

# Bomenrijen ter verbetering van de efficiëntie van geluidsschermen in wind

Het plaatsen van geluidsschermen is nog steeds een belangrijke maatregel ter bestrijding van de hinder veroorzaakt door verkeersgeluid. Reeds lange tijd is bekend dat belastede wind ervoor zorgt dat de geluidsschermen een groot deel van hun efficiëntie verliezen. Dit onderzoek richt zich op het verhelpen van dit probleem door het plaatsen van bomenrijen, die als windvang functioneren.

Timothy van Renterghem en Dick Botteldooren

Geluidsvoortplanting in buitenomgeving wordt beïnvloed door meteorologische omstandigheden. In het bijzonder zullen wind- en temperatuursgradiënten geluid afbuigen. De windsnelheid stijgt veelal met de hoogte boven het aardoppervlak. Hierdoor buigt geluid naar beneden toe windafwaarts van de bron. In de buurt van obstakels zoals bijvoorbeeld geluidsschermen treden nog grotere (positieve) gradiënten op in de windsnelheid. Op de top van het scherm is de windsnelheid quasi nul, terwijl boven het scherm door opstuwung van de luchtstroom grote snelheden waargenomen worden. Geluid wordt dus in sterke mate neerwaarts afgebogen over het scherm, hetgeen een belangrijke daling van de schermefficiëntie bewerkstelligt. Een verlies in schermwerking van 10 dB komt dan ook vaak voor. Dit fenomeen wordt aangeduid met de term scherm-geïnduceerde afbuiging van geluid door wind. In de literatuur is de voorbije twintig jaar uitgebreid gerapporteerd over dit probleem,<sup>1-4</sup> maar adequate oplossingen bleven achterwege. Om de scherm-geïnduceerde afbuiging te beperken, dient het windprofiel in de buurt van een geluidsscherm te worden verbeterd. Een mogelijk oplossing is het bedenken van alternatieve schermtoppen

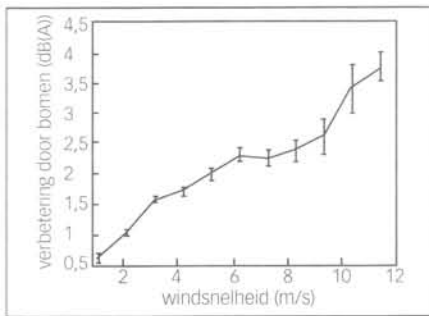
of meer aërodynamische schermen. Onderzoek hieromtrent is echter weinig hoopgevend. De constructie van dergelijke schermen zou trouwens duur en moeilijk zijn. Een verbetering van de werking van reeds geplaatste geluidsschermen in een windsituatie is moeilijk bij een dergelijke benadering. Een betere oplossing is het gebruik van bomenrijen om de windsnelheid vlak boven een geluidsscherm te beperken.<sup>5-6</sup> Het gebruik van bomenrijen om negatieve effecten van wind op te vangen kent zijn oorsprong in de landbouw. Reeds eeuwen worden bomenrijen rond akkers geplaatst. Niet enkel om rechtstreekse (mechanische) windschade te beperken, maar ook bijvoorbeeld om uitdroging van de bodem te verhinderen en hogere concentraties aan koolstofdioxide te behouden in de buurt van het gewas. Het gebruik van bomenrijen na geluidsschermen heeft als belangrijk voordeel dat deze maatregel kan toegepast worden op bestaande geluidsschermen. Verder kan een rij bomen zorgen voor een betere integratie van een geluidsscherm in een landschap. Het onderzoek naar het gebruik van bomenrijen om de efficiëntie van geluidsschermen in wind te verbeteren is driedelig. In eerste instantie werden in een windtunnel experimenten uitgevoerd op een schaalmodel.<sup>5</sup> De bevindingen van deze studie werden bevestigd door de resultaten van een veldexperiment langs een autosnelweg.<sup>6</sup> Vervolgens werd een analyse van de belangrijkste parameters gemaakt door middel van numerieke simulaties.

