

# AKOESTISCH COMFORT BIJ (OPEN) FLEXIBELE KANTOORCONCEPTEN: LESSEN UIT DE PRAKTIJK

EEN VERVOLG OP HET ARTIKEL IN BOUWFYSICA 2011-4:  
AKOESTISCH COMFORT BIJ OPEN KANTOORCONCEPTEN

Een ontwerpversie van de meetnorm ISO 3382-3:2009, de eerste versie van het handboek **Bouwfysische Kwaliteit Kantoren (BKK)** in juni 2011 en een voorzichtige pilot bij afdeling **Duurzaamheid en Comfort** van de **Rijksgebouwendienst**, waren de bouwstenen voor het prille begin van het beoordelen van het akoestisch comfort in open kantoorconcepten in Nederland. Intussen is de internationale ontwerp meetnorm overgegaan in de definitieve versie ISO 3382-3:2012 en is het handboek BKK in diverse projecten in de praktijk toegepast voor het formuleren van eisen. Dit artikel behandelt twee projecten waaruit praktische lessen geleerd kunnen worden.



ir. S.A. (Sara) Vellenga-Persoon, M+P, Aalsmeer

In de afgelopen jaren zijn in opdracht van Belastingdienst Centrum voor Facilitaire Dienstverlening (B/CFD) door de Rijksgebouwendienst twee nieuwe kantoren gehuurd voor de huisvesting van de Douane. In Hoofddorp is het Aca-pellagebouw in twee fasen opnieuw ingericht en op Schiphol is een groot gedeelte van gebouw The Outlook in gebruik genomen. De kantoren zijn intussen opgeleverd en een toonbeeld van een geheel vernieuwde werkomgeving volgens het Organisatie Gericht Huisvesten (OGH). De bestaande gebouwen hebben zich geleend voor het creëren van een werkomgeving, waarbij verschillende activiteiten met elkaar in open verbinding staan. In beide ontwerpen is speciale aandacht uitgegaan naar visuele en auditieve privacy. In dit artikel worden praktische lessen behandeld vanuit beide projecten.

## KANTOORCONCEPT

In beide gebouwen zijn de plattegronden ingedeeld en ingericht volgens het begrip salonkantoor, het handelskenmerk van de architecten Bos en Alkemade. Diverse functies zijn naast elkaar gehuisvest, waarbij deze grotendeels in open verbinding staan met elkaar. Met de indeling wordt een huiselijke sfeer nagestreefd, waarin het begrip 'salon' vorm krijgt. Zo wordt een flexibele werkomgeving gecreëerd, waarin gewone werkplekken met bureaus worden afgewisseld met besloten zithoekjes, open loungebanken en een pantry. Dit zorgt voor een klimaat van ontmoeting en interactie. Een uitzondering hierop vormen de gesloten concentratieruimten, waarin een stil geluidsklimaat gewenst is en de gesloten overleg-ruimten, waar overleg kan worden gevoerd zonder overmatige geluidshinder te veroorzaken naar de omgeving toe.

## AKOESTISCHE PARAMETERS

Het formuleren van eisen, het geven van advies en het uitvoeren van opleveringsmetingen zijn belangrijke onderdelen van het beheersen van het kwaliteitsproces.

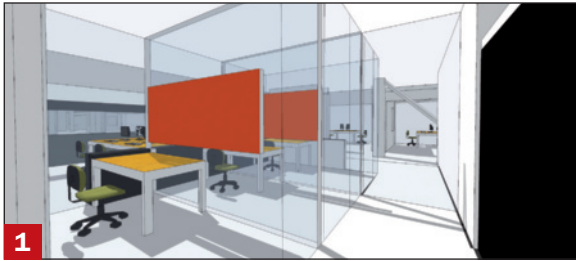
Het gebruiken van de juiste akoestische parameters is hierbij van groot belang.

