

# Eisen en ontwerp van trillingarme laboratoriumvloeren

## de ontwikkeling van een trillingarm kennispark

ir. B. Snoeij (Peutz bv)

Postbus 696, 2600 AR Zoetermeer, e-mail: [b.snoeij@peutz.nl](mailto:b.snoeij@peutz.nl)

De ontwikkeling van nanotechnologie, bionanoscience en biomolecular science heeft de laatste jaren geleid tot een exponentiële groei in gebruik van hoogwaardige onderzoeksapparatuur. Instituten en universiteiten binnen Nederland zijn koploper in deze vakgebieden en om deze leidende positie te behouden worden hoogwaardige onderzoeksgebouwen gerealiseerd. De laboratoriumgebouwen worden ontworpen op flexibiliteit, multifunctionaliteit en toekomstig gebruik van de nieuwste ontwikkelde apparatuur. In dit artikel wordt achtereenvolgens aandacht gegeven aan de eisen die aan deze hoogwaardige laboratoria worden gesteld, aan het ontwerptraject van trillingarme laboratoria en aan een integrale beschouwing op gebouwlocatie en gebiedsontwikkeling.



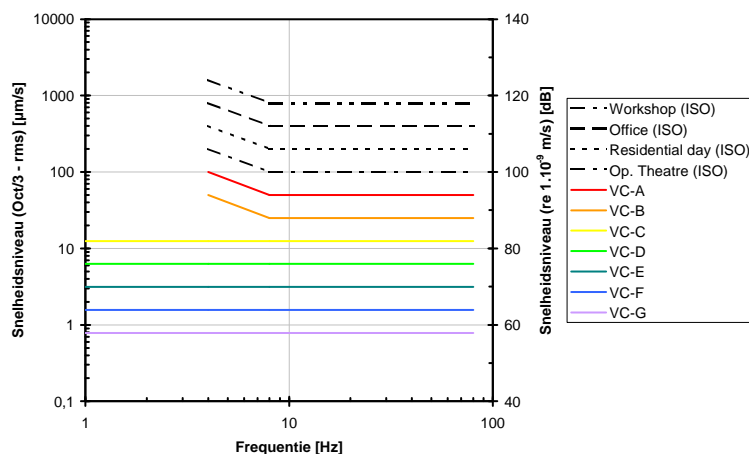
Figuur 1: Nanolaboratorium UTwente, trillingarme cleanroom, trillingarm opgestelde SEM

### Trillingarme laboratoria en generieke criteria

Trillingarme laboratoria zijn primair bedoeld voor de huisvesting van onderzoeksinstellingen die onderzoek verrichten met gebruik van trillinggevoelige apparatuur zoals elektronenmicroscopen.

De opzet van laboratoriumgebouwen met een ruime variatie in instrumenten en onderzoeksapparatuur leidt ertoe dat generieke eisen worden gesteld aan de vloerkwaliteit. Op deze wijze wordt ingespeeld op een flexibele indeling en multifunctionele toepasbaarheid van de laboratoriumruimten, en op toekomstige ontwikkelingen in de vakgebieden en onderzoeksapparatuur.

Voor de generieke eisen voor trilling criteria wordt voor laboratoriumgebouwen gebruik gemaakt van de VC-curven (*vibration criteria*) die in figuur 2 zijn weergegeven [1].



Figuur 2: Generieke eisen VC-curven (*vibration criteria*) [1]

## Inventarisatie van trillingbronnen

Als versturende trillingbronnen worden drie groepen onderscheiden; de omgevingsbronnen, de gebouwbronnen en de gebruikersbronnen. De gebruikersbronnen zijn het lopen over de vloeren en de bij de opstelling horende apparatuur zoals vacuümpompen, compressoren en proceskoeling. De gebouwbronnen zijn de gebouwinstallaties zoals pompen, koelmachines en liften, maar ook een werkplaats en de expeditie. De omgevingsbronnen zijn onder andere verkeer van autowegen en spoorwegen, binnenvaart en industriële complexen, maar ook testfaciliteiten die in een kennispark aangetroffen kunnen worden, zoals grondverdichtingsmachines of trekbanken.



