

## Nucleair dichtheidsonderzoek aan asfaltproefstukken.

J.L.M. Voskuilen<sup>1</sup> en M.H.M. Coppens<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dienst Weg-en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat  
Postbus 5044, 2600 GA Delft

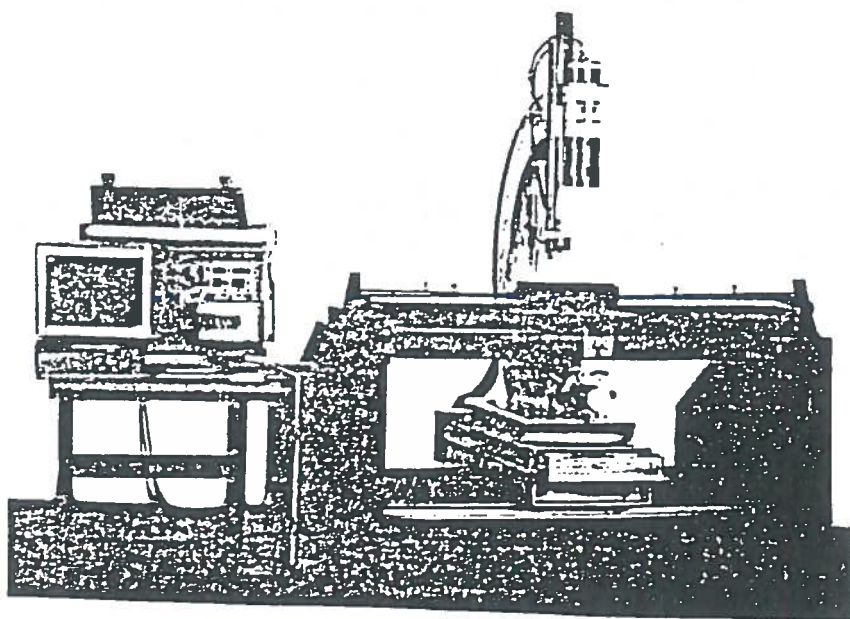
<sup>2</sup>Netherlands Pavement Consultants b.v.  
Postbus 2756, 3500 GT Utrecht

### Samenvatting

De invloed van de verdichtingsmethode op de verdeling van de dichtheid in de hoogte in asfaltproefstukken is onderzocht. Hiertoe zijn vier laboratorium verdichtingsmethoden vergeleken met praktijkverdichting. De dichtheden bepaald met de klassieke methode zijn vergeleken met dichtheden die met de zogenaamde 'gammabanc' zijn bepaald. Met deze laatste methode kan de dichtheidsverdeling in de hoogte van het proefstuk worden onderzocht. In deze bijdrage zal worden ingegaan op het meetprincipe van de 'gammabanc' en de behaalde resultaten.

### Summary

The influence of the compaction method on the density distribution in the height in asphalt mixtures samples has been investigated. Four laboratory compaction methods are compared with compaction in practice. The densities determined with the classical method have been compared with the densities determined with the so-called 'gammabanc'. With this last method density distribution in the height of the sample can be investigated. This article deals with the principle of the 'gammabanc' and the test results.



Figuur 1. Opstelling van de 'gammabanc' (Banc Gamma Vertical)

## Inhoud

1. Inleiding
2. Principe meetopstelling
3. Materialen
4. Proefstukbereiding
  - 4.1 Praktijkverdichting
  - 4.2 Marshallverdichting
  - 4.3 Gyratorverdichting
  - 4.4 Plaat(wals)verdichting
  - 4.5 Verdichting m.b.v. statische laboratoriumpers
5. Resultaten
6. Discussie
7. Conclusies
8. Stellingen
9. Referenties

## 1. Inleiding

Binnen het TWAO-project van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) wordt een nieuw toetsingsinstrumentarium voor kwaliteitscontrole voor asfalt ontwikkeld, waarbij wordt getoetst op functionele eigenschappen [1]. Dit in tegenstelling tot het huidige systeem, dat voornamelijk is gebaseerd op controle op samenstellingseisen. De functionele eigenschappen zullen worden vertaald naar relevante technische eisen, die zullen worden gesteld aan de resultaten van fundamentele- en praktijkproeven aan asfalt. Hoewel deze functionele eisen worden gesteld aan praktijkverdicht asfalt, kunnen de fundamentele asfaltspecificaties reeds in het stadium van mengselontwerp worden toegepast. Het probleem hierbij is echter dat de mechanische eigenschappen van praktijkverdicht en laboratoriumverdicht asfalt verschillend kunnen zijn. In het DWW-project ASF/KAR/RAW wordt onderzoek uitgevoerd naar de overeenkomsten en/of verschillen tussen praktijk- en laboratoriumverdicht asfalt. Dit gebeurt o.a. met een holle-ruimte-rekenmodel waarmee het mogelijk is om de korrelopbouw fysisch te karakteriseren op basis van holle ruimte verdeling over de gradering.

