akoes·tiek de; v 1 de leer vh geluid 2 de eigenschappen ve ruimte met betrekking tot de weerkaatsing van geluiden

an·tro·po·lo·gie de; v de wetenschap vd mens en zijn natuurlijke eigenschappen: de culturele ~ is de wetenschap vd mens als cultuurdrager

ar·chi·tect [arsjietekt] de; m,v -en ontwerper van bouwplannen en adviseur bij de uitvoering daarvan

Bouwfysica is "de fysica van de gebouwde omgeving". Deze betreft de fysische aspecten van de gebouwde ruimte en van gebouwconstructies en installaties. De fysische aspecten zijn licht, warmte, lucht, vocht en geluid.

com·fort [komfo:r] het; o gemak; gerieflijkheid

con·text de; m samenhang: het woord ontleent zijn betekenis aan de ~ aan het overige deel vd zin

de·tail [deetaj] het; o -s onderdeel, bijzonderheid; kleinigheid

func·tie de; v -s 1 ambt, taak, beroep 2 werking: de ~ vd maag 3 (wisk) grootheid die in haar veranderlijkheid afhangt van een of meer andere

ge·luid het; o -en trillende beweging vd lucht die door het gehoororgaan wordt waargenomen

ge·schie·de·nis de; v -sen 1 voorval, gebeurtenis 2 wetenschap die het verleden beschrijft 3 het verleden

in·ter·view [intervjoe:] het; o -s vraaggesprek met het doel om het gehoorde te publiceren of uit te zenden

[1]lo·kaal bn, bw plaatselijk

[2]lo·kaal het; o -kalen (deel ve) gebouw dat voor een bep. doel wordt gebruikt: leslokaal, stemlokaal

maat·schap·pij de; v -en 1 samenleving, gemeenschap; wereld 2 vereniging ter bevordering van bep. belangen 3 vereniging van personen tot een handelsonderneming enz.: verzekeringsmaatschappij

mul·ti·func·ti·o·neel bn, bw een groot aantal functies vervullend

na·tuur de; v 1 aangeboren aard of gestel; geaardheid: hij is van nature vriendelijk 2 dat wat de mens om zich heen ziet als niet door hem gewijzigd: wandelen in de vrije ~

om·ge·ving de; v 1 kring van personen waarin iem verkeert 2 nabijheid: in de ~ van Den Haag 3 streek, regio

ont·werp het; o -en omschreven plan; schets: het ~ ve nieuwe kerk

Open-plan is the generic term used in architectural and interior design for any floor plan which makes use of large, open spaces and minimizes the use of small, enclosed rooms such as private offices.

plat·te·grond de; m -en nauwkeurige kaart ve stad, dorp, terrein of gebouw

psy·cho·lo·gie de; v 1 wetenschap vd bewustzijnsverschijnselen, vd belevingen en gedragingen 2 begrip vd menselijke geest

ruim·te de; v -n, -s 1 plaats om zich uit te strekken 2 een door grenzen bepaalde plaats: holle ~n; (ond) vrije ~ voor niet-verplichte vakken beschikbare tijd 3 onbegrensde verzameling van plaatsen; het heelal: (inform) gezwam in de ~ waar men niets aan heeft

school de; v(m) scholen 1 inrichting waar onderwijs wordt gegeven: een lagere ~ basisschool 2 het gebouw 3 onderwijs, les: we hebben vandaag geen ~ 4 richting in letterkunde, kunst enz.: de romantische ~ 5 de gezamenlijke volgelingen ve meester

so·cio·lo·gie de; v leer, wetenschap vd samenleving

toe·komst de; v 1 de tijd die nog komen moet 2 goede vooruitzichten: die zaak heeft geen ~

Akoetisch Comfort van scholen

Versie 4.0 30/04/2011

Bart van der Hooft
1211226

Inhoudsopgave

Verantwoording en doel **7**
Aanpak & onderzoeksvragen **9**
Onderzoeksdoel 9
Hoofdvraag 9
Nevenvragen 9
1 De invloed van de omgeving op prestaties **11**
1.1 Opkomst van de open leeromgeving 11
1.2 Onderzoek naar kantoortuinen 11
1.3 Zes invloeden op prestatie 11
1.3.1 Klimaat en luchtkwaliteit 11
1.3.2 Goede ergomie 13
1.3.3 Licht en verlichting 13
1.3.4 Beveling van de ruimte 13
1.3.5 Groene omgeving 15
1.3.6 Geluid 15
2 Wat is de positie van akoestiek in de architectuur? **17**
Sylvie Beugels, Mecanoo 17
Evert de Ruiter, Peutz 17
Gertjan Verbaan, DGMR 19
Gerrit-Jan van Rijswijk, VVKH 19
Edward Schuurmans, DKV 19
Ron Leenheer, SP architecten 21
Conslusies 21
3 Inleiding in akoestiek **23**
3.1 Grootheid 23
3.1.1 Geluidsdruk 23
3.1.2 Geluidsdrukniveau 23
3.1.3 Equivalente geluidsdruk 23
3.1.4 dB of dB(A)? 23
3.2 De invloed van afstand 23
3.2.1 Puntbron 23
3.2.2 Lijnbron 23
3.3 Akoestisch comfort 25
3.3.1 Nagalmtijd 25
3.3.2 Spraakverstaanbaarheid 25
3.4 Absoptie & isolatie 27
3.4.1 Reflecties 27
3.4.2 Absorptie 27
3.4.3 Geluidsisolatie 27
4 Context **29**
4.1 Omgeving 29
4.1.1 Omgevingsgeluid: interne schoolfuncties 29
4.1.2 Omgevingsgeluid: externe schoolfuncties 29
4.2 Geluid van de school naar de omgeving 29
5 Plattegrond **33**
5.1 Geluidsoverlast van en naar de omgeving 33
5.2 Overlast onderling 33
5.2.1 *Zonering* *33*
5.2.2 Tijd 33
5.3 Routing 33

6 De ruimte 37
6.1 De vorm van de ruimte 37
6.2 Nagalmtijden in lokalen en studieplekken 37
6.3 Akoestische eisen per functie 37
6.3.1 Geluidsabsorptie in gangen, entree hallen en trappenhuis 37
6.3.2 Open leeromgeving 39
Geen modulaire opzet 39
Spraakvolume 39
Achtergrondgeluid 39
Absorptie van de vloer 39
Plafond & wanden 39
6.3.3 Ruimte voor spraak 39
7 Materiaal & constructie 43
7.1 Constructie 43
7.1.1 Massa 43
7.1.2 Spouwconstrucities 43
7.1.3 Vloer, wand en plafond aansluitingen 43
7.1.4 Interne deuren, glas, ramen en vouwwanden 45
Deuren 45
Sluisdeuren 45
Vouwdeuren en mobiele wanden 45
7.2 Materialen 53
7.2.1 Twee mogelijkheden voor geluidsorptie 53
7.2.1.1 Wrijving 53
7.2.1.2 Resonantie 53
7.2.2 Absorptiekarakeristieken 53
7.2.2.1 Poreus materiaal: 53
7.2.2.2 Geperforeerd paneel: 53
7.2.2.3 Ongeperforeerd paneel 53
8 Case studies 55
9 Conclusies 59
8.1 Belang van het onderwerp 59
8.2 Holistische werkwijze 59
8.3 Schaalniveaus 59
8.3.1 Context 59
8.3.2 Plattegrond 59
8.3.4 Constructie & materiaal 59
8.4 Bouwkosten 59
Bibiografie 60
Literatuur 60
Artikelen 60
Wetten 61
Websites 61
Tabellen & illustraties 61

Leeswijzer

Het eerste hoofdstuk zal ik gebruiken om inzicht te krijgen in het belang van geluidsoverlast en akoestiek. Wat is het belang van een rustige werkomgeving op scholen? Wat is de invloed van de omgeving op de leerprestaties? En welke eisen stelt de omgeving om tot goede leerprestaties te komen?

Bij het ontwerpen van scholen spelen meerdere belangen. Het is de lastige taak van de architect om in dit brede scala van belangen te komen tot een goed functionerende school. Om deze belangen te ordenen ben ik met architecten en bouwfysisch adviseurs in interviews de discussie aangegaan om de urgentie van het onderwerp te bepalen. Aan de hand van de uitkomsten van deze gesprekken is het onderwerp in het tweede hoofdstuk gepositioneerd in het werkveld van de architect.

Nu we weten dat er meerdere belangen spelen kunnen we meer toespitsen op het onderwerp. Gezien de geringe kennis over akoestiek geeft het derde hoofdstuk een korte uitleg over akoestiek. Aan de hand van deze basale kennis wordt in de hoofdstukken erna uitgelegd hoe een architect op verschillende schaalniveaus rekening kan houden met geluidsoverlast en akoestiek. In dit onderzoek worden de problemen en oplossingen onderverdeeld in vier schaalniveaus, namelijk: de context - de plattegrond - de ruimte - het detail. Deze vier schaalniveaus komen ook in het ontwerpproces aan de orde.

Vervolgens wordt aan de hand van referentieprojecten gekeken wat de consequenties zijn van een bepaalde onderwerpkeuze. In de praktijk worden architecten en specialisten vaak geconfronteerd met geluidsoverlast, of er worden gebouwen ontworpen met meerdere functies die op het gebied van geluid conflicteren. Hier wordt al dan niet, soms gestuurd door wetgeving, op ruimtelijke, technische of juridische wijze een oplossing voor gevonden. Deze keuzes kunnen bepaalde consequenties tot gevolg hebben en deze zullen in kaart worden gebracht.
Het onderzoek geeft op deze manier een beeld van een belangrijk maar relatief klein en specifiek onderwerp in de bouwwereld dat nauw verbonden is met het gebruiks- en verblijfscomfort van een gebouw.

Verantwoording en doel

Het onderwerp van mijn onderzoek is akoestiek, veel architecten die ik heb gesproken vroegen zich af: waarom? ‘Daar heb je toch adviseurs voor’? ‘Dat kunnen wij toch niet’? ‘Er zijn zo veel interessante onderwerpen, waarom dan akoestiek’? Deze vragen kreeg ik vaak als commentaar. Mijns inziens is akoestiek een onderwerp dat een architect moet beheersen. Hij hoeft geen expert te zijn, maar de bouwfysica is een essentieel onderwerp dat bijdraagt aan een goed en gezond gebouw. Een goed binnenklimaat maakt een gebouw een prettige plaats om te verblijven. Hopelijk delen veel mensen deze mening en ik hoop dat andere studenten en wellicht ook architecten iets aan mijn werk hebben.

Het feit dat ‘de praktijk’ wat laconiek gereageerd en het onderwerp akoestiek als ‘randvoorwaarden’, ‘probleem voor later’ of als ‘vanzelfsprekend’ ziet geeft aan dat er voor de architectuur student nog een hoop te leren valt. Het onderwerp is tijdens mijn studie nauwelijks aan bod gekomen maar is een wezenlijk onderdeel dat de kwaliteit van een ruimte definieert. Een ruimte moet namelijk comfortabel zijn om in te verblijven en de akoestiek en geluidsoverlast zijn een onderdeel van dit comfort.

Mijn interesse begon bij de mens, wat zien, voelen, ruiken en horen gebruikers? En hoe gebruiken ze de ruimte? Het visuele aspect heeft altijd veel aandacht gehad en daarom wilde ik een van de zintuigen onder de loep nemen. Akoestiek gaat over hoe comfortabel mensen een ruimte vinden, is er bijvoorbeeld geluidsoverlast van buiten of andere vertrekken? Dit heeft betrekking op de plattegrond van het gebouw. Verder gaat het over vorm en materiaal, belangrijke architectonische instrumenten die de beleving en het gebruik van de ruimte maken of kraken.

Geluidsoverlast en akoestische problemen leven op scholen. Veel bestaande scholen hebben last van geluid van buiten en gymleraren klagen bijvoorbeeld over de herrie in hun gymlokaal. Het aanpakken van een bestaand en actueel probleem vind ik essentieel voor een architect. Een architect moet niet alleen gaan voor het mooie plaatje en opdrachtgevers moeten niet kiezen voor het ‘merk’ van de architect. Architecten moeten een hoogwaardig product leveren, om dit te bereiken moeten ze zich verdiepen in de materie die, in dit geval, op scholen leeft.

In mijn geval moest ik me verdiepen in akoestiek. Dit onderwerp is gedurende mijn studie weinig aan bod gekomen. Akoestiek is een onderdeel van het ingewikkelde spectrum van ontwerpbeslissingen die een architect moet maken. Goede akoestiek is een randvoorwaarde waar een gebouw aan moet voldoen, maar mijn inziens is het een onderbelicht onderwerp dat meer aandacht verdient omdat het meer met de onderwijsvisie en gebruiksgemak van een school is verweven dan men op voorhand zal denken.

Het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer heeft in september 2010 het *Programma van Eisen Frisse Scholen* uitgebracht. Hierin worden onder andere de akoestische eisen omschreven. Deze eisen worden alleen kwalitatief omschreven, maar het is nog niet duidelijk hoe je deze eisen haalt.

Het doel van het onderzoek is om inzicht te geven op welke wijze een architect ruimtelijke ingrepen kan doen zodat het akoestische comfort van een school wordt gewaarborgd. Deze ingrepen vinden op verschillende schaalniveaus plaats; van hoe om te gaan met omgevingsgeluid tot geluidshinder van ventilatiesystemen.

Aanpak & onderzoeksvragen

Onderzoeksdoel
Het doel is om tijdens het ontwerpen van een gebouw rekening te houden met het interne comfort van het gebouw. Comfort is een lastig en breed begrip omdat het meerdere onderwerpen bevat.

Het comfort van een gebouw bevat bouwfysische aspecten zoals daglicht, frisse lucht, tocht, temperatuur, akoestiek en geluidsoverlast. Deze begrippen zijn te kwalificeren en meetbaar.

Comfort heeft ook te maken met lastig te kwalificeren begrippen omdat die te maken hebben met een bepaald gevoel dat mensen hebben. Een gevoel van veiligheid of privacy zijn voorbeelden hiervan en hebben er mee te maken of iemand een ruimte als comfortabel ervaart en dat is multi-interpretabel.

In dit onderzoek richt ik me op akoestiek en geluidsoverlast, naast dat deze onderwerpen kwalificeerbaar zijn hebben ze veel te maken met de indeling van het gebouw en de vorm en materialisatie van een ruimte. Verder is het een onderwerp dat sterk de kwaliteit van de leeromgeving beïnvloedt. Veel scholen kampen met geluidsoverlast van buiten en er heerst op school een trend om lokalen en zelfstandige leerplekken open en flexibel in te delen, wat dus onderlinge geluidsoverlast in de kaart speelt.

Hoofdvraag
Hoe kan het akoestiek comfort geïntegreerd worden in het ontwerpproces?

Nevenvragen
1. Hoe beïnvloedt de leeromgeving de leerprestaties?
2. Welke positie neemt akoestisch comfort in de architectuur in?
3. Wat is akoestiek en akoestiek comfort?
4. Hoe kunnen we in de verschillende fases van het ontwerpproces rekening houden met akoestiek en geluidsoverlast.
5. Wat is de relatie met de bouwkosten?

1 De invloed van de omgeving op prestaties

Ons vrijheidsdenken stamt af van de Grieken en vormt een belangrijke hoeksteen van het functioneren van onze scholen. De bevolking van het klassieke Athene sloeg een nieuwe weg in, die werd gekenmerkt door ideeen over vrijheid, originaliteit en het geloof in het menselijk vermogen om vrij te denken en problemen op te lossen[1]. Die vrijheid en mogelijkheid om te leren heeft geleid tot verdere ontwikkeling van de mens en de ontwikkeling van nieuwe disciplines, bijvoorbeeld: wiskunde, geometrie, astrologie en geneeskunde naast dat rekenen, schrijven en lezen altijd de basis is geweest.

De school is de voedingsbron van onze samenleving, hier worden jongen mensen opgeleid. Een goede en gezonde leeromgeving is hiervoor essentieel. Als men zich goed voelt, kan men effectiever werken en studeren.

Een goede werkomgeving en een functionerend binnenmilieu behoren tot de best investeringen die scholen en bedrijven kunnen doen[2].

Een goed binnenklimaat laat zich door een aantal factoren beïnvloeden. Belangrijke gebieden die het goed binnenklimaat definiëren zijn geluid, klimaat, luchtkwaliteit, werkhouding, licht en verlichting en een groene omgeving. Om tot een functioneel en gezond, fysiek binnenmilieu te komen is een holistische benadering van groot belang[3].

1.1 Opkomst van de open leeromgeving

Het klaslokaal is lange tijd het vertrek geweest waar kinderen les krijgen, de laatste jaren is er een trend ingezet om de lessen meer buiten de klas of in een open leeromgeving te laten plaats vinden. Zo worden er speciale studieruimten ingericht of worden gangen breder ontworpen zodat de leerlingen ook buiten het lokaal kunnen werken. Andere scholen hanteren nog steeds een klassikale aanpak of keren weer terug naar de klassikale aanpak.

In dit onderzoek wordt geen keuze gemaakt welke onderwijsruimte geschikter is als lesruimte, maar er wordt wel gekeken wat de invloed van de ruimte is op de leer- en werkprestaties en hoe we deze ruimtes kunnen ontwerpen zodat deze prestaties bevorderen. We zullen kijken naar de open leeromgeving omdat deze relatief nieuw is en de problemen dus ook relatief nieuw zijn.

1.2 Onderzoek naar kantoortuinen

Er is weinig tot geen onderzoek gedaan naar de invloed van de open leeromgeving en hoe we deze moeten vormgeven. De open leeromgeving heeft veel overeenkomsten met de open werkomgeving toegepast in kantoortuinen. Een van de relevante problemen is geluidsoverlast en privacy.

De afgelopen jaren is er veel onderzoek gedaan naar de invloed van de werkomgeving op werknemers. Er wordt ook steeds meer onderzoek gedaan hoe fysieke middelen de werkprestatie en tevredenheid van werknemers beïnvloeden[4].

Bedrijven zijn bereid om in de werkomgeving te investeren als dit de productiviteit verbeterd. Onderzoekers komen met steeds meer resultaten over de invloed van de werkomgeving op de gezondheid van de werknemer.

1.3 Zes invloeden op prestatie

Veel aspecten zijn van invloed op de prestatie en werktevredenheid van werknemers. De invloed van de volgende architectonische details komen aan bod.

1. Klimaat en luchtkwaliteit
2. Ergonomie
3. Daglicht & verlichting
4. De beleving van de ruimte
5. Groene omgeving
6. Geluid

1.3.1 Klimaat en luchtkwaliteit

De ideale temperatuur van een onderwijslokaal is 20°C of daar net boven. Warmere ruimtes kunnen leiden tot stress en het is lastiger om de concentratie vast te houden en wakker te blijven.
De hoeveelheid kooldioxide mag niet te hoog worden. De ruimte moet dus goed geventileerd worden, anders kan dit leiden tot vermoeidheid, hoofdpijn of concentratieverlies. Het kooldioxidegehalte mag de 1000 ppm (parts per million) niet overschrijden, in een slecht geventileerde ruimte kan dit oplopen tot 3000 ppm. Een constante luchtstroom is een vereiste, tussen de lessen even ventileren is niet genoeg[5].

Er zijn veel oplossingen denkbaar om de juiste luchtkwaliteit te krijgen, overleg met deskundigen is dus essentieel. Een (gedeeltelijke) oplossing is het maken van ruimtes met grote volumes, maar dit is tegenstrijding aan de ruimte akoestiek.
Zware vloer en wandconstructies die 's nachts afkoelen en op die manier overdag de binnentemperatuur gelijkmatig houden helpen ook het binnenklimaat te verbeteren.

