



**Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden**



## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

### ► Auteurs

Xavier Cocu  
*x.cocu@brrc.be*

Luc Goubert  
*l.goubert@brrc.be*

Augustus 2019.

© OCW – Alle rechten voorbehouden.

Verantwoordelijke uitgever: Annick De Swaef, Woluwedal 42, 1200 Brussel.

## ► 1 Inleiding

Uit de literatuur blijkt dat **rammelstroken** – in het midden of aan de rand van de weg – **een doeltreffende maatregel zijn om ongevallen te vermijden die worden veroorzaakt door voertuigen die van de rijstrook afwijken**. Het geluid en de trillingen die deze stroken veroorzaken, waarschuwen de bestuurder dat hij afwijkt van de rijstrook waarop hij rijdt.

Volgens de studies die door Elvik & Vaa (2004) werden geanalyseerd [1], zijn rammelstroken aan de rand van de weg in staat om het aantal ongevallen ten gevolge van onbedoeld afwijken van de rijstrook met ongeveer 30 % te verminderen. Het NCHRP Report nr. 641 (2009) [2] vermeldt aanzienlijke dalingen op het vlak van ongevallenfrequentie als dergelijke stroken op tweerichtingsbanen worden aangebracht: 45 % tot 64 % minder ongevallen (met dodelijke afloop of gewonden) met frontale of laterale botsingen na de aanleg van rammelstroken in het midden van de weg en 17 % tot 34 % minder ongevallen (met dodelijke afloop of gewonden) veroorzaakt door onbedoeld naar rechts afwijken van de rijstrook na de aanleg van rammelstroken aan de rand van de weg.

Alhoewel rammelstroken heel doeltreffend blijken voor het verminderen van ongevallen door onbedoeld afwijken van de rijstrook, blijft het gebruik van deze veiligheidsvoorziening heel beperkt. Dat is hoogstwaarschijnlijk te wijten aan het gebrek aan praktische richtlijnen en aan het idee dat dergelijke stroken bepaalde problemen met zich meebrengen zoals geluidsoverlast, hinder voor tweewielers en het moeilijke onderhoud. Dit dossier heeft als doel om de verschillende voorzieningen die mogelijk kunnen worden geplaatst, alsook de geometrische eigenschappen en de doeltreffendheid ervan, te beschrijven. Op deze manier verkrijgen we eerst en vooral een overzicht van de belangrijkste praktische parameters die in overweging moeten worden genomen. Bovendien kunnen we zo de wegbeheerder bijstaan bij zijn beslissing inzake het ontwerp en de aanleg van die voorzieningen om de hierboven vermelde ongemakken uit de wereld te helpen. Het uiteindelijke doel moet zijn om het aantal ongevallen door onbedoeld afwijken van de rijstrook te verminderen.

Dit document berust hoofdzakelijk op een grondige analyse van de Amerikaanse literatuur (in Amerika worden rammelstroken overvloedig gebruikt) en van de resultaten van het *Roadsense*-project in Frankrijk (hoofdstukken 2 tot 4). Hoofdstuk 5 biedt, in de vorm van een vragenlijst, de nodige ondersteuning aan ontwerpers en beheerders bij hun keuze om gebruik te maken van rammelstroken. Hoofdstuk 6 stelt ten slotte de conclusies van deze werkwijze voor, alsook de vooruitzichten inzake aanvullende studies, technologische monitoring en toekomstige ontwikkeling.

### ***Roadsense***

Het *Roadsense*-project (dat eind 2013 is beëindigd) bestudeerde 'rammelstroken' als middel voor het verminderen van ongevallen door onbedoeld afwijken van de rijstrook, waarbij snelheid geen rol speelt (voertuigen die afwijken door gebrekkige laterale besturing en dus niet doordat de bestuurder eerst de controle over het voertuig verliest). Tussen 2010 en 2013 was 12 tot 20 % van de verkeersdoden in Frankrijk het gevolg van dit soort ongeval, in het bijzonder op open terrein.

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

De partners van het *Roadsense*-project streefden ernaar om:

- de kennis van de mechanismen bij ongevallen door onbedoeld afwijken van de rijstrook te vergroten;
- de perceptie van rammelstroken en het begrip ervan door de bestuurders te optimaliseren;
- het effect van rammelstroken te evalueren en het toepassingsgebied ervan te verduidelijken voor de verschillende soorten weggebruikers/voertuigen op verschillende soorten wegen.

[www.roadsense2013.eu](http://www.roadsense2013.eu)

### ► 2 Voorwerp en algemene beschrijving

Rammelstroken zijn in de eerste plaats bedoeld om verstrooide, slaperige of onoplettende bestuurders die onbedoeld van hun rijstrook kunnen afwijken te helpen. Door het geluid en de trillingen die de rammelstroken in deze omstandigheden produceren, is de kans aanzienlijk groter dat de bestuurder opnieuw het juiste traject vindt.

De doeltreffendheid van rammelstroken is afhankelijk van de hoek waarin het voertuig van de rijstrook afwijkt. **Hoe groter de hoek waarin het voertuig van de rijstrook afwijkt, hoe minder doeltreffend de rammelstroken zijn.** Doordat de tijd waarin over de rammelstrook wordt gereden en de tijd om deze te interpreteren, korter worden, wordt het moeilijker om de bestuurder te waarschuwen. Bovendien is de afgelegde afstand tot de berm gelinkt aan de hoek waarin het voertuig van de rijstrook afwijkt en aan de oorspronkelijke snelheid van het voertuig. Volgens Anelli en Violette (2014) [3] gebeurt een groot deel van de onbedoelde afwijkingen van de rijstrook die door rammelstroken worden opgevangen, in een kleine hoek van minder dan 4 graden (een grotere afwijkingshoek zien we vooral als bestuurders door overdreven snelheid de controle over hun voertuig verliezen en in een bocht).

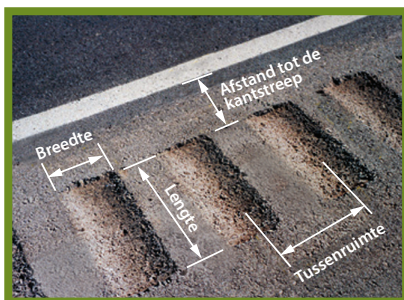
Rammelstroken zijn dus in het bijzonder aangewezen voor rechte baanvakken met een beperkte visuele belasting. Precies op dergelijke baanvakken waar gebrekkige waakzaamheid en onoplettendheid vaak voorkomen, zijn rammelstroken tegelijkertijd het meest nuttig en het meest doeltreffend.

Er zijn **twee soorten** rammelstroken: verzonken stroken (met negatief reliëf) en verhoogde stroken (met positief reliëf).

Onderzoeken op dit gebied tonen aan dat diepte en breedte de belangrijkste parameters zijn die het geluid (waarschuwingsfunctie) van verzonken rammelstroken bepalen.

De eerste voorzieningen bestonden vaak uit rammelstroken die in de asfalt- of betonlaag werden gevormd (door een rol met ribbels over het warme asfalt te bewegen of door een mal in het pas gegoten beton aan te brengen). In elk geval zijn deze technieken in onbruik geraakt wegens de (te beperkte)

afmetingen en de haalbaarheid (gevoeligheid voor temperaturomstandigheden van het wegdek op het moment van de uitvoering). Bovendien kunnen deze opties enkel worden uitgevoerd als er een nieuw wegdek wordt aangelegd.



**Figuur 1** – Eigenschappen van verzonken rammelstroken (FHWA Office of Safety Website [4])



**Figuur 2** – Overzicht van producten gebruikt voor rammelstroken met positief reliëf (Rosey & al, 2011) [5]

**Verzonken rammelstroken** worden uitgevoerd met behulp van een schaafmachine. In de Verenigde Staten zijn de vaakst voorkomende afmetingen:

- breedte: tussen 12,7 cm en (meest gangbaar) 17,8 cm;
- tussenruimte: 30,5 cm;
- diepte: 13 mm;
- lengte: tussen 30,5 cm en (meest gangbaar) 40,6 cm.

De variatie in deze parameters beïnvloedt het geluid en de trillingen voor de bestuurder. De meest gangbare **afstanden** ten opzichte van de kantmarkering bedragen 15,2 cm en 30,5 cm.

**Verhoogde rammelstroken** kunnen met een breed gamma aan producten worden uitgevoerd (plastic, keramiek, thermoplast, wegdekreflectoren, enz.) en volgens verschillende methoden worden geplaatst (zie verder). De hoogte varieert van 6 mm tot 13 mm. De andere afmetingen zijn afhankelijk van de gebruikte techniek.

In de literatuur worden studies en experimenten (in het bijzonder het *Roadsense*-project) beschreven die ernaar streven om deze voorzieningen te optimaliseren (basispatroon, hoogte, afstand tussen patronen om de waarneming te verbeteren en de reactietijd te verkorten, rekening houdend met de verschillende soorten voertuigen). Deze studies en experimenten worden vandaag voortgezet.

Gestructureerde of geprofileerde wegmarkeringen die de nachtzichtbaarheid bij regenweer (NZRW) verbeteren of vlakke systemen in combinatie met ribbels (beide in thermoplast) zijn de enige voorzieningen die in de buurt komen van rammelstroken en die op dit moment in de Belgische standaardbestekken worden beschreven (tabel 1).

Het doel van deze voorzieningen was in eerste instantie om bestuurders visueel te begeleiden bij regenweer 's nachts. Vervolgens is het gebruik ervan gedeeltelijk geëvolueerd naar de preventie van aan de rechterkant van de weg afwijken.

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

### Wallonië

**CCT Qualiroutes** (geconsolideerde versie 2016) [6] definieert “ribbel”markeringen als geprofileerde systemen. De geribbelde eigenschap wordt niet gedefinieerd.

Hoofdstuk L. 4.2.1.2.: “Geprofileerde systemen produceren een geluids- of mechanisch effect (trilling) als een voertuig erover rijdt. Dergelijke systemen worden bijgevolg afgeraden voor bebouwde kommen en verstedelijkte gebieden. Aangezien ze een goede afwatering van het oppervlaktewater mogelijk maken, vormen ze een alternatief om een goede nachtzichtbaarheid bij regenweer (NZRW) te garanderen.”

In de praktijk worden er op dit moment in Wallonië twee systemen gebruikt:

- de NZRW-systemen (zoals gedefinieerd in *CCT Qualiroutes*). Deze systemen werden niet zozeer voor het geluidseffect ontwikkeld, maar veeleer voor de resultaten bij verminderde zichtbaarheid. NZRW-systemen worden momenteel aanbevolen (in hoofdstuk L. Model) voor de randen van de rijbaan en de assen op autosnelwegen en voor wegen met 2\*2 rijstroken;
- vlakke systemen in combinatie met ribbels (beide in thermoplast). De maximale standaardhoogte bedraagt 1 cm voor de ribbels met een frequentie van 5 eenheden per meter. Deze systemen worden op dit moment niet aanbevolen.

### Vlaanderen

Het Vademecum Vergevingsgezinde wegen [7] geeft aan dat het voordeel van een “redresseerstrook” op autosnelwegen en in tunnels best wordt geaccentueerd met een ribbelmarkering of een andere vorm van markeringen die de bestuurder erop attendeert dat hij van zijn rijstrook afwijkt. Het vademecum merkt echter op dat het gebruik van dergelijke markeringen “vanuit geluidsoverwegingen niet altijd en overal wenselijk is”.

Hoofdstuk 2 - § 5.2.1.2 Speciale oppervlakstructuren van het typebestek SB 250 [8] (v. 4.1) maakt eveneens een onderscheid “tussen enerzijds wegmarkeringen die het retroreflecterend vermogen verhogen, en anderzijds wegmarkeringen met akoestische eigenschappen”:

Hoofdstuk 2 - § 5.2.1.2.A: “Gestructureerde of geprofileerde wegmarkeringen verhogen het retroreflecterend vermogen bij natte wegdekken. Dit gebeurt door een onregelmatige oppervlakte te creëren zowel in dwarse als in langse richting. De markering heeft geen vlakke structuur. De dikte van de oppervlakte varieert. Gestructureerde of geprofileerde markeringen zijn ook gekend als *dot*markering of *spetter*markering.”

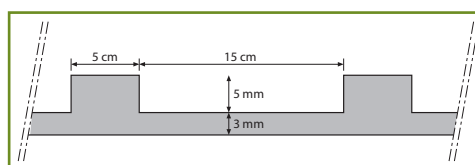
Hoofdstuk 2 - § 5.2.1.2.B: “Speciale oppervlakstructuren van wegmarkeringen zijn soms bedoeld om akoestische en/of mechanische en/of visuele effecten te produceren ter verhoging van de veiligheid van het verkeer.”

#### 5.2.1.2.B.2 Ribbelmarkering

Het doel van deze geprofileerde markering is de bestuurders een hoorbaar en voelbaar signaal te geven dat ze afwijken van de rijbaan. Dit instrument waarschuwt de bestuurders die de rijweg dreigen te verlaten. Op die manier kunnen zij nog tijdig redresseren. Het is aangegeven om de geprofileerde markering aan te brengen op lange, rechte stukken rijweg en niet in de bochten van de op- en afritten, tenzij in de binnenbocht op de spie.

Geprofileerde markeringen zijn bedoeld voor hoofdwegen. Ze kunnen worden gebruikt als eenvoudige kantstreep of als grens tussen de gevolgde weg en het fietspad ernaast (ribbelmarkeringen zijn minder aangenaam als markering voor fietsers). Algemeen gesproken, moeten ribbelmarkeringen wegens het geluid dat ze produceren met de nodige omzichtigheid worden gebruikt (hoofdstuk 10 - § 2.1.3.4).

“De dwars op de markering staande ribbels van de ribbelmarkeringen zijn minimaal  $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  hoger dan het overige gedeelte van de markering. De breedte van een ribbel bedraagt 5 cm over de ganse lengte van de ribbel en de tussenafstand tussen twee ribbels bedraagt 15 cm. De ribbel heeft dezelfde breedte als de onderliggende markering. De onderliggende doorlopende markering is 3 mm dik” (hoofdstuk 10 - § 2.3.4.6.H).



**Tabel 1** – *Geprofileerde systemen en ribbelmarkeringen in Waalse en Vlaamse standaardbestekken*

De in dit dossier beschreven voorzieningen zijn, voor een groot deel, van een andere aard of hebben verschillende geometrische eigenschappen. Het gebruik ervan is op heden slechts beperkt uitgewerkt in de gewestelijke standaardbestekken.

### ► 3 Werking van rammelstroken

Volgens de richtlijn NCHRP 641 [2] beschrijft de literatuur dat, om een onoplettende, verstrooide, vermoeide of slaperige bestuurder te waarschuwen, de rammelstroken een verhoging van het geluidsniveau met 3 tot 15 dB(A) boven het omgevingsgeluidsniveau in het voertuig moeten teweegbrengen. Deze richtlijn raadt aan om een verhoging met 3 dB(A) als absolute minimale waarde te behouden voor het ontwerp van rammelstroken en om een verhoging met 6 dB(A) als gewenste minimale waarde te beschouwen. Een verhoging van het geluidsniveau met 15 dB(A) lijkt dan weer de maximale ontwerpwaarde te zijn.