De CROW-werkgroep B-15 (Asfalttechnologie) heeft een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de invloed van de verdichtingsmethoden op de asfalteigenschappen. Hierbij zijn vijf mengseltypen verdicht op vijf verschillende manieren en zijn de verkregen proefstukken op vijf verschillende manieren getest. Uit het onderzoek bleek dat de verschillende soorten verdichtingsmethoden grote invloed hebben op de mechanische eigenschappen van de onderzochte asfalttypen [2].

Uit Amerikaans onderzoek [3] is gebleken dat zelfs indien laboratorium- en praktijkverdicht asfalt dezelfde dichtheid bezitten, de mechanische eigenschappen kunnen verschillen. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de holle ruimte verdeling verschillend is. Bij proefstukken met gelijke dichtheid, met verschillende methoden verdicht, kan de holle ruimte in de verschillende proefstukken fijn verdeeld (kleine poriën), grof verdeeld (grote poriën) of in een combinatie van grof en fijn verdeeld zijn. Ook het inhomogeen verdeeld zijn van de holle ruimte kan de mechanische eigenschappen beïnvloeden.

Om hier enig inzicht in te krijgen is met één soort asfalt een beperkt onderzoek uitgevoerd naar de verdeling van de dichtheid in de hoogte van laboratoriumverdichte en praktijkverdichte proefstukken. Hiertoe zijn van een dicht asfaltbeton mengsel proefstukken vervaardigd met de volgende laboratorium verdichtingsmethoden: Marshallverdichting, gyatorverdichting, plaat-(wals)verdichting en een verdichting m.b.v. statische laboratoriumpers. Als referentie zijn proefstukken uit de weg geboord, die op een standaard wijze zijn verdicht. De dichtheid van alle proefstukken is zowel op de klassieke manier als met een nucleaire methode bepaald. De nucleaire methode werd uitgevoerd met de zgn. 'gammabanc'. Het bijzondere van deze niet-destructieve meetmethode is dat de dichtheid van proefstukken in dunne lagen in de hoogte van het proefstuk nauwkeurig kan worden gemeten. Deze bijdrage gaat in op het principe van de 'gammabanc' en geeft de resultaten van dit onderzoek weer.

## 2. Principe meetopstelling

Voor het meten van de dichtheid van de proefstukken is gebruik gemaakt van de zogenaamde Gammabanc (Banc Gamma Vertical) van het Franse LRPC (Laboratoires Routiers Ponts et Chaussees). Dit apparaat is sinds midden '60-er jaren in gebruik op de regionale overheidslaboratoria en op de centrale laboratoria van enkele aannemingsbedrijven in Frankrijk. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de meest recente uitvoering van het apparaat, zoals dit staat opgesteld op het Centraal Laboratorium van Colas in Trappes.

Het principe van de dichtheidsmeting is gelijk aan dat van de draagbare nucleaire dichtheidsme-

ters, zoals die ook in Nederland voor het meten van de asfaltverdichting in de praktijk vaak worden gebruikt.

Met behulp van een Cesium-137 bron en telbuizen wordt de verzwakking van gammastraling gemeten die in een geconcentreerde bundel door het proefstuk gaat. De absorptie van de gammafotonen is een maat voor de (massa)dichtheid; de 'dichtheid proefstuk' zoals die normaliter op de klassieke wijzen door meten en wegen of door onder en boven water wegen worden bepaald.

De cilindrische proefstukken, zoals die in het onderzoek worden gebruikt, worden doorstraald terwijl ze op een rollenbank langzaam ronddraaien. In figuur 1 is een afbeelding weergegeven van de proefopstelling. Op deze wijze wordt over een laagdikte van 5 mm een goed beeld verkregen van de verdeling van de dichtheid over de hoogte van het proefstuk. Dit in tegenstelling tot de klassieke proeven, waarbij alleen een gemiddelde dichtheid wordt verkregen van het totale proefstuk.