Goede ventilatie is de beste manier om het binnenklimaat te controleren. Door middel van mechanische ventilatie kan het binnenklimaat constant

1 Ecophon 2006, p 13
2 Ecophon 2006, p 24
3 Ecophon 2006, p 27

4 Brill, Margulis, & Konar, 1985; Clements-Croome, 2000; Davis, 1984; Dolden & Ward, 1986; Newsham, Veitch, Charles, Clinton, Marquardt, Bradley, Shaw & Readon, 2004; Vischer, 18989, 1996

5 Ecophon 2006, p 30

gehouden worden. Natuurlijke ventilatie waarbij gebruik wordt gemaakt van thermiek is ook een mogelijkheid, deze manier van ventileren is lastiger constant te houden dan mechanische ventilatie.

Allergieen en gevoelige reacties.
Sommige kinderen hebben last van overgevoeligheid, metname pollen- en huisdier allergieen komen vaak voor. Het gebruik van vloerkleden en andere stoffering moet vermeden worden, het is verstandig een bouwmateriaal te kiezen met een milieukeurmerk.
Om de verspreiding van stof en allergene organismen te voorkomen, moeten ventilatie-installaties en airconditioning continu in de gaten worden gehouden[6].

1.3.2 Goede ergomie
Naar de ergonomische opvatting is al veel onderzoek gedaan in de richting van licht en daglicht, geluidsoverlast, meubels en de lay-out van het kantoor.

De werkhouding is een belangrijke bron van irritatie, het kan namelijk leiden tot hoofdpijn, last van de rug, pijn in de nek en vermoeidheid. Mensen die tijdens hun schooltijd een verkeerde werkhouding hebben gehad, kunnen hier jaren later nog steeds last van ondervinden.
Ergonomisch gevormde, in hoogte verstelbare stoelen en tafels verminderen de kans op overbelasting. Ook extra inspanningen om iemand beter de kunnen horen of zien, kunnen er toe leiden dat iemand een verkeerde houding aanneemt.

Het toenemende gebruik van beeldschermen in het onderwijs stelt bijzondere eisen aan de ergomie. Eentonige bewegingspatronen en werkhouding, verlichting en lawaai van de comuters kan tot irritaties leiden. Eentonige bewegingen moeten worden onderbroken met ontspanningsoefeningen, zodat het lichaam beter kan omgaan met de belastingen.

Onderzoek toont aan dat de lay-out in het open-plan kantoor de meeste invloed heeft op de tevredenheid van de werknemer en zijn prestatie[7]. Een studie heeft zelfs aangetoond dat een investering in ergonomische tafels en stoelen voor de werknemer na 5 maanden al terug verdiend was door een hogere productiviteit[8].

Meerdere studies tonen aan dat kantoor medewerkers open-plan kantoren oncomfortabel vinden en dat ze de voorkeur geven aan een eigen afgesloten werkplek[9].

1.3.3 Licht en verlichting
Licht bepaalt in belangrijke mate de behaaglijkheid van de ruimte. Voldoende licht en licht van goede kwaliteit betekent:
- niet verblindend
- de juiste richting
- de juiste schaduwvorming
- aangepast aan het verminderd gezichtsvermogen.
- goede kleurweergave, de juiste lichtkleur en niet flikkerend licht
- harmonische beleving van de ruimte door goed verlichte vlakken en een goede verdeling van het licht[10].

Een gelijkmatig verlichte ruimte moet worden nagestreefd. Dit wordt niet bereikt door armaturen die alleen naar beneden schijnen. Armaturen moeten licht omhoog schijnen doordat het licht reflecteert via het plafond. Het plafond zorgt voor een gelijkmatige verspreiding van het licht. Lichte plafonds en wanden versterken deze werking en veroorzaken een zacht en diffuus licht[11].

Verblinding is het grootste lichtprobleem op de werkplek. Het oog heeft moeite met grote hoeveelheden licht, dit kan leiden tot irritatie en vermoeidheid. Een goed verspreidde verlichting, zonder verblindende bronnen is dus essentieel. Om indirecte verblinding te komen moet het gebruik van glimmende materialen vermeden worden.

De juiste kleurtemperatuur
Tl-buizen zijn de meest gebruikte lampen op scholen. Volspectrum tl-buizen met een goede kleurweergave verdienen de voorkeur[12].

Bij te weinig licht wordt het slaaphormoon melatonine aangemaakt en dat kan leiden tot een slaperig gevoel of seizoensdepressies. Het gehele gebouw moet goed verlicht zijn, bij voorkeur dus door indirect licht zodat er een geleidelijke verlichting ontstaat.
Te veel licht verhoogt de productie van het hormoon cortisol. Te veel aan cortisol kan stress veroorzaken.

Daglicht is moeilijk te controleren omdat het gedurende de dag van sterkte en kleur varieert. Natuurlijk licht heeft de voorkeur boven kunstlicht, maar het is vaak niet voldoende.

1.3.4 Beveling van de ruimte
Het gevoel je in een begrensde ruimte te bevinden, geeft veiligheid, en veiligheid is van belang om effectief te kunnen leren. Verder hechten gebruikers, zoals we eerder gelezen hebben, veel waarde aan privacy, de invloed die ze hebben op hun werkplek en de status die aan een plek verbonden is.

Andere onderzoeken gaan over meer psychologische aspecten zoals territoriaal gedrag en privacy. Deze twee aspecten zijn sterk beïnvloedt door de indeling van het kantoor: kantoor

6 Ecophon 2006, p 33

7 Brill, Margulis & Knonar, 1985; Hatch, 1987; Sullivan, 1990; Vischer, 1989
8 Miles, 2000
9 Brennan, Chugh & Kline, 2002; Fried, Slowik, Ben-David, & Tiegs, 2001
10 Ecophon 2006, p 37
11 Ecophon 2006, p 37

12 Ecophon 2006, p 42

grootte en de plek worden gelinkt aan status; open-plan kantoor beïnvloedt de akoestiek en de privacy; de hoeveelheid opslag wordt gerelateerd aan territorialiteit en status[13].

McCoy en Evans (2005) gaan bij het benoemen van stressfactoren verder dan ergonomie. Zij noemen de 'ruimtelijke organisatie, architectonische details, omgevingscondities en het uitzicht en visuele toegang van de werkplek als potentiele factoren.

Deze factoren kunnen psychologische processen beïnvloeden, negatief effect veroorzaken, motivatie en prestatie limiteren en sociale interactie belemmeren.

De ruimtelijke organisatie kwestie omvat de openheid van de lay-out: hierbij is de verhouding tussen openheid van de werkplek en de privacy van belang. Deze worden beïnvloedt door de hoogte van de eventuele afscheiding en de afstand tussen de werkplekken. Verder zijn de afstanden tot printers, vergaderruimtes en toiletten van belang. Verschillende omgevingscondities, zoals visuele openheid en licht, maar ook ventilatie en thermisch comfort, zijn nauw gerelateerd aan de ruintelijk organisatie.

De architectonische details, zoals kleur en decoratie, wegwijziging, kunst en ontwerp details, kunnen van waarde zijn en kunnen een symbolische waarde bevatten die mensen emotioneel beïnvloedt. Bijvoorbeeld, sommige omgevingsaspecten bemoedigen persoonlijke en individuele decoratie; sommige herkenningspunten bakenen het territorium af voor bepaalde personen of groepen; andere hebben een symbolische status, zoals de nabijheid van ramen (positief) of toiletten (negatief).

Daglicht en verlichting

Licht en donker hebben grote invloed op de ervaring van de ruimte. Een lichte ruimte wordt als groot ervaren en een donkere ruimte als klein.

1.3.5 Groene omgeving

Scholieren presteren beter als zij kunnen werken in een schoon, licht, groen klimaat. Naast dat een groene omgeving de leerprestatie bevordert, heeft het ook voordelen voor het klimaat van het gebouw en akoestiek. Oude scholen hebben vaak last van een slechte ventilatie en daardoor een slecht binnenklimaat. De leerlingen kunnen last krijgen van een droge keel, hoofdpijn, een droge huid en soms gevoelens van onrust. Planten verbeteren deze omstandigheden. Ze vervullen een vitaliserende en zuiverende functie in het binnenklimaat van scholen en spelen een rol bij de regulering van de luchtvochtigheid en de klimaatomstanddigheden. Zo hebben planten bij warm weer een verkoelend effect. Planten verbeteren ook de akoestiek van galmende ruimtes zoals de hal van een school[14].

1.3.6 Geluid

Redelijk recent onderzoek heeft uitgewezen dat geluidsoverlast de primaire oorzaak is voor een slecht comfort en een verlaagde productiviteit. Akoestisch comfort studies zijn gericht om de relatie te leggen tussen fysieke metingen, zoals signaal-ruis ratio's, achtergrond geluidsniveau en intensiteit en spraakverstaanbaarheid onder verschillende fysieke omstandigheden, met het werknemers oordeel over afleiding en irritatie.

Maatregelen tegen geluidsoverlast door meer absorberend materiaal te plaatsen, geluid maskerende systemen en het gedrag van de werknemers zijn niet genomen na een andere manier van werken[15]. Geluidsmaskering is typisch Amerikaans en wordt in Europa niet gedaan.

Vele vormen van geluidsoverlast verslechteren de informatieoverdracht op scholen. Zo ondervinden mensen overlast van de ventilatiesystemen, gesprekken, verkeerslawaai, schuiven van stoelen en voetstappen. Geluid van aangrenzende ruimtes vormt een andere bron van lawaai. Vooral gymnastiek-, handvaardigheid- en muziekruimtes, evenals gangen, trappenhuizen, liften en ventilatieruimtes verspreiden hinderlijke geluiden door de andere delen van het gebouw[16].

Lawaai heeft vooral een negatieve invloed op werkzaamheden die veel geestelijke inspanning en concentratie vergen en een beroep doen op het geheugen en de mogelijkheid meervoudige taken uit te voeren. Bovendien kan lawaai ook direct irritatie oproepen.
Een veelvoorkomende vorm van lawaai is het laagfrequente, monotone en vermoeiende geluid van de mechanische ventilatie[17].

'Een goede akoestiek staat centraal bij onderwijs in klaslokalen en is daarom van vitaal belang voor iedere kennissamenleving... Slechte akoestiek is de meest voorkomende klacht op het gebied van binnenmilieu en heeft negatieve invloed op miljoenen kinderen in de Verenigde Staten'[18].

13 Fischer, Tarquinio & Vischer, 2004; McCusker, 2002; Vischer, 2005

14 van de Beek, ter Haar & Oei 2011, p 71

15 Ayr, Cirillo & Martellota, 2001; Chu & Warnock, 2002; Mital, McGlothlin & Faard, 1992

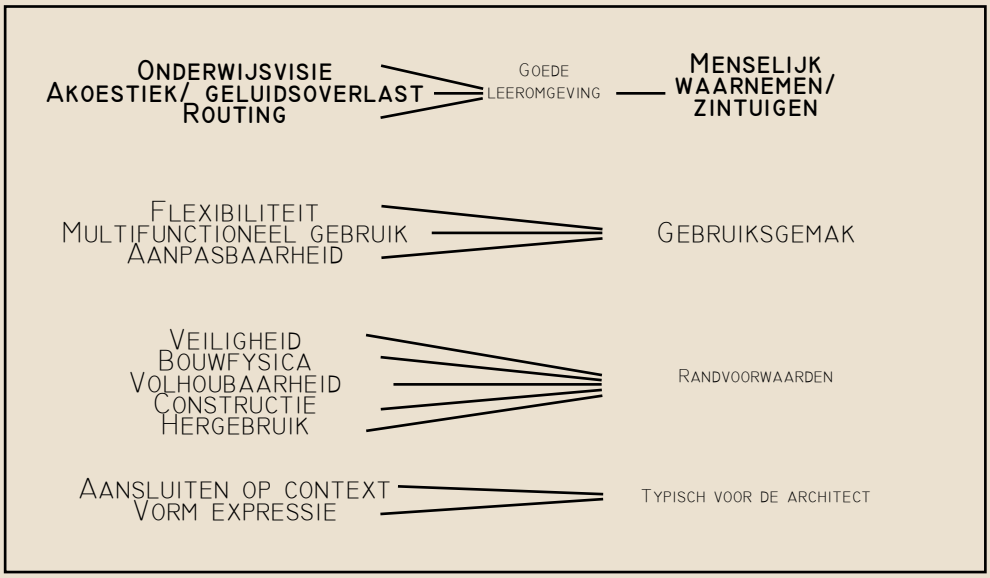
16 Ecophon 2006, p 28

17 Ecophon 2006, p 29

18 Picard, Bradley. USA, 1997



Figuur 2.1: Sylvie Beugels, Mecanoo



Figuur 2.2: Evert de Ruiter, Peutz

2 Wat is de positie van akoestiek in de architectuur?

Om het onderwerp te kunnen plaatsen in het brede scala van het vak architectuur heb ik een aantal architecten en bouwfyisch adviseurs geinterviewd. Al snel bleek dat niet iedereen het onderwerp even interessant vindt.

Om het gesprek sturing te geven en om aan het einde resultaten te krijgen die te vergelijken zijn heb ik iedereen blaadjes met allerlei vak relateerde onderwerpen voor hun neus gelegd. Deze briefjes moesten ze indelen naar prioriteit, zodat ik een duidelijk beeld kan krijgen van wat zij onder hun vak verstaan en wat binnen dit vak de positie van architectuur is. Eventueel konden ze een onderwerp toevoegen.Ik heb niet verlangd dat ze alle briefjes gebruikten.

De onderwerpen die ik hen heb voorgelegd zijn de volgende:
- Aanpasbaarheid
- Aansluiten op context
- Akoestiek/ geluidsoverlast
- Bouwfysica
- Constructie
- Duurzaamheid
- Flexibiliteit
- Gebruiksgemak
- Hergebruik
- Menselijk waarnemen/ zintuigen
- Multi-functioneel gebruik
- Onderwijsvisie
- Routing
- Veiligheid
- Vorm/ expressie

Sylvie Beugels, Mecanoo
Ze geeft direct aan dat ze akoestiek een lastig onderwerp vindt, ‘dat kan ik helemaal niet, ik kan niet alle vragen beantwoorden’. Het binnenklimaat van scholen zou een interessanter onderwerp zijn. Het thema ‘Frisse scholen’ leeft ook en akoestiek zou één van de onderwerpen kunnen zijn. Akoestiek is één van de vele onderwerpen waar je als architect mee te dealen hebt. De verschillende onderwerpen die ik voorleg zijn allemaal belangrijk en er is niet één onderwerp belangrijker dan de andere, een goed gebouw moet aan al deze eisen voldoen.

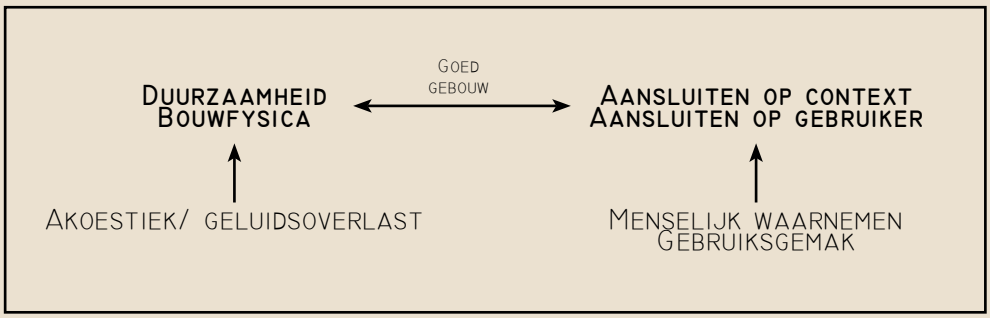
Na wat langer bestuderen pikt ze er een viertal onderwerpen uit die voor Mecanoo belangrijk zijn:
- Onderwijsvisie
- Menselijk waarnemen/ zintuigen
- Gebruiksgemak
- Aansluiten op context

Deze onderwerpen vormen voor Mecanoo bij elk onderwerp de basis voor elk ontwerp. De andere onderwerpen, zoals akoestiek, komen later. Als architect ben je in eerste instantie bezig met andere dingen (zoals de 4 hierboven) dan akoestiek. Ze noemt een aantal voorbeelden waarom deze vier onderwerpen belangrijk zijn.
1. Een school moet bijvoorbeeld veilig zijn, maar als dit ten koste gaat van de behaaglijkheid gaan we een stap te ver. Een school moet in eerste instantie een fijne omgeving zijn.
2. Mecanoo is ook met duurzaamheid bezig, maar het is niet leidend. Andere bureaus doen daar meer mee, hiervoor schakelt Mecanoo adviseurs in.

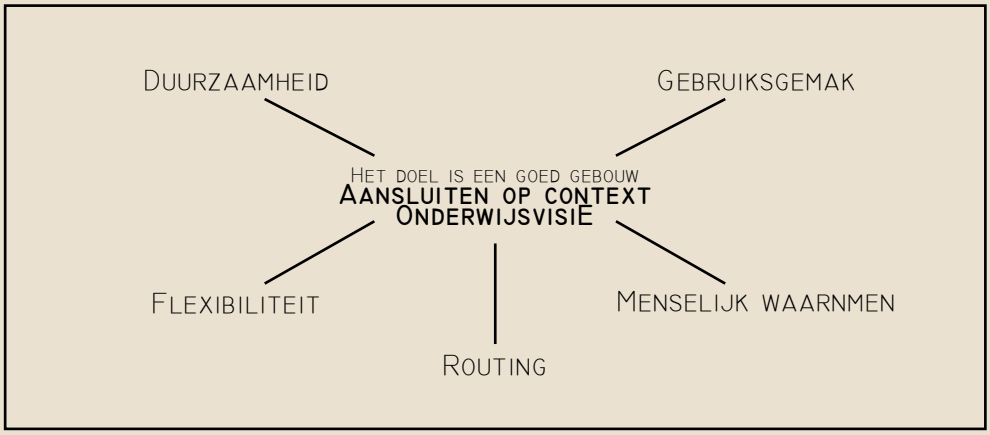
Evert de Ruiter, Peutz
Onderwijsvisie op #1
Een gebruiker wil in eerste instantie een goed gebouw. Uit het programma van eisen zijn een aantal dingen te herleiden:
1. Eisen uit het gebruik
2. Eigenschappen die het gebouw moet hebben, prestaties die het moet leveren (bijv. duurzaam of flexibel)

Als belangrijkste uitgangspunt voor een onderwijsgebouw geldt natuurlijk dat het een randvoorwaarde is voor goed onderwijs, de *onderwijsvisie* staat dus centraal. Onderwijs is de belangrijkste functie van een schoolgebouw. Voor goed onderwijs is het belangrijk dat er aandacht wordt besteed aan de *akoestiek* en moet er voor worden gezorgd dat er geen *geluidsoverlast* is, aangezien onderwijs een kwestie is van concentratie en mondelinge overdracht. De *routing/ verkeersgebieden* van de school hebben een niet te onderschatten invloed op de geluidsoverlast en daardoor op het onderwijs.

Flexibiliteit, multifunctioneel gebruik & aanpasbaarheid → Gebruiksgemak
Flexibiliteit, multifunctioneel gebruik & aanpasbaarheid zijn niet los te zien en vallen zijns inziens onder het gebruiksgemak. Ze komen voort uit de gebruikseisen.



FIGUUR 2.3: GERTJAN VERBAAN, DGMR



FIGUUR 2.4: GERRIT-JAN VAN RIJSWIJK, VVKH



FIGUUR 2.5: EDWARD SCHUURMANS, DKV

Gertjan Verbaan, DGMR
Als belangrijkste onderwerpen selecteert hij duurzaamheid en bouwfysica. Duurzaamheid interpreteert hij als een gezond gebouw dat daardoor lang meegaat in de breedste zin. Dus energiezuinig, bruikbaar. Voor een gezond gebouw moet de bouwfysica van het gebouw kloppen. Het moet een gezonde omgeving zijn om te verblijven en dus moet ook de akoestiek van het gebouw kloppen en moet je geen geluidsoverlast ondervinden. Niet alleen het gehoor moet kloppen maar alle menselijke zintuigen en het menselijk lichaam moeten aandacht krijgen om het sick-building syndroom te voorkomen.
Om een gebouw lang mee te laten gaan moet het goed aansluiten aan zijn context, het moet passen in zijn omgeving.

