruik in het proces. Uit dat onderzoek kan geconcludeerd worden dat een groot deel van het gasgebruik bepaald wordt door het vochtgehalte in de aggregaten.

Naar aanleiding van dat onderzoek is er gekeken naar verschillende maatregelen om het vochtgehalte in de te reduceren. Het doel van dit onderzoek is om de impact van verschillende maatregelen die de CO₂-emissie, als gevolg van vochtreductie, kunnen verlagen expliciet te maken.

Om dit doel te realiseren is er door middel van een literatuuronderzoek en interviews, afgenomen bij de werknemers van de APW, gezocht naar maatregelen en zijn deze geëvalueerd. Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat er maar een handvol onderzoeken gewijd zijn aan het asfaltproductieproces. Om een beter beeld te vormen over het asfaltproductieproces, de gevolgen van vochtintrede, de manieren van intrede en de mogelijk maatregelen tegen vochtintrede zijn er interviews afgenomen bij de werknemers van de APW. Op basis van de literatuur en interviews kan gesteld worden dat er in meerdere fases van het asfaltproductieproces vochtintrede plaatsvindt. Bij elke manier van vochtintrede is er gekeken naar mogelijke maatregelen die door de APW te realiseren zijn.

De maatregelen zijn geanalyseerd door middel van een kosten-batenanalyse. Hierin zijn de kosten berekend aan de hand van de mogelijke investering en de baten aan de hand van de besparing in gasgebruik en CO₂-emissie door de vochtreductie. Deze besparingen zijn afgeleid uit de vochtmetingen die zijn uitgevoerd op de APW. De vochtmetingen die zijn uitgevoerd door middel van nat-droog metingen. Deze zijn uitgevoerd na een droge periode en na een aantal dagen neerslag. Deze metingen zijn uitgevoerd bij alle mineralen en de meest gebruikte PR asfalt.

Uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat het vochtgehalte in de aggregaten het best gereduceerd kan worden door het PR te overkappen. In vergelijking met de andere maatregelen is het de grootste investering, maar zal het na de afschrijvingsperiode het meest opleveren. Daarnaast zal het de grootste impact hebben op de energiebehoefte en de CO₂ emissie van het asfaltproductieproces. Het wordt dan ook aanbevolen deze overkapping te realiseren. Voor verder onderzoek naar vochtreductie kan er gekeken worden naar het ophogen van de bunkers en nieuwe vochtsensor technologieën.

Summary

The vast majority of the Dutch road network is paved with asphalt. Every year roads must be maintained. The APW is the only asphalt manufacturer in the north of the Netherlands and produces over 200,000 tonnes of asphalt per year for construction and maintenance. The asphalt production process requires a lot of energy, which is derived from the combustion of natural gas. As a result of the combustion, CO₂ is emitted during the process.

A previously conducted research looked at the influence of different parameters within the production process on the degree of gas usage in the process. From that study it can be concluded that a large part of the gas use is determined by the moisture content in the aggregates.

Following this study, various measures have been looked at to reduce the moisture content in the aggregates. The purpose of this research is to determine the impact of various measures that can reduce the CO₂-emissions due to moisture reduction.

In order to achieve this goal, measures have been searched by means of a literature review and interviews, held with the employees of the APW, and have been evaluated. The literature research has shown that only a handful of researches are devoted to the asphalt production process. In order to get a better picture of the asphalt production process, the effects of moisture intake, the ways of entry and the possible measures against moisture intake, interviews have been executed with the employees of the APW. Based on the literature and interviews it can be said that moisture intake takes place in several phases of the asphalt production process. For every way of moisture intake possible measures, that can be achieved by the APW, have been researched.

The measures have been analysed by means of a cost-benefit analysis. The costs are calculated based on the potential investment. The benefits are based on the savings in gas consumption and CO₂ emissions due to the reduction of moisture. These savings are derived from the moisture measurements performed on the APW. The moisture measurements were done by wet-dry measurements. These are performed after a dry period and after a few days of rainfall. These measurements are performed on all minerals and the PR asphalt.

From this study it can be concluded that the moisture content in the aggregates can best be reduced by covering the PR. Compared to other measures, it is the largest investment, but it will yield the most after the depreciation period. In addition, it will have the greatest impact on the energy demand and CO₂ emissions of the asphalt production process. It is therefore recommended to realize this cover. For further research in moisture reduction, the possibilities of levelling up the mineral bunkers and new moisture sensor technologies can be researched.

Lijst van symbolen en afkortingen

Gedurende het verslag zullen een aantal symbolen en afkortingen gebruikt worden. In de onderstaande tabel worden de afkortingen en symbolen verklaard.

Symbool/afkorting	Definitie	Eenheid
AC	Asfalt Centrale	
APW	Asfalt Productie Westerbroek	
ASPARi	Asphalt Paving Research and innovation	
c	Soortelijke warmte	J/kg*K
EEP	Energie-efficiency Plan	
EEV	Energie-efficiencyverbetering	
EIA	Energie-investeringsaftrek	
GWW	Grond-, weg-, en waterbouw	
MIA	Milieu-investeringsaftrek	
MJA	Meerjarenafspraken	
PR	Partieel recyclebaar asfalt	
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland	
T	Temperatuur	°C
TVT	Terugverdiëntijd	Jaar (Jr.)

Lijst van belangrijke termen

Gedurende het verslag zullen er een aantal belangrijke termen langskomen. Deze termen worden in de onderstaande tabel gedefinieerd.. De definities zijn veelal afgeleid uit de Van Dale (2017)

Term	Definitie
Aannemers	Persoon of organisatie die werk aanneemt voor een door hem opgegeven prijs
Absorberen	Opzuigen, opnemen
Aggregaten	Bouwstoffen van asfalt
Bachelor onderzoek	Afsluitend onderzoek van een bachelor studie
CO₂-emissie	Koolstofdioxide uitstoot
Droogoven	Oven speciaal ontworpen om materialen in te drogen.
Empirisch onderzoek	Onderzoek dat gebruik maakt van eigen waarnemingen
Literatuuronderzoek	Onderzoek aan de hand van wetenschappelijke literatuur
Massa	Het gewicht
Meer jaren Afspraken	Afspraken die zijn gemaakt tussen het Ministerie van Economische zaken en bedrijven over energie-efficiëntie (RVO, 2017b)
Parameter	Veranderlijke grootte waarvan de constanten van een vergelijking als functies worden beschouwd
RAW bepalingen	De RAW bepalingen bevat een stelsel van juridische, administratieve en technische voorwaarden voor het samenstellen van bouwcontracten in de GWW (CROW, 2015)
Vochtgehalte	De gewichtshoeveelheid water in een materiaal uitgedrukt als een percentage van het drooggewicht van het materiaal

Inhoudsopgave

1. Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Probleemstelling	10
1.3 Onderzoeksdoel	10
1.4 Onderzoekskader	10
1.5 Onderzoeksvragen	10
1.6 Onderzoeksmethodiek	11
1.7 Leeswijzer.....	13
2. Het asfaltproductieproces.....	14
2.1 De productieketen.....	14
2.2 De ontvangst van materialen	15
2.3 Het productieproces	15
2.4 De grondstoffen	16
2.4.1 Mineralen	17
2.4.2 PR asfalt	17
3. Vochtintrede	19
3.1 Manieren van vochtintrede	19
3.2 Gevolgen van vochtintrede	19
3.3 Meetbaarheid van vocht.....	20
4. Maatregelen.....	22
4.1 Contractuele eisen.....	22
4.2 Overkappen.....	22
4.3 Ophogen.....	22
4.4 Sensoren.....	23
4.5 Voordrogen	23
5. Observaties	24
5.1 Toepasbaarheid	24
5.2 Meetmethode	25
5.3 Meetresultaten	26
6. Analyse.....	28
6.1 Overkapping	28
6.2 Sensoren.....	31

7. Discussie	32
7.1 Aantal metingen.....	32
7.2 Ontbrekende aspecten.....	32
7.3 Toepasbaarheid resultaten bij andere AC	32
8. Conclusies	33
9. Aanbevelingen.....	37
9.1 Aanbeveling voor realisatie	37
9.2 Aanbeveling voor vervolgonderzoek.....	37
Referenties.....	39
Bijlage A: Interviews	41
Bijlage B: Meetresultaten vochtgehalte bij levering	49
Bijlage C: Omschrijving nat-droog analyse	50
Bijlage D: Meetresultaten vochtgehalte uit experiment	51
Bijlage E: Overzicht terrein APW	54
Bijlage F: Analyse besparing overkappingen.....	55

Tabellen

Tabel 1 Verdeling mineralen.....	17
Tabel 2 Gemeten materialen.....	26
Tabel 3 Hoeveelheid regen op meetdagen	26
Tabel 4 Constanten in de berekeningen	29
Tabel 5 Besparing overkappingen.....	30
Tabel 6 CO ₂ -emissie reductie per overkapping.....	30
Tabel 7 Besparing Sensoren	31

Figuren

Figuur 1 Onderzoeksmodel	11
Figuur 2 Positie APW in de asfalt keten	14
Figuur 3 Schematisering asfaltproductieproces	15
Figuur 4 Meetresultaten	26

1. Inleiding

Het wegennetwerk van Nederland is een van de meest uitgebreide netwerken van de wereld. Het Nederlandse wegennetwerk bedraagt meer dan 140.000 kilometer en het overgrote deel is geasfalteerd. Jaarlijks wordt er rond de 9 miljoen ton asfalt geproduceerd voor nieuwbouw en onderhoud en deze hoeveelheid zal niet snel afnemen (Bouwend Nederland, 2013). Asfalt heeft een levensduur tussen de zeven en de twintig jaar, afhankelijk van het soort asfalt (Asfaltcentrale Over Betuwe, 2013). Elk jaar moeten er weer wegen vervangen worden. Daardoor komt er in Nederland per jaar 4 miljoen ton ‘oud’ asfalt vrij (Bouwend Nederland, 2013). Sinds de jaren zeventig wordt het vrijgekomen asfaltgranulaat opnieuw verwerkt in de productie van nieuw asfalt. Dit is een van de duurzame technieken die in de asfaltindustrie toegepast wordt.

Duurzaamheid is een vraagstuk van alle jaren. In de bouwsector wordt duurzaamheid alleen nog maar belangrijker. Energie-efficiëntie speelt hierin een grote rol. De overheid probeert dit al sinds 1995 te sturen door middel van de Meerjarenafspraken (MJA). Deze afspraken zijn al meerdere malen vernieuwd en verlengd. De laatste afspraken (MJA3) zijn getekend in 2008 en lopen tot 2020. In deze afspraken wordt het doel gesteld om een energie-efficiencyverbetering (EEV) van 45% te bereiken ten opzichte van 1998. Deze afspraken stimuleren aannemers om te blijven verduurzamen en te innoveren. Vooral op het gebied van energiereductie en beperking van CO₂-emissies.

De Asfalt Productie Westerbroek neemt ook deel aan de MJA3. Om het doel van 45% EEV te bereiken wordt er elke vier jaar een energie-efficiencyplan (EEP) opgesteld waarin de stappen staan naar een besparing van acht procent.

In het kader van emissie reductie heeft Ruben Olthof een bachelor onderzoek uitgevoerd namens Roelofs groep, een van de aandeelhouders van de APW. In zijn onderzoek, genaamd ‘CO₂ reductie bij de Asfalt Productie Westerbroek’ (2016) heeft hij bij verscheidene parameters in het asfaltproductieproces onderzocht naar de impact op de CO₂-emissie. Hieruit is voortgekomen dat de grootste winst te behalen is bij de parameter vocht. Dit onderzoek zal voortbouwen op het eerder uitgevoerde bachelor onderzoek door Ruben Olthof.

1.1 Aanleiding

In het onderzoek dat Olthof heeft uitgevoerd heeft hij gekeken naar de verschillende parameters in het asfalt productie proces die invloed kunnen hebben op de CO₂ emissies van het proces. De onderzochte parameters zijn de branderstand, de mengselwisselingen, de mengselsamenstelling, het productiedebiet, het productievolume, de temperatuur en het vochtgehalte. Uit het onderzoek van Olthof kan geconcludeerd worden dat vocht de meeste impact heeft op het gasverbruik en zo ook op de CO₂-emissie. Een groot deel van het productieproces bestaat uit het verhitten van de aggregaten, zodat het vocht dat de aggregaten bevat verdampt. Wat buiten het kader van het onderzoek viel, was de uitwerking van mogelijke maatregelen om het vochtgehalte te verlagen. Naar aanleiding van het onderzoek van Olthof is bij Roelofs interesse ontstaan naar de mogelijkheden in het verlagen van het energie verbruik en de CO₂-emissie door het verlagen van de parameter vocht.

1.2 Probleemstelling

Het verdampen van het vocht in de aggregaten is een van de grootste onderdelen in het asfaltproductieproces. Door intrede van vocht in het proces stijgen de werkzaamheden van de droogovens. Hoe meer vocht zich in de aggregaten bevindt hoe meer energie er nodig is om het vocht volledig te laten verdampen. Er wordt meer gas verbrand om deze energie te voorzien en daarmee stijgt ook de CO₂-emissie van het proces. Het is dan ook van belang dat de parameter vocht in het proces goed gecontroleerd en gereguleerd kan worden. In de huidige situatie is dat nog niet mogelijk. Er zijn verschillende maatregelen om vocht te reduceren in het proces. Echter is er nog geen kennis over de impact van deze maatregelen op het vochtgehalte en de CO₂-emissie.

1.3 Onderzoeksdoel

Het doel van dit onderzoek is om de impact van verschillende maatregelen die de CO₂-emissie, als gevolg van vochtreductie, kunnen verlagen expliciet te maken en op basis hiervan een concrete aanbeveling te formuleren voor de beste vervolgstap voor de APW in het reduceren van CO₂-emissie met betrekking tot de parameter vocht.

1.4 Onderzoekskader

Door het onderzoekskader goed te formuleren zal het onderzoek niet te omvangrijk worden. In dit onderzoek zal er gekeken worden naar de mogelijkheden tot vochtreductie in het asfaltproductieproces. Zoals dit al eerder benoemd is zal er alleen maar gekeken worden naar de parameter vocht. Het onderzoek zal gefocust zijn op de mogelijkheden van de APW. Dit bevat de onderdelen van het ontvangst van de grondstoffen tot het vervoeren van het asfalt naar de constructie.

1.5 Onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is zoals deze in paragraaf 1.3 is geformuleerd: De impact van verschillende maatregelen die de CO₂-emissie als gevolg van vocht kunnen reduceren expliciet maken en op basis hiervan een concrete aanbeveling te formuleren voor de beste vervolgstap voor de APW in het reduceren van CO₂-emissie met betrekking tot de parameter vocht. Om deze doelstelling te bereiken is er één hoofdvraag geformuleerd:

“Welke vocht-reducerende maatregel heeft het meeste impact op de CO₂-emissie in het asfaltproductieproces van de APW?”

Om deze hoofdvraag te beantwoorden zijn er een aantal deelvragen opgezet. Het asfaltproductieproces bestaat uit vele onderdelen. Ten eerste is het van belang dat er voldoende kennis wordt verschaft over het proces en hoe vocht het proces beïnvloed. Specifieker nog, hoe het proces op de APW in zijn werk gaat.

Dit leidt tot de volgende deelvragen:

1. **Op welke manier heeft vocht invloed op de het asfaltproductieproces?**
 - 1.1. **Hoe gaat het asfaltproductieproces op de APW in zijn werk?**
 - 1.2. **Hoe vindt er vochtintrede plaats in het proces?**
 - 1.3. **Wat zijn de gevolgen van vochtintrede?**
 - 1.4. **Hoe kan vocht meetbaar gemaakt worden?**
 - 1.5. **Wat is de optimale waarde van de parameter vocht?**

Wanneer er een goed beeld is verschaft over het proces en de parameter vocht zal er gekeken worden naar de verschillende maatregelen die de parameter vocht kunnen beïnvloeden.