Essentieel is de zeer stabiele uitvoering van het apparaat en de nauwkeurige positiebepaling van de puntbron. Op de bank blijven de, om hun as draaiende, proefstukken op hun plaats en beweegt de gammabron langs het proefstuk.

In plaats van cilindrische proefstukken kunnen ook balkjes of platen worden doorgemeten op een daarvoor bestemde tafel. M.b.v. het instellen van coördinaten kunnen deze proefstukken computergestuurd worden gescand. Zie voor het proefvoorschrift [4].

### 3. Materialen

Uit een onder normale omstandigheden aangelegd asfaltwerk is voor het uitvoeren van onderzoek één soort asfaltmengsel geselecteerd, namelijk dicht asfaltbeton type 0/16 verkeersklasse 3 met 25% regeneratie-asfalt. De gewenste samenstelling is weergegeven in tabel 1.

De proefstukken t.b.v. onderzoek naar de dichtheidsverdeling van praktijkverdichting zijn verkregen door kernen met een diameter van 10 cm uit het wegdek te boren. Tijdens aanleg is uit de hopper van de spreidmachine voldoende materiaal verzameld om de proefstukken met laboratoriumverdichting te vervaardigen. Om veroudering van het bitumen zoveel mogelijk te voorkomen is het asfalt in luchtdicht afgesloten blikken bewaard. Voor het vervaardigen van laboratoriumverdichte proefstukken is het asfalt voor een tweede maal verwarmd en gemengd.

Tabel 1. Gewenste samenstelling dab 0/16 verkeersklasse 3

Bouwstoffen	% (m/m)
Nederlandse steenslag 11/16	15,3
Nederlandse steenslag 8/11	12,9
Nederlandse steenslag 4/8	6,2
Nederlandse steenslag 2/6	13,8
Brekerzand	23,0
Zwakke vulstof (Wigras 40 K)	3,8
Mineraal uit regeneratie asfalt	25,0
Bitumen 80/100 (Q8)	4,74
Bitumen uit regeneratie asfalt	1,66

### 4. Proefstukbereiding

Bij de proefstukbereiding was het streven om bij elke verdichtingsmethode dezelfde dichtheid te behalen als de dichtheid van de praktijkverdichte boorkernen. Een probleem hierbij was de onbekendheid van de invloed van het randeffect op de dichtheid proefstuk van de met verschillende verdichtingsmethoden vervaardigde proefstukken. Het onderzoek hiernaar was niet het doel van dit onderzoek en daarom is bij het vervaardigen van proefstukken getracht de boorkerdichtheid zoveel mogelijk te benaderen. Voor meer gedetailleerde gegevens betreffende de proefstukvervaardiging wordt verwezen naar [5].

#### 4.1 Praktijkverdichting

Uit een normaal asfaltwerk, waarbij een dicht asfaltbeton 0/16 type B, verkeersklasse 3 werd aangebracht, zijn 6 boorkernen met een diameter van 10 cm genomen. De laagdikte varieerde van 4 tot 5,5 cm. De dichtheid in het vooronderzoek bedroeg  $2337 \text{ kg/m}^3$ . De gemiddelde dichtheid van de 6 boorkernen bedroeg  $2356 \text{ kg/m}^3$ .

De aanlegomstandigheden kunnen als representatief voor een normaal werk worden omschreven. De weersomstandigheden waren goed: geen neerslag en de gemiddelde temperatuur bedroeg  $22^\circ\text{C}$ . De asfaltset, bestaande uit een Demag 110 asfaltafwerkmaschine, een HAMM DV 6 tandemtrilwals van 6 ton en een Aveling Barford DC 013 wals van 10 ton, is gebruikelijk voor verdichting van dicht asfaltbeton bij dit soort werken.

#### 4.2 Marshallverdichting

Er is naar gestreefd om de boorkerndichtheid te benaderen, met inachtneming van de invloed van de randeffecten bij Marshallverdichting.

De Marshallverdichting bij  $2 * 50$  slagen resulteerde in een dichtheid van  $2330 \text{ kg/m}^3$ . Om inzicht te krijgen in de dichtheid van een Marshallproefstuk met het zelfde randeffect als een boorkern is de dichtheid bepaald van een uit een Marshallproefstuk gezaagd blokje. Deze dichtheid bedroeg  $2350 \text{ kg/m}^3$ , wat overeenkomt met de boorkerndichtheid. Voor het onderzoek zijn 3 Marshallproefstukken vervaardigd.