## WINDTUNNELEXPERIMENT

Het doel van het windtunnelexperiment was enerzijds het onderzoek naar het effect van bomenrijen op de efficiëntie van geluidsschermen, alsook het leveren van data voor het valideren van numerieke rekenmodellen. Om de windvangcapaciteit van de kruinen van bomen te simuleren, werden synthetische windschermen gebruikt met een porositeit van 32%. Dergelijke windschermen zorgen voor een belangrijke reductie van windsnelheid in een breed gebied na het scherm. Deze schermen waren nagenoeg akoestisch neutraal. Testen werden gedaan voor twee relatief hoge windsnelheden namelijk 6.4 m/s and 11 m/s, gemeten boven de grenslaag in de windtunnel. De windrichting stond loodrecht op de geluidsschermen. Er werd een schaalmodel van een verkeerssituatie nagebootst. Een lijnbron op grondniveau stuurde een signaal uit met frequenties tussen 500 en 1000 Hz (op volle schaal), hetgeen een belangrijke component is van verkeersgeluid. Zowel enkelvoudige geluidsschermen als geluidsschermen aan beide zijden van de bron werden onderzocht, in combinatie met windschermen. Zo werd bijvoorbeeld het effect van een windscherm, enkel na het windafwaarts geluidsscherm getest, alsook het effect van windschermen achter beide geluidsschermen. Bij het onderzoek naar enkelvoudige geluidsschermen werd onder andere de hoogte van het windscherm gevarieerd. De geluidsschermen waren akoestisch hard, en de bodem in de windtunnel was eerder zacht. Metingen wer-

### Over de auteurs:

Ir. T. van Renterghem en prof. dr. ir. D. Botteldooren zijn beiden werkzaam bij de groep Akoestiek, aan de vakgroep Informatie Technologie (INTEC) van de Universiteit Gent (België), respectievelijk als hoofddocent en docentorandus.



FIGUUR 1: VERBETERING VAN DE EFFICIËNTIE VAN HET GELUIDSSCHERM (IN DB(A)) BIJ STIJGENDE WINDSNELHEID (OP EEN HOOGTE VAN 12 M, IN M/S) TIJDENS HET VELDEXPERIMENT, MET AANDUIDING VAN DE STANDAARDFOUT OP HET GEMIDDELDE (FOUTENVLAGGEN).

den verricht op afstanden variërend van drie tot tien maal de hoogte van het geluidsscherm (aangeduid door H) na het (windafwaarts) geluidsscherm, en dit op een hoogte van 0.5H. De afstand tussen bron en geluidsscherm(en) bedroeg 2H tijdens de experimenten.

Metingen wezen uit dat bij sterke wind (11 m/s) in afwezigheid van windschermen bij de dubbele schermopstellingen de schermefficiëntie volledig verloren ging. Met stijgende afstand na het scherm en stijgende windsnelheid leverde het gebruik van windschermen een steeds belangrijkere verbetering. Voor een enkel windscherm na het windafwaarts geluidsscherm werd een winst gemeten van ongeveer 6 dB op afstand 10H. Bij de enkelvoudige schermopstellingen werd op dezelfde plaats 3 dB winst opgetekend.

#### VELDEXPERIMENT

In de windtunnel konden enkele parameters niet onderzocht worden omwille van praktische beperkingen, zoals bijvoorbeeld het effect van lage windsnelheden en windrichtingen anders dan loodrecht op het scherm. Tevens kon in een veldexperiment de volledige invloed (inclusief mogelijke verstrooiing) van geluidsvoortplanting doorheen een rij bomen bekeken worden.

Een continue meetcampagne werd gestart in de zomer van 2001 en duurde tot het midden van de herfst in hetzelfde jaar. Een locatie werd uitgekozen langs een drukke autosnelweg (E40 ter hoogte van Aalst, België) met een voldoende lang geluidsscherm langs beide zijden van de weg (H = 4 m). De afstand tussen beide schermen bedroeg 8H. Langs een zijde van de weg was op sommige plaatsen achter het geluidsscherm een rij bomen aanwezig. De kruinenlaag stak twee maal de hoogte van het geluidsscherm boven de top van het geluidsscherm uit. Een microfoon werd geplaatst achter een deel met en een deel zonder bomen, zodat het effect van de bomen rechtstreeks kon ver-

geleken worden. De meethoogte bedroeg 0.8H, en de microfoons werden geplaatst op een afstand gelijk aan 9H na het geluidsscherm. Beide meetpunten lagen voldoende dicht bij elkaar, zodat de geluidsbron gelijk kon verondersteld worden.