Op wegen waar geen fietsers rijden (gelet op het feit dat ze kunnen worden gehinderd door dergelijke voorzieningen aan de rand van de weg), zoals autosnelwegen, wordt er aanbevolen om rammelstrookpatronen te kiezen die ongeveer 10 tot 15 dB(A) boven het omgevingsgeluidsniveau in het voertuig produceren.

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

Het *Roadsense*-project in Frankrijk bood een ideale gelegenheid om de kennis (via proeven in het laboratorium, op proefbanen en op de weg) inzake de waarneming van verschillende soorten rammelstroken (inkepingen, ribbels en *dots*) door bestuurders uit te breiden en om de meest doeltreffende geometrie en patronen voor geluidsproductie te bepalen.

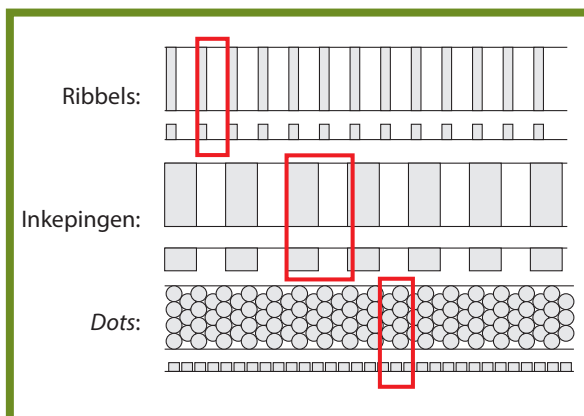
De geluidsproductie is het verschil, bij eenzelfde snelheid en voor eenzelfde voertuig, tussen het gemeten geluidsniveau (in het voertuig) op de voorziening en het gemeten niveau op het gewone wegoppervlak.

In de volgende paragrafen vindt u een korte samenvatting.

De experimenten concentreerden zich in hoofdzaak op het inzicht in de **werking van rammelstroken en de optimalisering van patronen** opdat de geluidssignalen die de bestuurders ervaren, voldoende hoorbaar zijn in vergelijking met het geluid in het voertuig. De waarneming en de doeltreffendheid van deze voorzieningen zijn afhankelijk van het geluid en de trillingen en van de duur en de kwaliteit van het geproduceerde geluidssignaal. Dit signaal wordt op zijn beurt beïnvloed door de structuur van de stroken (doorlopend, onderbroken, afwisselend), de breedte, de hoogte en de afstand tussen de patronen.

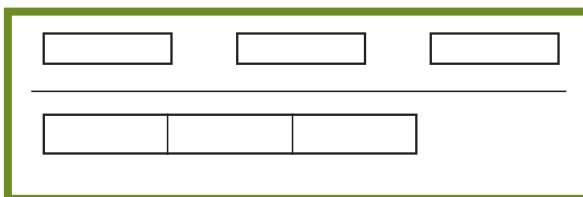
### 3.1 Structuur van de voorzieningen

De voorzieningen vertonen meerdere structureringsniveaus die een invloed hebben op de waarneming binnen en buiten het voertuig. Het eerste structureringsniveau is het grondpatroon (figuur 3). Dit motief, over een voldoende lengte, vormt de fundering van het 'rammelsignaal'. De vorm ervan – zowel in de lengte als dwars – in combinatie met de snelheid van het voertuig hebben een aanzienlijke invloed op het trillings- en geluidsniveau dat door de bestuurder wordt waargenomen.



Het patroon varieert al naargelang het soort voorziening (ribbels, inkepingen of *dots*), de herhaling van het grondpatroon en de vorm (hoogte, enz.). De geteste patronen hebben een regelmatige vorm waarvan de grondlengte een van de essentiële factoren voor de waarneming is. De grondfrequentie van het signaal is afhankelijk van de snelheid en van de ruimte tussen de ribbels, de 'gaten' of 'noppen'. In combinatie met de snelheid van het voertuig zorgt dit voor de **grondfrequentie van het waargenomen signaal**.

Figuur 3 – Grondpatronen [9]

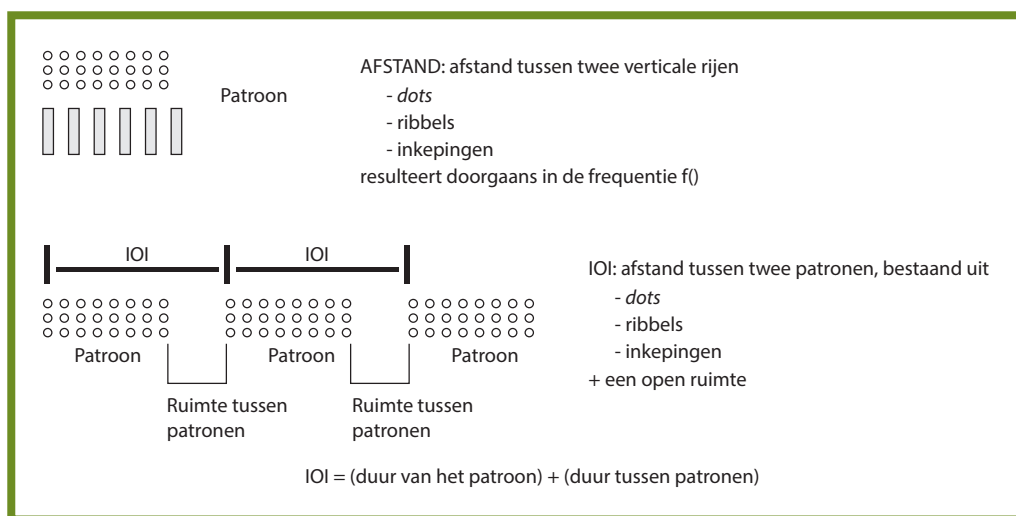


Het tweede structureringsniveau komt overeen met de regelmaat van de groepen grondpatronen. Deze regelmaat wordt al dan niet opgewekt door de geometrie van de markeringen.

Figuur 4 – Voorbeeld van de regelmaat van de groepen grondpatronen [9]



De invloed van de structurele parameters van de voorzieningen op de reactietijd werd bestudeerd in de audiometrische cabine. Hierbij werd vooral aandacht besteed aan de productie en de modulatie van de geluidssignalen. De analyses werden op een zodanige manier uitgevoerd dat de configuraties met de dichtst bij elkaar gelegen ruimtes werden behouden. Korte IOI's (figuur 5), die zorgen voor een snelle modulatie van een geluidssignaal dat wordt onderbroken door korte stiltes, bleken het meest doeltreffend op het vlak van reactietijd.



**Figuur 5** – Model van een audiotactiel alarm [10]

Bij het testen van de **aanvaardbaarheid** van de verschillende soorten rammelstroken (geprofileerde of gestructureerde markeringen, zwarte ribbels, inkepingen) met de rijnsimulator werden de voorzieningen door de deelnemers als nuttig, doeltreffend en ongevaarlijk beoordeeld. In vergelijking met de andere voorzieningen bleken de inkepingen duidelijker en werden de trillingen ervan beter waargenomen.

### 3.2 Optimalisering van de voorzieningen

De optimalisering van de voorzieningen berust eveneens op experimenten op testbanen met verschillende soorten voertuigen: wagens, bedrijfsvoertuigen en vrachtwagens.

De variatie van de voorzieningen op de testbaan moest de mogelijkheid bieden om een analyse te maken van de factoren die een aanzienlijk effect kunnen hebben op de waarneming (**verband tussen de fysieke beschrijving** – geometrie van de grondpatronen en 'textuur' – **en de waarneming van de voorzieningen**) en om de mogelijkheden tot optimalisering te definiëren op basis van de accidentologische doelgroepen (wagens, vrachtwagens), van de aanvaardbaarheid door de gebruikers, enz. [9].

De in tabel 2 voorgestelde voorzieningen werden bestudeerd.

Wat de **geluidsproductie** betreft, bleek uit de analyse dat:

- inkepingen en ribbels de sterkste geluidssignalen produceren (tussen 10 en 20 dB voor wagens en bedrijfsvoertuigen). Bovendien vertonen deze voorzieningen de meest agressieve geometrie (hoogte of diepte > 1 cm);

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

Soort	Eigenschappen	Lengte van het grondpatroon Diepte / Dikte	Positie
<i>Dots</i>	8 pt./lijn	4 cm 0,03 cm	A-D-1
<i>Dots</i>	8 pt./lijn	5/6 cm 0,03 cm	A-D-2
<i>Dots</i>	8 pt./lijn	8/9 cm 0,03 cm	A-D-3
<i>Dots</i>	8 pt./lijn	19/20 cm 0,03 cm	A-D-4
<i>Dots</i>	4 pt./lijn Dubbel materiaal	10 cm 0,03 cm	A-D-5
<i>Dots</i>	4 pt./lijn Dubbel materiaal	16 cm 0,03 cm	A-D-6
Inkeping	Negatief	40 cm (breedte: 20 cm, diepte: 1 cm)	E1
Ribbels	Toep. 1	2,03 m 1 cm	A-G-1
Ribbels	Toep. 1	1,03 m 1 cm	A-G-2
Ribbels	Toep. 2	0,51 m 1 cm	A-G-3
Ribbels	Toep. 2	30/22 cm 1 cm	A-G-4
Ribbels	Toep. 2	1,02 m 1 cm	A-G-5
Inkeping	Negatief	1 m (breedte: 50 cm, diepte: 1,5 cm)	E2
Inkeping	Negatief	1 m (breedte: 20 cm, diepte: 1,5 cm)	E3

**Tabel 2** – Eigenschappen van de geteste voorzieningen op de testbaan in het kader van het Roadsense-project

- *dots* aanzienlijk zwakkere geluidsignalen produceren. Deze voorzieningen vertonen een weinig agressieve geometrie (hoogte < 5 mm);
- de waarneming in de voertuigen verschilt al naargelang het soort voorziening:
  - wagens reageren perfect op de trillingen die door alle voorzieningen worden opgewekt;
  - bedrijfsvoertuigen reageren goed op de prikkels die door de voorzieningen worden opgewekt, maar er kan wat onduidelijkheid zijn, vooral wat betreft de trillingen van bepaalde voorzieningen;
  - vrachtwagens reageren goed op de inkepingen (net zoals wagens op de ribbels). Anderzijds reageren ze minder goed op de ribbels en heel slecht op de *dots*;

- dit leverde de volgende hiërarchie op:
  - voor de *dots*: AD5 > AD4 > AD3 > AD6 > AD2 > AD1;
  - voor de ribbels: AG4 > AG3 > AG5 > AG2 > AG1;
  - voor de inkepingen: E1 = E3 > E2.

Rammelstroken produceren zowel **trillingen** als geluid. Er is echter geen consensus over de respectieve rol van de geluids- en trillingselementen in het waarschuwingsproces van bestuurders. In werkelijkheid is het waarschijnlijk de combinatie van de twee stimuli die bij bestuurders de alarmbel doet afgaan. De mate waarin elk bestanddeel hieraan bijdraagt, is echter niet bekend. Bijgevolg zijn er geen aanbevelingen voor een minimale trillingsdrempel om onoplettende bestuurders te waarschuwen.

De tests die in het kader van het *Roadsense*-project werden uitgevoerd, hebben aangetoond dat de trillingen verschillen al naargelang de voorziening wegens de frequentie van de trillingen en anderzijds door de geometrie van de voorzieningen: ***dots* produceren weinig trillingen** die als het ware in het door het wegdek geproduceerde achtergrondruis worden opgenomen, **ribbels en inkepingen produceren krachtige trillingen**. De waarneming van de trillingen **varieert natuurlijk al naargelang het soort voertuig**. Bij wagens is de waarneming heel sterk, terwijl deze bij vrachtwagens eerder zwak is.

Wat wagens betreft, produceren inkepingen de sterkste trillingen met een waarde van 0,6-1 g. Inkepingen zijn niet duidelijk waarneembaar en heel intrusief. Ze zijn in staat om de hele carrosserie van het voertuig te doen schudden. Ribbels produceren subtielere trillingen met een waarde van 0,2-0,6 g. Deze voorzieningen produceren goede trillingen en vormen een duidelijker waarneembaar en minder intrusief signaal dan inkepingen. De voorzieningen AG3 en AG4 produceren de sterkste trillingen.



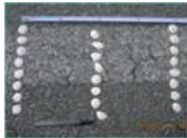


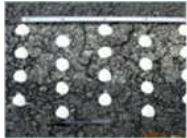
De inkepingen worden als heftig waargenomen. Het trillingsgevoel, dat de aandacht moet opeisen, wordt als eerder lastig beschouwd. Ribbels worden heel goed waargenomen en als eerder onaangenaam beschouwd. *Dots* worden slechts miniem waargenomen, vooral wat de trillingen betreft.

### 3.3 Conclusies van de tests in het laboratorium en op de testbaan

De proefvakken die op basis van de verschillende bestaande voorzieningen en van de eerste analyses werden opgebouwd, resulteerden in een grondigere kennis en een eerste stap naar de optimalisering van de voorzieningen. Dankzij de analyses en de fysieke, vibro-akoestische en waarnemingsexperimenten zijn we erin geslaagd om de belangrijkste parameters (grondritme, secundair ritme, geometrie, enz.) voor alle voertuigen te definiëren.

Inkepingen en ribbels produceren trillingen, in tegenstelling tot *dots*. Inkepingen produceren ietwat sterkere trillingen dan ribbels. Maar de trillingen hebben geen invloed op de reactietijd (en zijn bijgevolg niet noodzakelijk in termen van reactietijd). Ze bieden daarentegen wel een beter begrip van wat er gebeurt.

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

▪ Geoptimaliseerde rammelstroken met ribbels en inkepingen		▪ Markeringen in de vorm van dots
Heel doeltreffende waarschuwing voor wagens en doeltreffende waarschuwing voor vrachtwagens		Doeltreffende waarschuwing voor wagens in bepaalde omstandigheden (grote noppen die in rijen worden geplaatst, zoals ribbels).  Ondoeltreffende waarschuwing voor vrachtwagens
		
AG3 ribbels zonder bodemplaat; ruimte tussen 2 stroken: 51 cm; dikte: 1 cm.	AG4 ribbels zonder bodemplaat; ruimte tussen 2 stroken: 30 cm + 22 cm; dikte: 1 cm.	AD4 8 punten/lengthe; ruimte tussen 2 stroken: 19 cm + 20 cm; dikte: 3 mm.
		
E1 ruimte tussen 2 stroken: 40 cm; breedte: 20 cm; diepte: 1 cm.	E3 ruimte tussen 2 stroken: 100 cm; breedte: 20 cm; diepte: 1,5 cm.	AD5 4 punten/lengthe; ruimte tussen 2 stroken: 10 cm + 10 cm; dikte: 3 mm.