Belangrijke akoestische parameters voor het beheersen van het akoestisch comfort bij flexibele grotendeels open kantoorconcepten zijn:

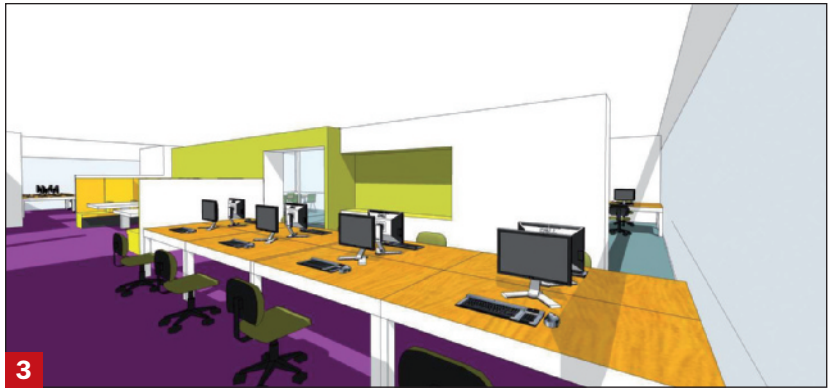
- de gemiddelde nagalmtijd in de (deel-)ruimten ( $T$  in seconde);
- de geluidsverzwakking in de ruimte bij afstandsverdubbeling ( $D_{2,s}$  in dB);
- het ontvanggeluidsniveau ten gevolge van spraak ( $L_{p,A,S}$  in dB(A));
- het achtergrondgeluidsniveau ten gevolge van installaties ( $L_{p,A,A}$  in dB(A));
- de speech privacy in relatie tot het achtergrondgeluidsniveau (bijvoorbeeld uit te drukken in STI-waarden);
- de luchtgeluidsisolatie tussen gesloten ruimten en tussen gesloten ruimten en een open kantoorvloer ( $D_{nT,A}$  in dB).

## GELUIDSBELEVING

Geluid is een zodanig algemeen begrip, dat het voor een gemiddelde gebouwgebruiker lastig te beoordelen is of er hinder wordt ondervonden door het akoestisch klimaat in de ruimte zelf (ruimteakoestiek) of door overlast vanuit het buurvertrek (geluidsisolatie). Een belevingsonderzoek met vragenlijsten vormt een welkome aanvulling op het puur technisch onderzoeken van de situatie. Naast een indicatie voor mogelijke hinder geeft een belevingsonderzoek bredere informatie, zoals het gebruik van de werkplekken (% uren aanwezig, type activiteiten, mate van concentratie) en de mate van tevredenheid van de gebruiker. Akoestische metingen bieden dan weer een gedegen achtergrond bij het interpreteren van klachten en geluids-ervaringen van medewerkers. Met metingen is goed vast stellen of de geluidservaring de ruimteakoestiek in de ruimte betreft of juist de geluidsisolatie tussen ruimten.



Concentratieruimten (The Outlook)



Open kantoorvloer (The Outlook)



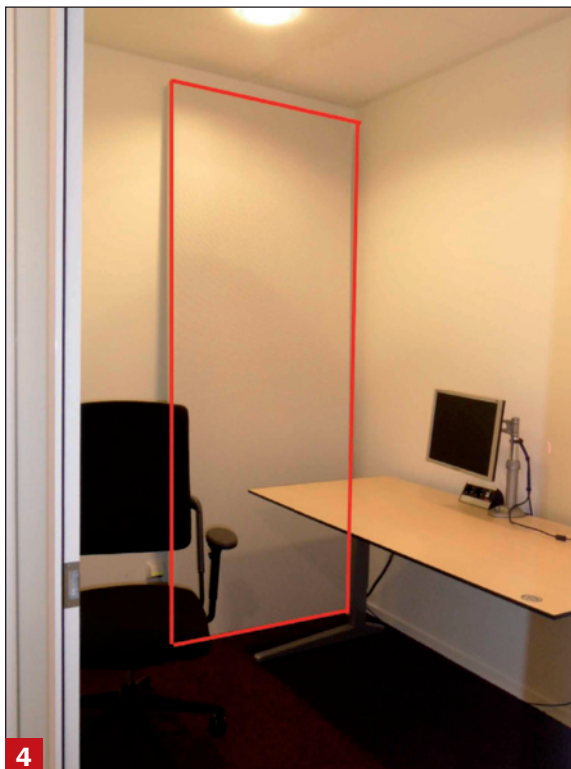
Overlegruimte (Acapella)