2. **Welke maatregelen tegen vochtintrede in het asfaltproductieproces zijn er bekend?**
 - 2.1. **Welke maatregelen zijn bekend bij de APW?**
 - 2.2. **Welke maatregelen zijn er nog meer?**

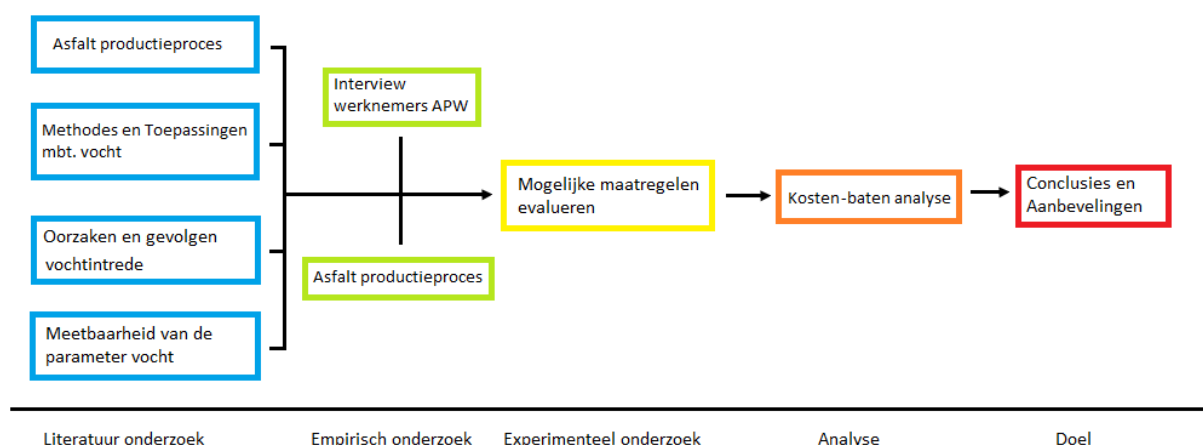
Na het beantwoorden van deze vragen zijn de mogelijke maatregelen bekend en kan er gekeken worden naar de kosten efficiëntie van de maatregelen.

3. **Wat zijn de kosten en baten van deze maatregelen?**
 - 3.1. **Wat zijn de kosten van de maatregelen?**
 - 3.2. **Hoeveel zullen de maatregelen besparen op de CO₂-emissie kosten?**

De antwoorden van deze deelvragen zullen de weg funderen naar het antwoord op de hoofdvraag.

1.6 Onderzoeksmethodiek

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden en het doel te bereiken is er een onderzoeksmodel opgezet. Het onderzoeksmodel creëert een overzicht van de stappen die gezet moeten worden tijdens het onderzoek. Het model wordt geïllustreerd in figuur 1.



Figuur 1 Onderzoeksmodel (Doorewaard & Verschuren, 2007)

Het model is gebaseerd op de richtlijnen van Doorewaard & Verschuren (2007).

De start van het onderzoek bestaat uit een literatuuronderzoek. In het literatuuronderzoek zal er gekeken worden naar vier onderwerpen. Ten eerste wordt er gekeken naar het asfalt-productieproces. In de literatuur zal gezocht worden naar het asfalt productieproces in het algemeen. Deze kennis zal in de volgende fase vergeleken worden met het asfaltproductieproces op de APW zelf. Hiermee kan antwoord gegeven worden op deelvragen 1.1 en 1.2. Tijdens het literatuuronderzoek naar de oorzaken en gevolgen van vochtintrede zal er gezocht worden naar antwoorden op de deelvragen 1.2 en 1.3. In het literatuuronderzoek naar de meetbaarheid van de parameter vocht zal er gekeken worden naar methodes waarmee vocht meetbaar gemaakt kan worden en naar de waarde van het vochtgehalte waar het asfalt productieproces efficiënt werkt. In het literatuuronderzoek naar de methodes en toepassingen zal er gezocht worden naar mogelijke maatregelen die het vochtgehalte in het proces kunnen verlagen.

In het volgende onderdeel van het model zal er empirisch onderzoek uitgevoerd worden. In dit empirisch onderzoek zal er een interview afgenomen worden bij de werknemers van de Asfalt Productie Westerbroek. Zij kennen het proces het beste en die kennis kan het onderzoek ondersteunen. In het interview zal vooral gevraagd worden naar eerdere ervaringen met vocht reducerende methodes, fases in het proces waar de meeste mogelijkheden zijn en welke factoren belangrijk zijn bij de evaluatie van verschillende maatregelen. Met de interviews zal getracht worden de deelvragen 1 en 2.1 te beantwoorden. Daarnaast zal er in het empirisch onderzoek aandachtig worden gekeken naar het asfalt productieproces op de APW zelf. Deze kennis zal samen met het literatuuronderzoek worden gebruikt om de deelvragen 1.1 en 1.2 te beantwoorden.

De volgende stap in het onderzoek zal een experimenteel onderzoek zijn. Dit onderdeel zal naar verwachting de meeste tijd in beslag nemen van het onderzoek. Hier zullen de gevonden maatregelen getest worden. Ze zullen getest worden op de toepasbaarheid van de maatregelen, de invloed van de maatregelen op de parameter vocht, de invloed van de maatregelen op de CO₂-emissie en de kosten van de maatregelen. Daarnaast is het mogelijk dat uit de interviews nieuwe factoren naar voren komen waar de maatregelen op getest kunnen worden. Na het experimenteel onderzoek kunnen deelvragen 3.1 en 3.2 beantwoord worden.

Vervolgens zullen de onderzochte maatregelen tegenover elkaar gezet worden in een kosten-batenanalyse. In deze analyse zullen de nadelen (kosten) afgewogen worden tegenover de voordelen van elke mogelijkheid. Vervolgens zal uit de analyse volgen hoeveel impact de maatregel heeft op de CO₂-emissie en hoe voordelig de maatregel is om toe te passen.

Ten slotte zullen conclusies getrokken worden aan de hand van de analyse en zal er een aanbeveling worden geformuleerd ter afronding van het onderzoek.

1.7 Leeswijzer

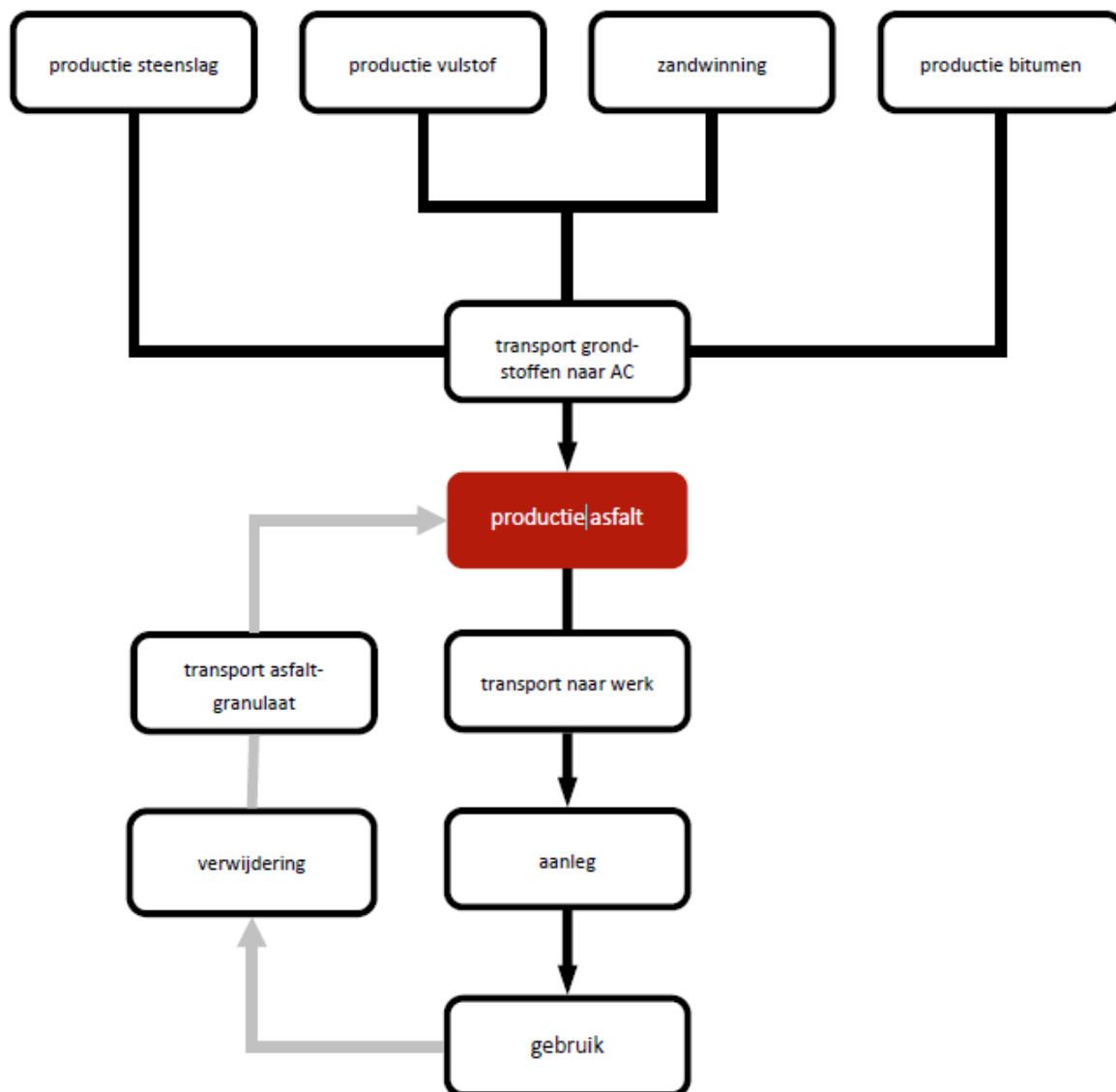
Dit rapport is opgedeeld in acht hoofdstukken, waarin hoofdstuk één de inleiding is op het onderzoek. In hoofdstuk twee zal ingegaan worden op het asfalt productieproces. In hoofdstuk drie wordt verder gegaan op vochtintreding in het proces, de manieren waarop dat gebeurt en de gevolgen daarvan. In hoofdstuk vier worden de verscheidene maatregelen van vochtreductie besproken. Vervolgens zal in hoofdstuk vijf alle observaties en bevindingen over de maatregelen worden doorgedaan. In hoofdstuk zes worden deze observaties en bevindingen geanalyseerd en afsluitend zullen in hoofdstuk zeven en acht de conclusies uit de analyse en de aanbevelingen gepresenteerd worden.

2. Het asfaltproductieproces

Alvorens er gezocht kan worden naar oplossingen voor de probleemstelling zal allereerst het onderzochte proces doorgrond moeten worden. De geformuleerde probleemstelling vindt plaats bij de Asfalt Productie Westerbroek. De oorzaak en de gevolgen van de probleemstelling hoeven echter niet alleen bij de APW te liggen. In dit hoofdstuk zal er gekeken worden naar de productieketen, het productieproces en de gebruikte grondstoffen in het asfaltproductieproces.

2.1 De productieketen

De productie van asfalt is een onderdeel van de volledige levenscyclus van asfalt. In figuur 2 is de gehele productieketen van asfalt weergegeven.



Figuur 2 Positie APW in de asfalt keten (Oosterhof holman beheer BV, 2017)

De productie van asfalt bevindt zich in het midden van het figuur. Boven de asfaltproductie bevinden zich de bronnen van nieuwe grondstoffen die worden gebruik voor het creëren van asfalt. Onder het productieproces bevindt zich de levenscyclus van het asfalt zelf. Vrijwel al

het asfalt in Nederland kan volledig hergebruikt worden in het produceren van nieuw asfalt. Het asfalt dat hier niet onder valt is het teerhoudend asfalt (TAG). Teer wordt sinds de jaren tachtig niet meer gebruikt in het produceren of herstellen van asfalt (CROW, 2010). Al het overige asfaltgranulaat dat vrij komt zal terug komen in de asfaltketen.

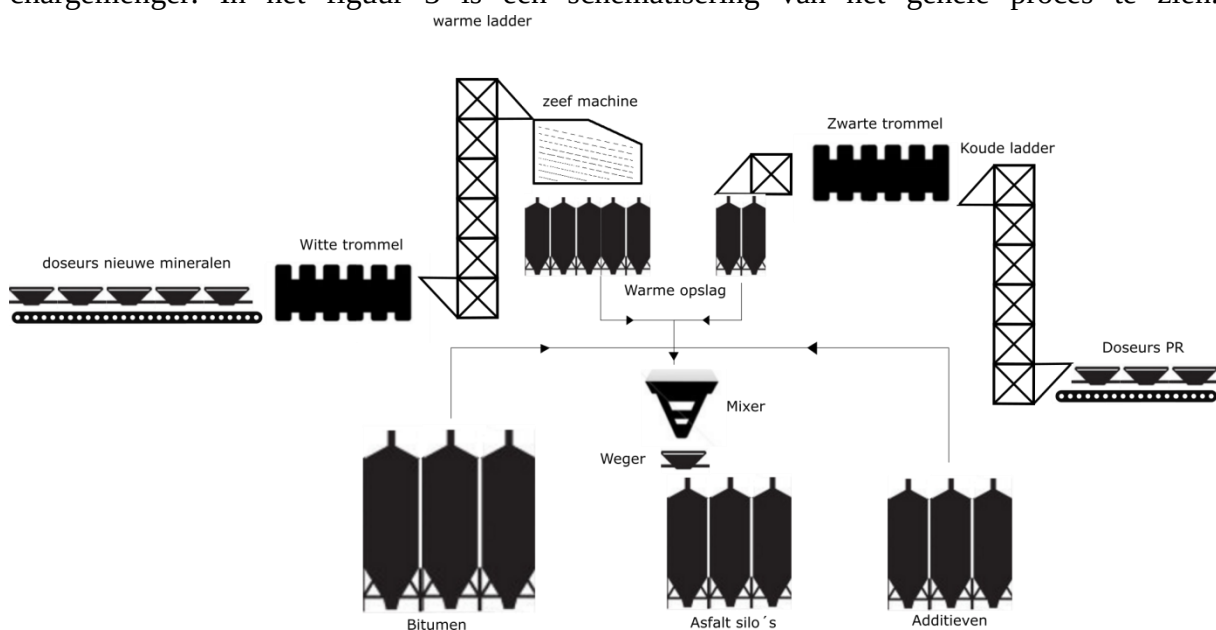
In figuur 2 wordt duidelijk dat de APW materialen ontvangt vanuit meerdere bronnen. Deze worden allemaal in de asfaltproductie verwerkt en meegegeven voor transport naar de bouwplaatsen. De geleverde materialen kunnen vocht bevatten die ingetreden is bij een van de verscheidene bronnen. De APW heeft echter geen invloed op het winningsproces. Om alle mogelijke maatregelen binnen de APW te weten te komen zal daarom dieper worden ingegaan op het proces dat op het terrein zelf plaatsvindt.

2.2 De ontvangst van materialen

De verschillende materialen die de APW nodig is voor de productie van asfalt worden geleverd door verschillende transportbedrijven. Met ieder van deze transport bedrijven heeft de APW een contract afgesloten, met uitzondering van de leverancier van mengzand, met daarin alle overeenkomsten en voorwaarden. Bij levering wordt de vrachtwagen gewogen bij aankomst en bij vertrek. Een van die voorwaarden is het maximale vochtgehalte van het geleverde product. Dit maximum verschilt per materiaal en ligt tussen de 3% en 6% vocht. Bij elke levering wordt het product hierop getest door de laboranten. Dit wordt gedaan middels een nat-droog analyse. Bij een te hoge vochtgehalte wordt dit achteraf verrekend met de leverancier. Het geleverde product wordt gestort in een materiaalbunker. Hier zal het product liggen tot het gebruik in het productieproces.

2.3 Het productieproces

Op de APW wordt er gewerkt met een discontinu systeem in combinatie met een chargemenger. In het figuur 3 is een schematisering van het gehele proces te zien.



Figuur 3 Schematisering asfaltproductieproces

Er zijn twee productielijnen die parallel aan elkaar werken. Een productielijn voor de nieuwe mineralen en een productielijn voor het PR asfalt. Beide productielijnen beginnen bij de bevoorrading. Mineralen en PR asfalt worden met een shovel in de doseurs geladen. De doseurs wegen de materialen af volgens het ingestelde recept en deponeren het op de lopende band. Bij de productielijn voor nieuwe mineralen worden de verschillende mineralen samen op een lopende band vervoerd naar de witte verbrandingstrommel. In deze trommel wordt het vocht uit de mineralen verdampt en worden de mineralen op temperatuur gebracht. Vervolgens wordt het proces omhoog verplaatst via een bekerelevator (warme ladder). Deze werkt als een lift voor de mineralen en brengt ze naar een hoogte van rond de 36 meter. Eenmaal boven worden de mineralen losgelaten in een sorteermachine die door middel van zeven met verschillende maaswijdtes gescheiden wordt in fracties. Deze worden op temperatuur gehouden in warmmineraalbunkers.

