

MASTER

Experimenteel, lichtgewicht en dragend wandpaneel

onderzoek naar de akoestische en constructieve aspecten van een wandpaneel bestaande uit hout en EPS

Seijkens, W.C.A.M.

Award date:
2008

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

Experimenteel, lichtgewicht en dragend wandpaneel

Onderzoek naar de akoestische en
constructieve aspecten van een
wandpaneel bestaande uit hout en EPS



Rapportnummer:
A-2008.2
O-2008.4

W.C.A.M. Seijkens
I.D. nr.: 0470918

Afstudeercommissie:
Dr. Ir. S.P.G. Moonen
Ir. R. Blok
Ir. M.G.D.M. Cox

SAMENVATTING

INLEIDING

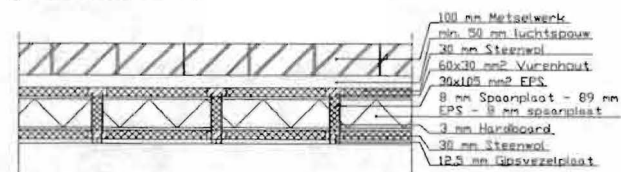
Het afstudeerproject is uitgevoerd bij de vakgroep constructief ontwerpen en bevat naast de constructieve aspecten ook een bouwfysische insteek. Aanleiding voor het afstudeeronderzoek is een ontwerp van een experimenteel wandelement waarbij de dragende, isolerende en scheidende functie geïntegreerd zijn.

Uit voorgaande onderzoeken is gebleken dat de verlijming van het wandelement een kritisch probleem is en dat ook de akoestische prestaties te wensen overlaat.

Toepassing van het wandelement in de woningbouw, bepaalt de eisen die gesteld worden door het Bouwbesluit.

Het wandelement is opgebouwd uit dragende stijlen, die zijn opgebouwd uit houten stijlen van $30 \times 60 \text{ mm}^2$, gekoppeld door hardboard en EPS, en een standaard dakelement, die opgebouwd is uit twee maal 8 mm spaanplaat en 89 mm EPS.

Het wandelement wordt aan de binnenzijde afgewerkt met minerale wol en gipsvezelplaat en aan de buitenzijde met eventueel een gemetselde wand.



Door de industriële vervaardiging van de elementen en de lichte constructie, biedt het wandpaneel vele voordelen ten opzichte van traditionele bouwmethoden. Het product kan hierdoor met een constante en hoge kwaliteit geleverd worden en door de snelle en lichte montage op de bouw vervallen kosten voor tijdelijk opslag en zware kranen.

Constructieve Eigenschappen

De stijlen worden gesteund door de spaanplaten uit het standaard dakelement, waardoor knik uit het zwakke vlak wordt voorkomen. Het plooiën van de spaanplaten

wordt vervolgens tegengegaan door de EPS plaat.

Door de constructieve samenwerking van de verschillende onderdelen van het wandelement, zal het bezwijken optreden door knik uit het sterke vlak of door het bezwijken van het hout op druk.

RANDVOORWAARDEN EN TOETSING

Het wandelement is allereerst getoetst aan het Bouwbesluit met betrekking tot thermisch comfort. Hierbij is naast het Bouwbesluit uitgegaan van de variabele maatregel uit het Pakket Duurzaam Bouwen om in zijn totaliteit te kunnen voldoen aan de totale energieprestatie. Als het wandelement toegepast wordt als dragend binnenspouwblad zoals hierboven beschreven, is de isolatiewaarde, onafhankelijk van de buitenafwerking, $4,63 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$. Dit voldoet ruim aan de eis uit het Pakket Duurzaam Bouwen van $4,0 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$.

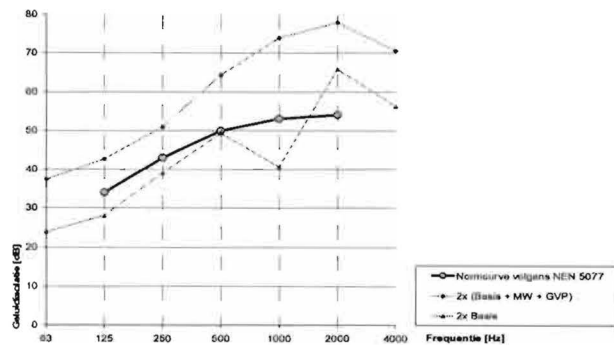
In voorgaande onderzoeken is tevens de oppervlaktecondensatiefactor en het vochttransport door de constructie onderzocht. Hieruit bleek dat er geen inwendige condensatie optreedt (zonder toepassing van folies) en dat de f-factor voldoet aan de eisen in het Bouwbesluit.

GELUIDTECHNISCH ONDERZOEK

In het Laboratorium voor Akoestiek aan de Technische Universiteit te Eindhoven, is de luchtgeluidisolatie van een aantal varianten van het wandpaneel als kamerscheidende en woningscheidende wand beproefd. Dit met als doel de resultaten te kunnen toetsen aan de eisen gesteld in het Bouwbesluit. Dit betekent voor een kamerscheidende wand een minimaal $I_{L_{u,lab;k}}$ van 0 dB en voor een woningscheidende wand minimaal -20 dB.

In onderstaande grafiek zijn de resultaten weergegeven van een woningscheidende wand, waarbij het wandelement dubbel is toegepast met aan beide zijden minerale wol en een gipsvezelplaat.

Geluidsisolatie lichtgewicht dragend Wandpaneel 2 * Basis



Dit element heeft een $I_{lu;lab;k}$ van 3,0 dB en voldoet hiermee aan de eisen van het Bouwbesluit.

Ook het enkel element met aan beide zijden een laag minerale wol en gipsvezelplaat voldoet aan de eis met een $I_{lu;lab;k}$ van -10 dB

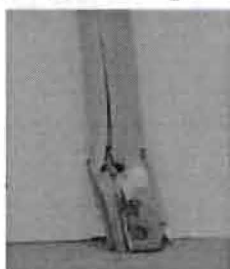
CONSTRUCTIEF ONDERZOEK

In het Pieter van Musschenbroek laboratorium van de Technische Universiteit zijn een viertal proefstukken met afmeting 2,2 * 2,8 meter vervaardigd.

Vervolgens zijn de wandelementen beproefd om inzicht te verkrijgen in het bezwijkgedrag en maximale bezwijkbelasting van de wandpanelen.

Deze proeven laten zien dat het verwachte bezwijkgedrag inderdaad optreedt. In geen van de proeven is namelijk knik om de zwakke as geconstateerd.

Bezijken van het wandpaneel treedt op door het overschrijden van de druksterke van het hout.



De gemiddelde bezwijkbelasting van de proeven is 705 kN (320 kN/m¹), met een standaardafwijking van 6,4%.

Dit betekent dat de bezwijkbelasting hoger is dan berekend aan de hand van de norm (119 kN/m¹).

Dit kan, door het feit, dat herverdeling van de krachten mogelijk is, waardoor sterkere en zwakkere onderdelen elkaar compenseren, verklaard worden.

Tevens is bij de berekening volgens de norm uitgegaan van een druksterkte van hout waarbij een 5% ondergrens geldt. Met een gemiddelde spreiding van hout van 18%, betekent dat deze waarde 36% lager is dan de gemiddelde druksterkte van hout.

Ook is het waarschijnlijk dat het spaanplaat meewerkt in de sterkte van het totale paneel.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Ten aanzien van het geluidtechnisch onderzoek van het wandelement, kan geconcludeerd worden, dat het wandelement in de toepassing van kamerscheidende en woningscheidende wand voldoet aan de eisen gesteld in het Bouwbesluit.

Hierbij moet wel rekening gehouden worden dat het element is beproefd in een opening voor beglazing (1,25 x 1,50 meter).

Dit betekent dat wanneer een groter element wordt beproefd, de geluidsisolatie kan afnemen.

Met betrekking tot het constructief onderzoek, is naar voren gekomen dat de bezwijkbelasting van de wand de gebruiksbelasting ruimschoots overschrijdt. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met het verschil tussen de experimenteel vastgestelde korte duur sterkte van het hout en de lange duur sterkte, die ongeveer 55% hiervan bedraagt.

Ook blijkt de wand in staat de krachten over de stijlen te herverdelen, waardoor invloed van de inhomogeniteit van het hout beperkt is.

Om verder inzicht te verkrijgen van het gedrag van het wandpaneel in de praktijk, is het van belang om verder onderzoek te verrichten naar de stabiliteit van de wand. In de praktijk zal het wandelement namelijk belast worden door de verticale kracht uit de permanente belasting, maar ook door een horizontale kracht uit de windbelasting.

VOORWOORD

Voor u ligt het afstudeerverslag over het onderwerp industrieel wandelement wat geschreven is ter afronding van mijn opleiding tot bouwkundig ingenieur. Het afstudeerproject is uitgevoerd aan de capaciteitsgroep Constructief Ontwerpen van de faculteit Bouwkunde aan de Technische Universiteit te Eindhoven.

Graag wil ik bij deze gelegenheid de speciale mensen in mijn naaste omgeving bedanken, welke in wat voor opzicht dan ook een bijdrage hebben geleverd aan de afronding van mijn studie.

