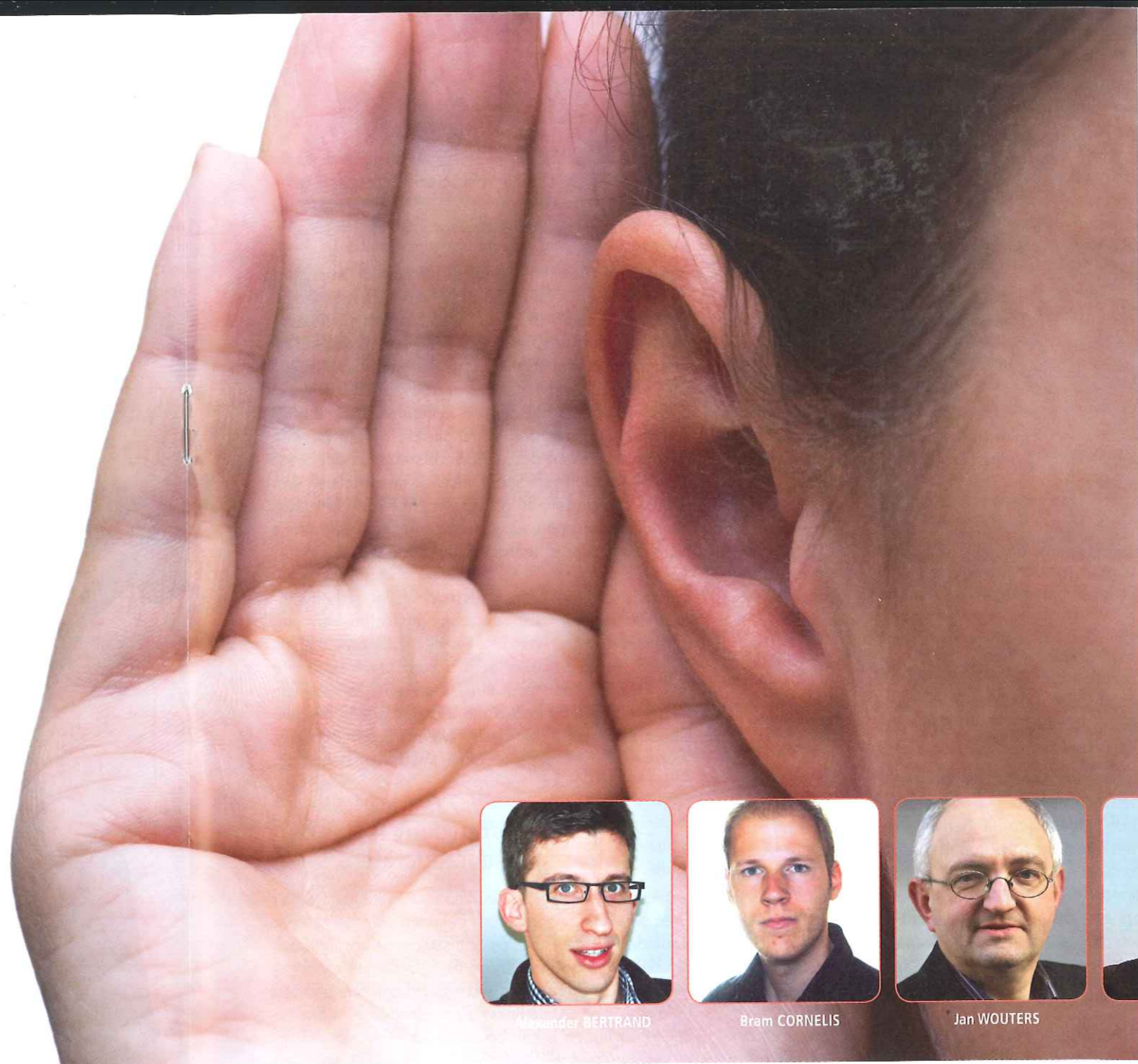


Hoorapparaten worden geheel onterecht vaak gezien als eenvoudige geluidsversterkers. Digitale hoorapparaten van de huidige generatie bevatten echter geavanceerde signaalverwerkingsalgoritmen die oplossingen kunnen bieden voor verschillende problemen geassocieerd met gehoorverlies. Zo zijn ruisonderdrukkingsalgoritmen cruciaal om het spraakverstaan te verbeteren in rumoerige omgevingen. Recente doorbraken binnen dit domein zullen toelaten om de ruisonderdrukking sterk te verbeteren via binaurale hoorapparaten en zogenaamde draadloze akoestische sensornetwerken.

**A. Bertrand, B. Cornelis,  
J. Wouters en M. Moonen**



Alexander BERTRAND



Bram CORNELIS



Jan WOUTERS



MARC MOONEN

# “Hoe zegt u?”

## Beter spraakverstaan met binaurale hoorapparaten en akoestische sensornetwerken

**V**olgens een recente studie heeft 1 op 6 volwassen Europeanen te kampen met een significant gehoorverlies<sup>[1]</sup>. Dit verontrustend grote aantal zal naar alle waarschijnlijkheid verder toenemen: enerzijds is er de vergrijzing van de bevolking, anderzijds loopt de jongere generatie ook meer risico door de blootstelling aan luide muziek - getuige daarvan is het recente Vlaamse voorstel voor strengere geluidsnormen op festivals en bij optredens.

Sinds enkele decennia kunnen hoorapparaten technische oplossingen bieden voor aspecten van slechthorendheid. Deze apparaatjes zijn echter al lang niet meer de eenvoudige versterkers van vroeger. Digitale hoorapparaten van de huidige generatie bevatten geavanceerde signaalverwerkingsalgoritmen, die oplossingen bieden voor de verschillende problemen geassocieerd met gehoorverlies. Het ontwerp van zulke digitale hoorapparaten stelt een aantal interessante ingenieursuitdagingen.

