

Het effect van de verdichtingstemperatuur op de dichtheid en de mechanische eigenschappen van asfaltmengsels

ir. F.R. Bijleveld

Universiteit Twente en Ooms Nederland Holding bv

dr. ir. A.H. de Bondt

Ooms Avenhorn Groep bv

ir. R.N. Khedoe

Ooms Nederland Holding bv

dr. ir. H.L. Ter Huerne

Universiteit Twente

Samenvatting

Algemeen bekend is dat de temperatuur van het asfaltmengsel en de verdichtingsprocedure belangrijk zijn voor de eindkwaliteit van de verharding. Dit onderzoek is vertrokken vanuit het idee dat er een venster van temperaturen is waarbinnen idealiter het verdichtingsproces plaats moet vinden, zodat met een hoge mate van waarschijnlijkheid de beoogde mengseleigenschappen uit het ontwerp bereikt worden. Dit temperatuurvenster is dan afhankelijk van de initiële temperatuur en de snelheid van afkoelen. Traditioneel wordt het verdichtingvenster gebaseerd op de bitumenviscositeit bij een bepaalde temperatuur en de dichtheid die bij die viscositeit behaald kan worden. Het nieuwe principe om het verdichtingsvenster vast te stellen gaat uit van de temperatuur en de mechanische eigenschappen die uiteindelijk behaald worden. In dit onderzoek is daarom het effect van de verdichtingstemperatuur op de dichtheid en de mechanische eigenschappen onderzocht. De aanpak hierbij is geweest het doen van literatuuronderzoek en empirisch onderzoek, bestaande uit geavanceerde laboratoriumexperimenten en een praktijkmeting. Dit empirisch onderzoek heeft plaatsgevonden op een STAB 0/16 mengsel (AC 16 base 40/60), zonder PR. Uit dit empirisch onderzoek is gebleken dat, voor dit mengsel, de verdichtingstemperatuur sterk van belang is voor de mechanische eindkwaliteit van de asfaltverharding, ook al wordt de streefdichtheid behaald. Verdichting buiten het optimale temperatuurvenster kan daarbij tot maximaal 40% vermindering van de mechanische eindkwaliteit leiden, en afhankelijk van het maatgevende schadebeeld, levensduurverkorting van de verharding tot gevolg hebben.

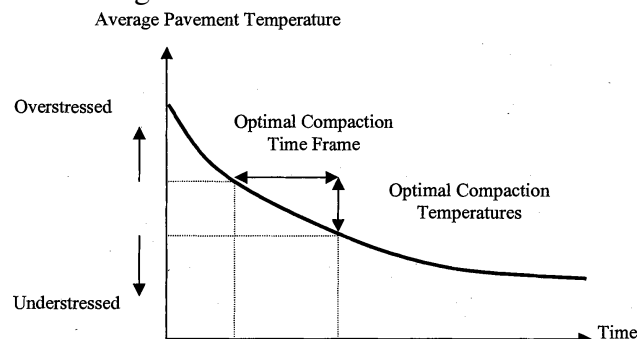
1. Inleiding en aanleiding onderzoek

Asfalttechnologen zijn het erover eens dat de verdichting van een asfaltmengsel de belangrijkste stap in het verwerkingsproces is om daadwerkelijk de potentiële eigenschappen van een mengsel om te zetten in zo goed mogelijke constructie-eigenschappen (Decker, 2006; Ter Huerne, 2004, etc.). Het bereiken van een juiste dichtheid optimaliseert de gewenste mengseleigenschappen, zoals sterkte, duurzaamheid, weerstand tegen deformatie, weerstand tegen vocht etc. (Decker, 2006). Een slechte dichtheid heeft grote kans op naverdichting hetgeen weer kan leiden tot scheuren, rafeling, gevoeligheid voor vocht, etc. (Decker, 2006). Al deze zaken kunnen vervolgens weer leiden tot een kortere levensduur van de asfaltconstructie. Een kortere levensduur van de asfaltlaag kost geld, tijd en grondstoffen, hetgeen de noodzaak van een juiste dichtheid en verdichting aangeeft.

Het verdichten van asfalt in de huidige bouwpraktijk is hoofdzakelijk gebaseerd op ervaringskennis. Uit de praktijkervaringen in het verleden opgedaan, weet men welk resultaat bij benadering mag worden verwacht, wanneer onder vergelijkbare omstandigheden met vergelijkbare materialen (mengsels) wordt gewerkt. Zodra echter buiten het ervaringsgebied gewerkt moet gaan worden, is het te verwachten resultaat onzeker (Ter Huerne, 2004). Tegenwoordig komt dit veelvuldig voor, omdat wegwerkzaamheden dienen plaats te vinden onder minder gunstige omstandigheden; er is steeds minder tijd beschikbaar, planningsliggen vast en zijn minder flexibel en veel nieuwe mengsels doen hun intrede. Ook wil men tegenwoordig bewust het seizoen van verwerken van asfalt zo veel mogelijk oprekken met als consequentie het vaak werken onder minder ideale omstandigheden. Hierdoor ligt het bereiken van de kwaliteit als gevolg van de verdichting tijdens het asfaltverwerkingsproces onder druk, zodat het te verwachten resultaat soms onzeker is. Het is daarom van belang om naar een meer methodegerichte manier van werken te streven, zodat ook onder minder gunstige omstandigheden zonder veel risico gewerkt kan worden. Deze methoden en procedures kunnen vervolgens een aangrijpingspunt voor de asfaltondernemer zijn om zelflerend te worden.

