

**Literatuuronderzoek
Veroudering Bitumen,
inclusief Plan van Aanpak
onderzoek fase 1**

April 2002

**Literatuuronderzoek Veroudering Bitumen,
inclusief Plan van Aanpak onderzoek fase 1**

IL-R-02.038

**Afdeling Infrastructuur
Laboratorium Materialen**

April 2002

Rapportnummer IL-R-02.038

1. Rapportnummer IL-R-02.038		2. Serienummer		3. Ontvanger catalogus nummer	
4. Titel en subtitel Literatuurstudie Veroudering Bitumen, inclusief Plan van Aanpak onderzoek fase 12			5. Datum rapport april 2002		
			6. Code uitvoerende organisatie		
7. Schrijver(s) F. Sanches en D. van Vliet			8. Nummer rapport uitvoerende organisatie		
9. Naam en adres opdrachtnemer Dienst Weg- en Waterbouwkunde afdeling Laboratorium Materialen (IL) Dhr. F. Sanches Postbus 5044 2600 GA Delft			10. Projectnaam OUDERASFALT		
			11. Contractnummer		
12. Naam en adres opdrachtgever LUT-Opdrachtgever Hoofdkantoor RWS 's Gravenhage			13. Type rapport Literatuurrapport		
			14. Code andere opdrachtgever		
15. Opmerkingen					
16. Referaat In dit rapport zijn de resultaten neergelegd van een literatuurstudie naar de kunstmatige en de praktijkveroudering van bitumen. Hierbij is gemodificeerd bitumen meegenomen. Doel van het deze studie is om ten behoeve van het onderzoek aan veroudering van bitumen binnen het Laboratorium van de DWV een Plan van Aanpak op te stellen. Uit de studie blijkt onder andere dat onderzoek is verricht aan: 1) de invloed van veroudering op modificaties, 2) de relatie kunstmatige veroudering met behulp van TFOT, RTFOT, PAV en RCAT en praktijkveroudering, 3) veroudering en het gebruik van de GPC, 4) korte termijn veroudering (veroudering tijdens productie en aanleg) en lange termijn veroudering (veroudering tijdens de gebruiksfase in de weg), 5) de invloed van de verouderingstemperatuur op het verouderingsproces, 6) de kinematische aspecten tijdens het oxidatieproces. In het Plan van Aanpak wordt vooral aandacht besteed aan de onderzoeksaspecten 1 t/m 3.					
17. Trefwoorden: Veroudering, bitumen, GPC, RCAT			18. Distributie systeem Verkrijgbaar bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde T.a.v. Mw. L. Nardelli-Jercic/F. Sanches Tel.: 015 - 2518 240		
19. Classificatie	20 Classificatie deze pagina		21. Aantal blz. 9		22. Prijs: €
23. Acceptatie projectleider F. Sanches 		24. Acceptatie productgroepleider R. Hofman 		25. Acceptatie afdelingshoofd ir. J.R.K. Smit 	

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	4
2.	Uitvoering.....	4
4.	Resultaten.....	4
5.	Plan van Aanpak	5

Bijlagen:

Bijlage 1: Lijst met verrichtingen van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Laboratorium Materialen, Delft
(versie 4 van 10-7-2001)

Bijlage 2: Lijst met Literatuurtitels

Bijlage 3: Selectie besproken publicaties

1. Inleiding

In het kader van het project OUDERASFALT, waarin de invloed op de veroudering van bitumen en asfalt onderzocht wordt, is voorafgaand aan het laboratoriumonderzoek een literatuurstudie uitgevoerd en aan de hand van de resultaten hiervan is een Plan van Aanpak opgesteld. In het verleden is reeds verouderingsonderzoek uitgevoerd maar met de uitvoering van deze studie krijgt het een nieuwe start. Vooral de relatie kunstmatige en praktijkveroudering en de invloed van veroudering op de polymeer gemodificeerde bitumen (mod. bitumen) zullen onderzocht worden (zie hiervoor het Projectplan OUDERASFALT 2002). Hierbij zullen met name nieuwe verouderingsmethoden zoals de RCAT (Rotating Cylinder Ageing Technique) maar ook nieuwe analyse/meettechnieken zoals BBR (Bending Beam Rheometer), worden gebruikt.

2. Uitvoering

De door de Raad van Accreditatie geaccrediteerde verrichtingen staan vermeld in bijlage 1.