Enerzijds zijn er technische beperkingen zoals een laag energieverbruik (typische batterijcapaciteiten zijn tussen 5 en 575 mAh, met een vereiste batterijduur van 1 tot 14 dagen<sup>[2]</sup>), waardoor efficiënte algoritmes vereist zijn. Anderzijds zijn er ook psycho-akoestische beperkingen. Zo mag bv. de totale vertraging die door de signaalverwerking wordt geïntroduceerd niet te groot zijn om de synchronisatie tussen geluid en beeld niet te verstoren<sup>[2]</sup>. Eén van de meest voorkomende klachten bij slechthorenden is het verminderd spraakverstaan in rumoerige

omgevingen. Hoorapparaten bevatten daarom een ruisonderdrukkingsalgoritme dat ongewenste stoorsignalen (aangeduid met de term ‘ruis’) onderdrukt. Om het gewenste spraaksignaal beter te verstaan in alledaagse omgevingen wordt er vereist dat deze algoritmen de signaal-tot-ruisvermogenverhouding verhogen met 4 tot 10 dB<sup>[2]</sup>. In dit artikel bespreken we de huidige ruisonderdrukking in hoorapparaten en werpen we ook een blik op de toekomst: ruisonderdrukking in binaurale hoorapparaten en akoestische sensornetwerken.

### Ruisonderdrukking met één microfoon: spectrale filtering

Ruisonderdrukking algoritmen op basis van één microfoon signaal maken gebruik van temporele en spectrale verschillen tussen spraak en ruis. Het microfoon signaal wordt bv. gefilterd zodanig dat, op een bepaald moment, frequenties die weinig spraak en veel ruis bevatten sterker worden onderdrukt dan de frequenties waarin spraak dominant is. Deze technieken zijn echter niet in staat om het spraakverstaan te verbeteren [2]. Omdat spraak- en ruisspectra vaak grotendeels overlappen, is het inderdaad erg moeilijk om ruis weg te filteren zonder ook het spraakspectrum aan te tasten. Niettemin bevatten de meeste hoorapparaten dergelijke spectrale-filteringstechnieken, aangezien die wel kunnen toelaten het algemeen luistercomfort te verbeteren [2]. Voor het effectief verbeteren van het spraakverstaan, wordt daarom ruisonderdrukking met meerdere microfoons (in een zogenaamd microfoonrooster) toegepast.

