



Wegdekeffect op PM₁₀

Invloed wegdek op stofemissie als gevolg van band- en wegdekslijtage

Auteur	Dr. G.J. van Blokland (M+P)
Verificatie	Ir. J. Hooghwerff (M+P)
Autorisatie	Ir. J. Hooghwerff (M+P)
Kenmerk	BREIJN.09.03.1
Datum	13 november 2009
Versie	2
Status	Definitief

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Summary	4
1 Achtergrond en doel	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Doel	5
1.3 Resultaten	5
2 Aanpak	6
3 Kennis slijtagebronnen	7
3.1 Algemeen	7
3.2 Slijtagebepalende componenten	7
3.2.1 <i>Inventarisatie</i>	7
3.2.2 <i>De vlakheid van het wegdek in langs- en dwarsrichting</i>	7
3.2.3 <i>De maximale korrelgrootte in het wegdek</i>	8
3.2.4 <i>Macrotextuur en microtextuur</i>	8
3.3 Grootteorde band- en wegdekslijtage	8
3.3.1 <i>Bandenslijtage</i>	8
3.3.2 <i>Wegdekslijtage</i>	9
4 RSAT-experimenten	10
4.1 Inleiding	10
4.2 Testopzet	10
4.3 Testresultaten	11
4.4 Discussie RSAT-resultaten	12
5 Overige experimentele resultaten	13
5.1 Onderzoek in Zweden	13
5.2 Onderzoek in Duitsland	14
5.3 Onderzoek in Nederland	15
6 Conclusies en aanbevelingen	17
7 Referenties	18

Bijlage

Onderzoek naar de invloed van het wegdektype op de bandenslijtage d.m.v. de Rotating Surface Abrasion Test”, Breijn-rapport nr. 6709904-RAP-002-0.1, 13 november 2009

Samenvatting

Bij het zoeken naar oplossingen voor fijnstof langs snelwegen blijkt steeds weer dat het terugbrengen van de emissie van de bron erg belangrijk is. Veel aandacht gaat daarom uit naar de emissies van voertuigen die gerelateerd zijn aan de motor (uitlaatemissies). Door het succesvol terugdringen van de motorgerelateerde bronnen zullen de slijtagebronnen (band, wegdek, etc.) relatief steeds belangrijker worden.

Er zijn indicaties dat het wegdektype (bijvoorbeeld DAB, ZOAB, 2-laags ZOAB) significante invloed heeft op de slijtage van band en wegdek. Met behulp van de RSAT-methode is onderzoek gedaan naar het effect van het wegdek op de slijtage van banden. De resultaten zijn samen met inzichten uit ander (internationaal) onderzoek in een kennisdocument opgenomen. Breijn heeft het experimentele werk gedaan (RSAT-methode), terwijl M+P de resultaten en andere beschikbare kennis gebundeld heeft tot dit kennisdocument. Het onderzoek heeft geleid tot de volgende resultaten.

1. Er bestaat een redelijke mate van overeenstemming in de bijdrage van slijtagecomponenten aan de totale PM₁₀-concentratie.
2. Er bestaan grote verschillen van inzichten in de bronnen van slijtage. Dit onderzoek meent dat de wegdekcomponent tamelijk klein is ten opzichte van de band en de slijtage van rem/koppeling. Andere bevindingen duiden juist op een relatief hoge bijdrage van het wegdek.
3. De onzekerheid is terug te voeren op de beperkingen van gerichte laboratoriumtesten zoals de hier besproken RSAT of de bij de VTI en BAST uitgevoerde testen op wegdeksimulatoren. Ook uit metingen langs wegen kunnen de wegdekbijdragen niet goed onderscheiden worden van de opwerveling van uit de omgeving afkomstig stof.
4. Ook voor de bijdrage van de band bestaan aanzienlijke verschillen tussen verschillende onderzoeken.
5. Het wegdek heeft een significante invloed op het slijtageproces, zowel van de band als van het wegdek.
6. Het wegdek speelt een belangrijke rol in de mate waarin slijtagestof in de atmosfeer gebracht wordt. Verschillende onderzoeken tonen aan dat poreuze wegdekken een positief effect hebben op het afvangen van fijnstof. Een deel zal met regenwater uitgespoeld worden of zal als vervuiling in het wegdek accumuleren.
7. De hoeveelheid materiaal die boven op een weg ligt en door opwerveling deels later in de atmosfeer terecht kan komen, is niet hetzelfde bij verschillende wegdektypen. Bij ZOAB zal een deel van het materiaal terechtkomen in de holtes tussen de steentjes. Dit beïnvloedt de hoeveelheid geproduceerd fijnstof via opwerveling.

Op basis van dit onderzoek is gebleken dat het wegdektype van invloed is op de slijtage, maar dat waarschijnlijk een veel belangrijker invloedsfactor op de emissie de bufferende werking van poreuze wegdekken is.

Summary

In the search for solutions to reduce particulate matter near motorways, it repeatedly turns out that reduction of the source emission is imperative. Much attention is given, therefore, to the vehicle particulate emissions that are related to the engine (exhaust emission). Due to the successful reduction of engine-related sources, the contribution of tyre wear and road degeneration will become relatively more important.

There are indications that the road surface type (e.g. dense asphalt concrete, single- or double layered porous asphalt concrete) has a significant influence on the deterioration of tyre and road surface. By using the RSAT-method, the effect of the road surface on tyre wear has been investigated. The results have been combined with insights from other (international) research in this knowledge document. Breijn has performed the experimental work (RSAT-method), whereas M+P has collected the results and other available knowledge into this document. The research has led to the following results.

1. From the various insights, there is a reasonable consistency in the contribution of wear-related components to the total PM_{10} -concentration.
2. Large differences are found between the sources of wear. This research concludes that the road surface component is rather small compared to the tyre wear and the degeneration of brakes/clutch. Other investigations, however, show a relatively high contribution of the road.
3. The inconsistency could be explained by the limitations of specific laboratory tests like the RSAT presented here, or the indoor tests performed at VTI and BAST.
4. For the contribution of the tyre to the particulate matter, considerable differences exist between various investigations.
5. The road surface has a significant influence on the deterioration process, both of the tyre and of the road.
6. The road surface plays an important part in the amount of wear-related particulates brought into the atmosphere. Different investigations show that porous road surfaces have a positive influence on the capture of fine particles. Some fraction will be washed away by rain water or accumulate as pollution in the road surface.
7. The amount of particulate material on top of the road surface, which would end up whirling into the atmosphere, is not the same for different road surface types. With porous asphalt concrete, part of the material will end up in the voids between the stones. This has an influence on the concentration of particulate matter sent upwards from the road.

