

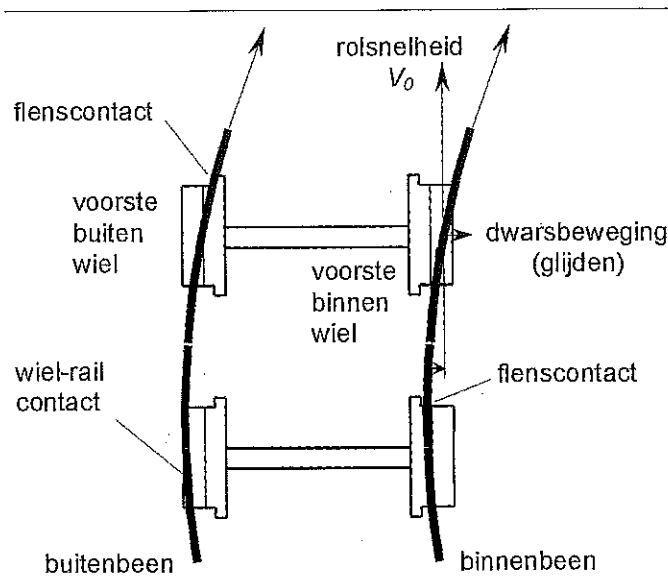
*Maatregelen  
tegen booggeluid  
van railverkeer*

## Infoblad Maatregelen tegen booggeluid van railverkeer

Booggeluid is het bekende hoogfrequente piepen en krijsen dat een railgebonden voertuig (trein, tram of metro) soms maakt bij het doorlopen van een (wissel)boog. Het is een gevolg van de slip die optreedt tussen de stalen vlakken van wiel en rail, hetgeen op zich weer een gevolg is van het feit dat de wielen gefixeerd zijn op de as. Bij het passeren van een boog of wissel treden de volgende effecten op (zie figuur 1):

- de wielassen staan niet meer haaks op het spoor;
- de wiel-rail contactpunten liggen niet allemaal op het loopvlak van het wiel, maar ook tegen de flens van het wiel;
- de afgelegde weg van binnen- en buitenwiel is niet gelijk.

Hierdoor is het contact tussen wiel en rail niet meer puur rollend; de wielen moeten ook zijdelings glijden. Het glijproces is niet continu, maar is een zogenaamd 'stick-slip' proces waarbij door wrijving het wiel afwisselend blijft hangen (stick) en vervolgens doorglijdt (slip). Dit proces herhaalt zich met een hoge frequentie (in het frequentiebereik 700-5000 Hz) en is de bron van het piepen en krijsen, ofwel booggeluid.



Figuur 1. Beweging van trein/tram wielen op vaste assen ten opzichte van de rails in een bocht

Booggeluid veroorzaakt geluidshinder langs tramlijnen in de stad, op emplacementen en in de vrije baan bij stationsomgevingen. In omgevingen waar booggeluid het meest voorkomt is de concentratie van woningen relatief hoog; hierdoor is het aantal gehinderden door booggeluid groot. Vanuit sociaal oogpunt is er groot belang bij het begrijpen en het vervolgens op praktische wijze kunnen oplossen van booggeluid. Maar de geluidshinder beperkt daarnaast ook de intensivering of uitbreiding van railvervoer in met name stedelijke gebieden. Er zijn voldoende redenen om dit verschijnsel te onderzoeken.

### Onderzoeksprogramma Booggeluid

Onderzoek naar booggeluid is zowel bij tram-, metro- als spoorwegbedrijven de laatste jaren goed op gang gekomen. Tussen de bestaande theorieën en de praktijk was echter nog steeds een kloof aanwezig, hetgeen aangeeft dat een fundamentele aanpak van dit probleem noodzakelijk is. CROW heeft met een aantal probleemeigenaren, met name ProRail (vroeger NS Railinfrabeheer - RIB), Gemeentelijk Vervoerbedrijf Amsterdam (GVBA), Haagsche Tramweg Maatschappij (HTM) en Rotterdam Elektrische Tram (RET) het 'Onderzoeksprogramma Booggeluid' ingericht. Het programma is mogelijk gemaakt door subsidie van SENTER, het economisch agentschap van het Ministerie van Economische Zaken. Het programma heeft de volgende twee hoofddoelstellingen gekregen:

- het begrijpen, modeleren en voorspellen van booggeluid;
- het ontwikkelen en toetsen van maatregelen tegen booggeluid in praktijksituaties.