### Ruisonderdrukking met microfoonroosters: spectrale en spatiale filtering

In bijna alle akoestische scenario's bevinden de ruisbronnen zich op andere posities dan de gewenste spraakbron. Indien gebruik gemaakt wordt van een rooster met meerdere microfoons kunnen deze spatiale eigenschappen efficiënt benut worden. Met zogenaamde *bundelsturingstechnieken* kunnen de microfoon signalen op een optimale manier met elkaar gecombineerd worden om de gewenste spraak uit bepaalde richtingen te versterken, en de ruis uit andere richtingen te onderdrukken.

Bundelsturing werkt op basis van destructieve en constructieve interferentie. Een geluidsgolf die op een microfoonrooster invalt vanuit een bepaalde richting, bereikt elke microfoon op een verschillend tijdstip. Op basis van kennis van de onderlinge posities van de microfoons en de invalrichting van het gewenste spraaksignaal kunnen de spraakcomponenten in alle microfoon signalen gealigneerd worden via filteringstechnieken.

Door de spraakcomponenten in elk signaal te aligneren en daarna te combineren, treedt er constructieve interferentie op, terwijl de ruiscomponenten grotendeels niet gealigneerd zijn en daardoor destructief interfereren.

Dergelijke technieken vereisen echter *a priori* kennis over de onderlinge microfoonposities, en de richting waaruit het gewenste spraaksignaal invalt. Zo kan men veronderstellen dat de spreker zich vlak voor de luisteraar bevindt, maar dit impliceert dan een grote gevoeligheid aan hoofdbewegingen. Voor een beter comfort is het dus aangewezen om dergelijke veronderstellingen te vermijden, en worden zogenaamde *blinde* bundelsturingstechnieken gebruikt. Deze steunen nog steeds op gelijkaardige principes, maar de filtering en combinatie van de microfoon signalen wordt automatisch geoptimaliseerd op basis van wiskundige en statistische technieken, zonder kennis van het fysische scenario [3].

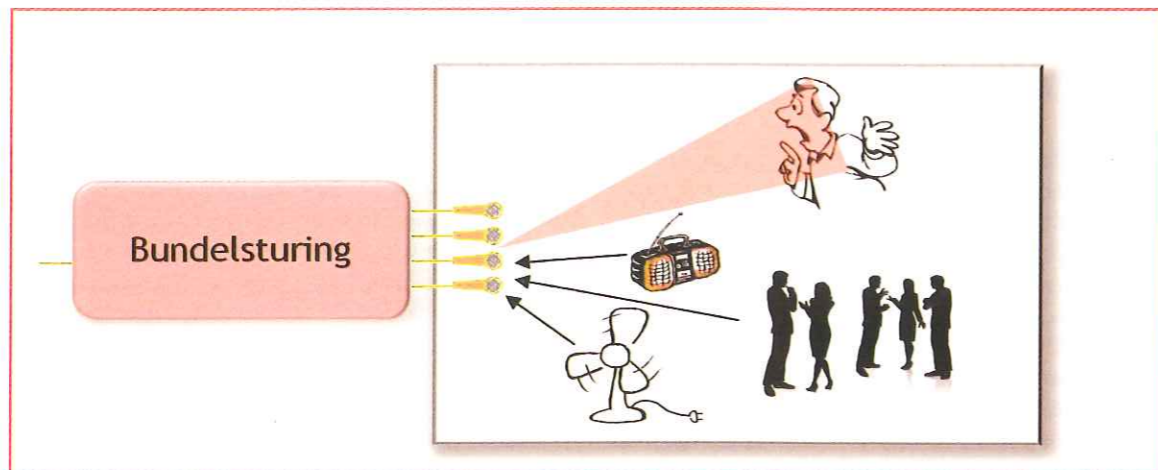
In tegenstelling tot ruisonderdrukking met één microfoon verbeteren ruisonderdrukkingstechnieken met microfoonrooster wel degelijk het spraakverstaan [2]. Typisch werkt de ruisonderdrukking beter naarmate meer microfoons beschikbaar zijn en naarmate de microfoons beter gespreid zijn. Hoorapparaten beschikken echter meestal over slechts twee of drie microfoons, vooral wegens de beperkte dimensies van de behuizing.