Van het verdichtingsproces is algemeen bekend dat de temperatuur waarop het asfaltmengsel verdicht wordt, belangrijk is voor de eindkwaliteit van de asfaltverharding. Dit onderzoek is vertrokken vanuit het idee dat er een venster van temperaturen is waarbinnen idealiter het verdichtingsproces plaats moet vinden, zodat met een hoge mate van waarschijnlijkheid de beoogde mengseleigenschappen uit het ontwerp bereikt kunnen worden. Afhankelijk van de snelheid van afkoelen betekent dit dus ook dat er een bepaald tijdsvenster beschikbaar is om idealiter te verdichten. Dit idee is geïllustreerd in figuur 1 waarin de temperatuur van het mengsel als functie van de tijd schematisch weergegeven wordt met de understressed-situatie (treedt op wanneer verdicht wordt bij een te lage materiaaltemperatuur), de overstressed-situatie (treedt op wanneer verdicht wordt bij een te hoge materiaaltemperatuur) en een optimale situatie. Bij verschillende mengsels en condities verschuift het tijdsvenster om te verdichten langs de tijdsschaal, afhankelijk van de mate van afkoeling. Een optimale verdichting is o.a. afhankelijk van het type asfaltmengsel. Het optimale temperatuur- en tijdsvenster zijn in figuur 1 weergegeven met respectievelijk 'optimal compaction temperatures' en 'optimal compaction time frame'. In dit model is het uitgangspunt dat het weliswaar mogelijk is om de streefdichtheid te behalen, maar wanneer dit bij een te lage of te hoge temperatuur is gebeurd, kunnen de mechanische eigenschappen van het mengsel achteruit gaan. Traditioneel wordt het verdichtingsvenster gebaseerd op de bitumenviscositeit bij een bepaalde temperatuur en de dichtheid die bij die viscositeit behaald kan worden. Binnen het hier besproken onderzoek wordt voorgesteld om het verdichtingsvenster vast te

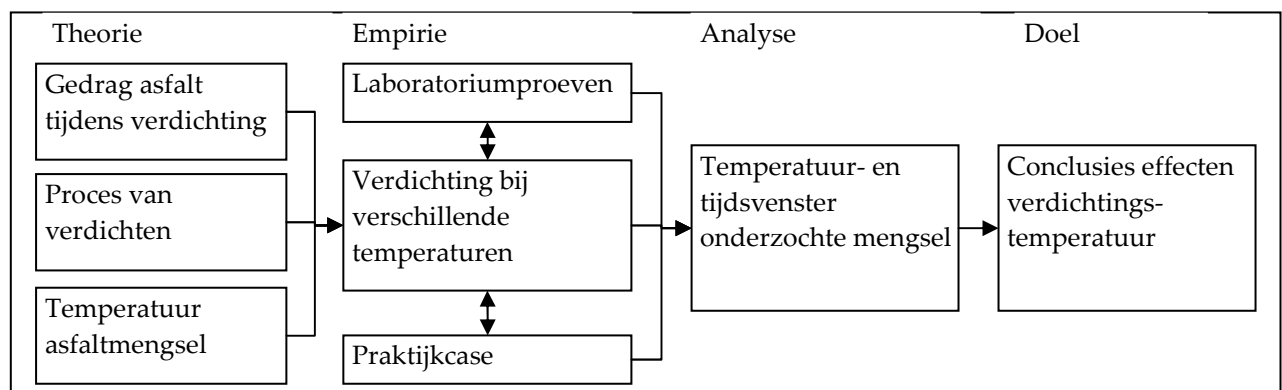
stellen uitgaande van de temperatuur en de mechanische eigenschappen die in potentie uiteindelijk behaald zouden kunnen worden gegeven het mengsel. In Nederland, maar ook wereldwijd, is kennis over de temperaturen waarbinnen asfaltmengsels idealiter verdicht dienen te worden (temperatuurvenster), en daarmee de tijdsvensters die beschikbaar zijn om te verdichten tamelijk grof en weinig specifiek. Het idee bestaat dat hier verbetering in kan worden gebracht. Een werkgroep binnen de Universiteit Twente (ASPARI) heeft materieel en ervaring om de temperatuur van het asfalt in de praktijk te meten (o.a. infraroodscanners en warmtebeeldcamera's). Het probleem dat centraal staat binnen het onderzoeksproject hier besproken, is dat onduidelijk is wanneer (bij welke temperaturen en dus ook binnen welk tijdsraam) het mengsel idealiter verdicht dient te worden om, gegeven een specifiek mengsel, de optimale mechanische eigenschappen te bereiken. Het doel van dit onderzoek is daarom ook om het effect van de verdichtingstemperatuur op de dichtheid en de mechanische eigenschappen te bepalen. De aanpak hiervoor is geweest het doen van empirisch onderzoek, met geavanceerde laboratoriumexperimenten en een praktijkmeting, op één Nederlands (standaard) asfaltmengsel.



Figuur 1: Afkoeling asfaltmengsel en tijdsvenster verdichting (Timm et al., 2001)

2. Onderzoeksontwerp

Dit onderzoek is opgesplitst in 4 delen; een theoretisch gedeelte, een empirisch gedeelte, een analyserend deel en een deel waarbij conclusies worden getrokken ten opzichte van de doelstelling (zie figuur 2). Deze vier delen vormen het uitgangspunt van de volgende paragrafen.



Figuur 2: Onderzoeksontwerp

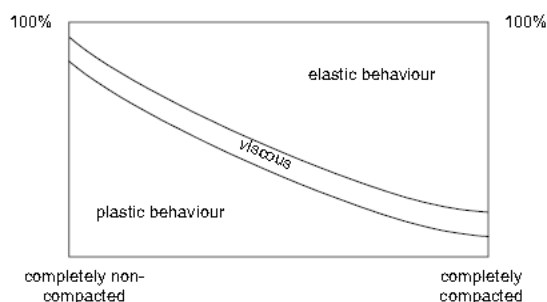
In het theoretische gedeelte is een literatuuronderzoek gedaan naar het gedrag van asfalt tijdens verdichting, het verdichtingsproces en de temperatuur van het asfaltmengsel tijdens verdichting. Op basis van deze theorie is voor het empirisch gedeelte bepaald op welke

parameters gelet moet worden. Vervolgens is in het empirische gedeelte één soort asfalt verdicht bij verschillende temperaturen, zowel in het laboratorium als in de praktijk. Hierbij is beschouwd of het mogelijk is om de streefdichtheid, zowel bij hoge als bij lage verdichtingstemperaturen te halen en welke effecten dit heeft in termen van mechanische eigenschappen. De resultaten zijn geanalyseerd en hieruit is een temperatuur- en tijdsvenster voor het onderzochte mengsel bepaald. Uiteindelijk zijn conclusies getrokken met betrekking tot het effect van de verdichtingstemperatuur op voortgang tijdens verdichting en de behaalde streefdichtheid. Ook is er een relatie gelegd tussen de verdichtingstemperatuur en de behaalde mechanische materiaaleigenschappen.