**ACAPELLAGEBOUW**

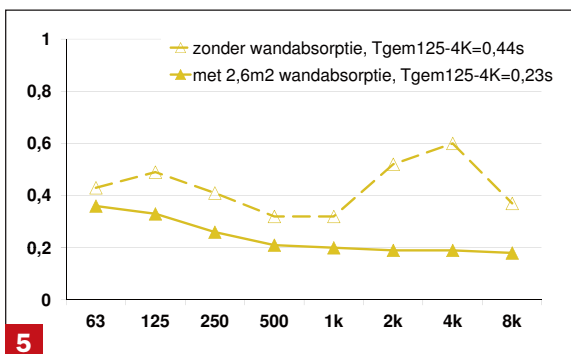
Door het Center for People and Building (CfPB) is een belevingsonderzoek verricht na realisatie van de eerste fase op de derde verdieping. Op basis van het belevingsonderzoek heeft een nadere klachteninventarisatie plaatsgevonden. Er bleek onder andere geluidshinder aanwezig te zijn in of rondom de concentratieruimten en de overlegruimten. Door diverse partijen zijn akoestische metingen verricht, waaronder enkele specialistische metingen door M + P. De onderbouwing van een belevingsonderzoek met akoestische meetresultaten geeft een compleet beeld van de situatie.

**Concentratieruimten**

Uit het belevingsonderzoek van CfPB bleek een verdeeld resultaat over de beleving van de concentratieruimten. Bij een nadere analyse van de situatie bleek de gedeeltelijke ontevredenheid een resultaat van de combinatie van drie aspecten, namelijk ten eerste het gedrag van de gebruiker zelf, ten tweede de ruimteakoestiek binnen de concentratieruimte en ten derde de geluidsisolatie vanuit de concentratieruimte naar de naastgelegen ruimten. Bij het ontwerpen van de concentratieruimte was in eerste instantie uitgegaan van uitsluitend stil gedrag bij de gebruiker. In de werkelijke situatie bleken de concentratieruimten echter ook gebruikt te worden voor het voeren van telefoongesprekken. Ook al is in de concentratieruimten een goed geluidsabsorberend plafond aanwezig, de harde wandvlakken in de kleine ruimte zorgden voor het ontstaan van hinderlijke flutterecho's en een hard terughoren van het eigen stemgeluid. Het eigen stemgeluid reflecteert tegen parallel gelegen akoestisch harde wanden. Daarnaast trad ook hinder op bij het horen van stemgeluid vanuit naastgelegen concentratieruimten. Hiervoor is nader onderzoek gedaan naar de interne geluidsisolatie. Dit is verder niet in dit artikel behandeld.



Concentratieruimte met toegevoegd wandabsorptiepaneel (Acapella)



Meetgrafiek nagalmtijd concentratieruimte T(s) per octaafband (Hz) (Acapella)

Door een extra absorptiepaneel tegen één van de wanden van de concentratieruimten aan te brengen verdween het hinderlijke effect van flutterecho's. Daarnaast verdween ook het onbehaaglijke gevoel in de ruimte van een 'druk op de oren'. In figuur 4 is een foto van de concentratieruimte afgebeeld waarin het aanvullend aangebrachte wandpaneel zichtbaar is. In figuur 5 zijn de meetresulta-



6 Meting afstandsverzwakking lege situatie (The Outlook)

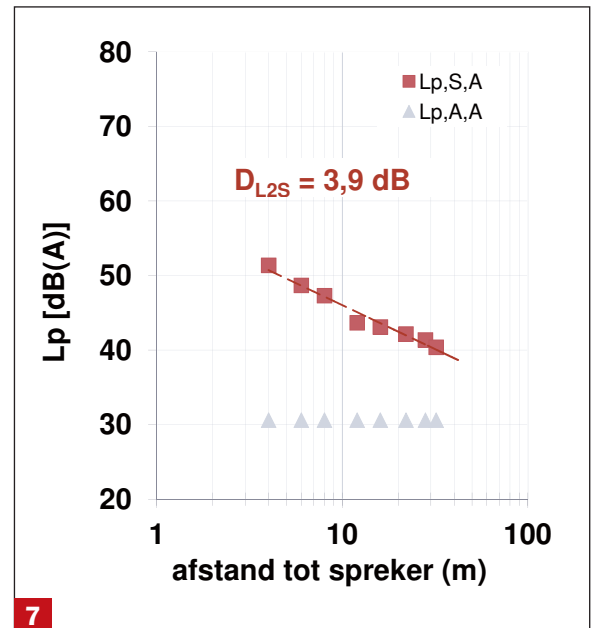
ten van de nagalmtijd weergegeven in grafiekvorm, waarin duidelijk het effect zichtbaar is van het absorptiepaneel in de gehele breedte van het frequentiegebied. Het absorptiepaneel heeft een zeer goede absorptiewaarde met een  $\alpha_w$ -waarde van ten minste 0,95 waarbij ook laagfrequent een goede absorptie aanwezig is. De aangebrachte oppervlakte van circa 2,6 m<sup>2</sup> komt voort uit het beschikbare oppervlakte wandpaneel tijdens de metingen. Door het aanbrengen van de aanvullende wand absorptie in de concentratieruimten van het Acapellagebouw is het hinderlijke effect van flutterecho's verdwenen en is de nagalmtijd curve vlak getrokken. Beide effecten zorgen voor een meer ontspannen geluidservaring voor het menselijk gehoor.