Figuur 3: Trillingbronnen bij de laboratoriumruimte, in het gebouw en in de nabije omgeving

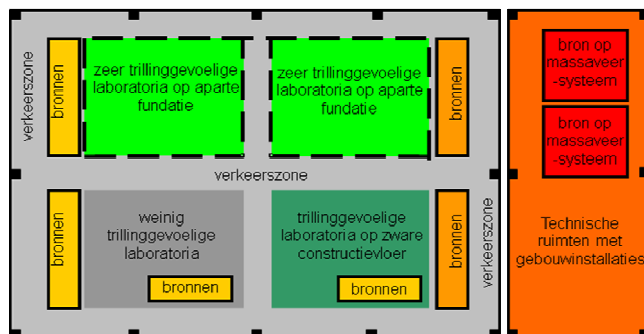
## Locatiekeuze

Met name vanwege de omgevingsbronnen is de locatiekeuze in belangrijke mate bepalend voor de haalbare laboratoriumkwaliteit. Zeker trillingbronnen zoals vrachtverkeer, trein- en tramverkeer veroorzaken relatief hoge trillingniveaus bij de lage frequenties (tussen 1 en 10 Hz). De meest effectieve wijze om trillingreductie bij lage frequenties te realiseren, is het aanhouden van een voldoende grote afstand. Voor wegen en spoorrails is dan al snel sprake van een minimale afstand van enkele honderden meters, juist vanwege de laagfrequente trillingen van deze bronnen, die veelal bepalend zullen zijn voor de vloerkwaliteit.

Bij de keuze voor de locatie zal niet alleen de huidige situatie en de nieuwgebouwde situatie in beschouwing genomen moeten worden. Ook de ontwikkelingen die op langere termijn zijn gepland, kunnen versturende trillingbronnen introduceren, zoals bijvoorbeeld de activiteiten op naastgelegen bedrijfsterrainen en direct aangrenzende bouwkvavels, of de aanleg van nieuwe infrastructuur.

## Gebouwontwerp

Voor de gebouwindeling wordt primair een scheiding gemaakt tussen gebouwbronnen en trillingarme laboratoria. De trillingarme ruimten worden gegroepeerd en afhankelijk van de VC-klasse wordt een minimale afstand aangehouden tot de gebouwbronnen. In figuur 4 is schematisch de gebouwindeling weergegeven



Figuur 4: Gebouwindeling met techniekgebouw voor gebouwbronnen, volledig los van onderzoeksgebouw

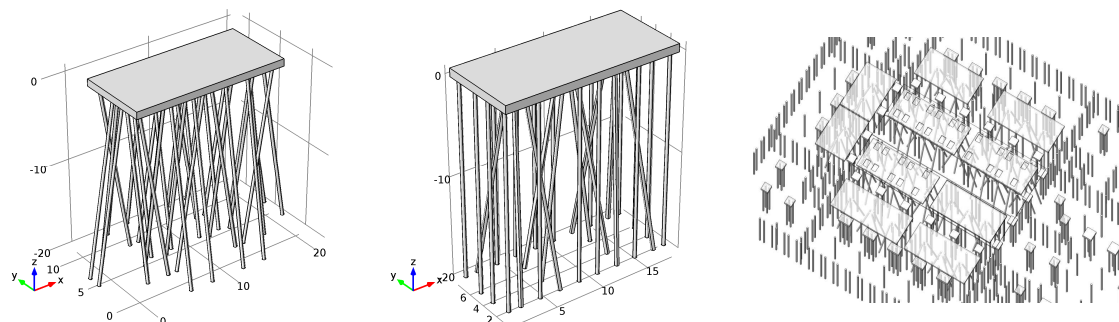
De gebouwbronnen worden gegroepeerd binnen het technische en facilitaire gebouwdeel. Als zeer hoge eisen worden gesteld, worden de maatgevende gebouwbronnen gegroepeerd binnen een apart techniekgebouw, in constructieve zin volledig gescheiden van het laboratoriumgebouw [2].

## Vloerconcepten

Binnen het laboratoriumgebouw worden verschillende vloerconcepten gekozen. Vloeren kunnen star aan het gebouw verbonden zijn, of juist volledig los van het gebouw worden gehouden. In het laatste geval zijn de vloeren volledig gedilateerd en voorzien van een eigen, aparte fundatie.

Voor elke laboratoriumruimte wordt afhankelijk van de gewenste klasse een afweging gemaakt van de toepasbare vloerconcepten. Daarbij worden voor- en nadelen van de vloerconcepten beschouwd, in relatie tot verschillende trillingbronnen binnen en buiten het gebouw.

De verschillende vloerconcepten worden uitgewerkt tot constructieve modellen, waarbij in samenspraak met de constructieadviseur een opzet wordt gemaakt van de vloeren en de onderliggende fundering. Zeker bij een complexe structuur van meerdere vloeren dient de fundering volledig inzichtelijk te worden gemaakt om ondergrondse conflicten te voorkomen.