In dit infoblad worden de belangrijkste bevindingen van dit onderzoeksprogramma gepresenteerd. De meest belovende maatregelen worden kort beschreven. De verstrekte informatie moet als richtinggevend worden beschouwd, niet als voorschrift voor de inbouw van maatregelen met een gegarandeerd resultaat. Hierbij wordt opgemerkt dat, terwijl de kloof tussen theorie en praktijk nu veel kleiner is geworden, nog veel moet worden gedaan om deze en andere maatregelen te optimaliseren voordat zij op grote schaal in de praktijk kunnen worden toegepast.

### Aanpak onderzoek

Ter voorbereiding van het onderzoeksprogramma is een inventarisatie uitgevoerd van bestaande expertise over booggeluid en maatregelen daartegen gemaakt. Hiervoor zijn de literatuur en deskundigen in binnen- en buitenland geraadpleegd. Er zijn hierbij 21 maatregelen gevonden (zie tabel 1) waarvan in meer of mindere mate praktijkgegevens beschikbaar zijn. Er zijn een aantal maatregelen gekozen voor verder onderzoek en praktijkbeproeving. Deze selectie is gebaseerd op de resultaten van modelberekeningen en laboratoriummetingen die in de eerste fasen van het programma zijn uitgevoerd en op de volgende keuzecriteria:

- geluidsreductie;
- levenscyclus kosten;
- praktijkervaring en technische haalbaarheid.

Dit willen zeggen de drie belangrijkste aspecten: effect, kosten en kans op succes.

De geselecteerde maatregelen zijn in tabel 1 aangeduid. De meest belovende - zoals uit de resultaten van dit onderzoeksprogramma is gebleken - worden vervolgens beschreven. De huidige kennis over hun invloed op booggeluid en de resultaten van praktijkproeven uitgevoerd in dit programma worden gepresenteerd.

Tabel 1. Inventarisatie van maatregelen tegen booggeluid

Maatregel	Gekozen voor verder onderzoek
Aanpassen wielprofiel	
Afscherming langs spoor	
Asymmetrisch railprofiel	x
Boogstraal vergroten	
Frictieverbeteraar (baaninstallatie)	x
Frictieverbeteraar (materieel gebonden)	x
Onafhankelijk aangedreven wielen	
Raildemping	x
Schorten	
Spoorwijdte verkleinen	x
Sturende assen	
Verende wielen	x
Verkanten van rails (verhogen snelheid)	
Water sproeiinstallatie	
Wieldempers	x
Wielflens smering (baaninstallatie)	x
Wielflens smering (materieel gebonden)	x
Wijzigen materiaal wielloopoppervlak	
Wijzigen wielconstructie	

#### Maatregelen tegen booggeluid

De resultaten van de praktijkproeven die in het 'Onderzoeksprogramma Booggeluid' zijn uitgevoerd zijn in tabel 2 samengevat. Aanpassing van het railprofiel (en spoorwijdte), gericht op de beïnvloeding van de locatie van het contactpunt op het wiel, geven de maximale reducties in booggeluid tot 23 dB(A). Wel is nog onvoldoende belicht in hoeverre deze maatregel de slijtage en de belasting van het spoor beïnvloedt. Smering geeft hoge reducties tot 16 dB(A) en men past in de praktijk deze maatregel al toe. Echter zijn er nog enkele beperkingen in verband met de eisen voor de minimale wrijving in relatie tot veiligheid. Frictieverbeteraars geven een geluidsreductie van maximaal 5 dB(A). Deze maatregel elimineert echter niet het typische booggeluid, waardoor het effect beperkt blijft.

Toepassing van wieldempers is een potentiële maatregel tegen booggeluid. De uitgevoerde metingen hebben deze, op theorie gebaseerde verwachting, echter niet kunnen bevestigen. De metingen tonen teveel spreiding waardoor geen eenduidige conclusies kunnen worden vastgesteld. Toepassing van verende wielen met hogere dempingeigenschappen kan het booggeluid met 3 dB(A) reduceren. Op basis van metingen wordt echter verwacht dat de dempingeigenschappen van de geveerde wielen nog kunnen worden verbeterd, waardoor nog hogere reducties haalbaar zijn. Beperkte testen met raildempers laten geen reductie zien in het optredende niveau van booggeluid.