Voor het Acapellagebouw zijn de bevindingen uit het belevingsonderzoek van CfPB en de resultaten van de akoestische metingen meegenomen bij het omschrijven van het inbouwpakket voor de realisatie van fase 2 op de begane grond en de eerste twee verdiepingen van het Acapella gebouw. Daarnaast zijn verbeteringen aangebracht in de bestaande situatie op de derde verdieping. In dit artikel zijn op basis van de bevindingen aanbevelingen geformuleerd voor een aanvulling van het Handboek BKK voor de ruimteakoestiek in kleine ruimten zoals een concentratieruimte.

#### Voorstel aanvulling Handboek BKK ruimteakoestiek kleine ruimten

Conform het Handboek BKK geldt voor een besloten niet-ingerichte werkplek een nagalmtijd van 0,8 s en 0,6 s als deze wel ingericht is. In het Handboek BKK is gekozen voor een middeling van de octaafbanden van 250-2000 Hz en wordt gesteld dat hinderlijke flutterecho's dienen te worden vermeden.

In aanvulling op het handboek BKK stellen wij voor om kleine besloten ruimten (< 12 m<sup>2</sup>), zoals een concentratieruimte, in te delen als aparte categorie. In dergelijke ruimten is vanwege de relatief kleine afmetingen een verhoogde kans op hinder aanwezig door mogelijke flutterecho's en het optreden van staande golven. Vanwege de gevoeligheid van het oor is het aan te bevelen een lagere nagalmtijd te hanteren van 0,5 s voor de niet-ingerichte ruimte en 0,4 s voor de ingerichte ruimte, waarbij gemiddeld wordt over een breder frequentiebereik namelijk van 125 Hz tot en met 4 kHz. Daarnaast blijft staan dat hin-



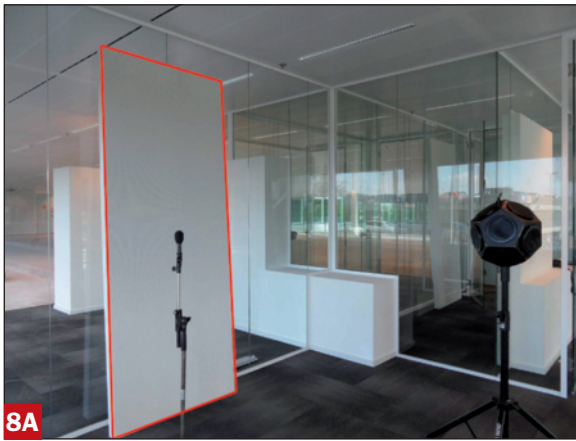
7 Meting afstandsverzwakking lege situatie (The Outlook)

derlijke flutterecho's vermeden dienen te worden. Bij voorkeur wordt de octaafband van 63 Hz ook in de beoordeling meegenomen, om het versterken van eventueel laagfrequent installatiegeluid te voorkomen. De nagalmtijd dient per octaafband zo dicht mogelijk bij de gemiddelde waarde te liggen (vlakke curve), waarbij de waarden per octaafband niet meer afwijken dan 20% van de gemiddelde waarde.

#### THE OUTLOOK

Ook bij het tweede voorbeeldproject zorgt huisvesten van een nieuwe functie in een bestaand pand voor de nodige uitdaging. In The Outlook is in de bestaande situatie een doorlopend stralingsplafond aanwezig met een bijbehorend ventilatieconcept. Het stralingsplafond is een geheel van een geperforeerde metalen beplating waarachter de waterbuizen doorlopen. Dit was een belangrijk uitgangspunt bij het ontwerpen van de nieuwe inrichting. Bij het aansluiten van nieuwe binnenwanden op het plafond was het de vraag of de gewenste geluidsisolatie haalbaar was met de aanwezige overlans geluidsisolatie via het plafond. Het gebouw heeft daarnaast een visueel doorlopende glazen gevel met een dunne paneelafwerking ter plaatse van de aansluiting op de verdiepingvloeren. Daar waar nieuwe binnenwanden aansluiten op de bestaande gevels moest eveneens onderzocht worden of de gewenste geluidsisolatie haalbaar was. Ook voor de ruimteakoestiek betekende het bestaande stralingsplafond en de glazen gevel een belangrijk uitgangspunt waarmee rekening gehouden moest worden.