Aan de afdeling Bibliotheek (BIDOC) is verzocht een literatuur scan uit te voeren op de volgende trefwoorden: " veroudering – bitumen - asfalt", dat in een later stadium is aangevuld met een verzoek om ook te zoeken op " Verhasselt-Choquet". Dit laatste is gedaan omdat bleek dat beide heren veel onderzoek t.a.v. veroudering van bitumen en asfalt hebben uitgevoerd. Door BIDOC zijn de datasystemen " V&W LIS, Picarta en Picarta World CAT" hiervoor geraadpleegd.

Deze literatuurscan heeft meer dan honderd titels opgeleverd waaruit, i.v.m. de relevantie met het onderwerp, een zestigtal titels zijn geselecteerd. Deze titels staan allen vermeld in bijlage 2. Van deze groep is in dit rapport een groep van 13 opgenomen en besproken te worden. Een samenvatting van de inhoud van deze publicaties is opgenomen in bijlage 3.

3. Resultaten

De resultaten van de selectie van de literatuurscan is opgenomen in bijlage 2. De samenvatting van de inhoud van de hieruit geselecteerde publicaties is opgenomen in bijlage 3.

Met betrekking tot de resultaten opgenomen in bijlage 3 kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden:

- a) Polymeer gemodificeerd bitumen:
Gemodificeerd bitumina kunnen gemeten worden m.b.v. GPC-brekingsindex-detector [46] of indirect met DSR [46, 43];
Na RTFOT zakt de Pen van EVA gemod.bitumen van ca. 110 naar 80; van SBS gemod zakt de Pen van ca. 70 naar 50[29];
Bij aanwezigheid van SBS neemt het aantal cyclische verb. minder af en neemt het aantal asfaltenen even sterk toe als bij pure bitumen [18];
Ductiliteit verandert weinig [29];
- b) Verouderingstechnieken:

Bij veroudering worden cyclische verbindingen omgezet in resins en asfaltenen [18];
Bij hoge temperatuur ($>100^{\circ}\text{C}$) worden veel asfaltenen gevormd en weinig resins; bij temperaturen rond de 90°C worden veel resins en weinig asfaltenen gevormd, zoals in de praktijk [18];

De beste kunstmatige verouderingsmethode die de praktijk simuleert is: RCAT, 85°C , 144 uur; deze komt overeen met ca. 16 jaar in de weg [18];

RTFOT verouderd sterker dan TFOT; PAV verouderd sterker dan RTFOT; RTFOT/PAV verouderd sterker dan PAV [43];

Reatiemechanismen van PAV en RCAT zijn gelijk [56]; PAV-veroudering komt overeen met ca. 178 uur RCAT [56], in [18] met 144 uur;

Een bitumen dat rijk is aan cyclische verbindingen is minder gevoelig voor veroudering [18];

c) GPC:

De GPC kan ingezet worden bij de meting van polymeren [46] en verouderd bitumen [100]; hiervoor kan het chromatogram in gelijke delen verdeeld worden en een correlatie gezocht worden met viscositeit en penetratie;

d) Veroudering aan asfalt:

Ook asfalt kan kunstmatig verouderd worden; hierbij komt 4 dagen bij 85°C in een gewone stoof, overeen met lange termijnveroudering van ca. 5 jaar in de weg [17];

e) Kinetica:

R&B, asfaltenengehalte en de penetratie kunnen ingezet worden om de activeringsenergie van de oxidatiereacties bij veroudering te berekenen; hiermee kan een relatie met de praktijk gelegd worden [11, 22];

4. Plan van Aanpak

Op basis van de resultaten uit hoofdstuk 5 en het onderzoek dat in de afgelopen periode door de DWW is uitgevoerd, [5, 20,21,46,101] is het volgend Plan van Aanpak samengesteld. In het inleidend deel van het onderzoek zal allereerst de meest optimale meet - en veroudercondities worden bepaald. In het onderzoek wordt in deze fase vooral ingezet op de invloed van veroudering met de RCAT, op polymeer gemodificeerd bitumen en op de GPC als meetmethode. Uit de literatuur blijkt dat hier nog weinig van bekend is:

Inleidend onderzoek:
(uitvoering april – augustus 2002)

GPC

Invloed op golflengte, oplosmiddel, concentratie polymeer en detector gevoeligheid;