Speciale dank gaat uit naar mijn begeleiders Faas Moonen, Mark Cox en Rijk Blok voor hun steun en kritische opmerkingen in het proces.

Ook wil ik graag de medewerkers van het Pieter van Musschenbroek laboratorium bedanken voor hun advies en inzicht, en in het bijzonder Rien Canters en Martien Ceelen voor alle hulp bij de bouw van de panelen en Theo van de Loo, Johan van den Oever en Cor Naninck voor alle hulp tijdens de proeven.

Dankzij hun hulp heb ik mijn proefstukken kunnen verlijmen, mijn opstelling kunnen bouwen en heb ik mijn proeven in goede banen kunnen leiden.

Als laatste wil ik graag de medewerkers van het laboratorium voor akoestiek, waaronder Remy Wenmaekers, Heiko Martin en Constant Hak, bedanken voor hun advies en kennis. In het bijzonder wil ik Heiko Martin bedanken voor hulp tijdens mijn akoestische experiment en zijn steun en inzichtelijke adviezen over de werking van geluid.

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	11
1.1.	INLEIDING	11
1.2.	PROBLEEMSTELLING	11
1.3.	UITVOERING ONDERZOEK	12
2.	HET WANDELEMENT	13
2.1.	INLEIDING	13
2.2.	LITERATUURONDERZOEK	13
2.3.	OPBOUW	13
2.4.	CONSTRUCTIEVE EIGENSCHAPPEN	14
2.5.	SCHEMATISERING	15
3.	RANDVOORWAARDEN EN TOETSING	17
3.1.	INLEIDING	17
3.2.	CONSTRUCTIE (BOUWBESLUIT AFDELING 2.1 / 2.2) - VEILIGHEID	18
3.3.	THERMISCH COMFORT (BOUWBESLUIT AFDELING 5.1) - ENERGIEZUINIGHEID	19
3.4.	GELUID (BOUWBESLUIT AFDELING 3.1 T/M 3.5) – GEZONDHEID	20
3.5.	VOCHT (BOUWBESLUIT AFDELING 3.6 / 3.7) - GEZONDHEID	22
3.6.	ECONOMISCH	24
4.	GELUIDTECHNISCH ONDERZOEK	27
4.1.	DOELSTELLING	27
4.2.	UITVOERING	27
4.3.	PROEFSTUKKEN	27
4.4.	PROEFOPSTELLING	29
4.5.	WANDELEMENT ENKEL	33
4.6.	WANDELEMENT DUBBEL	34
4.7.	RESULTATEN	35
5.	CONSTRUCTIEF ONDERZOEK	37
5.1.	DOELSTELLING	37
5.2.	PROEFSTUKKEN	37
5.3.	PROEFOPSTELLING	40
5.4.	WANDPANEEL 1	43
5.5.	WANDPANEEL 2	45
5.6.	WANDPANEEL 3	47
5.7.	WANDPANEEL 4	49
5.8.	RESULTATEN	51
6.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	55
6.1.	GELUIDTECHNISCH ONDERZOEK	55
6.2.	CONSTRUCTIEF ONDERZOEK	55
7.	BRONVERMELDING	57

BIJLAGEN:

BIJLAGE 01 - DE REFERENTIEWONING	61
BIJLAGE 02 - HART OP HART- AFSTAND STIJLEN	67
BIJLAGE 03 – TOETSING CONSTRUCTIE	75
BIJLAGE 04 - BOUWFYSICA - WARMTE	95
BIJLAGE 05 - BOUWFYSICA – GELUID - SIMULATIES BASLAB	105

AFBEELDINGENLIJST

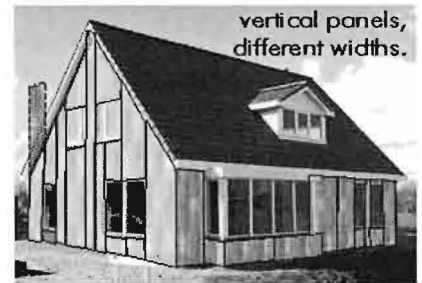
FIGUUR 1.1.1 TOEPASSING VAN VERTICALE WANDPANELEN	11
FIGUUR 2.3.1 DOORSNEDE VAN HET WANDELEMENT MET ALS BUITENGEVEL EEN GEMETSELDE WAND	13
FIGUUR 2.4.1 KNIK BIJ BELASTING	14
FIGUUR 2.4.2 PLOOIEN VAN DE CONSTRUCTIE	14
FIGUUR 2.5.2 SCHEMATISERING WANDELEMENT	15
FIGUUR 3.1.1 DE REFERENTIEWONING	17
FIGUUR 3.4.1 LUCHT- EN CONTACTGELUID	20
FIGUUR 3.4.2 HORIZONTALE DOORSNEDE SCHEIDING RUIMTE WONING – RUIMTE WONING	21
FIGUUR 3.4.3 HORIZONTALE DOORSNEDE SCHEIDING WONING - WONING	22
FIGUUR 4.2.1 DOORSNEDE VAN DE MEETOPENING VOOR BEGLAZING	27
FIGUUR 4.3.1 SPANNEN D.M.V. LIJMKLEMMEN	28
FIGUUR 4.4.1 MEETOPSTELLING TRANSMISSIEKAMER	29
FIGUUR 4.4.2 MICROFOON OP ARM	29
FIGUUR 4.4.3 EEN GELUIDBRON	29
FIGUUR 4.5.1 GELUIDISOLATIEWAARDEN EN NORMCURVE VOLGESN NEN 5077	33
FIGUUR 4.6.1 GELUIDISOLATIEWAARDEN EN NORMCURVE VOLGENS NEN 5077	34
FIGUUR 5.2.1 ZAGEN VAN DE DAKPLATEN	39
FIGUUR 5.2.2 ALLES IN HET FRAME	39
FIGUUR 5.2.3 VERZWAREN VAN DE WAND	39
FIGUUR 5.2.4 LIJMEN GLEUVEN	39
FIGUUR 5.2.5 INTIKKEN HARDBOARD	39
FIGUUR 5.2.6 DE WAND IS KLAAR	39
FIGUUR 5.3.1 DE PROEFOPSTELLING MET EEN TOTALE HOOGTE VAN 4,5 METER	40
FIGUUR 5.3.2 DE PROEFOPSTELLING	40
FIGUUR 5.3.3 OLIEDRUKPOMP	41
FIGUUR 5.3.4 VIJZELS	41
FIGUUR 5.3.5 KRACHTMEETDOZEN	41
FIGUUR 5.3.6 VERTICALE VERPLAATSINGSOPNEMER	41
FIGUUR 5.3.7 HORIZONTALE VERPLAATSINGSMETERS	41
FIGUUR 5.3.8 IJKEN KRACHTMEETDOOS	42

FIGUUR 5.3.9 KALIBRATIE OPNEMER _____	42
FIGUUR 5.3.10 MEETPUNTEN IN DE PROEFOPSTELLING _____	42
FIGUUR 5.4.1 KRACHTSVERDELING OVER DE STIJLEN (WANDPANEEL 1) _____	43
FIGUUR 5.4.2 HORIZONTALE VERPLAATSING VAN DE STIJLEN (WANDPANEEL 1) _____	44
FIGUUR 5.4.3 DE ONDERZIJDE VAN DE ACHTERZIJDE VAN WANDPANEEL 1 _____	44
FIGUUR 5.4.4 DE ONDERZIJDE VAN DE VOORZIJDE VAN WANDPANEEL 1 _____	44
FIGUUR 5.5.1 KRACHTSVERDELING OVER DE STIJLEN (WANDPANEEL 2) _____	45
FIGUUR 5.5.2 HORIZONTALE VERPLAATSING VAN DE STIJLEN (WANDPANEEL 2) _____	46
FIGUUR 5.5.3 VOORZIJDE EN ONDERZIJDE VAN WANDPANEEL 2 NA BEZWIJKEN _____	46
FIGUUR 5.5.4 ACHTERZIJDE EN ONDERZIJDE VAN WANDPANEEL 2 NA BEZWIJKEN _____	46
FIGUUR 5.6.1 KRACHTSVERDELING OVER DE STIJLEN (WANDPANEEL 3) _____	47
FIGUUR 5.6.2 HORIZONTALE VERPLAATSING VAN DE STIJLEN (WANDPANEEL 3) _____	48
FIGUUR 5.6.3 BOVENZIJDE STIJL 4 _____	48
FIGUUR 5.6.4 ONDERZIJDE STIJL 1 _____	48
FIGUUR 5.7.1 KRACHTSVERDELING OVER DE STIJLEN (WANDPANEEL 4) _____	49
FIGUUR 5.7.2 HORIZONTALE VERPLAATSING VAN DE STIJLEN (WANDPANEEL 4) _____	50
FIGUUR 5.7.3 STIJLEN AAN DE VOORZIJDE VAN WANDPANEEL 4 _____	50
FIGUUR 5.8.1 LOKAAL BEZWIJKEN EN BEZWIJKEN VAN DE SPAANPLAAT _____	51
FIGUUR 5.8.2 DE NORMALE VERDELING _____	51

1. INLEIDING

1.1. INLEIDING

Om efficiënter en effectiever te werk te kunnen gaan in de bouw, is het nodig dat er kritisch gekeken wordt naar de huidige toepassing van bouwmethoden. Vaak zijn deze ouderwets en achterhaald, deze zijn immers alleen aangepast aan de huidige technologieën, maar niet opnieuw ontworpen waarbij optimaal gebruik kan worden gemaakt van deze technologieën en methoden.