In nauw overleg met de architect is een ontwerp gemaakt waarin aandacht is besteed aan de ruimte ervaring, zowel op het gebied van daglicht als op het gebied van de ruimteakoestiek. De akoestisch harde glasvlakken worden afgewisseld met dichte geluidsabsorberende panelen. Ter ondersteuning van het ontwerpproces is een kleine gedeelte van de nieuwe inrichting als mock-up gerealiseerd waarin akoestische metingen konden worden verricht. Dit artikel laat zien hoe het realiseren van een mock-up bijdraagt aan het maken van een goed ontwerp.



8A Meting varianten ruimteakoestiek in mock-up, variant wand-absorptie (The Outlook)



8B Metingen varianten ruimteakoestiek in mock-up, variant koofabsorptie (The Outlook)

Aanvullend is gebruik gemaakt van een akoestisch rekenmodel.

### Bestaand pand en een mock-up

De situatie liet het toe om in het lege bestaande pand een mock-up te realiseren in de open ruimte. In de lege ruimte en binnen de gerealiseerde mock-up zijn de mogelijkheden van de bestaande situatie verkend in relatie tot het voorgenomen eisen pakket. Als eerste stap is in de lege open ruimte de geluidsverzwakking per afstandsverdubbeling gemeten. Deze meting geeft een goede inschatting van de akoestische werking van het bestaande plafond. Daarnaast zijn indicatieve nagalmtijdmetingen verricht om frequentie informatie te verkrijgen. De meetresultaten duiden op een redelijk goede absorptie van het bestaande plafond, waarbij niet alleen absorptie in de midden- en hoge frequenties aanwezig is, maar ook in de lage frequenties. Figuur 6 toont de meetopstelling in de lege situatie. In figuur 7 zijn de meetresultaten voor de bepaling van de  $D_{2,s}$  weergegeven.

Vanwege het bestaande plafond moest het wijzigen van plaatselijke ruimteakoestiek voornamelijk worden gezocht in aanvullende panelen als wandoplossingen. Er is gevarieerd met panelen die ófwel volledig breedbandig absorberen ófwel met panelen die zeer goed in de midden en hoge frequenties absorberen. Beide typen panelen hebben net als bij het Acapellagebouw een zeer goede absorptiewaarde van ten minste  $\alpha_w = 0,95$ . In de mock-up zijn varianten gemeten waarbij absorptiepanelen ofwel tegen de wand stonden ofwel boven in de koof werden aangebracht met behulp van houten stellages. Op deze wijze is onderzocht hoeveel en welk type absorptie benodigd was om het gewenste akoestische comfort te bereiken. In figuur 8A en 8B zijn foto's van de mock-up weergegeven.

Conform het Handboek BKK geldt voor een niet-ingerichte open geclusterde werkplek een nagalmtijd van 0,6 s. Op basis van de mock-up meetresultaten is gebleken dat ter plaatse van de wanden aanvullend absorptie benodigd is in de midden en hoge frequenties om de gewenste nagalmtijd te behalen. De alternatieve hoge plaatsing bij de koven is te weinig effectief gebleken. Uit de gemeten varianten zijn verhoudingsgetallen bepaald hoeveel  $m^2$  absorptie gewenst is per  $m^2$  vloerooppervlak.