**Figuur 6** – Eigenschappen van 'geoptimaliseerde' voorzieningen vanuit het standpunt van de geluidsproductie in het kader van het Roadsense-project

De evaluatiemethode voor de geluidsproductie biedt een goed onderscheid tussen de audiotactiele voorzieningen. Ribbels en inkepingen produceren een sterker geluid dan dots.

	Vrachtwagens	Wagens	Geluidsignaal dB(A)
Dots AD4, AD 5	4	12	
Ribbels AG3, AG4	5	12	
Inkepingen E1, E3	6	16	

**Tabel 3** – Voorzieningen met het hoogste geluidsniveau

De geluidsproductie in vrachtwagens ligt aanzienlijk lager bij elk soort voorziening. De voorzieningen met de sterkste geluidsproductie zijn:

- dots: AD4 en AD5;
- ribbels: AG3 en AG4;
- inkepingen: E1 en E3.

De voorzieningen AG2, AG5 en AD6 zijn eveneens interessant op het vlak van geluidsproductie (alhoewel ze minder 'geoptimaliseerd' zijn) en zijn goedkoper op het vlak van materiaal.

En aangezien de geluidsfrequentie afhankelijk is van het patroon (hoe korter het patroon, hoe hoger de frequentie) en verhoogt afhankelijk van de snelheid is het mogelijk om, al naargelang het soort weg, de snelheidsklasse en het weggebruik, een gelijkwaardige frequentie te behouden (en zodoende de continuïteit van de signalen en dus een betere herkenning te garanderen) door het grondpatroon aan te passen.

## ► 4 Eigenschappen van rammelstroken

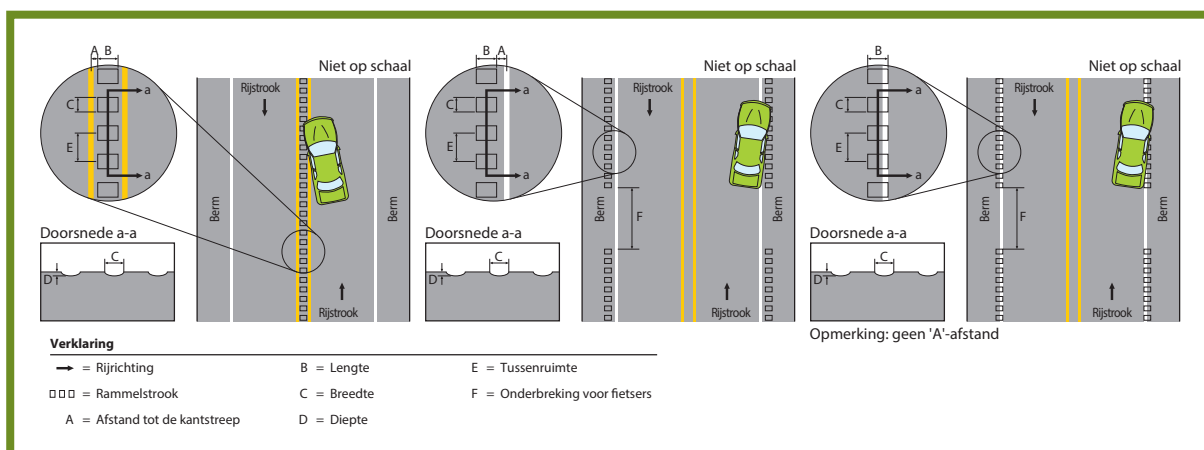
### 4.1 Verzonken rammelstroken (met negatief reliëf)

Verzonken rammelstroken, ook 'inkepingen' genoemd, worden hoofdzakelijk in Noord-Amerika en Scandinavië gebruikt. Volgens de FHWA [4] is de massale verspreiding van deze voorzieningen in de Verenigde Staten te wijten aan het plaatsingsgemak, de duurzaamheid, de polyvalentie en de kostprijs. Het gebruik van dergelijke voorzieningen veronderstelt de aanwezigheid van een verharde berm (er is een minimale afstand van 0,60 m nodig om de inkepingen te kunnen inplanten) en van een voldoende dikke slijtlaag.

**Verzonken rammelstroken (milled)** worden uitgevoerd met behulp van een schaafmachine. Algemeen gesproken, geldt dat hoe breder en dieper de inkeping (respectievelijk C en D op de volgende afbeeldingen), hoe sterker het geluid en de trillingen. In de Verenigde Staten zijn de vaakst voorkomende afmetingen **aan de rand van de weg**:

- **breedte (C):** 12,7 cm (5") tot (meest gangbaar) 17,8 cm (7");
- **tussenruimte (E):** 30,5 cm (12");
- **diepte (D):** 13 mm (0.5");
- **lengte (B):** 30,5 cm (12") tot (meest gangbaar) 40,6 cm (16").

De variatie in deze parameters beïnvloedt het geluid en de trillingen voor de bestuurder. De meest gangbare afstanden (A) ten opzichte van de kantmarkering bedragen 15,2 cm (6") en 30,5 cm (12").



**Figuur 7 – Afmetingen van rammelstroken (op de as en aan de rand van de weg)**

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

Voor de **rammelstroken in het midden van de weg / op de asmarkering** (eveneens verzonken) be- dragen de standaardafmetingen:

- **breedte** (C): 17,8 cm (7");
- **tussenruimte** (E): 30,5 cm (12");
- **diepte** (D): 13 mm (0.5");
- **lengte** (B): 30,5 cm (12") tot 40,6 cm (16"). In de Verenigde Staten zijn deze voorzieningen door- gaans verzonken tussen de twee asmarkeringen.

Volgens de literatuur produceren de **meest gangbare afmetingen voor verzonken rammelstroken aan de rand van de weg in de Verenigde Staten – 40,6 cm lang, 17,8 cm breed, 13 tot 16 mm diep met een tussenruimte van 30,5 cm** – voldoende geluid binnen de hoogste schaal van aanbevolen ontwerpdrempels (10 tot 15 dB(A)). Deze afmetingen mogen worden beschouwd als een relatief 'agres- sief' model en zijn geschikt voor wegen waar geen fietsers rijden (zie § 4.3.2). Het model van 12,7 cm breed, 10 mm diep met een tussenruimte tussen 28 en 30,5 cm biedt een redelijk compromis voor de behoeften van de fietsers en van de automobilisten. In dit geval kunnen kortere rammelstroken (bv. 15,2 cm om een bijkomende laterale vrije ruimte voor fietsers te creëren of alleen maar rammelstro- ken plaatsen langs wegen met een smalle of onbestaande berm) nog altijd de gewenste verschillen in geluidsniveau produceren om onoplettende, verstrooide, slaperige of vermoeide bestuurders te waar- schuwen (merk hierbij op dat, gezien de grootte van de banden van vrachtwagens, het effect in grote mate wordt afgezwakt voor deze voertuigen).

De resultaten van de veiligheidsevaluaties van rammelstroken aan de rand van de weg op autosnelwe- gen in landelijke gebieden wijzen erop dat de huidige afmetingen van deze stroken voor voldoende stimuli zorgen om onoplettende en slaperige vrachtwagenbestuurders te waarschuwen. Bijgevolg is het niet nodig om agressievere rammelstroken voor deze bestuurders te ontwerpen.

De resultaten van het *Roadsense*-project, die in § 3.3 worden voorgesteld, komen overeen met de aan- bevelingen uit de Verenigde Staten. Voorziening E1 heeft dan ook geometrische eigenschappen die vergelijkbaar zijn met Amerikaanse inkepingen.



**Figuur 8** – E1 (ruimte tussen 2 stroken: 40 cm; breedte: 20 cm; diepte: 1 cm)

Bovendien blijkt uit de uitvoeringstests voor rammelstroken met inkepingen dat de inkepingen E3 technisch gezien het best scoren op het vlak van haalbaarheid (uitvoeringstijd en volume van de verzin- king).



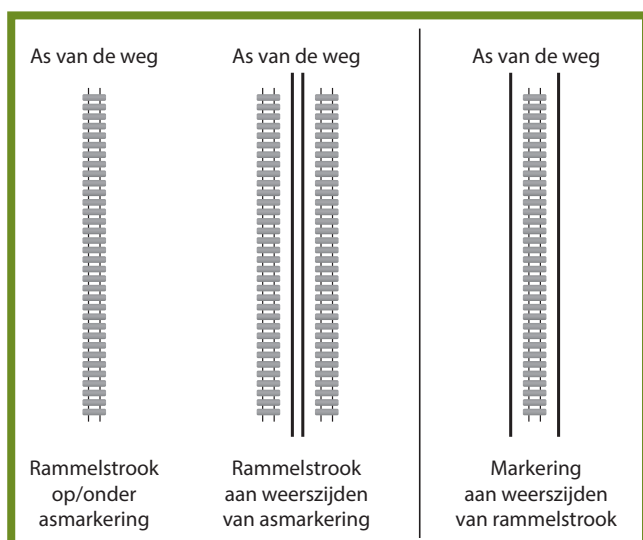
**Figuur 9** – E3 (ruimte tussen 2 stroken: 1 m; breedte: 20 cm; diepte: 1,5 cm)

De vastgestelde variaties bij de **afstand** ten opzichte van de kantmarkering zijn het gevolg van verschil- lende factoren: de wil om voldoende laterale ruimte te laten zodat fietsers langs de rammelstroken kunnen rijden zonder erover te moeten, de wens om het aantal voertuigen dat over de rammelstroken

rijdt te beperken zodat de omwonenden niet te veel last ondervinden, en ten slotte de mogelijkheid om rammelstroken te plaatsen langs wegen met een smalle, of zelfs onbestaande berm.

Voor autosnelwegen wordt er, op basis van veiligheidsanalyses, aanbevolen om de rammelstroken zo dicht mogelijk bij of op de kantmarkering te plaatsen (om meer kansen op correctie te bieden). Hierbij moet er rekening worden gehouden met factoren zoals de locatie van de voegen in het wegdek. Voor andere soorten wegen, zoals landelijke tweestrookswegen, is er geen sluitend bewijs dat erop wijst dat de afstand ten opzichte van de kantmarkering een impact heeft op de doeltreffendheid van de rammelstroken.

Wat de verzonken rammelstroken in het midden van de weg/op de asmarkering betreft, opperen de ongevallengegevens dat zware voertuigen mogelijkwijs in aanmerking moeten worden genomen bij het ontwerp ervan. Er wordt dus aanbevolen dat ontwerpen van verzonken rammelstroken in het midden van de weg ongeveer 10 tot 15 dB(A) boven het omgevingsgeluidsniveau in het voertuig produceren.



**Figuur 10** – Positie van de rammelstroken in het midden van de weg in de Verenigde Staten (Rosey & al, 2011 [5])

In de Verenigde Staten bevinden rammelstroken in het midden van de weg zich tussen de wegmarkeringen, op de markering – waarbij ze verderlopen op de rijweg – of aan weerszijden van de centrale markeringen.

Het gebeurt heel vaak dat rammelstroken in het midden van de weg ter hoogte van kruispunten, op kunstwerken (bruggen) en in de buurt van (200 m) en langs woongebieden worden onderbroken.

#### 4.2 'Verhoogde' rammelstroken (met positief reliëf)

Susini & al (2013) [11] opperden dat, om de reactietijd op een geluidsalarm te optimaliseren als de persoon in kwestie bezig is met een taak die zijn aandacht opeist, dit alarm bij voorkeur wordt gekenmerkt door een **verhoogd geluidsniveau**, waarbij er moet worden gelet op het schrik-effect, met een **hogere frequentie en een eerder korte IOI** (= duur van het patroon + duur tussen de patronen) (Figuur 5).

De grondfrequentie van een toon die door een reeks rammelstroken wordt geproduceerd, is in grote mate afhankelijk van de ruimte tussen de voorzieningen (hoe kleiner de ruimte tussen twee opeenvolgende stroken, hoe hoger de grondfrequentie). Het komt er dus op aan om een hogere frequentie te zoeken om de reactietijd te beperken. Hierbij moeten we rekening houden met het feit dat de machines

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

die rammelstroken aanbrengen de kleinste tussenruimten mogelijk maken voor *dots* en dat inkepingen van de drie soorten voorzieningen de grootste tussenruimte met zich meebrengen. Niettemin moet de ruimte zijn afgestemd op de grootte van de banden van de voertuigen (vrachtwagens/wagens) zodat de bandconfiguratie de geometrie van de voorziening niet bedekt.

In het kader van het *Roadsense*-project heeft de studie naar de invloed van de structurele parameters van de voorzieningen op de reactietijd geleid tot de keuze van de volgende patronen (uit de verschillende geteste patronen) per soort voorziening voor de voorzieningen met positief reliëf.



**Figuur 11** – AG4 (ribbels zonder bodemplaat; ruimte tussen 2 stroken: 30 cm + 22 cm; dikte 1 cm)



**Figuur 12** – AD5 (4 punten/ lengte; ruimte tussen 2 stroken: 10 cm + 10 cm; dikte 3 mm)

### 4.3 Waar en hoe gebruiken we deze voorzieningen?

Alhoewel rammelstroken in de Verenigde Staten in hoofdzaak worden gebruikt in landelijke gebieden waar er problemen zijn met voertuigen die van de weg afwijken, is het gebruik op stedelijke autosnelwegen of op andere wegen die vanuit functioneel oogpunt als stedelijk worden geclassificeerd, evenzeer doeltreffend [12]. Het zijn vooral de context van de weg en de eigenschappen van het dwarsprofiel die bepalend zijn bij de keuze om een rammelstrook te gebruiken. Mogelijke elementen die vaak het nut of het gebruik van rammelstroken beperken, zijn de lage snelheid, het lawaai voor de omwonenden (zie § 4.3.4), de breedte van de weg, de aanwezigheid van een trottoir of een straatgoot en de aanwezigheid van op- en afritten (talrijke bewegingen en mogelijke conflicten). Ook de aanwezigheid van fietsers (zie § 4.3.2) en de dikte van het wegdek (zie § 4.3.3) spelen een bepalende rol bij de keuze voor een rammelstrook.

#### 4.3.1 Toepassingsdomein

Rammelstroken zijn dus in het bijzonder aangewezen voor **rechte horizontale wegvakken met een beperkte visuele belasting** [3]. Precies op dergelijke wegvakken waar gebrekkige waakzaamheid en onoplettendheid vaak voorkomen, zijn rammelstroken tegelijkertijd het meest nuttig en het meest doeltreffend.

Uiteraard verhoogt de aanwezigheid van een **redresseerstrook** (verharde of gestabiliseerde berm) de kansen van de bestuurder om opnieuw op de weg te komen zonder de controle over het voertuig te verliezen. Alhoewel rammelstroken a priori veel doeltreffender zijn op wegen met gescheiden rijbanen met een verharde vluchtstrook lijken ze ook heel nuttig op tweerichtingsbanen. Een rammelstrook op de rijstrook (aan de binnenkant van de kantstreep) is in staat om een gebruiker die van de rijbaan afwijkt, te waarschuwen en biedt de mogelijkheid om het voertuig terug op de weg te brengen. Om de doeltreffendheid van de rammelstroken te verhogen, kan er worden overwogen om **het dwarsprofiel te herzien** (vermindering van de breedte van de rijstroken door de kantstrepen dichter bij de aslijn te brengen). Op deze manier verhogen de kansen voor bestuurders om hun voertuig terug op de rijbaan te brengen.