From this research, it has turned out that the road surface type is of influence on the amount of tyre/road wear, but that the buffering capacity of porous road surfaces probably is a much more important factor.

1 Achtergrond en doel

1.1 Achtergrond

Bij het zoeken naar oplossingen voor fijnstof langs snelwegen blijkt steeds weer dat het terugbrengen van de emissie van de bron, zijnde het motorvoertuig, erg belangrijk is. Veel aandacht gaat daarom uit naar de emissies van voertuigen die gerelateerd zijn aan de motor (uitlaatemissies). Door de continue aanscherping van emissie-eisen aan de motoren (EURO IV, V en VI) wordt deze emissie sterk gereduceerd. Minder aandacht is er voor de slijtagebronnen van voertuigen, zoals de banden, het wegdek en de slijtage van remvoeringen en koppeling. Door het succesvol terugdringen van de motorgerelateerde bronnen zullen de slijtagebronnen relatief steeds belangrijker worden. Op dit moment wordt het aandeel van de slijtagebronnen op de totale PM_{10} -emissie voor snelwegsituaties geschat op circa 40%. Binnen deze slijtagebronnen is circa 25% afkomstig van de banden, zodat bandenslijtage gemiddeld circa 10% van de totale emissie uitmaakt. Er zijn indicaties dat het wegdektype (bijvoorbeeld DAB, ZOAB, 2-laags ZOAB) significante invloed heeft op de slijtage van band en wegdek.

De slijtagebronnen in de voertuigen en de band/wegdekinteractie vallen niet onder deze, steeds scherper wordende, regelgeving en behalve autonome verbeterprocessen zal er niet veel veranderen. Men kan zich zelfs voorstellen dat er van verslechtering sprake is omdat de toegenomen regeldruk op andere dan slijtagegedrag van banden (en wegdekken) juist tot compromissen op slijtage gevoeligheid kan leiden.

1.2 Doel

Het doel van de studie is:

- Inzicht krijgen in de invloed van het wegdektype op de slijtage van banden;
- Toetsen van de representativiteit van de RSAT-methode voor analyse van bandslijtage voor PM_{10} -emissie;
- Uitwerken van een vertaalslag van deze inzichten naar het aandeel van bandslijtage naar de lucht (PM_{10}).

Dit onderzoek is een samenwerking van BREIJN (onderdeel van Heijmans) en M+P - raadgevende ingenieurs. Breijn heeft het experimentele werk gedaan (RSAT-methode), terwijl M+P de resultaten en andere beschikbare kennis gebundeld heeft tot dit kennisdocument.

1.3 Resultaten

Het onderzoek levert in ieder geval de volgende resultaten op:

- Meetresultaten van RSAT-experimenten;
- Analyseresultaten van "stofmonsters" langs wegen met verschillende wegdektypen;
- Resultaat van literatuurstudie m.b.t. het deel van de bandslijtage dat in de lucht komt.

Dit resultaat is een kennisdocument dat naar verwachting door de Taakgroep Verkeer en Vervoer (die voorstellen doet voor de PM_{10} -emissiekentallen van VROM) als basis gebruikt kan worden bij eventuele toekomstige actualisaties van emissiekentallen.

2 Aanpak

De volgende aanpak is gevolgd:

1. Literatuurstudie

Om de onderzoeksvragen en de –aanpak voldoende scherp te kunnen formuleren is een beperkte literatuurstudie uitgevoerd naar de huidige inzichten in de relatie tussen bandslijtage en PM_{10} -emissie. Er wordt een keuze gemaakt voor het onderzoek m.b.t. aantal wegdektypen, herhaling van de metingen op hetzelfde wegdektype, mogelijkheid om te variëren met meetbandje etc. Daarnaast wordt nagegaan welke geschikte fijnstofmonsters er zijn voor specifieke analyses.

2. Experimenten met RSAT-methode

Heijmans heeft een aantal jaar geleden een onderzoeksmethode ontwikkeld, waarbij op basis van de slijtage van het onderzochte asfaltmengsel inzicht verkregen wordt in de levensduurverwachting van een wegdek (de RSAT-methode). Naast slijtage van het asfaltmengsel vindt er echter ook slijtage van de gebruikte rubberband plaats. Diverse metingen aan verschillende wegdektypen laten een grote spreiding zien in de bandslijtage tussen de beproefde wegdektypen.

De aanname is dat deze inzichten in bandslijtage gebruikt kunnen worden om inzicht te krijgen in de emissie van bandslijtage naar de lucht (PM_{10}). Bij een bureaustudie [8] is bij wijze van experiment al een vergelijking gemaakt van de verschillen in bandslijtage tussen ModieSlab en ZOAB. Op basis van metingen met de RSAT-methode bleek dat de rubberslijtage bij ModieSlab 50% lager lag dan bij ZOAB.

Met behulp van de RSAT-methode is onderzoek gedaan naar de rol van het wegdektype op de slijtage van banden, met name het deel van de bandslijtage dat in de lucht komt als PM_{10} . Daartoe is een aantal experimenten uitgevoerd. Speciale aandacht is gegeven aan de herhaalbaarheid van de resultaten en de representativiteit van de RSAT-methode. Er zijn in totaal zes proefplaten (wegdekmonsters) vervaardigd en beproefd: twee platen met DAB 0/16, twee platen ZOAB 6/16+ en twee platen met de 4/8 toplaag van 2-laags ZOAB. In tegenstelling tot de gebruikelijke doelstelling van deze proef, nl. de slijtage van het wegdek, wordt er nu gekeken naar de slijtage van de in de RSAT gebruikte testband. Het verschil in slijtagesnelheid van de testband tussen de verschillende typen wegdekken wordt beschouwd als een maat voor het in werkelijkheid optredende verschil.