Tabel 2. Effectiviteit van onderzochte maatregelen

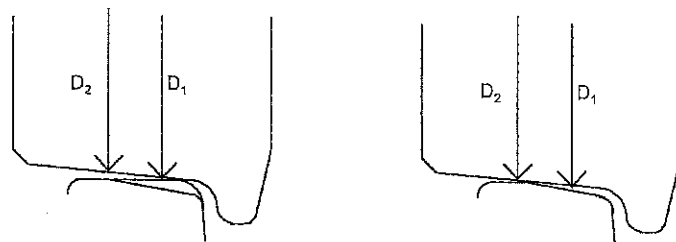
Maatregel	Maximum reductie	Toepassing	
Asymmetrisch railprofiel	23 dB(A)	Tram, groefrail	
Spoorwijdte verkleinen	22 dB(A)	Tram, groefrail	
Wijzigen wrijvingsgedrag	Smeermiddel	16 dB(A)	Tram, groefrail
	Frictieverbeteraar	5 dB(A)	Tram, groefrail
	Nikkel-grafiet coating	Booggeluid totaal onderdrukt	Trein, wissel
Wieldempers	Geen reductie in geluidsniveau Reductie in het optreden van booggeluid: 30%	Trein, UIC54	
Verende wielen	3 dB(A)	Tram, groefrail	
Raildempers	Geen reductie in geluidsniveau	Testtrein, UIC60	

### Asymmetrisch railprofiel

Door het aanbrengen van een asymmetrisch profiel kan er voor worden gezorgd dat op het binnenbeen de contactpositie van het wiel op de kop van de spoorstaaf van de flenszijde af gaat. Hierdoor wordt het verschil in afroldiameter tussen het binnen- en buitenwiel vergroot, waardoor het stick-slip effect afneemt. Dit wordt voor het binnenbeen en het buitenbeen in figuur 2 respectievelijk figuur 3 verduidelijkt. Een asymmetrisch profiel op het binnenbeen (figuur 2) verplaatst de contactpositie waardoor de afroldiameter van  $D_1$  naar  $D_2$  wordt verkleind. Een asymmetrisch profiel aangebracht op het buitenbeen (figuur 3) vergroot de afroldiameter van  $D_3$  naar  $D_4$ .

Symmetrisch profiel binnenbeen

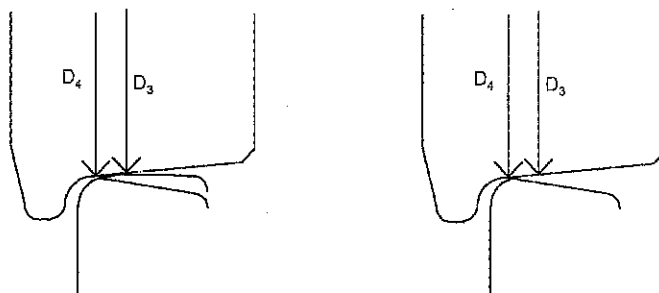
Asymmetrisch profiel binnenbeen



Figuur 2. Verschuiving contactpositie binnenbeen bij aanbrengen asymmetrisch profiel

Symmetrisch profiel buitenbeen

Asymmetrisch profiel buitenbeen



Figuur 3. Verschuiving contactpositie buitenbeen bij aanbrengen asymmetrisch profiel

Bij praktijkmetingen van trams is vastgesteld dat het aanbrengen van een asymmetrisch spoorstaafprofiel zeer effectief is. De resultaten van deze praktijkproef tonen aan dat een enorme geluidsreductie van meer dan 23 dB(A) kan worden gerealiseerd met het asymmetrisch slijpen van het railprofiel. De verwachting is dat deze maatregel zeer kosteneffectief is, zeker ten opzichte van materieelgebonden maatregelen. Aanpassingen in de spoorgeometrie bieden mogelijk ook kansen om flensgeluid te beperken.

De toepassing van asymmetrische railprofielen staat echter nog in de kinderschoenen. Er is nog geen optimaal spoorstaafprofiel bepaald en lange termijn effecten zoals de slijtvastheid zijn nog niet bekend.

#### Aanpassen spoorbreedte

De verkleining van de spoorwijdte reduceert de aanloophoek van het voorste binnenwiel en verkleint daarmee de kans op booggeluid. In wijde bogen heeft een spoorverbreiding een positief effect, in krappe bogen heeft een spoorvernaauwing een positief effect op het booggeluid. Met deze maatregel wordt er invloed uitgeoefend op het contactvlak.