De productielijn van het PR asfalt heeft een andere route. Het PR wordt eerst in de hoogte vervoerd door de koude ladder. Vervolgens zal het PR uit de ladder de zwarte trommel in gaan. Hier wordt het asfaltgranulaat verhit tot een temperatuur van maximaal 120°C. Deze temperatuur mag niet hoger zijn door de bitumen die het asfalt nog bevat. Deze zullen smelten of zelfs vlam vatten in de zwarte trommel wanneer deze te heet worden. Doordat het PR op een lagere temperatuur gedroogd moet worden bepaald het PR de snelheid van het gehele droogproces. Hoe lager de temperatuur in de droogtrommel is hoe trager het materiaal gedroogd wordt. Na de zwarte trommel zal ook het PR in warmhoudbunkers opgeslagen worden.

De volgende stap in het proces is het samenstellen en het mengen van het asfalt. Hiervoor worden de mineraalfracties, het PR, de additieven en de vulstoffen afgewogen volgens recept en samen vermengt. Tenslotte wordt het eindproduct weer afgewogen ter controle en meegegeven aan het asfalttransport van de klanten.

Het gehele proces draait om het drogen van de materialen voordat het gemengd wordt tot asfalt. Daarom is het van belang om te weten welke materialen gebruikt worden en waar ze voor dienen in het asfaltmengsel.

2.4 De grondstoffen

Asfalt is een mengsel dat bestaat uit verschillende mineralen, PR en bitumen. Afhankelijk van het gebruik van het asfalt kan het recept aangepast worden om de eigenschappen van het asfalt af te stemmen op de functie. In deze paragraaf zal uitgebreid worden ingegaan op de verschillende materialen die gedroogd moeten worden voordat het meegenomen wordt in het asfalt en in het bijzonder het PR asfalt. Dit asfalt heeft andere eigenschappen die het vereisen een aparte drooglijn te gebruiken.

2.4.1 Mineralen

De mineralen die gebruikt worden zijn te onderscheiden door de verschillende groottes die de mineralen hebben. De verdeling van de mineralen is te zien in tabel 1. De verhouding van de verschillende mineralen in een asfaltmengsel is afhankelijk van het recept dat gebruikt wordt.

Steen en zand vormen het skelet van het asfalt. De eigenschappen van het skelet worden bepaald door de samenstelling van de mineralen. De eisen die worden gesteld aan beide toeslagmaterialen staan gespecificeerd in NEN-EN 13043 en NEN 6240. Hierin staan de normen voor de verschillende eigenschappen zoals de korrelvorm, de hardheid en het aandeel gebroken oppervlak. Aan de herkomst van de mineralen wordt geen eis gesteld. De eisen zijn gericht op de functionele eigenschappen van de mineralen.

Grootte	Categorie
>2 mm	Grof toeslagmateriaal (Steen of grind)
63 µm - 2 mm	Fijn toeslagmateriaal Zand
<63 µm	Vulstof

Tabel 1 Verdeling mineralen (CROW, 2010)

Het grove toeslagmateriaal wordt ingedeeld op basis van een korrelverdeling. De verdeling bestaat uit nominale graderingen. De getallen representeren de kleinste en de grootste diameter van de korrel in millimeters. De productieverdeling is als volgt: 2/5, 4/8, 8/11, 11/16, 16/22. De mengverdeling is een combinatie van verschillende productiegraderingen en bestaat uit de graderingen 2/8, 4/11, 8/16, 4/16, 4/22, 4/32 en 16/32.

Het fijne toeslagmateriaal wordt niet ingedeeld op basis van een korrelverdeling. Echter is de korrelverdeling wel van belang voor het asfaltmengsel, maar wordt dit de ‘fijnheid’ van het zand genoemd. De fijnheid van zand is de gemiddelde korrelafmeting. Het bepaald mede in welke mate het zand wordt omvat door de bitumen, wat invloed heeft op de verwerkbaarheid en de duurzaamheid van het asfalt.

Als laatst volgt de vulstof. De vulstof heeft een aantal functies in het asfaltmengsel. Het vult de kleinste holle ruimtes op in het asfaltmengsel. Daarnaast bepaalt de samenstelling van de bitumen en de vulstof de hechting van het samen genoemde mortel. Ten slotte zorgt de vulstof ook voor een verhoogde viscositeit van het mortel, wat vervolgens weer zorgt voor een hogere homogeniteit zorgt van het asfalt mengsel.

2.4.2 PR asfalt

PR asfalt, ook wel bekend als asfaltgranulaat, heeft een eigen productielijn. PR asfalt wordt sinds de jaren zeventig steeds meer gebruikt in de productie van nieuw asfalt. Het gebruik van PR asfalt in een mengsel kan variëren van 50% tot 90%. Dit is mogelijk doordat asfalt tijdens zijn levenscyclus vrijwel niet veranderd van eigenschappen waardoor het zeer geschikt is voor hergebruik. De bitumen die het PR asfalt bevat, kan door verhitting zijn viskeuze eigenschappen terugkrijgen. Hierdoor kan het PR asfalt eenvoudig verwerkt worden in combinatie met nieuwe mineralen. PR asfalt heeft echter een aparte productielijn nodig, omdat het PR anders reageert op hitte dan de nieuwe mineralen.

Bij te hoge temperaturen zal de bitumen smelten of zelfs verbranden en hierdoor onbruikbaar worden. Daarom mag de zwarte trommel het PR niet hoger dan 120 °C verwarmen. Het debiet van de zwarte trommel is hierdoor lager dan de witte trommel en is daarom leidend in productieproces.

Uit het onderzoek naar het asfaltproductieproces kan geconcludeerd worden dat het gehele proces vanaf ontvangst van de materialen tot aan de droogovens van belang zijn voor het onderzoek naar CO₂-reductie. De APW heeft geen invloed op de winning van de materialen voorafgaand aan de ontvangst en na de droogovens wordt er geen energie meer gebruikt om het vocht in de materialen te verdampen. Daarnaast zal er naar elk materiaal apart gekeken moeten worden, omdat ieder materiaal een eigen bunker heeft. Ten slotte moet er in het bijzonder naar de maatregelen gekeken worden voor het vochtgehalte in het PR. Bij asfalmengsels die PR bevatten bepaald het vochtgehalte in het PR de productiesnelheid.

3. Vochtintrede

Nu het productieproces verduidelijkt is kan er gekeken worden naar het vocht in het proces. Door dieper in te gaan op de vochtintrede in het proces kan er gekeken worden naar specifieke oplossingen voor het. Eerst zullen de manieren van vochtintrede onderzocht worden. Vervolgens zal er worden gekeken naar de gevolgen van vochtintrede. Afsluitend van dit hoofdstuk wordt er gekeken naar de meetbaarheid van vocht. Door middel van een literatuur onderzoek en interviews met de medewerkers van de APW is er kennis verworven over het vocht in het proces.

3.1 Manieren van vochtintrede

Om de manieren van vochtintrede te bepalen is er gekeken naar de productieketen. Deze is van boven naar beneden tot aan de productie van het asfalt doorgelopen en per onderdeel is gekeken naar de mogelijkheden die vocht heeft om in het proces komen. Het vervolg van de keten na de asfaltproductie is voor dit onderzoek niet relevant, omdat na de aflevering aan de klant het proces uit handen gaat van de APW.

Er zijn vier manieren van vochtintrede gevonden in verschillende stappen van het productieproces. De eerste twee manieren vinden plaats tijdens de winning van de mineralen. Bij de winning van de grove toeslagmaterialen wordt water gebruikt om de mineralen schoon te spoelen. Dit is nodig om de kwaliteit te verkrijgen conform aan de normen. Bij de winning van het fijne toeslagmateriaal is de infiltratie van water een gevolg van de bron. Het zand wordt veelal gewonnen uit meren en grote rivieren (CROW, 2010).

De derde manier van vochtinfiltratie vindt plaats tijdens het transport. De APW maakt gebruik van transport via waterwegen. Boten maken gebruik van water in het ruim, waar de aggregaten liggen, om de boot de juiste diepgang te geven. Wanneer dit voorkomt is er contact tussen het water in het ruim en de aggregaten. Hierdoor zal het vochtgehalte van de aggregaten stijgen.

De laatste manier is door het weer. De grondstoffen staan in vele stappen in de productieketen blootgesteld aan het weer en hiermee dus ook aan neerslag. De winningslocaties zijn niet overdekt. Het transport per boot is veelal niet overdekt. Daarnaast is de opslag van de grondstoffen op de asfaltcentrale ook niet overdekt.

3.2 Gevolgen van vochtintrede

In het proces kunnen twee situaties ontstaan ten gevolge van vochtintrede. In de ideale situatie zou er na het drogen geen vocht in de materialen over blijven. De vochtintrede zorgt voor een hoger vochtgehalte, wat betekent dat meer vocht de droogovens in gaat. Om al het vocht uit de materialen te verdampen is er meer energie nodig. Deze energie wordt opgewekt door gasverbranding. Meer vocht resulteert in een hoger gasverbruik en tevens een hogere uitstoot. In deze situatie is het gevolg van vochtintrede alleen economisch en milieu technisch.

De andere situatie die voor kan komen is wanneer er vocht in de materialen overblijft en het wordt meegenomen in de vervolgstappen van het proces. In dit geval zal het gevolg van de vochtintrede, naast de reeds genoemde gevolgen, tevens kwalitatief zijn. Het vocht zal zorgen

voor een minder goede binding tussen de materialen en de bitumen, omdat de mineralen en bitumen hydrofoob zijn. Hierdoor zal het gemengde asfalt minder homogeen worden. Daarnaast zal de levensduur van het asfalt korter worden, omdat het vocht de oorzaak kan zijn van ‘stripping’. Dit is scheurvorming in het asfalt door uitzetting en inkrimping van het vocht door het vriezen en dooien (Caro, Masad, Bhasin, & Little, 2017; Ra, Othman, & Valentin, 2015).

3.3 Meetbaarheid van vocht

Wanneer er gekeken wordt naar vocht in een materiaal wordt er vrijwel altijd terug gevallen op het ‘vochtgehalte’ van het materiaal. Dit is de ratio tussen de massa van het vocht in het materiaal en de massa van het materiaal zelf. Het vochtgehalte is makkelijk te controleren door middel van een nat-droog meting. Hierbij wordt een monster van het materiaal eerst nat gewogen, vervolgens gedroogd en opnieuw gewogen. Uit deze metingen volgen de massa van het vocht en het materiaal, waarna het vochtgehalte berekend kan worden. Deze methode wordt niet alleen in de civiele techniek gebruikt, maar ook in de farmacie en chemie. Echter is deze techniek tijdrovend en kan het verhitten het monster aantasten.

Om het vochtgehalte van materialen op een andere manier te verkrijgen worden er steeds meer sensoren ontwikkeld voor gebruik in de verschillende werkvelden. Zo zijn er sensoren ontwikkeld die gebruik maken van bijvoorbeeld microgolf energie (Karekar et al., n.d.), near infrared (NIR), elektrische weerstand (Mahony, Murphy, Panduru, Riordan, & Walsh, 2016) of inductor condensators (Ong et al., 2008). De sensoren zullen in een later stadium van dit onderzoek geëvalueerd worden als maatregel voor het probleem ter hand.

Naast sensoren zijn er ook andere methodes om het vochtgehalte te bepalen. De calcium carbide methode laat het vocht reageren met calciumcarbide in een drukkamer. Hierbij ontstaat een gas die de druk verhoogt in de kamer. Aan de hand van het drukverschil kan het vochtgehalte bepaald worden. Deze methode is echter alleen te gebruiken bij fijne aggregaten, omdat de calcium carbide vooral zal reageren met het vocht dat aan de buitenkant van het aggregaat bevindt.

Aan de hand van de bewezen technieken kan aangenomen worden dat het vochtgehalte goed te bepalen is in de mineralen en PR. Het vochtgehalte waar naar gestreefd wordt in het proces verschilt per bron. Uit de interviews uitgevoerd in opdracht van dit onderzoek variëren de antwoorden tussen ‘zo laag mogelijk’ en ‘2%-3%’. Uit de praktijk blijkt dat voor zand een hoger percentage geaccepteerd wordt, omdat het vochtgehalte van zand daalt relatief snel met de tijd.

Uit eerdere interviews uitgevoerd door M. Galesloot (2015) blijkt dat de percentages tussen de 1,5% en 5% liggen. Echter komt daarin naar voren dat het verschilt per mineraal. Zo wordt er bij de PR zo laag mogelijk gewenst, bij steenslag tussen de 1% en 2% en voor zand maximaal 5%. Daartegenover staat dat er altijd vocht aanwezig moet zijn bij het droogproces. Dit heeft de reden dat vochtige lucht warmte beter geleid, wat een positieve invloed heeft op het proces. Alle interviews samen genomen kan de streefwaarde van het systeem op een vochtgehalte van 2% aangenomen worden.

Er kan geconcludeerd worden dat de stijging van het vochtgehalte door vochtintrede een negatief effect heeft op het productieproces. De stijging van het vochtgehalte heeft negatieve gevolgen op de economische, milieu technische en mogelijk kwalitatieve zijdes van het proces. Het vochtgehalte waar naar gestreefd moet worden in het proces is een vochtgehalte van 2%. In het volgende hoofdstuk zal naar maatregelen gekeken worden op de eerder genoemde manieren van vochtintrede.

4. Maatregelen

In hoofdstuk drie zijn verschillende manieren van vochtintrede gevonden. In dit hoofdstuk zullen er per bron van vocht maatregelen voorgesteld worden, afgeleid uit de interviews en het literatuur onderzoek. Deze maatregelen zullen in het vervolg van het onderzoek geëvalueerd worden.

4.1 Contractuele eisen

Het eerste moment dat vocht in het proces kan infiltreren is bij de winning van de nieuwe mineralen. Op de methode van winning heeft de APW geen invloed, maar de APW mag wel eisen stellen aan de producten die bij hen geleverd worden. Er zijn contracten opgesteld met elke partij die levert aan de APW. In deze contracten staan alle afspraken en voorwaarden die zijn gemaakt tussen beide partijen. Hierin kunnen ook voorwaarden opgenomen worden omgaande het vochtgehalte in de materialen.

De APW heeft reeds randvoorwaarden gesteld aan het vochtgehalte in de materialen en deze opgenomen in een aantal van de contracten met de leveranciers. Voor het brekerzand is een randvoorwaarde van een vochtgehalte van 6% gesteld. Voor al het steenslag is er een randvoorwaarde van 3% gesteld. Voor al het freesasfalt is er een randvoorwaarde van 4% gesteld. Het enige contract waar geen randvoorwaarde in verwerkt staat is het contract met de leverancier van het mengzand.

4.2 Overkappen

Tijdens de levering worden de materialen in een bunker gelost. Deze bunkers liggen in de buitenlucht op het terrein van de APW. De bunkers bestaan alleen uit muren om de verschillende materialen van elkaar te scheiden. In deze situatie heeft het weer vrij spel over de materialen. Bij veel zonlicht kan het vochtgehalte minimale waardes bereiken, maar de materialen zijn ook niet beschermd tegen neerslag. Neerslag is de voornaamste reden van de stijging in het vochtgehalte van de materialen. Een maatregel tegen neerslag zou een overkapping kunnen zijn. Alle materiaalbunkers overkappen is een grote investering en zal om die reden niet realistisch zijn. Daarom zal er verder onderzocht moeten worden welke materialen een hogere prioriteit hebben voor een overkapping. Daarbij wordt ook rekening gehouden met het feit dat de overkapping geen dragende functie nodig heeft, maar puur is bedoeld om neerslag tegen te gaan.

4.3 Ophogen

Al jaren liggen de materialen op dezelfde plekken en dat heeft zijn tol geëist van de ondergrond. De locaties waar de materialen op liggen zijn lager geworden door het gewicht van de materialen zelf. Hierdoor zal bij regenval het water de bunkers in stromen. Om dit tegen te gaan zouden de bunkers opnieuw opgehoogd kunnen worden.