3. Analyse van PM_{10} -metingen

Een belangrijk onderdeel in het onderzoek is het verkrijgen van inzicht in het deel van de slijtage dat (in de praktijk) in de lucht terechtkomt (als fijnstof) en het deel dat via het wegdek in de bodem of het oppervlak terechtkomt. Vanuit de literatuur is onderzocht welke inzichten er internationaal zijn. Daarnaast is er onderzoek gedaan op basis van reeds beschikbare “fijnstofmonsters” vanuit andere meetprojecten.

4. Kennisdocument

Het totaal aan inzichten uit de experimenten is in een (beknopt) kennisdocument opgenomen.

3 Kennis slijtagebronnen

3.1 Algemeen

De meest relevante bron van PM_{10} ten gevolge van het wegverkeer zijn de van het verbrandingsproces in de cilinders afkomstige deeltjes, met name as en roet (onverbrande koolstof). De continue aanscherping van eisen in Europees kader heeft de bijdrage van deze bron tot de totale emissie significant teruggebracht en zal deze nog verder terugbrengen met het verplicht stellen van Euro V en Euro VI eisen aan verbrandingsmotoren, met name de dieseltypen.

3.2 Slijtagebepalende componenten

3.2.1 Inventarisatie

De mechanische eigenschappen en geometrie van het wegdek en de band bepalen de mate van slijtage aan beide componenten. Door deze slijtage ontstaat er een emissie naar de omgeving. Deze bronnen komen niet alleen in de lucht, maar een deel zal ook met wind of water in de berm terecht komen en een deel zal met regenwater afstromen naar het oppervlakte water. Er wordt in dit onderzoek geen onderscheid gemaakt naar de compartimenten, met name omdat kennis over de verdeling over de compartimenten nauwelijks voorhanden is. We nemen aan dat veranderingen in totale emissie verhoudingsgewijs een even grote verandering in het compartiment lucht tot gevolg heeft.

Dit onderdeel richt zich met name op de emissie uit bandenslijtage veroorzaakt door het band/wegdek contact. De bevinding bij de experimenten is dat het aandeel van de bandenslijtage veel groter is dan het aandeel van de slijtage van het wegdek. In het navolgende zal een vergelijking worden gemaakt tussen de slijtagepatronen van enkele gebruikelijke asfaltoppervlakken. De bandenslijtage wordt bepaald door de componenten die in de onderstaande subparagrafen beschreven worden, waarbij gebruik gemaakt is van de inventarisatie in [8].

3.2.2 De vlakheid van het wegdek in langs- en dwarsrichting

De sterke wisseling van de verticale en zijdelingse krachten wordt bepaald door o.a. de configuratie van het voertuig (o.a. vering, wielbasis, gewicht), maar ook door de vlakheid in zowel dwars- als langsrichting. In een Amerikaans onderzoek [7] is gekeken naar de invloed van de initiële vlakheid op het duurgedrag van de verharding en de jaarlijkse onderhoudskosten. Aan de hand van een analyse van data van meer dan 400 wegvakken (in Arizona en Pennsylvania) over een tijdsspanne van 10 jaar wordt aangetoond dat de mate van initiële vlakheid gecorreleerd kan worden aan de levensduur en onderhoudskosten van een weg.

De verminderde vlakheid in langsrichting zal een zeer onevenwichtige belasting van het wegdek tot gevolg hebben door het dynamische effect van de verkeersbelasting. Wegdek en banden worden onevenredig zwaar belast waardoor de schade aan de band toeneemt. Ook voegen, naden en scheuren kunnen een belangrijke negatieve bijdrage leveren aan deze dynamische effecten en hierdoor schadeverhogend werken. Verder zal ook door plaatselijke vervorming en slijtage (spoorvorming en rafeling, het grover worden van wegdek) dit effect steeds verder versterkt worden waardoor o.a. bandenslijtage toeneemt.

3.2.3 *De maximale korrelgrootte in het wegdek*

De maximale korrelgrootte in het wegdek is mede bepalend voor de bandenslijtage. Door een zeer grove korrel ontstaan namelijk hogere aanstootkrachten bij het contact band/wegdek waardoor de band en het wegdek meer slijtage zullen gaan vertonen. Dit wordt in deze studie aangetoond met de hierna genoemde RSAT-testmethode.

3.2.4 *Macrotextuur en microtextuur*

Uit onderzoek is gebleken dat de ligging van de korrel waarschijnlijk sterk bepalend is voor de mate van slijtage van de band. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat als de korrels met de scherpe randen naar boven liggen, deze fungeren als mesjes, en zullen op deze manier schade aan de band toebrengen. Dit fenomeen zal waarschijnlijk niet optreden als de korrels met de platte kant naar boven liggen. De uitvoeringsmethode en/of productietechniek bepalen in hoge mate de oriëntatie van de korrels in het wegdek.

Met de macrotextuur van het wegdek wordt de vorm en ligging van de korrel in het oppervlak bedoeld, met de microtextuur, de oppervlaktetextuur van de individuele korrel. Deze textuureigenschappen zijn samen met de hierboven genoemde ligging, verantwoordelijk voor de ruwheid van het wegdek en daarmee voor het slijtageproces van de band. Ook zijn deze bepalend voor de stroefheid van het wegdek. De stroefheid van het wegdek wordt bepaald door de macro- en microtextuur, de macrotextuur zorgt èn voor een snelle waterafvoer èn voor vervorming van het bandloopvlak. Waterafvoer voorkomt het ontstaan van een waterlaag tussen band en wegdek. Door de dynamische vervorming, gecombineerd met het hysteresedrag van het loopvlakrubber, wordt remvermogen bij hoge snelheid geleverd. De microtextuur zorgt door de grillige oppervlakstructuur van de steen èn voor het breken van de waterfilm èn voor een maximale wrijvingsweerstand tussen band en wegdek bij lage snelheid.