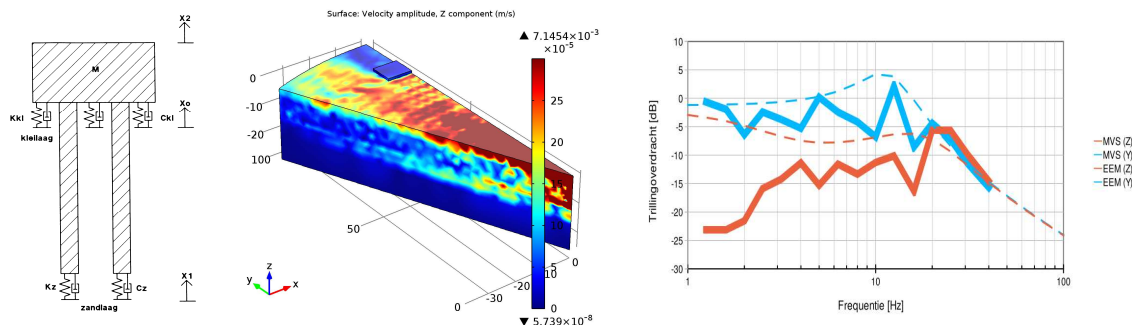


Figuur 5: Gedilateerde, vrijstaande vloerconstructies en inpassing van het palenplan [3]

## Trillingoverdracht rekenkundig en in situ gemeten

De gekozen vloerconstructie met fundering is in combinatie met de bodemsamenstelling bepalend voor de trillingoverdracht van bodem naar vloer. Deze wordt in de beginfase van het constructief ontwerptraject bepaald met behulp van een meervoudig massaveersysteem. Hiermee wordt eveneens inzichtelijk gemaakt wat de invloed is van vloerafmetingen, palenplan en bodemeigenschappen [4, 5].

Bij een verdere uitwerking van het constructief ontwerp wordt op basis van het eerste ontwerp palenplan met behulp van de Eindige Elementen Methode (EEM) een rekenmodel opgezet waarin de gehele vloerconstructie is geschematiseerd binnen een gelaagd bodemmodel [6, 7].



Figuur 6: Vergelijking tussen rekenresultaten van massaveersysteem en 3D-rekenmodel (EEM)

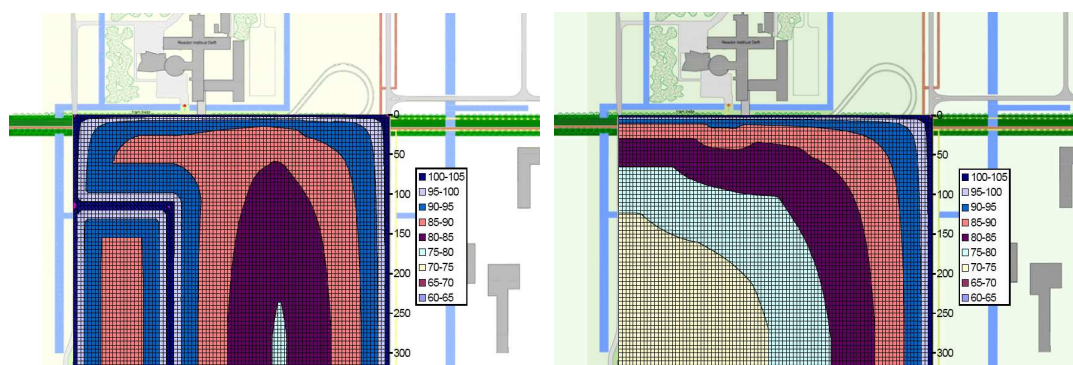
Met behulp van een dergelijk complex rekenmodel worden de optredende trillingniveaus bepaald als gevolg van een uitgeoefende kracht, en daaruit volgt de trillingoverdracht van bodem naar vloer. Hiermee wordt een nauwkeuriger beeld verkregen dan met het eerder opgezette meervoudige massaveersysteem, en op basis van de rekenresultaten wordt de paalfundering op detailniveau verfijnd. Als een hogere nauwkeurigheid vereist is, wordt ter verificatie van het EEM-rekenmodel een proefpaal geslagen op de beoogde bouwlocatie. De rekenresultaten worden vergeleken met de trillingmetingen aan de proefpaal. Deze kwantitatieve vergelijking en de daaruit volgende aanpassing van het rekenmodel vormen een verificatie van het EEM-rekenmodel van de vloerconstructie.

De uiteindelijke verificatie wordt verricht tijdens de uitvoering en na oplevering middels controlemetingen op de trillingarme vloeren. Op de vloer worden de trillingniveaus gemeten als gevolg van de trillingen in het aangrenzend terrein – bijvoorbeeld door een vallende massa. Op basis van de metingen wordt de trillingoverdracht van bodem naar vloer bepaald.

### Trillingarm kennispark

Bij de huidige ontwikkelingen van kennisparken voor onderzoeksinstituten en universiteiten worden steeds vaker laboratoriumgebouwen geprojecteerd waaraan hoge kwaliteitseisen worden gesteld ten aanzien van trillingen. Daarnaast gaat de ontwikkeling van bestaande en nieuwe kennisparken vaak gepaard met de aanleg van nieuwe infrastructuur, zoals wegen, bus- en trambanen.