#### 4.3 Gyratorverdichting

Met de gyrator - volgens SHRP specificaties - zijn 6 proefstukken vervaardigd. Met een oriënterend onderzoek, waarbij een proefstuk is verdicht tot 200 omwentelingen, is de relatie dichtheid versus het aantal omwentelingen bepaald. Voor het vervaardigen van de gyratorproefstukken is het aantal omwentelingen zo gekozen dat de gemeten dichtheid ca.  $2356 \text{ kg/m}^3$  zou bedragen. Dit leverde 3 gyratorproefstukken op met gemiddelde dichtheid van  $2358 \text{ kg/m}^3$ , bepaald volgens de methode 'onder en boven water wegen'.

#### 4.4 Plaat (wals)verdichting

Voor de plaat(wals)verdichting is de standaard NPC-methode toegepast. Hierbij wordt ter verkrijging van de gewenste dichtheid een berekende hoeveelheid dicht asfaltbeton in een mal met een bepaald volume gestort. Eerst vindt er een voorverdichting plaats m.b.v. een elektrisch trilplaatje plaats (simulatie van de trilbalk), waarna het asfalt door statisch afrollen met een handwals verder wordt verdicht. Uit de op het laboratorium verdichte plaat van  $60 * 60 \text{ cm}^2$  zijn kernen met een diameter van 10 cm geboord. De gemiddelde dichtheid van 5 boorkernen bedroeg  $2360 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4.5 Verdichting m.b.v. statische laboratoriumpers

Eerst is proefondervindelijk vastgesteld bij welke constante druk en na hoeveel tijd de gewenste dichtheid kon worden bereikt. Met behulp van een laboratoriumpers zijn 3 proefstukken in een Marshallmal statisch verdicht. De gemiddelde dichtheid bedroeg  $2347 \text{ kg/m}^3$ .

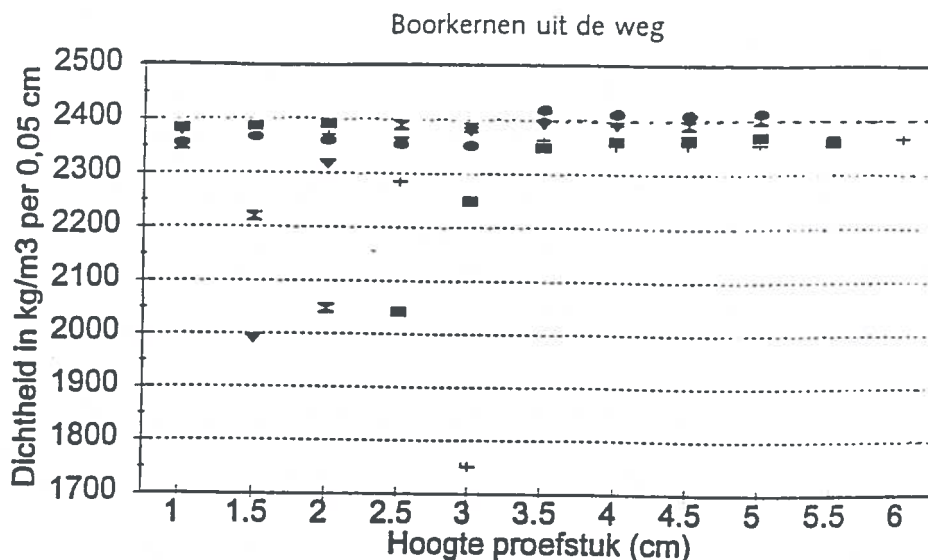
## 5 Resultaten

De dichtheid in het vooronderzoek is vastgesteld op 2337 kg/m<sup>3</sup>. De middelde dichtheid van de praktijkverdichte boorkernen bedroeg 2356 kg/m<sup>3</sup>. Bij de laboratorium verdichtingsmethoden is er naar gestreefd om de praktijkverdichting te benaderen. In tabel 2 worden de gemiddelde dichtheden met standaardafwijkingen met zowel de conventionele methode (boven- en onder water wegen) als de nucleaire methode weergegeven.

Tabel 2. Dichtheid gegevens per verdichtingsmethode.