3. Theorie over het gedrag tijdens verdichting, het verdichtingsproces en de temperatuur tijdens verdichting

Gedrag van het asfaltmengsel tijdens verdichting

Figge (1987) heeft onderzoek gedaan naar de rheologische eigenschappen van het asfaltmengsel tijdens verdichting. In deze studie van Figge wordt geconcludeerd dat het gedrag van het asfaltmengsel aan het begin van de verdichting met name plastisch-viskeus is. Tijdens de verdichting verandert dit gedrag in overwegend elastisch-viskeus gedrag, waarbij de mate van viskeus gedrag tijdens de gehele verdichting nagenoeg gelijk blijft (zie figuur 3). Volgens Ter Huerne (2004) kan het materiaalgedrag van asfalt tijdens verdichting worden gekarakteriseerd als elastisch (totdat de korrels gaan schuiven) en plastisch (tijdens het schuiven).



Figuur 3: Rheologische fasen asfaltverdichting (Figge, 1987)

Het asfaltmengsel heeft kenmerken van elastisch, plastisch en viskeus gedrag. Afhankelijk van het moment tijdens verdichting kunnen bepaalde gedragingen overheersen. In dit onderzoek is gefocust op het walsproces, dus na voorverdichting met de balk. In deze fase is het asfaltmengsel al deels verdicht en dus is het asfaltmengsel met name beschouwd als een mengsel met visco-elastisch gedrag. In het empirisch gedeelte van het onderzoek, zowel in het laboratorium als in de praktijk, dient er dus rekening mee gehouden te worden dat het asfaltmengsel visco-elastisch gedrag vertoont en dat er een (vertraagd) elastisch effect plaats kan vinden na het verdichten en daarmee de dichtheid dus weer afneemt.

Dichtheid en verdichting

Om asfaltbeton succesvol toe te passen als constructiemateriaal binnen een wegverharding is het nodig om de deeltjes van het mengsel nader tot elkaar te brengen. Tijdens dit proces vindt herrangschikking van korrels plaats terwijl lucht wordt uitgedreven. Dit proces staat bekend als verdichting van het asfaltmengsel (Ter Huerne, 2004). Het bereiken van een juiste dichtheid optimaliseert de gewenste mengseleigenschappen, zoals sterkte, duurzaamheid, weerstand tegen deformatie, weerstand tegen vocht, etc. (Decker, 2006). Ter Huerne (2004)

geeft meerdere definities voor de dichtheid aan; het volumepercentage holle ruimte gerelateerd aan het volume van het totale materiaal (%), hoeveel massa dat in een bepaald volume aanwezig is (kg/m^3), de hoeveelheid ‘ruimte’ in het mineraalskelet gerelateerd aan het totale volume (%), etc. Van der Velden (2003) definieert de dichtheid als de mate waarin de korrels in elkaar passen. In dit onderzoek is de dichtheid bepaald door middel van boven en onder water wegen, zodat vervolgens met de Wet van Archimedes de dichtheid (in kg/m^3) kan worden bepaald. Factoren die van invloed zijn op de dichtheid zijn de gradatie en samenstelling van de bouwstoffen, de vochtigheidsgraad en de kracht die uitgeoefend wordt op de korrels.

Het verdichten van asfalt vindt plaats door het asfaltmengsel te belasten. Een materiaal dat belast wordt wil in principe vervormen. De vervorming wordt tegengegaan door de tegendruk en de inwendige samenhang (Van Stek en Linden, 1992). Om progressie in dichtheid te bereiken, dient het steenskelet verder in elkaar te worden gedrukt. Dit kan alleen worden bereikt als de overtollige lucht uit het mengsel wordt gedreven (Van Stek en Linden, 1992). Door een initieel relatief onverdicht materiaal te belasten verandert de korrelrangschikking. Het specifieke volume van het materiaal verandert en de dichtheid van het materiaal neemt toe. De vloeistof in het mengsel (bitumen) “smeert” de contactvlakken tussen de korrels en maakt het schuiven van de korrels ten opzichte van elkaar makkelijker mogelijk (Ter Huerne, 2004). Als het asfaltmengsel teveel verdicht wordt, is er geen of te weinig holle ruimte (lucht) aanwezig, waardoor het asfalt overvuld raakt. Daarmee kan het asfaltmengsel in bepaalde situaties zijn stabiliteit verliezen (Van Stek en Linden, 1992). Volgens Van Stek en Linden (1992) zijn bij steenrijke mengsels vaak ook horizontale krachten nodig om de gewenste korrelrangschikking te bereiken. Deze horizontale spanningen ontstaan door het verticaal belasten van het materiaal, in combinatie met horizontale opsluiting. Door verschillen in horizontale (opsluit)spanningen en verticale spanningen ontstaan schuifspanningen. Door variatie in de schuifspanning ten opzichte van de verticale belasting ontstaat een knedende werking. Bij onvoldoende opsluiting van het asfalt, kan dit door de wals worden verplaatst, met het uitwalsen (en mogelijk scheurvorming) van het asfalt als gevolg (Van Stek en Linden, 1992).