Oplosproeven fijn en grof korrelig EVA in THF/tolueen/tetra ; RI- detector (dit om na te gaan welk oplosmiddel goed acteert)	
ongemod. bitumen (THF)	;golflengtescan tussen 220 nm en 260 nm PDA en RI oude/nieuwe)
ongemod. bitumen (tolueen/tetra)	;golflengtescan tussen 220 nm en 260 nm PDA en RI oude/nieuwe)
5% SBS-lineair/5% EVA (tolueen)	;golflengtescan tussen 220 nm en 260 nm PDA en RI (oude/nieuwe)
5% SBS-radiaal /5% EVA (tetra)	;golflengtescan tussen 220 nm en 260 nm PDA en RI (oude/nieuwe)
5% SBS-rad,lin /5% EVA (THF)	;golflengtescan tussen 220 nm en 260 nm PDA en RI (oude/nieuwe)

5% SBS, 5% EVA, voor beide in 50 mg bit. per 25 ml, 100 mg bit. per 25 ml, 150 mg bit. per 25 ml in juiste oplosmiddel bij juiste golflengte. (Bitumengehalte wordt gevarieerd om na te gaan wat de gunstigste concentratie is)

3, 5, 7 % SBS-radiaal/lineair in het juiste oplosmiddel bij de juiste golflengte + het meenemen van een controlemonster. (Hiermee wordt nagegaan de mogelijkheden van kwantitatieve bepaling)

Opmerkingen:

- 1) Allen metingen worden in duplo uitgevoerd;
- 2) Als deze modificaties niet oplosbaar zijn in deze oplosmiddelen, dient verder onderzoek uitgevoerd te worden;
- 3) Metingen met de oude (huidige) RI- detector dienen als eerste uitgevoerd te worden, met het oog op de vervanging van de RI- detector medio mei.

FTIR

Invloed op oplosmiddel, concentratie polymeer en monsterhouder;

verschil tussen fijn en grof korrelig EVA ; ART

ongemod. bitumen	;MITR/ATR/DWW-voorschrift
5 % SBS-lineair, radiaal	;MITR/ATR/DWW-voorschrift/Choquet no. 35
5 % EVA	;MITR/ATR/DWW-voorschrift/Choquet no. 35
3, 5, 7 % SBS-rad. en 3, 5, 7 % EVA m.b.v. de juist monsterhouder en de juiste procedure	

Opmerkingen:

- 1) Alle metingen worden in duplo uitgevoerd;
- 2) MITR = grote/lange monsterhouder; ART = kleine nieuwe monsterhouder

Verouderingsonderzoek:

(uitvoering augustus 2002 –juli 2003)

- 0, 80, 144 en 180 uur in zuurstof /lucht R+RCAT/gemod.(5% EVA, 5% SBS) en ongemod.;pen, R&B, GPC, FTIR, DSR, microsc. (fluorescentie microscopie), BBR.
- 144 uur/zuurstof/lucht RCAT/gemod. (3%, 5%, 7% EVA als SBS) en ongemod ;pen, R&B, GPC, FTIR, DSR, microsc., BBR.
- 20 uur R+PAV gemod.(5% EVA, 5% SBS) en ongemod. bitumen ;pen, R&B, GPC, FTIR, DSR, microsc., BBR.
- kernen uit de weg 0, 4, 8, 16 jaar oud, met en zonder modificaties (medewerking POK) ;pen, R&B, GPC, FTIR, DSR, microsc., BBR.
- In een volgende fase 2, zullen gemodificeerde en ongemodificeerde ZOAB kernen, kunstmatig verouderd worden en dat effect zal ook vergeleken worden met kernen uit de weg. Dit onderzoek zal in een apart Plan van Aanpak, nader worden omschreven.

Opmerkingen:

- 1) metingen eventueel aanvullen/uitbesteden met Iatroscan
- 2) alle metingen in duplo uitvoeren

Bijlage 1. Lijst met geaccrediteerde verrichtingen van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Laboratorium Materialen, Delft (versie 4 van 10-7-2001)