Een gebouw moet gebruiksvriendelijk zijn en aansluiten bij de gebruiker. Een gebouw kan uitgerust worden met allerlei technische snufjes maar als de gebruiker het dan vervolgens niet gebruikt, ben je ver doorgeslagen.

Flexibiliteit is een lastig onderwerp. Je moet het heel gericht doen, je moet van te voren weten voor welke functies je moet ontwerpen. We hebben het over een uitbouw van een school die zo wordt gebouwd dat de lokalen later kunnen worden omgebouwd naar senioren woningen. Als je dit niet van te voren weet is het lastig ontwerpen.

Gerrit-Jan van Rijswijk, VVKH
Gerrit-Jan vertelde eerst uitgebreid over een project van VVKH in Leidschendam, waaraan hij later ook zijn belangrijkste ontwerpbeslissingen en uitgangspunten kan koppelen.

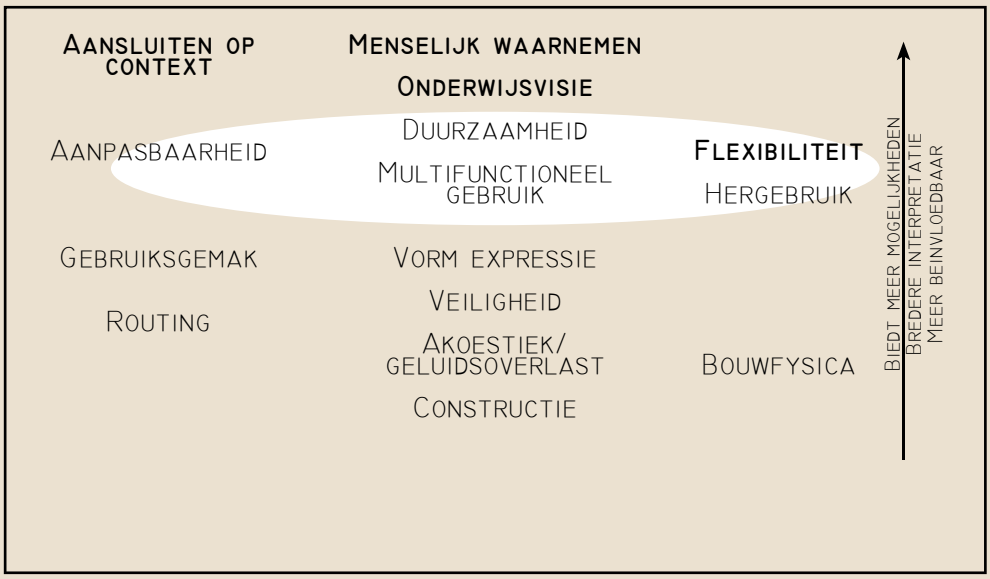
Allereerst is het een onderwijsgebouw dat goed in zijn omgeving moet passen. Het gebouw ligt in een park dat omringt is door flatgebouwen, het park fungeert als speelplek. De vijver waar het gebouw aan grenst is ook onderdeel van het duurzaamheidsconcept. Al het regenwater uit de wijk wordt hier opgevangen. Een schoolgebouw moet levendig zijn, er moeten op meerdere schaalniveaus dingen gebeuren, van klassikaal naar individueel werk. Voor deze levendigheid is de routing ook belangrijk; leerlingen, docenten, andere gebruikers en bezoekers kunnen elkaar zien. De hal wordt gebruikt voor groepslessen en groepsactiviteiten. De gymzaal ligt centraal en verdiept midden in de school zodat er vanuit de gang zicht is op de sportende leerlingen.
Het gebouw is flexibel door zijn constructieve opzet. Een kolommen structuur is een open opzet en geeft her in te delen ruimten.

Zijn doel is om een goed gebouw te maken, je bouwt niet voor jezelf. Onder een goed gebouw valt ook ventilatie, isolatie en dus ook akoestiek maar het is geen uitgangspunt. Een goed gebouw kun je alleen maken als je bij de eerste vergadering met iedereen aan tafel zit. Verder komt er veel aan op detaillering, je moet alles uit de kast halen om je ideeën te verwezenlijken. In deze school is een groot spant aangebracht om de gymzaal te kunnen overspannen. Het spant is duidelijk zichtbaar en is dus onderdeel van de vormgeving van het gebouw.

Edward Schuurmans, DKV
Tijdens dit interview werden de begrippen weer op een heel andere manier ingedeeld. Edward Schuurmans onderscheidde heel duidelijk op welke aspecten de architect invloed heeft en wat dus zijn taak is om te ontwerpen. Deze begrippen in de ontwerpruimte voor de architect maken voor hem het gebouw en daar ligt voor hem de uitdaging.

De bouwfysica en dus ook de akoestiek moeten natuurlijk goed zijn, maar zijn niet de eerste prioriteit. De 4 begrippen gebruiksgemak, veiligheid, onderwijsvisie en routing beschouwde hij als aspecten waar je weinig invloed op hebt en worden op voorhand door de gebruiker vastgesteld en hier heb je het mee te doen. De begrippen die hij als ontwerpruimte voor de architect ziet, zijn de middelen hoe je aan deze eisen voldoet.

‘Vorm en expressie’ en ‘menselijk waarnemen’ komende gedurende het ontwerp aan de orde maar volgen uit eerdere beslissingen en worden vanzelf opgelost.



FIGUUR 2.6: RON LEENHEER, SP ARCHITECTEN

AANSLUITEN OP CONTEXT	𝍸 I
MENSELIJK WAARNEMEN/ ZINTUIGEN	𝍸
ONDERWIJSVISIE	IIII
DUURZAAMHEID	IIII
GEBRUIKSGEMAK	III
AKOESTIEK/ BOUWFYSICA	II
ROUTING	II
MULTI-FUNCTIONEEL GEBRUIK	II

FIGUUR 2.7: BELANGRIJKSTE ONTWERP UITGANGSPUNTEN

Ron Leenheer, SP architecten
Ron Leenheer onderscheidde onderwerpen waar je als architect veel mee kan en waar je invloed op kan uitoefenen. Een beetje een zelfde interpretatie als Edward Schuurmans, maar de begrippen zijn op geheel andere wijze ingedeeld.

De bovenste begrippen, *aansluiten op context, onderwijsvisie, menselijk waarnemen en flexibiliteit* (zie figuur 2.6), zijn breed te interpreteren en hier zullen scholen en architecten veel in verschillen.

De omcirkelde begrippen hebben veel met elkaar te maken en vertegenwoordigen veel van hetzelfde.

Hoe lager de begrippen, hoe 'vaster' ze staan en dus hoe minder beinvloedbaar te zijn.

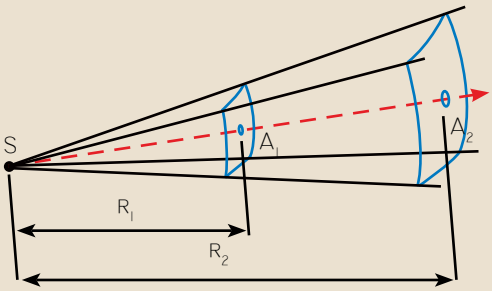
Conslusies
Wanneer we de zes interviews naast elkaar leggen kunnen we een aantal dingen concluderen.

Akoestiek en geluidsoverlast spelen in eerste instantie in het ontwerpproces geen prominente rol, dit is helemaal niet verkeerd en dat hoeft ook helemaal niet. Het uitgangspunt is om een goede school te bouwen waarin het prettig leren en verblijven is. *Onderwijsvisie* en *aanpassen aan de context* blijken voor alle architecten belangrijke uitgangpunten. Wanneer het gaat om een gebouw in een geluidbelaste omgeving zou het onderwerp wel een onderwerp van betekenis zijn, dan valt het onder de *aanpassing aan de context.*

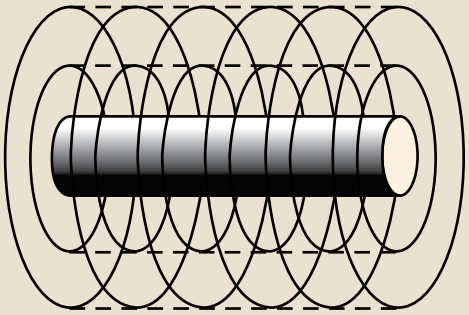
De bouwfysisch adviseurs geven een hogere prioriteit aan bouwfysica, akoestiek en geluidsoverlast. Het zijn essentiële onderwerpen die de kwaliteit van de leeromgeving beïnvloeden en die verbeteren, een rustige leeromgeving is belangrijk voor goede leerprestaties en een efficiënte informatie overdracht.

Architecten gebruiken akoestiek en geluidsoverlast niet als ontwerp-uitgangspunt, wel worden adviseurs steeds vaker in een vroeg stadium uitgenodigd voor de bouwvergadering. Adviseurs worden wel eens als kostenpost gezien die roet in het eten gooien van de mooie ideeën van de architecten. Alle architecten en beide adviseurs geven aan het prettig te vinden om in een vroeg stadium samen te werken om zo tot een beter resultaat te komen.

In figuur 2.7 is geteld welke onderwerpen het vaakst naar voren werden geschoven als 'belangrijk'. Hier valt dus op dat het aansluiten op de context door iedereen belangrijk wordt geacht of door andere professies wordt aangeduid als een taak voor de architect. Wat verder opvalt is dat het menselijk waarnemen veel aandacht moet krijgen, maar dat akoestiek en bouwfysica veel minder wordt genoemd. In mijn ogen valt een goede akoestiek en bouwfysica onder de noemer 'menselijk waarnmen' omdat deze onderwerpen over gehoor, temperatuur en frisse lucht gaan.



Figuur 3.1: Schets van de toename van het oppervlak van een bolsegment met de afstand tot het middelpunt waar zich een geluidsbron bevindt. Het oppervlak A neemt toe met het kwadraat van de afstand r. De dichtheid van de geluidsenergie neemt daarmee af met het kwadraat van de afstand.



Figuur 3.2: Schets van de toename van het oppervlak van een cilindersegment met de afstand tot de middellijn waar zich een geluidsbron bevindt. Het oppervlak verdubbelt door een verdubbeling van de afstand r.

Afname bij een puntbron

Bij een bolvormige uitbreiding van het geluid, van afstand R_1 naar R_2 wordt het segment waar dezelfde 'hoeveelheid geluid' doorheen loopt groter, van A_1 naar A_2. Bij verdubbeling van de afstand r wordt het oppervlak A 4 keer zo groot. De energie wordt dus over een 4 keer zo groot oppervlak verdeeld. Per oppervlakte-eenheid is er dus een afname van geluidsenergie met een factor 4. Omgerekend in dB is dit dus 10 log 4 = 6 dB[1].

Afname bij een lijnbron

Bij een cilindervormige uitbreiding van het geluid, van afstand R_1 naar R_2 wordt het segment waar dezelfde 'hoeveelheid geluid' doorheen loopt groter, van A_1 naar A_2. Bij verdubbeling van de afstand r wordt het oppervlak A 2 keer zo groot. De energie wordt dus over een 2 keer zo groot oppervlak verdeeld. Per oppervlakte-eenheid is er dus een afname van geluidsenergie met een factor 2. Omgerekend in dB is dit dus 10 log 2 = 3 dB.

1 http://www.audiologieboek.nl/niveau2/hfd5/5-2-1.htm

3 Inleiding in akoestiek

Geluid is een vorm van energie die veroorzaakt wordt door een bron in trilling. Deze energie verplaatst zich door lucht doordat de luchtdruk heel licht verandert, deze veranderingen in de lucht druk bewegen zich als een geluidsgolf voort. Als deze verschillen in luchtdruk een ontvanger bereiken, zoals een oor, worden deze trillingen als geluid waargenomen.
Hoge geluidniveaus hebben een negatief effect. Naast gehoorbeschadigingen verstoort het onze communicatie en op scholen hebben leerlingen moeite met concentreren1.

3.1 Grootheid

3.1.1 Geluidsdruk

De geproduceerde geluidsdruk is afhankelijk van de bron, een hogereschommeling luchtdruk wordt waargenomen als een harder geluid.
Deze luchtdruk verschillen zijn relatief klein. De lucht in de atmosfeer heeft ook een bepaalde luchtdruk, ook wel barometrische druk.
De gemiddelde barometrische druk ligt rond de 1000 hPa (hectoPascal) of wel 100000 Pascal (105 Pa).
Het menselijk oor heeft een beperkt bereik om geluiddruk waar te nemen. Dit bereik ligt tussen de 2 x 10-5 tot 200 Pa. Dat is een factor van 5 x 109 repectievelijk 500 verschil met de barometrische druk.

3.1.2 Geluidsdrukniveau

De extremen van het menselijk oor (2 x 10-5 en 200 Pa) liggen een factor 107 van elkaar. Omdat het moeilijk is om met waarden te werken die zo ver uit elkaar liggen, kan de geluidsdruk niet direct gebruikt worden als grootheid voor de geluidsintensiteit. Een logaritmische grootheid is daarom geintroduceerd: het geluidsdruk niveau (Lp). De geluidsdruk (peff in Pascal) wordt vergeleken met een vaste druk p0 (2 x 10-5 Pa)2.

Lp = 10log (peff2/p02) [dB]

Het geluidsniveau wordt uitgedrukt in decibel en afgekort tot dB. Decibel is geen eenheid, maar een logaritmische schaal.

3.1.3 Equivalente geluidsdruk

In dit verslag zullen we spreken van een equivalente geluidsdruk omdat de geluidsdruk in en rondom scholen erg kan varieren spreken we over de equivalente geluidsdruk gedurende 30 min (LAeq,30min).

3.1.4 dB of dB(A)?

De dB(A) is de eenheid waarin de sterkte van het geluid in verreweg de meeste gevallen wordt weergegeven. De dB(A) heeft namelijk een direct verband met de menselijke waarneming.
De reden dat de dB(A) in plaats van een gewone decibel bij geluidmetingen en geluidberekeningen wordt toegepast heeft te maken met de gevoeligheid van het (menselijk) oor, die voor de verschillende frequenties van het geluid niet gelijk is. In de figuur hiernaast is deze weging weergegeven. Bij 1000 Hz wordt geen correctie uitgevoerd, de weging is daar 0 dB. Bij 10 Hz (helemaal links in de grafiek) bedraagt de weging -70 dB. Dat betekent dat een mens een toon van 10 Hz veel zachter hoort dan een toon van 1000 Hz met dezelfde fysische geluidssterkte, namelijk 70 dB zachter. Mensen zijn dan ook bijna doof voor zulke lage tonen.
Een geluidsmeter met een “vlakke” respons zal de sterkte van het geluid met lage toonhoogte (bijvoorbeeld 100 Hz) even hard meten als het geluid met hoge toonhoogte (bijvoorbeeld 1000 Hz). Voor het menselijk oor klinkt die lage toon echter zachter3.

3.2 De invloed van afstand

3.2.1 Puntbron

Als de geluidsbron zich buiten bevindt, en als de afmetingen van deze bron klein zijn ten opzichte van de afstand van de waarnemer, dan kan de bron beschouwd worden als een puntbron. Het geluid wordt dan afgestraald over een bolvormig oppervlak. De afgestraalde geluidenergie wordt dan verspreid over een oppervlak dat evenredig is met het kwadraat van de afstand tot de bron. De denkbeeldige bol waar al het geluid doorheen gaat krijgt op grotere afstand een steeds groter oppervlak4. Het verdubbelen van de afstand heeft bij een puntbron een vermindering van 6 dB tot gevolg.
Lp = Lw + 10 log (1/(4πr2)
(Abol = 4πr2)

3.2.2 Lijnbron

Lijnbronnen, zoals een weg met veel verkeer straalt het geluid af in de vorm van een cilinder. Ook het oppervlak van de denkbeeldige cilinder wordt groter op grotere afstand, maar dat gaat evenredig met de afstand. (Dus niet in het kwadraat, zoals bij een puntbron). Het geluidsniveau van een lijnbron neemt hierdoor af met 3 dB per verdubbeling van de afstand5. Het verdubbelen van de afstand bij een lijnbron, zoals een weg, heeft een vermindering van 3 dB tot gevolg.
Lp = Lw + 10 log (1/(2πr)

1 van der Linden 2006, p 144

2 van der Linden 2006, p 148

3 van der Linden 2006, p 157
4 van der Linden 2006, p 147
5 van der Linden 2006, p 147

STI en RASTI

De mate van spraakverstaanbaarheid in een ruimte kan worden uitgedrukt in STI en RASTI.

De STI (Speech Transmission Index) is een grootheid waarmee de modulatieoverdracht van een communicatiekanaal (ruimte) kan worden gekwantificeerd. Met modulatie-overdracht wordt bedoeld de overdracht van sterktevariaties die gebruikt worden tijdens spraak.

De STI wordt bepaald over de frequentiebanden van 125 Hz tot 8000 Hz en kan waarden aannemen tussen 0 en 1. Elke frequentieband heeft daarbij een afzonderlijke weging. In de STI is zowel de invloed van galm als die van stoorgeluiden op de verstaanbaarheid van spraak verwerkt. De STI kan worden berekend of gemeten en eventueel mag deze worden geschat.

De waardering van een grote groep normaal horende mensen van de STI vertaald naar verstaanbaarheids-kwaliicaties is weergegeven in de onderstaande tabel.

STI	SPRAAKVERSTAANBAARHEID
0.00 - 0.30	slecht
0.30 - 0.45	matig
0.45 - 0.60	redelijke
0.60 - 0.75	goed
0.75 - 1.00	uitstekend

De RASTI (Rapid Speech Transmission Index) is eenvoudiger te berekenen dan de STI. De RASTI wordt uitsluitend bepaald aan de hand van de 2 belangrijkste frequentiebanden, te weten 500 Hz en 2000 Hz[1].

1 http://www.sonus.nl/dutch/begrippen/toelichtingen/rasti.html

3.3 Akoestisch comfort

In veel omgevingen waar mensen veel tijd door brengen en veel praten worden hoge geluidniveaus beschouwd als één van de meest vervelende factoren. Hoge geluidniveaus veroorzaken op scholen bijvoorbeeld concentratie verlies. Het is daarom belangrijk dat de architect een hoog akoestisch comfort nastreeft.

Een hoog akoestiek comfort wordt bereikt door rekening te houden met de volgende aspecten: nagalmtijd, het geluidsniveau en de spraakverstaanbaarheid. Deze begrippen zullen eerst worden uitgelegd en daarna wordt uitgelegd hoe we ze kunnen beinvloeden.

3.3.1 Nagalmtijd

Nagalmtijd is de tijd dat een geluidverschijnsel in een ruimte nog hoorbaar is als de geluidsbron reeds is gestopt.
Een voorbeeld is een klap in de handen in een kerk of zaal. Dan hoort men het nagalmen. De nagalmtijd is de tijd dat het duurt tot het moment dat het geluid met 60 dB is afgenomen. In de praktijk hoort men de nagalm dan niet meer6.