We merken op dat **rammelstroken met inkepingen een groot deel van het dwarsprofiel inpalmen** (minstens 30 cm per rand van de rijstrook, ofwel 60 cm in totaal voor de aanleg aan de rand van de weg), waardoor het gebruik ervan is voorbestemd voor de breedste tweerichtingsbanen.

Rammelstroken kunnen ook worden geplaatst om **het traject van oplettende bestuurders te beïnvloeden**, meer bepaald bij gevaarlijke manoeuvres (bv. de aanwezigheid van vrachtwagens op vluchtstroken afraden of verminderen via inkepingen als aanvulling op de geluidsmarkeringen op de kantstreep).

Wat tweerichtingsbanen betreft, geven Anelli en Violette (2014) [3] de voorkeur aan **rammelstroken aan de rand van de weg**, en meer bepaald **op rechte wegvakken en op wegvakken met grote kromtestraal**. Bovendien raden ze voor tweerichtingsbanen met enkele verkanting, waar het risico op frontale botsingen hoger is, een bijkomende installatie op de as aan.

De aanwezigheid van rammelstroken in een bocht kan **bestuurders eveneens afraden om een bocht af te snijden**. Op dezelfde manier vormen rammelstroken in bochten met een kleine kromtestraal een bijkomend hulpmiddel voor de bestuurder (om zijn laterale positie op de weg in te schatten en te wijzen op de noodzaak om zijn traject te corrigeren).

#### **4.3.2 Fietzers en gemotoriseerde tweewielers**

Alhoewel de precieze impact van rammelstroken op fietsongevallen niet bekend is, blijkt dat rammelstroken een negatieve impact kunnen hebben op het comfort en de stabiliteit van fietsers als er geen gepaste maatregelen worden getroffen [13].

Wegbeheerders kunnen op meerdere manieren rekening houden met fietsers: ofwel geen rammelstroken aanbrengen op wegen waar veel fietsers rijden of als de weg een specifiek fietspad heeft, ofwel de minimale vereisten voor de breedte van de berm of van de laterale vrije ruimte aanpassen en/of voorzien in regelmatige onderbrekingen van de rammelstroken, of de locatie of de afmetingen ervan aanpassen.

In de praktijk wijst een richtlijn van de AASHTO (2012) [14] erop dat rammelstroken niet worden aanbevolen als de berm door fietsers wordt gebruikt, tenzij:

- er een minimale afstand van 0,3 m is tussen de rijstrook en de rammelstrook;
- er een laterale vrije ruimte van 1,2 m is vanaf de rammelstrook tot aan de buitenkant van de berm; of
- er 1,5 m is tot een eventuele brugleuning, een trottoir of een ander obstakel.

Als de plaatselijke omstandigheden de gewenste minimale laterale vrije ruimte niet mogelijk maken, stelt de AASHTO dat de lengte van de rammelstrook kan worden verminderd of dat er andere gepaste oplossingen kunnen worden overwogen.

De meest gangbare oplossing om voldoende ruimte voor fietsers te creëren, is om de rammelstroken op de wegmarkering aan te brengen in plaats van op de berm. Deze aanpak kan bovendien de levensduur van de markering verlengen en de markering zichtbaarder maken bij regenweer, in het bijzonder bij beperkt licht (meer voordelig gebruik van de optische eigenschappen van de markering door de variatie in het reliëf).

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden



**Figuur 13** – Rammelstroken in de berm versus rammelstroken op de markering

Een andere gangbare praktijk is om, op regelmatige intervallen (om de 12 m of 18 m), te voorzien in onderbrekingen (tussen 3 m en 3,6 m lang) in de rammelstroken aan de rand van de weg zodat fietsers zich kunnen verplaatsen van de weg naar de berm zonder over een rammelstrook te moeten rijden. Dit heeft uiteraard een invloed op het geproduceerde geluid.

Een bijkomende stap die kan zorgen voor broodnodige manoeuvreerruimte voor fietsers op plaatsen waar de berm niet voldoende breed is, is om de lengte van de rammelstroken te beperken tot 30 cm (12") of 20 cm (8"), of zelfs tot 15 cm (6") als dit nodig zou zijn. Een geringere diepte van de rammelstrook kan ook het destabiliserende effect beperken als een fietser de rammelstroken moet oversteken. We moeten er echter wel rekening mee houden dat kleinere afmetingen de doeltreffendheid van de rammelstrook voor automobilisten aanzienlijk kunnen verminderen.

Volgens Anelli en Violette (2014) [3] werden slechts een handvol studies gepubliceerd waarin de waarneming van de rammelstroken en de impact ervan op **bestuurders van gemotoriseerde tweewielers en fietsers** werden geëvalueerd. De zeldzame beschikbare studies inzake de impact van rammelstroken op de controle over gemotoriseerde tweewielers en fietsen wijzen niet op een bijzonder gevaar. Uit internationale feedback blijkt wel de noodzaak om de verkeersstroken breed genoeg te houden voor de fietsers en om te voorzien in onderbrekingen van de rammelstroken.

Uit proeven in het kader van het *Roadsense*-project bleek dat rammelstroken met inkepingen op rechte baanvakken, bij goede weersomstandigheden en op een droog wegdek geen problemen vormden voor motorrijders. Zowel bij overlangse als overdwarse manoeuvres bij verschillende snelheden hadden de testrijders geen problemen om hun voertuig onder controle te houden. Bij overlangse manoeuvres voelden de testrijders aanzienlijke trillingen die heviger werden bij hogere snelheid, maar er was geen sprake van gevaar (maximale testsnelheid = 90 km/u). De overdwarse manoeuvres resulteerden niet in de destabilisatie van de motor, ongeacht de snelheid (maximale testsnelheid = 90 km/u), of in een gevoel van gevaar bij de motorrijders. Voor een grondigere evaluatie van de mogelijke effecten van rammelstroken op gemotoriseerde tweewielers in bochten zijn bijkomende tests nodig.

### 4.3.3 Het wegdek

Wat het wegdek betreft, spelen talrijke variabelen een belangrijke rol in het succes van verzonken rammelstroken: de leeftijd, het type, de dikte, de locatie van langsvoegen en het soort freesapparaat dat werd gebruikt bij de uitvoering van de rammelstroken [15].

Er lijkt weinig of geen sprake van versnelde verslechtering van het wegdek ten gevolge van het uitfrezen van een asfalt- of betonlaag als de oorspronkelijke toestand van het wegdek goed was. Bij oudere wegen die in hogere mate vervormd of gescheurd zijn daarentegen, kan het uitfrezen de bestaande problemen verergeren.

In de praktijk is **de dikte van de laag** waarin de rammelstroken zijn verzonken, groter dan de diepte van de rammelstrook. In dit geval komen de onderliggende lagen niet bloot te liggen. Indien dat wel zou gebeuren, kan water binnensijpelen en mogelijk schade berokkenen aan de integriteit van het wegdek. De vereiste minimale dikte in de Verenigde Staten varieert van 3,8 cm (1,5") voor een heel recent wegdek tot 6,4 cm (2,5") voor een ouder wegdek. Ingeval het uitfrezen in smallere lagen gebeurt, moet er eerst een oppervlakbehandeling worden uitgevoerd.

**Langsvoegen** zijn zwakke punten die eigen zijn aan een weg. Wegens de bouwpraktijken zijn ze echter vaak de ideale plaats voor rammelstroken. Alhoewel vakmensen hebben vastgesteld dat, algemeen gesproken, langsvoegen in vrij goede staat wel degelijk verzonken rammelstroken kunnen verdragen zonder de verslechtering van het wegdek te versnellen [15], worden er verschillende praktijken toegepast om te vermijden dat rammelstroken rechtstreeks in de langsvoeg worden uitgefreesd: twee kleinere rammelstroken aan elke kant van de voeg uitfrezen, de rammelstrook verplaatsen naar de ene of de andere kant van de voeg (doorgaans 10 cm), of de langsvoeg verplaatsen (in geval van de aanleg van een nieuwe toplaag).

Verzonken rammelstroken vereisen doorgaans geen of weinig **onderhoud**. De ervaring heeft aangetoond dat de verkeersstroom in de buurt van de rammelstrook (luchtverplaatsing) de ophoping van water, sneeuw, ijs of zand in de strook verhindert [12]. Op plaatsen waar er beschadiging wordt vastgesteld, kan er worden overwogen om een bitumenemulsie (*asphalt fog seal*) aan te brengen. Deze emulsie beperkt de oxidatie en voorkomt binnendringend vocht. Verhoogde rammelstroken daarentegen vereisen onderhoud. In het bijzonder rammelstroken die gebruikmaken van producten die na verloop van tijd kunnen loskomen van het wegdek.

#### 4.3.4 Geluidsoverlast voor de omwonenden

Om de nadelige effecten van rammelstroken voor omwonenden tot een minimum te beperken, luidt de aanbeveling dat rammelstroken die in de buurt van woongebieden worden geplaatst, tussen 6 en 12 dB(A) boven het omgevingsgeluidsniveau in het voertuig produceren en dat er niet wordt gekozen voor agressievere rammelstroken. Bovendien is het gewenst dat de rammelstroken 200 m vóór de woon-/verstedelijkte gebieden worden onderbroken. Op een dergelijke afstand is het geluidseffect voor de dichtste omwonenden, althans volgens de literatuur, aanvaardbaar. Op 500 m afstand is dit effect zelfs verwaarloosbaar.

Een grotere afstand tussen de rammelstrook aan de rand van de weg en de verkeersstrook is een gangbare oplossing voor weggedeelten waar geluid een probleem kan vormen, ondanks het feit dat rammelstroken die op de markering worden aangebracht een betere nachtzichtbaarheid bij regenweer bieden dan een rammelstrook in de berm.

De aanleg van rammelstroken in inhaalzones leidt tot een toename van het geluid door inhaalmanoeuvres. De eerste experimenten zonder rammelstroken in inhaalzones hebben echter snel duidelijk gemaakt dat de continuïteit van de stroken noodzakelijk is voor de veiligheid van de weggebruikers. Frontale en laterale botsingen tussen verkeer uit tegenovergestelde richtingen kunnen natuurlijk voorkomen in zowel inhaalzones als in zones waar inhalen verboden is.

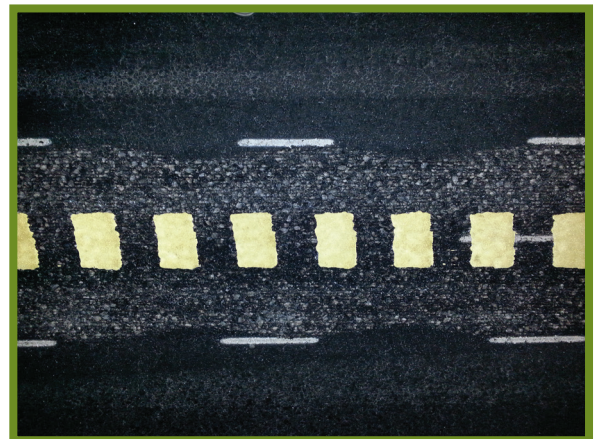
Een documentair onderzoek en overleg met de Amerikaanse transportinstanties en andere deskundigen in 2012 bevestigden dat er geen recente onderzoeken zijn waarin zowel het externe als het interne geluidsniveau dat door rammelstroken wordt geproduceerd, wordt geanalyseerd [16]. De bestaande literatuur poneert dat verzonken rammelstroken het externe geluidsniveau met 5 tot 19 decibel en het

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

geluidsniveau in voertuigen met 5 tot 15 decibel verhogen. De beschikbare onderzoeken tonen aan dat een grotere diepte, breedte en lengte van de strook het interne geluid en de trillingen verhogen, in tegenstelling tot de tussenruimte. Bovendien zijn agressievere rammelstroken noodzakelijk als de ruwheid van het wegdek en de snelheid van voertuigen verhogen. In dit geval is het omgevingsgeluid in het voertuig namelijk veel hoger.

De toename van het geluid in de omgeving is dus in grote mate afhankelijk van de intervallen tussen de verzonken markeringen. Volgens een Finse studie [17] biedt een interval van 60 cm de beste resultaten.

Bij verschillende studies (waaronder ook in Europa) werden rammelstroken met een sinusvormig profiel getest (figuur 14). Deze stroken lijken een voldoende luid geluidssignaal te produceren en verminderen het externe geluid. Het *Danish Road Institute* [18] voerde een pilotstudie uit waarbij vijf soorten rammelstroken werden getest die een laag geluidsniveau voor de omgeving produceren. Het externe geluid werd op 25 m van de weg (met twee rijstroken) gemeten. Uit deze metingen bleek dat sinusvormige insnijdingen een verhoging van het geluidsniveau van slechts 0,5 tot 1 dB(A) veroorzaakten. Voor cilindrische stroken werd een verhoging van 2 tot 3 dB(A) genoteerd en bij rechthoekige insnijdingen lag het geluidsniveau 3 tot 7 dB(A) hoger dan bij sinusvormige stroken en 2 tot 5 dB(A) hoger dan bij cilindrische insnijdingen.



**Figuur 14** – Rammelstroken met sinusvormig profiel bij het naderen van en in een tunnel in Noorwegen (foto's OCW)

Ongeacht het soort rammelstrook moet de aanleg ervan altijd compatibel zijn met het risico op een toename van het verkeerslawaai. Voertuigen die over een rammelstrook rijden, veroorzaken een grote toename van het verkeerslawaai (ongeveer 10 dB(A)). In de buurt van bebouwde gebieden is de aanvaardbaarheid van een voorziening afhankelijk van de frequentie waarmee voertuigen erover rijden. Als de activeringsfrequentie van de voorziening laag is (< 10-20 'overschrijdingen' per uur), is het mogelijk om deze te plaatsen, zelfs in de buurt van bebouwde gebieden, zonder bovenmatige hinder voor de omwonenden.