Het is met name dat laatste element dat direct te koppelen is aan het materiaalverlies van het bandloopvlak en het wegdek. Maar de tangentiële- en normaalkrachten in het contactvlak, welke bepaald worden door oneffenheid en macrotextuur, zijn wel bepalend voor de mate waarin dit proces plaatsvindt. Daarnaast natuurlijk de technische specificaties van de voertuigen en het rijgedrag, maar dat valt niet onder het onderzoeksonderwerp. Voor snelwegsituaties speelt het optrekken en afremmen minder een rol, in stedelijke situaties zal dit veel belangrijker zijn.

3.3 **Grootteorde band- en wegdekslijtage**

3.3.1 *Bandenslijtage*

De totale bandenslijtage in het Nederlandse voertuigpark kan redelijk geschat worden aan de hand van een aantal evaluaties [6]:

1. verkoopcijfers van banden gecombineerd met het gemiddelde massaverlies per band als gevolg van slijtage;
2. kilometeraanpak waarin de totale voertuigkilometers op de verschillende typen wegen gecombineerd worden met de gemiddelde kilometrage waarbij banden versleten zijn met het gewichtsverlies per band als gevolg van slijtage;
3. directe meting aan fijnstof rond verkeerswegen en met analyse op basis van, voor bandmateriaal, karakteristieke tracers de concentratie van de van bandslijtage afkomstige fijnstoffractie vast te stellen.

1. en 2. leiden tot schattingen van de totale stofemissie. Het probleem is dat niet goed bekend is welke fractie hiervan valt binnen de PM₁₀-categorie en voorts welk deel van de PM₁₀-fractie in de lucht terecht komt. De in 3. gegeven aanpak lijkt nog de beste te zijn om de direct naar de lucht geëmitteerde fijne deeltjes fractie te kunnen vaststellen, hoewel ook deze aanpak een behoorlijke onnauwkeurigheid kent.

De beste schatting voor personenauto's van de in de lucht geëmitteerde PM₁₀-fractie van bandenstof is circa 5% van het totale bandenstof van 100 mg/vkm (milligram per voertuigkilometer), hetgeen neerkomt op 5 mg/vkm. Deze schatting is door TNO gedaan op basis van internationaal literatuuronderzoek en onderzoek naar de totale bandslijtage [6]. Dit is nog steeds aanmerkelijk minder dan de totale PM₁₀-emissie van dieselauto's die, afhankelijk van rijgedrag en type 100 tot 200 mg/vkm bedraagt. Deze waarden liggen echter al ruim hoger dan die van Ottomotoren, zowel benzine als LPG, die in de orde van 2 à 5 mg/vkm liggen.

3.3.2 *Wegdekslijtage*

De interesse naar wegdekgerelateerde PM₁₀-emissie is opgewekt door de stofproblemen in Scandinavische steden als gevolg van wegdekslijtage door het gebruik van spijkerbanden [9]. Ook voor M+S-banden (modder- en sneeuwbanden, meestal ook geschikt als winterband) werd er wegdekslijtage vastgesteld, echter een factor 40 à 50 minder. De beperking in de interpretatie is, naast de Zweedse taal, ook dat er geen gegevens in termen van mg/vkm beschikbaar zijn.

In Duits onderzoek in opdracht van de BAST [1] werd echter geen duidelijke bijdrage van wegdekslijtage geconcludeerd. De fijne deeltjes van anorganische afkomst werden toegeschreven aan opwerveling van uit de omgeving afkomstig stof. In Nederlands onderzoek [4] worden verschillende gegevensbronnen gecombineerd en wordt een emissiefactor voor wegdekstof (PM₁₀) voorgesteld van 7 mg/vkm voor personenauto's en 35 mg/vkm voor zwaar verkeer. Deze getallen zijn aanmerkelijk hoger dan de respectievelijke 5 en 20 mg/vkm ten gevolge van de bandenslijtage.

4 RSAT-experimenten

4.1 Inleiding

Zonder al te diep op de grootteordes afkomstig uit de verschillende onderzoeken in te gaan, kan men vaststellen dat de bijdrage van band- en wegdekslijtage belangrijk genoeg is om meer aandacht aan beïnvloedingsfactoren te besteden. In paragraaf 3.1 is reeds een aantal relevante eigenschappen van het wegoppervlak gegeven dat de mate van bandslijtage (en daaraan gerelateerd) wegdekslijtage beschrijft.

Een wegdekeigenschap die binnen de scope van het slijtagegedrag geen relevante rol heeft, maar essentieel kan zijn in de beoordeling van de effecten op de luchtkwaliteit is de porositeit van het wegdek. Immers, in geval van een poreus wegdek kan het door slijtage ontstane stof in de poriën worden opgenomen en daar met het regenwater uitspoelen. De RSAT-proef neemt dit effect niet mee omdat de stoffractie met een geforceerd systeem wordt opgezogen.

4.2 Testopzet

Meer kwantitatieve informatie hierover komt beschikbaar uit slijtagetesten met de RSAT. Met deze test wordt een rubber loopwiel met gestandaardiseerde normaalkracht over een wegdeksample heen gereden. Door dit wiel een kleine hoek met de voortbewegingsrichting te laten maken worden er normale en tangentiële krachten opgewekt in het band/wegdekvlak die leiden tot (versnelde) slijtage van zowel band als wegdek. De premisse is dat hiermee een slijtagegedrag gegenereerd wordt, dat hoewel sterk versneld, representatief is voor het slijtage gedrag tussen band en wegdek.

Deze test is primair bedoeld voor onderzoek naar slijtage en materiaalverlies van wegdekken maar wordt hier gebruikt om de bandslijtage in kaart te brengen. In een eerder onderzoek [8] is de mogelijkheid hiertoe al in kaart gebracht.

In het onderhavige onderzoek zijn van een drietal wegdektypen en van elk type twee exemplaren, RSAT-testen uitgevoerd met als doel de wegdekinvloed op de slijtage van de band in kaart te brengen. Gedurende de uitvoering van de RSAT is op een aantal vaste tijdstippen de hoeveelheid geproduceerd slijtagestof verzameld en zijn zowel de massa van het meetwiel als de massa van het testsample vastgelegd. Het slijtagestof is gesegregeerd in een fractie met diameter > 1 mm en een fractie < 1 mm.