Totale A-gewogen equivalente geluidsdrukniveaus over periodes van 1 minuut werden continu geregistreerd.

Tezelfdertijd werd meteodata (windrichting, windsnelheid en regenvalintensiteit) verzameld op een hoogte gelijk aan 3H. Een uitgebreide dataset van ongeveer 87.000 gecombineerde akoestische en meteo-gegevens over opeenvolgende periodes van 1 minuut was het resultaat van deze meetcampagne.

Figuur 1 toont de verbetering van de efficiëntie van het geluidsscherm door het plaatsen van een rij bomen, in functie van stijgende windsnelheid, voor een loodrecht invallende windrichting. Reeds bij lage windsnelheden worden positieve effecten verkregen.

Wanneer de windrichting afwijkt van de normaal op het scherm blijven de effecten grotendeels behouden. Een daling in het positief effect van de bomen van nauwelijks 0.5 dB(A) werd waargenomen, wanneer ook windrichtingen beschouwd werden die tot 45 graden afweken van de loodrechte op het scherm. Dit toont aan dat het positief effect van bomenrijen op de efficiëntie van geluidsschermen in wind niet beperkt is tot een klein aantal dagen waarbij de wind uit een welbepaalde richting waait. Verstrooiing van geluid op de kruinen van bomen wordt vaak aangehaald als argument tegen het plaatsen van bomen dicht bij geluidsschermen. Metingen bij windstilte wezen uit dat bij een frequentie van 10 kHz tot 6 dB meer geluid wordt waargenomen achter het geluidsscherm wanneer bomen aanwezig zijn. De bijdrage van deze hoogfrequente

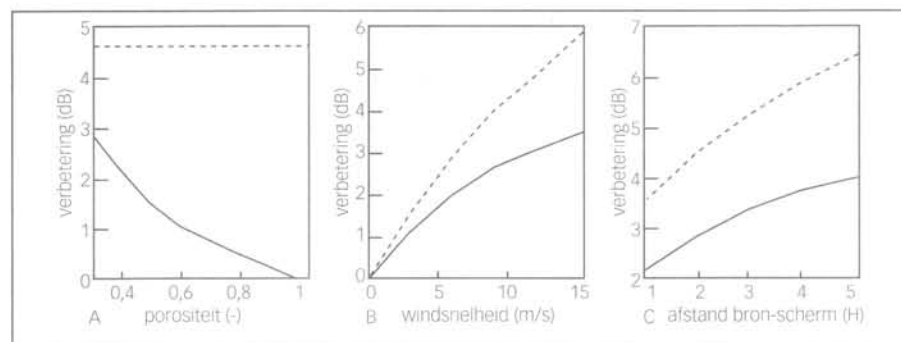
verstrooiing tot het totale A-gewogen geluidsdrukniveau is echter verwaarloosbaar voor typisch verkeerslawaai. Deze bevindingen worden bevestigd door andere onderzoekers.<sup>7</sup> Het plaatsen van bomen zal dus niet voor een slechtere situatie zorgen in windstille periodes.