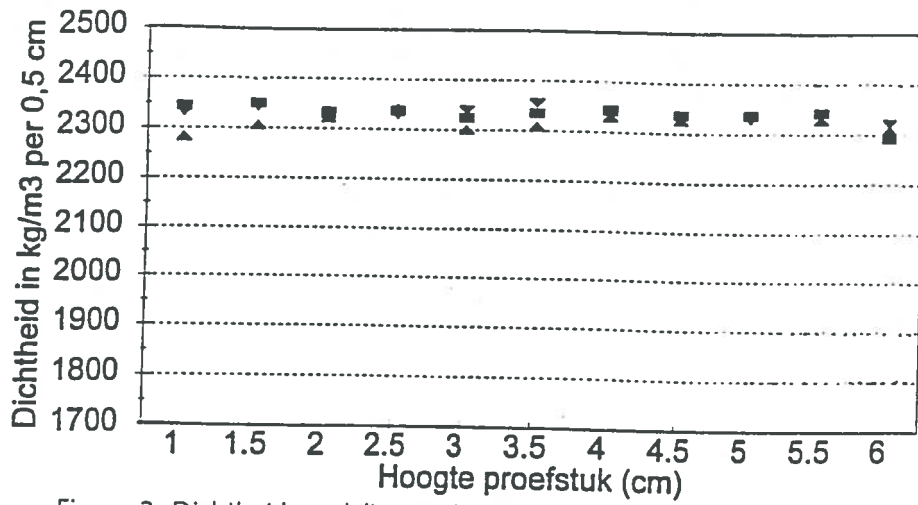
Verdichtingsmethode	aantal monsters	Klassieke meetmethode (kg/m <sup>3</sup> )	standaardafwijking	Nucleaire meetmethode (kg/m <sup>3</sup> )	standaardafwijking	verschil (klassiek - nucleair)
Praktijk	6	2356	13	2322	22	+34
Marshall	3	2331	7	2330	9	+ 1
Gyrator	3	2358	6	2373	17	-15
Lab.pers	3	2347	5	2364	1	-17
Plaat(wals)	5	2360	3	2368	13	- 8
gemiddeld		2350		2351		

In de figuren 1 t/m 5 is de dichtheidsverdeling in de hoogte van de proefstukken weergegeven. In figuur 6 is een vergroting weergegeven van de dichtheidsverdeling in de hoogte van gyratorverdichte proefstukken.



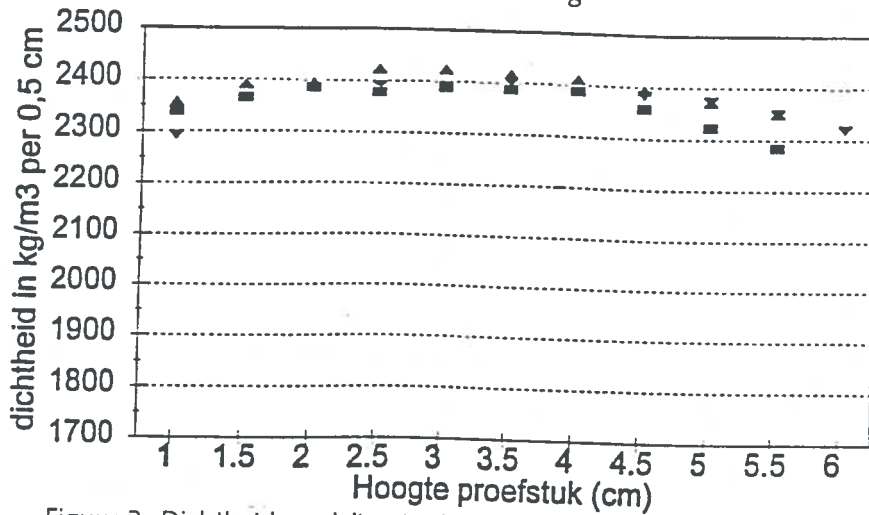
Figuur 1. Dichtheidsverdeling in de hoogte van 6 praktijkboorkernen.

Marshallverdichting



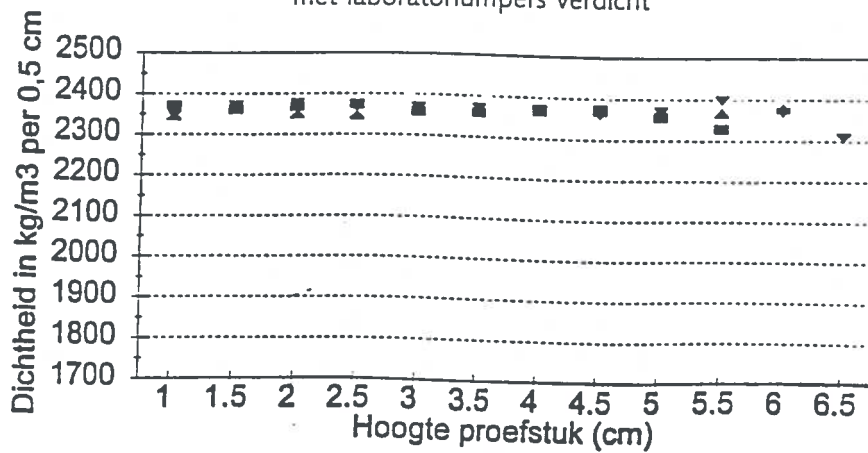
Figuur 2. Dichtheidsverdeling in de hoogte van 3 Marshallproefstukken.