FIGUUR 1.1.1 TOEPASSING VAN VERTICALE WANDPANELEN

Dit onderzoek naar een dragend wandpaneel, is een antwoord op de vraag naar snellere en goedkopere bouwmethoden. Het wandpaneel kan industrieel vervaardigd worden, met andere woorden, er kan uit voorraad geleverd worden en aan de typische eisen van de klant worden aangepast. Dit zorgt er tevens voor dat er goedkoper en efficiënter gebouwd wordt.

Dit onderzoek behandelt de constructieve en akoestische eigenschappen van het experimentele wandelement en is uitgevoerd in het kader van een afstudeerproject bij de capaciteitsgroep Constructief Ontwerpen aan de faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit te Eindhoven.

Het wandelement vervangt het dragende wandstelsel van een woning en zorgt ervoor dat er snel en efficiënt gebouwd kan worden.

1.2. PROBLEEMSTELLING

Uit voorgaande onderzoeken is naar voren gekomen dat de akoestische eigenschappen van het wandpaneel te wensen over laat [12]. In dit onderzoek zal allereerst begonnen worden met een studie naar de akoestische eigenschappen van het wandpaneel, voornamelijk in de toepassing als woningscheidende wand. Na deze studie kunnen de eisen aan de opbouw van de wand verwerkt worden in de bestaande elementen van het wandpaneel.

Vervolgens zal worden nagegaan of het wandelement in de toepassing van de referentiewoning aan de aspecten van het bouwbesluit voldoet. Hier zal voornamelijk gekeken worden naar de constructieve eigenschappen en de akoestische aspecten.

1.3. UITVOERING ONDERZOEK

De opbouw van het element uit voorgaande onderzoeken is de startpositie voor het akoestische onderzoek van het wandpaneel. Er wordt een aantal onderzoeken gedaan om de akoestische eigenschappen te verbeteren ten opzichte van het bestaande paneel. Hierna zijn deze criteria verwerkt in de totale opbouw van het element.

Vervolgens zal het wandpaneel beproefd worden om het optredende bezwijkgedrag te toetsen aan het geschematiseerde bezwijkgedrag en de eisen uit het Bouwbesluit.

Aan de hand van de opbouw van het wandelement wordt ten slotte kort gekeken naar de warmte-isolatie en de economische factoren.

2. HET WANDELEMENT

2.1. INLEIDING

Het wandelement, toegepast in de huidige woningbouw, heeft verschillende functies. Deze functies zijn te onderscheiden in een dragende, isolerende en scheidende functie. De verschillende eisen van deze functies zorgen ervoor dat het element complex is opgebouwd. Zo hebben verschillende materialen van het element meerdere functies. In dit hoofdstuk worden deze functies en de totale opbouw van het wandelement verder toegelicht

2.2. LITERATUURONDERZOEK

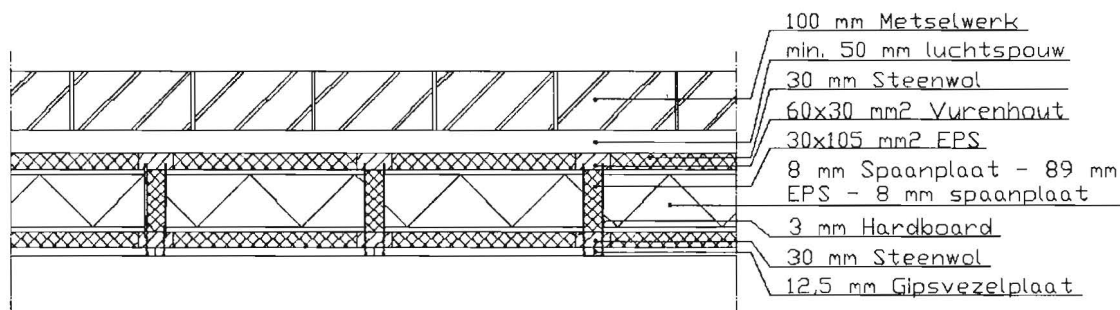
In voorgaande onderzoeken is het element vooral bekeken vanuit een constructief aspect. Er is uitgegaan van een element, namelijk het dragende dakmateriaal, bestaande uit EPS verlijmd met 2 platen hardboard, geklemd tussen de dragende stijlen [11]. Aan deze opbouw zijn constant kleine aanpassingen gedaan om een beter functionerend ontwerp te verkrijgen.

Het grootste probleem wat hieruit voortkwam was het zeer kleine contactoppervlak voor het verlijmen. Dit was zeer vaak een kritisch punt voor bezwijken waardoor vaak niet het uiterste uit het wandelement gehaald kon worden.

Ook qua akoestiek was er aan het wandelement nog veel te verbeteren. Er was een klein onderzoekje uitgevoerd met de conclusie dat het element een geluidweerstand heeft van goed dubbelglas [12].

2.3. OPBOUW

De voornaamste functie waarop het ontwerp van het wandelement is gebaseerd, is de constructieve functie. Dit betekent dat het wandelement ontworpen is om de belasting, die voortkomt uit de toepassing als dragend binnenspouwblad, af te dragen naar de fundering. De houten stijlen, de spaanplaat en het EPS dragen hiertoe bij (zie paragraaf 2.4). De hart op hart afstand van de stijlen is vanwege praktische omstandigheden 371 mm (zie Bijlage 02).



FIGUUR 2.3.1 DOORSNEDE VAN HET WANDELEMENT MET ALS BUITENGEVEL EEN GEMETSELDE WAND

De toevoeging van de steenwol en tevens de aanwezigheid van het EPS, verzorgen de warmte-isolatie van het element. De gipsvezelplaat werkt het geheel af en samen met de steenwol is de functie van brandwerendheid verzorgd.

De ruimte die ontstaat tussen de stijlen, namelijk 30 mm, is uitermate geschikt voor het aanbrengen van leidingen, waardoor hiervoor geen extra voorziening hoeft te worden aangebracht. (zie Figuur 2.3.1)

2.4. CONSTRUCTIEVE EIGENSCHAPPEN

Een op zich staande stijl, zal bij belasting aan de bovenzijde door een puntlast, allereerst uit zijn vlak willen gaan knikken. Vaak is er hierbij een onderscheid te maken in knik uit het zwakke vlak en sterke vlak. Omdat bij toepassing van houten stijlen er een groot verschil zit in de afmeting van de breedte en de afmeting van de hoogte, is er al vaak een factor 8 verschil in de maximaal opneembare belasting bij knik om de verschillende assen. In Figuur 2.4.1 is knik bij een bepaalde belasting geschematiseerd.

Door de toepassing van de dakplaten tussen de stijlen, knikken deze gedwongen uit om de sterke as, wat een verhoging van de maximaal toelaatbare belasting tot gevolg heeft. Hierbij heeft het EPS de functie om het plooiën van het dakelement tegen te gaan.

(Figuur 2.4.2)



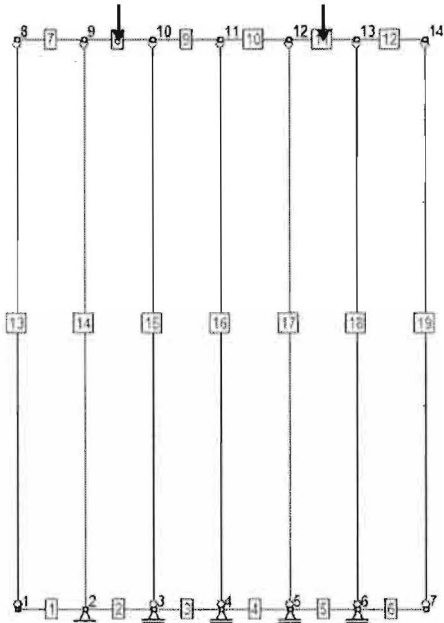
FIGUUR 2.4.1 KNIK BIJ BELASTING



FIGUUR 2.4.2 PLOOIEN VAN DE CONSTRUCTIE

Door de constructieve samenwerking van de verschillende onderdelen van het wandelement, zijn de stijlen gedwongen uit te knikken om de sterke as. Het bezwijken van het wandelement kan zo alleen optreden door knik uit het vlak van de constructie of door het bezwijken van het hout op druk.

2.5. SCHEMATISERING



FIGUUR 2.5.1 SCHEMATISERING WANDELEMENT

Om een simpele benadering van de krachtverdeling te kunnen voorspellen, is met behulp van het computerprogramma PC-Frame (versie 1.10; 2007) het wandelement geschematiseerd. (Figuur 2.5.1)

Hierbij worden de krachten aan de bovenzijde verspreid door een doorgaande HE300B ligger en zijn de houten stijlen als pendelstaven ingevoerd met een E-modulus van standaard 7400, 11000 of 15000 N/mm². De verbinding tussen de stijlen aan de onderzijde is eveneens ingevoerd als een doorgaande ligger om de stabiliteit van de constructie te waarborgen. Voor deze verbinding is uitgegaan van een meewerkende hoogte van het spaanplaat van 150 mm, waardoor voor de oppervlakte 2400 mm², het weerstandsmoment 60.000 mm³ en het axiaal kwadratisch oppervlaktemoment 4.500.000 mm⁴ is ingevoerd.