De drie wegdektypen waren:

1. DAB 0/16
2. ZOAB 6/16+ (+ geeft aan dat het de variant betreft met hoger bitumengehalte)
3. de 4/8 toplaag van een standaard 2-laags ZOAB.

De beide DAB-samples onderscheiden zich in de oppervlakte ruwheid. Het tweede sample is voorbehandeld met gritstralen omdat de eerste variant tijdens de test "dichtgereden" werd.

4.3 Testresultaten

Een typisch testresultaat is hieronder gegeven. Na een initiële periode waarin het systeem ingesteld wordt en de bitumenfilm wegslijt, is er een periode waarin de hoeveelheid slijtage materiaal praktisch evenredig met de tijd toeneemt.

Uit de weergegeven data is duidelijk dat in deze periode nog geen sprake is van materiaalverlies van het wegdek materiaal en er praktisch uitsluitend materiaalverlies optreedt als gevolg van slijtage van het testwiel. Bij verdere doorzetting van de test zou de voor wegdekonderzoek relevante fase bereikt worden waarbij aantoonbaar steenverlies van het oppervlak zou optreden. Deze fase is voor het onderhavige onderzoek echter niet van belang. In het gebied tussen beide fases is er sprake van een min of meer lineair gedrag. Van elk van de curves is dit deel geïdentificeerd en is de helling bepaald in termen van gram materiaalverlies/uur.

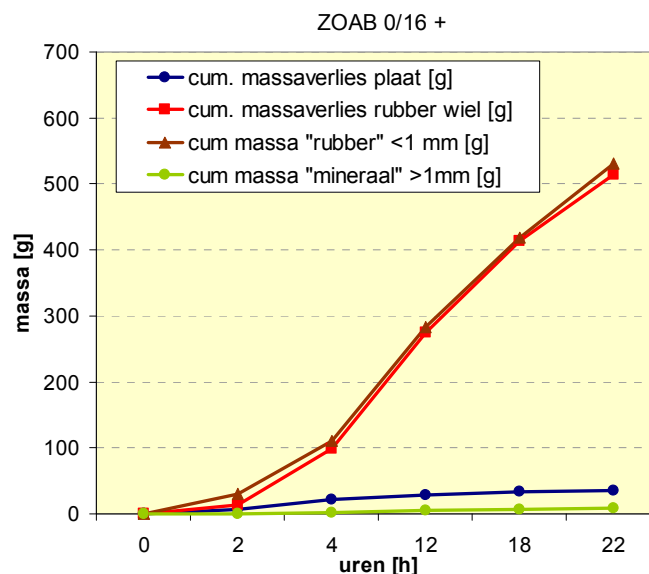


Fig.1 Gedrag van slijtage test met RSAT. Voorbeeld voor ZOAB 6/16+

De voor de totaal 6 samples gevonden waarden van het rubbermateriaalverlies zijn in de onderstaande tabel weergegeven (zie Tabel 1). Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar rapportage [10], die als bijlage bij dit rapport is gevoegd.

Voor zowel band- als wegdeksample is ruim 95% van de fractie in de grootte orde < 1mm. De in de tabel getoonde waarden kunnen dientengevolge beschouwd worden als representatief voor de fractie <1 mm. Zoals de grafiek in Fig.1 laat zien is er nauwelijks een bijdrage van de fractie > 1mm.

Tabel 1 Slijtage van het testwiel en het testsample gedefinieerd als massaverlies in gram per uur.

type	DAB 0/16	Toplaag 2-laags ZOAB	ZOAB 6/16+
bandverlies	17,6	22,8	23,8
wegdekverlies	0,6	1,2	0,8
gemiddeld bandverlies rel t.o.v. DAB	100 %	130 %	135 %

4.4 Discussie RSAT-resultaten

Hoewel de testopzet zijn beperkingen kent in termen van precieze modellering van het slijtagegedrag van autobanden en wegdek, kan er wel een aantal karakteristieken opgemerkt worden.

1. de slijtagewaarde gemeten op het DAB is significant lager dan die gevonden op beide ZOAB varianten;
2. de gevonden variatie op het DAB is met 0,2 g/u significant kleiner dan die van de beide ZOAB varianten (ruim 2,5 g/u);
3. veruit de grootste fractie in het slijtagestof wordt gevormd door de fractie <1mm;
4. de materiaalbijdrage van slijtage van de band is aanzienlijk hoger dan die van het wegdek;
5. er bleek geen onderscheid in slijtagegedrag gevonden te kunnen worden tussen het onbehandelde en de behandelde DAB-testsample, hoewel het behandelde testsample aanmerkelijk meer textuur vertoonde.

De bovenstaande bevindingen kunnen niet makkelijk eenduidig geïnterpreteerd worden. Op het eerste gezicht zou het onderscheid tussen DAB en ZOAB op belang van macrottextuur kunnen duiden, immers, in beide gevallen is een gelijke mate van microtextuur aanwezig zoals vele textuurmetingen aan beide wegdekken aangetoond hebben. De ongevoeligheid voor gritstralen van het DAB-sample is daarmee niet in overeenstemming is.

Men kan zich slechts voorstellen dat gritstralen effect heeft gehad op de microtextuur van het DAB, waardoor de verslechtering in macrottextuur gecompenseerd werd door verbetering van de microtextuur (verbetering gedefinieerd als afname van ruwheid).

Een belangrijke bevinding van dit onderzoek is dat het slijtstof met name van de band afkomstig is.

Hoewel de analyse van het stof zich beperkt heeft tot onderscheid < 1 mm en > 1 mm kunnen de gegevens ons inziens toch geduid worden in termen van PM₁₀. Uit verschillende onderzoeken [7] en [9] is reeds vastgesteld dat bandenstof een aanzienlijke fractie PM₁₀ bevat en binnen de beperkingen van het RSAT-slijtagemodel wordt dieper ingaan op PM₁₀ niet zinvol geacht. Temeer daar het hier vergelijkingsonderzoek betreft.