### Ruisonderdrukking in binaurale hoorapparaten

Het auditief systeem is een *binauraal* systeem, waarbij twee oren samenwerken om geluiden waar te nemen. Door de verschillende aankomsttijden en amplitudes van de geluidsgolven aan de twee oren met elkaar te vergelijken, is ons auditief systeem in staat om geluiden te lokaliseren (d.i. de links-rechts lokalisatie). Correcte geluidslokalisatie is een belangrijk doel op zich, bv. in verkeerssituaties. Het kan ons echter ook in staat stellen om geluidsbronnen beter van elkaar te onderscheiden, waardoor het spraakverstaan in rumoerige situaties verbetert [4].

Veel slechthorenden hebben een gehoorverlies aan beide oren, en velen dragen daarom twee hoorapparaten.

Op basis van bundelsturingstechnieken kunnen geluidsbronnen uit bepaalde richtingen behouden worden en uit andere richtingen onderdrukt worden.



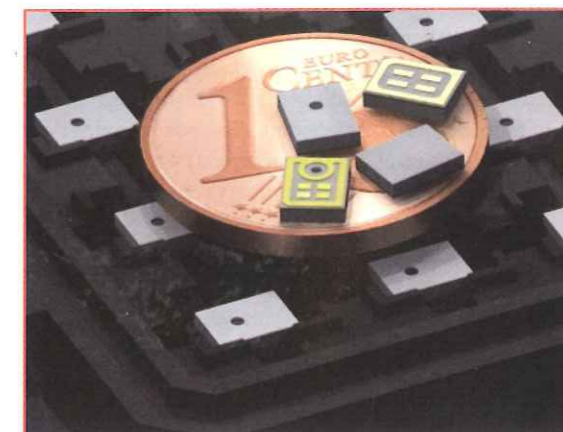
Bij het ontwerp van deze hoorapparaten werd een dergelijke binaurale toepassing echter niet expliciet beoogd, waardoor ze de binaurale informatie verstoren en correcte geluidslokalisatie onmogelijk maken. Meer recent werden ook binaurale hoorapparaten ontwikkeld, waarbij de twee apparaten microfoon signalen met elkaar kunnen uitwisselen via een draadloze verbinding. Deze uitwisseling biedt twee grote voordelen. Vooreerst, aangezien ieder apparaat ook kan beschikken over microfoon signalen van het andere apparaat, neemt het aantal beschikbare microfoon signalen per apparaat toe, waardoor de ruisonderdrukking kan worden verbeterd. Daarnaast wordt het echter ook mogelijk om de ruisonderdrukking van beide apparaten op elkaar af te stemmen zodat de binaurale informatie en bijgevoel geluidslokalisatie niet verstoord wordt [5].