De nagalmtijd wordt bepaald door:

- De hoeveelheid absorptiemateriaal en hoe dit wordt geplaatst, een goede spreiding in de ruimte is essentieel.
- De hoeveelheid en spreiding van geluid verstrooiende elementen zoals meubels.
- De grote en vorm van de ruimte

De nagalmtijd is als volgt te bereken:
$T = 1/6 \cdot V/A$
$A = \Sigma \alpha \cdot S$

T: Nagalmtijd [s]
V: Volume [m3]
A: Hoeveelheid absorptie [m2 o r]
α: absorptiecoëfficiënt materiaal [-]
S: oppervlakte absorptie materiaal [m2]

De nagalmtijd is in de zaalakoestiek een belangrijke ruimteparameter die afhangt van de totale absorptie en het volume van de ruimte. Omdat galm aan het geluid een wat rijkere klank geeft is een relatief lange nagalmtijd gewenst voor ruimten waarin muziek wordt geproduceerd. Galm in de lagere frequenties draagt bij aan hetgeen kan worden omschreven als warmte van het geluid. Galm in de hogere frequenties vergroot de helderheid van het geluid.

Bij ruimten geschikt voor spraak zijn we meestal slechts geïnteresseerd in de vraag of spraak in die ruimte daadwerkelijk verstaanbaar is.

Voor de verschillende soorten zalen is als functie van hun volume aan te geven welke nagalmtijden gewenst zijn. In figuur 6.4 worden deze optimum nagalmtijden weergegeven.

Naarmate de hoeveelheid absorptie (A) in een ruimte toeneemt wordt er per reflectie meer energie geabsorbeerd en neemt de nagalmtijd (T60) af. Neemt daarentegen het volume (V) toe dan wordt de gemiddelde vrije weglengte in die ruimte groter en daarmee het aantal reflecties per tijd kleiner. Hierdoor wordt er, per tijdseenheid, minder vermogen aan de ruimte onttrokken. Als het volume toeneemt neemt derhalve ook de nagalmtijd toe.

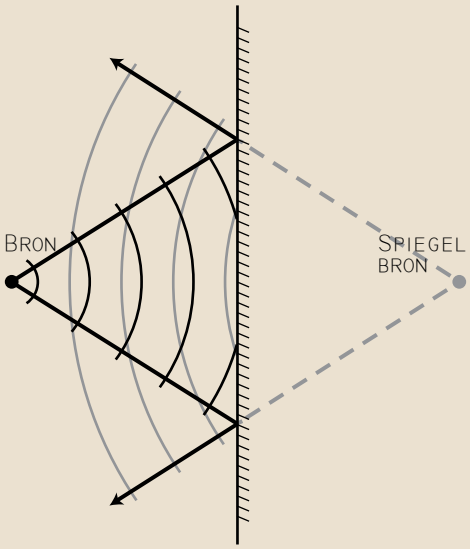
3.3.2 Spraakverstaanbaarheid

De spraakverstaanbaarheid is direct afhankelijk van het achtergrondgeluidniveau,
de nagalmtijd en de vorm van de ruimte. Verschillende methoden worden gebruikt om de spraakverstaanbaarheid te evalueren zoals RASTI, STI and %ALcons7.

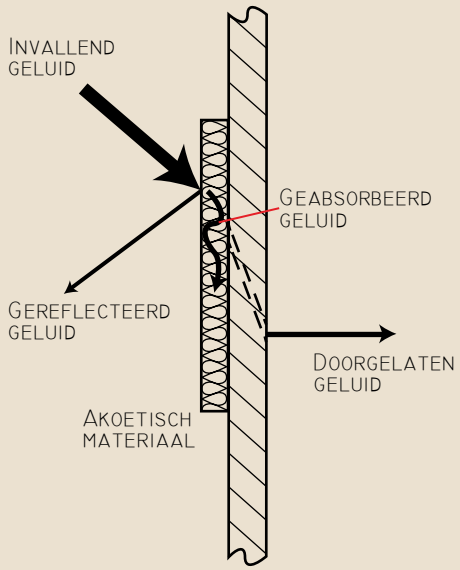
Speech Transmission Index (STI) is een objectieve maat voor de spraakverstaanbaarheid in een ruimte8.

6 van der Linden 2006, p 159

7 Ecophon Group 2002, p 11
8 http://www.sonus.nl/dutch/begrippen/omschrp_t.html#sti



FIGUUR 3.3: REFLECTIE



FIGUUR 3.4: ABSORPTIE

3.4 Absoptie & isolatie

3.4.1 Reflecties

Wanneer een geluidsgolf een oppervlak treft, zal dit leiden tot reflectie, absorptie of verspreiding of een combinatie daarvan.

Wanneer een geluidsgolf een volkomen glad oppervlak treft, wordt hij gespiegeld weerkaatst (figuur 2.3). De sterkte van de individuele reflectie wordt bepaald door de akoestische eigenschappen van het oppervlak waardoor de geluidsgolven worden weerkaatst.

Alle onregelmatigheden in het reflecterende oppervlak zijn van invloed op de reflectie.

Oppervlakken die niet glad zijn, verspreiden de energie van de geluidsgolf. Een diffuus oppervlak kan regelmatig zijn, bijv. gebogen, of onregelmatig, bijv. zoals de diffuse oppervlakken die in studio's worden gebruikt9.

3.4.2 Absorptie

Als een reflecterend oppervlak absorberende eigenschappen heeft, zal een deel van de energie worden geabsorbeerd (figuur 3.4). Geluidsabsorptie is het verschijnsel dat geluidsenergie in warmte wordt omgezet. Het geluid verdwijnt dan eigenlijk in het materiaal. De geluidsgolven (geluidsdruk) vervormen het materiaal. Het vervormen van het materiaal kost energie. Afhankelijk van het soort materiaal zal de energie gedeeltelijk worden teruggegeven in de vorm van weergekaatst geluid. De energie die niet teruggegeven wordt, wordt in de vorm van warmte, in het materiaal opgeslagen10.

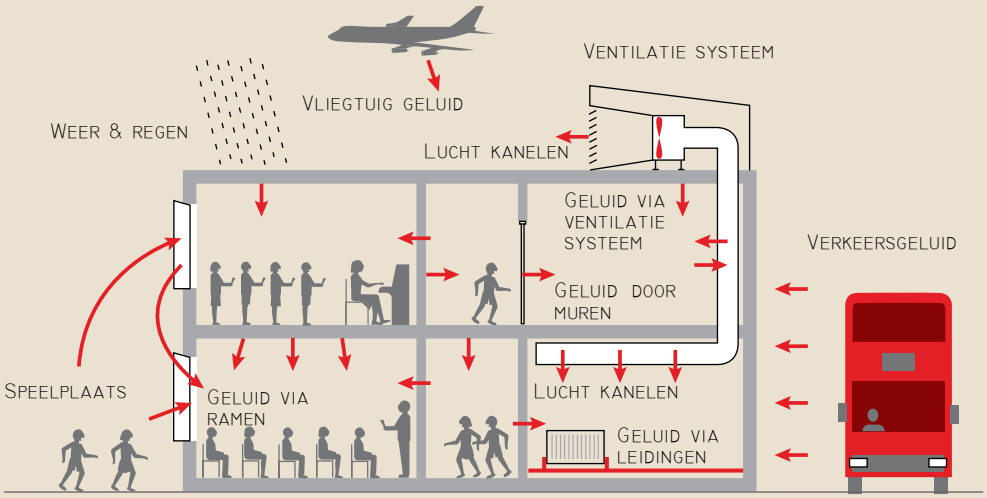
3.4.3 Geluidsisolatie

Geluidsisolatie is het afschermen van een ruimte voor geluid van buitenaf of van een naastgelegen ruimte.

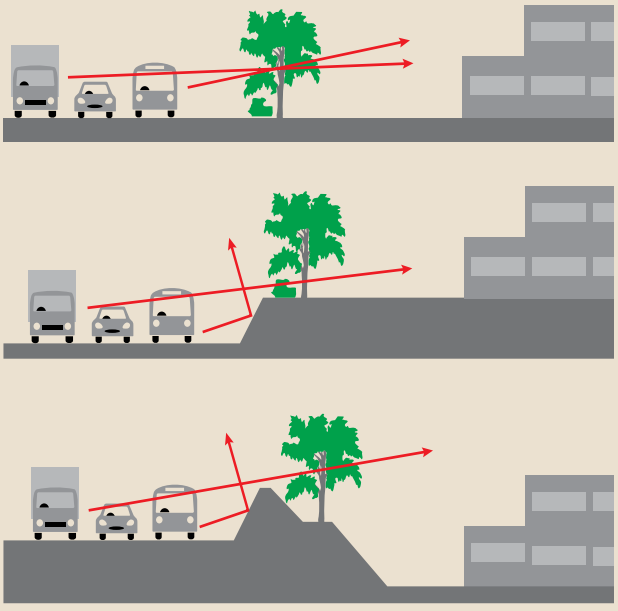
Bij geluidsisolatie onderscheidt men luchtgeluid en contactgeluid. Bij luchtgeluid verplaatst het geluid zich door de lucht. Bij contactgeluid verspreidt het geluid zich door materialen. Ter voorbeeld: het stampvoeten in een ruimte veroorzaakt contactgeluid doordat de vaste materialen van de constructie in trilling worden gebracht. De trillende constructie kan vervolgens weer luchtgeluid afgeven in de ondergelegen ruimte, wat daar gehoord kan worden door een waarnemer. Vanwege het in dit voorbeeld in eerste instantie verspreiden van het geluid via de constructie, spreekt men van contactgeluid.

9 http://www.gyprocplafonds.nl/index.php?page=103

10 http://nl.wikipedia.org/wiki/Geluidsabsorptie



FIGUUR 4.1: OMGEVINGSGELUIDEN



SLECHT
GEEN AKOESTIEKE WEERSTAND VAN HET LANDSCHAP

BETER
HET GELUID VAN DE WEG WORDT GEDEELTELIJK GEWEERD

BEST
DE GELUIDSWAL HOUDT HET GELUID TEGEN EN DE BOMEN VORMEN EEN VISUELE BARRIERE

FIGUUR 4.2: GELUIDSBARRIÈRES

4 Context

De keuze van de context is heel belangrijk. Het akoestische ontwerp van een school start met de selectie van de kavel. De omgang met de context is de eerste stap om een akoestisch comfortabele school te ontwerpen.

4.1 Omgeving

4.1.1 Omgevingsgeluid: interne schoolfuncties

Scholen op goed bereikbare locaties hebben vaak te maken met geluidsoverlast van wegen of treinen en de daarbij horende luchtvervuiling. In uitzonderlijke gevallen is omgevingsgeluid van 70 dB $L_{Aeq,30min}$ mogelijk, maar hier zullen extra maatregelen genomen moeten worden. Een aantal maatregelen zijn belangrijk voor een goed ontwerp waarbij rekening wordt gehouden met het omgevingsgeluid. In het gunstigste geval is er geen geluidsoverlast. Er zijn een aantal mogelijkheden in het geval van geluidsoverlast.

Geluidszones en geluidswallen
Wanneer een school direct naast een drukke weg, treinrail of in de buurt van een vliegveld wordt gebouwd moeten er maatregelen worden genomen om deze geluidshinder te verminderen. Er zijn een aantal mogelijkheden:

- Geluidschermen (zie figuur 2.1)
- Geluidszones (zie hoofdstuk 3)
- Geluidsisolatie (zie hoofdstuk 5)

Verkeers- en treingeluidshinder vereisen extra aandacht omdat het vaak om specifieke gevallen gaat. Toekomstig geluidshinder moet dan ook worden onderzocht. Vanwege deze geluidshinder wordt er geadviseerd om minstens 100 m vanaf een weg of treinrails te bouwen. Het vergroten van de afstand is een relatief zwakke oplossing, een verdubbeling van afstand betekent een afname van 3 dB.

Geluidsoverlast van vliegtuigen eist ook extra aandacht van experts.

Als uit onderzoek blijkt dat het omgevingsgeluid onder de 45 dB $L_{Aeq,30min}$ blijft en als blijkt dat dit in de toekomst zo blijft hoeven er voor het externe geluid betreft, geen maatregelen te worden genomen om het akoestische comfort van de school te waarborgen[1].

4.1.2 Omgevingsgeluid: externe schoolfuncties

Voor nieuwe scholen wordt 60 dB $L_{Aeq,30min}$ gezien als de limiet voor omgevingsgeluid voor formele en informele buiten lessen en recreatiegebieden. De eerder genoemde 70 dB $L_{Aeq,30min}$ is een uitzonderingsgeval en is verre van ideaal.

Speeltuinen, pauze plekken en sportvelden zijn natuurlijk te gebruiken als bufferzones, maar om buiten goede sportlessen te geven is een sportveld nodig waarbij de $L_{Aeq,30min}$ niet boven de 50 dB komt. Als dit niet mogelijk is moet er gebruik worden gemaakt van geluidschermen.

4.2 Geluid van de school naar de omgeving

Met al het geluid dat door de school wordt geproduceerd moet ook rekening worden gehouden. Muzieklokalen en aula's en hallen waar evenementen plaats vinden moeten goede geluidsisolatie hebben. Bij de locatie van de speelpleinen moet er rekening worden gehouden met de buurt en met de vertrekken in de school.

1 Shield & Hopkins 2004, p ..

In gesprek met de adviseur

Evert de Ruiter

Deze schaal begint wat hem betreft met kennis van het bestemmingsplan. Zijn ervaring is dat ontwikkelaars en architecten het bestemmingsplan, de wet geluidhinder en vele bepalingen die in het bestemmingsplan tot uiting komen niet kennen.

De wet geluidhinder omschrijft een voorkeurswaarde van 48 dB en een maximum grenswaarde van 55 dB voor de geluidbelasting op de gevel. Deze waarde is bij wegen binnen de bebouwde kom vaak hoger omdat het moeilijk is om aan deze eisen te voldoen. De Ruiter vergelijkt deze waarden en goedkeuring hiervan met een stoplicht:

- Geluidbelasting < 48 dB -> Groen licht
- 50 < Geluidbelasting < maximum grenswaarde (55 dB) -> Oranje licht
- Geluidbelasting > maximum grenswaarde (55 dB) ->Rood licht

Bij hoger dan de grenswaarden wordt er dus gezocht naar mogelijkheden om het wel voor elkaar te krijgen, zoals een dove gevel.

Een manier om toch te bouwen in een geluidbelaste omgeving is de toepassing van een dove gevel. De heer de Ruiter noemt de dove gevel een juridisch begrip. Op geluid belaste locaties is het namelijk lastig bouwen. Daarom wordt er vaak de grens opgezocht om het toch mogelijk te maken. Door een dove gevel toe te passen is het wel mogelijk om aan de voorschriften in de wet geluidhinder te voldoen.

Een dove gevel is een geluidwerende gevel, meestal zonder te openen delen. Soms zijn te openen ramen toegestaan, mits voldoende geluidwerend in gesloten toestand. Een dove gevel wordt toegepast in een situatie waarin de geluidbelasting op die gevel de toegestane ontheffingswaarde te boven gaat.

Het niet kunnen openen van de ramen wordt vaak als een minpunt gezien. Vasthorst in Amersfoort is een voorbeeld waar de slaapkamerramen niet open kunnen.

In gesprek met de architect

Edward Schuurmans, DKV architecten
Wanneer je bij een school te maken krijgt met geluidsoverlast van de omgeving, dan is dit op 3 manieren op te lossen: technisch, ruimtelijk of juridisch.

Technisch
Door goede geluidsisolatie toe te passen. Bijvoorbeeld het toepassen van een dove gevel.

Ruimtelijk
Je kunt de plattegrond in delen door bepaalde functies; zoals gangen, trappen, toiletten en berging aan de geluidsbelaste gevel te plaatsen.

Juridisch
Juridisch gezien worden er aan verschillende ruimtes andere eisen gesteld. De eisen aan een speelruimte zijn strenger, dan aan een aula. Dus als je het een aula noemt (waar ook gespeeld kan worden) is het makkelijker en goedkoper om aan bepaalde geluidseisen te voldoen. De is natuurlijk of dit leidt tot het gewenste resultaat.

De meest interessante optie voor een architect is natuurlijk de ruimtelijke optie. Wanneer een geschikte oplossing niet wordt gevonden, kan er naar andere mogelijkheden worden gezocht.

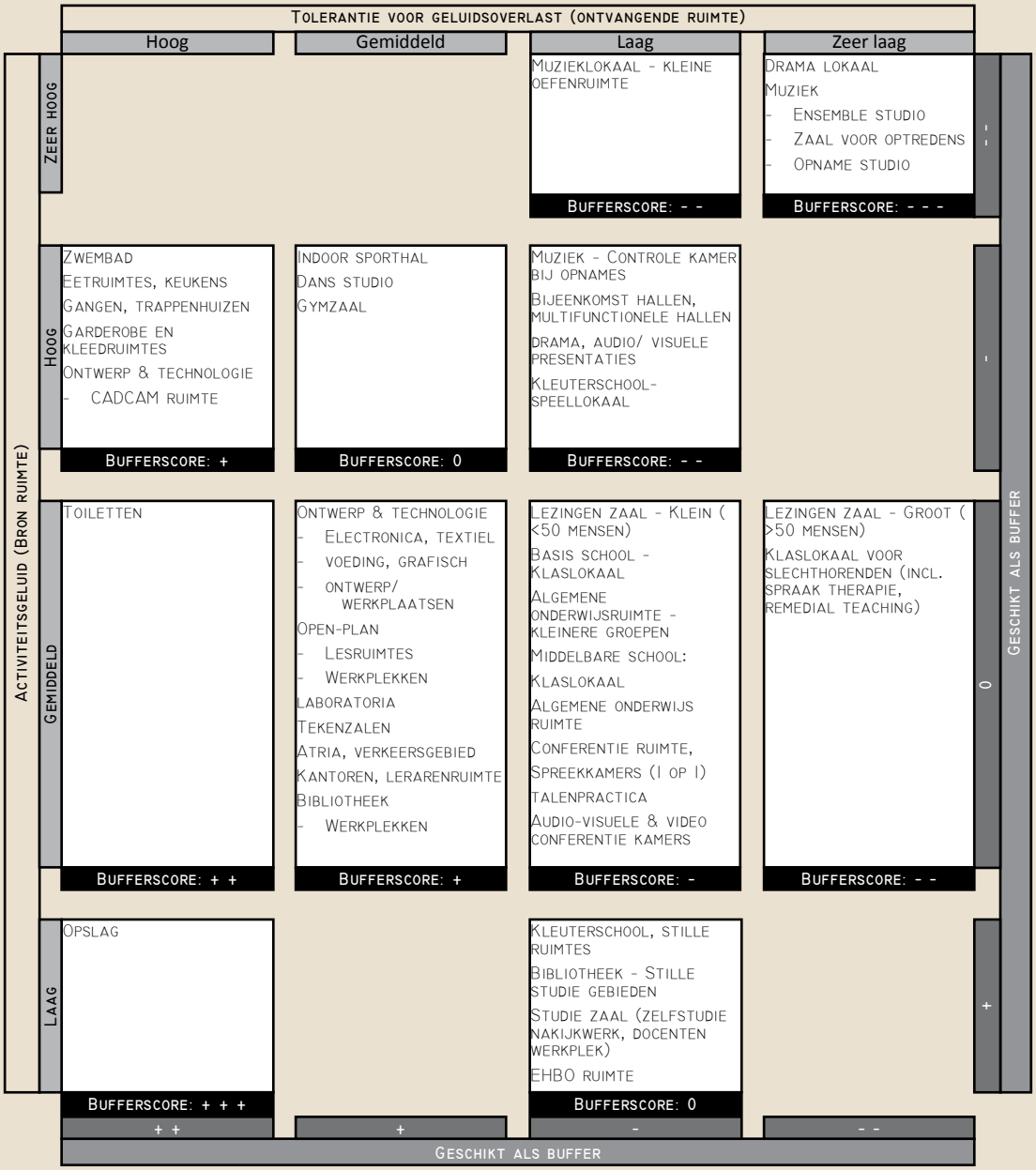
Wet geluidshinder (Whg)

Sinds 16 februari 1979 is de wet geluidshinder van kracht. Deze wet omschrijft onderwijsgebouwen als geluidsgevoelige gebouwen. Delen van het gebouw die niet zijn bestemd voor geluidsgevoelige onderwijsactiviteiten maken voor de toepassing van deze wet geen deel uit van een onderwijsgebouw.