Nr.	Materiaal of produkt	Verrichting (verkorte omschrijving)	Intern referentienummer
1	Bitumen	Dichtheid bitumineuze materialen (Pyknometer)	WV003 conform NEN 3943
2	Bitumen	Verwekingspunt Ring & Kogel	WV004 conform RAW proef 47 (NEN-EN 1427)
3	Bitumen	Bepaling van de penetratie	WV005 conform RAW proef 32 (NEN-EN 1426)
4	Funderingsmat.	Proctordichtheid van steenmengsels (Eenpuntsproctor)	WV006 conform RAW proef 5.2
5	Funderingsmat.	Verband tussen vochtgehalte en dichtheid (Proctorproef)	WV008 conform RAW proef 5.1
6	Bitumen	Moleculaire gewichtsverdeling van bitumen (Gelpermeatiechromatografie)	WV017 eigen methode
7	Asfalt	Terugwinning bitumen uit asfalt	WV019 conform RAW proef 110 (NEN 3971)
8	Wegmarkering	Stroefheidsmeting (Slingermethode)	WV020 conform RAW proef 76
9	Asfalt	Statische splijtproef (Schenckpers)	WV021 conform NEN-EN 12697-23
10	Asfalt	Gehalte aan bitumen (Soxhlet)	WV022 conform RAW proef 65.1
11	Asfalt	Dichtheid asfaltmengsel (pyknometer)	WV024 conform RAW proef 68
12	Wegmarkering	Luminantiefactor, kleur en dagzichtbaarheid (MiniScan + QD30 Reflectometer)	WV030 conform RAW proef 95+95A (NEN-EN 1436)
13	Cementbeton	Kubus druksterkte van beton (Amslerpers)	WV032 conform RAW-proef 27 (NEN 5968)
14	Funderingsmat.	Dichtheid (Steekringmethode)	WV033 conform RAW proef 4.4
15	Funderingsmat.	Dichtheid (Grindmethode)	WV034 conform RAW proef 4.5
16	Steenslag	Dichtheid mineraal aggregaat (pyknometer)	WV035 conform RAW proef 60.0
17	Asfalt	Dichtheid asfaltproefstuk (incl. ingesloten lucht)	WV036 conform RAW proef 67
18	Asfalt	Gehalte aan poriën van asfalt	WV037 conform RAW proef 69
19	Zand/Klei	Korrelverdeling < 2 µm (areometer)	WV038 conform RAW proef 1
20	Zand	Gehalte minerale delen kleiner dan 20 µm (microzeef)	WV040 conform RAW proef 9.1
21	Zand	Korrelverdeling zand (zeven)	WV049 conform RAW proef 6
22	Bitumen	Weerstand tegen verharding onder invloed van lucht (RTFOT)	WV062 conform NEN-EN 12607-1
23	Steenslag	Korrelverdeling steenslag	WV082 conform RAW proef 6
24	Asfalt	Verdichtingsgraad van asfalt	WV083 conform RAW proef 66.0
25	Wegmarkering	Nachtzichtbaarheid/retroreflectie (LTL2000 Retrometer)	WV088 conform NEN-EN 1436

Bijlage 2 Totale lijst met literatuurtitels

Nummer	Titel	Schrijver(s)	
1	The new proposed rheological properties of asphalt binders: why are they required and how do they compare to conventional properties	Bahia, H.U.	Anderson, D.A.
2	The pressure aging vessel (PAV): A test to simulate rheological changes due to field aging	Bahia, H.U.	Anderson, D.A.
3	Oxidation of asphalt binders and its effect on molecular size distribution and consistency	Noureldin, A.S.	
4	Application and use of the ATR, FT-IR method to asphalt aging studies	Jemison, H.B.	Burr, B.L.
5	Bitumen-ageing tests for predicting durability of porous asphalt	Kuppens, E.A.M.	Sanches, F.
6	Reaction rates and hardening susceptibilities as determined from pressure oxygen vessel aging of asphalt	Lau, C.K.	Lunsford, K.M.
7	Investigation of laboratory aging procedures for asphalt-aggregate mixtures	Bell, C.A.	AbWahab, Y
8	Some aggregate and filler characteristics significantly affect the behaviour and durability of asphalt paving mixtures	Ishai, I.	Cruas, J.
9	Accelerated age hardening of asphalt to simulate long term effects	Ruth, B.E.	Tia, Mang
10	Effect of asphalt film thickness on short and long term aging of asphalt paving mixtures	Kandhal, P.S.	Chakraborty, S.
11	A new approach to studying the kinetics of bitumen ageing	Verhasselt, A.F.	Choquet, F.S.
12	Investigation of laboratory aging procedures on asphalt binders used in Florida	Chui, C.	Tia, Mang
13	Modelling of oxidative aging behaviour of asphalts from short term, high temperature data as a step toward prediction of pavement aging	Huh, J.	Robertson, R.E.
14	The effect of asphalt composition on its physical & durability characteristics	Ishai, I.	
15	Österreichische Untersuchungen zur Bitumenprüfung nach SHRP	Litzka, J.	Strobl, R.
16	Molecular weight distribution of regular asphalt from dynamic material functions	Zanzotto, L.	Stastna, J.
17	Relating asphalt and aggregate properties and their laboratory aging to field performance of asphalt mixtures	Bell, C.A.	Sosnovske, D.
18	Ageing of bitumens: from the road to the laboratory and vice versa	Verhasselt, A.F.	Choquet, F.S.
19	Chemical composition of asphalt as related to asphalt durability: state of the art	Petersen, J.C.	
20	Tussenrapport: kunstmatige veroudering van bitumen bepaald met chromatografische- en infraroodtechnieken (IL-9512-FIR)	Jongmans, E.C.	Sanches, F.