4.4 Sensoren

Wat opvalt in het proces is dat er alleen bij ontvangst het vochtgehalte wordt gemeten. Na dit moment zal het vochtgehalte van de materialen nog erg fluctueren. Het is erg tijdrovend werk om het vochtgehalte te achterhalen door middel van een nat-droog meting. Hierin zouden sensoren die het vochtgehalte een uitkomst kunnen bieden. In de onderzoeken (Mahony et al., 2016; Ong et al., 2008) zijn verschillende sensoren onderzocht op de toepassingen in het meten van vocht. Zij concluderen dat er verscheidene sensoren geschikt zijn in het constateren van het vochtgehalte, zowel voor statisch gebruik als ‘in-line’ (op de lopende band).

Uit de interviews is gebleken dat de beste locatie voor plaatsing van dergelijke sensoren de lopende band van de doseurs naar de branders is. Vanaf dit moment zal het vochtgehalte niet meer veranderen alvorens het de branders in gaat. De informatie die de sensoren verschaffen zou gebruikt kunnen worden bij het afstellen van de branders bij opstart en tijdens het drogen.

4.5 Voordrogen

Een laatste mogelijkheid om het vochtgehalte te verlagen voordat de materialen de droogovens in gaan is het voordrogen. Het preventief drogen van de materialen is mogelijk door droge of warme lucht door de bunkers te blazen. Daarnaast kan het materiaal ook een lager vochtgehalte krijgen met de tijd. Door het materiaal langer te laten liggen voor gebruik geeft dat de tijd voor het vocht om weg te zakken of te verdampen. Voor beide opties zijn echter wel overdekte bunkers nodig.

Van de vijf gevonden maatregelen is de overkapping van de materialen de meest voorgestelde maatregel. Hier wordt van verwacht dat deze het meeste impact zal hebben op het vochtgehalte en de CO₂-emissie. Dit staat gelijk aan mijn verwachtingen, omdat neerslag een van de grootste bronnen van vocht is en dit een directe maatregel daartegen is. Of alle gevonden maatregelen toepasbaar zijn op de APW zal onderzocht worden in het volgende hoofdstuk.

5. Observaties

De maatregelen die in het vorige hoofdstuk geïntroduceerd zijn, hoeven niet allemaal voordelig te zijn in de situatie van de APW. Om de maatregelen te kunnen evalueren zal er eerst gekeken moeten worden hoe de maatregelen van invloed zullen zijn op de huidige situatie.

5.1 Toepasbaarheid

De contractuele eisen worden reeds toegepast met uitzondering bij de levering van het mengzand. De laboranten meten bij elke levering het vochtgehalte van de materialen. In bijlage B zijn de meetresultaten van januari tot juni te zien. Hieruit wordt duidelijk dat het vochtgehalte van de verschillende steenslagen gemiddeld lager liggen dan de randvoorwaarden. Echter is dit bij het brekerzand niet het geval. Bij brekerzand ligt de randvoorwaarde op 6% vochtgehalte. Uit de gegevens kan gehaald worden dat er gemiddeld met een vochtgehalte van 7.1% geleverd wordt, met een standaard deviatie van 0,7%. Dit wordt op het moment alleen verrekend met geld. Dit lost het financiële probleem op, maar het milieutechnische probleem niet. Het vocht moet nog steeds uit het zand gestookt worden. De contractuele eisen zorgen er alleen maar voor dat de APW financieel gecompenseerd wordt, als het vochtgehalte de randvoorwaarde overschrijdt.

De overkappingen zijn toepasbaar op elke bunker die op het terrein ligt. De overkappingen zullen ervoor zorgen dat neerslag geen invloed meer zal hebben op de materialen op het moment dat de materialen er onder liggen. Een investering van een overkapping heeft een afschrijvingstermijn van 20 jaar (Decentrale overheid, 2017). Waar rekening mee gehouden moet worden is dat de overkapping een hoogte moeten hebben van minimaal 13 meter (Kristel, 2016). Dit in verband met het storten van de materialen. Om het effect van de overkappingen op het productieproces te weten zal getest moeten worden in welke mate het vochtgehalte in de materialen zal dalen na de toepassing van de overkappingen.

Ophogen van de bunkers zal ervoor zorgen dat de bunkers niet meer vol lopen met water bij neerslag en zal hiermee de uitzakking van water door de materialen verbeteren. Echter zal dit vooral invloed hebben op het vochtgehalte van de materialen die onderin de berg liggen. In de praktijk wordt het materiaal dat onderin de berg zit vrijwel niet gebruikt, omdat de shovel nooit helemaal van onderin de berg schept. De eerste meter van de grond naar boven blijft meestal ongeroerd. In het vervolg van dit onderzoek zal er niet verder worden ingegaan op deze maatregel, omdat het als losstaande maatregel minder invloed heeft dan andere maatregelen.

Sensoren zijn op meerder plekken in het proces te plaatsen. Zo kunnen de sensoren in de bunkers geplaatst worden om continu het vochtgehalte per materiaal voorafgaand aan het productieproces te meten. Ook kunnen de sensoren na de droogovens geplaatst worden om het restvocht te meten. Maar de plek waar de sensoren het meest waardevol zijn in het proces zal direct voor de droogovens zijn. Hier zullen de sensoren het vochtgehalte kunnen meten van de materialen op de lopende band vlak voordat ze de droogoven ingaan. Deze informatie kan gebruikt worden om de droogoven juist af te stellen. Hier is de meeste winst te halen bij het opstarten van het systeem. In de huidige situatie wordt bij het opstarten de oven hoger gezet

dan nodig om te garanderen dat al het vocht in de materialen verdampt. Aan de hand van de temperaturen van het uitkomende materiaal worden de ovens verder afgesteld. Met de nieuwe informatie die de sensoren kunnen verschaffen hoeft er niet meer te hoog gestookt te worden bij het opstarten van het systeem. Bij het opstarten worden de branderstand van de droogovens op 60% capaciteit gezet. Hoeveel kubieke meter gas hiermee teveel gebruikt wordt is lastig te bepalen, omdat er meer factoren hier invloed op hebben dan alleen het vochtgehalte en de branderstand.

Het voordrogen van de materialen kan op twee manieren, het natuurlijke voordrogen of het thermische voordrogen. Het natuurlijke voordrogen wordt reeds gedaan in het bijzonder bij het brekerzand. Door de materialen een tijd op het terrein te laten liggen voor gebruik geeft dat de kans voor het vocht om of te verdampen of om uit te zakken. Het thermische voordrogen kost in tegenstelling tot de natuurlijke manier energie. Door de bunkers te verwarmen of droge lucht over de materialen te blazen kan het vochtgehalte verlaagd worden. Deze technieken zijn te vergelijken met de droogovens zelf, maar zullen minder rendabel zijn omdat er veel warmte verloren zal gaan aan de omgeving. Dit komt doordat het in tegenstelling tot de droogovens niet in een gecontroleerde omgeving wordt uitgevoerd.

De contractuele eisen en het natuurlijk voordrogen worden reeds toegepast. Van de maatregelen die nog niet gehanteerd worden zal er in dit onderzoek verder gekeken worden naar de maatregel overkappingen en sensoren. Het ophogen zal alleen invloed hebben in combinatie met de overkapping en het mechanisch voordrogen zal minder rendabel zijn dan het alleen drogen in de droogovens.

5.2 Meetmethode

De methode die op de APW gebruikt wordt om het vochtgehalte te bepalen is een nat-droog analyse. Dit is onderdeel van proef 8 beschreven in de RAW bepalingen. Hierbij wordt het monster eerst gewogen. Dit gewicht wordt genoteerd als nat gewicht. Vervolgens wordt het monster door middel van een droogstoof, brander of magnetron gedroogd. Vervolgens zal het gedroogde monster gewogen worden als droog gewicht. Het verschil tussen het natte en droge gewicht bepaalt hoeveel vocht zich in het monster bevond. De monsterneming van de proef wordt gedaan door de voorbereiding van proef 11 uit te voeren, conform aan NEN-EN 12697-14. Een uitgebreide omschrijving van de proef is te vinden in bijlage C.

Om de invloed van neerslag op de materialen te bepalen is er informatie nodig van het vochtgehalte na neerslag. Aangenomen dat de standaard deviatie van het vochtgehaltes 1 is en de gewenste nauwkeurigheid 0,1% is zijn er honderd metingen nodig. Dit zou betekenen dat er op honderd verschillende dagen het vochtgehalte van elke materiaal gemeten moet worden. Het is niet mogelijk om deze hoeveelheid metingen binnen de beschikbare tijd uit te voeren. Om toch een indruk te krijgen van de invloed van neerslag op de vochtgehaltes van de materialen zijn er metingen uitgevoerd na een periode van droogte en na neerslag.

In overleg met de laboranten is er voor gekozen om van de verschillende materialen niet alle korrelgraderingen te meten. Er is voor gekozen om van de steenslagen Bestone en Porfier de gradering 4/8 mee te nemen in de wegingen. Dit is bij beide steenslagen de middelste gradering en ook de meest gebruikte in het proces. De materialen die gemeten zullen worden zijn weergegeven in tabel 2.

Omschrijving
Bestone 4/8
Brekerzand 0/2
Mengzand
Porfier 4/8
PR
Schots Graniet 6/18
Tilrood 4/8.

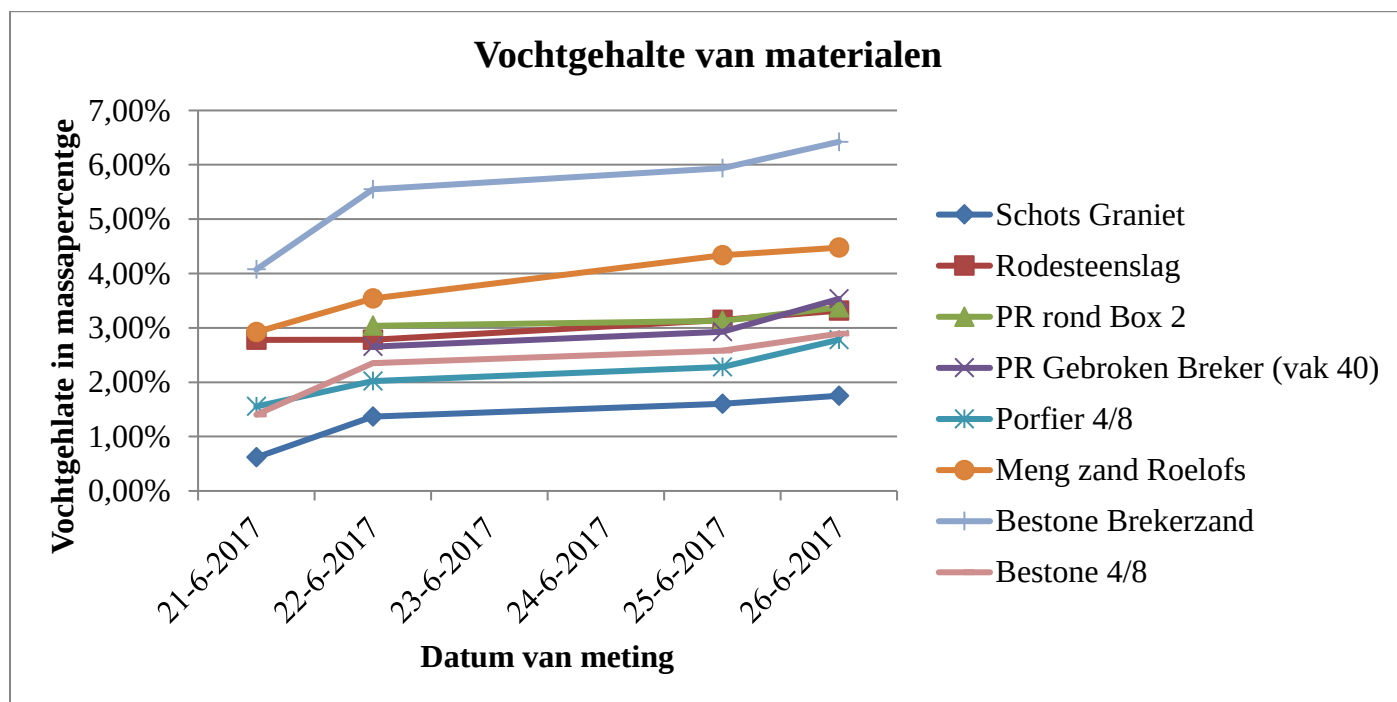
Tabel 2 Gemeten materialen

5.3 Meetresultaten

Er is op vier verschillende dagen gemeten. Op de eerst dag, 21-6-2017, was er een week mooie zonnige dagen gepasseerd. De meting op 22-6-2017 was na een dag regen. De meting op 25-6-2017 was na 4 dagen regen. De meting op 26-6-2017 was na 5 dagen regen. De hoeveelheid regen die op de dagen van meting is gevallen is te zien in tabel 3.

Datum	20-jun	21-jun	22-jun	23-jun	24-jun	25-jun	26-jun
Hoeveelheid regen	0 mm	0 mm	2 mm	6 mm	7 mm	4 mm	7 mm

Tabel 3 Hoeveelheid regen op meetdagen (KNMI, 2017)



Figuur 4 Meetresultaten

In figuur 4 zijn alle metingen te zien van de verschillende materialen. De meetresultaten per materiaal zijn te vinden in bijlage D.

Uit de metingen is te zien dat neerslag na een periode van droogte significante invloed heeft op het vochtgehalte van alle materialen met een gemiddelde stijging van 1% in het vochtgehalte over alle materialen na een dag neerslag. Daarnaast is te zien dat het vochtgehalte blijft stijgen na meerdere dagen van neerslag. Hoeveel invloed deze stijging zal hebben op het asfaltproductieproces zal volgen uit de analyse. Deze metingen zullen gebruikt worden in de analyse van de maatregelen die neerslag gerelateerd zijn, de overkapping en de sensoren.

6. Analyse

Om de mogelijke maatregelen, het overkappen van de materialen en het plaatsen van sensoren, te analyseren is er voor gekozen om een kosten-baten analyse uit te voeren boven de keus van een multicriteria-analyse. In een kosten-baten analyse wordt het verschil tussen de maatregelen absoluut weergegeven, waar er in een multicriteria-analyse gebruik gemaakt wordt van classificaties en prioriteiten. Allereerst zal er gekeken worden naar de kosten en baten van de overkapping, waarna er over wordt gegaan naar de kosten en baten van het plaatsen van sensoren. Hierbij wordt ook gekeken naar de TVT (terugverdient tijd) en de EEV (energie-efficiency verbetering). De EEV staat voor de relatieve besparing op het gasverbruik. De EEV is berekend ter indexering van de energiebesparing wat van belang is voor de MJA-3 (RVO, 2014). Deze is berekend door de hoeveelheid gas dat bespaard wordt door de overkapping te delen door het totale verbruik aan gas van de APW samen met de besparing zelf.

6.1 Overkapping

Uit de meetresultaten is goed te zien dat regen op korte termijn al erg veel invloed kan hebben op het vochtgehalte in de verschillende materialen. Het vochtgehalte kan stijgen tussen de 1% en 3%, afhankelijk van de materiaal. Om de kosten en baten te berekenen zal eerst bepaald moeten worden welke kosten en baten meegenomen zullen worden in de berekening.

Eenzelfde onderzoek is door de BECO groep uitgevoerd bij de asfalt centrales Amsterdam en Rotterdam Rijnmond in opdracht van de RVO (Leeuwenhaag, Krevel, & Heidbuurt, 2012a, 2012b). In hun onderzoek zijn de baten bepaald aan de hand van de geldbesparing op gas door de verlaging van het vochtgehalte. Om dit te berekenen is er een energievergelijking opgesteld waarmee de besparing van vocht wordt omgerekend naar de besparing in energie. Aan de hand van de besparing in energie kan bepaald worden hoeveel kubieke meter gas er jaarlijks wordt bespaard. Vermenigvuldigd met de prijs per kubieke meter gas wordt de jaarlijkse besparing in kosten zichtbaar.

Hetgeen wat in dat onderzoek niet is meegenomen is de uitstoot van het bespaarde gas. Gas dat niet gestookt wordt zal ook geen CO₂ uitstoot opleveren. Wanneer er geen CO₂ wordt uitgestoten zal hier ook geen emissierechten voor gekocht hoeven te worden. Dit zal meegenomen worden in de berekeningen voor de baten van de overkappingen.