De op 1 januari 2007 geldende ten hoogste toelaatbare geluidsbelastingen voor woningen, andere geluidsgevoelige gebouwen en geluidsgevoelige terreinen blijven gelden.

artikel 56b
de waarde wat ten tijde van de eerste zonevaststelling geprojecteerde andere geluidsgevoelige gebouwen of geluidsgevoelige terrein betreft 55 dB(A) en wat ten tijde van de eerste zonevaststelling aanwezig of in aanbouw zijnde andere geluidsgevoelige gebouwen of geluidsgevoelige terreinen betreft 60 dB(A) niet te boven mag gaan[1].

1 Wet geluidshinder



Tabel 5.1: Activiteitsgeluid, tolerantie voor geluidsoverlast & Bufferscore. Deze tabel geeft de 'activity noise' en 'Noise tolerance' van elke functie in een school. Een laag activiteitsgeluid maakt een functie geschikt als buffer en een hoog activiteitsgeluid niet. De tolerantie voor geluid bepaald ook of een functie geschikt is als buffer. Deze geschikheid bij elkaar op geteld maakt de bufferscore.

5 Plattegrond

Met de indeling van de plattegrond is rekening te houden met geluidsoverlast, er worden soorten geluidsoverlast onderscheiden:

- Overlast van omgevingsgeluid
- Overlast van de school naar de omgeving
- Overlast van de functies in het gebouw onderling

5.1 Geluidsoverlast van en naar de omgeving

In het vorige hoofdstuk werd omgeschreven waar men op moet letten bij de keuze van de locatie en hoe de locatie kan worden aangepast. Wanneer de plattegrond van de school wordt ingedeeld kan er rekening worden gehouden met geluidsoverlast van en naar de omgeving.

5.1.1 De afstand vergroten

De geluidsgevoelige functies worden zo ver mogelijk van de bron gesitueerd. Functies die veel geluid produceren worden ver van de omgeving geplaatst. Het vergroten van de afstand is een relatief zwakke ingreep (hoofdstuk 3.2), er zijn nog andere mogelijkheden.

5.1.2 Geluidsisolatie

De gevels krijgen een goede geluidsisolatie (zie hoofdstuk 5)

5.1.3 Zonering

Een andere ingreep is het maken van bufferzones en stilte zones. Dit is voor de architect een interessant manier om het probleem. Het toepassen van geluidsisolatie is een technische oplossing, het indelen van de plattegrond is een taak van de architect.

Bufferscore. Tabel 5.1 geeft weer in welke mate een functie geschikt is om als buffer te fungeren. De geschiktheid als buffer wordt bepaald door de tolerantie die de functie heeft voor geluidsoverlast en het activiteitsgeluid die het zelf produceert. Een functie met een hoog actitviteitsgeluid is minder geschikt als buffer dan een functie met een laag activiteitsgeluid.

Figuur 5.2 geeft schematisch weer hoe met omgevingsgeluid omgegaan kan worden. Een functie met een hoge geluidtolerantie kan als buffer fungeren, natuurlijk moet er rekening worden gehouden met de geluidsproductie van deze functie. Hier kan tabel 5.1 bij helpen.

5.2 Overlast onderling

5.2.1 *Zonering*

Dit komt op hetzelfde neer als paragraaf 5.1.3 maar dan op een kleinere schaal. Het is verstandig functies met hoge geluidsproductie te scheiden van functies met lage tolerantie. Functies met een hoge geluidsproductie en een lage tolerantie, zoals muziek lokalen, zijn lastig te combineren. Hier kan een apparte zone in het gebouw voor worden ingericht.

5.2.2 Tijd

Het aspect tijd is heel belangrijk. Verschillende functies lijken op het eerste gezicht erg met elkaar te conflicteren, maar in de praktijk kunnen de tijden erg verschillen waardoor functies geen last van elkaar ondervinden.

5.3 Routing

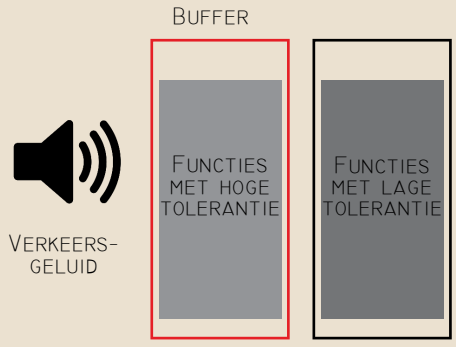
Naast het feit dat verkeersruimtes tot overlast kunnen leiden, is het ook een instrument om geluidsoverlast te voorkomen door de ontsluiting van het gebouw op een slimme manier te organiseren. Door ruimtes die gevoelig zijn voor overlast te situeren aan de rustige of doodlopende gang voorkom je geluidsoverlast in deze ruimtes.

In gesprek met de adviseur

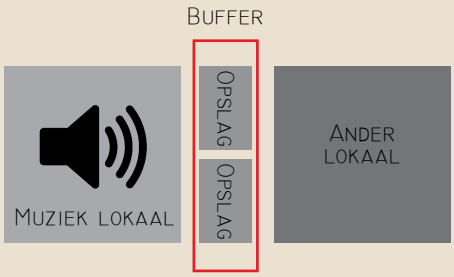
Evert de Ruiter, Peutz

Veel gebruikers willen vaak de ramen open kunnen zetten van de verblijfsvertrekken, een gangzone zou bijvoorbeeld aan de geluidbelaste kant worden geplaatst. Op deze manier beïnvloedt het omgevingsgeluid in grote mate de plattegrond van het gebouw. Vaak is de verkeerszone van een gebouw te klein om deze aan deze gevel te plaatsen en dit gaat te veel ten koste van de daglicht intreding.

Vaak hebben scholen ook deuren tussen lokalen zodat een leerkracht evt. op twee lokalen toezicht kan houden. Dit kan overlast tot gevolg hebben want deze deur is een geluidslek, een goede geluidsisolerende deur is duur.



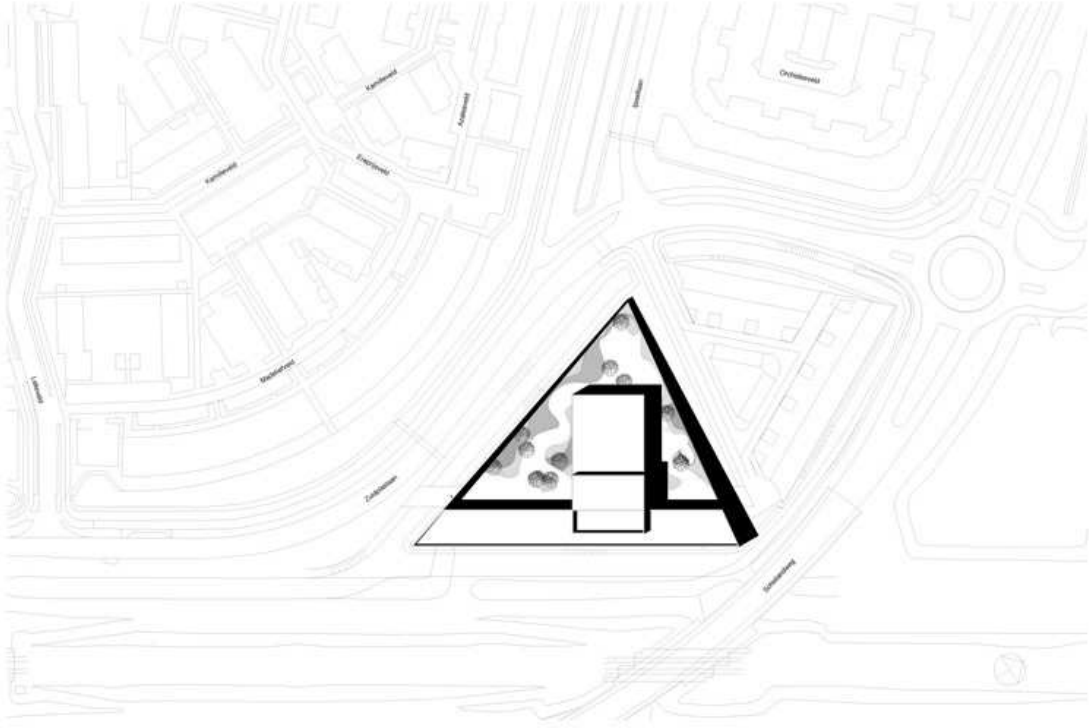
Figuur 5.2: Buffers voor verkeergeluid
Bij de indeling van het gebouw kan rekening worden gehouden met omgevingsgeluid. Functies met een hoge tolerance kunnen als buffer dienen. Figuur 4.1 geeft een overzicht van welke functies daarvoor geschikt zijn.



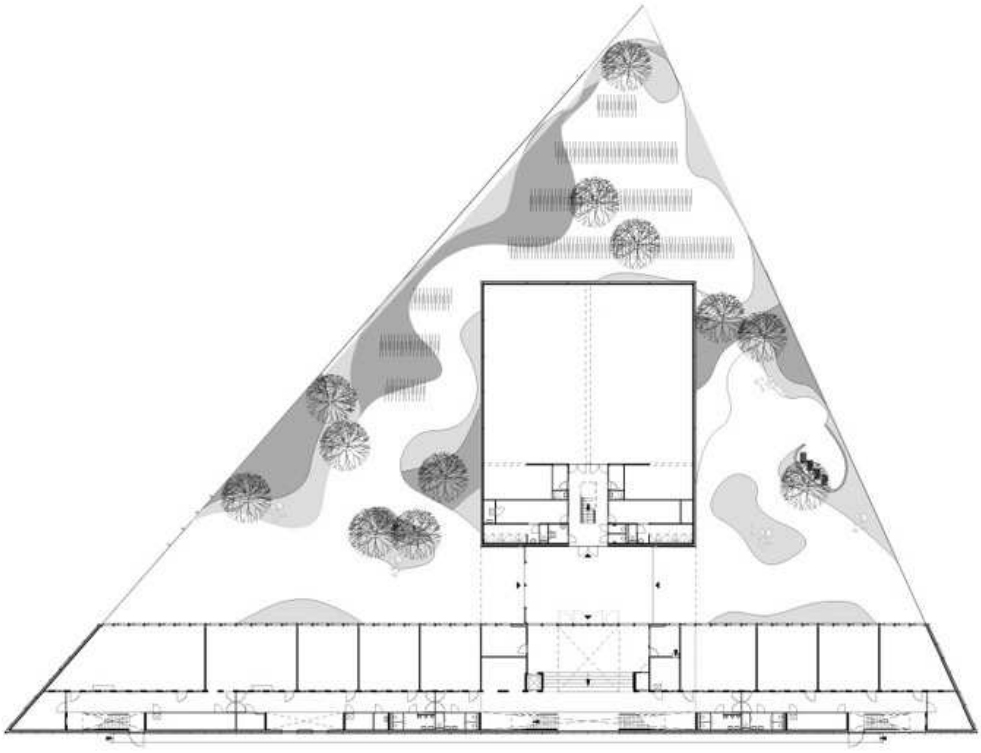
Figuur 5.3: Buffers voor intern geluid
In muzieklokalen wordt veel geluid geproduceerd maar je wilt ook geen overlast hebben naar andere lokalen. Bufferzones dus een goede oplossing voor dit probleem. Figuur 4.1 geeft een overzicht welke functies veel geluid produceren en welke als buffer kunnen dienen.

DKV architecten: Comenius College

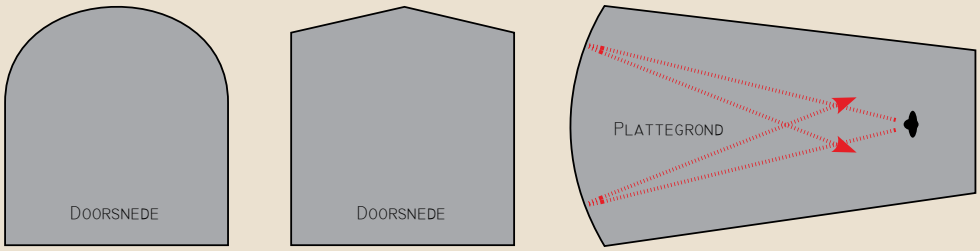
Nieuwerkerk a/d IJssel



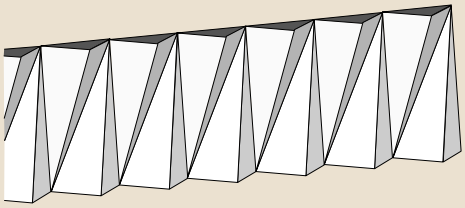
Figuur 5.4: Comenius College, Nieuwerkerk a/d IJssel



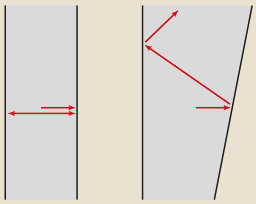
Figuur 5.4: Comenius College, Nieuwerkerk a/d IJssel



FIGUUR 6.1: RUIMTE VORMEN DIE VERVELENDE ECHO'S KUNNEN VEROORZAKEN.



FIGUUR 6.2: EEN GEVOUWEN WAND ZORGT VOOR DIFFUUS GELUID.



FIGUUR 6.3: IN EEN GANG MET EVENWIJDIGE WANDEN BLIJFT HET GELUID WEERKAATSEN. EEN SCHEVE WAND VERSTROOID HET GELUID.

6 De ruimte

De functies in een school hebben verschillende eigenschappen en wensen omtren de akoestiek. Een aantal belangrijke ruimtes in een school zullen uitgebreid besproken worden.
Verder kijken we naar een aantal vormen die gunstig of ongunstig zijn voor de akoestiek van de ruimte.

6.1 De vorm van de ruimte
Een aantal vormen zijn uit akoestisch oogpunt niet gewenst omdat ze hinderlijke reflecties kunnen veroorzaken. Een tongewelf, een laag schilddak en een hole wand kunnen een vervelende concentratie van geluid veroorzaken.
Verder kan in een rechte gang met harde wanden het geluid blijven reflecteren en daar zogenaamde flutterecho's veroorzaken. In deze gevallen is het zaak het geluid te verstrooien of te absorberen, zodat deze niet terug komen bij de bron en luisteraar. Zie figuur 6.1 & 6.2 voor een overzicht.

6.2 Nagalmtijden in lokalen en studieplekken
Het doel is om geschikte nagalmtijden voor duidelijk communicatie tussen docent en leerling, tussen studenten in studieruimtes en in muziek ruimtes. De ideale nagalmtijd verschilt per functie. Tabel 6.2 geeft deze verschillende nagalmtijden voor lege en ongemeubileerd ruimtes. In hoofdstuk 3 wordt uitgelegd hoe de nagalmtijd is te berekenen. De nagalmtijd is beïnvloedbaar door de juiste hoeveelheid absorberend materiaal toe te passen in de ruimte.

6.3 Akoestische eisen per functie
6.3.1 Geluidsabsorptie in gangen, entree hallen en trappenhuis
Verkeersruimtes zijn een bron van geluidsoverlast. Vaak zijn de wanden evenwijdig en van reflecterende materialen (zie figuur 6.3) Wanneer er wordt gekozen om de school een open of transparant karakter te geven, zullen verkeersruimten tot overlast leiden. Dit open karakter wordt bereikt door bijvoorbeeld veel glas toe te passen. Glas heeft een lagere geluidsisolatie waarde dan een muur, dus geluidsoverlast zal sneller voorkomen.

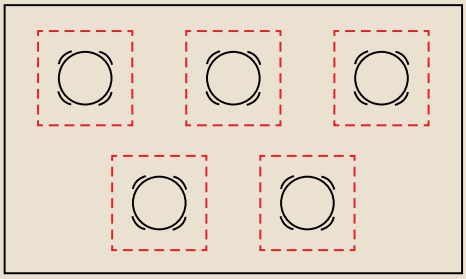
Type ruimte	T_{mf} (s)
Kleuterschool: speellokaal	<0.6
Kleuterschool: stilte ruimte	<0.6
Basisschool: klaslokaal, klasbasis, algemene onderwijsruimtes, kleine groepen	<0.6
Middelbare school: klaslokaal, algemene onderwijsruimte, conferentie en spreekkamers	<0.8
Open-plan	
Onderwijsruimte	<0.8
Werkplek	<1.0
Muziek	
Muziek lokaal	<1.0
Kleine oefenruimte	<0.8
Ensemble studio	0.6-1.2
Zaal voor optredens	1.0-1.5
Opname studio	0.6-1.2
Controle kamer bij opnames	<0.5
Lezingen zaal	
Klein (<50 mensen)	<0.8
Groot (>50 mensen)	<1.0
Klaslokaal voor slechthorende studenten	<0.8
Bibliotheek	<1.0

Type ruimte	T_{mf} (s)
Wetenschappelijke laboratoria	<0.8
Ontwerp & technologie	
- CADCAM ruimte	<0.8
- Electronica, textiel,voeding, grafisch ontwerp/ werkplaatsen	<0.8
Tekenzaal	<0.8
Bijeenkomst hallen, multifunctionele hallen	0.8-1.2
Audio-visuele, video conferentie ruimte	<0.8
Atria, verkeersgebied	<1.5
Indoor sporthal	<1.5
Dansstudio	<1.2
Zwembad	<2.0
Werkplek docenten, EHBO	<0.8
Eetruimtes	<1.0
Ondergeschikte ruimtes	
Keuken	<1.5
Kantoren, docentenkamer	<1.0
Gangen, trappenhuizen	
Garderobes en kleedruimtes	<1.5
Toiletten	<1.5

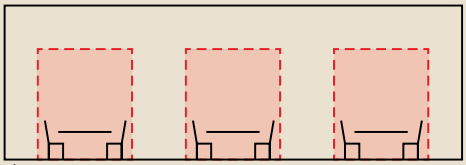
Tabel 6.4: Nagalmtijden

Ontwerp parameter	Waarde
Plafond absorptie	SAA = 0.95
Scheidingswand hoogte	1.7 m
Schiedingswand absorptie	SAA = 0.90
Grootte van de werkplek	3.0 x 3.0 m
Absorptie van de vloer	SAA = 0.19
Transmissie verlies van de scheidingswand	STC = 21
Plafond hoogte	2.7 m
Spraak volume	53.2 dB(A)
Achtergrondgeluid (maskeer geluid)	45 dB(A)

Tabel 6.5: Ontwerp parameters open leeromgeving

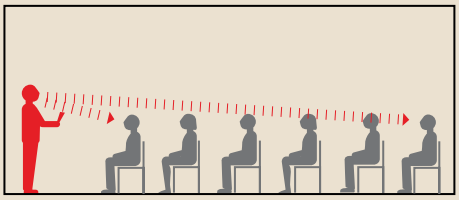


A) Het plafond boven de werkplek dient te zijn voorzien van absorberend materiaal

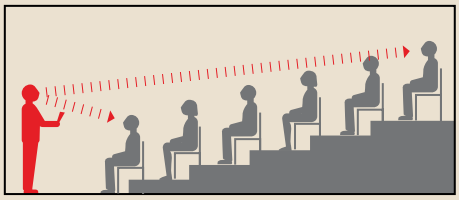


B) De wand bij de werkplek dient te zijn voorzien van absorberend materiaal

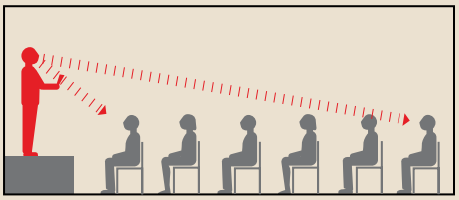
Figuur 6.6: Ontwerp parameters open leeromgeving



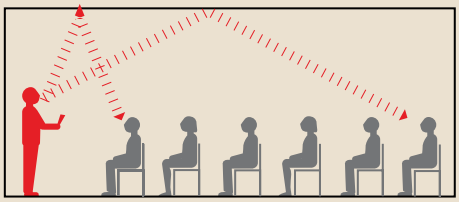
A) Luidheid is essentieel, direct geluid moet de ontvanger bereiken.