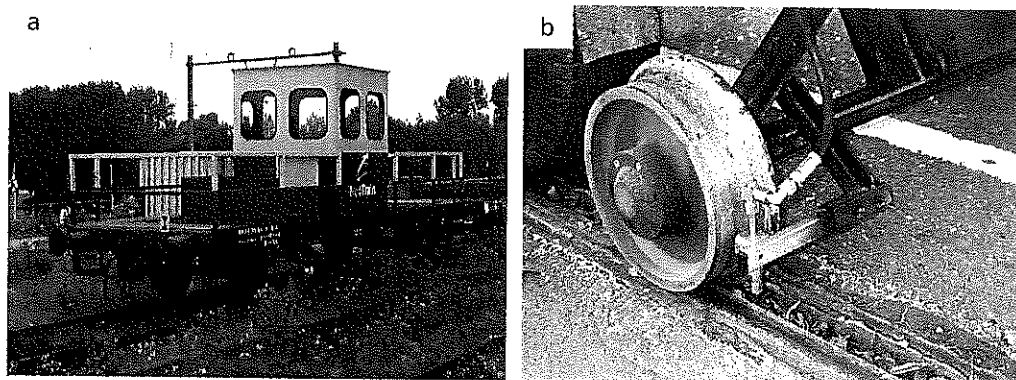
In Amsterdam (trambedrijf GVBA) zijn booggeluidsmetingen uitgevoerd op twee locaties met hetzelfde type spoorstaaf, een identieke oplegging en een gelijk boogradius. Bij de ene boog is er geen booggeluid geconstateerd, terwijl bij de andere boog een bijzonder hoog niveau van booggeluid gemeten is (22 dB(A) hoger). Aangezien geen wezenlijke verschillen in andere factoren te vinden zijn, mag worden aangenomen dat het uitblijven van booggeluid een gevolg is van de 7 mm kleinere spoorwijdte in de eerste boog. Met andere woorden, booggeluid kan ook worden voorkomen door een kleinere spoorwijdte toe te passen (in krappe tramspoorbogen).

#### Wijzigen wrijvingsgedrag

De resultaten van het rekenmodel en literatuurstudies duiden aan dat booggeluid kan worden gereduceerd of geëlimineerd door de wrijving tussen wiel en rail te beïnvloeden. Er zijn twee mogelijkheden onderzocht, te weten:

- het gebruik van frictieverbeters; en/of
- het gebruik van smeermiddelen.

Een frictieverbeteraar is een middel (vetachtig) waarmee de wrijving op een constant niveau gehouden kan worden, waardoor geen stick-slip meer kan optreden. Smeermiddelen zijn bedoeld voor aanbrenging op de kop en/of de zijkant van de rail en/of de wielflens. Ze worden gebruikt om het wrijvingsniveau omlaag te brengen, waardoor 'stick-slip' niet optreedt of op een zodanig laag niveau optreedt dat geen booggeluid ontstaat. Als smeermiddel wordt vaak grafiet zeer effectief genoemd.



a Voor treinen op het emplacement Amsterdam Watergraafsmeer  
 b Spuitmond om frictieverbeteraar op de spoorstaafkop van tramrail te spuiten

Figuur 4. Voorbeelden van mobiele doseerinstallaties

Veel smeermiddelen en een aantal frictieverbeteraars zijn commercieel verkrijgbaar. Beide kunnen worden opgebracht met een mobiele installatie of vanuit een baaninstallatie. Bijvoorbeeld, voor het treinemplacement Watergraafsmeer is een mobiele doseerinstallatie ontwikkeld waarmee dagelijks de frictieverbeteraar Headlub op de kop van de spoorstaaf en het wielflens smeermiddel Kajo Bio op de flens wordt aangebracht (zie figuur 4a). Een typische spuitmond (voor een tramspoorstaaf) is in figuur 4b te zien.

Tabel 3. Akoestische reductie aan binnenzijde boog bereikt door aanpassing wrijvingsgedrag

Referentie	Droog en onbehandeld		$L_{Aeq} = 97 \text{ dB(A)}$
Veldmeting	Behandeling binnenbeen	Behandeling buitenbeen	Reductie
1 HTM	Turmogrease	Turmogrease	16 dB(A)
2 HTM	Headlub	SM-HTM	5 dB(A)
3 HTM	Headlub + Turmogrease	SM-HTM + Turmogrease	14 dB(A)
4 ProRail	Nikkel-grafiet coating	Nikkel-grafiet coating	booggeluid verdwenen