gyratorverdichting



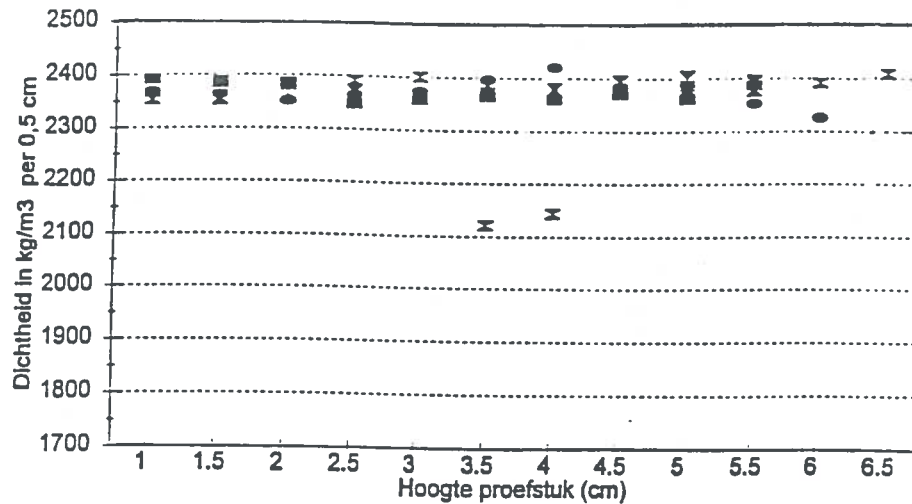
Figuur 3. Dichtheidsverdeling in de hoogte van 3 gyratorproefstukken.

met laboratoriumpers verdicht



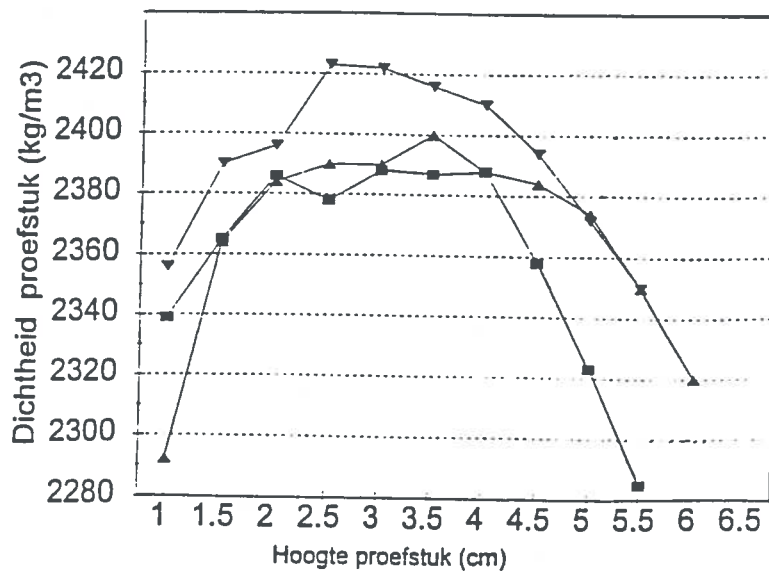
Figuur 4. Dichtheidsverdeling in de hoogte van 3 laboratoriumpersverdichte proefstukken.

## plaat(wals)verdichting



Figuur 5. Dichtheidsverdeling in de hoogte van 5 plaat(wals)verdichte proefstukken.

## gyratorverdichting



Figuur 6. Vergroting van gyratorresultaten van figuur 3.