In Tabel 2.5.1 is een overzicht gegeven van de verschillende schematiseringen en de bijbehorende krachtsverdeling. Hierbij is gevarieerd in de verhouding tussen de stijfheden van het spaanplaat en de houten stijlen en is tevens de invloed van een stijvere houten stijl bekeken.

TABEL 2.5.1 OVERZICHT KRACHTSVERDELING VERSCHILLENDE VARIANTEN

	Stijl 1	Stijl 2	Stijl 3	Stijl 4	Stijl 5
350 kN; H=11000; SP =11000 N/mm ²	173	103	148	103	173
350 kN; H=11000; SP = 2373 N/mm ²	149	131	142	131	149
350 kN; H=7400; SP =7400 N/mm ²	173	103	148	103	173
350 kN; H=7400; SP = 2373 N/mm ²	152	127	143	127	152
500 kN; H=7400; SP = 2373 N/mm ²	205	195	201	195	205
350 kN; H=7400; stijl 1 = 15000; SP = 2373 N/mm ²	184	97	125	124	171
350 kN; H=7400; stijl 2 = 15000; SP = 2373 N/mm ²	106	207	120	115	152
350 kN; H=7400; stijl 3 = 15000; SP = 2373 N/mm ²	127	105	235	105	127
350 kN; H=7400; stijl 4 = 15000; SP = 2373 N/mm ²	171	124	125	97	184
350 kN; H=7400; stijl 5 = 15000; SP = 2373 N/mm ²	171	124	125	97	184
350 kN; H=7400; stijl 2 = 15000; SP = 7400 N/mm ²	122	190	125	91	172

De volgende verschijnselen kunnen hieruit zichtbaar worden:

- Wanneer het spaanplaat een zelfde E-modulus heeft als het hout, treden de grootste krachten op in de middelste en buitenste stijlen. Het verschil tussen de stijlen is maximaal 40%;

- De verschillen in krachtsverdeling worden kleiner wanneer de E-modulus van het spaanplaat verkleind wordt tot 2373 N/mm^2 . De verhouding tussen de stijfheden van de houten stijlen en het spaanplaat is nu ongeveer 5:1. Het grootste verschil tussen de krachten is nu maximaal 12%. De verdeling van de krachten blijft ongewijzigd; de buitenste stijlen dragen de grootste belasting en de stijlen 2 en 4 de minste;
- Als de krachten op het wandelement verhoogd worden naar 2 maal 500 kN, kan geconcludeerd worden dat de verhouding tussen de verschillende krachten kleiner wordt (maximaal 5%).
- In het geval er een stijl stijver (verhouding 2:1) is dan de overige stijlen, is de reactiekracht in dit steunpunt groter dan wanneer de stijlen even stijf zijn. (vermeerdering van 64%).

RANDVOORWAARDEN EN TOETSING

3.1. INLEIDING

Om tot een goed bruikbaar en toepasbaar wandelement te komen is het van belang dat deze uiteindelijk voldoet aan de door het Bouwbesluit 2003 voorgeschreven minimale eisen.

Deze eisen zijn in het Bouwbesluit 2003 onderverdeeld in de hoofdstukken Veiligheid, Gezondheid, Energiezuinigheid en Bruikbaarheid.

In dit hoofdstuk behandel ik een aantal belangrijke randvoorwaarden, welke van toepassing zijn op het wandelement. Hierbij is een referentiewoning uitgekozen, waarmee duidelijke randvoorwaarden gecreëerd worden (Figuur 3.1.1). In Bijlage 01 is de referentiewoning verder toegelicht.



FIGUUR 3.1.1 DE REFERENTIEWONING

Allereerst bekijk ik welke randvoorwaarden voortkomen uit de eisen van het Bouwbesluit op het gebied van constructieve veiligheid. Hierna worden de bouwfysische randvoorwaarden gesteld met als onderdelen warmte, geluid en vocht. Ten slotte zijn buiten het Bouwbesluit randvoorwaarden gesteld aan de economische aspecten van het wandelement.

3.2. CONSTRUCTIE (BOUWBESLUIT AFDELING 2.1 / 2.2) - VEILIGHEID

Met constructieve veiligheid wordt bedoeld dat de kans op bezwijken van een gebouw of bouwwerk onder een acceptabele maatschappelijke grens moet liggen.

De oorzaak van het falen van een constructie kan bijvoorbeeld zijn dat de optredende belasting groter is dan de berekende belasting of dat de geleverde materialen van slechtere kwaliteit zijn, dan waar rekening mee gehouden is.

Dankzij de uitgebreide kennis van mechanica, wiskunde en gedrag van constructiematerialen, zijn we tegenwoordig in staat het gedrag van een constructie te voorspellen. Veel van deze kennis is verwerkt in de hoeveelheid aan normen die Nederland rijk is. [2]

RANDVOORWAARDE

Het Bouwbesluit stelt:

“Een uiterste grenstoestand van een bouwconstructie wordt niet overschreden bij de fundamentele belastingscombinaties, bepaald volgens NEN 6702. Voor zover NEN 6702 niet voorziet in de kwantificering van de belastingscombinaties, wordt uitgegaan van NEN 6700.” [Bouwbesluit 2003, § 2.1.1; artikel 2.2] en

“Het niet overschrijden van een uiterste grenstoestand als bedoeld in artikel 2.2 wordt bepaald volgens NEN 6760, indien de bouwconstructie is vervaardigd van hout als bedoeld in die norm.” [Bouwbesluit, § 2.1.1; artikel 2.4]

Met betrekking tot de hoofddraagconstructie en de brandveiligheid stelt het Bouwbesluit:

“Een te bouwen bouwwerk heeft een bouwconstructie die zodanig is dat het bouwwerk bij brand gedurende redelijke tijd kan worden verlaten en doorzocht, zonder dat er gevaar voor instorting is.” [Bouwbesluit, § 2.2.1; artikel 2.8]

TOETSING

In bijlage 03 zijn de belastingen volgens de door het Bouwbesluit aangestuurde normen berekend voor de betreffende referentiewoning. Tevens is de uiterste grenstoestand volgens NEN 6760 beschouwd.

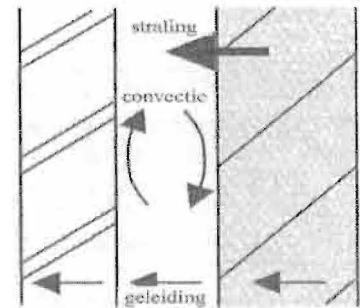
De maximale belasting in de referentiewoning stel ik op 55 kN/m^1 en de maximale toelaatbare belasting is berekend op 119 kN/m^1 . Dit betekent dat de constructie voldoende bestand is tegen de daarop werkende krachten.

Dit betekent dat het wandelement voldoet aan de in paragraaf 2.1.1 gestelde eisen van het Bouwbesluit.

Ten aanzien van de brandveiligheid van het wandelement is verder onderzoek vereist.

3.3. THERMISCH COMFORT (BOUWBESLUIT AFDELING 5.1) - ENERGIEZUINIGHEID

De voorschriften voor energiezuinigheid zijn voornamelijk bedoeld om het gebruik van fossiele brandstof te beperken. Sinds de energiecrisis van 1973 stelt de overheid eisen aan het thermisch isoleren van gebouwen. Dit betekent dat er een grens is gesteld aan warmteverliezen door geleiding, convectie en straling (Figuur 3.3.1). [3]



FIGUUR 3.3.1 GELEIDING, CONVECTIE EN STRALING BRON [3]

RANDVOORWAARDE

Uit het Bouwbesluit 2003 komt voort:

"Een te bouwen bouwwerk is zodanig dat warmteverlies door overdracht of geleiding voldoende is beperkt." [Bouwbesluit 2003, § 5.1; artikel 5.1] en

"Een uitwendige scheidingsconstructie van een verblijfsgebied, een toiletruimte of een badruimte, heeft een volgens NEN 1068 bepaalde warmteweerstand van ten minste $2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$." [Bouwbesluit 2003, § 5.1; artikel 5.2]

Echter om te voldoen aan de totale energieprestatie van een gebouw zal al snel een hogere waarde worden gekozen. Ook voor opdrachtgevers is het vaak belangrijker te voldoen aan de eisen van een behaaglijk binnenklimaat. Hierdoor worden ook vaak de hogere isolatiewaarden uit het Pakket Duurzaam Bouwen gehanteerd [3]. Deze maatregelen luiden als volgt:

Vaste maatregelen: $R_{C, \text{ vloer en gevel}} = 3,0 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

$$R_{C, \text{ dak}} = 3,5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}, U_{\text{glas}} = 1,2 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Variabele maatregelen $R_{C, \text{ vloer, gevel en dak}} \geq 4,0 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

In de huidige woningbouw wordt het niveau van de vaste maatregelen meestal als ondergrens gehanteerd om te voldoen aan de totale energieprestatie. Met het oog op strengere maatregelen met betrekking tot deze energieprestatie, wil ik uitgaan van de variabele maatregel uit het Pakket Duurzaam Bouwen.