Door in een vroeg stadium rekening te houden met de algehele inrichting van het kennispark, kan een aantal trillingarme vlekken binnen het kennispark worden geselecteerd, waarmee een eerste aanzet is gegeven voor de locatiekeuze voor de trillingarme laboratoria. Het is zinvol om daarbij te onderzoeken welke bijdrage elke bestaande of nieuwe infrastructuur heeft. Als bepaalde weggedelen worden afgesloten voor verkeer of zelfs worden opgeheven, is het mogelijk om betere trillingarme gebieden binnen het kennispark te creëren, zoals in figuur 7 is getoond. Ook het verleggen van wegen, tramrails of halteplaatsen kan in belangrijke mate van invloed zijn op de trillingniveaus in de bodem, en biedt daarmee de mogelijkheid om een significant hogere kwaliteit van de laboratoriumgebouwen te realiseren.



**Figuur 7: Trillingniveaus oorspronkelijk geplande infrastructuur (links) en na opheffing wegen (rechts)**

Als de infrastructuur en de locatiekeuze uiteindelijk zijn vastgesteld, is het van belang dat ook voor het geheel van het kennispark en de directe omgeving voorwaarden worden gesteld aan de toekomstige ontwikkeling, bijvoorbeeld door bepaalde trillingbronnen niet binnen een zeker gebied toe te laten. Dit vraagt een structurele samenwerking tussen overheid, lokale partijen en onderzoeksinstituten die een gezamenlijk belang hebben in het behoud van trillingarme faciliteiten. Op deze wijze wordt een trillingarm kennispark ontwikkeld, waarmee de kwaliteit van nieuwe onderzoeksfaciliteiten voor de toekomst blijft gewaarborgd.

## Conclusie

Om voor de huidige en toekomstige wetenschappelijke ontwikkelingen een passend en duurzaam hoogwaardig onderzoekslaboratorium te realiseren, is een volledige beschouwing van trillingbronnen in het gebouw alsook de trillingbronnen in de nabije omgeving van groot belang. Een integraal gebouw- en vloerontwerp leidt tot voldoende zekerheid op trillingarme vloeren voor onderzoeksapparatuur en cleanrooms. De beschouwing van de veranderende omgeving is daarbij essentieel.

Een trillingarm kennispark is een ontwikkeling voor de toekomst. Dit vraagt een structurele samenwerking tussen overheid, lokale partijen en onderzoeksinstituten. Het gezamenlijk belang om hoogwaardige onderzoeksfaciliteiten te kunnen huisvesten is daarbij de bindende factor. Gezien de ontwikkelingen in de onderzoeksgebieden nanotechnologie, bionanoscience en biomolecular science wordt het belang van hoogwaardige, trillingarme laboratoria in de toekomst groter, zowel voor de onderzoeksinstituten alsook voor de maatschappij en voor Nederland als kenniseconomie.



**Figuur 8: Bij ontwikkeling van instituut DIFFER Eindhoven (links), kennispark UTwente (midden) en kennispark TU Delft (rechts) is rekening gehouden met toekomstige infrastructuur [8, 9]**

## Bronvermelding

- [1] H. Amick, M. Gendreau, T. Busch and C. Gordon, Evolving criteria for research facilities: I - Vibration, SPIE Conference (2005)
- [2] B. Snoeij en M.L.S. Vercammen, Ontwerp van trillingreducerende constructies in gebouwen voor nanotechnologie en soortgelijke gevoelige laboratoria, Nationaal Congres Geluid, Trillingen en Luchtkwaliteit (2005)
- [3] Pieters Bouwtechniek Delft B.V., constructief 3D-model (2013)
- [4] M.L.S. Vercammen en M.P.M. Luykx, Berekeningsmodel voor overdracht van trillingen van de bodem naar gebouwen, CUR-rapport RB683 (1993)
- [5] M.L.S. Vercammen, Vibration in buildings, Internoise Leuven (1993)
- [6] J.F.W. Koopmans en F.C. van Eekhout, Onderzoek naar trillingen in de bodem met behulp van Eindige Elementen Methode, publicatie in Geluid (december 2003)
- [7] J.F.W. Koopmans en F.C. van Eekhout, Trillingvrij bouwen op 15 m naast het spoor, publicatie in Bouwwereld (mei 2004)
- [8] Ector Hoogstad Architecten Rotterdam, impressie nieuwbouw DIFFER Eindhoven (2012)
- [9] Ector Hoogstad Architecten Rotterdam, impressie nieuwbouw TNW Delft (2013)