Daarnaast is er een mogelijkheid om de investeringskosten te verlagen door middel van de Energie-investeringsaftrek (EIA)(RVO, 2017a) of de Milieu-investeringsaftrek (MIA) (RVO, 2016). De aftrekking is echter niet meegenomen in de berekening, omdat het afhankelijk is van de hoeveelheid aanvragen en het budget voor de aanvragen.

In het onderzoek uitgevoerd door de BECO groep is er gerekend met het gemiddelde vochtpercentage in het materiaal. Uit de meetresultaten van de eigen metingen is het gemiddelde vochtgehalte over het gehele jaar niet te bepalen. Daarom is er voor gekozen om de uiterste gemeten waarden van elkaar af te trekken en in plaats van het gehele jaar alleen de regendagen over het gehele jaar mee te nemen. Volgens het KNMI regent het rond de 145 dagen in het jaar in de omgeving van de APW. (KNMI, 2011) Hier zijn alleen de buien meegenomen met meer dan 1 mm neerslag.

De berekeningen zijn als volgt uitgevoerd:

$$(Vochtgehalte_{na\ regen} - vochtgehalte_{na\ droogte}) * Gebruikte\ massa\ materiaal \\ * 145/365 = besparing\ vocht\ (kg)$$

$$Besparing\ vocht * (verdampingswaarde + c_{water} * (100 - 11.5) + c_{waterdamp} \\ * (200 - 100) = bespaarde\ energie\ (kJ)$$

$$\frac{Besparing\ energie}{31,65 * 1000} = besparing\ gas\ (m^3)$$

$$Besparing\ gas * 0.28 = Besparing\ kosten\ (€)$$

De besparingen op de emissiekosten zijn aan de hand van de eerder berekende besparing van gas te berekenen. De hoeveelheid CO₂ dat wordt geproduceerd bij het stoken van aardgas is 1,788 kg/m³ (SKAO, Stimular, Connekt, Milieu centraal, & Rijksoverheid, 2017). De productie van CO₂ vermenigvuldigd met de prijs van de emissierechten vormt de totale besparingen op CO₂-emissie. De prijs van de emissie rechten zijn in de laatste anderhalf jaar erg gestegen. De meest recente prijs voor de emissierechten ligt rond de €9,00/ton CO₂ (Nederlandse emissieautoriteit, 2016). De meegenomen constanten zijn weergegeven in tabel 4. De gemiddelde ingaande temperatuur is berekend aan de hand van de gemiddelde temperatuur in Nederland (KNMI, 2017) zonder de maanden januari en februari, omdat er in deze maanden niet geproduceerd wordt. De gemiddelde afgas temperaturen zijn afgeleid uit het systeem van de APW.

Constanten	Waarde	Eenheid
Verdampingswaarde van water	2260	kJ/kg
Soortelijke warmte water	4,18	kJ/kg*K
Soortelijke warmte waterdamp	1,94	kJ/kg*K
Kookpunt	100	°C
Gem. ingaande temp.	11,5	°C
Gem. afgas temp. zwarte trommel	180	°C
Gem. afgas temp. witte trommel	200	°C
CO ₂ uitstoot gas	1,788	kg/ m ³
Prijs emissierechten	9	€/ton
Verbrandingswaarde aardgas	31,65	MJ/m ³

Tabel 4 Constanten in de berekeningen

De kosten van de overkappingen zijn berekend door de grootte van de bunkers te bepalen aan de hand van een overzicht van het terrein (bijlage E). Deze afmetingen zijn meegenomen in de berekening van de overkappingen. In bijlage E is te zien dat het terrein meer bunkers bevat dan zijn meegenomen. De bunkers op het terrein bovenin zijn voorraden PR. Deze worden niet direct meegenomen in het productieproces, maar zullen eerst gebroken en/of gezeefde moeten worden voor gebruik. De overige bunkers die niet zijn meegenomen in de berekening bevatten additieven. Deze worden in relatief kleine hoeveelheden gebruik in een asfaltmengsel, waardoor ze niet significant zijn om mee te nemen in het onderzoek.

Voor de kosten per vierkante meter is er gekeken naar verschillende bronnen. Ten eerste is er uit eerder onderzoek gebleken dat een overkapping voor materiaalbunkers tussen de €110,- en de €115,- per vierkante meter zal kosten (Kristel, 2016). Uit de ROEB-lijst, een lijst opgesteld door het college van burgemeester en wethouders waarin alle bouwkosten op basis van de marktprijzen zijn opgenomen, volgt dat een overkapping over de materialen rond de €87,- per vierkante meter zal kosten (College van b&w, 2016). Daarnaast zijn er offertes aangevraagd bij verscheidene aannemers. Daarin variëren de kosten tussen de €65,- en €115,- per vierkante meter afhankelijk van de totale afmetingen van overkapping. In de berekening is de hoogste waarde (€115,00) aangenomen als kosten per vierkante meter. De kosten en de besparingen zijn naast elkaar gezet in Tabel 5. De berekeningen per materiaal zijn terug te vinden in bijlage F.

Omschrijving	Investering	Besparing per jaar	TVT in jaren	EEV	Besparing na 20 jaar
Overkapping PR	€ 383.333,33	€ 14.099,59	27,2	2,9%	€ -101.341,59
Overkapping Bestone	€ 184.000,00	€ 7.415,91	24,8	1,6%	€ -35.681,85
Overkapping Brekerzand	€ 46.000,00	€ 5.032,48	9,1	1,1%	€ 54.649,50
Overkapping Mengzand	€ 46.000,00	€ 4.052,51	11,4	0,9%	€ 35.050,30
Overkapping Graniet	€ 57.500,00	€ 3.670,01	15,7	0,8%	€ 15.900,11
Overkapping Porfier	€ 138.000,00	€ 1.684,92	81,9	0,4%	€ -104.301,68
Overkapping Tilrood	€ 23.000,00	€ 175,60	124,6	0,04%	€ -19.308,90

Tabel 5 Besparing overkappingen

Uit tabel 5 wordt duidelijk dat de overkappingen voor PR en Bestone het meeste impact heeft op de energiehuishouding van de APW. Deze twee maatregelen zijn echter geen voordelige investeringen over de afschrijvingsperiode. De overkappingen voor Mengzand, Brekerzand en Graniet zijn daarentegen wel voordelig. Wat nog ontbreekt in de tabel is de reductie van de CO₂-emissie per overkapping. Deze is lineair aan de besparing per jaar. Ter verduidelijking staan de CO₂-emissie reductie per overkapping weergegeven in tabel 6.

Omschrijving	Besparing per jaar (ton)
Overkapping PR	85,5
Overkapping Bestone	45,0
Overkapping Brekerzand	30,5
Overkapping Mengzand	24,6
Overkapping Graniet	22,3
Overkapping Porfier	10,2
Overkapping Tilrood	1,1

Tabel 6 CO₂-emissie reductie per overkapping

6.2 Sensoren

Sensoren kunnen voor een besparing zorgen bij het opstarten van het systeem. In het huidige systeem is pas na vijf-zes min na de binnenkomst van de eerste materialen bekend wat de eindtemperatuur van het materiaal is. Daarna kan er gereageerd worden op de situatie.

Echter uit een discussie met de machine operators volgde dat er met sensoren in deze situatie niet veel winst te halen is. Er moet meegenomen worden dat de materialen in de doseurs niet direct blootstaan aan de weersomstandigheden, omdat deze reeds overkapt zijn. De materialen zullen dus ongeveer hetzelfde vochtgehalte houden als de dag ervoor. Hierdoor zullen de instellingen nagenoeg hetzelfde gehouden kunnen worden. De branderstandten kunnen 5% verschillen. 1% verschil van de branderstand staat gelijk aan 7,83 m³/uur aan gas. (Olthof & Miller, 2016).

De APW produceert rond de 300 dagen per jaar. Dit betekent dat het systeem 300 maal per jaar opgestart moet worden. Uit deze gegevens zijn de baten van een investering in sensoren berekend. De kosten van vochtsensoren die geschikt zijn op de lopende band zullen een investering van rond de €3000,00 zijn (Hydronix, 2010)

In de berekening is aangenomen dat iedere keer bij het opstarten de branderstand 5% te hoog staat. De berekening en eindresultaten zijn terug te vinden in tabel 7. Hieruit volgt dat een investering in sensoren geen voordelige investering zal zijn voor de APW.

Omschrijving	Waarde	Eenheid
Totaal verbruik 2016	50277,58	GJ/jr.
Besparing per opstart	3,26	m ³ /a
Aantal dagen in het jaar	300	d
Variabele kosten aardgas	0,28	€/m ³
Variabele kosten CO ₂ emissierechten	9	€/m ³
Besparing aardgas	978,75	m ³
Besparing kosten	272,89	€
Besparing CO ₂	1,75	ton
Besparing CO ₂ emissierechten	15,75	€
Investering	3.000	€
Jaarlijkse baten	288,64	€
TVT in jaren	10,4	jr.
EEV	0,001	%
Besparing na 5 jaar	-1556,8	€

Tabel 7 Besparing Sensoren

7. Discussie

Richting het eind van het onderzoek is er samen met de aandeelhouders een discussie gehouden over de toenmalige voortgang van het onderzoek. Hieruit zijn een aantal discussiepunten naar voren gekomen. Deze zullen in dit hoofdstuk behandeld worden

7.1 Aantal metingen

Zoals al eerder vermeld in het onderzoek is het aantal metingen dat gerealiseerd is voor het onderzoek niet afdoende om een goed gefundeerde conclusies te trekken. De hoeveelheid metingen dat daarvoor nodig zijn is honderd metingen per materiaal. Hieruit kan een gemiddelde berekend worden van het vochtgehalte gedurende het gehele jaar.

In dit gemiddelde wordt dan niet alleen de directe invloed van neerslag meegenomen, maar tevens andere invloeden van het neerslag die op het moment ontbreken in het onderzoek

7.2 Ontbrekende aspecten

Andere aspecten die ontbreken in het onderzoek zijn de daling van het vochtgehalte na neerslag en de invloed van verdamping door de zon. Deze zouden verschaft kunnen worden door ook vochtgehalte metingen uit te voeren na neerslag en vochtgehalte metingen uit te voeren bij een monster dat onder een overkapping is gezet.

7.3 Toepasbaarheid resultaten bij andere AC

Afsluitend werd er gevraagd wat de resultaten betekenen voor andere asfaltproductiecentrales naast de APW. De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op de productiegegevens van de APW. Dit kan verschillen per asfaltproductiecentrale. Wat de resultaten wel weergeven is het verschil in impact tussen de materialen. De gebruikte methode om de impact te berekenen kan opnieuw gebruikt worden met de productie/ en vochtgegevens van andere centrales. De variabelen die bij andere AC kunnen verschillen zijn de hoeveelheid regen die valt in de regio, de gebruikte hoeveelheid per grondstof en de afmetingen van de bunkers per grondstof.

8. Conclusies

In het kader van een bachelor eindopdracht Civiele Techniek van de Universiteit Twente is er een onderzoek uitgevoerd omtrent de vochtproblematiek bij de Asfalt Productie Westerbroek. Het doel van het onderzoek is het komen tot aanbevelingen voor de APW met betrekking tot maatregelen om het vochtgehalte in de materialen te verlagen. Door middel van het evalueren van de impact van mogelijke maatregelen zullen deze aanbevelingen tot stand komen. Aan het begin van het onderzoek is er een hoofdvraag opgesteld dat parallel aan het doel staat. De hoofdvraag van het onderzoek luidt als volgt:

“Welke vocht-reducerende maatregel heeft het meeste impact op de CO₂-emissie in het asfaltproductieproces van de APW?”

Om deze vraag te beantwoorden is het opgedeeld in deelvragen die stapsgewijs naar het antwoordt toewerken. In het vervolg van dit hoofdstuk zullen achtereenvolgens de verschillende deelvragen beantwoord worden.

- **Op welke manier heeft vocht invloed op de het asfaltproductieproces?**

Uit eerdere onderzoeken betreffende de vochtproblematiek in het asfaltproductieproces kan geconcludeerd worden dat vocht een negatief effect heeft op de levensduur en de productiekosten van het asfalt. Wanneer er te veel vocht achterblijft in het asfalt kan dit ervoor zorgen dat de bitumen niet goed aan de mineralen zullen hechten. Dit leidt vervolgens tot een minder homogeen mengsel en zal de levensduur verlagen. Ook kan vocht in het asfalt zorgen voor het ‘stripping’ effect. Dit staat voor het scheuren van het asfalt door uitzetting en inkrimping van het vocht door vriezen en dooien in het asfalt.

Het negatieve effect op de productiekosten ontstaat doordat er meer energie in het droogproces nodig is om het vocht uit de materialen te verdampen. De materialen worden gedroogd op een asfaltcentrale. Hierbij is de benodigde energie recht evenredig met het vochtgehalte in het materiaal

Het vocht komt in het productieproces in verschillende fasen van het proces. Bij winning van de nieuwe mineralen komt er vocht bij de mineralen vanuit de bron of het medium van winning. Daarnaast worden de mineralen schoongespoeld om aan verschillende eisen te voldoen. Ten slotte staan tijdens transport en berging de mineralen en PR bloot aan het weer. Het vochtgehalte kan stijgen door de neerslag.

- **Welke maatregelen tegen vochtintrede zijn bekend?**

Om deze vraag te beantwoorden zijn onderzoeken uitgevoerd op andere asfaltcentrales bestudeerd en zijn er interviews afgenomen bij de werknemers op de APW zelf. De meest voorkomende maatregelen zijn meegenomen in het onderzoek.

- **Contractuele eisen**

In de literatuur en de eigen uitgevoerde interviews worden contractuele eisen voor het vochtgehalte in de aangeleverde materialen aangedragen als maatregel voor vochtintrede. De APW hanteert reeds eisen in de contracten met de leveranciers, met uitzondering van de leverancier van mengzand.

- **Overkappen van grondstoffen**

Overkappen van de grondstoffen wordt vanuit de literatuur en vanuit alle experts voorgedragen als maatregel tegen de vochtintrede. Overkappingen zullen vochtintrede door neerslag op het terrein verminderen, wat voor de grootste vochtintrede op het terrein zorgt.

- **Vochtsensoren**

Sensoren kunnen meer inzicht verschaffen over het vochtgehalte in de materialen op een gegeven moment. Deze kennis van het vochtgehalte kan voor besparing zorgen in het gasverbruik bij het opstarten van het systeem.

- **Ophogen van de bunkers**

Als laatste optie is het ophogen van de bunkers ook voorgedragen als maatregel tegen vochtintrede. Door jaren van gebruik zijn de grondstofbunkers verzakt. Hierdoor stroomt de neerslag de bunkers in en verzadigt de grond van de bunkers snel. Dit zorgt ervoor dat het vocht dat in het materiaal zelf zit niet goed kan uitzakken. Ophogen van de bunkers zou dit probleem kunnen oplossen.

De contractuele eisen, overkappingen en vochtsensoren zijn verder onderzocht. Het ophogen van de bunkers is buiten beschouwing gehouden om het onderzoek niet te extensief te maken.

- **Wat zijn de kosten en baten van deze maatregelen?**

Per maatregel is er gekeken naar de kosten en de baten van de maatregel. Daarnaast is voor elke maatregel de EEV berekend. Hiermee is de relatieve energiebesparing te bepalen en kan er teruggekoppeld worden naar de MJA3. De EEV wordt gebruikt als indexering van de maatregelen in de MJA3.

- **Contractuele eisen**

Bij elke levering wordt het vochtgehalte gecontroleerd en gearhiveerd. Uit deze gegevens kan geconcludeerd worden dat, op een enkel geval na, de eisen nageleefd worden door de leveranciers van het steenslag. Dit is niet het geval bij de leveringen van het brekerzand. Vrijwel elke levering van brekerzand bevat meer vocht dan toegestaan volgens de eis. Hieruit kan geconcludeerd worden dat contractuele eisen omtrent zand het vochtgehalte niet verlagen. Contractuele eisen zorgen voor een financiële compensatie, maar zijn geen garantie voor een vermindering van het vochtgehalte.