### Ruisonderdrukking in draadloze akoestische sensornetwerken

Aangezien een betere ruisonderdrukking mogelijk is naarmate er meer microfoon signalen beschikbaar zijn, is het nuttig om extra externe microfoons te verspreiden over de omgeving, en deze microfoon signalen draadloos te verzenden naar het hoorapparaat. Dit vergroot niet alleen het aantal microfoons, maar het verhoogt ook de kans dat er microfoons beschikbaar zijn die dicht bij de gewenste spraakbron staan, en dus betere signalen leveren. De afstand tussen een geluidsbron en de microfoon is namelijk heel bepalend voor de kwaliteit en signaal-tot-ruisvermogen verhouding van het opgenomen signaal.

Er bestaan reeds systemen waarbij bv. een externe draadloze microfoon, die in verbinding staat met een hoorapparaat, kan opgespeld worden bij een spreker (bv. een schooljuf) [2]. Ook binaurale hoorapparaten (zie vorige sectie) maken gebruik van elkaars microfoon signalen om de lokale ruisonderdrukking te verbeteren. In de toekomst zullen dergelijke systemen evolueren naar complexere structuren, waar de hoorapparaatgebruiker omgeven is door draadloze microfoons. Aangezien microfoons steeds energiezuiniger en kleiner worden (zie foto) kunnen deze gemakkelijk geïntegreerd worden in kledij, meubels, muren, etc. De gebruiker kan bovendien zelf enkele microfoons op strategische plaatsen leggen, bv. dicht bij een stoorbron voor het opnemen van ruisreferenties, of dicht bij gewenste sprekers.

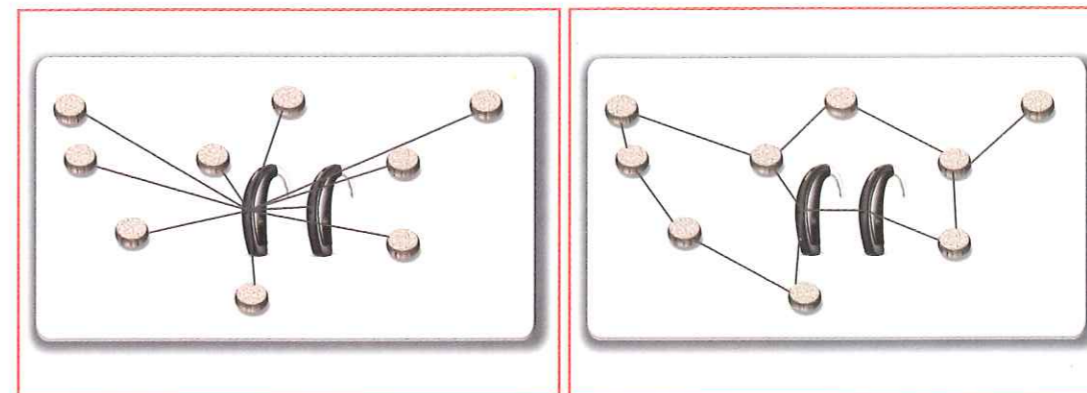
De externe microfoon signalen kunnen ook afkomstig zijn van andere aanwezige apparaten zoals mobiele telefoons, laptops, of andere hoorapparaten.



MEMS<sup>1</sup> microfoons van STMicroelectronics  
<sup>1</sup>MEMS = micro-elektromechanisch systeem

Door al deze microfoons draadloos te verbinden ontstaat een zogenaamd draadloos akoestisch sensornetwerk, waarin elk knooppunt één of meer microfoons bevat, samen met voorzieningen voor draadloze communicatie en lokale signaalverwerking. Er wordt verwacht dat dergelijke akoestische sensornetwerken aanleiding zullen geven tot een enorme verbetering in performantie en flexibiliteit. Het ontwerp van dergelijke systemen is echter extreem uitdagend omwille van het grote aantal microfoons op onbekende posities, de synchronisatie en hoge belasting van het netwerk, en de lage vereiste vertraging.