Van Stek en Linden (1992), maar ook Ooms Construction bv, constateren dat er in de praktijk 3 fasen in het proces van verdichten met de wals kunnen worden onderscheiden:

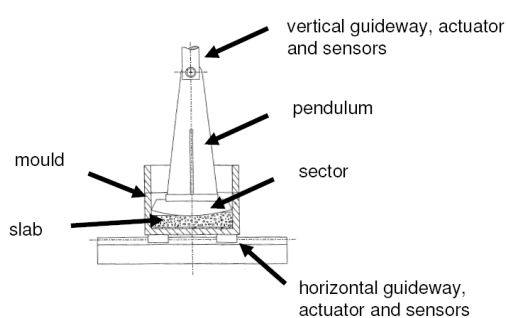
- Fase 1: In deze fase moet de korrelrangschikking plaatsvinden. De stenen moeten langs elkaar kunnen glijden en dus moet de mortel (bitumen + vulstof) nog voldoende flexibel, en dus warm, genoeg zijn. Als er stuwdruk ontstaat kan er lucht worden uitgedreven. Als de wals verdicht, vormt het oplegoppervlak zich voor de walsrollen zonder grote horizontale verplaatsing. Het mengsel moet hierbij niet te stug worden;
- Fase 2: In deze fase gaat het asfalt zich anders gedragen. Door een toenemende dichtheid en het toenemen van de mengselstijfheid bij een dalende temperatuur raakt de nog in het asfalt aanwezige lucht ingesloten, waardoor het asfalt zich elastisch gaat gedragen en is het verdichtingseffect verwaarloosbaar. In deze fase mag de horizontale druk op het asfalt niet te hoog oplopen, omdat dan de kans op schuiven en scheuren groot is;
- Fase 3: In fase 3 kan de verdichting van het asfalt weer worden voortgezet door de verder toenemende stijfheid van de mortel en het afnemende volume van bitumen en lucht (krimp). Door deze krimp moet het korrelskelet nog verder samengedrukt worden. Door de relatief hoge mengselstijfheid en mengselstijfheid is hiervoor een grote verticale druk nodig. Verder kunnen in deze fase oneffenheden en walsafdrukken worden weggewerkt.

In het empirisch onderzoek is getracht de verdichting volgens deze veronderstelde fasen uit te voeren.

Voor verdichting op laboratoriumschaal zijn in de Europese standaarden (EN-12697) een viertal verdichtingsmethoden beschreven; impact verdichting, knedende verdichting, vibrerende verdichting en rollende verdichting. Uit een vergelijking blijkt de rollende verdichting de meeste overeenkomst met de werkelijkheid te hebben. Deze heeft ook de mogelijkheid om het proefinstrument voor te verwarmen, en dit draagt mede bij aan een homogene temperatuur van het asfaltmengsel. Daarnaast is het proefstuk bij de rollende verdichting vrij groot, waardoor de opsluiting van het materiaal in het midden van het asfaltproefstuk goed overeenkomt met de werkelijkheid. Vanwege deze redenen is gekozen om een rollende verdichting in dit onderzoek toe te passen; de walssegmentverdichter (Freundl plaatverdichter, WSV-2008-KW50/500). In figuur 4a-c zijn respectievelijk de Freundl plaatverdichter, het principe van de verdichter en het resultaat weergegeven. Het principe is een hydraulisch heen-en-weer bewegend walssegment die met een bepaalde kracht het materiaal, in een eveneens heen-en-weer bewegende mal, verdicht. In de mal en het walssegment zijn sensoren bevestigd om de verplaatsingen en krachten te meten. De mal is een bak van 50 bij 50 cm en 30 cm hoog. Het walssegment is 50 cm breed en heeft een radius van 0,55 m. De krachten worden gemeten door het hydraulisch systeem (druk) en de verplaatsingen worden gemeten door LVDT's (linear variable differential transformers).



Figuur 4a: Freundl plaatverdichter



Figuur 4b: Principe (Martus en Nussbaum, 2009)



Figuur 4c: Resultaat

Mollenhauer (2009) heeft voor het maken van proefstukken met deze walssegmentverdichter een tweetal standaard verdichtingsprocedures opgesteld; één procedure voor een krachtgestuurde verdichting en één tweede voor positiegestuurde verdichting. De positiegestuurde verdichting wordt met name gebruikt om te komen tot een bepaalde streefdichtheid. De krachtgestuurde verdichting wordt met name gebruikt om proefstukken te vervaardigen die een hoge(re) mate van correlatie met de werkelijkheid hebben. Deze procedures hebben het uitgangspunt gevormd voor dit onderzoek.

De procedure voor de positiegestuurde verdichting gaat als volgt:

1. Voorverdicht met 0,5 mm per walsovergang tot 80 mm;
2. Houdt de hoogte (laagdikte) constant voor 5 walsovergangen;
3. Ontlast de kracht met 0,5 mm per walsovergang tot 0 kN.

De procedure voor de krachtgestuurde verdichting gaat als volgt:

1. Voorverdicht in 15 walsovergangen met 0,02 kN tot 0,1 kN per cm materiaal;
2. Egaliseer de plaat in 15 walsovergangen met 0,02 kN per cm materiaal;
3. Verhoog in 15 walsovergangen constant de kracht tot 0,75 kN per cm materiaal;
4. Ontlast de kracht in 15 walsovergangen tot 0 kN.

Temperatuur van het asfaltmengsel tijdens verdichting

Binnen de wegenbouwsector leeft het idee, zowel vanuit de theorie als vanuit de praktijk, dat de materiaaltertemperatuur bij het verdichten van het asfaltmengsel erg belangrijk is voor het eindresultaat. Bij een te lage temperatuur kan de bitumen niet goed meer 'smeren' met een niet-gesloten oppervlak als gevolg, dat snel kan worden beschadigd of vervormd door de

verkeerslast. Bij een te hoge temperatuur ontstaat er opstuwning van het asfaltmengsel naast de walsrol, ontstaan er dwarscheurtjes in de asfaltlaag achter de wals, kleeft het mengsel aan de walsrol (ondanks voldoende bevochtiging) en zakt de wals te ver weg in het asfalt. Bij een juiste temperatuur treden er geen haarscheurtjes en opstuwning naast de walsrol op en heeft men geen last van kleven, zodat er een gesloten oppervlak ontstaat (VBW-Asfalt, 2003; Van der Velden, 2003). Er zijn velerlei parameters van invloed op de temperatuur van het asfaltmengsel. Parameters waarmee bijvoorbeeld rekening gehouden moet worden zijn de omgevingstemperatuur, de temperatuur van de ondergrond, het verwerkingsproces en walsregimes, de laagdikte, windsnelheid en neerslag, etc.