## 6. Discussie

Mechanisch onderzoek aan asfalt, zoals vermoeiings-, kruip-, slijt-, SCB-, trek- en wielspoorproeven, is tijdrovend en duur om uit te voeren. Indien achteraf blijkt dat proefstukken zijn bezweken door onvoorziene zwakke plekken in het asfalt, is dat nadelig. Uit dit onderzoek is gebleken dat de dichtheid en daardoor ook de holle ruimte in de hoogte van een proefstuk kan variëren. Indien dan bv. een proefstuk met boven- en onderin een lagere dichtheid dan de dichtheid in het midden van het proefstuk (zie figuur 6) wordt belast op druk, treedt boven- en onderin het proefstuk een grotere vervorming op dan in het midden van het proefstuk. Als de dichtheidsverdeling in de hoogte van het proefstuk onbekend is en er alleen met de gemiddelde dichtheid van het proefstuk wordt gerekend, worden er verkeerde conclusies getrokken.

Met de twee klassieke meetmethoden om de dichtheid te bepalen, meten en wegen en boven en onder water wegen, wordt geen inzicht verkregen in de verdeling van de dichtheid in een



proefstuk. Met deze twee methoden zou een boorkern of proefstuk wel in plakjes van ca. 0,5 cm gezaagd kunnen worden, waardoor inzicht in de dichtheidsverdeling kan worden verkregen. Er zijn hier echter twee bezwaren aan verbonden. Ten eerste is deze methode destructief en geeft geen garantie dat een ander proefstuk van dezelfde serie dezelfde dichtheidsverdeling bezit. Ten tweede zou het randeffect, dat wordt veroorzaakt door de zaagvlakken een vertekend beeld geven van de werkelijke dichtheid. Wel zou deze methode door vergelijkend onderzoek een indicatie over de dichtheidsverdeling geven. Aan de nucleaire dichtheidsmethode kleven deze bezwaren niet. De methode is niet alleen geschikt om ronde proefstukken te onderzoeken, maar is ook ingericht om asfaltplaten, bv. voor wielspooronderzoek te scannen op verdeling van dichtheid. D.m.v. het opgeven van coördinaten kan een asfaltplaat computergestuurd worden onderzocht. Hierdoor is de wijze van beproeven nauwkeurig, niet-arbeidsintensief en snel uit te voeren.

De in dit onderzoek geconstateerde afwijkende dichtheidsverdeling van gyratorverdichte proefstukken is reeds eerder aangetoond in een Deens onderzoek dat is uitgevoerd in het kader van het SHRP-IIR contract. Bij dit onderzoek [5] zijn doorsneden van met verschillende verdichtingstechnieken vervaardigde proefstukken geïmpregneerd met een fluorescerende hars. Vervolgens zijn hiervan gedigitaliseerde microscopische opnamen gemaakt voor onderzoek met een beeldanalyseprogramma. Op deze wijze is 2-dimensionaal vastgesteld dat de holle ruimte verticaal langs de gyratorwal, en boven- en onderin het proefstuk toeneemt en dus de dichtheid afneemt. Tevens werd segregatie van grotere delen mineraal waargenomen. Ook in ander onderzoek [6] is vastgesteld, dat ontmenging van grotere stenen plaatsvindt bij gyratorverdichting. Mogelijk moet de oorzaak van het afwijkend gedrag qua dichtheidsverdeling worden toegeschreven aan ontmenging.

Ook in ander in opdracht van de DWW uitgevoerd beeldanalyse-onderzoek [7] is inzicht verkregen in de holle ruimte verdeling van asfaltproefstukken. Nadelen van deze 2-dimensionale analysetechniek zijn dat de resultaten slechts een indruk geven van een doorsnede van het proefstuk en dat de proef destructief is. Dit in tegenstelling tot de in dit artikel beschreven nucleaire meetmethode die niet-destructief is en waarbij een goede indruk wordt verkregen van de gemiddelde dichtheid per 0,5 cm proefstukhoogte.