- Overkapping

De kosten van de overkappingen bestaan uit de aanschafkosten van de overkappingen zelf. Deze zijn afhankelijk van de afmetingen van de desbetreffende grondstof bunker. Deze kosten zullen variëren tussen de €80,- en €115,- per vierkante meter bedragen. In de berekening is het hoogste bedrag meegenomen.

De baten zullen bestaan uit de besparingen die door overkappingen zullen plaatsvinden. Onder deze besparingen vallen de besparing in het gasverbruik en de besparing in de CO₂-emissiekosten. Deze zijn af te leiden uit de vermindering in het vochtgehalte door de overkapping. De vochtvermindering is te herleiden naar de potentiële energie die nodig is om de vocht te verdampen. Deze energie wordt gehaald uit de gasverbranding. De hoeveelheid gas dat nodig is, is te berekenen uit de benodigde energie. Door de hoeveelheid gas te vermenigvuldigen door de gasprijs wordt de besparing in het gasgebruik berekend. De besparing in de CO₂-emissiekosten zijn uit de gasbesparing te berekenen. Door de CO₂ emissie van gas te vermenigvuldigen met de gasbesparing en deze vervolgens te vermenigvuldigen met de prijs voor CO₂-emissierechten komt men op de besparing. Deze berekening is voor elke grondstof uitgevoerd.

Uit de resultaten van de analyse is te concluderen dat de overkapping voor de PR het meeste de CO₂-emissie zou reduceren met een reductie van 85,5 ton per jaar. Daarnaast kan geconcludeerd worden dat de overkappingen voor de brekerzand, mengzand en graniet voordelige investeringen zullen zijn voor de APW. Gekeken naar de EEV, de impact van de energiebesparing, zou de overkapping voor het Bestone de op een na grootste impact hebben op het energieverbruik van de APW, echter is de investering van de overkapping te hoog om binnen de afschrijvingsperiode winst te behalen.

- Sensoren

De kosten van een sensor, geschikt voor aan de lopende band, liggen rond de €3.000,-. Daarnaast zullen deze moeten worden voorzien van stroom. De stroomkosten zijn in de berekening niet meegenomen.

De baten van een vochtsensor bestaan uit het gas dat bespaard kan worden bij het opstarten. De data van de sensor zorgen voor zekerheid bij het opstarten van het droogstelsel, zodat er niet te hoog gestookt zal worden bij de eerste grondstoffen. Dit staat tegenover de huidige situatie waar de droogovens worden ingesteld op de gegevens van de vorige dag. Uit het onderzoek blijkt dat sensoren binnen de afschrijvingstermijn geen winst zullen opleveren ten opzichte van de huidige situatie.

Terugkoppeland op de hoofdvraag, “Hoe kan de CO₂-emissie het best verlaagd worden via maatregelen met betrekking tot de parameter vocht in het asfaltproductieproces van de APW?”, kan er geconcludeerd worden dat een overkapping over het PR de beste maatregel is om de CO₂-emissie te verlagen. Naast de grootste verlaging van de uitstoot zorgt de overkapping van het PR ook voor de grootste besparing in gaskosten. Na tien jaar zal de investering terug verdiend zijn en na de afschrijvingsperiode van 20 jaar is de besparing twee maal zo groot als de investering.

Samenvattend heeft de overkapping voor het PR de meest impact voor het asfalt productie proces van alle onderzochte maatregelen. Het is daarentegen geen voordelige investering aan het eind van de afschrijvingsperiode. Een verrassende conclusie die getrokken kan worden uit het onderzoek is dat sensoren vrijwel geen voordelen heeft voor het asfaltproductieproces omtrent vochtreductie.

In het geval dat geen enkele van de maatregelen gerealiseerd wordt, zal de APW afhankelijk blijven van externe factoren die het vochtgehalte zullen verhogen. Het extra vocht zal blijven zorgen voor hoge gas- en emissiekosten. Daarnaast zal het extra vocht de productiesnelheid vertragen. Om dit allemaal te voorkomen zijn er in het volgende hoofdstuk aanbevelingen geformuleerd voor de APW.

De conclusies die uit dit onderzoek volgen gelden niet voor alle asfalt centrales in het algemeen. De gegevens die zijn gebruikt zijn naar aanleiding van de APW. De conclusies zijn afhankelijk van de hoeveelheid regen die valt in de regio, de gebruikte hoeveelheid per grondstof en de afmetingen van de bunkers per grondstof. Bij gebruik van de asfaltcentrale specifieke gegevens kan de methode van dit onderzoek wel gebruikt worden om voor de specifieke asfaltcentrale de impact te berekenen.

9. Aanbevelingen

Op basis van de conclusies en bevindingen zijn een aantal aanbevelingen geformuleerd voor de APW. De aanbevelingen zijn verdeeld in twee categorieën. De eerste categorie zijn de aanbevelingen voor realisatie op de korte termijn. De tweede categorie zijn de aanbevelingen voor vervolgonderzoek op de lange termijn.

9.1 Aanbeveling voor realisatie

- **Contractuele eis opstellen voor het vochtgehalte in mengzand**

De contracten van de leveranciers van mengzand zijn de enige die geen eisen bevatten omtrent het vochtgehalte. Daarom wordt aanbevolen een dergelijke eis op te nemen in een volgend contract. De aanbeveling is deze eis rond het vochtgehalte van 4% te stellen. Dit is gebaseerd op het gemiddelde vochtgehalte in het mengzand in de leveringen van het afgelopen jaar.

9.2 Aanbeveling voor vervolgonderzoek

- **Vervolgonderzoek naar vochtgehalte materialen**

Om een beter beeld te krijgen van het vochtgehalte van de materialen gedurende het gehele jaar wordt aanbevolen om hier een vervolgonderzoek naar te doen. De resultaten hiervan zouden vervolgens weer, in combinatie met de gebruikte methode in dit onderzoek, gebruikt kunnen worden om een realistischer beeld te verschaffen van de impact van de maatregelen.

- **Vervolgonderzoek naar ophoging bunkers**

Het ophogen van de bunkers is voorgedragen als maatregel om het vochtgehalte te verlagen. Echter is deze maatregel in dit onderzoek niet verder onderzocht, omdat het in de recente situatie minder invloed heeft. Deze maatregel zal meer significant effect hebben op het vochtgehalte na implementatie van een overkapping. Na de implementatie zal het uitzakken van het vocht het grootste aandeel hebben in het verlagen van het vochtgehalte. Door een verzadigde ondergrond is dit niet mogelijk. Ophoging van de bunkers kan hier een uitkomst in bieden. Daarom wordt er aanbevolen een vervolgonderzoek uit te voeren naar de impact van het ophogen van de materiaalbunkers mits er overkappingen aanwezig zijn.

- **Vervolgonderzoek naar zandwinning**

Uit dit onderzoek is gebleken dat het vochtgehalte van het brekerzand constant te hoog is bij aflevering. Daarom wordt aanbevolen een onderzoek op te zetten naar manieren om het vochtgehalte bij de winning en het transport van brekerzand te verlagen

- **Vervolgonderzoek naar subsidie en aftrekkingen energie-efficiency investeringen**
Jaarlijks worden er geld gebudgetteerd voor investeringen in energie-efficiency. Wanneer een investering in aanmerking komt voor EIA of MIA kan er tot 55% van de investeringskosten afgetrokken worden van de fiscale winst. Dit zorgt er voor dat over dit deel van de winst geen belasting betaald hoeft te worden. Deze besparing op de investering is echter niet meegenomen in de berekeningen in dit onderzoek. Daarom wordt er aanbevolen om een vervolgonderzoek te starten naar de EIA en MIA. In dit onderzoek kan onderzocht worden of de investering in aanmerking komt voor EIA of MIA, en hoeveel er in dat geval bespaard kan worden op de investering.

Referenties

- Asfaltcentrale Over Betuwe. (2013). Asphalt. Retrieved from [http://asfaltcentraleoverbetuwe.nl/asfalt info.htm](http://asfaltcentraleoverbetuwe.nl/asfalt%20info.htm)
- Bouwend Nederland. (2013). Meerjaren Energie-efficiency Asphaltindustrie, (2013–2016), 14.
- Caro, S., Masad, E., Bhasin, A., & Little, D. N. (2017). Moisture susceptibility of asphalt mixtures , Part 1 : mechanisms, 8436(June). <https://doi.org/10.1080/10298430701792128>
- College van b&w. (2016). ROEB-lijst 2017.pdf.
- CROW. (2010). *Asfalt in weg- en waterbouw*.
- CROW. (2015). RAW bepalingen. Retrieved from <https://www.crow.nl/publicaties/standaard-raw-bepalingen-2015>
- Decentrale overheid. (2017). Afschrijvingstermijnen investeringen.
- Directeur, A., & Oosterhof holman beheer BV. (2017). Ketenanalyse Asphalt scope 3 emissies.
- Doorewaard, H., & Verschuren, P. (2007). *Het ontwerpen van een onderzoek*. Den Haag: Boom Lemma uitgevers.
- Hydronix. (2010). All Prices in EUR HYDRONIX RETAIL PRICE LIST - EUR, (April 2009), 2009–2011.
- Karekar, R. N., Aiyer, R. C., Kapilevich, B., Litvak, B., Phipp, S. J., & Edwards, N. H. (n.d.). Development of a microwave moisture sensor for aggregates.
- KNMI. (2011). Gemiddelde aantal dagen regen. Retrieved from [http://www.klimaatatlas.nl/klimaatatlas.php?wel=neerslag&ws=kaart&wom=Gemiddeld aantal dagen met 0.3 mm of meer](http://www.klimaatatlas.nl/klimaatatlas.php?wel=neerslag&ws=kaart&wom=Gemiddeld%20aantal%20dagen%20met%200.3%20mm%20of%20meer)
- KNMI. (2017). Weerstatistieken. Retrieved from <https://weerstatistieken.nl/eelde/2017/september>
- Kristel, D. (2016). CO₂ reductie in de asfaltketen van Dura Vermeer, 1–100.
- Leeuwenhaag, K., Krevel, A. Van, & Heidbuurt, P. (2012a). Energie-efficiencyplan 2009-2012 Asphalt Productie Amsterdam (APA) te, 4.
- Leeuwenhaag, K., Krevel, A. Van, & Heidbuurt, P. (2012b). Energie-efficiencyplan 2009-2012 Asphalt Productie Rotterdam Rijnmond (APRR) BV te, 4.
- Mahony, N. O., Murphy, T., Panduru, K., Riordan, D., & Walsh, J. (2016). Smart Sensors for Process Analytical Technology, 2020(637232).
- Nederlandse emissieautoriteit. (2016). Voortgang Emissiehandel 2016 Feiten en cijfers over emissiehandel in Nederland.
- Olthof, R., & Miller, S. (2016). Het expliciet maken van CO₂-emissies gedurende het asfaltproductieproces, 1–15.
- Ong, J. B., You, Z., Mills-beale, J., Tan, E. L., Pereles, B. D., & Ong, K. G. (2008). A Wireless , Passive Embedded Sensor for Real-Time Monitoring of Water Content in

- Civil Engineering Materials, 8(12), 2053–2058.
- Ra, M., Othman, M., & Valentin, J. (2015). A review on moisture damages of hot and warm mix asphalt and related investigations, 99. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.028>
- RVO. (2014). Methodiek energie-efficiency, 1–6.
- RVO. (2016). MIA \Vamil, 1–99.
- RVO. (2017a). Energie-investeringsaftrek.
- RVO. (2017b). Meerjarenaafspraken energie-efficiëntie. Retrieved from <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-besparen/meerjarenaafspraken-energie-efficiëntie>
- SKAO, Stimular, Connekt, Milieu centraal, & Rijksoverheid. (2017). Lijst emissiefactoren. Retrieved from <https://co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/>
- Van Dale Uitgevers. (2017). Van Dale. Retrieved from <http://www.vandale.nl/>

Bijlage A: Interviews

Functie: Laborant 1

1. Zijn er verschillende bronnen waar het vocht in het materiaal vandaan komt? Zo ja, welke?

Ja. Hemelwater natuurlijk. Bij de levering zit er al vocht in van de winning. Bij het frees asphalt kan er water in zitten van het frezen. Daar gebruiken ze water om stof ontwikkeling tegen te gaan.

2. Wat is het effect van vocht op de kwaliteit van het asphalt?

De hechting van de mineralen en het PR met de bitumen wordt lastiger. Dit zorgt voor een minder homogeen mengsel

3. Wat is het effect van vocht tijdens het drogen?

Het creëert meer stoom en afgassen. Dit geleid warmte beter, wat de temperatuur in de trommel ten goede komt maar ook veel warmte mee neemt in de afgassen.

4. Zit hierin nog verschil in tussen de witte en de zwarte droogtrommel?

De witte droogtrommel kan op een hogere temperatuur draaien dan de zwarte trommel. Dit omdat het asphaltgranulaat niet op hogere temperaturen gedroogd mag worden dan 120 C door het brandgevaar. Het temperatuurverschil moet weer opgevangen worden door de witte trommel

5. Naar welk vochtpercentage in de PR en mineralen zou gestreefd moeten worden? En waarom?

Zo laag mogelijk. Zowel in het proces als in het eindresultaat.

6. Welke meet methoden zijn er voor het vochtgehalte?

Nat-droog meten en vochtsensoren

7. Welke worden gehanteerd op de APW?

Bij de APW doen we alleen de nat-droog meting

8. Waar in het proces kan het beste gemeten worden? En waarom?

Vlak voor de trommels. Hier kunnen de trommels nog op het vocht anticiperen en kan er ook geen vocht meer bijkomen

9. Bij welke grondstof is het belangrijkst om te meten? Wat maakt deze grondstof zo belangrijk ten opzichte van de anderen?

Zand, omdat zand het meeste vocht vasthoudt

10. Hoe vaak zou er gemeten moeten worden? En waarom?

Continu, hoe meer je weet hoe beter het proces

11. Welke opties zijn er om vocht te reduceren of te sturen?

Overkapping van het zand, overkapping van het PR en het materiaal voordrogen op een of andere manier.

Functie: Machine operator

1. Zijn er verschillende bronnen waar het vocht in het materiaal vandaan komt? Zo ja, welke?

Ja, dat kan in elk geval van zand uit het depot vandaan komen. Waar het zand vandaan komt. Bij steenslag kan dat vanuit de leverancier maar het steenslag wil ook nog wel eens per schip komen. Daar willen ze nog wel eens water er bij pompen. En natuurlijk neerslag nog.

2. Wat is het effect van vocht op de kwaliteit van het asfalt?

Het effect van vocht kan zijn wanneer je het vocht niet goed uit het materiaal krijgt dat de bitumen dan niet aan het materiaal willen hechten. Dan krijg je geen homogeen mengsel

3. Wat is het effect van vocht tijdens het drogen?

Hoe meer vocht er in het materiaal zit hoe meer je er tegen moet stoken. Het materiaal moet natuurlijk wel droog worden

4. Zit hierin nog verschil in tussen de witte en de zwarte droogtrommel?

Ja, dat is er zeker. De witte trommel werkt met een tegenstroomprincipe. Het materiaal komt er van de voorkant in en aan de achterkant is de brander. Dat creëert een tegenstroom van warmte. De zwarte trommel werkt met een mee-stroom principe. Waar het in de trommel komt daar staat de warmte ook. Deze trommel is meer voor het opwarmen van het materiaal en niet het drogen. Het vocht dat in de PR zit krijg je er niet zo snel weer uit.

5. Naar welk vochtpercentage in de PR en mineralen zou gestreefd moeten worden? En waarom?

2-3%, dan kun je het materiaal nog goed droog krijgen.

6. Welke meet methoden zijn er voor het vochtgehalte?

Hier wordt dat gedaan door de laborant. Die neemt een monster. Deze weegt hij in de natte situatie en droogt het dan in zijn stoof. Dan wordt het weer gewogen en het verschil in gewicht is dan het vocht. Er is ook apparatuur er voor om het vocht te meten, maar dat hebben we hier niet.

7. Welke worden gehanteerd op de APW?

-

8. Waar in het proces kan het beste gemeten worden? En waarom?

Bij de invoer van de trommels. Voordat het de trommel ingaat. Daar kun je brander nog aanpassen.

9. Bij welke grondstof is het belangrijkst om te meten? Wat maakt deze grondstof zo belangrijk ten opzichte van de anderen?

Het is allemaal belangrijk, zowel het nieuwe materiaal als het PR.