Traditioneel werd de juiste verdichtingstemperatuur bepaald door het plotten van de log-viscositeit vs. de log-temperatuur, waarbij vervolgens de temperatuur bepaald werd bij een viscositeit van 1.7 poise (Corlew en Dickson (1970). Later hebben Jordan en Thomas (1976), Daines (1985) en Luoma et al (1995) bruikbare tools ontwikkeld om het temperatuurvenster, het tijdstip waarop er gestart en geëindigd moet worden met verdichten, te bepalen. Decker (2006) constateert al dat het vaststellen van de mengtemperatuur en de verdichtingstemperatuur met behulp van de temperatuur-viscositeit grafieken lang niet altijd meer voldoen. Meer viskeuze bindmiddelen kunnen de temperaturen waarbij verwerkt dient te worden verhogen, terwijl er niet altijd genoeg tijd beschikbaar is voor de verdichting. Het probleem van deze aanpakken is dat deze vensters gebaseerd worden op basis van viscositeit en dichtheid, maar ze geven niet direct inzicht in de functionele eigenschappen die uiteindelijk behaald worden. Daarnaast is een praktisch probleem dat bij het verdichten van een asfaltmengsel een homogene temperatuur van de asfaltlaag zelden voorkomt. Dit komt omdat de bovenkant van de asfaltlaag, en eventueel de onderkant van de asfaltlaag afhankelijk van de ondergrond, sneller afkoelt dan het midden van de asfaltlaag, waardoor verschillende temperaturen over de hoogte van de asfaltlaag ontstaan en dus ook verschillende optimale tijdsvensters om te verdichten. Hierdoor kan het theoretisch zelfs voorkomen dat er geen optimaal tijdsvenster bepaald kan worden, omdat het midden van de laag nog te warm is en de boven- en/of onderkant van de laag al te koud is. Geconcludeerd wordt in de literatuur dat belangrijke parameters die de verticale temperatuurverdeling over de asfaltlaag beïnvloeden de laagdikte, de buitentemperatuur, de windsnelheid, neerslag en de temperatuur van de ondergrond zijn. Van Dee (1999) heeft verder onderzoek gedaan naar het modelleren van de afkoeling van asfaltmengsels, maar concludeert dat het moeilijk is om de afkoeling van een asfaltlaag te voorspellen. De temperatuurcurve is een functie van tijd en diepte in de laag, hetgeen inhoudt dat de materiaaleigenschappen een functie van plaats en tijd zijn. Daarnaast concludeert Van Dee (1999) dat het effect van wind en regen moeilijk te voorspellen is. Binnen deze studie is niet verder ingegaan op het effect van een heterogene temperatuurverdeling in de asfaltlaag op de mechanische eigenschappen. Dit is een mogelijk onderwerp voor vervolgonderzoek. Daarnaast concludeert Van Dee (1999) dat het meten van de temperatuur in de asfaltlaag goed kan met thermokoppels. De oppervlaktetemperatuur van de asfaltlaag kan volgens Van Dee (1999) beter worden gemeten met een infraroodcamera. In het empirisch onderzoek is daarom de temperatuur van het asfaltmengsel met thermokoppels en met gebruik van een infraroodcamera gemeten. Binnen de praktijkproef is ervoor gekozen de temperatuur ongeveer per 10 á 20 millimeter laagdikte te meten, zodat de oppervlaktetemperatuur, de temperatuur van het midden van de asfaltlaag en de temperatuur in de onderkant van de asfaltlaag gemeten zal worden. In figuur 5 is het aanbrengen van een thermokoppel in de asfaltlaag weergegeven.

Het meten van de temperatuur dient inzicht te geven in de mate van temperatuurhomogeniteit van de te verdichten asfaltlaag. Het doel hiervan is dus om duidelijk aan te kunnen geven bij welke temperatuur verdicht wordt en hoe groot de variabiliteit van de temperatuur, in verticale en horizontale richting, van het asfalt is. Dorée en Miller (2009) hebben ook onderzoek gedaan naar de temperatuurhomogeniteit en het verdichtingsproces van asfalt voor een STAB- en SMA-mengsel. Ze concluderen dat Temperatuur Contour Plots (TCP) een goed instrument zijn om de temperatuurhomogeniteit en stopplaatsen van de spreidmachine weer te geven.



Figuur 5: Aanbrengen thermokoppels

4. Empirisch onderzoek naar de effecten van de verdichtingstemperatuur

In het empirisch onderzoek zijn, zowel in het laboratorium als in de praktijk, asfaltmengsels verdicht bij verschillende temperaturen. Er is onderzoek gedaan op een STAB 0/16 mengsel (AC 16 base 40/60), zonder PR. De belangrijkste reden hiervoor is dat dit mengsel het meest onder kritische omstandigheden verdicht wordt. De reden om geen PR (gerecycled asfaltgranulaat) toe te passen is om zoveel mogelijk homogeniteit in de asfaltmengsels te verkrijgen.

In het laboratorium zijn in totaal 18 asfaltplaten van 50 bij 50 cm verdicht met de walssegmentverdichter. Er zijn 12 platen positiegestuurd verdicht en er zijn, om tijdsredenen, 6 platen krachtgestuurd verdicht. Deze platen zijn verdicht bij verschillende temperaturen variërend van 80 °C tot 170 °C. Vervolgens zijn uit de asfaltplaten per plaat een negental kernen geboord. Om de mechanische eigenschappen te bepalen zijn per plaat 6 splijtproeven uitgevoerd, die inzicht moeten geven in de weerstand tegen scheurvorming, en zijn 3 triaxiaalproeven uitgevoerd, die een indicatie moeten geven voor de spoorvormingsgevoeligheid van het materiaal. Er is gekozen voor juist deze proeven om een drietal redenen; ten eerste omdat de maatgevende schadebeelden voor onderlagen hiermee worden afgedekt (STAB), het juiste aantal proefstukken uit één plaat gehaald konden worden voor het verkrijgen van een betrouwbaar resultaat en omdat de proefopstellingen beschikbaar waren. Deze mechanische proeven zijn uitgevoerd op proefstukken met een diameter van 100 mm en een dikte van 60 mm. De splijtproef is uitgevoerd volgens EN-12697-23, waarbij opgemerkt moet worden dat de proefstukken voor de proefneming voor minimaal 4 uur geconditioneerd zijn op 5 °C. De triaxiaalproef is uitgevoerd volgens proef 250 van de Standaard RAW bepalingen, in de NAT (Nottingham Asphalt Tester) en belast met een blokpuls in plaats van een sinuspuls (dus in feite twee keer zo zwaar belast als volgens de norm). Als wrijvingsreductie zijn twee lagen plastic met siliconenvet daartussen toegepast (Erkens, 2002).