Het beperken van het energieverbruik in dergelijke systemen is veruit de belangrijkste uitdaging. Wegens de beperkte lokale energievoorziening van elk knooppunt is het onmogelijk om alle beschikbare microfoon signalen op één plaats te verzamelen en te verwerken (het energieverbruik stijgt typisch kwadratisch met het aantal te verwerken signalen [6]), en kunnen knooppunten bv. enkel communiceren met naburige knooppunten. Daarom ook moet het rekenwerk verdeeld worden, waarbij elk knooppunt een deel van het werk op zich neemt. De signalen die tussen knooppunten worden uitgewisseld zijn dan 'intelligente' combinaties van de eigen microfoon signalen en de ontvangen signalen uit andere delen van het netwerk. Dit maakt het geheel schaalbaar en energiezuinig.



In een gecentraliseerde verwerking (links) worden alle microfoon signalen verzameld en verwerkt in één knooppunt. In een gedistribueerde verwerking (rechts) worden de signalen in het netwerk zelf verwerkt, en worden er enkel signalen uitgewisseld tussen naburige knooppunten.

Een dergelijke gedistribueerde verwerking is echter niet triviaal omdat elk knooppunt slechts een klein deel van de volledige netwerkinformatie beschikbaar heeft. Door gebruik te maken van recent ontwikkelde gedistribueerde optimalisatietechnieken is het toch mogelijk om een optimale ruisonderdrukking te bekomen in elk individueel knooppunt alsof alle microfoonsignalen daar toch beschikbaar zouden zijn, ook wanneer elk knooppunt (inclusief het hoorapparaat) slechts een heel beperkt aantal signalen ontvangt en verwerkt [6].

### Conclusies

Ondanks de enorme technologische vooruitgang in het ontwerp van hoorapparaten, en in het bijzonder de introductie van ruisonderdrukkingalgoritmen, blijven veel gebruikers problemen ondervinden met spraakverstaan in rumoerige omgevingen. Daarom worden momenteel binaurale hoorapparaten ontwikkeld, waarbij twee hoorapparaten samenwerken om een beter

spraakverstaan te bekomen. De volgende stap is de uitbreiding naar grotere draadloze akoestische sensor-netwerken, die een aanzienlijke performantieverbetering mogelijk zullen maken.

### Referenties

- [1] B. Shield (2006), "Evaluation of the Social and Economic Costs of Hearing Impairment", a report for Hear-it AISBL.
- [2] H. Dillon (2001), "Hearing Aids", Boomerang Press, Sidney, Australia
- [3] S. Doclo et al. (2002), "GSVD-based optimal filtering for single and multimicrophone speech enhancement", IEEE Trans. On Signal Process., pp. 2230-2244, vol. 50, no. 9.
- [4] J. Blauert (1996), "Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localisation", MIT Press, 1996.
- [5] B. Cornelis et al. (2010), "Theoretical analysis of binaural multi-microphone noise reduction techniques", IEEE Trans. Audio, Speech, Lang. Process., vol. 18, no. 2, pp. 342-355.
- [6] A. Bertrand et al. (2009), "Robust distributed noise reduction in hearing aids with external acoustic sensor nodes", EURASIP Journal on Adv. in Sign. Process., Article ID 530435.

# eurofinish brengt de toekomst van oppervlaktebehandeling dichterbij!

## Nieuwe initiatieven op de beursvloer

- 1 Niet-commerciële en wetenschappelijke demo's zijn te bezichtigen op het **technologie forum**
- 2 Een bezoeker wil een product kunnen vastnemen, bekijken, de apparatuur in werking zien. Het **D(emo)-traject** neemt de bezoeker daarom mee langs standplaatsen waar vooruitstrevende en innoverende **toepassingen LIVE** worden **gedemonstreerd**.
- 3 Ontmoet Europese collega's via het **'Innovation seminar and matchmaking event'**, een samenwerking tussen **Enterprise Europe Netwerk Vlaanderen** en de **Eureka E!-SURF actie**.