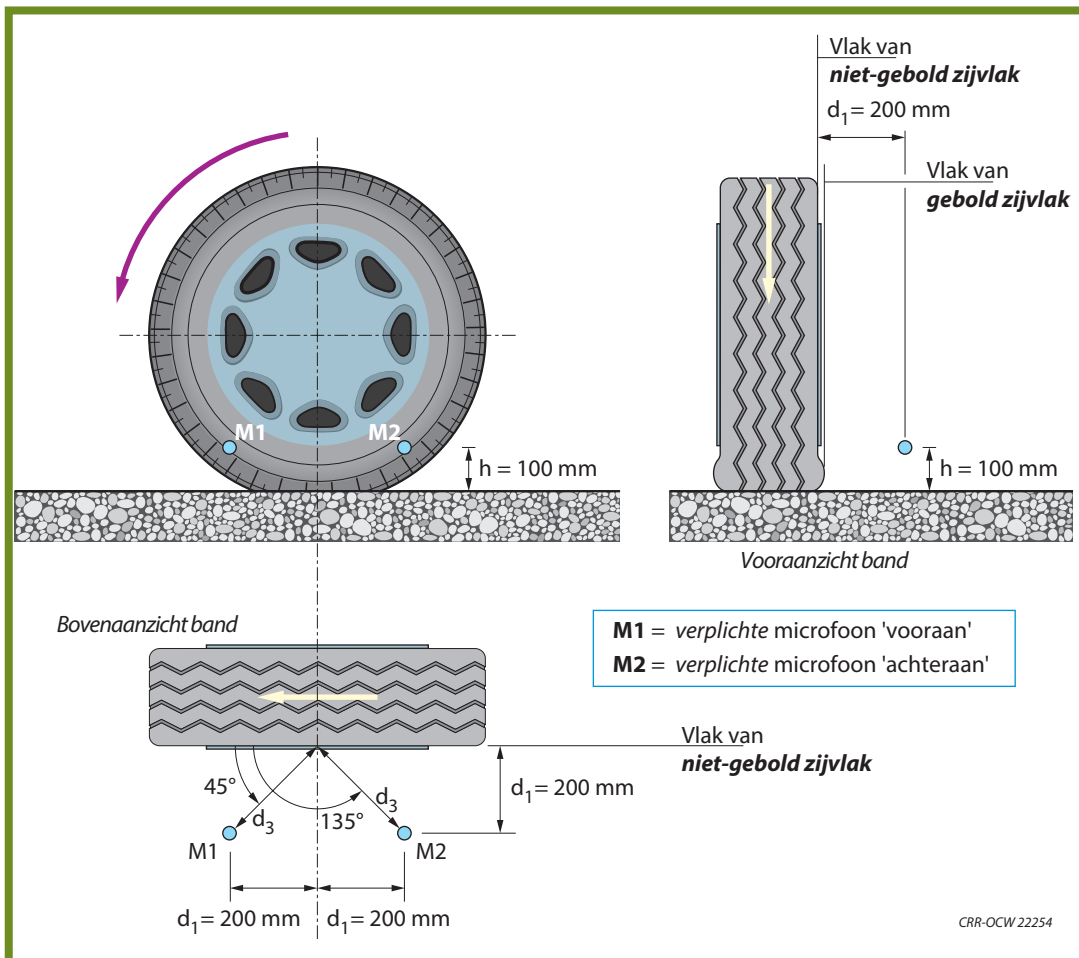
In het kader van zijn normalisatieactiviteiten binnen de werkgroep CEN/TC226/WG2 "Wegmarkeringen" is het OCW bezig met de ontwikkeling van een methode om het niveau van geluidsoverlast van reliëfmarkeringen te evalueren (zie kader).

## Evaluatiemethode voor het geluidsniveau van reliëfmarkeringen

Op basis van de *Close Proximity*-methode werd er een ontwerpmethode beschreven en gevalideerd met twee laboratoriumafstemmingen [19]. Aan de hand van deze methode analyseerde het AWV een aantal typische reliëfmarkeringen op de Vlaamse autosnelwegen. In de loop van 2020, nadat de laatste knelpunten zijn opgelost, zal de methode als een CEN/TS ('Technische specificatie') worden gepubliceerd.

### De Close Proximity-methode

De *Close Proximity*-methode is een gestandaardiseerde en vaak gebruikte evaluatiemethode voor de akoestische kwaliteit van wegdekken. De methode zelf werd recent als een ISO-norm [20] gepubliceerd met een ondersteunende ISO/TS waarin de meetbanden [21] worden beschreven en een ISO/TS met een beschrijving van de temperatuurcorrecties, die jammer genoeg niet enkel van de referentieband, maar ook van het soort wegdek afhankelijk zijn [22]. De herziene methode wordt geacht grondiger en gemakkelijker herhaalbaar te zijn. De methode bestaat er in wezen in dat een standaardband over het wegdek wordt bewogen, waarbij het geluid van de band/weg met twee microfoons op twee standaardposities wordt gemeten. Er worden vijf microfoonposities beschreven, maar slechts twee zijn 'verplicht' (figuur 15).



Figuur 15 – Microfoonposities voor de CPX-methode

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

Figuur 16 toont foto's van de CPX-aanhangwagen van het OCW. De binnenkant van de beschermkap is bedekt met geluidsabsorberend materiaal (zie middelste foto). De twee microfoons op posities M1 en M2 bevinden zich aan de binnenkant van de band. Het zijn de twee zwarte ballen (windschermen) net boven het wegdek op de linkerfoto.



**Figuur 16** – CPX-aanhangwagen (gesloten type) van het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

### **Aanpassing van de methode om reliëfmarkeringen te meten**

Alhoewel de CPX-methode bedoeld is om het wegdek te beoordelen, kan ze ook worden gebruikt om het geluidsniveau van gestructureerde markeringen te meten. Hiervoor zijn weliswaar enkele kleine aanpassingen nodig. De volgende wijzigingen werden geopperd:

- enkel gebruikmaken van de *Standard Reference Test Tyre* (SRTT) P1 [23] die representatief is voor een band van een personenwagen;
- de meting gebeurt bij een constante snelheid van 80 km/u  $\pm$  4 km/u. Hierover bestaat nog wat onenigheid en het is mogelijk dat andere referentiesnelheden, zoals 50 km/u, ook zullen worden toegelaten;
- het weggedeelte voor de test vertoont geen bochten;
- de bestuurder moet ervoor zorgen dat de meetband 100 % op de markering rijdt. Hiervoor kan het voertuig worden uitgerust met een hulpmiddel, zoals een camera die de draaiende meetband filmt, en – in geval van een gesloten CPX-aanhangwagen – is gepaste verlichting onder de beschermkap van de aanhangwagen nodig. Er worden minstens twee testritten op hetzelfde weggedeelte uitgevoerd;
- de meting begint/eindigt op dezelfde plaatsen;
- de *Close-Proximity Sound Index for passenger cars and light traffic* (CPXP) moet worden bepaald in overeenstemming met [22]. Deze index vergelijkt wegoppervlakken en is gebaseerd op het geluidsdrukkniveau van de band/weg. In dit geval betreft het één band die representatief is voor de band van een personenwagen (aangeduid met P1);
- bij elke testrit wordt het geluidsdrukkniveau met weging van de A-frequentie en van de 'FAST'-tijd gemeten;
- het 1/3e-octafbandspectrum moet eveneens worden gemeten;
- de metingen worden uitgevoerd bij droog weer en bij een luchttemperatuur tussen 15 °C en 25 °C.

Figuur 17 toont de wijzigingen aan de CPX-aanhangwagen van het Vlaamse Agentschap Wegen en Verkeer. Boven de achterrand van de meetband werd een CCD-camera met geïntegreerde ledverlichting gemonteerd. Het camera-signaal wordt via een videokabel naar een flatscreenscherm verstuurd. Dit scherm bevindt zich voor de voorruit zodat de bestuurder en de bijrijder gemakkelijk de positie van de meetband ten opzichte van de wegmarkering (een lijn van 30 cm breed) kunnen controleren. De bestuurder concentreert zich op een veilig rijgedrag en de bijrijder start/stopt de meting op het juiste moment en controleert de positie van de meetband op het scherm. Indien nodig gaf hij instructies aan de bestuurder om de laterale positie van het voertuig aan te passen.



**Figuur 17** – Een aangepaste CPX-aanhangwagen om reliëfmarkeringen te meten (links en midden) en de uitvoering van de metingen (rechts)

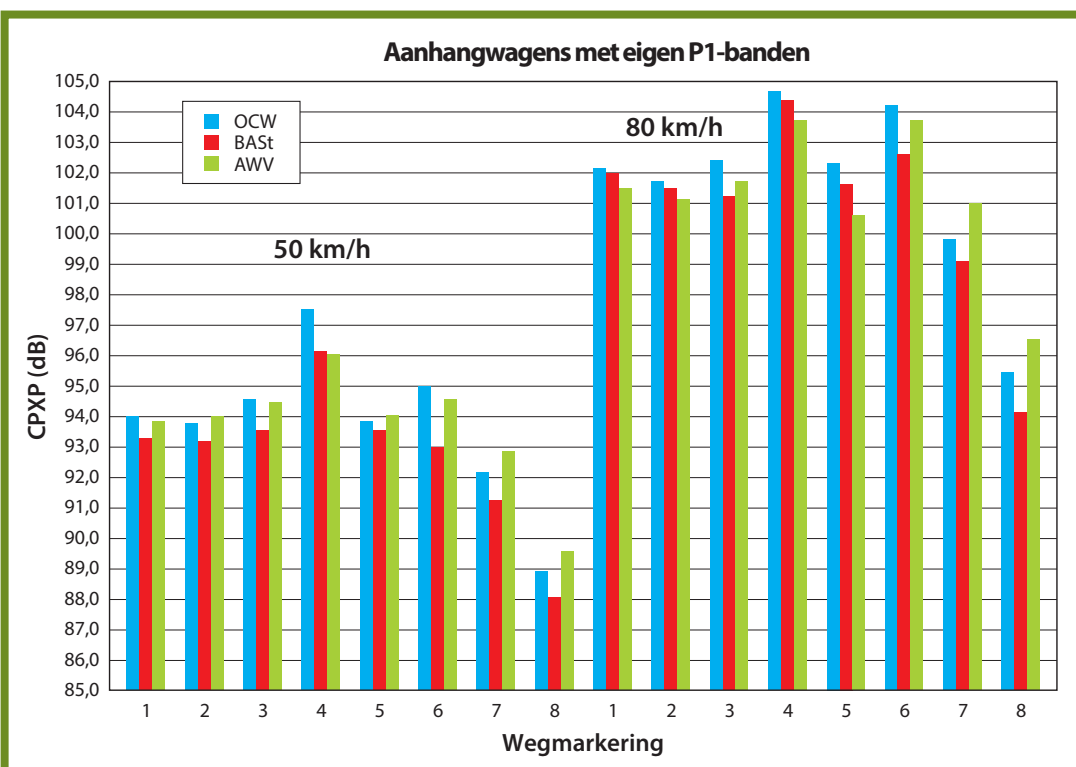
### Validering van de beproevingsmethode

Het Agentschap Wegen en Verkeer en de Duitse *Bundesanstalt für Straßenwesen* voerden in 2014 een aantal voorbereidende tests met deze methode uit. In 2015 werd een eerste laboratoriumafstemming uitgevoerd op een afgesloten testbaan met 7 lijnen met 7 verschillende soorten reliëfmarkeringen en een lijn zonder markering als referentie. De lijnen waren 100 m lang en 0,3 m breed (figuur 18).



**Figuur 18** – Metingen met de CPX-aanhangwagen van het OCW op de testbaan van Geilenkirchen

De testbaan bevindt zich op de NAVO-luchtmachtbasis in Geilenkirchen, Duitsland. Het resultaat van een tweede laboratoriumafstemming uit 2016 door het OCW, AWW en BASt wordt weergegeven in figuur 19.



**Figuur 19** – Verkregen CPXP-waarden met de aanhangwagens van het OCW, BASt en AWW, uitgerust met SRTT-banden op de 8 lijnen in Geilenkirchen, bij twee snelheden (50 en 80 km/u)

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

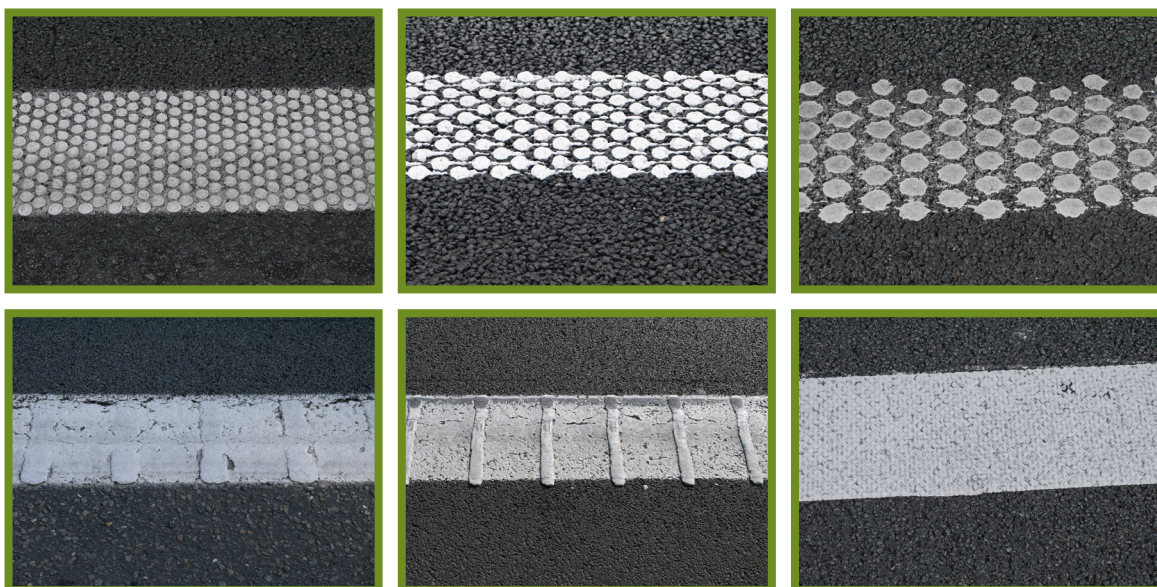
De respectieve experimenten hebben aangetoond dat de methode haalbaar is. De herhaalbaarheid op proefvakken vanaf 40 m ligt tussen 0,2 en 0,7 dB (standaardafwijking) en twee testritten zijn voldoende. Een breedte van 0,3 m wordt aanbevolen om de meetband probleemloos op de markering te houden, maar ook dat is voer voor discussie.

De reproduceerbaarheid op stukken van 100 m lang door drie deelnemers met twee testritten per rij bedroeg 0,59 dB wanneer de deelnemers hun eigen P1-band gebruikten en 0,85 dB wanneer ze ook de banden onderling verwisselden.

De invloed van de temperatuur op de resultaten van dit soort metingen moet nog worden onderzocht. Voorlopig wordt er aanbevolen om de metingen uit te voeren bij luchttemperaturen die in de buurt liggen van de referentietemperatuur.