#### SIMULATIES

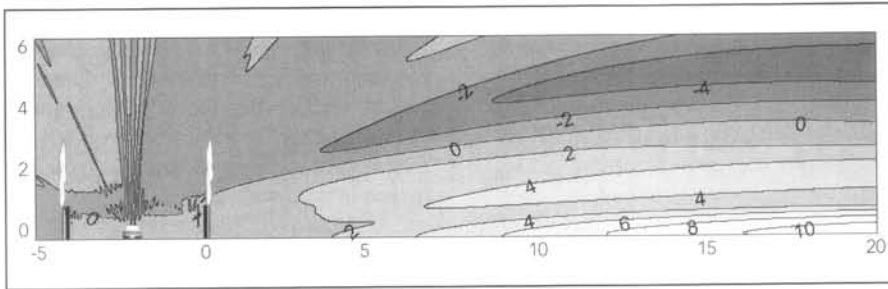
Met behulp van numerieke simulaties werd onderzoek gedaan naar de parameters die van belang zijn bij het plaatsen van bomen achter geluidsschermen. In de experimenten werden slechts op één hoogte metingen verricht, en tot op beperkte afstanden na het scherm. Het is van belang de effecten van het plaatsen van bomenrijen ook op andere hoogtes en grotere afstanden te bekijken. Onderstaande conclusies zijn gebaseerd op gemiddelde effecten in een focusgebied na het (windafwaarts) geluidsscherm, tot op een afstand van 20H en tot op een hoogte gelijk aan 1H (H = 3.6 m). Dit is het gebied waar de belangrijkste effecten van het plaatsen van een geluidsscherm verwacht worden.

Er werd geopteerd om de eindige-differentie in het tijdsdomein techniek te gebruiken. In eerste instantie wordt de stroming rond het geluidsscherm (in combinatie met windschermen) berekend met behulp van een numeriek stromingspakket. Deze zeer gedetailleerde informatie wordt dan gebruikt voor de simulatie van de geluidsvoortplanting over de schermen. Er werd goede overeenstemming bereikt tussen experimentele resultaten en simulaties met deze numerieke methode, voor zowel onze windtunnelstudie<sup>5</sup> als voor vergelijkbare experimenten, gerapporteerd in de literatuur.<sup>4</sup>

Enkele parameters werden onderzocht voor een enkelvoudig geluidsscherm, in combinatie met een bomenrij die tweemaal de schermhoogte uitsteekt boven de top van het geluidsscherm. De bodem



FIGUUR 2: GEMIDDELDE VERBETERING (VOLLE LIJNEN) VAN DE EFFICIËNTIE VAN HET GELUIDSSCHERM (IN DB) IN FUNCTIE VAN POROSITEIT (A), WINDSNELHEID (B) EN AFSTAND TUSSEN BRON EN SCHERM (UITGEDRUKT IN SCHERMHOOGTES) (C). DE GROOTTE VAN DE SCHERM-GEÏNDUCEERDE AFBUIGING (IN AFWEZIGHEID VAN BOMEN) IS AANGEDUID MET DE STIPPELLIJK. EEN ENKELVOUDIG SCHERM IS GESIMULEERD MET EEN BOMENLAAG DIE TWEE MAAL DE SCHERMHOOGTE BOVEN DE TOP VAN HET GELUIDSSCHERM UITSTEKT. EEN POROSITEIT VAN 0.3, EEN REFERENTIE-WINDSNELHEID VAN 11 M/S (OP EEN HOOGTE VAN 10 M) EN EEN AFSTAND TUSSEN BRON EN SCHERM VAN 2H IS GEKOZEN, TENZIJ EEN BEPAALDE PARAMETER EXPLICIET ONDERZOEKT WERD.<sup>5</sup>



FIGUUR 3: CONTOUREN VAN GELIJKE VERBETERING VAN DE GELUIDSSCHERMEFFICIËNTIE DOOR HET PLAATSEN VAN BOMEN (IN DB), VOOR TYPISCH VERKEERSGELUID. AFSTANDEN ZIJN UITGEDRUKT, RELATIEF TOT DE HOOGTE VAN HET GELUIDSSCHERM. DE POROSITEIT VAN DE BOMENLAAG BEDRAAGT 30%. DE REFERENTIE-WINDSNELHEID IS 11 M/S OP EEN HOOGTE VAN 10 M. DE BODEM TUSSEN DE SCHERMEN IS HARD (WEGBEDEKKING), NA DE SCHERMEN IS EEN ACOËSTISCH ZACHTE GROND GEMODELLEERD (BIJVOORBEELD GRASLAND).

windafwaarts van het scherm is zeer zacht verondersteld, terwijl een harde bodem werd gesimuleerd voor het gedeelte windopwaarts van het scherm. Een geluidsbron met een vlak spectrum tussen 250 en 500 Hz werd gebruikt tijdens de simulaties.