TOETSING

Uit bijlage 04 is te concluderen dat het wandelement berekend volgens NEN 1068 zonder toepassing van enige buitenafwerking niet voldoet aan de eisen gesteld door het Pakket Duurzaam Bouwen. De gemiddelde isolatiewaarde komt dan namelijk uit op $3,88 \text{ (m}^2\text{*K)}/\text{W}$.

Bij toepassing van een standaard gemetselde buitenwand van 100 mm dikte voldoet de wand met een gemiddelde isolatiewaarde van $4,03 \text{ (m}^2\text{*K)}/\text{W}$.

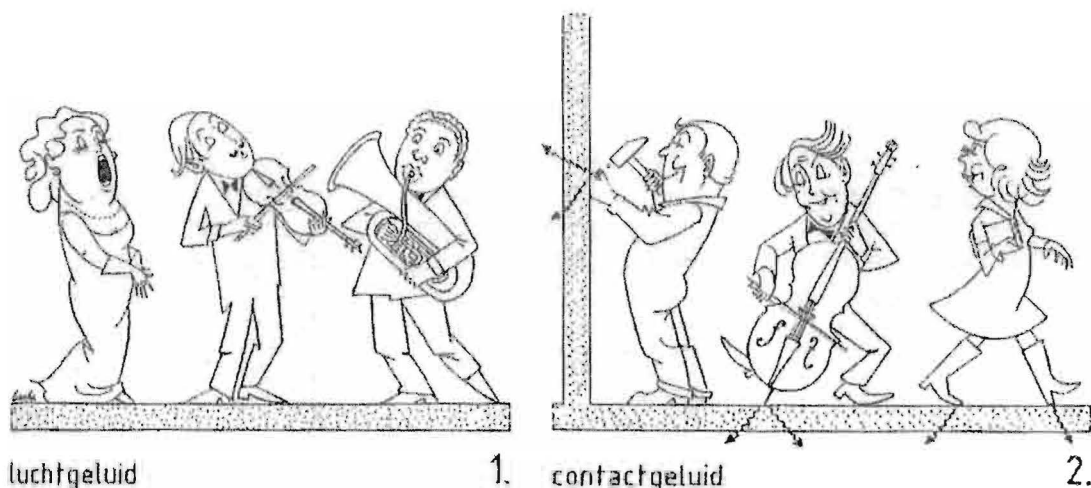
Om onafhankelijk van de buitenafwerking te kunnen voldoen aan de strengste eis uit het Pakket Duurzaam Bouwen, kan er aan beide zijden aan laag van 30 mm minerale wol worden toegepast. Dit brengt de isolatiewaarde dan op een waarde van $4,63 \text{ (m}^2\text{*K)}/\text{W}$.

3.4. GELUID (BOUWBESLUIT AFDELING 3.1 T/M 3.5) – GEZONDHEID

Geluid in een woning kan zich op verschillende manieren voortplanten. Bij de geluidisolatie van een constructie, is het ook belangrijk onderscheid te maken tussen lucht- en contactgeluid.

Bij luchtgeluid wordt de lucht door een geluidbron rechtstreeks in trilling gebracht, bijvoorbeeld door radio of televisie. Door deze trilling in de lucht wordt de constructie in trilling gebracht en deze brengt vervolgens de lucht in de andere ruimte in trilling.

In het geval van contactgeluid brengt de bron de constructie rechtstreeks in trilling, waardoor de lucht in de aangrenzende ruimte in trilling wordt gebracht [4]. In Figuur 3.4.1 is dit onderscheid duidelijk gevisualiseerd.



FIGUUR 3.4.1 LUCHT- EN CONTACTGELUID

BRON: JELLEMA BOUWKUNDE 7A

RANDVOORWAARDE

In de huidige randvoorwaarden, die gesteld zijn door het Bouwbesluit, zijn prestaties gekwantificeerd volgens akoestische aspecten:

- Luchtgeluidoverdracht tussen ruimten ($I_{l,u;k}$);
- Contactgeluidoverdracht tussen ruimten (I_{co});
- Luchtgeluidoverdracht van buiten ($G_{A;k}$);
- Geluid van technische installaties ($L_{I,A;k}$);
- Galm in ruimten.

Voor dit afstudeeronderzoek is de luchtgeluidoverdracht tussen ruimten verder bekeken. De overige termen omvatten meer dan alleen het specifieke wandelement, waardoor ik heb besloten deze buiten beschouwing te laten.

GELUIDISOLATIE TUSSEN RUIMTEN (BOUWBESLUIT AFDELING 3.3 EN 3.5)

Scheiding tussen ruimten in 1 woning

De eis die gesteld is in het Bouwbesluit, luidt:

“Een te bouwen bouwwerk biedt bescherming tegen onderlinge geluidsoverlast tussen niet-gemeenschappelijke verblijfsruimten van dezelfde gebruiksfunctie.” [Bouwbesluit 2003, § 3.3; artikel 3.11]

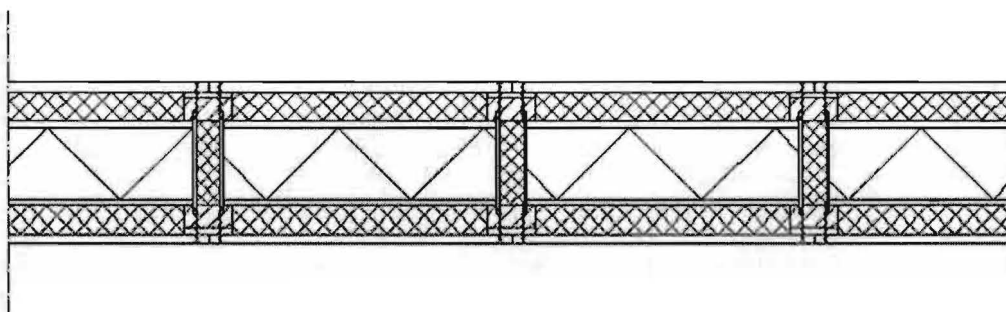
Voor ruimte in een woning geldt:

“De volgens NEN 5077 bepaalde karakteristieke isolatie-index voor luchtgeluid en de isolatie-index voor contactgeluid voor de geluidsoverdracht van een verblijfsruimte naar een andere verblijfsruimte van dezelfde woonfunctie is ten minste - 20 dB. Dit voorschrift geldt niet, indien de verblijfsruimten op dezelfde bouwlaag zijn gelegen en met elkaar in open verbinding staan, of indien de ene ruimte vanuit de andere rechtstreeks bereikbaar is door een deuropening.” [Bouwbesluit 2003, § 3.3; artikel 3.12]

Om het principe van industrieel bouwen voort te kunnen zetten, is bij de keuze van dit type wand ervoor gekozen om het wandelement zijn standaard vorm te gebruiken.

De horizontale doorsnede is te zien in Figuur 3.4.2.

Dit betekent dat het dragend element het zoals beschreven in paragraaf 2.3 aan beide zijden afgewerkt wordt met een laag minerale wol en een gipsvezelplaat.



FIGUUR 3.4.2 HORIZONTALE DOORSNEDE SCHEIDING RUIMTE WONING – RUIMTE WONING

In vergelijking met de traditionele toepassing van een kamerscheidende wand, bijvoorbeeld een metal- stud wand, is het wandelement zeer zwaar. Hierdoor verdient het de aanbeveling om in eventueel verder onderzoek meerdere varianten van de wand uit te werken en een lichtere afwerking, bijvoorbeeld gipskartonplaat, toe te passen.

Scheiding tussen woningen

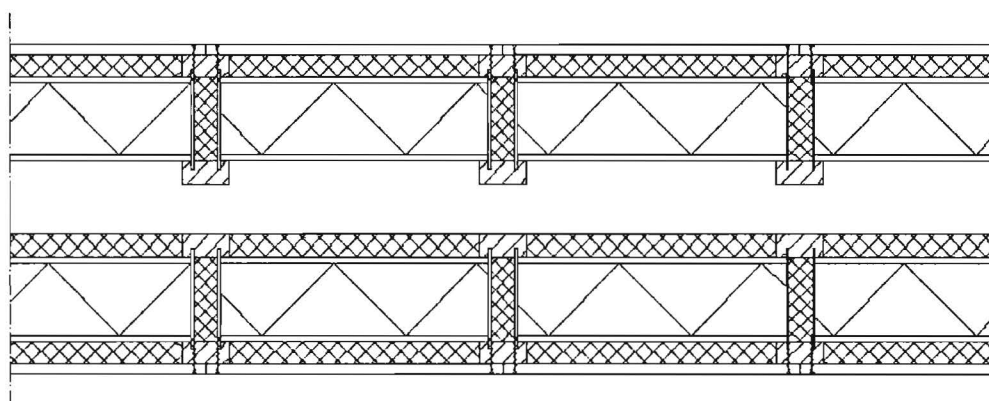
Voor verblijfsgebieden, niet gelegen op hetzelfde perceel geldt:

“Een te bouwen bouwwerk biedt bescherming tegen onderlinge geluidsoverlast tussen gebruiksfuncties.” [Bouwbesluit 2003, § 3.5; artikel 3.17] en

“De volgens NEN 5077 bepaalde karakteristieke isolatie-index voor luchtgeluid voor de geluidsoverdracht van een besloten ruimte naar een verblijfsgebied van een op een ander perceel gelegen, aangrenzende gebruiksfunctie, is niet kleiner dan 0 dB. Dit

voorschrift geldt niet indien de aangrenzende gebruiksfunctie een lichte industriefunctie of een overige gebruiksfunctie is." [Bouwbesluit 2003, § 3.5; artikel 3.18]

In de huidige bouwmethodiek bestaat een woningscheidende wand uit 2 dragende wanden. Om een woningscheidend element te tonen is ditzelfde principe aangehouden. Een woningscheidende wand bestaat dus uit een dubbel wandelement, zie Figuur 3.4.3.