### Modelleren en adviseren

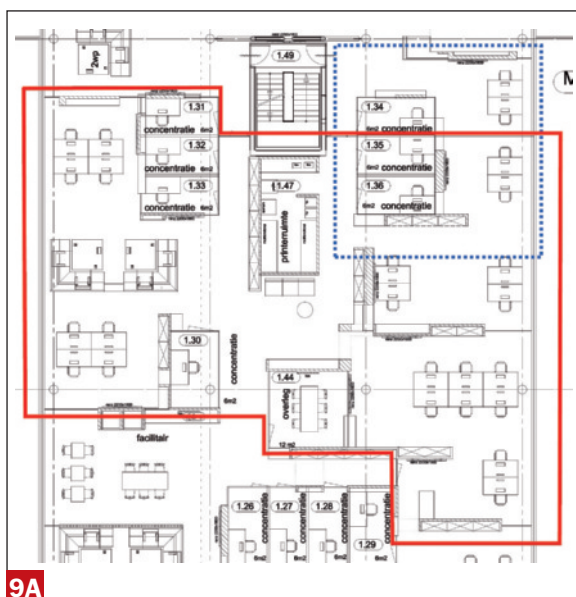
Het plaatsen van absorberende panelen heeft meerdere effecten. Het verlaagt niet alleen de nagalmtijd per ruimte of per deelruimte, maar het plaatsen van absorptiepanelen helpt ook bij het onderbreken van hinderlijke reflectiewegen. Behalve de eerder genoemde flutterecho's, kan een reflectie via een glazen gevel, een gang- of kastenwand net zo zeer hinderlijk zijn. Hierbij geldt dat de hinder toeneemt bij een afname aan visueel contact. Het zien van een pratende collega helpt bij het accepteren van het bijbehorende geluidsniveau

Vanwege de complexe geometrie van open kantoorvloeren is de ruimte niet te benaderen als een volledig diffuse ruimte. Dit maakt dat de eenvoudige berekeningsformule van Sabine niet langer toepasbaar is. De norm NEN 12354-6 [4] geeft in Annex C de mogelijkheid de nagalmtijd te berekenen bij een ongelijke verdeling van de absorptiematerialen en objectvolumes in de ruimte. Dit blijft echter rekenkundige een vrij grove benadering. De norm ISO 3382-3 [3] geeft specifieke akoestische parameters voor het meten van akoestisch comfort in open kantoorvloeren. Deze parameters zijn ook geïmplementeerd als rekenparameters in akoestische rekenprogramma's zoals CATT-Acoustics en ODEON, gebaseerd op *ray-tracing*.

Bij het Outlookgebouw is gebruik gemaakt van een akoestisch rekenmodel, waarbij een representatieve selectie van de plattegrond is gemodelleerd (zie figuur 9A en 9B). Met modelleren is enige zorgvuldigheid geboden vanwege de beperkingen die een akoestisch rekenmodel met zich meebrengt.

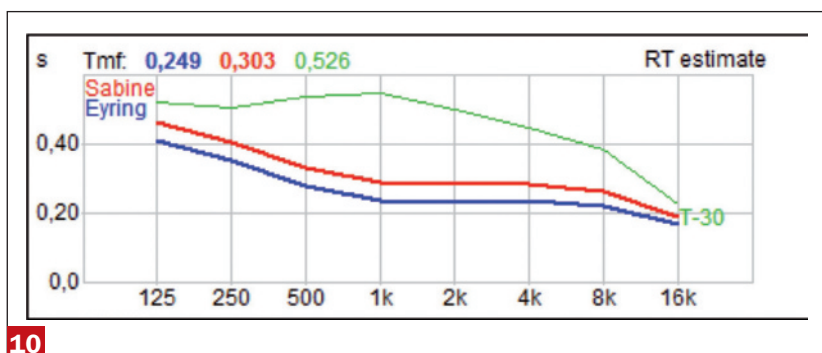
De selectie van de plattegrond kent een overlap met de gerealiseerde mock-up. Dit maakt het mogelijk de berekende waarden te vergelijken met de gemeten waarden wat een zekere validatie geeft aan de gemodelleerde situatie. Met behulp van het model is op basis van ray-tracing de nagalmtijd T30 berekend bij aanwezigheid van akoestische panelen. De nagalmtijd is berekend per deelvolume. Deelruimten zijn gedefinieerd als ruimtevolumes waarbij duidelijk sprake is van een open verbinding tussen de werkplekken.