Vervolgens zijn de resultaten uit het laboratorium vergeleken met de resultaten waargenomen tijdens de praktijkproef. Er is gekozen om na te gaan of het effect van de verdichtingstemperatuur op de mechanische eigenschappen zoals waargenomen in het laboratorium tevens kon worden gevonden bij de praktijkproef verdichte asfaltkernen. De praktijkproef betrof een werk in Dirkshorn (zie figuur 6). Bij een loods zijn er drie banen van 80 m lang, 4,5 m breed met 8 cm dik STAB 0/16 mengsel (zonder PR) aangebracht, ongeveer 230



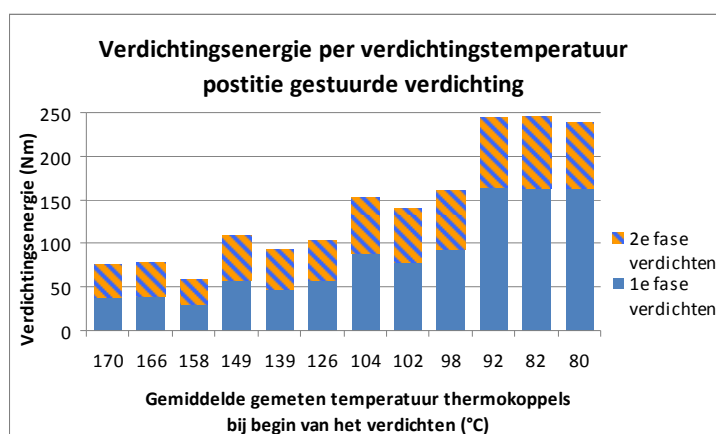
Figuur 6: Praktijkproef Dirkshorn

ton asfalt. Bij de eerste baan is begonnen met verdichten bij 130 °C (gemiddelde temperatuur over de laagdikte), bij de tweede baan bij 110 °C en de derde baan bij 90 °C. In de volgende paragrafen is het effect van de verdichtingstemperatuur op respectievelijk de dichtheid, de mechanische eigenschappen en het elastisch effect beschreven.

Effecten verdichtingstemperatuur op dichtheid

De asfaltmengsels zijn in het laboratorium verdicht met de Freundl plaatverdichter. Zoals in de theorie beschreven, gaan we ervan uit dat het proces van verdichting in 3 verschillende fasen plaatsvindt. Daarom is er ook met de Freundl plaatverdichter in verschillende fasen verdicht, zodat dit veronderstelde gefaseerde verdichtingsproces plaats kan vinden. IN het laboratorium is er in twee fasen verdicht, waarbij de eerste en tweede fase verondersteld in de theorie (korrelrangschikking en elastische fase) zijn samengevoegd tot 1 fase en de tweede fase van verdichten in de Freundl plaatverdichter overeenkomt met de derde fase verondersteld in de theorie (afwalsen). De kracht en energie die voor de verdichting nodig zijn geweest en de behaalde dichtheid zijn geanalyseerd.

Met betrekking tot de verdichtingskracht en -energie valt te concluderen dat er meer kracht en energie benodigd is wanneer de verdichtingstemperatuur lager is. Dit is geïllustreerd met figuur 7 voor de verdichtingsenergie (in Nm, oftewel joule). De meest logische verklaring hiervoor lijkt dat de bitumen meer viskeus zijn, waardoor er meer kracht nodig is om de mengselcomponenten nader tot elkaar te brengen. Krachten in de Freundl plaatverdichter die boven de 30 kN liggen, zouden tijdens een verdichtingsproces door walsen in de praktijk nauwelijks mogelijk zijn. Hiervoor zou zo een zware wals benodigd zijn, dat deze in de praktijk niet verkrijgbaar is. Dergelijke krachten zouden nodig zijn indien de verdichtingstemperaturen zakken onder de 104 °C. Bij verdichtingstemperaturen hoger dan 149 °C is er slechts weinig kracht nodig om het asfaltmengsel te verdichten. Bij deze temperaturen zal er in de praktijk dus met een lichtere wals verdicht moeten worden (ongeveer 6000 kg bij een walsbreedte van 1,30 meter), anders wordt het bitumen door het steenskelet naar boven gedrukt en zal het mengsel vet slaan.

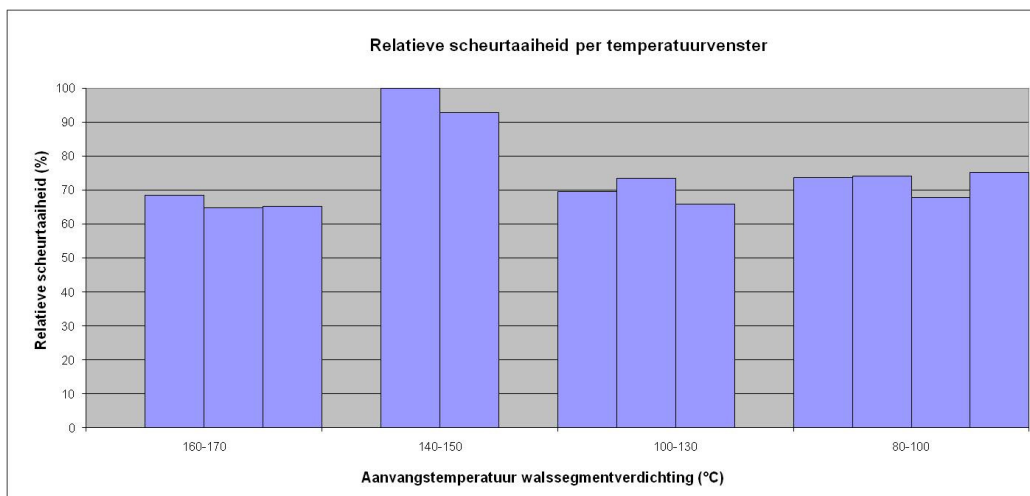


Figuur 7: Verdichtingsenergie per verdichtingstemperatuur bij positie gestuurde verdichting

Uit analyse van de behaalde dichtheden in het laboratorium blijkt dat bij alle verdichtingstemperaturen, dus zelfs tot 80 °C, de streefdichtheid behaald kan worden. Weliswaar is er dus meer energie nodig om deze streefdichtheid te behalen, maar het is wel mogelijk. Uit de praktijkproef is geconcludeerd dat het bij de lagere verdichtingstemperatuur (90 °C) weliswaar moeilijker wordt om de streefdichtheid te behalen, maar dat het ook nog mogelijk is.