21	Onderzoek naar de verandering van bitumeneigenschappen ten gevolge van (kunstmatige) veroudering (W-DWW-96-048)	Jongmans, E.C.	Sanches, F.
22	Comparing field and laboratory ageing of bitumens on a kinetic basis	Verhasselt, A.F.	Choquet, F.S.
23	Introduction to polymers; par 3.17; Gel Permeation Chromatography	Young, R.J.	Lovell, P.A.
24	Introduction to polymers; chemical composition and molecular microstructure	Young, R.J.	Lovell, P.A.
25	Infrared study of the aging of asphalts in contact with aggregates	McKay, J.F.	Wolf, J.M.
26	Prediction of asphalt rheological properties using HP-GPC	Al-Abdul Wahhab, H.I.	Asi, I.M.
27	Molecular weight characterisation of polymers by combined GPC and MALDI TOF Mass spectrometry	Dwyer, J.L.	
28	A thin film accelerated aging test for evaluating asphalt oxidative aging	Petersen, J.C.	
29	Ageing resistance of bituminous road binders: benefits of SBS modification	Vonk, W.C.	Phillips, M.C.
30	Relationships between molecular weights and rheological properties of asphalts (preprint)	Branthaver, J. F.	Robertson, R.E.
31	Effect of film thickness on the rheological behaviours of asphalt binders	Zhai, H.	Bahia, H.U.
32	Developing an aging model to evaluate engineering properties of asphalt paving binders	Chen, J.S.	Huang, L.S.
33	Ajouts de polyéthylènes de recyclage dans les enrobés bitumineux	Durrieu, F.	Miglori, F.
34	The determination of bitumen and recycled rubber in rubberised asphalt road mixtures	Ista, E.	Choquet, F.S.
35	The determination of SBS, EVA and APP polymers in modified bitumens	Ista, E.	Choquet, F.S.
36	Use of infrared analysis for oil condition monitoring		
37	Compositional and physical properties of asphalt fractions obtained by supercritical and solvent extraction	Stegeman, J.R.	Kyle, A.L.
38	Asphalt oxidation an overview including a new model for oxidation proposing that physicochemical factors dominate the oxidation kinetics	Petersen, J.C.	
39	Asphalt aging: dual oxidation mechanism and its interrelationships with asphalt composition and oxidative age hardening	Petersen, J.C.	Harnsberger, P.M.
40	Long term ageing of pure and modified bitumen: influence on the rheological properties and relation with the mechanical performance of asphalt mixtures	Verhasselt, A.F.	Francken, L.
41	Rapid oxidative aging of binder using microwave energy, an improved method	Bishara, S.W.	Robertson, R.E.
42	Application of activation analysis to asphalts	Kuykendall, W.B.	Hislop, J.S.
43	Testing of polymer modified bitumen by SHRP	Plitz, J.	
44	Performance testing and specification for binder and mix; comparison between ageing simulation tests of road bitumen	Montepara, A.	Giuliani, F.