Conform het Handboek BKK geldt voor open geclusterde werkplek een nagalmtijd van 0,5 s als deze wel ingericht



9A

Selectie plattegrond voor modellering open kantoorvloer (rode lijn) met overlap mock-up situatie (blauwe stippellijn)



10

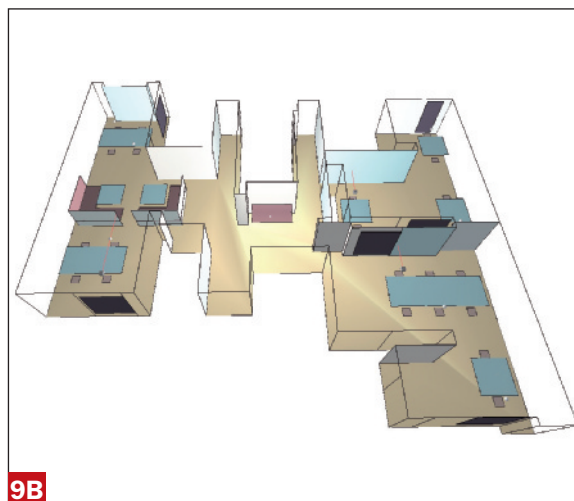
Berekening nagalmtijd T30 variant met akoestische panelen

is. Aan de hand van de berekende resultaten is per deelruimte nagelopen aan de gestelde eis van 0,5 s kan worden voldaan. Figuur 10 geeft de berekeningsresultaten voor een deelruimte waarin absorptiepanelen zijn aangebracht.

De berekende waarden laten een duidelijk verschil zien in de nagalmtijd berekend volgens de formule van Sabine (rode lijn) en de nagalmtijd berekend op basis van raytracing T30 (groene lijn). De groene lijn houdt rekening met de werkelijke verdeling van de absorptie in de ruimte en de 'werkelijk' aanwezige objecten in de ruimte zoals bureaus en loungeplekken met bijbehorende akoestische kenmerken. De grafiek laat daarnaast zien dat met de berekende resultaten juist kan worden voldaan aan de eis van 0,5 s voor een ingerichte open kantoorvloer met de voorgenomen akoestische voorzieningen.

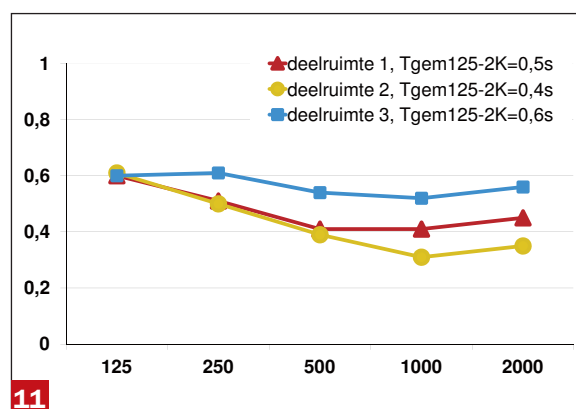
#### Metingen werkelijke situatie

Medio 2013 zijn controlemetingen verricht in de werkelijk gerealiseerde situatie zonder inrichting. De gemeten resultaten voldoen aan de gestelde randvoorwaarde van een nagalmtijd van ten hoogste 0,6 s voor een niet-ingerichte situatie. Daar waar extra geluidsabsorberende panelen zijn aangebracht om hinderlijke reflecties te voorkomen is een lagere nagalmtijd aanwezig in de midden en hoge frequenties.



9B

Akoestisch model open kantoorvloer met absorptie panelen (zwarte vlakken)



11

Metingen nagalmtijd open kantoorvloer werkelijke situatie (met akoestische panelen, zonder inrichting)

#### GELEERDE LESSEN

Het ontwerpen van het gewenste akoestische comfort in flexibele (open) kantoorconcepten behoeft de nodige deskundigheid. Afhankelijk van de complexiteit van de situatie kan gekozen worden voor het opbouwen van een mock-up, het rekenen met een uitgebreid akoestisch rekenmodel of juist het terugvallen op eenvoudige vuistregels zoals de formule van Sabine. In dit artikel zijn voorbeelden gegeven van adviestrajecten in de praktijk. Daarnaast is een aanbeveling gedaan voor het opnemen van aanvullende eisen in het Handboek BKK voor de ruimteakoestiek in kleine ruimten. ■

#### BRONNEN

- [1] Handboek Bouwfysische Kwaliteit Kantoren, versie 1.0, Nederlands Vlaamse Bouwfysica Vereniging, juni 2011
- [2] ISO/DIS 3382-3 Acoustics - Measurement of room-acoustics- open plan spaces, International Standard Organisation, ontwerp norm 2009
- [3] ISO 3382-3 Acoustics - Measurement of room-acoustics- open plan spaces, International Standard Organisation, 2012
- [4] NEN-EN 12354-6 Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 6: Sound absorption in enclosed spaces, Nederlands Normalisatie-Instituut, 2004
- [5] CATT-Acoustic™ v9.0c, 2012