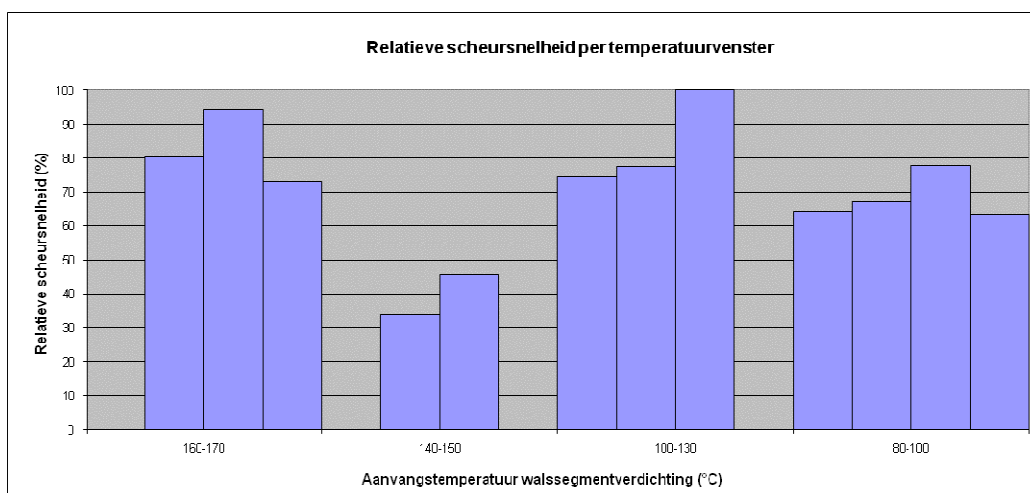
Effecten verdichtingstemperatuur op mechanische eigenschappen

Uit de asfaltplaten zijn een negental kernen geboord, waarop 6 splijtproeven zijn uitgevoerd en 3 triaxiaalproeven. De mechanische kwaliteit binnen een plaat was homogeen. Uit analyse van de resultaten van de mechanische proeven blijkt dat, ongeacht de streefdichtheid die behaald is, de behaalde mechanische eigenschappen significant variëren afhankelijk van de temperatuur waarop het mengsel verdicht is. Deze variëteit is het grootst bij de eigenschappen scheurtaaiheid en scheursnelheid. Voor de scheurtaaiheid is dit geïllustreerd in figuur 8 waarin de relatieve scheurtaaiheid per verdichtingstemperatuur is weergegeven. Uit de testresultaten blijkt dat de platen verdicht bij de temperatuur van 140 °C en 150 °C duidelijk een hogere scheurtaaiheid hebben dan de overige platen die verdicht zijn bij een hogere of een lagere temperatuur. Gemiddeld is de scheurtaaiheid bij de verdichtingstemperaturen 140 °C en 150 °C, 1,0-2,0 (N.mm)²/mm² hoger dan bij de overige testtemperaturen. Procentueel betekent dit een afname van ongeveer 20-35% scheurtaaiheid wanneer begonnen wordt met verdichten buiten de ideale verdichtingstemperaturen van 140-150 °C.



Figuur 8: Relatieve scheurtaaiheid per verdichtingstemperatuur (elke kolom is 1 plaat, waaruit 6 kernen zijn geboord)

Voor de scheursnelheid is dit geïllustreerd in figuur 9, waarin de relatieve scheursnelheid per verdichtingstemperatuur is weergegeven. Uit de testresultaten blijkt dat verdichten buiten de ideale verdichtingstemperaturen van 140-150 °C tot een toename van 40% van de scheursnelheid kan leiden.



Figuur 9: Relatieve scheursnelheid per verdichtingstemperatuur (elke kolom is 1 plaat, waaruit 6 kernen zijn geboord)

Ook uit de resultaten verkregen uit de praktijkproef blijkt dat de scheurtaaiheid en scheursnelheid significant variëren afhankelijk van de temperatuur waarop het STAB-mengsel verdicht is, ongeacht dat de streefdichtheid toch is behaald. Hieruit blijkt dat de verdichtingstemperatuur een belangrijke parameter is voor de weerstand tegen scheurvorming bij dit asfaltmengsel. Voor wat betreft de spoorvormingsgevoeligheid (triaxiaalproef) is voor dit mengsel geen duidelijk relatie met de verdichtingstemperatuur gevonden.

Effecten verdichtingstemperatuur op terugvering

Uit het laboratoriumonderzoek en de praktijkproef is het terugverend effect, zoals al besproken in de theorie, duidelijk zichtbaar. De proefstukken in het laboratorium die zijn verdicht tot een laagdikte van 80 mm blijken na het ontlasten te zijn teruggeveerd tot 81,5-82,5 mm. Ook bij de praktijkmeting is opgevallen dat de nucleaire dichtheid (gemeten met de Troxler) eerst toeneemt, daarna weer afneemt en uiteindelijk weer toeneemt. Vervolgens is het belangrijk na te gaan wanneer dit terugverend effect blijkt te zijn uitgewerkt en of het terugverend effect afhankelijk is van de temperatuur waarbij begonnen wordt met verdichten. Uit analyse van de laagdikte van de proefstukken uit het laboratorium blijkt dat het elastisch effect na 23 uur gelijk is aan het effect na 110 uur, dus wordt verondersteld dat na 23 uur de asfaltplaat volledig is teruggeveerd. Daarna zijn de laagdikten per verdichtingstemperatuur geanalyseerd. Hieruit blijkt dat het elastisch effect bij hoge verdichtingstemperaturen groter is dan bij lage verdichtingstemperaturen. De grootte van het terugveereffect is dus afhankelijk van de verdichtingstemperatuur.