45	Structure analysis of road-building bitumens; the effect of aging for the structure road building case study with modified bitumen	Horváthné, F	Lvey, J.
46	Verouderingsweerstand van bitumen	Kuppens, E.A.M.	Molenaar, J.M.M.
47	Accelerated ageing of asphalt in pressure ageing vessel	Korsgaard, H.C.	Blumensen, J.
48	Evaluation of stability, nature of modifier, and short-term aging of modified binders using new tests	Bahia, H.U.	Zhai, H.
49	Ageing characteristics of bituminous binders	Isacson, U.	Lu, X.
50	Kinetic approach to the ageing of bituminous binders	Verhasselt, A.F.	
51	Influence of RTFOT ageing on the rheological behaviour of polymer modified bitumen and their associated phases	Cotte, C	Such, C.
52	Method for accelerated ageing of bitumen	Nadia, B.	Maria, C.
53	A new approach to predict rheological properties of bitumens from their chemical composition determined by FTIR and synchronous UV fluorescence	Kister, J.	Pieri, N.
54	Photochemical degradation of pure bitumen by UV radiation	Montepara, A.	Santagata, E.
55	Caracterisation des bitumes Francais a base temperature application de l'essai Bending Beam Rheometer	Migliori, F.	Molinengo, J.C.
56	Long term ageing: comparison between PAV and RCAT ageing tests	Verhasselt, A.F.	Vanelstraet, A.
57	Field ageing of bituminous binders: simulation and kinetic approach	Verhasselt, A.F.	
58	Rheological and mechanical characterization of aged and unaged porous asphalt binders	Khalid, H.A.	Walsh, C.M.
59	UV/VIS spectrophotometry for the evaluation of binder-aggregate interactions	Verhasselt, A.F.	
60	Ageing of asphaltic paving materials	Khalid, H.A.	Walsh, C.M.

Bijlage 3. Selectie besproken publicaties

	Auteurs	Titel	Inhoud	Opm.
46	E. Kuppens, J. Molenaar	Verouderingsweerstand van bitumen (1994)	Onderzoek naar invloed veroudering op bitumen en modificaties; na RTFOT verdwijnt deel van SBS (brekingsindex); EVA levert kleine piek (brekingsindex); fasehoek wordt vaak kleiner bij stijver worden van materiaal; soms wordt de fasehoek groter (vloeistofgedrag). polymeren worden blijkbaar afgebroken tot kleine moleculen.	kunstmatige-veroudering polymeren DSR, GPC
11	Verhasselt, Choquet	A new approach to studying the kinetics of bitumen ageing ¹ (1991)	eerste RCAT-publicatie; relatie tussen de oxidatie kinetiek en de parameters zoals, asfaltenengehalte, T-R&B en 1/pen; T-R&B is belangrijkste; lineaire relaties tussen asfaltenengehalte en T-R&B, Asfgehalte en 1/pen, T-R&B en 1/pen, T-R&B en IR abs bij 1700; weergegeven zijn de reactieconstanten bij verschillende temperaturen berekend uit de bovengenoemde parameters; compleet verouderd bitumen heeft 38,5% asfaltenen, T-R&B van 120°C, pen van 8 en Absor. bij 1700 van 0,54 (de uitgangsbestanddelen zijn niet bekend)	RCAT kinetics oydatie-parameters praktijkveroudering <100C

¹ waar geen gemod.bitumen is aangegeven, handelt het om ongemodificeerde bitumen

Rapportnummer IL-R-02.038

22	Verhasselt, Choquet	Comparing field and Laboratory ageing of bitumen on a kinetic basis (jan. 1993)	lab.veroudering: 70-95°C; kinetiek berekend uit asfaltenengehalte, T-R&B (lijkt op no.11), 1/Pen; 30 jaar in de weg komt overeen met T-R&B van ca. 70°C; Op de weg in 20 jaar ca. 10°C T-R&B verhoging	RCAT, op de weg-veroudering, parameters en kinetics
----	------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