## Trekpleisters van Eurofinish

- 1 Op het innovatietraject ontdekt men tal van **praktijkgerichte innovaties** om **rendementsverbeteringen** te realiseren.
- 2 Een rijk pallet aan seminars: voor de houtindustrie tot protective coatings, toelichting bij oppervlaktebehandeling van vandaag en morgen.
- 3 **Op het informatie-eiland** vindt men alle info over oppervlaktebehandeling in België en over VOM vzw. VOM-medewerkers gidsen de bezoeker met plezier doorheen het beurstraject.

Meer informatie?  
Bezoek zeker de website:  
[www.eurofinish.be](http://www.eurofinish.be)



**vito**  
vision on technology

VITO is een toonaangevend Europees, onafhankelijk onderzoeks- en adviescentrum, dat innovatieve technologieën en wetenschappelijke kennis praktisch toepasbaar maakt voor overheden en industrie.

VITO is actief in milieu-, energie- en materiaal-technologie, industriële productie- en proces-technologieën en aardobservatie.

VITO levert intelligente en kwalitatieve oplossingen waar grote en kleine bedrijven concurrentieel voordeel uithalen, en objectief onderzoek, studies en adviezen, die industrie en overheden in staat stellen hun toekomstbeleid te bepalen.

VITO's onderzoek vindt zijn toepassing in nieuwe, efficiënte en goedkopere productietechnologieën, verminderd energieverbruik, biomaterialen, gezondheidszorg, milieuzorg enz., alsook het in kaart brengen en monitoren van de effecten van klimaatwijziging. Hierbij zijn het vrijwaren van het leefmilieu en het duurzaam gebruik van energie en grondstoffen steeds prioritair.

VITO's onderzoekscentrum is gevestigd in Mol, met satellietkantoren in Berchem en Oostende.

VITO telt circa 600 hooggekwalificeerde medewerkers uit diverse specialismen en werkt samen met sectorfederaties en hun onderzoekscentra, universiteiten en hogescholen, Europese onderzoeksinstituten, ...

Bezoek VITO op  
zondag 2 oktober 2011

Inschrijven via  
[www.openbedrijvendag.be](http://www.openbedrijvendag.be)

**VITO NV**  
Boeretang 200 - 2400 MOL  
Voor meer informatie, neem vrijblijvend contact op met Kristine Verheyden  
Tel. + 32 14 33 55 53  
Fax + 32 14 33 55 99  
vito@vito.be - [www.vito.be](http://www.vito.be)

## HOGERE CURSUS AKOESTIEK 2011-2012

- De referentie wanneer het over Akoestiek gaat: reeds gedurende 37 jaar onafgebroken een succes
- Cursus voor verdieping en verbreding van uw kennis over akoestiek
- Van fysische inzichten, tot de kennis van meet- en signaaltechnieken en geluidspereceptie
- Industriële lawaai- en trillingsbeheersing, bouw- en zaal- en elektro-akoestiek, geluidreglementering
- Het docententeam bestaat uit experts uit België en Nederland, verbonden aan universiteiten, onderzoeksinstituten, bedrijven, adviesbureaus en ministeries

Info en inschrijven: [www.ti.kviv.be/akoestiek38](http://www.ti.kviv.be/akoestiek38)