FIGUUR 3.4.3 HORIZONTALE DOORSNEDE SCHEIDING WONING - WONING

TOETSING

De bepalingsmethode voor de isolatie-index voor lucht- en contactgeluid tussen ruimten, is opgenomen in NEN 5077. Deze norm omvat echter alleen een meetmethode.

De praktijkrichtlijn NPR 5070 geeft aanwijzingen voor de uitvoering van aansluitconstructies en details. Met behulp van deze aanwijzingen kan de te verwachten geluidprestatie van het ontwerp bepaald worden.

In hoofdstuk 4 is verslag gedaan van het experimenteel onderzoek van verschillende varianten van het wandelement. In paragraaf 4.7 wordt het wandelement vervolgens getoetst aan de eisen gesteld in het Bouwbesluit.

3.5. VOCHT (BOUWBESLUIT AFDELING 3.6 / 3.7) - GEZONDHEID

Door vochtindringing in een constructie of vochttransport door een constructie, kunnen er in bijvoorbeeld de toegepaste constructie problemen optreden.

De verschillende manieren waarop vochttransport kan optreden, zijn:

- Capillair vochttransport (door capillaire spanning)
- Convectief vochttransport (luchtstroom door constructie)
- Dampdiffusie (door dampdrukverschillen)

Door bijvoorbeeld convectief vochttransport kan er oppervlaktecondensatie optreden op koude vlakken. In een woning kan dit vervelende gevolgen hebben, zoals het

ontstaan van allergenen (ten gevolge van schimmels, huisstofmijt en dergelijke) op plafonds, wanden en vloeren. [1]

Ook kan er inwendige condensatie optreden, wat op den duur degeneratie van de houtconstructie tot gevolg kan hebben.

Hoe het vochttransport door een constructie verloopt, is afhankelijk van een aantal factoren, zoals de eigenschappen van de verschillende materialen in de constructie, de binnen- en buitentemperatuur en de relatieve vochtigheden.

In het Bouwbesluit wordt een onderscheid gemaakt in de wering van vocht van buiten en de wering van vocht van binnen. Omdat het wandelement niet in eerste instantie toegepast zal worden als buitenblad, zal alleen het onderwerp wering van vocht van binnen behandeld worden.

WERING VOCHT VAN BINNEN (BOUWBESLUIT AFDELING 3.7)

RANDVOORWAARDE

Oppervlaktecondensatie (f-factor)

Indien er oppervlaktecondensatie optreedt, is de kans groot dat er schimmelvorming ontstaat. Dit is een goede voedingsbodem voor huisstofmijt en ander ongedierte.

Daarom wordt een eis gesteld dat oppervlaktecondensatie op 'dichte' uitwendige scheidingsconstructies (dus niet de kozijnen) wordt vermeden. Deze luidt:

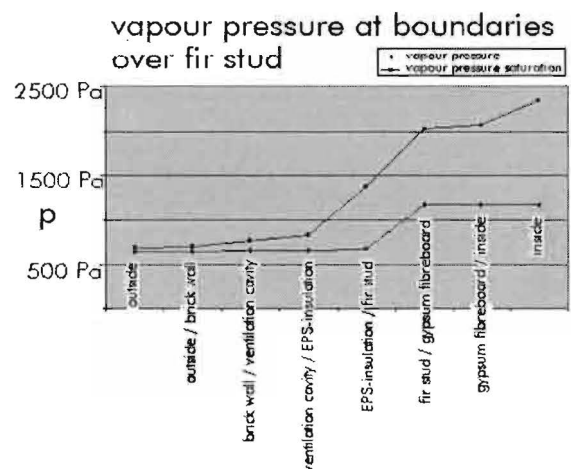
"Een uitwendige scheidingsconstructie heeft aan de zijde die grenst aan een verblijfsgebied, een volgens NEN 2778 bepaalde factor van de temperatuur van de binnenoppervlakte, die niet kleiner is dan 0,65." [Bouwbesluit 2003, § 3.7; artikel 3.27]

TOETSING

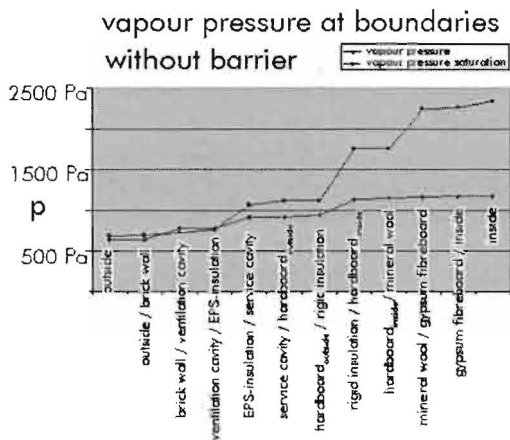
In het onderzoek van Marielle Tan, is de f-factor getoetst aan het Bouwbesluit met behulp van het computerprogramma Kobru 86. Hierbij werd een waarde voor de f-factor gevonden van 0,95, waardoor de getoetste doorsnede, met een houten stijl over de gehele breedte van het element, voldoet aan de eisen gesteld in het Bouwbesluit. [7]

Vochttransport

Marielle Tan deed ook onderzoek naar het vochttransport in het wandelement als binnenspouwblad, waarbij ze ervan uitging dat er geen dampdichte en dampremmende folies werden toegepast. Uit de berekening van het programma Wufi is geconcludeerd dat het houtvochtgehalte een evenwichtssituatie bereikt bij 17 massa%. Omdat dit lager is dan 21%, zal er geen houtrot optreden.



FIGUUR 3.5.1 GLASER DIAGRAM VAN DE DOORSNEDEN T.P.V. DE STIJLEN ZONDER FOLIE



FIGUUR 3.5.2 GLASER DIAGRAM VAN DE DOORSNEDE TUSSEN DE STIJLEN ZONDER FOLIE

Ter plaatse van de doorsnede tussen de stijlen treedt in geen van de toegepaste materialen vochtophoping op.

In Figuur 3.5.1 en Figuur 3.5.2 is in de Glaser diagrammen van de verschillende doorsneden te zien dat er weinig kans is dat er inwendige condensatie in de doorsneden optreedt. [13]

Aangenomen wordt dat bij de huidige doorsnede de kans op inwendige condensatie ook zeer klein is.

3.6. ECONOMISCH

RANDVOORWAARDE

Om tot een goed bouwproduct te komen in de toekomst is het van belang dat het wandelement kan concurreren met huidige bouwmethoden.

TOETSING

Om tot een goed inzicht te komen van de voor en eventuele nadelen van het wandelement, is het van belang om onderscheid te maken tussen de materiaalkosten van het wandelement en de overige kosten.

In Tabel 3.6.1 is een overzicht gegeven van de verschillende materialen en de gemiddelde hoeveelheid in 1 m² wandelement. Hierbij is als uitgangspunt aangenomen dat het wandelement toegepast wordt als dragend binnenspouwblad, waardoor aan een zijde gipsvezelplaat wordt bevestigd en aan beide zijden een laag minerale wol.

TABEL 3.6.1 VOLUME VERSCHILLENDE MATERIALEN IN WANDELEMENT

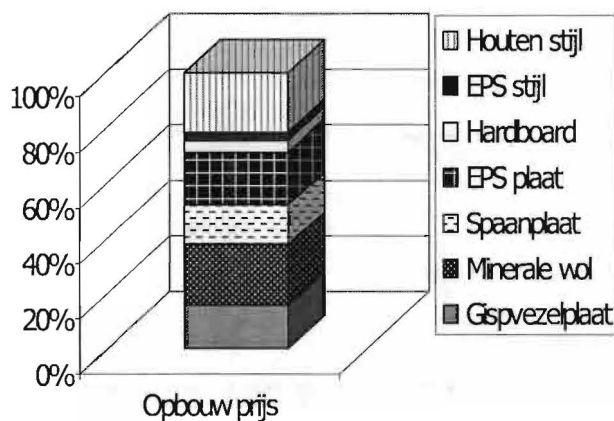
	Massa	Gem. volume in 1 m ² element (10 ⁻³ m ³)	% van totaal volume
Houten stijlen	550 kg/m ³	9,70	5,3
EPS stijl	10 kg/m ³	8,50	4,7
Hardboard	1000 kg/m ³	2,16	1,2
EPS plaat	10 kg/m ³	80,50	44,2
Spaanplaat	450 kg/m ³	14,47	7,9
Minerale wol	35 kg/m ³	54,27	29,8
Gipsvezelplaat enkel	1000 kg/m ³	12,50	6,9
Totaal		182,1	100,0

Vervolgens is in Tabel 3.6.2 een overzicht gegeven van de huidige marktprijzen (met een marge van +/- 10%) en de prijs van de verschillende materialen in het wandelement.