18	Choquet, Verhasselt	Ageing of bitumens; from the road to the laboratory and vica versa(sept. 1993)	<p>onderzoek aan toplaagje van 0,5 cm van dichte kernen(5 cm) van de weg:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ten koste van de cyclische verbindingen, worden resins en asfaltenen gevormd in een verhouding van 2 : 1; • 24 jaar oud asfalt geeft een verhoging van ca. 7-10 % resins en ca. 2-6 % asfaltenen en een verlaging van de cyclische verbindingen met ca. 12 %; • 15 jaar oud asfalt levert een verhoging van ca. 4% resins en ca. 2-5% asfaltenen door verlaging van de cyclische verbindingen met ca. 5%; <p>voor kunstmatige veroudering bij 130°C m.b.v. een "rotatieverdamper" geldt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8 uur veroudering (130°C) levert verlaging van cyclische verbindingen met ca. 5% en een verhoging van de resins met ca. 5% en van asfaltenen met 4%; • 24 uur veroudering (130°C) levert verlaging van cyclische verbindingen van ca. 9% en verhoging van resins met ca. 3% en van asfaltenen met ca. 9%; • in vergelijking met de praktijk weg nemen de asfaltenen sterk toe en de resins nemen minder sterk toe. Deze waarden wijken af van de praktijksituatie!!! <p>kunstmatige veroudering (R+RCAT) en zuurstof bij rond 100°C:</p> <ul style="list-style-type: none"> • bij 168 uur verouderen bij temperaturen van 80 tot 90°C nemen de resins sterk toe (ca. 9%) en nemen de asfaltenen matig toe (ca. 4,5 %) zoals in de weg!! • bij 24 uur verouderen bij temperaturen van 80 tot 130 °C nemen de resins matig toe (ca. 6%) en nemen de asfaltenen sterk toe (ca. 9% bij 130°C); deze waarden wijken af van de praktijk <p>kunstmatige veroudering (RCAT, 85°C, 144 uur) vergeleken met praktijkveroudering m.b.t. asfaltenen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • kunstmatige veroudering verhoogt asfaltenen met ca. 4,5% • 24 jaar in weg verhoging asfaltenen met ca. 2-6%; 16 jaar in weg verhoging asfaltenen met ca. 4,5%; de kunstmatige veroudering komt v.w.b. het asfaltenengehalte overeen et ca. 16 jaar in de weg!! 	<p>op de weg-veroudering, kunstmatigeveroud. RCAT, <>100°C, cyclics⇒resins⇒asfaltenen</p>
----	------------------------	--------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------

18			<p>een bitumen dat rijk is aan cyclische verbindingen is minder gevoelig voor veroudering; na 19 jaar op de weg, bleek de toename van resins ca. 10% en de toename van asfaltenen ca. 6%.</p> <p>Veroudering (24 uur, 130°C, zuurstof) van bitumina met anti-oxidanten en SBS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • met anti-oxidanten nemen de cyclische iets minder sterk af en de asfaltenen minder sterk toe • met toevoeging van SBS nemen de cyclische duidelijk minder af maar neemt de toename van asfaltenen even sterk toe als bij de anti-oxidanten 	
57	Verhasselt	Field ageing of bituminous binders; simulation and kinetic approach (1997)	Een soort review van de artikelen 11 en 22 waarin met behulp van het asfaltenengehalte, de T-R&B en de Pen, de Arrhenius vergelijking wordt ingevuld en de activeringsenergie wordt uitgerekend.	kunstmatig en praktijk-veroudering, Kinetics, zie 11 en 22
17	C. Bell	Relating Asphalt and Aggregate Properties and their Laboratory Aging to Field Performance of Asphalt Mixtures (1994)	<p>Veroudering van bitumen kan worden beïnvloed door mineraal-aggregaat; kunstmatige veroudering van alleen bitumen geeft geen goede weergave van de werkelijkheid;</p> <p>Korte-termijn-veroudering vertoont een verandering in de resilient modulus van asfalt;</p> <p>veroudering van asfalt gedurende 4 uur bij 135°C komt overeen met de "korte termijn veroudering" van het asfalt mengen en het aanbrengen op de weg;</p> <p>verouderen van asfalt 2 dagen in een stoof bij 85°C komt overeen met " lange termijn veroudering" van 5 jaar op de weg, afhankelijk van het klimaat;</p> <p>asfalt 4 dagen in een stoof bij 85°C komt overeen met " lange termijn veroudering" van ca. 15 jaar op de weg;</p> <p>verouderen bij 100°C levert de zelfde asfaltstijfheid op als bij 85°C bij 2 maal zo lange tijden</p>	kunstmatige en werkelijke veroudering van asfalt, stijfheid asfalt