5 Overige experimentele resultaten

Zoals in de inleiding reeds is aangegeven, is het onderwerp van slijtage van band en wegdek relevant voor het incalculeren van toekomstige verbeteringen aan de PM_{10} -emissie van voertuigenmotoren. Het onderzoek naar deze bijdragen is echter een stuk gecompliceerder dan die naar de uitlaatemissie, immers daar volstaat een motorproefstand en kan de analyse verricht worden aan een duidelijk te duiden gasvolume.

5.1 Onderzoek in Zweden

Voor band en wegdek is een dergelijke stand niet goed mogelijk. Op verschillende wijzen is getracht inzicht te krijgen in de emissie ten gevolge van deze processen. In [4], [6] en [11] wordt hier op ingegaan. Door Michelin is een test uitgevoerd waarbij het stof van achter de band werd opgezogen en geanalyseerd. Daaruit bleek dat slechts 20% afkomstig was van de testband, de rest was stof dat door andere voertuigen op de weg achtergelaten was en van de omgeving afkomstig stof. Door de BAST en VTI is met *indoor* testen gewerkt om band/wegdek slijtgestof te verzamelen. Het geproduceerde stof is opgevangen en geanalyseerd om de herkomst te kunnen vaststellen.

De VTI testen waren gericht op winter omstandigheden, wat in Zweden de inzet van spijkerbanden betekent. Ook is er gekeken naar de effecten van strooien met grit of zand, zowel met spijker- als met winterbanden. Daarbij zijn twee typen wegdekken gebruikt, een SMA 0/16-wegdek (steenmastiek asfalt) en een DAB 0/16-wegdek. Het SMA-wegdek leidde bij gebruik van spijkerbanden tot een lagere stofemissie dan het DAB-wegdek, hetgeen verklaard kan worden door de hogere slijtvastheid van SMA. Helaas is de test met de winterband alleen op het SMA uitgevoerd. Een verrassend gegeven was dat de gemeten deeltjesgrootteverdeling afhankelijk was van de snelheid. Voor zover te interpreteren werd de oorsprong van het stof gezien als afkomstig van het wegdek materiaal zelf.

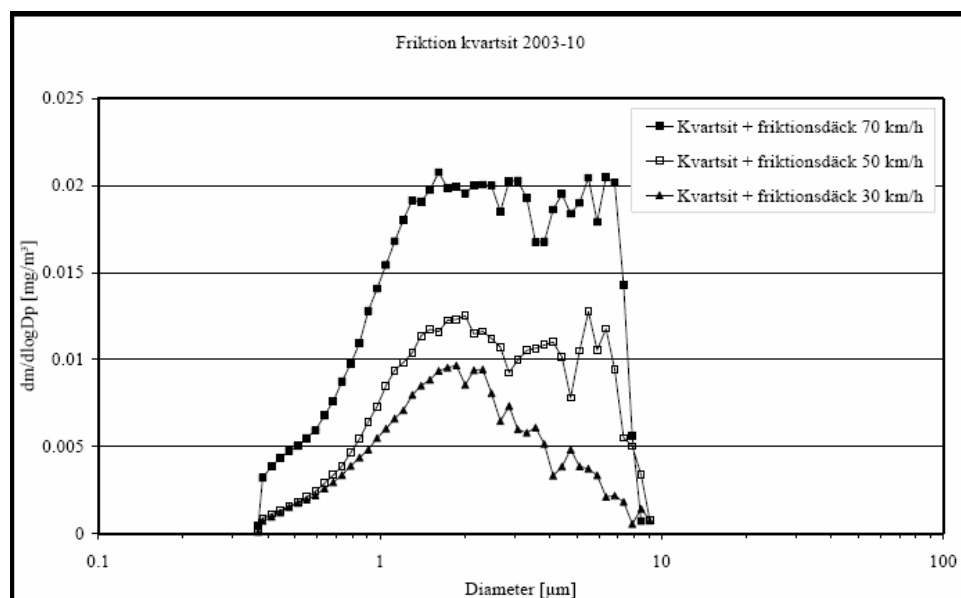


Fig.2 Verdeling van deeltjesgrootte van de combinatie van winterband en SMA-wegdek, afhankelijk van de rijnsnelheid

5.2 Onderzoek in Duitsland

Door Ropertz *et al.* (ref. [3]) is onderzoek naar wegdekeffecten uitgevoerd. Het onderzoek was gericht op vaststelling van het opnamevermogen van open wegdekken van fijnstof. Het is bekend dat open wegdekken stof en vuil opnemen. Dit werd gezien als een negatief effect, immers de gunstige geluidtechnische werking werd daardoor negatief beïnvloed. In het kader van verbetering van de luchtkwaliteit wordt dit opnamevermogen gezien als een positief effect en werd binnen dit onderzoek in een vergelijkingstest met een dicht wegdek verder in kaart gebracht. Er werd een effect in de PM₁₀-concentratie ten gevolge van het van de weg afkomstige stof gevonden van 4 µg/m³ (22 tegen 18). Tevens werden de partikels geanalyseerd op hun chemische samenstelling en daaruit bleek dat de van bandslijtage afkomstige elementen ter plaatse van het ZOAB een hoger aandeel in de totale hoeveelheid hadden dan die ter plaatse van het SMA. Daaruit werd afgeleid dat de bandslijtage op het ZOAB hoger zou kunnen zijn dan die op het SMA. Echter deze bevindingen werden niet bevestigd door de concentratieverschillen in andere aan bandslijtage gerelateerde componenten zoals koolstof (C) en Cadmium (Cd).

Er werd in dit onderzoek geen specifieke bijdrage geconstateerd van stof als gevolg van wegdekslijtage. De niet van de band of remmen en koppeling afkomstige fracties werden slechts geduid als wegstof, afkomstig van opwerveling, diverse slijtagebronnen en van de omgeving.

In een eerder onderzoek van de BAST werd dit al specifieker in kaart gebracht (ref. [1]). Aan beide zijden van de autobaan Köln-Koblenz werd de luchtkwaliteit bemonsterd. Door afhankelijk van de windrichting de lei- en loefzijde met elkaar te vergelijken is de bijdrage van het verkeer op de autobaan vastgelegd. Door chemische analyse van de partikels konden de bronnen van de PM₁₀-bijdragen vastgesteld worden. De resultaten zijn in de onderstaande tabel gegeven.