TABEL 3.6.2 PRIJZEN VERSCHILLENDE MATERIALEN IN WANDELEMENT

	Prijs / m ³ (€)	Prijs in 1 m ² element (€)	% van totale prijs
Houten stijlen	625	6,06	21,9
EPS stijl	90	0,77	2,8
Hardboard	555	1,20	4,3
EPS plaat	65	5,23	18,9
Spaanplaat	275	3,98	14,4
Minerale wol	110	5,97	21,5
Gipsvezelplaat enkel	360	4,50	16,2
Totaal		27,71	100,0

Opbouw totale prijs wandelement



FIGUUR 3.6.1 OPBOUW VAN DE PRIJS VAN 1 M² WANDELEMENT

In Figuur 3.6.1 is dit overzicht grafisch weergegeven, waaruit duidelijk wordt, dat de totale kosten van het wandelement voornamelijk bepaald wordt door de prijs van de houten stijl, het EPS en de minerale wol.

Naast de materiaalkosten zal het wandelement vooral in de overige kosten vele voordelen bieden ten opzichte van de overige bouwmethoden. Zo is door de industriële vervaardiging de kwaliteit van het product constanter en kan hier dus bespaard worden op onzekerheid van het product. Tevens kan door deze productiewijze in de toekomst bespaard worden op materiële kosten door de inkoop centraal te regelen en korting af te dwingen door grote afname van producten.

Het wandelement kan vanuit de fabriek meteen op de bouwplaats gesteld worden, waardoor een besparing gehaald kan worden in tijdelijke opslag. Ook vervallen hier de handelingen zoals metselen of lijmen welke bij traditionele methoden gebruikt worden. Hiernaast kan het wandelement goedkoper uitvallen doordat er geen gebruik gemaakt hoeft te worden van grote kranen door het lichtgewicht karakter van de wand. Dit karakter kan er ook voor zorgen dat er een reductie in de fundering kan worden gecalculerd.

Als laatste is de bouwtijd door toepassing van het wandelement korter dan bij traditionele bouwmethoden wat een enorme besparing kan opleveren.

4. GELUIDTECHNISCH ONDERZOEK

In dit hoofdstuk is verslaglegging gedaan van het experimenteel onderzoek naar de geluidtechnische eigenschappen van verschillende varianten in het wandelement. Deze varianten zijn samengesteld naar aanleiding van de simulaties in BASLab en zijn vervolgens getoetst aan de randvoorwaarden, gesteld in hoofdstuk 3.4. Dit betekent voor een woningscheidende wand een eis van een karakteristieke isolatie-index voor luchtgeluid $I_{LW;k} = \text{min. } 0 \text{ dB}$ en voor een kamerscheidende wand $I_{LW;k} = \text{min. } -20 \text{ dB}$.

4.1. DOELSTELLING

De doelstelling van het geluidtechnisch onderzoek luidt: Het onderzoeken in hoeverre het wandelement als kamerscheidende wand en woningscheidende wand voldoet aan de geluidisolerende eisen, gesteld in het Bouwbesluit.

4.2. UITVOERING

Het geluidtechnisch onderdeel van het afstudeeronderzoek is uitgevoerd in het Laboratorium voor Akoestiek aan de Technische Universiteit te Eindhoven. Het proefstuk is vervaardigd in het Pieter van Musschenbroeklaboratorium, eveneens op het terrein van de Technische Universiteit.

4.3. PROEFSTUKKEN

VARIANTEN

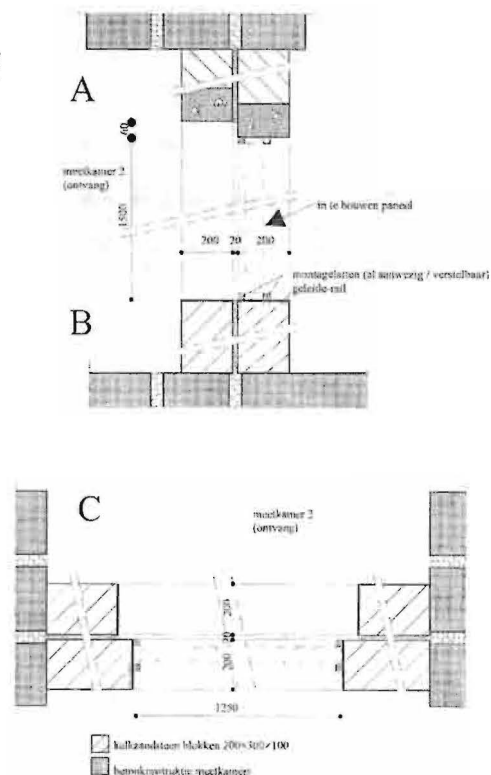
Uit de simulaties met BASLab (bijlage 05) is een aantal conclusies getrokken, waaruit de volgende proefstukken zijn voortgekomen.

Op de eerste plaats is gekozen te werken met een enkel wandelement (Basis); de volgende elementen zijn beproefd:

- Basis
- Basis + MW
- Basis + GVP
- Basis + MW + GVP
- Basis + MW + GVP verend
- Basis + MW + 2GVP
- Basis + 2 (MW+GVP)
- Basis + 2(MW+2GVP)

Ten tweede is een dubbel element in de opening geplaatst (2*Basis), waarmee de volgende elementen zijn beproefd:

- 2*Basis
- 2*(Basis+MW+GVP)



FIGUUR 4.2.1 DOORSNEDE VAN DE MEETOPENING VOOR BEGLAZING

BRON: READER LEVEL ACOUSTICS

Het eerste basisproefstuk heeft een afmeting van 1230 x 1480 mm², zodat deze met een marge in de opening grenzend aan meetkamer 1 past. (zie Figuur 4.2.1)

De opening aan meetkamer 2 heeft een grotere opening waardoor het tweede basiselement een afmeting heeft van 1350 x 1540 mm².

De marges tussen de proefstukken en de vaste opening in de wand tussen de meetkamers, zijn vervolgens opgevuld met minerale wol en afgekit. Tevens is er gebruik gemaakt van hardhouten regels als sluitlat.

MATERIAALEIGENSCHAPPEN

De proefstukken bestaan uit de volgende materialen met de volgende eigenschappen:

TABEL 4.3.1 EIGENSCHAPPEN VERSCHILLENDE MATERIALEN

	Massa	Gem. massa in 1 m ² element (kg/m ²)
Houten stijlen	550 kg/m ³	5,3
EPS stijl	10 kg/m ³	0,09
Hardboard	1000 kg/m ³	2,16
Dakelement (SP-EPS-SP)	13 kg/m ²	11,8
Minerale wol (MW) enkel	35 kg/m ³	0,9
Gipsvezelplaat enkel	1000 kg/m ³	12,5

Dit betekent voor de verschillende varianten de volgende eigenschappen:

TABEL 4.3.2 EIGENSCHAPPEN VERSCHILLENDE VARIANTEN

	Gem. massa/m ²	Totale massa (opening 1 = 1,875m ² ; opening 2 = 2,14m ² ; gem. = 2,00m ²)
Basis	19,4	36,4
Basis + MW	20,3	38,1
Basis + GVP	31,9	59,8
Basis + MW + GVP	32,8	61,5
Basis + MW + 2GVP	45,3	84,9
Basis + 2 (MW+GVP)	46,2	86,6
Basis + 2(MW+2GVP)	71,2	133,5
2*Basis	39,7	79,4
2*(Basis+MW+GVP)	66,5	133,0

VERVAARDIGING

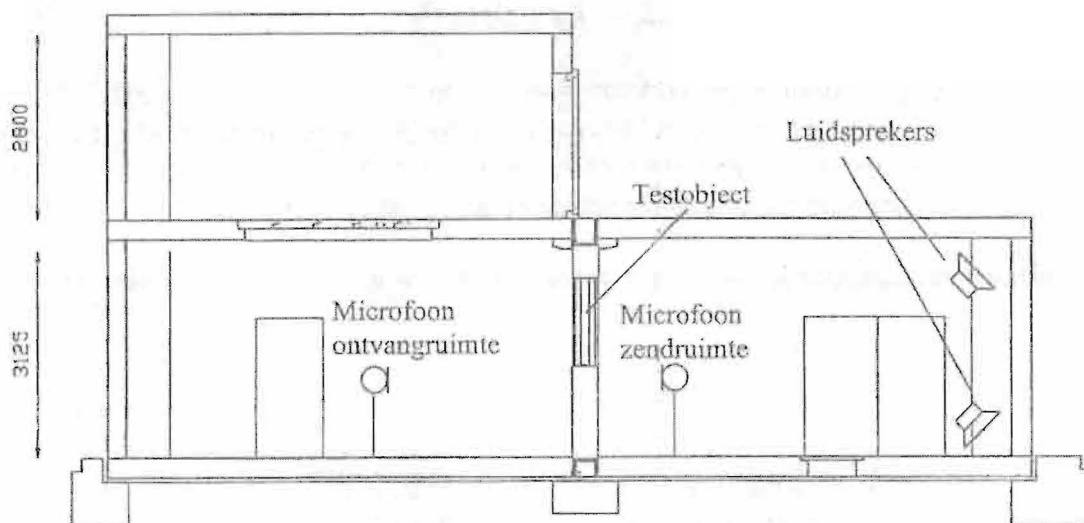
De tweetal proefstukken voor het geluidtechnisch onderzoek zijn vervaardigd vergelijkbaar aan wat in paragraaf 5.2 is uitgelegd. Hierbij zijn de elementen alleen niet gespannen door een metalen frame, maar is nog gewerkt met een aantal lijmklemmen (Figuur 4.3.1).