### ***Akoestische eigenschappen van reliëfmarkeringen die op Vlaamse autosnelwegen worden gebruikt*** [23]

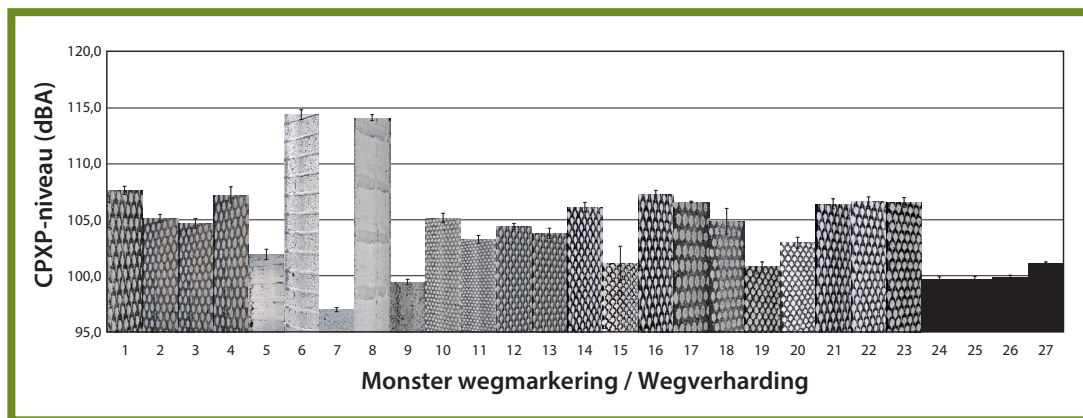
Er werd een selectie van 23 wegvakken met wegmarkeringen gemaakt, inclusief *dots* (van verschillende grootte en vorm) en geribbelde thermo- en koudplast en gestructureerde kleefband. Figuur 20 toont een selectie van de gemeten wegmarkeringen. Alle weggedeelten hadden ononderbroken stroken met een breedte van 30 cm (kantstrepen op autosnelwegen). De lengte van de weggedeelten varieerde van 40 m tot 380 m en op elk gedeelte werden twee of drie testritten uitgevoerd. Een aantal monsters werd gekozen uit dezelfde kantstreep in de buurt van elkaar en waarbij hetzelfde product werd aangebracht. De verwachting is dat de resultaten voor deze monsters vergelijkbaar zijn.



**Figuur 20** – Een aantal geteste reliëfmarkeringen met dots (bovenste rij) en ribbels (onderste rij, links en midden) en kleefband met diamantpatroon (onderste rij, rechts)

Bij wijze van vergelijking werden eveneens vier weggedeelten met een gangbare asfaltverharding gemeten. Twee weggedeelten met SMA 0/10 en twee met dicht asfaltbeton (onbekende korrelgrootte). De gemeten CPXP-niveaus worden in figuur 21 weergegeven.





**Figuur 21** – Gemeten CPXP-niveaus voor reliëfmarkeringen in België (en andere markeringen) en voor het wegdek van autosnelwegen (monsters 24-27)

Uit deze resultaten kunnen we de volgende conclusies trekken:

- ribbelmarkeringen zijn bij meting het luidst (monster 6 en 8), tenminste voor de monsters waarbij de ribbels uitgesproken aanwezig waren en niet door slijtage waren afgevlakt. De versleten ribbelmarkeringen waren dan weer de stilste. Dat is niet verwonderlijk. De textuur van uitgesproken ribbels is heel ruig en veroorzaakt hevige trillingen aan de banden. De twee monsters met uitgesproken ribbels vertoonden, hoewel ze op verschillende punten werden gemeten, ongeveer hetzelfde CPXP-niveau. Dit niveau ligt bijna 14 dB(A) hoger (!) dan het CPXP-niveau van de referentieoppervlakken (monsters 24-27);
- kleefband (monster 7) is de stilste gemeten markering en is zelfs nog stiller dan het referentieoppervlak;
- verf (monster 9) biedt nagenoeg dezelfde textuur als het wegoppervlak. Dit is ook de logische reden waarom het eenzelfde geluidsniveau als het referentiewegdek produceert (monsters 24-27);
- dotmarkeringen produceren een geluidsniveau tussen 101 en 107 dB(A), wat overeenkomt met een geluidstoename tussen 1 en 7 dB(A). Ronde dots zijn niet stiller dan druppelvormige dots en ook de grootte van de dots lijkt geen rol te spelen;
- Meetresultaten van markeringen die tot eenzelfde partij behoren, zoals monsters 2 en 3, 10 en 11, 12 en 13, 14, 15 en 16, 17 en 18, 21, 22 en 23, verschillen tot 2 dB(A), maar vaak minder. Monster 15, dat veel stiller is dan 14 en 16, vormt hierop een uitzondering. Dit is echter te wijten aan een plaatselijk gebrek aan homogeniteit dat door de bestuurder werd opgemerkt en leidde tot een hogere standaardafwijking. In mindere mate was dat ook het geval voor monster 18.

### Conclusies

Er is een methode ontwikkeld om de akoestische kwaliteit (voor de omgeving) van wegmarkeringen te meten, gebaseerd op de CPX-methode. De methode heeft een goede herhaalbaarheid en kan snel worden uitgevoerd. Verwacht wordt dat CEN ze in de loop van 2020 als *Technical Specification* gaat publiceren. Toepassing van de methode op een aantal typische reliëfmarkeringen gebruikt op Vlaamse snelwegen leert dat er grote verschillen zijn op het vlak van akoestische eigenschappen. Sommige markeringen zijn nauwelijks lawaaiiger dan het referentiewegdek (tape), andere types geven een bescheiden tot een significante geluidsemisatie bij het overrijden (dot- en druppelmarkeringen). Nieuwe ribbelmarkeringen zijn extreem lawaaiig bij het overrijden.

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

### 4.3.5 Kosten en voordelen

De aanleg van rammelstroken lijkt vooral doeltreffend bij rechte rijstroken om te vermijden dat bestuurders onbedoeld van hun rijstrook afwijken. De aanwezigheid van dergelijke rammelstroken in een bocht draagt wel bij tot een verbetering van het traject dat gebruikers bewust volgen.

De uitvoering van rammelstroken vormt, a priori, een minimale economische kost in vergelijking met de waarde van het overeenkomstige wegengergoed en vooral met de verwachte materiële en maatschappelijke besparingen. Voor een volledig traject vormen rammelstroken echter een aanzienlijke kost die moet worden afgestemd op het programma voor wegonderhoudswerkzaamheden.

De aanleg van geluidsmarkeringen kan de materiële schade aan het openbare domein verminderen (lagere onderhoudskosten van de wegvoorzieningen door een daling van het aantal botsingen en de ernst ervan). Op maatschappelijk vlak vormen ze vanaf het eerste jaar een rendabele investering als ze een leven weten te redden.

## ► 5 Hulp bij de besluitvorming

De bepalende criteria in de keuze voor een rammelstrook (of voor geen rammelstrook) zijn talrijk:

- **soort ongeval/risico:** ongevallen door onbedoeld afwijken van de rijstrook zonder invloed van de snelheid (gebrekkige waakzaamheid, onoplettendheid), frontale of laterale botsingen, andere;
- **verkeer:** matig dagelijks verkeer, snelheid, accidentologische doelgroep;
- **soort weg:** enkele tweerichtingsbaan, weg met gescheiden rijstroken;
- **omgeving van de weg:** landelijk zonder woningen/alleenstaande woningen/bouwde kom, stad, bruggen;
- **dwarsdoorsnede:** breedte van de rijbaan/aantal rijstroken, berm (verhard/breedte), fietspad (aanwezig/soort/breedte), inhaalzone;
- **lengtedoorsnede en tracé:** toegang voor omwonenden, kruispunten, bochtigheid/bochten, draaien naar rechts/links;
- **gebruikers:** fietsers (aanwezigheid), vrachtwagens (aanwezigheid), wagens (baan);
- **wegdek en markering:** staat van het wegdek, dikte van het wegdek, soort markering en breedte, aanwezigheid van een langsvoeg, van dwarsvoegen;
- **beheer:** sneeuwruimen (frequentie, soort uitrusting).

Hieronder vindt u een hulpmiddel bij de besluitvorming.

### 5.1 Beschikbare soorten voorzieningen

*Opmerking: gezien de eigenschappen (beperkte hoogte en soort patroon) kunnen wegmarkeringen met reliëf die normaal worden gebruikt om de nachtzichtbaarheid bij regenweer te verbeteren, niet als rammelstroken worden beschouwd. Dergelijke voorzieningen produceren geen geluidssignaal (of trillingen) zoals de hieronder beschreven voorzieningen.*

#### 5.1.1 Inkepingen

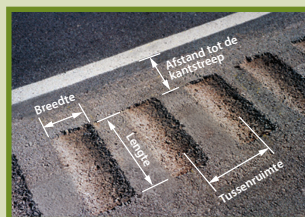
##### a. Eigenschappen

Rammelstroken met inkepingen zijn wijd verspreid in Noord-Amerika. We onderscheiden twee hoofdsoorten:

- inkepingen die 10 tot 15 dB(A) (boven het omgevingsgeluidsniveau) in het voertuig (wagens) produceren;
- inkepingen die 6 tot 12 dB(A) produceren.

Deze twee soorten worden respectief door de volgende afmetingen gekenmerkt:

- *inkeping type US\_10/15 dBA:*
  - breedte: 18 cm;
  - tussenruimte: 30,5 cm;



## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

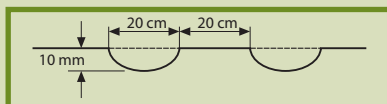
- diepte: 13 mm;
  - lengte: 30,5 cm tot 40 cm;
  - de meest gangbare afstanden ten opzichte van de kantmarkering zijn 15 cm en 30,5 cm.
- *inkeping type US\_6/12 dBA:*
    - breedte: 13 cm;
    - tussenruimte: 28 tot 30,5 cm;
    - diepte: 10 mm;
    - lengte: 30,5 cm tot 40 cm (*zelfs 15 cm om een bijkomende laterale vrije ruimte voor fietsers te creëren of eenvoudigweg voor wegen met smalle of onbestaande berm*).

De resultaten van het *Roadsense*-project geven aan dat inkepingen:

- een sterk geluidssignaal produceren (tussen 10 en 20 dB(A) voor wagens en bedrijfswagens en ongeveer 6 dB(A) voor vrachtwagens);
- de hevigste trillingen produceren (natuurlijk afhankelijk van het soort voertuig, i.e. heel sterk voor wagens, relatief zwak voor vrachtwagens). In elk geval hebben de trillingen geen invloed op de reactietijd. Ze bieden daarentegen wel een beter begrip van wat er gebeurt.

Om de reactietijd op een geluidsalarm te optimaliseren als de persoon in kwestie bezig is met een taak die zijn aandacht opeist, is het beter dat dit alarm wordt gekenmerkt door een verhoogd geluidsniveau en een vrij hoge frequentie. Aangezien de grondfrequentie van een toon die door een reeks rammelstroken wordt geproduceerd, in grote mate afhankelijk is van de ruimte tussen de voorzieningen (hoe kleiner de ruimte tussen twee opeenvolgende stroken, hoe hoger de grondfrequentie), heeft het *Roadsense*-project de volgende patronen geselecteerd:

- *'geoptimaliseerde' Roadsense-inkeping:*
  - breedte: 20 cm;
  - lengte van het grondpatroon: 40 cm;
  - diepte: 10 mm;
  - lengte: 30/35 cm.
- *'geoptimaliseerde' Roadsense-inkeping:*
  - breedte: 20 cm;
  - lengte van het grondpatroon: 1 m;
  - diepte: 10 mm;
  - lengte: 30/35 cm.



### b. Uitvoering

Inkepingen kunnen worden gerealiseerd door mechanisch uitfrezen van het wegdek met behulp van een freesmachine die doorgaans wordt gebruikt voor afwerkingen of herstellingen van voegen in de slijtlaag (type W 35 DC [24]). Dit soort compacte apparatuur beschikt niet over een hodometer, noch over een afzuiginrichting. Dat vereist dus enerzijds de aanwezigheid van een zuigende veegmachine en anderzijds een manuele voormarkering en een dubbel voormarkeringsnet.

### c. Kosten

De uitvoeringskosten voor inkepingen zijn rechtstreeks afhankelijk van de afmetingen en de tussenruimte (uitvoeringstijd, volume van de uitfrezing). De uitvoering van een waarschuwingsstrook van 40 strekkende meter vergt tussen 20 en 40 minuten. De uitvoeringstests voor waarschuwingsstroken met inkepingen tonen aan dat de technisch meest haalbare voorzieningen inkepingen zijn met een lengte van 20 cm, een breedte van 35 cm, een diepte van 1,5 cm en een aanzienlijke tussenruimte (80 cm tussen twee inkepingen, ofwel een grondpatroon met een lengte van  $0,2\text{ m} + 0,8\text{ m} = 1,0\text{ m}$ ); uitvoeringstijd 20 minuten (1 500 m strekkende meter per dag).

## 5.1.2 Ribbels

### a. Eigenschappen

Uit het *Roadsense*-project blijkt dat ribbels:

- een sterk geluidssignaal produceren (tussen 10 en 20 dB(A) voor wagens en bedrijfswagens en ongeveer 5 dB(A) voor vrachtwagens);
- aanzienlijke trillingen produceren (maar minder hevig dan de trillingen door inkepingen).

Op basis van het criterium van de reactietijd wordt er een korte tussenruimte (maximaal 50 cm) tussen de ribbels aanbevolen:

- 'geoptimaliseerde' *Roadsense*-ribbel:
  - lengte van het grondpatroon: 30 + 22 cm (afwisselend);
  - dikte: 10 mm.



In het kader van het *Roadsense*-project werden er, met het oog op een betere duurzaamheid, zelfs bij winteronderhoud, ook ribbels met bodemplaat uitgevoerd.



## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

### b. Uitvoering/Product

Rammelstroken kunnen worden uitgevoerd met behulp van een kleine zelfrijdende machine van het type Coremat [25] (uitgerust met een hydraulische hef- en openingsinrichting voor de aanleg van verschillende ribbelprofielen, met of zonder bodemplaat) of door een zelfaandrijvende extrusiemachine.

Een NZRW-markeringsproduct van Sérac – koudplasten van methacrylaat met twee bestanddelen met microkorrels – kan worden gebruikt.

### c. Kosten

Uitvoeringskosten: ongeveer € 5/strekkende meter.

### 5.1.3 Dots

De markeringen in de vorm van *dots* produceren een aanzienlijk zwakker geluidssignaal (12 dB(A) voor wagens, 4 dB(A) voor vrachtwagens). Bijgevolg vormen ze in bepaalde omstandigheden (grote *dots* in rijen, zoals ribbels) een doeltreffende waarschuwing voor wagens, maar niet voor vrachtwagens. Bovendien zijn de door de *dots* geproduceerde trillingen heel zwak. Uit het *Roadsense*-project is gebleken dat de volgende eigenschappen het meest doeltreffend zijn:

- 'geoptimaliseerde' Roadsense-dots:
  - 4 punten per lengte;
  - ruimte tussen 2 stroken: 10 cm + 10 cm;
  - dikte: 3 mm.