Tabel 2 *PM₁₀-emissiefactoren voor verkeer op de autobaan (20% vrachtverkeer, droog weer) [1].*

brontype	Emissiefactor [mg/km]
motoremissie	38
remslijtage	9
bandslijtage	2
opwerveling/wegdekslijtage	5
diversen	12
dooizout (winter)	9

Een nog relevant deel is aangeduid met de bron "diversen". Dit zijn deeltjes met sulfaat, nitraat, ammonium waarvan geen eenduidige bron geconcludeerd kon worden. Een deel kan toch nog afkomstig zijn van de lokale omgeving of van chemische processen in de katalysator.

De bandbijdrage die hier geconstateerd wordt is aanmerkelijk lager dan uit andere onderzoeken blijkt. Dit wordt verklaard met het gelijkmatige rijgedrag op een autobaan (geen scherpe bochten, remmen of accelereren) en de relatief lage wegdekruwheid. Er wordt geen specifieke bijdrage van slijtage van het wegdek geconcludeerd. Dit is terug te voeren op het ontbreken van duidelijk aan wegdekmaterialen te relateren componenten. De silicaten en carbonaten kunnen zowel van wegdek materiaal als vanuit de omgeving afkomstig zijn en zijn daarom onder de algemene term opwerveling/wegdekslijtage gebracht.

5.3 Onderzoek in Nederland

Voor de Nederlandse situatie zijn slechts zeer beperkt onderzoeksresultaten bekend waarbij gericht onderzoek gedaan is naar de verschillen tussen dichte en poreuze wegdekken op het gebied van fijnstof. Momenteel loopt een IPL-onderzoek op de A73 bij Nijmegen, waar onder andere die vergelijking gemaakt wordt. Eerste resultaten laten zien dat de concentraties bij het (2-laags) ZOAB vak lager zijn dan bij het DAB-vak, maar dat er ook sprake is van grote verschillen tussen de meetlocaties, waardoor directe vergelijking niet mogelijk is. In een winterperiode (2008-2009) is eveneens onderzoek gedaan op deze wegvakken van de A73 bij Nijmegen [12]. Nagegaan is of de meetresultaten van de winterperiode (met behulp van de referentiemethode voor fijn stof) meer inzicht zou kunnen geven voor de onderzoeksvragen van dit rapport. Dit blijkt slechts ten dele het geval te zijn. De beschikbare data (en meetfilters) betreffen (zeer) winterse omstandigheden, met lage temperaturen en veel neerslag. Verdere analyse van deze filters zal geen extra informatie opleveren met betrekking tot verschillen tussen (slijtagecomponenten van) DAB en (2-laags) ZOAB. Het onderzoek lijkt wel het vermoeden te bevestigen dat er duidelijke verschillen bestaan tussen dichte en poreuze wegdekken op het gebied van het “bufferend effect” van fijnstof deeltjes.

Gebleken is dat op regenachtige dagen na een winterse periode waarbij zout gestrooid is als gladheidsbestrijding, de gemiddelde dagconcentraties bij het 2-laags ZOAB-vak significant lager was dan bij DAB. Zie figuur 3. De concentraties (etmaalgemiddelde waarden conform referentiemethode) op de verticale as betreffen het meetpunt bij 2-laags ZOAB. De horizontale as geeft gelijktijdige concentraties op het meetpunt bij DAB. Voor “normale” winterse dagen zijn de concentraties ongeveer gelijk (de punten die rond de lijn $y=x$ liggen). Op specifieke dagen zijn de concentraties bij 2-laags ZOAB veel lager (de spreiding van de punten onder de lijn $y=x$). Analyse heeft uitgewezen dat dit dagen betreft waarbij het aanwezige zout op de weg door de neerslag en het verkeer bij DAB in de lucht wordt gebracht, terwijl dit bij 2-laags ZOAB niet optreedt. De meest waarschijnlijk verklaring is dat het zout in het wegdek gebufferd wordt en met behulp van de neerslag naar de bodem wordt afgevoerd.

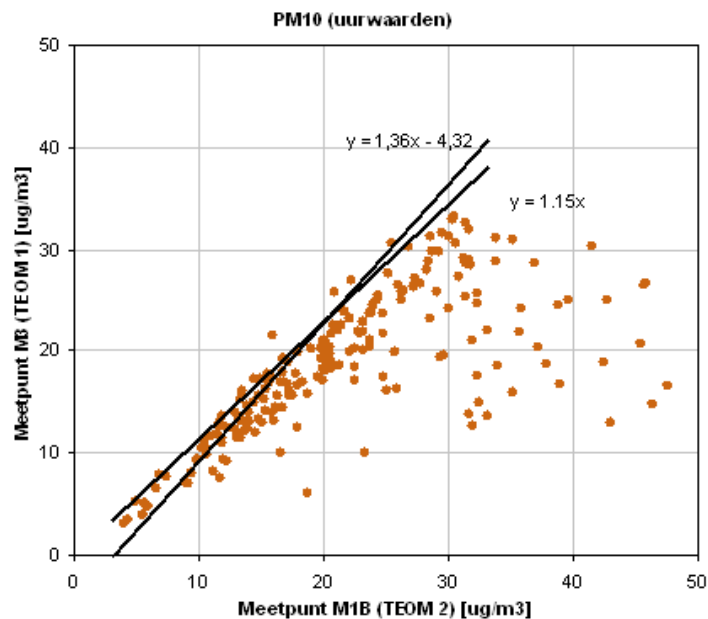


Fig.3 *Vergelijking van PM₁₀ langs autosnelweg met DAB (horizontale as) en 2-laags ZOAB (verticale as) in winter 2008/2009*

Andere Nederlandse (literatuur)onderzoeken naar slijtagemateriaal van remmen, banden en wegdekken melden ook grote variaties in de bevindingen ten aanzien van band- en wegdekslijtage. In recente onderzoeksrapporten ([4], [5] en [6]) worden de volgende waarden geconcludeerd (zie Tabel 3).