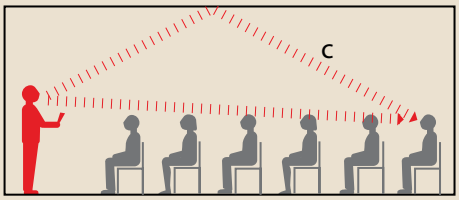
B) De verstaanbaarheid wordt beter als de luisteraars op een tribune zitten.



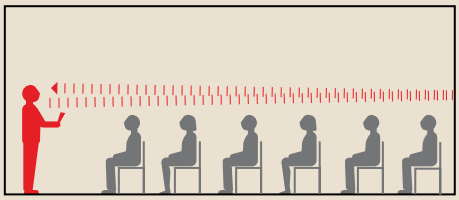
C) De verstaanbaar verbetert als de spreker op een verhoging staat.



D) Gereflecteerd geluid versterkt als de vertraging minder is dan 50 milliseconde.



E) Om gebruik te maken van de reflecties moet de gereflecteerde afstand niet langer zijn dan 17m: B + C - A < 17m.



F) De achterwand van een ruimte kan storende echo's veroorzaken. Als afstand van de wand meer dan 8.5 m is, moet deze absorberend of difuus zijn.

Figuur 6.7: Effecten van de ruimte op de spraak

6.3.2 Open leeromgeving

Steeds meer scholen en andere onderwijsgebouwen hebben een open leeromgeving. In deze ruimtes is geluidsoverlast van anderen de belangrijkste bron van irritatie.

De akoestiek van een open leeromgeving is op een aantal manieren te beïnvloeden, maar een helemaal stille werkomgeving is praktisch onmogelijk. Door middel van de volgende ontwerp parameters is de geluidsoverlast zoveel mogelijk te beperken:

- Plafond absorptie
- Hoogte van de scheidingswanden
- Absorptie van de scheidingswanden
- Grootte van de werkplek
- Absorptie van de vloer
- Transmissie verlies van de scheidingswand
- Plafond hoogte
- Spraak volume
- Achtergrondgeluid (maskeer geluid)

Tabel 6.5 geeft de verschillende waarden die bij de parameteres horen[1].

1 Bradley 2003, p 25

Geen modulaire opzet

Het bovenstaande is gebaseerd op Amerikaans onderzoek naar de akoestiek in kantoorlandschappen. In Amerika is het gebruikelijk om lage scheidingswanden te plaatsen. Dit is in Nederlandse onderwijsgebouwen niet gebruikelijk. Dus de hoogte, de absorptie, het transmissie verlies van de scheidingswand en de grootte van de werkplek zijn in deze gevallen niet relevant.

Spraakvolume

De akoestiek van een open leeromgeving is door middel van deze ontwerp parameter te optimaliseren, maar er zal nooit een stille werkplek ontstaan. Spraak volume is niet te ontwerpen, maar is het belangrijkste instrument om overlast te voorkomen. Een goede school etiquette is de beste manier om overlast te voorkomen, voor een stille werkplek zullen er dus stilte gebieden moeten zijn.

Achtergrondgeluid

Een bepaalde mate van geluid of geroezemoes kan volgens Evert de Ruiter het akoestische comfort verhogen. In Amerikaanse kantoren wordt er soms gebruik gemaakt van *maskeergeluiden,* dit is in Europa niet gebruikelijk. Deze geluiden kunnen hinderlijke spraak of het geluid van een mechanisch ventilatie systeem maskeren.

Absorptie van de vloer

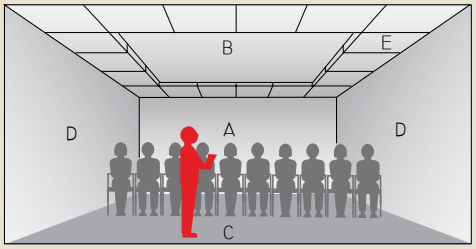
Vanwege de hygiëne en allergieën is het gebruik van vloerbedekking niet wenselijk in een school.

Plafond & wanden

Om het geluidsoverlast in open leeromgevingen te verminderen zal er dus geluidsabsorberend materiaal in het planden en de wanden geplaatst moeten worden. Het materiaal moet buiten bereik zijn geplaatst of tegen een stootje kunnen in verband met vandalisme.

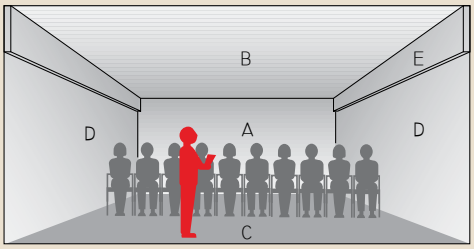
6.3.3 Ruimte voor spraak

In lezingenzalen en leslokalen is het belangrijk dat er een goede overdracht plaatsvindt van het gesproken woord. In ruimtes kunnen de wanden en het plafond worden gebruikt om de spraak te versterken (zie figuur 6.7 & 6.8).



A. Achterwand - geluidsabsorberend of difuus
B. Plafond - Geluid reflecterend
C. Vloer - Geluidsabsorberend
D. Wanden - Geluid reflecterend
E. Plafond - Geluidsabsobrend

6.8 Oppervlakte afwerking van lezingenzaal of een klaslokaal



A. Achterwand - geluidsabsorberend of difuus
B. Plafond - Geluid reflecterend
C. Vloer - Geluidsabsorberend
D. Wanden - Geluid reflecterend
E. Bovenkant wanden - Geluid reflecterend

In gesprek met de adviseur

Evert de Ruiter, Peutz
In veel nieuwe scholen wordt het principe van het klaslokaal losgelaten, er wordt gebruik gemaakt van mobiele wanden en de gang wordt bij het lokaal betrokken. Er ontstaan leer-landschappen die om een ruimtelijke akoestische opzet vragen waarin de routing heel belangrijk is. Leerlingen moeten hier rustig kunnen werken, je wilt dus niet te veel geluid. Te weinig geluid is ook niet goed. Je hebt een bepaalde mate van geroezemoes nodig.

In een open ruimte moet je groepswerkplekken redelijk definiëren. Boven deze tafels of in dichtbij zijnde wanden moet geluidsabsorberend materiaal geplaatst worden. Deze systeemplafonds zijn in theorie flexibel, want de platen kunnen op andere plekken worden geplaatst. In de praktijk wordt dit vrij weinig gedaan.

Gertjan Verbaan, DGMR
In tegenstelling tot LBP Sight en Peutz beweert Verbaan dat flexibele akoestiek wel mogelijk is, het zou bijvoorbeeld al heel makkelijk kunnen met een gordijn. In een aula die gebruikt wordt als kantine en voor optredens. In een kantine heb je alleen informatie overdracht over kleine afstanden en dan kan je de akoestiek misschien maar loslaten. In een restaurant zit nauwelijks absorptie. Een kantine heeft vaak veel ramen, door middel van gordijnen kan je een acceptabel akoestisch niveau bereiken voor een goede informatie overdracht.

Samen met DP^6 hebben ze het Lyceum Ypenburg ontworpen, hier springt het verlaagde plafond terug van de wand, dit geeft een aantrekkelijk beeld en ramen kunnen hoger zitten waardoor er een betere daglicht intreding is.



Figuur 6.9: Lyceum Ypenburg, Ypenburg. DP^6

In gesprek met de adviseur

Evert de Ruiter, Peutz

Flexibele akoestiek is te duur. En voor scholen niet haalbaar gezien het beperkte budget waar scholen voor worden gebouwd.

Geperforeerd metaal met geluidsabsorberend materiaal erachter. Door middel van magneten kunnen er dingen worden opgehangen.
Welk constructieprincipe wordt gekozen voor de scheidingswanden heeft grote invloed op de flexibiliteit, maar flexibelere wanden zijn weer minder geluidsisolerend.

Gewapend beton:
- Niet flexibel
- Goede geluidsisolatie

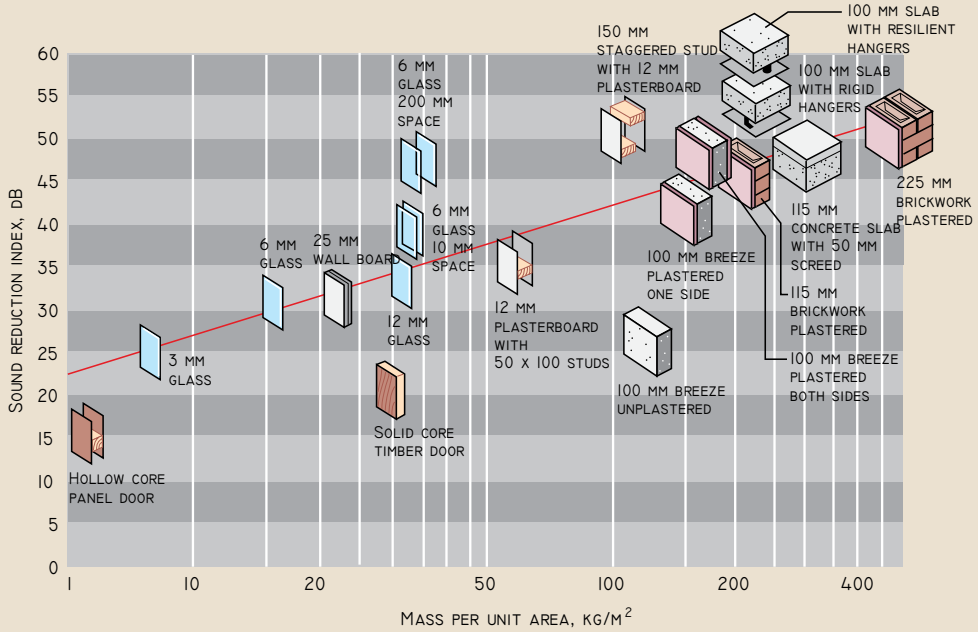
Gemetseld
- Niet flexibel
- Goed geluidsisolatie

Gips montage
- Niet flexibel
- Goed geluidsisolatie

Systeemwanden (interwand, interfinish)
- Redelijk flexibel
- Minder geluidsisolatie

Mobiele wanden
- Flexibel
- Slechte geluidsisolatie

Systeemwanden zouden een goede oplossing zijn. Bij de mate van flexibiliteit moet er gelet worden op het tijdsaspect, systeemwanden zijn in een middag aan te passen.
Wanneer een grote mate van flexibiliteit wordt nagestreefd moet je er op letten dat je hier niet in doorslaat. De installaties worden vaak in eerste instantie buiten beschouwing gelaten, maar de installatiekosten kunnen uit de hand lopen wanneer een gebouw of ruimte heel flexibel is.



Figuur 7.1: Geluidsreductie voor verschillende constructie elementen

7 Materiaal & constructie

Veel problemen met geluidsoverlast kunnen op het technische vlak worden opgelost. Een wand, gevel, plafond of vloer kunnen op een bepaalde gemaakte geconstrueerd worden dat ze een hoge geluidsisolerende prestatie leveren, maar dit zijn vaak dure oplossingen.
Verder bepalen de keuze van het materiaal de nagalmtijd van een ruimte.

7.1 Constructie

Constructief gezien zijn er een aantal mogelijkheden om geluidsoverlast te voorkomen.

1. Massa
2. Spouwconstructies
3. Onderbreken van de constructies

7.1.1 Massa

Via wanden en vloeren wordt geluid naar aangrenzende ruimtes overgedragen. Figuur 7.1 geeft de geluidsreductie van verschillende wandconstructies. Het geluid veroorzaakt een trilling op de wanden of vloeren en de wanden of vloeren reproduceren die trilling aan de andere kant (of onderkant).
Hoe zwaarder de wand is, hoe minder gemakkelijk hij gaat trillen. Een zware wand heeft dus een betere luchtgeluidsisolatie, dit wordt ook wel de 'massawet' genoemd. De massawet zegt dat het verdubbelen van de massa een geluidsreductie geeft van 5 a 6 dB. Wanneer een constructie niet de verwachte geluidsisolerende prestatie geeft dan is er meestal sprake van geluidslekken en slecht uitgevoerde detaillering.

Van lichte constructies, zoals gipsplaten, is de prestatie bij lage frequenties gelimiteerd. Baksteenwanden voorzien in een betere geluidsisolatie bij lage frequentie vanwege hun grotere massa.

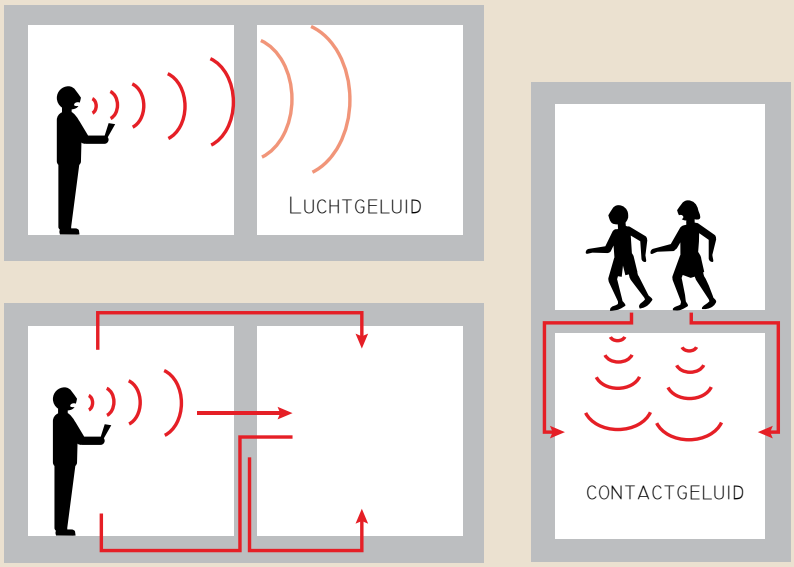
De waarden in figuur 7.3 zijn gemiddelden van gewogen eengetalsaanduidingen van de geluidsreductie die een wand kan leveren. De geluidsreductie zal afhangen van de precieze constructie en de gekozen materialen. Veel producten leveren deze data.

7.1.2 Spouwconstrucities

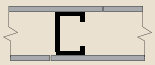
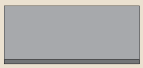
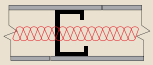
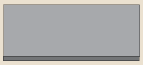
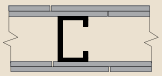
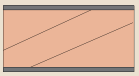
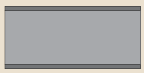
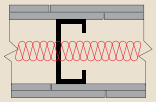
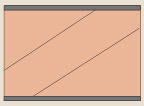
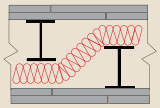
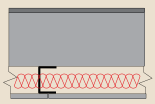
Door het maken van een spouwconstructie met een brede spouw en voldoende massa van de spouwbladen, wordt geluidsoverdracht vermeden. Hierbij is het belangrijkdat spouwkoppelingen zoveel mogelijk worden vermeden. Deze koppeling kunnen ook geluid overdragen naar andere ruimtes.

7.1.3 Vloer, wand en plafond aansluitingen

Met een wand kan een goede geluidsreductie worden gerea-



Figuur 7.2: Geluid transmissie

Prestatie Rw (dB)		Wanden - dimensies
35 - 40		1 x 1.25 gipsplaat aan elke kant van het metal stud (totale dikte 75 mm)
		100 mm steen (lage dichtheid 52 kg/m²) 12 mm Pleisterwerk aan een kant
40 - 45		1 x 1.25 gipsplaat aan elke kant van het metal stud met glasvezel in de spouw (totale dikte 75 mm)
		100 mm steen (gemiddelde dichtheid 140 kg/m²) 12 mm Pleisterwerk aan een kant
45 - 50		2 x 1.25 gipsplaat aan elke kant van het metal (totale dikte 122 mm)
		115 mm baksteen met 12 mm Pleisterwerk aan beide kanten
		100 mm steen (gemiddelde dichtheid 140 kg/m²) 12 mm Pleisterwerk aan beide kanten
50 - 55		2 x 1.25 gipsplaat aan elke kant van het 150 mm metal stud met glasvezel in de spouw (totale dikte 198 mm)
		225 mm baksteen met 12 mm Pleisterwerk aan beide kanten
		215 mm steen (hoge dichtheid 430 kg/m²) 12 mm Pleisterwerk aan beide kanten
55 - 60		2 x 1.25 gipsplaat aan elke kant van het gescheiden 60 mm metal stud met glasvezel in de spouw (totale dikte 178 mm)
		100 mm steen (hoge dichtheid 200 kg/m²) met 12 mm pleisterwerk aan een kant, aan de andere kant 1 x 12.5 mm gipsplaat op een metalen frame met een 50 mm spouw gevuld met glasvezel

Figuur 7.3: Geluidsisolatie van verschillende wandconstructies

liseerd. Toch kan de geluidsisolatie teniet worden gedaan als de aansluitingen van vloeren, wanden en plafonds niet goed worden gedetailleerd (figuur 7.4).

In sommige gebouwen wordt een zwevende dekvloer gelegd met daarop scheiding wanden (figuur 7.5a). Dit maakt een flexibele indelen van de vloer mogelijk, maar geluid kan via de vloer naar aangrenzende ruimtes. Het detail in figuur 7.5b voorkomt deze geluidstransmissie. Bij de precieze detailering is het verstandig om bouwfysisch adviseurs in te schakelen.

Vloeren en plafonds
Contactgeluid kan een probleem zijn bij betonnen vloeren. Dit kan worden opgelost door vloerbedekking te leggen, maar dit is meestal niet wenselijk in een schoolgebouw. Het is ook mogelijk vinylvloer te leggen op een akoestische mat.
Zachte vloerbedekking en zwevende dekvloeren en individuele plafondconstructies zijn de meest effectieve manier van isoleren. Verder kan er met indelen van het gebouw rekening worden gehouden dat ruimtes met een hoge geluidsproductie niet boven ruimtes zitten met een lage tolerantie voor geluidsoverlast.

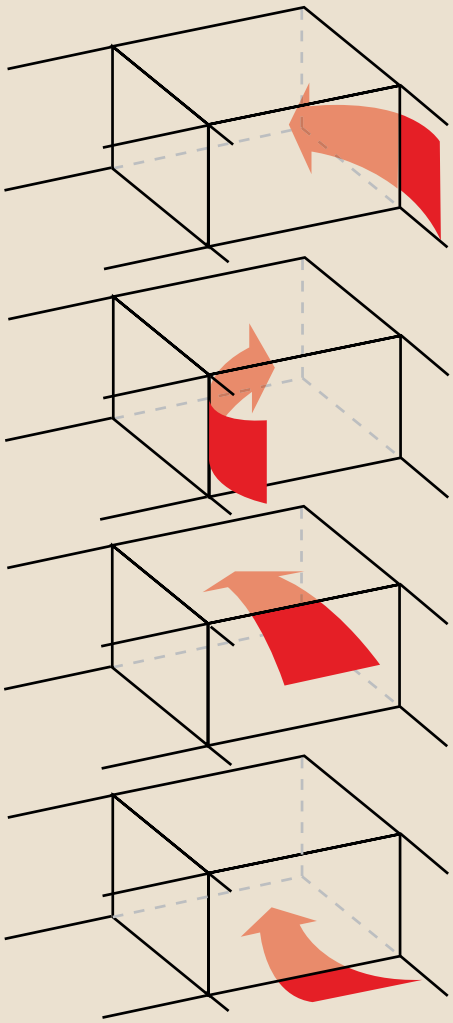
7.1.4 Interne deuren, glas, ramen en vouwwanden
Deuren, beglazing en ramen zijn over het algemeen de zwakste plek in een ruimte scheidende muur. Figuur 7.6 geeft de prestaties van verschillende glas constructies.