## ► 5.2 Vragen ter ondersteuning van de keuze van de ontwerper of de beheerder

### 5.2.1 Vraag 1 – Rammelstroken op een wegvak aanleggen of niet?

#### Elementen bij de besluitvorming

#### a. Soort ongevallen/risico's op het respectieve wegvak

*Opmerking: rammelstroken zijn in eerste instantie bedoeld om het aantal ongevallen door onbedoeld afwijken van de rijstrook ten gevolge van onoplettendheid, gebrekkige waakzaamheid of vermoeidheid, alsook het aantal ongevallen door frontale of laterale botsingen tussen voertuigen die in tegengestelde richting rijden, te verminderen.*

- Gebeuren er op het weggedeelte ongevallen door onbedoeld afwijken van de rijstrook zonder invloed van de snelheid (dus niet omdat de bestuurder in eerste instantie de controle over het voertuig verliest)?

JA → rammelstrook – aan de rand van de weg

- Gebeuren er op het wegvak frontale botsingen of botsingen met laterale impact tussen voertuigen die in tegengestelde richting rijden?

JA → rammelstrook – op de middenas

- Betreft het een wegvak met rechte baanvakken (of met grote krommingsstraal) en een beperkte visuele belasting (aanleiding voor gebrekkige waakzaamheid en onoplettendheid)?

JA → rammelstrook – aan de rand van de weg

- Vormt de weg met afgescheiden rijstroken een hoger risico op 'uitstapjes' op de vluchtstrook?

JA → rammelstrook – aan de rand van de weg

- Vormt de tweerichtingsbaan (vooral met enkele verkanting) een verhoogd risico op frontale botsingen?

JA → rammelstrook – op de middenas

- Bestaat het wegvak uit bochten met kleine krommingsstraal waar bestuurders geneigd zijn om de bocht af te snijden?

JA → rammelstrook – al naargelang de situatie aan de rand van de weg of op de middenas

*Opgelet: observeer het gedrag van de weggebruikers en evalueer of het aantal overschrijdingen van de voorziening niet te veel geluidsoverlast zou kunnen veroorzaken (maximaal 10 tot 20 overschrijdingen per uur).*

- Bestaat het wegvak uit bochten en wordt het door veel gemotoriseerde tweewielers gebruikt?

JA → Vermijd de aanleg van rammelstroken op de middenas

*Opgelet: het effect van rammelstroken op de veiligheid van gemotoriseerde tweewielers werd nog niet geëvalueerd.*

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

### b. Omgeving

*Opmerking: het door de rammelstroken geproduceerde waarschuwingssignaal in het voertuig gaat gepaard met een verhoging van het geluidsniveau in de buurt van de weg. Dit vereist dus bijzondere aandacht ten opzichte van eventuele omwonenden.*

- Loopt het respectieve wegvak door een verstedelijkt/woongebied, of langs geïsoleerde woningen?

JA → geen rammelstroken of rammelstroken onderbreken op (minstens) 200 m van het gebied/de woningen

### c. Verkeer (ADT)

*Opmerking: dit criterium is enkel nuttig als er prioritaire wegvakken moeten worden geïdentificeerd in geval van de aanleg van voorzieningen op grote schaal.*

- Rechtvaardigt het gemiddelde dagelijkse verkeer de aanleg van een voorziening die onbedoeld afwijken van de rijstrook verhindert (bv. minimaal 500 voertuigen per dag)?

JA → rammelstrook

### d. Verkeer (snelheid)

*Opmerking: dit criterium houdt rekening met de impact van snelheid bij botsingen.*

- Rechtvaardigt de snelheidslimiet of de gereden snelheid (V85) de aanleg van een voorziening die onbedoeld afwijken van de rijstrook verhindert?

$V \leq 50$  km/h → geen rammelstrook

## 5.2.2 Vraag 2 – Welk soort rammelstrook aanleggen (inkepingen, ribbels, dots)?

### Elementen bij de besluitvorming

#### a. Accidentologische doelgroep

*Opmerking: het door de rammelstrook geproduceerde geluidssignaal (ten opzichte van het geluid in het voertuig) varieert al naargelang het soort rammelstrook en het soort voertuig. Alhoewel de geluidssignalen voor alle soorten rammelstroken aanzienlijk zwakker zijn bij vrachtwagens, zijn bepaalde rammelstroken luider dan andere. Het komt er dus op aan om de rammelstrook te kiezen op basis van de accidentologische doelgroep.*

- Zijn vrachtwagens de doelgroep?

JA → rammelstrook met ribbels of inkepingen (keuze wordt bepaald door andere parameters)



- Zijn gewone wagens de doelgroep?

JA → rammelstrook met *dots*, ribbels of inkepingen (keuze wordt bepaald door andere parameters)

#### **b. Dwarsprofiel**

*Opmerking: uiteraard verhoogt de aanwezigheid van een redresseerstrook (verharde of gestabiliseerde berm) de kansen van de bestuurder om opnieuw op de rijstrook te komen zonder de controle over het voertuig te verliezen. Een rammelstrook op de rijstrook (aan de binnenkant van de kantstreep) is in staat om een gebruiker die van de weg afwijkt, te waarschuwen en biedt de mogelijkheid om het voertuig terug op de rijstrook te brengen. Om de doeltreffendheid van de rammelstroken te verhogen, kan er worden overwogen om het dwarsprofiel te herzien (vermindering van de breedte van de rijstroken door de kantstrepen dichterbij de aslijn te brengen). Op deze manier verhogen de kansen voor bestuurders om hun voertuig terug op de rijstrook te brengen.*

*Al naargelang de plaats waar de rammelstrook wordt aangelegd, moet de kleur eventueel worden aangepast (bv. witte ribbels als ze op de markering en zwart als ze ernaast worden aangebracht; aanleg van de markering na uitzetten van de inkepingen).*

*We merken ook op dat rammelstroken met inkepingen een groot deel van het dwarsprofiel inpalmen (30 cm per rand van de weg, ofwel 60 cm in totaal voor de aanleg aan de rand van de weg), waardoor het gebruik ervan is voorbestemd voor de breedste tweerichtingsbanen.*

- Het weggedeelte is voorzien van een vluchtstrook of een berijdbare berm die voldoende breed is, zodat bestuurders hun voertuig opnieuw op de weg kunnen brengen (bv. minimaal 1 m) ...

... EN deze berm wordt nagenoeg nooit door fietsers gebruikt?

JA → alle soorten rammelstroken kunnen worden overwogen, op of naast de markering (keuze wordt bepaald door andere parameters)

... EN deze berm wordt regelmatig door fietsers gebruikt?

Als er een vrije ruimte van 1,2 m beschikbaar is voor fietsers

→ alle soorten rammelstroken kunnen worden overwogen, op of naast de markering (keuze wordt bepaald door andere parameters)

Indien NIET → enkel rammelstroken op de markering kunnen worden overwogen: *dots*, ribbels, inkepingen op de markering (keuze wordt bepaald door andere parameters; houd minstens 1 m vrije ruimte)

ALTERNATIEF: minder lange inkepingen (bv. 20 cm) die om de 12 m tot 18 m over een lengte van 3 m tot 4 m (minimale vrije ruimte van 1,2 m) worden onderbroken zodat het mogelijk is om comfortabel over te steken.

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

- Is het wegvak niet voorzien van een vluchtstrook of een berijdbare berm die voldoende breed is zodat bestuurders hun voertuig opnieuw op de weg kunnen brengen?

→ enkel rammelstroken op de markering kunnen worden overwogen: dots, ribbels, inkepingen op de markering (keuze wordt bepaald door andere parameters)

*Opgelet: observeer het gedrag van de weggebruikers en evalueer of het aantal overschrijdingen van de voorziening niet te veel geluidsoverlast zou kunnen veroorzaken (maximaal 10 tot 20 overschrijdingen per uur). A priori is deze praktijk enkel mogelijk voor wegen waar de rijstrook minimaal 3 m breed is. Bovendien is het mogelijk dat deze maatregel ertoe zal leiden dat het verkeer lichtjes naar de linkerkant van de weg verschuift.*

- Heeft het wegvak geen berm buiten de markering?

→ aanleg van rammelstroken met zwarte ribbels (kleur van het wegdek) aan de binnenkant van de verkeersweg

*Opgelet: observeer het gedrag van de weggebruikers en evalueer of het aantal overschrijdingen van de voorziening niet te veel geluidsoverlast veroorzaakt (maximaal 10 tot 20 overschrijdingen per uur). A priori is deze praktijk enkel mogelijk voor wegen waar de rijstrook minimaal 3,5 m breed is. Bovendien is het mogelijk dat deze maatregel ertoe zal leiden dat het verkeer lichtjes naar de linkerkant van de weg verschuift.*

### c. Wegdek

*Opmerking: de leeftijd, het type en de dikte van het wegdek, alsook de locatie van langsvoegen spelen een belangrijke rol in het succes van rammelstroken met inkepingen. Volgens de literatuur is er weinig of geen sprake van versnelde verslechtering van het wegdek ten gevolge van het uitfrezen van een asphalt- of betonlaag als de oorspronkelijke toestand van het wegdek goed was. Bij oudere wegen daarentegen, die in hogere mate vervormd of gescheurd zijn, kan het uitfrezen de bestaande problemen verergeren.*

*Bovendien moet, wegens de diepte van de inkeping, de laag waarin de rammelstroken worden uitgefreesd, voldoende dik zijn (zodat de onderliggende lagen niet bloot komen te liggen).*

*Langsvoegen zijn zwakke punten die eigen zijn aan een weg. Wegens de bouwpraktijken zijn ze echter vaak de ideale plaats voor rammelstroken. Bijgevolg moeten er maatregelen worden getroffen om een versnelde beschadiging van het wegdek via de voegen te vermijden.*

- Is de oorspronkelijke toestand van het wegdek niet goed OF is de oppervlaktelaag minder dik dan de diepte van een inkeping (doorgaans 10 mm tot 15 mm) OF bevindt er zich een langsvoeg op de plaats waar de rammelstroken moeten worden aangelegd?

→ de uitvoering van een rammelstrook met inkepingen is onmogelijk (tenzij er een behandeling van de verharding is gepland: aanleg van een nieuwe slijtlaag, inkepingen waterafstotend maken, afstand tussen de inkeping aan de ene of de andere kant van de voeg – doorgaans 10 cm). Op plaatsen waar er beschadiging wordt vastgesteld, kan er worden overwogen om een bitumenemulsie (asphalt fog seal) aan te brengen. Deze emulsie beperkt de oxidatie en voorkomt binnendringend vocht.

*Opgelet:* de Amerikaanse literatuur stelt, in geval van inkepingen, een minimale dikte van 4 cm voor bij een heel recent wegdek en tot 6 cm voor een ouder wegdek.

#### d. Onderhoud/wintergedrag

*Opmerking:* de Amerikaanse literatuur leert ons dat verzonken rammelstroken doorgaans geen of weinig onderhoud vereisen. De ervaring heeft aangetoond dat de verkeersstroom in de buurt van de voorziening (luchtverplaatsing) de ophoping van water, sneeuw, ijs of zand in deze rammelstroken verhindert.

Verhoogde rammelstroken moeten nauwlettend in de gaten worden gehouden, in het bijzonder die rammelstroken die gebruikmaken van producten die na verloop van tijd kunnen loskomen van het wegdek. De Amerikaanse literatuur lijkt dergelijke voorzieningen te beperken tot een klimaat waarin sneeuwopruiming geen gebruikelijke praktijk is (zonder verdere verduidelijking).

- Op het respectieve wegvak wordt tijdens de winter regelmatig sneeuw geruimd ...

... EN de rammelstroken zijn aangelegd aan de rechterkant van de markering of aan de binnenkant van de rijstrook? → rammelstroken met ribbels worden afgeraden.

... EN de rammelstroken zijn in de berm aangelegd?

→ rammelstroken met ribbels kunnen worden overwogen. In elk geval moet er bijzondere aandacht worden besteed tijdens het sneeuwruimen (sneeuwruimen in de berm, keuze van onderzetmessen).

*Opgelet:* deze aanbevelingen kunnen worden aangepast op basis van van toekomstige feedback. De aanleg van ribbels met bodemplaat kan een duurzamere oplossing zijn.

- o Indien dit niet het geval is

→ rammelstroken met dots, ribbels of inkepingen (keuze wordt bepaald door andere parameters)

*Opgelet:* in elk geval moet bijzondere aandacht worden besteed aan een eventuele ophoping van water, ijs of vuil in de inkeping als deze ver van het verkeer is aangelegd.

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

### 5.2.3 Vraag 3 – Moeten de rammelstroken over het volledige wegvak worden aangelegd?

#### Elementen bij de besluitvorming

##### a. Omgeving

*Opmerking:* er wordt aanbevolen om de rammelstroken op bepaalde punten/zones te onderbreken om secundaire effecten (bv. beschadiging van het wegdek, lawaai, enz.) te vermijden.

- Vertoont het weggedeelte kruispunten, bochten naar links/rechts, op-/afritten, bruggen, zones waar de laterale vrije ruimte de aanleg van voorzieningen in de berm beperkt, woongebieden, voegen in het wegdek?

JA → rammelstroken onderbreken op deze plaatsen

*Opgelet:* in het bijzonder de rammelstroken onderbreken op (minstens) 200 m vóór aanvang van een woongebied of geïsoleerde woningen. Deze beperking kan worden herzien als blijkt dat het aantal overschrijdingen van de rammelstrook heel laag is. Een grotere afstand tussen de rammelstrook aan de rand van de weg en de rijstrook is een gangbare oplossing voor wegvakken waar geluid een probleem kan vormen.

### 5.2.4 Vraag 4 – Welke afmetingen/patronen kiezen?

De state of the art raadt aan om de afmetingen en patronen uit § 5.1 Beschikbare soorten voorzieningen te gebruiken. De keuze tussen de verschillende soorten is afhankelijk van de geluidsparemeters en de eventuele aanwezigheid van fietsers.

#### Elementen bij de besluitvorming

##### a. Het lawaai voor de omwonenden

Om de nadelige effecten van rammelstroken voor omwonenden tot een minimum te beperken, luidt de aanbeveling dat rammelstroken die in de buurt van woongebieden worden geplaatst, tussen 6 en 12 dB(A) boven het omgevingsgeluidsniveau in het voertuig produceren en dat er niet wordt gekozen voor agressievere rammelstroken (10 tot 15 dB(A)).

##### b. De eventuele aanwezigheid van fietsers

*Opmerking:* voor wegen waar geen fietsers rijden, zoals autosnelwegen, wordt er aanbevolen om rammelstroken te kiezen met patronen die ongeveer 10 tot 15 dB(A) boven het omgevingsgeluidsniveau in het voertuig produceren. Voor wegen die ook door fietsers worden gebruikt, wordt er aanbevolen om patronen te gebruiken die 'toegankelijker' zijn voor deze weggebruikers (beperkte ongemakken bij het overschrijden van de rammelstrook) en die tussen 6 en 12 dB(A) (boven het omgevingsgeluidsniveau in het voertuig) produceren.

- Loopt het wegvak, op bepaalde plaatsen, langs woongebieden of geïsoleerde woningen of is er veel fietsverkeer op het wegvak?