5. Conclusies en aanbevelingen

Uit dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Om asfaltmengsels te verdichten in het laboratorium is de Freundl walssegmentverdichter (WSV-2008-KW50/500), goed bruikbaar. Hierbij zijn de verdichtingsprocedures van Mollenhauer (2009) een goed uitgangspunt;
- Om de afkoeling van het asfaltmengsel in de loop van de tijd en de verticale temperatuurverdeling binnen de asfaltlaag te meten zijn thermokoppels goed bruikbaar;
- De verdichtingskracht en de verdichtingsenergie nemen toe naarmate de verdichtingstemperatuur afneemt. Desalniettemin is het in de praktijk mogelijk om de streefdichtheid te behalen door te beginnen met verdichten bij een temperatuur van 90 °C;
- Voor wat betreft de spoorvormingsgevoeligheid (triaxiaalproef) is voor het STAB-mengsel geen duidelijk relatie met de verdichtingstemperatuur gevonden;
- De scheurtaaiheid en scheursnelheid zijn voor een STAB 0/16 mengsel (zonder PR) afhankelijk van de verdichtingstemperatuur, ongeacht of de streefdichtheid is behaald. Verdichten buiten dit verdichtingsvenster kan leiden tot 35% afname van de scheurtaaiheid en 40% toename van de scheursnelheid. Voor dit mengsel blijkt de verdichtingstemperatuur dus een belangrijke parameter voor de scheurtaaiheid en scheursnelheid;

Aanbevelingen naar aanleiding van dit onderzoek zijn:

- Een kwaliteitscontrole voor de verdichting waarbij uitsluitend naar de dichtheid als maatstaf wordt gekeken is niet altijd voldoende. Het lijkt raadzaam om ook rekening te houden met de verdichtingstemperatuur, omdat bij de juiste verdichtingstemperatuur de optimale mechanische eigenschappen van het materiaal behaald kunnen worden;

- Aanbevolen wordt om het verdichtings(tijd)venster te laten afhangen van de temperatuur en de daarbij te behalen mechanische eigenschappen i.p.v. de bitumenviscositeit en de mogelijk te behalen dichtheid bij deze viscositeit;
- Voor het behalen van de optimale mechanische eigenschappen zou het verdichtingsproces van een STAB 0/16 mengsel (zonder PR) gestart moeten worden bij een materiaaltemperatuur van 140-150 °C.

Aanbevelingen voor verder onderzoek zijn:

- Het nauwkeurig(er) simuleren van walsregimes in het laboratorium met de Freundl walssegmentverdichter en het bepalen van de effecten van verschillende walsregimes voor diverse veelgebruikte mengsels;
- Het zoeken naar mogelijkheden om verdichtingsprocessen van asfalt optimaal te sturen tijdens het verdichtingsproces, zodat maximale mechanische eigenschappen in de praktijk kunnen worden verwezenlijkt.

Referenties

- Bijleveld, F.R. (2010). Asfaltwegenbouw, op weg naar professionalisering - Op basis van mechanische eigenschappen het bepalen van temperatuur- en tijdsvensters voor het verdichten van Nederlandse asfaltmengsels (gratis te downloaden op: <http://essay.utwente.nl/59418/>)
- Bossemeyer, H. R. (1986). *Temperaturverlauf beim Einbau von bituminösen Mischgüt*, Technischen Hochschule Darmstadt.
- Chadbourn, B. A., Newcomb, D. E., Voller, V. R., Desombre, R. A., Luoma, J. A., en Timm, D. H. (1998). "An asphalt paving tool for adverse conditions." *Minnesota Dept. of Transportation Final Report MN/RC-1998*, 18.
- Daines, M. E. (1985). "Cooling time of bituminous layers and time available for their compaction." Transport and road research laboratory report, 4.
- De Bondt, A. H. (1999). Anti-reflective cracking design of (reinforced) asphaltic overlays.
- Decker, D. S. (2006). "State-of-the-Practice for Cold-Weather Compaction of Hot-Mix Asphalt Pavements." *Factors Affecting Compaction of Asphalt Pavements*, 27.
- Erkens, S. M. J. G. (2002). Asphalt concrete response; Determination, modelling and prediction.
- Figge, H. (1987). Verdichtungs- und belastungsverhalten bituminöser gemische (Dissertation).
- Head, K. H. (1980). Manual of soil laboratory testing.
- Jordan, P. G., Thomas, M. E. (1976). "Prediction of cooling curves for hot-mix paving materials by a computer program." *Transport and road research laboratory report*.
- Krass, K. (1971). Kriechuntersuchungen an Zylindrischen Asphaltprobekörpern.
- Luoma, J. A., Allen, B., Voller, V. R., Newcomb, D. E. (1995). "Modeling of heat transfer during asphalt paving." *Numerical methods in thermal problems*, 6 (2), 1125-1135.
- Miller, S. R., en Dorée, A. G. (2009). "Proefproject Aziëhavenweg." *Asfalt nr. 2, juni 2009*.
- Mollenhauer, K. (2009) "Comparative test project + standard compaction procedure." *Advanced testing and characterization of bituminous materials*, Rhodos.
- Mollenhauer, K., en Wistuba, M. P. (2009) "Experiences from comparative laboratory testing." *Advanced testing and characterization of bituminous materials*, Rhodos.
- Recasens, M., Rodrigo, P., Jiménez, F., en Martínez, A. (2000). "Quality specifications for bituminous mixtures using the indirect tensile strength." 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona.
- Ter Huerne, H. L. (2004). Compaction of Asphalt Road Pavements Using Finite Elements and Critical State Theory, University of Twente.
- Van Dee, R. (1999). Modelling of the compaction of asphalt layers: A survey into the influence of various factors on the compaction of asphalt layers in practice, Technische Universiteit Delft.
- Van Stek, P. J., en Linden, A. H. G. (1992). *Het verdichten van asfalt in de praktijk*, VBW-Asfalt.
- VBW-Asfalt. (2000). Asfalt in wegen- en waterbouw.