Deuren
De keuze van geschikte deuren is essentieel om de geluidsreductie te behouden. Binnen deuren zijn vaak lichtgewicht holle deuren met een geluidsreductie van 15 dB, hetgeen 30 dB minder is dan een standaard gemetselde muur. De deuren moeten dus voldoende massa hebben om genoeg reductie van het geluid te bereiken.
Naast voldoende massa is een goede afdichting van de kieren cruciaal.

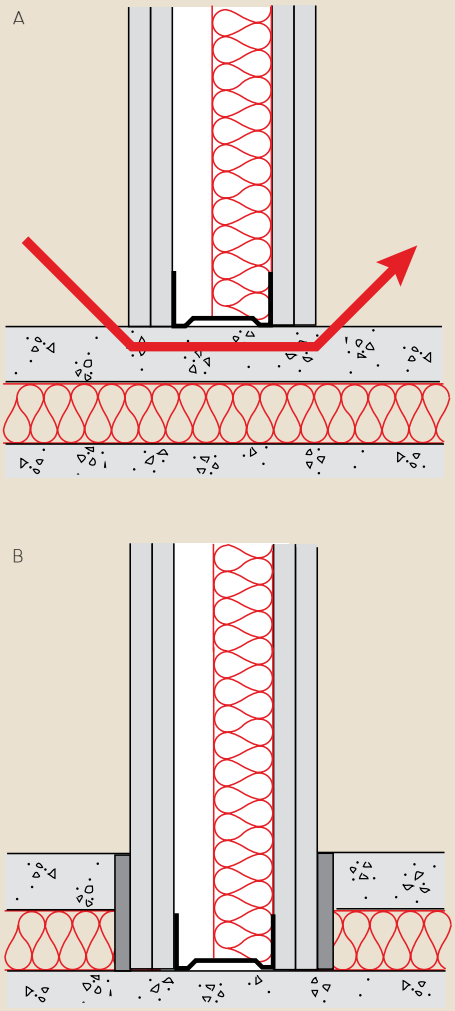
Sluisdeuren
Sluisdeuren is nuttig tussen een rustige werkruimte en bijvoorbeeld een luidruchtige entreehal.

Hoe groter de afstand tussen de deur, hoe beter de geluidsisolatie.

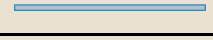
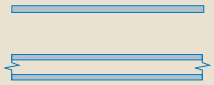
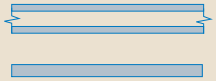
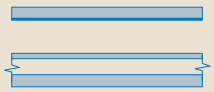
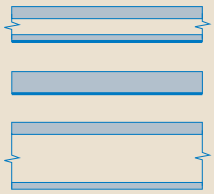
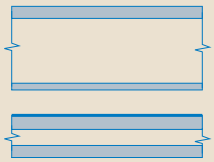
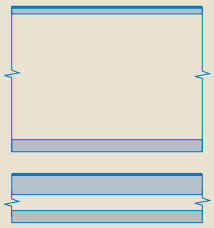
Vouwdeuren en mobiele wanden
Vouwdeuren en mobiele wanden worden soms gebruikt zodat de ruimtes flexibeler te gebruiken zijn. Een simpele vouwdeur, zonder kierdichting, heeeft een geluidsreductie van 25 dB. Er zijn ook deuren beschikbaar met een geluidsreductie tot 55 dB. De geluidsreductie hangt af van goede afdichting en beschadegingen aan deze afdichting.



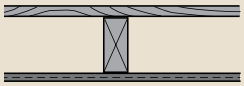
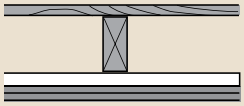
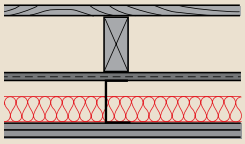
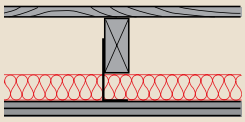
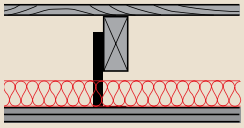
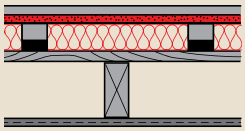
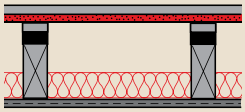
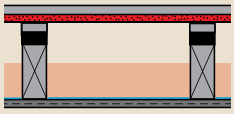
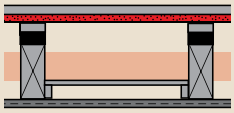
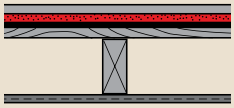
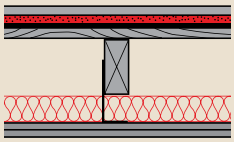
Figuur 7.4: Geluidstransmissie bij vloer, wand en plafond aansluitingen



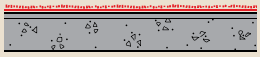
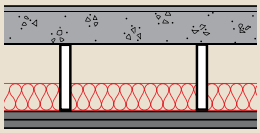
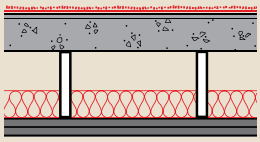
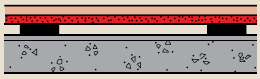
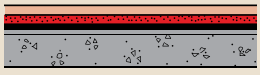
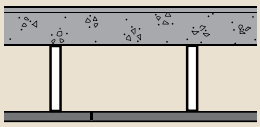
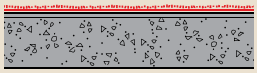
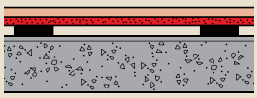
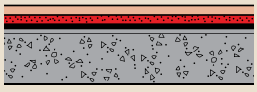
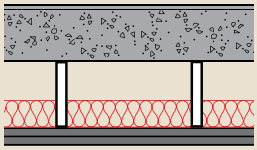
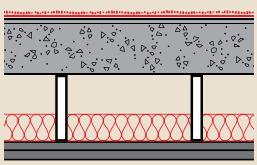
Figuur 7.5: Aansluiting van de vloer op de wand
A) Incorrect detail
B) Correct detail

Prestatie Rw (dB)		Glas - dimensies
25		4 mm enkelglas (afgedicht)
28		6 mm enkelglas (afgedicht) 4 mm glas/ 12 mm lucht/ 4 mm glas (20 mm totaal)
30		6 mm glas/ 12 mm lucht/ 6 mm glas (24 mm totaal) 10 mm enkelglas (afgedicht)
33		12 mm enkelglas (afgedicht) 16 mm glas/ 12 mm lucht/ 8 mm glas (36 mm totaal)
35		10 mm gelamineerd enkelglas (afgedicht) 4 mm glas/ 12 mm lucht/ 10 mm glas (26 mm totaal)
38		6 mm glas/ 12 mm lucht/ 10 mm glas (28 mm totaal) 12 mm gelamineerd enkelglas (afgedicht)
40		10 mm glas/ 12 mm lucht/ 6 mm gelamineerd glas (28 mm totaal) 19 mm gelamineerd enkelglas (afgedicht) 10 mm glas/ 50 mm lucht/ 6 mm glas (66 mm totaal)
43		10 mm glas/ 100 mm lucht/ 6 mm glas (116 mm totaal) 12 mm gelamineerd glas/ 12 mm lucht/ 10 mm glas (34 mm totaal)
45		6 mm gelamineerd glas/ 200 mm lucht/ 10 mm glas (216 mm totaal) 17 mm gelamineerd glas/ 12 mm lucht/ 10 mm glas (39 mm totaal)

Figuur 7.6: Geluidsisolatie van verschillende glasconstructies

	Prestatie Rw (dB)		Dikte (mm)	Houten vloeren - dimensies
1	35 - 40		180 - 230	Basis houtenvloer van 15 mm op 150-200 mm houten balken, gipsplaten gemonteerd aan de balken
2	50 - 55		220 - 270	Zoals 1, plafond bestaande uit een laag van 15 mm gipsplaat of een laag van 12.5 mm verdicht gipsplaat, gemonteerd aan veerregels aan de dwarsbalken.
3	55 - 60		450 - 500	Zoals 1, plafond behouden, een verlaagd plafond bestaande uit 2 lagen van 15 mm gipsplaat of 2 lagen van 12.5 mm verdicht gipsplaat, metalen verlaagd plafond met een 240 mm spouw met 80-100 minerale wol (>10 kg/m^3)
4	55 - 60		450 - 500	Zoals 1, plafond verwijderd, een verlaagd plafond bestaande uit 2 lagen van 15 mm gipsplaat of 2 lagen van 12.5 mm verdicht gipsplaat, metalen verlaagd plafond met een 240 mm spouw met 80-100 minerale wol (>10 kg/m^3)
5	60 - 65		450 - 500	Zoals 1, plafond verwijderd, een verlaagd plafond bestaande uit 2 lagen van 15 mm gipsplaat of 2 lagen van 12.5 mm verdicht gipsplaat, metalen verlaagd plafond met speciale veerhangers, met een 275 mm spouw met 80-100 minerale wol (>10 kg/m^3)
6	50 - 55		270 - 320	Zoals 1, een licht gewicht zwevende vloer met verende blokjes of strips (bijv. 15 mm messing-en-groef vloerplaten op 15 mm multiplex of spaanplaat ondersteund door 45 mm zachthout latten gelegd op 25 mm dik open-cel schuim blokjes). 80-100 mineraal wol (>10 kg/m^3) gelegd op de bestaande vloer.
7	55 - 60		240 - 290	Zoals 1, vloer verwijderd en vervangen met 15 mm messing-en-groef vloerplaten op 15 mm multiplex of spaanplaat ondersteund door 45 mm zachthout latten gelegd op 25 mm dik open-cel schuimblokjes op de bestaande balken. 80-100 mineraal wol (>10 kg/m^3) op het bestaande plafond.
8	55 - 60		240 - 290	Zoals 7, 100 mm beter isolatie materiaal (80 kg.m^2)
9	50 - 55		240 - 290	Zoals 8, 75 mm beter isolatie materiaal gemonteerd aan de zijkanten van de dwarsbaken
10	50 - 55		220 - 270	Zoals 1, een licht gewicht doorgaande zwevende (bijv. 15 mm messing-en-groef vloerplaten op 15 mm multiplex of spaanplaat op 6-12 mm doorlopende foam mat)
11	60 - 65		360 - 410	Zoals 10, vloer verwijderd en vervangen met 2 lagen 15 mm messing-en-groef vloerplaten op 15 mm multiplex 2 lagen van 12.5 mm verdicht gipsplaat, metalen verlaagd plafond met speciale veerhangers, met een 275 mm spouw met 80-100 minerale wol (>10 kg/m^3)

Figuur 7.7: Geluidsisolatie van verschillende houten vloeren

	Prestatie Rw (dB)		Dikte (mm)	Betonnen vloeren - dimensies
1	35 - 40		180 - 230	Lichte beton vloer (massief of hol) met 50 mm dekvloer. Gewicht van 100 kg/m^2, geen plafond of vloer bedekking
2	50 - 55		220 - 270	Zoals 1, met vloerbedekking >5 mm
3	55 - 60		450 - 500	Zoals 1, met verlaagd plafond bestaande uit 2 lagen van 15 mm plaatmateriaal, metalen verlaagd plafond met een 240 mm spouw met 80-100 minerale wol (>10 kg/m^3)
4	55 - 60		450 - 500	Zoals 3, met vloerbedekking >5 mm
5	60 - 65		450 - 500	Zoals 1, een licht gewicht zwevende vloer met verende blokjes of strips (bijv. 15 mm messing-en-groef vloerplaten op 15 mm multiplex of spaanplaat op 25 mm dik open-cel schuim blokjes).
6	50 - 55		270 - 320	Zoals 1, een licht gewicht zwevende vloer met verende blokjes of strips (bijv. 15 mm messing-en-groef vloerplaten op 15 mm multiplex of spaanplaat op 6-12 mm dik open-cel schuim mat).
7	55 - 60		240 - 290	Zoals 1, met zwaar verlaagd plafond met geluidsisolerende tegels
8	55 - 60		240 - 290	Een zware prefab of gestorte beton met dekvloer met een massa van 365 kg/m^2, met 5 mm vloerbedekking.
9	50 - 55		240 - 290	Zoals 8, een licht gewicht zwevende vloer met verende blokjes of strips (bijv. 15 mm messing-en-groef vloerplaten op 15 mm multiplex of spaanplaat op 25 mm dik open-cel schuim blokjes).
10	50 - 55		240 - 290	Zoals 8, een licht gewicht zwevende vloer met verende blokjes of strips (bijv. 15 mm messing-en-groef vloerplaten op 15 mm multiplex of spaanplaat op 6-12 mm dik open-cel schuim mat).
11	50 - 55		220 - 270	Zoals 8, met verlaagd plafond bestaande uit 2 lagen van 15 mm plaatmateriaal, metalen verlaagd plafond met een 240 mm spouw met 80-100 minerale wol (>10 kg/m^3)
12	60 - 65		360 - 410	Zoals 11, met vloerbedekking >5 mm

Figuur 7.7: Geluidsisolatie van verschillende houten vloeren

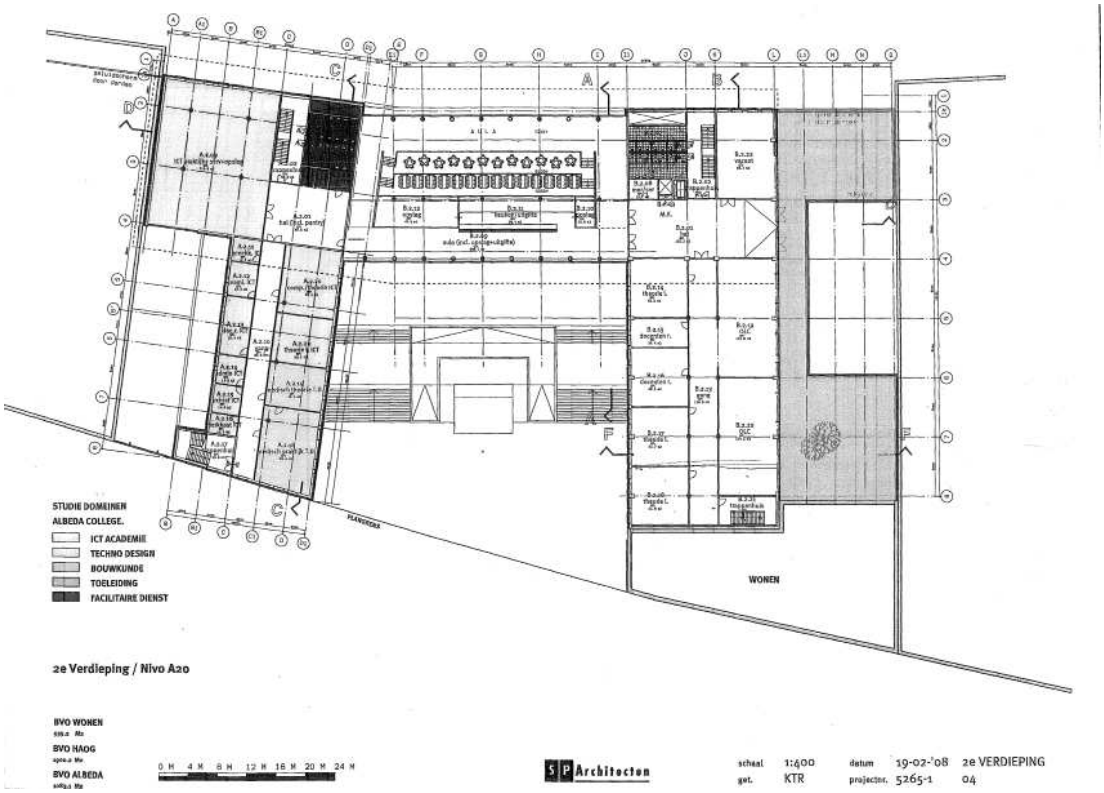
In gesprek met de architect

Ron Leenheer, SP architecten
Veel scholen vragen tegenwoordig om verplaatsbare wanden zodat de ruimtes voor kleine en grote groepen te gebruiken zijn. Goede akoestische wanden zijn lastig te openen of te sluiten en daarom wordt dit vaak door de conciërge gedaan. In de praktijk blijkt dat na enkele weken de wanden een vaste opstelling hebben omdat ze lastig verstelbaar zijn. Achteraf was het dus logischer om vaste wanden te maken die vele malen goedkoper zijn.

Het Life College in Schiedam staat naast een snelweg. Een grote glazen aula met werkplekken kijkt uit over deze snelweg. De keuze heeft tot hoge bouwkosten geleid omdat er hoogwaardig glas moet worden toegepast om aan de normen te voldoen.

SP architecten: Life College

Schiedam



Figuur 7.8: Life College, Schiedam

7.2 Materialen

De hoeveelheid absorptie is een eigenschap van een materiaal en wordt uitgedrukt met de absorptiecoëfficiënt. De absorptiecoëfficiënt van een materiaal is de fractie van het invallende geluidsvermogen dat wordt geabsorbeerd. De rest van het geluid wordt gereflecteerd.

$$a + r = 1 \text{ of } a = 1 - r$$

a = de absorptiecoëfficiënt (het geabsorbeerde geluid)
r = de reflectiecoëfficiënt (het gereflecteerde geluid)

De absorptiecoëfficiënt is afhankelijk van de frequentie van het geluid en wordt meestal gemeten bij elke octaafband tussen 125 en 4000 hertz. De absorptiecoëfficiënt heeft een waarde tussen nul (geen absorptie, al het geluid wordt gereflecteerd) en 1 (volledige absorptie, er wordt geen geluid gereflecteerd - open raam).

7.2.1 Twee mogelijkheden voor geluidsorptie

In principe kan absorptie op twee manieren worden gerealiseerd.

- Door wrijving bij luchtbeweging in poreuze materialen
- door middel van resonantie

7.2.1.1 Wrijving

Bij geluidsabsorptie wordt geluidsenergie in warmte omgezet. Het geluid verdwijnt dan eigenlijk in het materiaal. De geluidsgolven (geluidsdruk) vervormen het materiaal. Het vervormen van het materiaal kost energie. Afhankelijk van het soort materiaal zal de energie gedeeltelijk worden teruggegeven in de vorm van weergekaatst geluid. De energie die niet teruggegeven wordt in de vorm van warmte, in het materiaal opgeslagen. Om te zorgen dat het geluid het materiaal kan binnendringen, moet dit zo poreus mogelijk zijn.

De dikte van het materiaal is van belang. De deeltjessnelheid is maximaal op 1/4λ van de wand. Hier zit dus de meeste energie. Absorptiemateriaal dat wordt aangebracht moet dus een kwart golflengte (1/4λ) van het te absorberen geluid dik zijn om goed te absorberen.

Het is niet altijd mogelijk om een absorptie materiaal in zo'n grote dikte aan te brengen. Het materiaal kan dan worden toegepast in een spouw.

Vaak zijn absorberende materialen erg zacht en kwetsbaar (minerale wol en derdelijke) en moeten ze tegen mechanische beschadigingen worden beschermd. Dit kan gebeuren met een geperforeerde plaat van metaal, hardboard, gips enzovoort. Om de absorberende eigenschappen niet te beïnvloeden, moet het perforatiepercentage echter wel groter dan circa 20% en mag de onderlinge afstand van de openingen niet groter zijn dan 20 mm, anders werkt het geperforeerde oppervlakte als wand. Ook bekleding met houtenlatten moeten echter zo smal mogelijk worden gehouden. Verder is het mogelijk het materiaal af te dekken met een poreus weefsel of vlies, of met een heel dunne kunststoffolie.