Tabel 3 *PM₁₀-emissiefactoren voor slijtage bronnen (ref. [4] [5] en [6])*

brontype	Emissiefactor lichte voertuigen [mg/km]	Emissiefactor zware voertuigen [mg/km]
remslijtage binnen bebouwde kom	16	53
remslijtage buiten bebouwde kom	6	21
bandslijtage	5	30
wegdekslijtage	7	35

Deze inzichten hebben recent al geleid tot een aanpassing van de slijtagebronnen in de SRM1-emissiefactoren en die voor snelwegen van de wettelijke rekenmethoden (ref. [13]). Echter, ook in deze publicatie wordt gerefereerd aan de significante onzekerheid die gepaard is gegaan met het vaststellen van de getallen.

Tabel 4 *PM₁₀-emissiefactoren voor slijtage bronnen (ref. [13])*

voertuigtype	Emissiefactor [mg/km] voor slijtageproces	
	binnen bebouwde kom	buiten bebouwde kom
personenauto's	24	14
vrachtauto's	122	74

Al met al blijkt dat er grote verschillen van inzichten zijn in de bronnen van slijtage.

6 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de uitgevoerde testen van band- en wegdekslijtage met behulp van de RSAT en op basis van bevindingen uit de diverse meet- en analyse projecten uit binnen- en buitenland komen we tot de volgende conclusies:

1. Er bestaat een redelijke mate van overeenstemming in de bijdrage van slijtagecomponenten aan de overall PM_{10} -concentratie. Voor gemengd verkeer op het HWN bij een laag ZOAB is dit zo'n 40% van de totale PM_{10} -emissie.
2. Er bestaan grote verschillen van inzichten in de bronnen van slijtage. In het onderhavige onderzoek zijn bevindingen gepresenteerd waaruit blijkt dat de wegdekcomponent tamelijk klein is ten opzichte van band en rem/koppeling. Andere bevindingen duiden juist op een relatief hogere bijdrage van het wegdek.
3. De onzekerheid is terug te voeren op de beperkingen in gerichte laboratoriumtesten zoals de hier besproken RSAT of de bij de VTI of BAST uitgevoerde testen op wegdeksimulatoren. Ook uit metingen langs wegen kunnen de wegdekbijdragen niet goed onderscheiden worden van de opwerveling van uit de omgeving afkomstig stof.
4. Ook voor bandbijdragen bestaan aanzienlijke verschillen tussen verschillende onderzoeken.
5. Het wegdek heeft een significante invloed op het slijtageproces, zowel van band als van wegdek. Binnen de beperkte meetresultaten is dit echter niet te herleiden tot een specifieke oppervlakte-eigenschap. Uit de literatuur wordt zowel de micro- als de macrottextuur genoemd als belangrijke parameter voor bandslijtage.
6. Het wegdek speelt een belangrijke rol in de mate waarin slijtgestof in de atmosfeer gebracht wordt. Verschillende onderzoeken tonen aan dat poreuze wegdekken een positief effect hebben op het afvangen van fijnstof. Een deel zal met regenwater uitgespoeld worden of zal als vervuiling in het wegdek accumuleren.
7. De hoeveelheid materiaal die boven op een weg ligt en door opwerveling deels later in de atmosfeer terecht kan komen, is niet hetzelfde bij verschillende wegdektypen. Bij ZOAB zal een deel van het materiaal terechtkomen in de holtes tussen de steentjes. Dit beïnvloedt de hoeveelheid geproduceerd fijnstof via opwerveling.

Omdat de slijtagebronnen in de toekomst een steeds belangrijker bron worden van de PM_{10} -emissie van het verkeer en omdat er grote verschillen zijn in de inzichten van de onderscheiden slijtagebronnen wordt aanbevolen om meer gericht onderzoek naar deze bronnen op te zetten. Aanbevolen wordt om bij zo'n onderzoek de invloed die het wegdektype kan hebben mee te nemen. Op basis van het onderhavige onderzoek is gebleken dat het wegdektype van invloed is op de slijtage, maar dat waarschijnlijk een veel belangrijker invloedsfactor op de emissie de bufferende werking van poreuze wegdekken is.

7 Referenties

- [1] U.Quass *et al.* „Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs- Brems- und Farhbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Strassen“, Berichte der BAST, Heft V 165, maart 2008
- [2] R.M. van den Brink, "Deeltjesemissie door wegverkeer", RIVM rapport 773002008, oktober 1996
- [3] A.Ropertz *et al.*, "Einfluss von offenporigem Asphalt auf die Feinstaubbelastung an Strassen“, Berichte der BAST , Forschungsprogramm 02.273/2006/LRB, mei 2009
- [4] Rijkswaterstaat i.s.m. Deltares en TNO; “Emissie door wegdekslijtage ten gevolge van het wegverkeer“, september 2008
- [5] Rijkswaterstaat i.s.m. Deltares en TNO; “Emissie door remslijtage “, juni 2008
- [6] Rijkswaterstaat i.s.m. Deltares en TNO; “Emissie door bandenslijtage afkomstig van het wegverkeer“, december 2007
- [7] Amerikaans onderzoek naar slijtage en vlakheid, Arizona Pennsylvania
- [8] Het schoonste wegdek: ModieSlab, rapport van ModieSlab vof, november 2008
- [9] Mats Gustafsson *et al.* “Inhalable particles from the interaction between tyres, road pavement and friction materials”, VTI report SE-581 95, Linköping Sweden, 2005
- [10] Breijn, “Onderzoek naar de invloed van het wegdektype op de bandenslijtage d.m.v. de Rotating Surface Abrasion Test”, Breijn rapport nr. 6709904-RAP-002-0.1, 13 november 2009
- [11] ChemRisk inc, “Interim report of tire wear particle research”, Pittsburg PA, July 31, 2008
- [12] Experimenten met Calciumchloride, Calciumchloride-sproeien voor een betere luchtkwaliteit, IPL-rapport, mei 2009
- [13] G.Geilenkirchen *et al.* “Toelichting SRM1-emissiefactoren en emissiefactoren voor snelwegen 2009”, Planbureau voor de leefomgeving / Ministerie van VROM, maart 2009