38<sup>ste</sup> Hogere Cursus

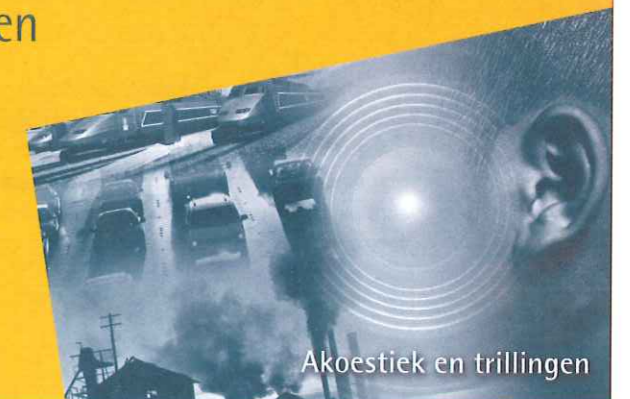
# Akoestiek

26 september 2011 - 27 februari 2012  
Ingenieurshuis - K VIV, Antwerpen

PRAKTIJKDAG  
EN DEMO'S  
EXPERIMENTARIUM  
19 december  
2011

**ie-net**

POWERED BY VIK & KVIV



Akoestiek en trillingen



Projectingenieur Bjorn Verrelst:  
"Mijn verbazing heeft plaatsgemaakt voor pure passie. Elke dag probeer ik het mysterie van die machines te ontrafelen, stap voor stap."

Drie en een half jaar geleden verruilde Bjorn Verrelst de academische wereld voor een job bij Atlas Copco. Sindsdien legt hij zich toe op rotordynamica. "Eerst was ik projectingenieur, maar nu ben ik aan de slag als projectleider. Het komt erop neer dat ik verantwoordelijk ben voor de uitbreiding van het kennisdomein. Ik ben dus een soort consultant met twee belangrijke opdrachten: Ik assisteer de productie in de engineering voor rotordynamica. Daarnaast ben ik verantwoordelijk voor de uitbreiding van onze langetermijn-R&D visie: ik bedenk nieuwe "simulatietools" en nieuwe experimenttechnieken rond rotordynamica."

"Atlas Copco heeft zijn machinetechnologie opgebouwd door zijn machines te verbeteren door prototyping en testing. Dat verklaart de koppositie van Atlas Copco, concurrenten kunnen onze kwaliteit niet zomaar kopiëren. Vanaf dag één verbaasde ik mij erover hoe al die machines überhaupt kunnen functioneren. Rotoren die aan gigantische snelheden op amper enkele microns van elkaar draaien: dat design is zo vernuftig... Mijn verbazing heeft plaatsgemaakt voor pure passie. Elke dag probeer ik het mysterie van die machines te ontrafelen, stapje voor stapje."

"Technologie bij Atlas Copco, dat is heel divers", stelt Bjorn onomwonden. "Gisteren testte ik prototypes, vorige week installeerde ik in China een vibratiesysteem en volgende week ga ik drie dagen een nieuwe meettechniek uittesten. De technologie is hier héél R&D-gedreven, een perfecte illustratie van de langetermijnvisie van Atlas Copco."

*Sustainable Productivity*

**Atlas Copco is de marktleider in zijn branche en dat voel je. Gedreven door innovatie, streven we er naar om klanten wereldwijd de beste persluchtssystemen aan te bieden. Momenteel zijn wij op zoek naar een 100-tal ingenieurs.**

Interesse in ons bedrijf en onze vacatures?

[www.meetatlascopco.be](http://www.meetatlascopco.be)  
Atlas Copco Airpower N.V.,  
Boomssteenweg 957,  
2610 Wilrijk  
Tel: 03 870 24 44  
Fax: 03 870 27 30  
[rekrutering@be.atlascopco.com](mailto:rekrutering@be.atlascopco.com)

**Atlas Copco**

# Het Ingenieursblad



Magazine voor de burgerlijk en bio-ingenieur  
Ingenieurshuis, Desguinlei 214, B-2018 Antwerpen  
[www.hetingenieursblad.be](http://www.hetingenieursblad.be)

Afgiftekantoor Gent X  
Erkenningsnummer P508727  
Toelating gesloten verpakking nr. 3/176

BELGIE-BELGIQUE  
P.B. GENT X  
B 727

## GELUID & AKOESTIEK

Nr.4, september-oktober 2011

**Bouwakoestische uitdagingen  
Beter spraakverstaan  
Geluidsbronlokalisatie in industriële toepassingen  
Akoestiek in een zorgomgeving**

Rekruteringsdossier  
**CONSULTANTS**