56	Verhasselt, Vanelstraete	Long-term Ageing; Comparison between PAV and RAT ageing tests (2000)	<p>Resultaten genoemd in tabel 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RCAT-veroudering op normaal bitumen, met voorafgaande RFTOT (R+RCAT) levert meer veroudering (lagere pen, hogere R&K) op; PAV veroudering met of zonder RTFOT levert weinig verschil; 20 uur PAV komt ongeveer overeen met 168 uur R-RCAT en 144 uur R+RCAT; • R+RCAT-veroudering op gemod.bitumen levert ook iets meer veroudering op dan R-RCAT; vaak is de R+PAV levert meestal bij SBS meer veroudering op dan bij EVA; 20 uur PAV-veroudering komt ongeveer overeen met 144 uur RCAT-veroudering • gemiddeld komt de 20 uur PAV overeen met 178 uur RCAT (pen, R&K, IR abs); op basis van rheologie komt 20 uur PAV overeen met iets minder dan 240 uur RCAT <p>het reactie mechanisme van PAV en RCAT zijn gelijk; het reactiemechanisme van RTFOT en PAV/RCAT zijn verschillend</p>	PAV, RCAT, RTFOT, modificaties
9	Byron, Ruth	Accelerated Age Hardening of Asphalt to simulate Long Term Effects (1995)	IN deze studie wordt een nieuw apparaat ontwikkeld waarbij bitumen in een glazen buis tegen de wand wordt gespoten. De viscositeitsresultaten worden vergeleken met PAV-resultaten en komen overeen.	eigen verouderingsmethode PAV, kunstmatige veroud.
29	Vonk, Philips	Ageing resistance of bituminous road binders: benefits of SBS modification	<p>Gemodificeerd bitumen na RTFOT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pen van gewone bitumen zakt ca. 35 %; SBS zakt ca. 35 %; EVA zakt ca. 30-40% • de ductiliteit verandert bijna niet; slechts een aantal EVA worden slechter (harder) <p><u>mis een deel van de publicatie!!!</u></p>	RTFOT, SBS, EVA
43	J. Plitz (Czech)	Testing of polymer modified bitumen bij SHRP (2000)	<p>M.b.t. PAV, RTFOT en TFOT in gemod. bitumen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RTFOT veroudert sterker dan TFOT; PAV veroudert sterker dan RTFOT; • door RTFOT zakt de Pen ca. 35%; en stijgt de R&B ca. 1-6%; • RTFOT/PAV veroudert sterker dan PAV; • resins verhoging bij RTFOT 2,7%, bij PAV 5,3 %; asfaltenen verhoging bij RTFOT ca. 1,7%, bij PAV ca. 1,6%; door RTFOT/PAV ca. 40-50 % verlaging van PEN en ca. 10-25% verhoging van R&B, in een geval verlaging van R&B (SBS)!! • na RTFOT en PAV verhoging van $G^*/\sin\alpha$-stijfheid; in een geval verlaging (SBS)!! 	PAV,RTFOT,TFOT mod.bitumen, viscositeit, belangrijke publ.

Rapportnummer IL-R-02.038

100	Churchill, Serji, Amirkhanian	HP-GPC Characterization of asphalt Aging and selected Properties (1995)	GPC-chromatogrammen voor bitumen worden verdeeld in drie, in vier en in tien gelijke delen; vervolgens wordt een verband gezocht tussen na veroudering tussen deze delen van het chromatogram en de viscositeit en de penetratie; er is een goede correlatie gevonden tussen genoemde eigenschappen en de tien gelijke delen van het chromatogram.	GPC, praktijkveroudering, viscositeit
5	Kuppens, Sanches	Bitumen-aging tests for predicting durability of porous asphalt (1997)	<ul style="list-style-type: none"> • gebruikt zijn de testmethoden Pen, GPC, Balance Rheometer, TFOT, RFT, PAV, klimaatkamer 50 °C met U.V. licht • Gemeten zijn de viscositeit, het molecuulgewicht, verandering van pen R&B en absorptie in het IR; • geen van de kunstmatige verouderingsmethoden simuleert de praktijkveroudering; praktijkverouderde monsters kwamen weliswaar van verschillende locaties met verschillende bouwstoffen 	GPC, RTFOT, PAV, viscositeit; kunstmatig versus praktijk
101	Sanches, van Vliet	Vervanging PAV, door RTFOT bij lage temperatuur (2002)	<ul style="list-style-type: none"> • het verouderingsmechanisme van beide technieken is gelijk • RTFOT bij lage temperatuur verouderd ca. 3x langzamer dan PAV 	RTFOT, PAV



De Dienst Weg- en Waterbouwkunde is de adviesdienst voor techniek en milieu in de weg- en waterbouw.

Klantgericht, innovatief, deskundig, gericht op samenwerking, zakelijk en flexibel zijn de kernbegrippen voor de organisatie. Het werkplezier van de medewerkers is hierbij essentieel.

Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde,

Postadres: Postbus 5044
2600 GA Delft

Bezoekadres: Van der Burghweg 1
2628 CS Delft,

Telefoon (015) 251 85 18

Telefax: (015) 251 85 55

E-mail: dwwmail@dww.rws.minvenw.nl

Internet: www.minvenw.nl/rws/dww/home/

IL-R-02.038