10. Hoe vaak zou er gemeten moeten worden? En waarom?

Ligt aan de periode. Als je aan het begin van een droge periode staat hoeft niet veel te meten. In een natte periode zou je iedere dag kunnen meten of het inderdaad natter is geworden

11. Welke opties zijn er om vocht te reduceren of te sturen?

Om het materiaal zo droog mogelijk hier te krijgen en om het materiaal hier zo droog mogelijk te houden. Overkappingen of in elk geval de materialen overdekken. De doseurs zijn al overkapt en de transportbanden zijn al overkapt. Alleen de bunkers nog.

Functie: Beheerder

1. Zijn er verschillende bronnen waar het vocht in het materiaal vandaan komt? Zo ja, welke?

Regen natuurlijk. Het steenslag wordt gewassen tegen het stof dat bij de winning van het steenslag vast kan zitten. Steenslag moet altijd gewassen worden om aan de eisen te voldoen. Brekerzand wordt nat gewonnen uit de zandputten.

2. Wat is het effect van vocht op de kwaliteit van het asfalt?

Wanneer het proces van de installatie goed is afgesteld heeft het geen effect op de kwaliteit. Het heeft alleen nadelige gevolgen voor je productie capaciteit. Het proces is er voor om al het vocht uit de materialen te verdampen.

Wanneer er wel vocht in de materialen achterblijft en het komt in het asfalt heeft dat effect op de levensduur van het asfalt. Door het vriezen en dooien zal het asfalt eerder opbreken en dus de levensduur verkorten

3. Wat is het effect van vocht tijdens het drogen?

Het kost of meer energie of het proces duur langer

4. Zit hierin nog verschil in tussen de witte en de zwarte droogtrommel?

De witte trommel heeft het tegenstroom principe. Dan zit de brander aan de uitloop kant, dus dan stook je tegen de materiaalstoom in. Er zit alleen maar schoon materiaal in, nieuw materiaal. De functie van een trommel is om alle energie die je er in stop ook voor 100% te benutten. Zo moet je de trommel ook maken.

Het recycle materiaal daar gaat een oud gereed product in, dus inclusief bitumen, vulstof, stenen. En die werkt met een mee stroom principe. Daar zit de brander aan de invoer zijde dus de vlam gaat met het materiaal mee. Het principe is een beetje hetzelfde maar het proces om te drogen is wat vervelender. Het asfalt plakt als wat en het blokt wat en het mag niet warmer worden dan 120 graden. Bij 120 heb je minder geurproblemen. Hoe warmer je het maakt hoe meer emissies je krijgt. En wanneer je het te heet stookt verbrand de bitumen en hou je niks over.

5. Naar welk vochtpercentage in de PR en mineralen zou gestreefd moeten worden? En waarom?

Tussen de 2% en 3%

6. Welke meet methoden zijn er voor het vochtgehalte?

Wat wij hier doen is het nat wegen droog weten en het verschil is het vocht. Er bestaan ook vochtmeters, maar die werken of nog niet goed of ze zijn erg duur.

7. Welke worden gehanteerd op de APW?

-

8. Waar in het proces kan het beste gemeten worden? En waarom?

Op de lopende banden, omdat dit net voor de branders is.

9. Bij welke grondstof is het belangrijkst om te meten? Wat maakt deze grondstof zo belangrijk ten opzichte van de anderen?

Zand en PR. Zand is heel fijne stof dus dat houdt het water ook beter vast. Bij steen heeft het een vrij goed skelet en wanneer de machinist een half meter laag laat liggen heb je meestal vrij droge materiaal te pakken.

10. Hoe vaak zou er gemeten moeten worden? En waarom?

Eigenlijk moet je een continu systeem hebben.

11. Welke opties zijn er om vocht te reduceren of te sturen?

Ten eerst je inkoop goed vastleggen, dat je het maximum vochtgehalte vastlegt en daar goed sancties op zet. En overkappen. Daar kun je het meeste winst op maken op je gas verbruik en CO2 uitstoot.

Functie: Machine operator

1. Zijn er verschillende bronnen waar het vocht in het materiaal vandaan komt? Zo ja, welke?

Het kan van boven en het kan van onder komen. Overal op het terrein heb je last van een druk. Wanneer je ergens een bult neerlegt kan het vocht door de druk vanuit de grond in het materiaal trekken

Een derde bron kan zijn van het schip. Sommige materialen worden met een schip vervoerd. Wanneer het hier dan gelost wordt ligt er vaak nog een laag water in het schip of het wordt gespoeld bij de brekerij, dan komt het hier ook nat aan.

2. Wat is het effect van vocht op de kwaliteit van het asfalt?

Als er te veel restvocht in zit kan het ervoor zorgen dat het materiaal niet goed mengt met de bitumen. En het kost meer energie

3. Wat is het effect van vocht tijdens het drogen?

-

4. Zit hierin nog verschil in tussen de witte en de zwarte droogtrommel?

Ja, er zit een groot verschil in de trommels. Je heb een mee stroom en tegenstroom principe. Bij de witte trommel komt het materiaal binnen en aan de andere zijde staat de vlam. Wanneer het materiaal te warm wordt zal het geen vlam vatten. Bij de recycling staat de vlam waar het materiaal binnen komt, omdat wanneer het materiaal op temperatuur en dan nog in aanraking komt met een vlam dat het in de brand vliegt.

5. Naar welk vochtpercentage in de PR en mineralen zou gestreefd moeten worden? En waarom?

Bij het freesasfalt moet 3% haalbaar zijn en bij het nieuwe materiaal is het wat lastiger want dan zit het factor tijd er nog bij. Bij de levering is het vrij nat. Zoals bij brekerzand kan er wel eens 7% vocht in zitten. Dat heeft gewoon tijd nodig om te zakken. We laten het vaak een week 2 of 3 voordat we het gaan gebruiken

6. Welke meet methoden zijn er voor het vochtgehalte?

Ze wegen hier het verschil tussen het natte en droge materiaal.

7. Welke worden gehanteerd op de APW?

-

8. Waar in het proces kan het beste gemeten worden? En waarom?

De plek waar de materiaal samen zijn is op de transport band. Dus dan is het handigst vlak voor de trommel

9. Bij welke grondstof is het belangrijkst om te meten? Wat maakt deze grondstof zo belangrijk ten opzichte van de anderen?

De PR, omdat we hier een vrij korte zwarte trommel hebben is het vrij belangrijk om het vocht hiervan te weten. Maar dit is vrij installatie specifiek

En nog zand. Zand gebruiken we het meeste van. Bij de meeste van asfalt vat we draaien zit veel zand in, bijna 50%.

10. Hoe vaak zou er gemeten moeten worden? En waarom?

Als je zou meten is het vooral belangrijk dat je weet wat er speelt. Dus als er bepaalde percentages vocht in het materiaal zit en het gaat het systeem in, dat je weet hoeveel energie het gaat kosten om het op temperatuur te krijgen. Het zal niet veel helpen met het verlagen van het gas verbruik maar vooral helpen om de kwaliteit consistent te houden.

Het zou ook kunnen helpen bij het opstarten 's ochtends. Wanneer we nu starten in de ochtend hebben we geen flauw idee hoeveel vocht er in zit. Dus wat doe je: Je gooit de branders omhoog dat je zeker weet dat je de temperatuur haalt.

11. Welke opties zijn er om vocht te reduceren of te sturen?

Ik denk dat de voornaamste optie het overkappen zal zijn. Daarnaast moet het terrein droog gehouden worden. De vakken zijn nu wat ingeklonken door de tijd, dus het zou mooi zijn als er maatregelen komen zodat het water het vak uit gaat in plaats van het vak in. Zoals het draineren van de vakken of de vakken weer omhoog brengen.

Bijlage B: Meetresultaten vochtgehalte bij levering

Materiaal	Mengzand 0/2	Bestone brekerzand	Bestone 4/8	Schots Graniet	Porfier 4/8	PR rond box 2	PR vak 40
jan-jun	5,1	8,2	2,6	1,1	3,6	3,9	2,8
	3	8,3	2	1,5	3,1	2,2	2,5
	3,1	7,3	2,7	1,6	2,2	1,9	2,1
	3,4	6,7	3,2	1		1,4	2,4
	4	5,9	2,4	1,2		2	3
	3,4	6,7	3,1	1,5		1,2	2,5
	4,2	7,3	2,4	1,6		1,9	3,4
	3,7	6,8	2,4	1,6		1,8	2,9
	3,5	6,4	2,5	1,6		1,7	3,7
	5,6					2,2	3,9
	3					2,2	3,4
	5,3					1,8	3,1
	4,5					2,4	3,6
						2,1	4,1
						1,9	3,3
						1,6	2,3
						2,5	
						2,6	
						2,3	
						1,1	
						2,3	
						1,5	
						1,2	
						1,4	
						1,7	
						4,3	
Max bij levering	5,6	8,3	3,2	1,6	3,6	4,3	4,1
gem	4,0	7,1	2,6	1,4	3,0	2,0	3,1
St. dev.	0,9	0,7	0,4	0,2	0,6	0,7	0,6
Max volgens contract		6	3	3	4	4	4

Bijlage C: Omschrijving nat-droog analyse

Benodigheden

- Monster-verdeelapparaat
- Balans met nauwkeurigheid van 0,001 maal de massa van het te onderzoeken materiaal
- Droogstoof, instelbaar op $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$
- Warmte-isolerende handschoenen



Uitvoering

Neem een monster, volgens NEN-EN 12697-

27. Weeg het gewicht van het monster en noteer *Monster-verdeel apparaat* dit gewicht als 'nat gewicht'. Droog het monster vervolgens in de droogstoof. Het monster mag als droog aangenomen worden wanneer het verschil in gewicht tussen twee wegingen kleiner is dan 0,1%. Noteer wanneer het voorgaande het geval is het gewicht als 'droog gewicht'.

Vuistregel:

De massa van het monster in grammen moet minimaal 100 keer de grootste korrelafmeting (in mm) van het monster zijn. Voorbeeld: Is de grootste korrelafmeting van een steenslag 6 mm, dan is de minimale massa $6 \times 100 = 600$ gram.

Kies de juiste monsterverdeler (de grootste korrels moeten gemakkelijk kunnen passeren). Verdeel met behulp van de monsterverdeler het totale monster zodanig, dat ongeveer de juiste massa overblijft.

Opmerking:

De meeste monsterverdelers delen het monster op in twee ongeveer gelijke delen. Is de helft nog ruim 2 maal zo zwaar als de toegestane minimum massa, verwijder dan één van de helften en splits de andere helft nogmaals. Deze procedure kan eventueel verder worden voortgezet tot de minimum massa (zie vuistregel) wordt benaderd.

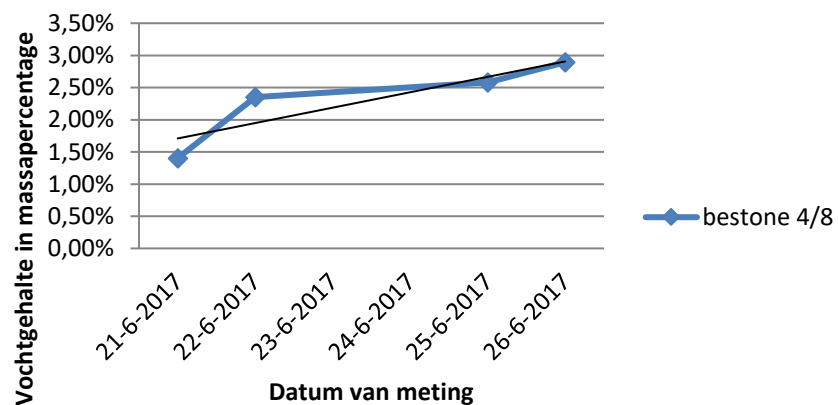
Het kwart deel echter moet in zijn geheel worden onderzocht, dus na weging niets meer eraf halen of erbij voegen om een mooi rond getal te krijgen.

Bij zeer grote monsters is het aan te raden deze, alvorens te drogen, het monster met behulp van een monster-verdeelapparaat tot een hanteerbare grootte terug te brengen.

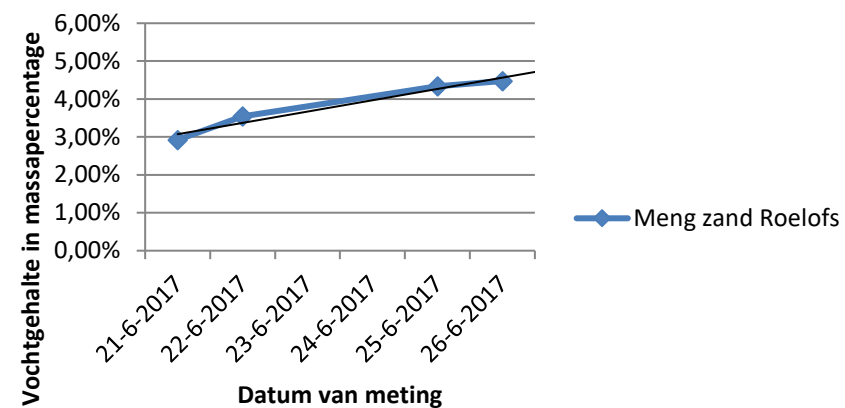
Bijlage D: Meetresultaten vochtgehalte uit experiment

Materiaal	gewicht lege bak	Gewicht nat	Gewicht droog	Gewicht water	Vochtgehalte	Datum
Bestone 4/8	228,8	2288,7	2259,8	28,9	1,40%	21-6-2017
Bestone 4/8	235	2467,4	2414,9	52,5	2,35%	22-6-2017
Bestone 4/8	232,5	2254,4	2202,2	52,2	2,58%	25-6-2017
Bestone 4/8	228,8	2381,9	2319,6	62,3	2,89%	26-6-2017
Bestone Brekerzand	235	1413,1	1365,1	48	4,07%	21-6-2017
Bestone Brekerzand	228,8	1701,2	1619,5	81,7	5,55%	22-6-2017
Bestone Brekerzand	228,8	2091,4	1980,8	110,6	5,94%	25-6-2017
Bestone Brekerzand	235	1608,3	1520,1	88,2	6,42%	26-6-2017
Meng zand Roelofs	229,3	1218,4	1189,5	28,9	2,92%	21-6-2017
Meng zand Roelofs	232,5	2273,3	2201	72,3	3,54%	22-6-2017
Meng zand Roelofs	229,3	1781,7	1714,4	67,3	4,34%	25-6-2017
Meng zand Roelofs	232,5	1834,5	1762,8	71,7	4,48%	26-6-2017
Porfier 4/8	422,1	2649,3	2614,7	34,6	1,55%	21-6-2017
Porfier 4/8	422,1	3016,1	2963,7	52,4	2,02%	22-6-2017
Porfier 4/8	235	2203,6	2158,7	44,9	2,28%	25-6-2017
Porfier 4/8	422,1	2316,8	2264,1	52,7	2,78%	26-6-2017
PR Gebroken Breker (vak 40)	1359,2	4459,4	4377,1	82,3	2,65%	22-6-2017
PR Gebroken Breker (vak 40)	1359,6	4025,9	3947,8	78,1	2,93%	25-6-2017
PR Gebroken Breker (vak 40)	1359,4	4181,6	4081,9	99,7	3,53%	26-6-2017
PR rond Box 2	1357,9	4356,9	4265,8	91,1	3,04%	22-6-2017
PR rond Box 2	1358,7	4296,2	4204,3	91,9	3,13%	25-6-2017
PR rond Box 2	1358,2	4198,6	4102,7	95,9	3,38%	26-6-2017
Schots Graniet 8/16	421,7	3453,5	3434,8	18,7	0,62%	21-6-2017
Schots Graniet 8/16	421,7	4149,3	4098,4	50,9	1,37%	22-6-2017
Schots Graniet 8/16	421,7	5136	5060,4	75,6	1,60%	25-6-2017
Schots Graniet 8/16	421,7	4235,2	4168,4	66,8	1,75%	26-6-2017
Tilrood 4/8	229,3	1783,7	1740,5	43,2	2,78%	21-6-2017
Tilrood 4/8	229,3	2018,3	1968,5	49,8	2,78%	22-6-2017
Tilrood 4/8	536,6	2283,2	2228,2	55	3,15%	25-6-2017
Tilrood 4/8	229,3	2047,4	1987,1	60,3	3,32%	26-6-2017