Het is van belang een goed zicht te hebben op de invloed van de porositeit van de bomenkruinen, om de effecten van loofbomen doorheen een gans jaar te kunnen begroten. Simulaties wezen uit (zie figuur 2 (a)) dat bij dalende porositeit het gemiddeld effect van de bomen in het focusgebied stijgt. In de winter zal de invloed van de bomenrijen dus grotendeels verdwijnen. Op welbepaalde plaatsen is het echter wel mogelijk dat een lagere porositeit een groter effect teweegbrengt, en dit door een combinatie van wind- en bodemeffect. De globale invloed van de windsnelheid in het gebied is ook duidelijk: bij stijgende windsnelheid wordt het plaatsen van de bomen belangrijker, maar vanaf 10 m/s treedt verzadiging op voor wat betreft het gemiddeld effect (zie figuur 2 (b)). Met stijgende afstand tussen bron en geluidsscherm wordt het negatief effect van de wind groter, alsook de efficiëntie van de bomenrij (zie figuur 2 (c)).

In figuur 3 is het effect van het plaatsen van een bomenrij (2H) achter de geluidsschermen aan beide zijden van de weg getoond, voor een typisch verkeerspectrum. De resultaten worden weergegeven tot op een afstand van 20H na het windafwaarts scherm, en tot op een hoogte gelijk aan 6H. We zien dat in het gebied waarin waarnemers zich kunnen bevinden, positieve effecten bereikt worden. Vlak na het scherm speelt de schermgeïnduceerde afbuiging weinig rol en is het effect van de bomen dan ook beperkt. Op afstanden groter dan 15H zorgt het plaatsen van een rij bomen voor een verbetering van meer dan 10 dB. De effecten van wind kunnen in belangrijke mate geneutraliseerd worden met een dergelijke opstelling in het focusgebied.

#### BESLUIT

Er werd aangetoond met behulp van een windtunnelstudie en een veldexperiment dat het plaatsen van een rij bomen de efficiëntie van een geluidsscherm in wind in belangrijke mate kan verbeteren. Voor verkeersgeluid is dit effect (op het totale A-gewogen geluidsdrukniveau) gemiddeld veel groter dan het (mogelijk) negatief effect door verstrooiing op de kruinen van de bomen, dat in deze context vaak als minpunt wordt vermeld. De eindgedifferentie in het tijdsdomein techniek in combinatie met gedetailleerde stromingberekeningen, maakt het mogelijk het effect van bomenrijen in praktijksituaties te begroten en te optimaliseren.



#### LITERATUUR

1. R. de Jong en E. Stusnick, 'Scale model studies of the effect of wind on acoustic barrier performance', *Noise control engineering* vol. 6, 1976, pp. 101-109.
2. K.B. Rasmussen en M.G. Arranz, 'The insertion loss of screens under the influence of wind', *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 104, 1998, pp. 2692-2698.
3. E.M. Salomons, 'Effectiviteit van geluidsschermen op de tocht', *Geluid nummer 5*, december 2000, pp. 131-133.
4. E. M. Salomons, 'Reduction of the performance of a noise screen due to screen-induced wind-speed gradients. Numerical computations and wind tunnel experiments', *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 105, 1999, pp. 2287-2293.
5. T. van Renterghem, D. Botteldooren, W. Cornelis en D. Gabriels, 'Reducing screen-induced refraction of noise barriers in wind by vegetative screens', *Acustica - Acta acustica* vol. 88, 2002, pp. 231-238.
6. T. van Renterghem en D. Botteldooren, 'Effect of a row of trees behind noise barriers in wind', *Acustica - Acta acustica* vol. 88, 2002, pp. 869-878.
7. M.J.M. Martens, 'Foliage as a low-pass filter: Experiments with model forests in an anechoic chamber', *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 67, 1980, pp. 66-72.