JA → voorkeur geven aan rammelstroken die een minder luid geluidssignaal produceren (*dots* of minder brede en minder diepe inkepingen – zie § 5.1 *Beschikbare soorten voorzieningen*).

Opgelet: *deze voorzieningen zijn weinig doeltreffend als de doelgroep vrachtwagens is.*

NEEN → als er geen andere beperkingen zijn, de voorkeur geven aan rammelstroken die een luid geluidssignaal produceren (ribbels of brede en diepe inkepingen – zie § 5.1 *Beschikbare soorten voorzieningen*).

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

### ► 6 Conclusies en vooruitzichten

#### 6.1 Algemene conclusies

De rammelstroken waarvan sprake in dit document (inkepingen, ribbels of *dots*) zijn in de eerste plaats bedoeld om het aantal ongevallen door onbedoeld afwijken van de rijstrook ten gevolge van onoplettendheid, gebrekkige waakzaamheid of vermoeidheid, alsook het aantal ongevallen door frontale of laterale botsingen tussen voertuigen die in tegengestelde richting rijden, te verminderen.

Een analyse van de processen-verbaal met betrekking tot dodelijke wegongevallen in 2014 en 2015 geeft aan dat verstrooidheid en onoplettendheid de hoofdoorzaken van ongevallen zijn (ongeveer 30 % van de gevallen). Meer algemeen wijst de analyse van het aantal letselongevallen in 2017 volgens het soort eerste botsing erop dat bij 31 % van dergelijke ongevallen buiten de bebouwde kom (en bij 37 % op de autosnelweg) slechts één weggebruiker is betrokken (VIAS, 2018) [26].

Ongevallen ten gevolge van onbedoeld afwijken van de rijstrook vormen dus een bijzondere uitdaging voor de verkeersveiligheid. En zoals de literatuur aantoont, hebben rammelstroken in andere delen van de wereld hun nut bewezen.

Het gebruik van rammelstroken in België blijft echter beperkt. Dat is hoogstwaarschijnlijk te wijten aan het gebrek aan praktische richtlijnen en aan het idee dat dergelijke stroken bepaalde problemen met zich meebrengen zoals geluidsvervuiling, overlast voor tweewielers en de moeilijkheid om de stroken te onderhouden. Bovendien bevatten onze standaardbestekken niet al deze voorzieningen. Er wordt bijvoorbeeld niet voorzien in inkepingen. De afmetingen en plaatsingsfrequentie voor ribbelstroken zijn, althans volgens de literatuur, niet optimaal op het vlak van geluidsproductie. Wegmarkeringen met reliëf ten slotte (die doorgaans worden gebruikt om de nachtzichtbaarheid bij regenweer te verbeteren) kunnen niet als rammelstroken worden beschouwd. De eigenschappen van dergelijke markeringen (beperkte hoogte en soort patroon) zorgen niet voor een geluidssignaal (of trillingen) zoals de in dit document beschreven voorzieningen.

Een evolutie in de standaardbestekken en de uitwerking van praktische richtlijnen zijn dus absoluut noodzakelijk om het gebruik van rammelstroken te bevorderen. Dit document biedt alvast een eerste oplossing voor deze tweede behoefte. Er zijn echter nog tal van vragen die op dit moment nog onvoldoende zijn verkend en die dus het voorwerp moeten uitmaken van bijkomende studies. De uitvoering van proefvakken kan bovendien de mogelijkheid bieden om de privésector actief te betrekken bij de wegenbouw (fabrikanten van producten, bedrijven die markeringen aanbrengen, wegenbouwbedrijven). Bij gebrek aan duidelijke regels staat de markt inderdaad in zijn kinderschoenen en ontbreekt het de aannemers aan de nodige ervaring.

Het overleg over het gebruik van rammelstroken opent dus de deur naar talrijke vooruitzichten, die hieronder worden opgesomd.

#### 6.2 Vooruitzichten (bijkomende studies, technologische monitoring, ontwikkeling)

Alhoewel rammelstroken aan de andere kant van de Atlantische Oceaan sinds jaar en dag worden gebruikt, maken ze nog altijd het voorwerp uit van studies naar de optimalisering ervan, meer bepaald in Frankrijk. Deze studies, in het laboratorium en in het veld, hebben nog niet geleid tot een antwoord op alle uitdagingen waarmee deze voorzieningen worden geconfronteerd. Een actieve technologische

monitoring, maar ook de uitvoering van proefvakken lijken dus onmisbaar voor de ontwikkeling van de expertise binnen dit domein. En in eerste instantie moet er een antwoord worden gezocht op de volgende vragen (niet-exhaustieve lijst).

- **Verkeersveiligheid:** leiden deze voorzieningen in ons land echt tot een daling van het aantal ongevallen ten gevolge van onbedoeld afwijken van de rijbaan of van andere soorten ongevallen? Dragen ze bij aan een matiging van de toegepaste snelheid en aan een optimale positie op de weg?
- **Duurzaamheid:** verdragen deze voorzieningen, en in het bijzonder deze met positief reliëf, de tand des tijds goed? Welke parameters dragen bij aan het verslijten ervan? In welke omstandigheden komen ribbels los (eigenschappen van het wegdek, plaatsingsmethode, belasting, weersomstandigheden, positie, winteronderhoud)?
- **Geluid:** produceren de voorzieningen die voor België worden gekozen, een voldoende luid geluidssignaal in de voertuigen (wagens, vrachtwagens) zonder dat ze te veel geluidsoverlast voor de omgeving veroorzaken? Zijn de aanbevelingen op het vlak van locatie uit de literatuur (minstens 200 m van woongebieden, maximaal 10 tot 20 overschrijdingen per uur) geschikt?
- **Aanvaardbaarheid:** mate van aanvaardbaarheid voor de omwonenden (geluid, veiligheid), de gebruikers (ongemak, veiligheid), de gemeente en de beheerder (beheer, klachten)?
- **Configuratie van de voorzieningen:** (patroon en positie): welke invloed hebben de afmetingen (hoogte, breedte, lengte), de positie ten opzichte van de markering en het patroon (doorlopend of in blok, ruimte tussen de ribbels) op de vier voorgaande parameters? Is het mogelijk om de aanbevelingen uit de literatuur af te stemmen op de eigenschappen van onze wegen?
- **Haalbaarheid en kosten:** met welke technische beperkingen worden de uitvoering of de aanleg van de verschillende voorzieningen geconfronteerd? Zijn de uitrusting en de producten beschikbaar of toegankelijk? Moet de technische expertise worden uitgebreid? Hoe hoog lopen de kosten hiervoor op?

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

### ► 7 Literatuur

- 1. Elvik, R. & Vaa, T. (2004)**  
*The handbook of road safety measures.*  
Amsterdam : Elsevier. ISBN 0-08-044091-6.
- 2. Torbic, D.J., Hutton, J.M., e.a. (2009)**  
*Guidance for the design and application of shoulder and centerline rumble strips.*  
Washington : Transportation Research Board (TRB). (National Cooperative Highway Research Program Report (NCHRP Report), 641). ISBN 978-0-309-11799-9.
- 3. Anelli, P. & Violette, E. (2014)**  
*Roadsense : séminaire de cloture du projet et perspectives.*  
In : Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), (2014)919. p. 101-106.  
Paris : Editions RGRA.
- 4. Federal Highway Administration (FHWA) (2019)**  
*Rumble strips and rumble stripes : general information.*  
Washington : FHWA. [https://safety.fhwa.dot.gov/roadway\\_dept/pavement/rumble\\_strips/general-information.cfm](https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/general-information.cfm)  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.
- 5. Rosey, F., Anelli, P. & Violette, E. (2011)**  
*Roadsense : prévention des sorties involontaires de voie par lignes d'alerte routières audio-tactile. Livrable 2.1, état de l'art sur les systèmes audio-tactiles existants.*  
Rouen : Centre d'études techniques de l'Équipement Normandie Centre (CETE Normandie Centre). Version provisoire 0.1.
- 6. Service Public de Wallonie - Direction Générale Opérationnelle des Routes et des Bâtiments (2012, version 2016 consolidée)**  
*CCT Qualiroutes: cahier des charges-type. Catalogue des méthodes d'essai.*  
Namur : SPW-DG01.
- 7. Vlaamse Overheid – Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) (2014)**  
*Handboek vergevingsgezinde wegen.*  
Brussel : AWV. <https://docs.wegenenverkeer.be/Vademecums/Vademecum%20Vergevingsgezinde%20wegen.pdf>  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.
- 8. Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer (2019)**  
*Standaardbestek 250 voor de wegenbouw [versie 4.1].*  
Brussel : AWV.  
<http://docs.wegenenverkeer.be/Standaardbestek%20250/Versie%204.1/>  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.



- 9. Pardo, L.-F. (2012)**  
*Roadsense: prévention des sorties involontaires de voie par lignes d'alerte routières audio-tactile.*  
Livrable 3.1.  
Magny les Hameaux, France : Aximum.
- 10. Anelli, P. (2013)**  
*Roadsense: prévention des sorties involontaires de voie par lignes d'alerte audiotactiles: séminaire final, [s.l.], novembre 28, 2013.*  
Magny les Hameaux, France : Aximum.
- 11. Susini, P., Houix, O., Ventura, R. & Misdariis, N. (2013)**  
*Roadsense: prévention des sorties involontaires de voie par lignes d'alerte routières audio-tactile.*  
Livrable 3.2, constitution d'une base de stimuli sonores élémentaires associés aux bandes d'alerte et description en termes de paramètres d'urgence, d'identification et de compréhension.  
Paris : Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique (IRCAM).
- 12. Federal Highway Administration (FHWA) (2011)**  
*Shoulder and edge line rumble strips.*  
Washington : FHWA. (Technical Advisory, T5040.39). Revision 1. [https://safety.fhwa.dot.gov/roadway\\_dept/pavement/rumble\\_strips/t504039/t504039.pdf](https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/t504039/t504039.pdf)  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.
- 13. Federal Highway Administration (FHWA) (2015)**  
*Rumble strip implementation fact sheet: bicycles.*  
Washington : FHWA. (Rumble Strip Implementation Fact Sheet, FHWA-SA-15-030). [https://safety.fhwa.dot.gov/roadway\\_dept/pavement/rumble\\_strips/bike\\_fs/rmbl\\_bikes\\_fs.pdf](https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/bike_fs/rmbl_bikes_fs.pdf)  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.
- 14. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2012)**  
*Guide for the development of bicycle facilities.*  
Washington : AASHTO. Fourth edition. <https://nacto.org/wp-content/uploads/2011/03/AASHTO-Guide-for-the-Development-of-Bicycle-Facilities-1999.pdf>  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.
- 15. Federal Highway Administration (FHWA) (2015)**  
*Rumble strip implementation fact sheet: pavement.*  
Washington : FHWA. (Rumble Strip Implementation Fact Sheet, FHWA-SA-15-030). [https://safety.fhwa.dot.gov/roadway\\_dept/pavement/rumble\\_strips/media/RumbleStripFactSheet\\_Pavement/pavement\\_fs.pdf](https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/media/RumbleStripFactSheet_Pavement/pavement_fs.pdf)  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.
- 16. CTC & Associates (2012)**  
*Traffic noise generated by rumble strips.*  
Sacramento, USA : Caltrans - Division of Research and Innovation (DRI). Preliminary investigation. [http://www.dot.ca.gov/research/researchreports/preliminary\\_investigations/docs/rumble\\_strip\\_noise\\_preliminary\\_investigation\\_3-5-12.pdf](http://www.dot.ca.gov/research/researchreports/preliminary_investigations/docs/rumble_strip_noise_preliminary_investigation_3-5-12.pdf)  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.

## Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden

- 17. Alatyppo, V., Valtonen, J. Hyypä, I. (2005)**  
*Noise and vibration effects of rumble strips (Taristavien viivojen melu- ja tarinatutkimus).*  
Helsinki : Finnish Road Administration. (Tiehallinnon Selvityksia, Finnra Reports, 3200933, 21/2005).
- 18. Kragh, J., Andersen, B. & Thomsen, S.N. (2007)**  
*Traffic noise at rumble strips.*  
Hedehusene, Denmark : Road Directorate. (Danish Road Institute Report, 156). Inter.noise 2007 paper. [https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/traffic\\_noise\\_at\\_rumble\\_strips.pdf](https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/traffic_noise_at_rumble_strips.pdf)  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.
- 19. Goubert, L. & Gail, A. (2017)**  
*Measuring the acoustic properties of audio tactile road markings.*  
In : Taming noise and moving quiet : proceedings of the 46th international congress and exposition on noise control engineering (Inter-Noise 2017), Honk Kong, August 27-30, 2017.  
[s.l.] : Inter-Noise.
- 20. International Organization for Standardization (ISO) (2017)**  
*ISO 11819-2: Acoustics : measurement of the influence of road surfaces on traffic noise. Part 2, the close-proximity method.*  
Genève : ISO.
- 21. International Organization for Standardization (ISO) (2017)**  
*ISO/TS 11819-3: Acoustics: measurement of the influence of road surfaces on traffic noise. Part 3, reference tyres.*  
Genève: ISO.
- 22. International Organization for Standardization (ISO) (2017)**  
*ISO/TS 13471-1: Acoustics: temperature influence on tyre/road noise measurement. Part 1, correction for temperature when testing with the CPX method.*  
Genève : ISO.
- 23. Goubert, L., Debroux, P., Gail, A., Zöllner, M., De Cleck, K. & Verheyen, L. (2014)**  
*Assessing the acoustic properties of audio-tactile road markings.*  
In : Improving the world through noise control: proceedings of the 43rd international congress on noise control engineering (Inter-Noise 2014), Melbourne, November 16-19, 2014.  
[s.l.] : Inter-Noise.
- 24. Wirtgen (2019)**  
*Small milling machine W 35 Ri.*  
Windhagen, Germany : Wirtgen. [https://www.wirtgen.de/en/products/cold-milling-machines/small-milling-machines/w\\_35\\_ri.php](https://www.wirtgen.de/en/products/cold-milling-machines/small-milling-machines/w_35_ri.php)  
Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.

**25. Coremat-constructeur (2012)**

*Le sabot barrette manuel.*

Champtocé-sur-Loire, France : Coremat-constructeur. <http://www.coremat-constructeur.fr/nos-produits/marquage/sabots/sabot-barette-manuel>

Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.

**26. Lequeux, Q. & Leblud, J. (2018)**

*Rapport statistique 2018: accidents de la route 2017.*

Bruxelles : Institut VIAS. (Rapport de recherche VIAS, 2018-S-01-FR). [https://www.vias.be/publications/Statistisch%20Rapport%202018%20-%20Verkeersongevallen/Rapport\\_statistique\\_2018\\_-\\_Accidents\\_de\\_la\\_route\\_2017.pdf](https://www.vias.be/publications/Statistisch%20Rapport%202018%20-%20Verkeersongevallen/Rapport_statistique_2018_-_Accidents_de_la_route_2017.pdf)

Laatst geraadpleegd op 04/06/2019.

**Het gebruik van rammelstroken om onbedoeld afwijken van de rijstrook te vermijden**