Bij HTM zijn testen uitgevoerd met trams met de frictieverbeteraar Headlub en de smeermiddelen Turmogrease of SM-HTM (zie tabel 3). Referentiemetingen zijn uitgevoerd op een stuk droog (geen regen) en onbehandeld spoor in een boog. Verder werd onder leiding van ProRail/Railinfrabeheer een praktijkproef met een thermisch gespoten coating (Nikkel-15 vol. % grafiet) ter plaatse van een wissel uitgevoerd. De kwalitatieve resultaten hiervan zijn eveneens toegevoegd aan tabel 3. Deze coating verkeert echter nog duidelijk in het proefstadium. De resultaten tonen aan dat zowel

fRICTIEVERBETERAAR als smeermiddel het optreden van booggeluid kunnen verminderen (zie tabel 3). Meting 1 laat duidelijk zien dat het smeermiddel Turmogrease met de juiste dosering het beste effect van geluidsreductie boekt, namelijk 16 dB(A). Hoewel de bijdrage van de fRICTIEVERBETERAAR Headlub en het smeermiddel van de HTM (SM-HTM) in meting 2 moeilijk te onderscheiden is, is de 5 dB(A) reductie toch in hoge mate te danken aan Headlub, aangezien het booggeluid vooral bij het binnenbeen optreedt. Meting 3 toont aan dat een fRICTIEVERBETERAAR niet in combinatie met een smeermiddel moet worden gebruikt, omdat de fRICTIEVERBETERAAR de smerwerking van een smeermiddel kan verslechteren. De Nikkel-grafiet coating van meting 4 heeft het booggeluid van de wissel totaal onderdrukt, de levensduur van deze laag was echter relatief kort.

Vermeld dient te worden dat de geluidsreductie behaald met Headlub sterk afhankelijk is van de verzadigingsgraad van de spoorstaaf met de fRICTIEVERBETERAAR. Het toepassen van Headlub is het meest effectief als de dosering van de fRICTIEVERBETERAAR nauwkeurig wordt aangebracht. De Nikkel-grafiet coating moet nog worden geoptimaliseerd voor het aspect levensduur.

Men past fRICTIEVERBETERAARS en smeermiddelen in de praktijk al toe. Bij treinen is hieraan al het nodige onderzoek uitgevoerd. Echter voor alle soorten fRICTIEVERBETERAARS en smeermiddelen ten behoeve van tram en metro is nog een verdere optimalisatie nodig. Het gaat onder andere om:

- invloed van deze middelen op rem- en tractievermogen;
- milieuaspecten van het gebruik van het middel;
- levensduur van het positieve effect, deze is vaak kort, dit wil zeggen dat de middelen vaak opnieuw moeten worden aangebracht;
- mogelijke verstoring van de detectie.

#### Verende wielen en wioldempers

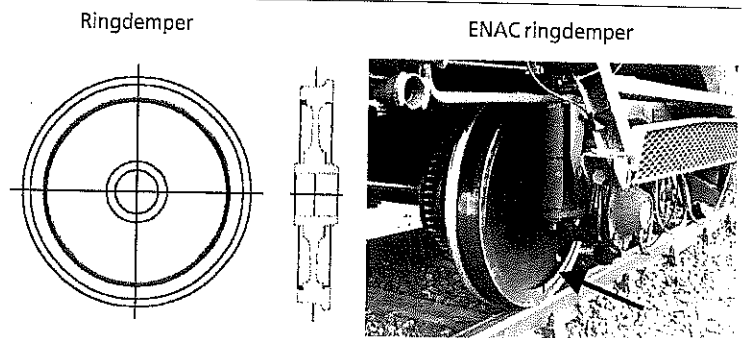
Bij de praktijkproeven bereikte resultaten zijn matig te noemen voor verende wielen en wioldempers. De literatuur duidt echter aan dat meer mogelijk is met deze maatregelen. Verende wielen worden in de tramwereld al veelvuldig toegepast met als hoofddoel het discomfort ten gevolge van stootkrachten te verminderen. De resultaten van de praktijkproeven in dit programma geven aan dat geveerde wielen zich niet anders gedragen dan ongeveerde wielen. Ondanks deze eerste resultaten is de verwachting dat verende wielen toch een vermindering van booggeluid van rond de 5 dB(A) kunnen brengen. Verende wielen worden echter niet bij treinen toegepast. Dit is een gevoelig onderwerp als gevolg van het ICE ongeluk in Eschede (Duitsland), een aantal jaar geleden.