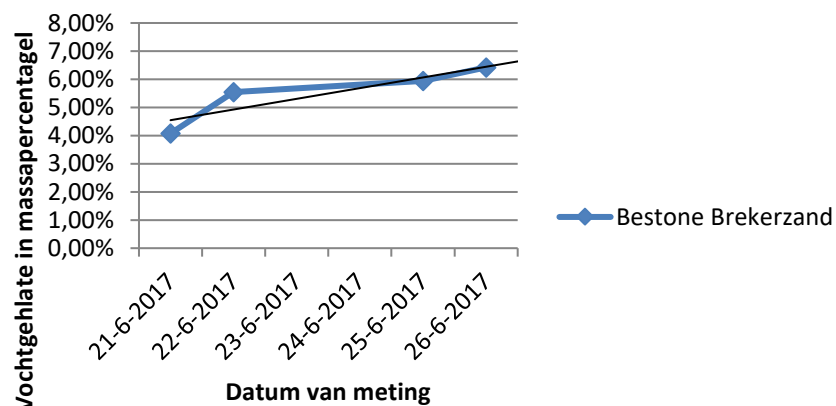
Bestone 4/8



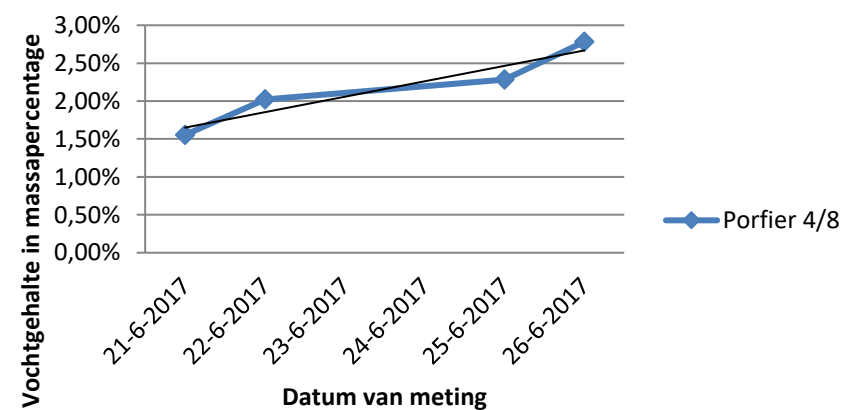
Meng zand Roelofs



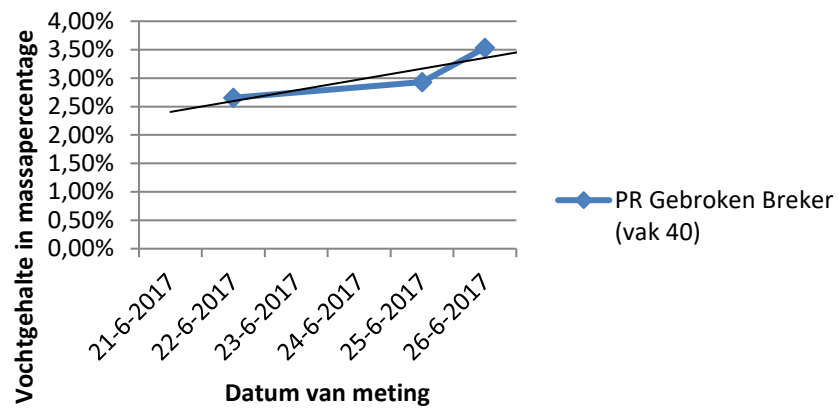
Bestone Brekerzand



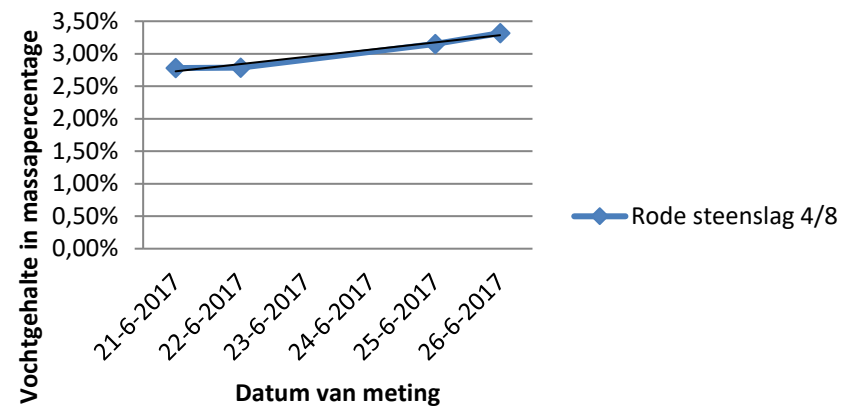
Porfier 4/8



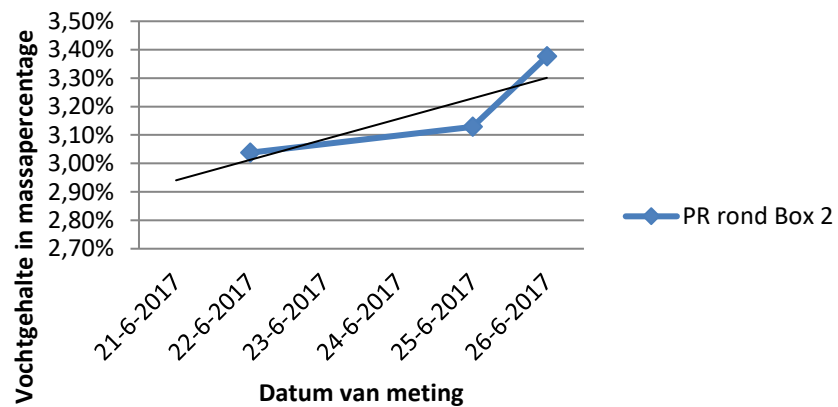
PR Gebroken Breker (vak 40)



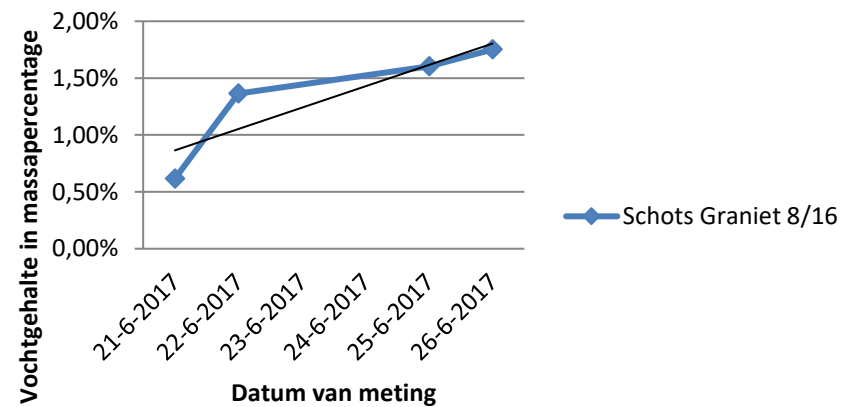
Tilrood 4/8



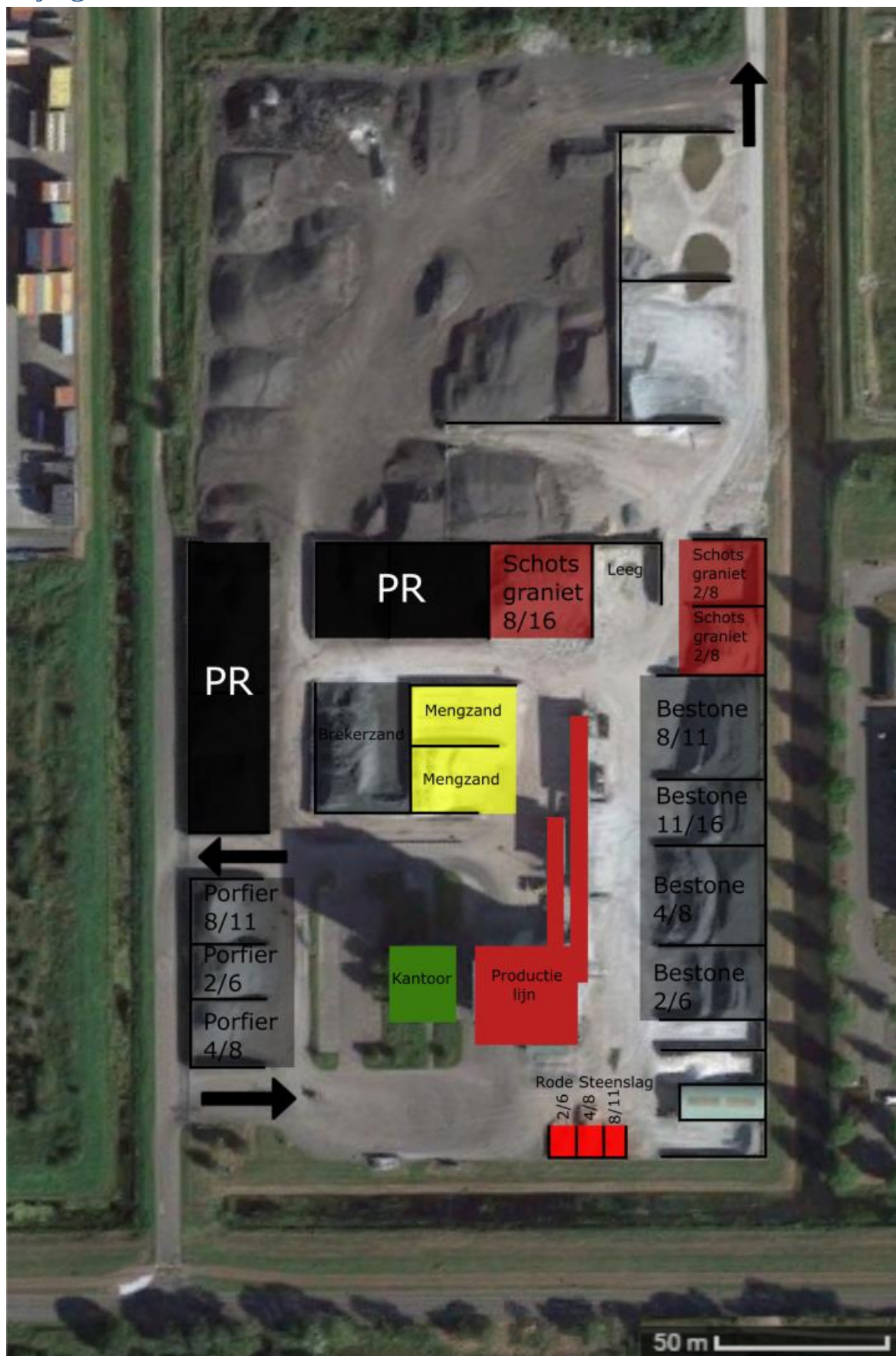
PR rond Box 2



Schots Graniet 8/16



Bijlage E: Overzicht terrein APW



Bijlage F: Analyse besparing overkappingen

Bestone		
Omschrijving	Waarde	Eenheid
Totaal energie verbruik gas	50277,58	GJ/jr.
Gebruikte hoeveelheid	18790	Ton
Totale productie op regendagen	81287	Ton
Variabele kosten aardgas	0,28	€/ m ³
Variabele kosten CO ₂ emissierechten	9	€/ m ³
Berekening		
Vochtpercentage na regen	3	%
Vochtpercentage na droogte	1,5	%
Totale vermindering vocht	282	Ton
Besparing per jaar	796	GJ
Aardgas besparing per jaar	25147	m ³
Besparing CO ₂	44,96	Ton
Besparing CO ₂ emissierechten	404,66	€
Investering	184000	€
Jaarlijkse baten	7415,91	€
TVT	24,8	Jaar

Brekerzand		
Omschrijving	Waarde	Eenheid
Totaal energie verbruik gas	50277,58	GJ/jr.
Gebruikte hoeveelheid	7650	Ton
Totale productie op regendagen	81287	Ton
Variabele kosten aardgas	0,28	€/ m ³
Variabele kosten CO ₂ emissierechten	9	€/ m ³
Berekening		
Vochtpercentage na regen	6,5	%
Vochtpercentage na droogte	4	%
Totale vermindering vocht	191	Ton
Besparing per jaar	540	GJ
Aardgas besparing per jaar	17065	m ³
Besparing CO ₂	30,51	Ton
Besparing CO ₂ emissierechten	274,61	€
Investering	46000	€
Jaarlijkse baten	5032,48	€
TVT	9,1	Jaar

Mengzand		
Omschrijving	Waarde	Eenheid
Totaal energie verbruik gas	50277,58	GJ/jr.
Gebruikte hoeveelheid	10268	Ton
Totale productie op regendagen	81287	Ton
Variabele kosten aardgas	0,28	€/ m ³
Variabele kosten CO ₂ emissierechten	9	€/ m ³
Berekening		
Vochtpercentage na regen	4,5	%
Vochtpercentage na droogte	3,0	%
Totale vermindering vocht	154	Ton
Besparing per jaar	435	GJ
Aardgas besparing per jaar	13742	m ³
Besparing CO ₂	24,57	Ton
Besparing CO ₂ emissierechten	221,13	€
Investering	46000	€
Jaarlijkse baten	4052,51	€
TVT	11,4	Jaar

PR		
Omschrijving	Waarde	Eenheid
Totaal energie verbruik gas	50277,58	GJ/jr.
Gebruikte hoeveelheid	27166	Ton
Totale productie op regendagen	81287	Ton
Variabele kosten aardgas	0,28	€/ m ³
Variabele kosten CO ₂ emissierechten	9	€/ m ³
Berekening		
Vochtpercentage na regen	3,5	%
Vochtpercentage na droogte	1,5	%
Totale vermindering vocht	543	Ton
Besparing per jaar	1513	GJ
Aardgas besparing per jaar	47811	m ³
Besparing CO ₂	85,49	Ton
Besparing CO ₂ emissierechten	769,37	€
Investering	383333,33	€
Jaarlijkse baten	14100	€
TVT	27,2	Jaar

Porfier		
Omschrijving	Waarde	Eenheid
Totaal energie verbruik gas	50277,58	GJ/jr.
Gebruikte hoeveelheid	4269	Ton
Totale productie op regendagen	81287	Ton
Variabele kosten aardgas	0,28	€/ m ³
Variabele kosten CO ₂ emissierechten	9	€/ m ³
Berekening		
Vochtpercentage na regen	3	%
Vochtpercentage na droogte	1,5	%
Totale vermindering vocht	64	Ton
Besparing per jaar	181	GJ
Aardgas besparing per jaar	5713	m ³
Besparing CO ₂	10,22	Ton
Besparing CO ₂ emissierechten	91,94	€
Investering	138000	€
Jaarlijkse baten	1684,92	€
TVT	81,9	Jaar

Schots Graniet		
Omschrijving	Waarde	Eenheid
Totaal energie verbruik gas	50277,58	GJ/jr.
Gebruikte hoeveelheid	9299	Ton
Totale productie op regendagen	81287	Ton
Variabele kosten aardgas	0,28	€/ m ³
Variabele kosten CO ₂ emissierechten	9	€/ m ³
Berekening		
Vochtpercentage na regen	2	%
Vochtpercentage na droogte	0,5	%
Totale vermindering vocht	139	Ton
Besparing per jaar	394	GJ
Aardgas besparing per jaar	12445	m ³
Besparing CO ₂	22,25	Ton
Besparing CO ₂ emissierechten	200,26	€
Investering	57500	€
Jaarlijkse baten	3670,01	€
TVT	15,7	Jaar

Tilrood		
Omschrijving	Waarde	Eenheid
Totaal energie verbruik gas	50277,58	GJ/jr.
Gebruikte hoeveelheid	701	Ton
Totale productie op regendagen	81287	Ton
Variabele kosten aardgas	0,28	€/ m ³
Variabele kosten CO ₂ emissierechten	9	€/ m ³
Berekening		
Vochtpercentage na regen	3,5	%
Vochtpercentage na droogte	2,5	%
Totale vermindering vocht	7	Ton
Besparing per jaar	20	GJ
Aardgas besparing per jaar	626	m ³
Besparing CO ₂	1,12	ton
Besparing CO ₂ emissierechten	10,07	€
Investering	23000	€
Jaarlijkse baten	184,55	€
TVT	124,6	Jaar