De standaardafwijkingen van de met de nucleaire methode bepaalde dichtheden lijken hoger uit te vallen dan die van de met de klassieke methode bepaalde dichtheden. Hierbij moet bedacht worden dat deze waarden overwegend zijn gebaseerd op groepen van drie waarnemingen. Om statistische uitspraken te kunnen doen zou een uitgebreid onderzoek plaats moeten vinden met verschillende soorten asfalt en veel meer proefstukken per asfaltsoort. Bij beide methoden is de standaardafwijking van praktijkverdicht asfalt het hoogst. Kennelijk is de spreiding in dichtheid van praktijkverdicht asfalt groter dan laboratoriumverdicht asfalt. Hierbij moet bedacht worden dat kernen verspreid over het werk zijn geboord en dat het praktijkgemengde asfalt voor het vervaardigen van laboratoriumproefstukken voor een tweede keer op het laboratorium is gemengd. De nucleaire methode geeft voor Marshallverdichte proefstukken dezelfde waarde als de klassieke methode. De nucleaire methode geeft voor praktijkverdichte boorkernen een lagere dichtheid dan met de klassieke methode. Bij gyrator-, laboratoriumpers- en plaat(wals)verdichting is dit effect precies andersom. Een verklaring hiervoor is niet gevonden, maar misschien ligt de oorzaak aan de beperkte omvang van het onderzoek en zijn de verschillen te wijten aan toevalligheden.

Wat in figuur 1 opvalt is dat 0,5 tot 1 cm onder het oppervlak enkele zeer lage waarden voor de

dichtheid worden gevonden. Buiten dit gebied is de dichtheid over de hoogte van de boorkern redelijk constant. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat tijdens het walsproces het bovenste gedeelte van de asfaltlaag sterk is afgekoeld. Door deze laag verder af te walsen zou door afschuiving van het afgekoelde gedeelte van de laag een grotere holle kunnen ontstaan. Ook bij de plaatwalsverdichting zijn op enkele plaatsen lage dichtheden geconstateerd.

## 7. Conclusies

1. De onderzochte nucleaire dichtheidsmeetmethode is een uitstekende methodiek om op een snelle en niet-destructieve wijze inzicht te krijgen in de dichtheidsverdeling van asfalt proefstukken. Dit geldt niet alleen voor cilindrische proefstukken, waarbij inzicht wordt verkregen in de dichtheidsverdeling in de hoogte van de proefstukken, maar ook voor bv. vermoeiingsbalkjes of wielspoorplaten, waarbij met deze methodiek afwijkende dichtheden kunnen worden getraceerd.
2. De dichtheidsverdeling van gyratorverdichte proefstukken wijkt af van de andere onderzochte verdichtingsmethoden.
3. Zowel bij de praktijkverdichte proefstukken als bij de plaat(wals)verdichte proefstukken zijn op enkele plaatsen in de hoogte van het proefstuk zeer lage dichtheden geconstateerd.

## 8. Stellingen

1. Het is noodzakelijk om voor geavanceerde asfaltonderzoek de dichtheidsverdeling van asfaltproefstukken te kennen.
2. Gyratorverdichting wijkt zodanig af van praktijkverdichting dat ten gevolge hiervan gyratorverdichte proefstukken mogelijk andere mechanische eigenschappen kunnen geven dan praktijkverdichte proefstukken.
3. Het verdient aanbeveling om verder onderzoek uit te voeren naar de dichtheidsverdeling van praktijk- en laboratoriumverdichte proefstukken in relatie tot de mechanische eigenschappen van deze proefstukken.

## 9. Referenties

1. J.M.M.Molenaar: "Een bijdrage aan de ontwikkeling van duurzaamheidsgerelateerde specificaties voor bitumineuze materialen, deel I", C.R.O.W.-Wegbouwkundige Werkdagen 1994
2. Op weg naar een functionele ontwerpmethodode voor asfaltmengsels, ISSN: 0169-9288 7-94-510-10, Eindrapport van de C.R.O.W.werkgroep Asfalttechnologie
3. J.B.Sousa e.a.: "Effect of laboratory compaction method on permanent deformation characteristics of asphalt aggregate mixtures", AAPT vol.60 1991
4. Proefvoorschrift: "Masse volumetrique apparente au banc gamma", NF P 98-250-5
5. M.H.M.Coppens: "Nucleair dichtheidsonderzoek asfaltproefstukken DWV", Dienst Weg- en Waterbouwkunde, IR-R-95231, december 1994
6. K.Eriksen: "Microscopical Analyses of Asphalt-Aggregate Mixtures Related to Pavement Performance", Danish Road Institute Note 245, 1993.
7. A.S.M. Houtepen: "Dynamische kruipproeven op MAB-boorkernen en op GAB-gyratorproefstukken met verschillende vulstoffen en bitumenpercentages", Dienst Weg- en Waterbouwkunde, W-DWV-94-535, augustus 1994.
8. H.S.Pietersen, G.J.L.M.de Haas, J.L.M.Voskuilen: "Beeldanalyse onderzoek aan zand, steenslag, dab en zoab", CROW-Wegbouwkundige Werkdagen 1994.