In dit onderzoek zijn zeer beperkte verschillen tussen de met verschillende dempers uitgeruste en ongedempste wielen gevonden. Het is echter de algemene verwachting



dat wioldempers booggeluid met meer dan 5 dB(A) kunnen reduceren. In de literatuur is sprake van een reductie voor booggeluid met wioldempers van 3 tot 12 dB(A). Bij het GVBA zijn wel reducties in booggeluid geconstateerd met de nieuwe Combino trams van Siemens die als proef uitgerust waren met wioldempers. Men is het meest enthousiast over ringdempers (zie figuur 5), die een reductie van het booggeluid tot circa 30 dB(A) kunnen bereiken. Ringdempers zijn relatief eenvoudig toe te passen. Wioldempers kunnen ook het rolgeluid verminderen, daar is echter vaak een andere uitvoering van de wioldemper voor nodig.

Figuur 5. Ringdemper voor wielen bestaande uit een metalen ring, eventueel in combinatie met een tussenliggende polymere laag, die in een groef in de wielband wordt bevestigd. De wrijving tussen de ring en de wanden van de groef zorgt voor de demping.



#### Ten slotte

Naar aanleiding van het uitgevoerde 'Onderzoeksprogramma Booggeluid' kan gesteld worden dat de resultaten van theoretische modellering, laboratoriumproeven en praktijktesten hebben geleid tot een veel beter inzicht in het mechanisme van booggeluid, met name dat van 'stick-slip'. Een aantal veelbelovende maatregelen is gevonden. Hiervan worden frictieverbeteraars en smeermiddelen al beperkt in de praktijk toegepast. Het dient echter opgemerkt te worden dat het vaststellen van het effect van booggeluid reducerende maatregelen moeilijk is en blijft doordat het booggeluidmechanisme afhankelijk is van een groot aantal parameters. De te behalen resultaten zijn onder andere gevoelig voor:

- verontreinigingen op rails (zoals water in de vorm van luchtvochtigheid en regen, vet, olie) en stof van zachte materialen (zoals grafiet), dit verlaagt de wrijving;
- stof (zoals gruis en zand) van harde materialen, dit verhoogt de wrijving;
- meteorologische condities welke een invloed op vochtigheid en stof kunnen hebben waardoor de wrijving verlaagd of verhoogd kan worden.

De demonstratie van de maatregelen in het onderzoeksprogramma booggeluid is gebaseerd op veldmetingen voor enkele bogen. Vanwege de veelvoud aan parameters die booggeluid kunnen beïnvloeden verdient het dus aanbeveling de effectiviteit van de nog niet volledig ontwikkelde maatregelen vast te stellen voor een groter aantal situaties en over een langere periode.

#### Referentie

Het onderliggende samenvattend rapport 'Maatregelen booggeluid railverkeer', in het kader van Onderzoeksprogramma Booggeluid' is als pdf-bestand beschikbaar en kosteloos te downloaden vanaf de website van CROW [www.crow.nl](http://www.crow.nl) (menu 'Producten en diensten').

## Colofon

*Infoblad 'Maatregelen tegen booggeluid van railverkeer'*

Uitgave: CROW, Ede  
Editie: april 2003  
Tekst: Prof. dr. W. Wei,  
Wei Consulting, Enschede  
Onderzoek & foto's: AEA Technology, Utrecht  
NedTrain Consulting, Utrecht  
TNO-TPD, Delft  
Vormgeving: Inpladi BV, Cuijk  
Druk: vanGrinsven drukkers Venlo bv  
Productie: CROW, afdeling Communicatie

### *Disclaimer*

CROW is een onafhankelijke organisatie die kennis wil verspreiden over verkeer, vervoer en infrastructuur. CROW heeft geen mening of doet geen aanbevelingen over producten of leveranciers. Merknamen of de namen van leveranciers komen alleen voor in dit infoblad omdat het noodzakelijk is voor de duidelijkheid en volledigheid. Aan de vermelding mogen geen rechten, voor- of nadelig, worden ontleend.

### *Auteursrecht*

De inhoud van dit infoblad valt onder bescherming van de auteurswet. De auteursrechten berusten bij CROW.

Prijs € 1,50 (verzending € 5,- ongeacht het aantal bestelde exemplaren). Bij CROW te bestellen onder vermelding van het artikelnummer: 696

per post: postbus 37, 6710 BA Ede  
per fax: (0318) 62 11 12  
via de website: [www.crow.nl/shop](http://www.crow.nl/shop)

Galvanistraat 1, 6716 AE Ede  
Postbus 37, 6710 BA Ede  
tel. (0318) 69 53 00  
fax (0318) 62 11 12  
website [www.crow.nl](http://www.crow.nl)