7.2.1.2 Resonantie

Ieder voorwerp heeft een frequentie waarbij het spontaan in trilling komt (de eigenfrequentie). Wanneer dit voorwerp nu wordt aangestoten door een trilling die gelijk is aan die eigenfrequentie, zal het voorwerp spontaan mee gaan trillen. Dit verschijnsel noem je resonantie.

7.2.2 Absorptiekarakeristieken

7.2.2.1 Poreus materiaal:

- heeft een goede absorberende werking in het frequentiegebied 500 - 200 Hz
- plaats absorberende materiaal bij voorkeur op 1/4 golflengte van de wand
- gebruik bij voorkeur materiaal met een lage stromingsweerstand
- bescherm het met behulp van een geperforeerd paneel met perforatiegraad > 20% en onderlinge afstand < 20 mm
- verf het niet, in verband met verstopping van de poriën

7.2.2.2 Geperforeerd paneel:

- heeft een goede absorberende werking in het frequentiegebied 300 - 1500 Hz
- de gewenste perforatiegraad is 5 - 10%
- bij toepassing van absorptiemateriaal in de spouw wordt de absorptiecoëfficiënt lager maar het gebied waarover wordt geabsorbeerd wordt groter
- verven is mogelijk

7.2.2.3 Ongeperforeerd paneel

- heeft een goede absorberende werking in het frequentiegebied 50 - 500 Hz
- bij toepassing van absorptiemateriaal in de spouw wordt de absorptiecoëfficiënt lager, maar het gebied waarover wordt geabsorbeerd brede
- verven is mogelijk[1]

1 Van der Linden, 2006 p 154 - 159

Brede school Hoge Veld, Den Haag Mecanoo

Sylvie Beugels

Schaal 1: De omgeving

Hoge Veld staat met een kant aan een drukke straat. Aan deze kant van de school bevinden zich de speellokalen van de lagere klassen. Deze produceren meer geluid dan dat ze binnenkrijgen. Geluidsoverlast blijkt toch niet de hoofd reden te zijn om deze lokalen hier te plaatsen, de uitstraling naar de straat was een belangrijkere reden.

Er is wettelijk bepaald dat het schoolplein maximaal 3-8 m^2 per leerling mag zijn. Scholen maken dus vaak gebruik van wisselende pauze tijden voor de leerlingen wat tot onderling geluidsoverlast of concentratie verstoring kan leiden omdat de studerende leerlingen worden afgeleid door de spelende kinderen.

Schaal 2: Plattegrond

De tips die ik meekreeg waren om goed te kijken naar de locatie van bepaalde functies. Je kan bijvoorbeeld een docentenkamer akoestisch heel rustig maken, maar als je dan zodra je de deur uitloopt tegen een muur van herrie aanloopt is dit niet comfortabel.

Schaal 3: Functie

Klaslokaal voorbeeld: De akoestisch adviseur adviseerde om het materiaal aan de randen van het plafond te maken. Dit gaf volgens Mecanoo een benauwend gevoel, de panelen losbrengen van de muur heeft een opener gevoel. Hier conflicteren akoestiek en de uitstraling/ behaaglijkheid van de ruimte met elkaar

Verder is het mogelijk om bepaalde ruimtes helemaal geluiddicht te maken zodat de leerlingen rustig zelfstandig kunnen werken. Wanneer de docent niet in de ruimte aanwezig is zal hij bijvoorbeeld de deur openzetten om ze te kunnen horen, herrie is namelijk een teken dat ze niet (productief) werken.

Geluid van installaties en afzuiging kunnen hinderlijk zijn in ruimtes. Mecanoo probeert installaties inpandig op te lossen zodat er zo min mogelijk esthetische gevel- of dakbevuiling plaatsvindt. Dit is een nobel streven, maar niet altijd haalbaar omdat inpandige installatieruimtes ten koste gaan van het bruikbaar vloeroppervlak.

Soms wordt de akoestiek van de ruimte pas aangepast nadat de school is gebouwd. Er kan dan door middel van metingen geanticipeerd worden op het probleem.

Schaal 4: Materiaal

Materialen moeten zacht zijn om geluidsabsorberend te zijn, deze materialen zijn stofnesten en gevoelig voor vandalisme, daarom past ze geluidsabsorberende materialen eigenlijk alleen toe in het plafond. Verder vind ze vloerbedekking maar niks, dat is goor.
De eigenschappen die het materiaal vanuit gebruiksvriendelijkheid/ vandalisme moeten hebben conflicteren met de akoestische eisen. Architecten zijn dus snel geneigd om het geluidsabsorberende materiaal in het plafond te stoppen.

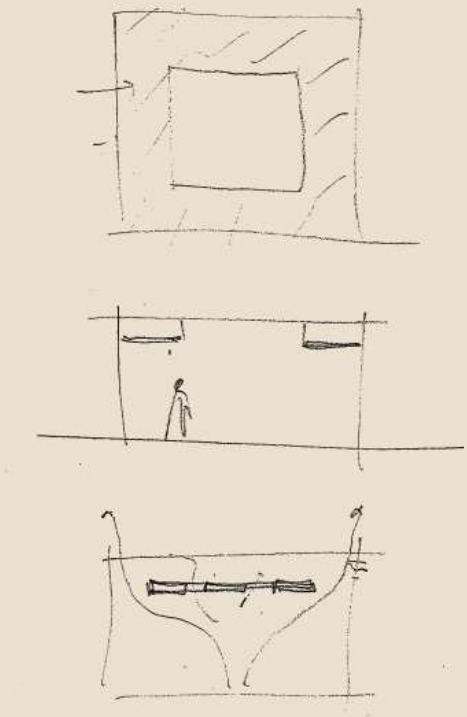
Ontwerpproces

Mecanoo probeert adviseurs in een zo vroeg mogelijk stadium bij het ontwerpproces te betrekken. Dit

8 Case studies

ANTWOORD HOOR IK NATUURLIJK VAKER, MAAR HET MOEILIJKE LIGT IN DE SAMENWERKING. SAMEN TOT EEN GEMEENSCHAPPELIJK DOEL KOMEN EN IN EEN VROEG STADIUM DE ONTWERP EN AKOESTISCHE BELANGEN NAAST ELKAAR LEGGEN EN KIJKEN WAAR JE ELKAAR KAN ONTMOETEN OM TOT EEN INTEGRAAL ONTWERP TE KOMEN.

VAN BELANG IS DAT DE ADVISEUR KAN MEE-ONTWERPEN. ADVISEUR EN ARCHITECT MOETEN ELKAAR ONTMOETEN. DE ARCHITECT MOET DE RUIMDENKENDE ZIJN DIE ALLE RUIMTELIJKE PROBLEMEN OPLOST. DE ARCHITECT HOUDT HET OVERZICHT EN NEEMT DE LEIDING, DAT IS NATUURLIJK DE MANIER WAAROP DE ARCHITECT HET ZIET.



HET GELUIDABSORBERENDE MATERIAAL KAN HET AAN DE ZIJKANTEN VAN HET PLAFOND ZITTEN.

DIT GAF VOLGENS DE ARCHITECT GEEN PRETTIGE RUIMTE. TE VEEL EEN TORENTJE.

IN OVERLEG MET DE ADVISEUR IS ER EEN AANTREKKELIJKE RUIMTE ONTWORPEN, DIE RUIMTELIJKER ERVAREN WORDT.

FIGUUR 8.1: SCHETSEN VAN SYLVIE BEUGELS

BREDE SCHOOL 'DE WATERLELIE' LEIDSCHENDAM VVKH

Gerrit-Jan van Rijswijk, VVKH

Schaal 1: De omgeving

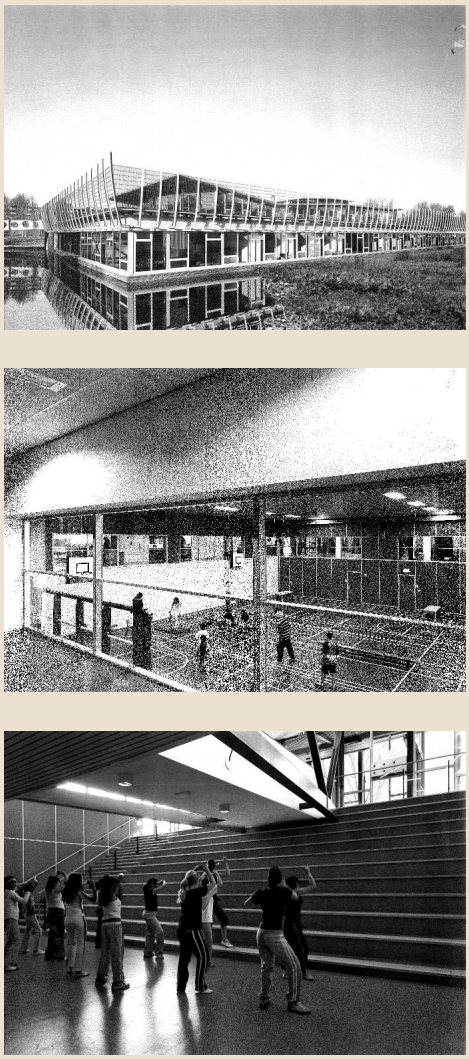
Het gebouw ligt in een rustige, parkachtige omgeving en heeft dus geen last van omgevingsgeluid.

Schaal 2: De plattegrond

Zoals al eerder genoemd ligt de gymzaal centraal in het midden van de school, dit is gedaan om het gebouw compact te houden (een gymzaal heeft namelijk weinig zonlicht nodig) en voor de interactie tussen de functies. Uit akoestisch oogpunt is het geen logische keuze, sportende leerlingen maken veel geluid en de omliggende ruimtes kunnen hier overlast van ondervinden. Rondom de gymzaal is een gang gemaakt, deze ruimte is minder gevoelig voor geluidsoverlast, maar de gang is nu minder geschikt als rustige werkplek voor individuen of kleine groepen.

Schaal 3 & 4: Functie & materiaal

Geluid en akoestiek zijn geen essentiële ontwerpmiddelen, natuurlijk is er gelet op de nagalmtijd en zijn er akoestische materialen gebruikt. In de gymzaal is een phrenger plafond geplaatst en lokalen zijn voorzien van akoestisch spuitwerk.



Figuur 8.2: Brede School de Waterlelie

9 Conclusies

8.1 Belang van het onderwerp

Geluidsoverlast en akoestiek zijn twee thema's die werk- en leerprestaties van leraren en leerlingen op scholen beinvloeden. De volgende thema's hebben invloed op de werk- en leerprestatie; klimaat en luchtkwaliteit, ergonomie, daglicht & verlichting, de beleving van de ruimte, groene omgeving en geluid. In open leeromgevingen wordt geluidsoverlast zelfs aangeduid als de belangrijkste bron van ergenis. Gezien het feit dat veel scholen veel open leeromgevingen inrichten, hebben geluidsoverlast en akoestiek extra aandacht nodig in deze ruimtes.

Uit interviews is gebleken dat architecten in eerste instantie geen of weinig aandacht geven aan het akoestische comfort van de ruimtes. Verder is gebleken dat er bij architecten kennis ontbreekt om tot een goed akoestisch klimaat te komen. Dat is op zich geen probleem, mits er maar op tijd bouwfysisch adviseurs worden ingeschakeld.

8.2 Holistische werkwijze

Bij het ontwerpen van een school zijn geluidsoverlast & akoestiek in eerste instantie geen uitgangspunten voor het gebouw. Het hogere doel is maken van een goed gebouw, waar het is prettig is om te werken en te leren en dat goed aansluit op zijn omgeving. Geluidsoverlast en een goede akoestiek zijn een wezenlijk onderdeel voor het maken van een goed gebouw.

Om tot een goed ontwerp te komen is het voor de architect essentieel om holistisch te werkt te gaan. Tijdens het ontwerpproces moet er aan zoveel gedacht worden dat er al snel zaken over het hoofd worden gezien. Bij een holistische aanpak wordt er aan alle aspecten gedacht en hebben al deze aspecten invloed op ontwerpbeslissingen. Verder is het belangrijk dat er op meerdere schaalniveaus wordt gewerkt. Het akoestische comfort van een gebouw beslaat ook alle schaalniveaus die tijdens het ontwerpen worden doorlopen.

De maatregelen die genomen kunnen worden om het akoestische comfort te waarborden zijn in te delen in 4 schaalniveaus, dezelfde niveaus die doorlopen worden tijdens het ontwerpen van een gebouw.

1. Context
2. Plattegrond
3. Ruimte
4. Constructie & material

8.3 Schaalniveaus

8.3.1 Context

Wanneer een school op een geluidsbelaste locatie wordt gebouw moet men in eerste instantie afvragen of men op een dergelijke locatie een school wil bouwen. Geluidsoverlast van wegen en spoorwegen zijn een grote bron van irritatie en brengen een aantal nadelen op het technische en gebruiksgemak met zich mee. Het gebouw is voor deze geluiden af te schermen door goede geluidsisolatie. Deze zogeheten dove gevels zijn er erg prijzig en hebben als consequenties dat natuurlijke ventilatie niet mogelijk is, iets wat gebruikers als zeer prettig ervaren.

8.3.2 Plattegrond

Door middel van een grove indeling van de plattegrond kan het gebouw anticiperen op geluiden van buitenaf. Bepaalde functies, zoals een werkplaats, sportzaal, berging of een gang, zijn toleranter voor geluidsoverlast dan bijvoorbeeld een bibliotheek, stilteruimte en of een klaslokalen. Deze functies kunnen aan de geluidsbelaste gevel worden geplaatst. Naast geluidsoverlast van de omgeving, kan er ook overlast komen van andere functies in het gebouw. Door middel van bufferzones kunnen deze functies van elkaar gescheiden worden.

8.3.3 Ruimte

Verschillende functies hebben andere akoestische eisen, zo verschillen de nagalmtijden per functie. De nagalmtijd is te beinvloeden door de juiste hoeveelheid absorberend materiaal toe te passen. In open leeromgevingen kan door middel van een aantal ontwerp parameters het akoestische comfort worden verbeterd, de beste ingreep is het wegnemen van de bron. Deze zones duiden als stiltegebied is de beste ingreep om geluidsoverlast te vermijden.

8.3.4 Constructie & materiaal

Op het technische vlak is veel mogelijk. Wanden, vloeren, plafonds en gevels kunnen door middel van voldoende massa, spouwconstructies en het onderbreken van de constructie elementen een goede geluidsreducerende prestatie leveren. Verder is de geluidsdruk van een ruimte te reduceren door het toepassen van geluidsabsorberende materialen.

8.4 Bouwkosten

De precieze bouwkosten zijn in dit verslag achterwegen gelaten. Door in het ontwerp op een slimme manier rekening te houden met geluid kunnen de bouwkosten lager blijven. Zoals al eerder gezegd is een constructie element geluidsisolerend uit te voeren, dit wordt veelal bereikt door het toevoegen van materialen. Over het algemeen geldt: hoe meer materiaal, hoe hoger de bouwkosten. Wanneer de hoeveelheid materiaal in een gebouw wordt gereduceerd, omdat een element een lagere reducerende prestatie hoeft te leveren, zullen de bouwkosten ook lager uitvallen.

Bibiografie

Literatuur

Agentschap NL, 2010. *Programma van Eisen Frisse Scholen.*

van de Beek, A., ter Haar, H. & Oei, P. (editors) 2011. *Bouwen met groen en glas.* Boxtel: Æneas Uitgeverij van vakinformatie bv

Brill, M., Margulis, S. & Konar, E. 1985. *Using office design to increase productivity.* Buffalo, NY: Westinghouse

Clements-Croome, D. (editor) 2000. *Creating productive workplace*. Londen: E & FN Spoon

Dolden, M. & Ward, R. 1986. *The impact of the work environment on productivity: Proceeding for a workshop.* Washington, DC: National science Foundation ans Architectural Research Centers Consortium

Ecophon Group 2002. *Laat je zintuigen niet beperken*. Klippan: Ljungbergs Tryckeri

van der Linden, K. & Zeegers, A. 2006. *Bouwfysica.* Utrecht/ Zutphen: ThiemeMeulenhoff

Newsham, G.R., Veitch, J., Charles, K.E., Clinton, J.G., Marquardt, J.G., Bradley, J.S., Shaw, C.Y., & Readon, J. 2004. *Environmental satisfaction in open plan environment: Relationship between physical variables.* Technical Report RR-153, Ottowa, Instituete for Research in Construction, National research Council Canada.

Saint-Gobain Ecophon 2006. *Akoestiek in moderne onderwijsgebouwen.* Verkstadsgatan: Skånetryck AB

Shield, B. & Hopkins, C. (editors) 2004. *Building Bulletin 93: Acoustic Design of Schools: A Design Guide.* London: The Stationery Office

Sullivan, C. 1990. Employee comfort, satisfaction and productivity: Recent efforts at Aetna. In P. Souter, G.H. Darnoff & J.B. Smith (editors), *Promoting health and productivity in the computerized office*. Londen: Taylor and Francis

Vischer, J.C. 1989. *Environmental quality in offices.* New York: Van Nostrand Reinhold

Vischer. J.C. 2004. Design review: Sharing design desicion making in building performance evaluation. In W. Preiser, & J.C. Vischer (editors), Assessing building performance (p 52-61). Londen: Elsevier Science Publishers

Artikelen

Bradley, J.S. 2003. The acoustical design of conventional open plan offices. *Canadian Acoustics.* 27 (3) p. 23-29

Davis, T. 1984. The influence of the physical environment in offices. Academy of Management Journal, 9 (2), 271-283

Hatch, M.J. 1987. Physical Barriers, task characteristics and interaction

activity in research and development firms. *Administrative Sience Quaterly,* 32 (3), p. 387-399

Shield, B.M. & Dockrell, J.E. 2003. The effect of Noise on Children at School: A Review. *Building Acoustics.* 10 (2) p 97-116

Vischer, J.C. 2007. The effect of the physical environment on job performance: towards a theoretical model of workspace stress. *Stress and Health.* 23 p. 175-184

Wetten
Wet geluidshinder, 1 april 2011
wetten.overheid.nl

Websites
http://www.ecophon.com/en/Acoustics/For-Architects/To-consider-regarding-Room-Acoustic-Comfort/

http://www.sonus.nl/index.html

Tabellen & illustraties
Alle tabellen en illustraties zijn zelf gemaakt, maar zijn geinspireerd of nagemaakt.

Figuur 3.1: Afname geluidsdruk bij een puntbron
http://www.audiologieboek.nl

Figuur 3.2: Afname geluidsdruk bij een lijnbron
http://www.av-consulting.com

Figuur 3.3: Reflectie
http://www.sfu.ca

Figuur 3.4: absorptie
http://www.acousticalsurfaces.com

Figuur 4.1: Omgevingsgeluiden
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 4.2: Geluidsbarrières
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Tabel 5.1: Bufferscore
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 5.4: Comenius College
DKV architecten

Figuur 5.5: Comenius College
DKV architecten

Figuur: 6.1: Vorm & akoestiek
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 6.2: Gevouwen wand
Bouwfysica

Tabel 6.4: Nagalmtijden
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Tabel 6.5: Ontwerp parameters open leeromgeving
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 6.7: Effecten van de ruimte op de spraak
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 6.8 Oppervlakte afwerking van lezingenzaal of een klaslokaal
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 6.9: Lyceum Ypenburg, Ypenburg. DP[6]
Lyceum Ypenburg, kiezen voor talent

Figuur 7.1: Geluidsreductie voor verschillende constructie elementen
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 7.2: Geluid transmissie
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 7.3: Geluidsisolatie van verschillende wandconstructies
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 7.4: Geluidstransmissie bij vloer, wand en plafond aansluitingen
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 7.5: Aansluiting van de vloer op de wand
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 7.6: Geluidsisolatie van verschillende glasconstructies
Building Bulletin 93: Acoustic design of Schools

Figuur 8.2: Brede School de Waterlelie
VVKV architecten