FIGUUR 4.3.1 SPANNEN D.M.V. LIJMKLEMMEN

4.4. PROEFOPSTELLING

Om in het geluidtechnische onderzoek de luchtgeluidisolatie van het wandelement volgens methoden bepaald in ISO 140-3 te meten, zijn in het laboratorium speciale proefkamers gebruikt. Deze kamers zijn dusdanig gedetailleerd dat er geen flankerende geluidoverdracht mogelijk is (Figuur 4.4.1).



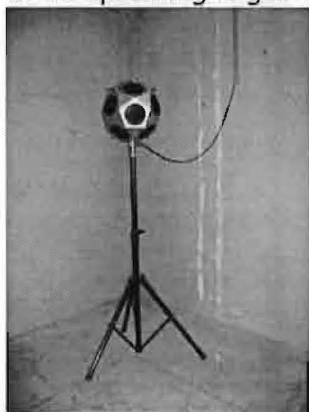
FIGUUR 4.4.1 MEETOPSTELLING TRANSMISSIEKAMER

BRON: READER LEVEL ACOUSTICS

In meetkamer 1, het zendvertrek, wekt een ruisgenerator, versterker en luidsprekercombinatie "rose ruis" op. In beide meetkamers wordt het geluiddrukkniveau gemeten met een microfoon op een roterende arm met twee verschillende luidsprekerposities. De equivalente geluidabsorptie kan hierna berekend worden door het meten van de nagalmtijd volgens de onderbroken-ruis-methode. [13]

MEETAPPARATUUR

In de opstelling is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:



FIGUUR 4.4.3 EEN GELUIDBRON

a. Geluidbron (Figuur 4.4.3)

Door de geluidbron wordt er een diffuus geluidveld opgewekt.

b. Microfoon (Figuur 4.4.2)

Met de roterende arm wordt in 32 seconden een volledige cirkel beschreven zodat het geluiddrukkniveau zowel in plaats als in tijd geïntegreerd wordt.

c. Een registratiesysteem voor het vastleggen van $L_p(t)$



FIGUUR 4.4.2 MICROFOON OP ARM

MEETMETHODE

In het zendvertrek en ontvangvertrek zijn de geluidrukniveaus gemeten en eventueel gecorrigeerd voor de invloed van stoorsignalen volgens NEN 5077.

Vervolgens wordt de geluidisolatie van het wandpaneel bepaald volgens de genormaliseerde methode volgens NEN-EN-ISO 140-3, gebaseerd op geluidrukmetingen in het laboratorium. [8,9]

De luchtgeluidisolatie van een constructie in dB is hierbij:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{S}{A_2} \text{ (dB)}$$

L_1 = het over tijd en ruimte gemiddelde geluidrukniveau in de zendruimte, in dB

L_2 = het over tijd en ruimte gemiddelde geluidrukniveau in de ontvangruimte, in dB

S = de oppervlakte van het bouwelement, in m^2

A_2 = de equivalente geluidabsorptie in de ontvangruimte, in m^2

$$A_2 = 0,16 \frac{V_2}{T_2} \text{ (m}^2\text{)}$$

V_2 = het volume van de ontvangruimte, m^3

T_2 = de nagalmtijd in de ontvangruimte, in s

Hierna worden de tertsbanden omgerekend naar octaafbanden volgens onderstaande formule:

$$R_{\text{oct}} = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{3} \left(10^{\frac{R_{\text{terts};1}}{10}} + 10^{\frac{R_{\text{terts};2}}{10}} + 10^{\frac{R_{\text{terts};3}}{10}} \right) \right) \text{ (dB)}$$

Vervolgens is de luchtgeluidisolatie gewogen aan het referentiespectrum voor burengeluid:

$$R_A = -10 \cdot \log \left(\sum_i 10^{\frac{(R_i - C_i)}{10}} \right) \text{ (dB)}$$

C_i [dB] = de waarde van het A-gewogen karakteristieke spectrum van burengeluid, genormeerd op 0 dB (A), in octaafband i

Ook is de geluidisolatie gewogen volgens NEN-EN 717/1, waarbij de gemeten waarden vergeleken worden met de referentiecurve uit ISO 717/1. De referentiecurve wordt hiervoor in stappen van 1 dB verschoven in de richting van de gemeten waarden, totdat het absolute verschil van de negatieve waarden zo groot mogelijk is, maar niet groter dan 10 dB (voor octaafbanden). Vershoven geluidisolatiewaarde bij 500 Hz levert dan de eengetelsaanduiding R_w op.

Ten slotte zijn de geluidisolatiewaarden vergeleken met de referentiecurve uit de NEN 5077, waaruit vervolgens $I_{l_u;lab}$ en $I_{l_u;lab;k}$ volgens rekenvoorschrift uit NEN 5077 berekend kunnen worden. Hierbij worden de gemiddelde afwijking van de gemeten waarden ten opzichte van de normwaarden bepaald (partiële verschillen). [8]

$I_{l_u;lab}$ is het kleinste getal van de volgende waarden:

- o Het rekenkundig gemiddelde van de vijf partiële verschillen, afgerond op een heel getal
- o De kleinste waarde van de vijf partiële verschillen vermeerderd met 4 dB, afgerond op het dichtstbijzijnde gehele getal

- o Het gemiddelde van de twee kleinste partiële verschillen vermeerderd met 2 dB, afgerond op het dichtstbijzijnde gehele getal. Als het niet afgeronde getal eindigt op een halve eenheid, moet worden afgerond naar het dichtstbijzijnde even getal.

De karakteristieke isolatie-index voor luchtgeluidisolatie ($I_{lu;lab;k}$) wordt vervolgens berekend met de volgende formule:

$$I_{lu;lab;k} = I_{lu;lab} - 10 \cdot \log \left(\frac{55,3 \cdot V}{c \cdot T_0 \cdot S} \right) - 1 \text{ (dB)}$$

Waarin:

V = volume van ontvangstruimte (98 m³)

S = gemeenschappelijk scheidingsoppervlak tussen ruimten (1,875 m²) (minimaal

$$\frac{55,3 \cdot V}{c \cdot T_0 \cdot 2,5} = 13,07)$$

C = geluidsnelheid (331,8 m/s)

T₀ = referentienagalmtijd (0,5 voor woningen) (s)

Om het bovenstaande toe te lichten volgt hieronder een voorbeeld.

In Tabel 4.4.1 zijn de gemeten geluidisolatiewaarden (eventueel gecorrigeerd naar aanleiding van het stoorgeluid) per tertsbands aangegeven.

TABEL 4.4.1 VOORBEELDWAARDEN BEREKENING R_{TERTS} , R_A , R_W EN $I_{LU;LAB}$

Frequentie	$L_{p;zend}$	$L_{p;ontvang}$	T_2	R_{TERTS}	R_{Octaaf}	$C_{i;buren}$	Ref.	Ver	Vershil	NW	PV
Hz	dB	dB	S	dB	dB		ISO717/1	schoven			
50	87,2	54,2	1,3	24,9							
63	87,7	59,6	1,9	21,7	17,4	-26,2					
80	86,2	66,8	2,1	13,5							
100	85,9	62,9	2,7	18,1							
125	90,2	62,6	3,0	23,2	19,2	-16,1	36	10	9,2	34	-14,8
160	96,1	73,6	2,9	17,9							
200	99,2	73,7	3,0	21,0							
250	99,8	74,4	2,8	20,6	21,8	-8,6	45	19	2,8	43	-21,2
315	101,4	71,7	2,8	25,0							
400	101,0	69,9	3,0	26,7							
500	101,9	72,5	3,3	25,4	25,4	-3,2	52	26	-0,6	50	-24,6
630	100,1	71,6	3,4	24,6							
800	98,7	77,1	3,2	17,4							
1000	98,2	72,2	3,2	21,9	20,7	0,0	55	29	-8,3	53	-32,3
1250	94,8	60,7	3,3	30,0							
1600	95,8	59,7	3,1	31,8							
2000	96,1	55,2	3,1	36,5	34,0	1,0	56	30	4,0	54	-20,0
2500	94,5	54,7	2,8	35,1							
3150	91,5	48,8	2,5	37,5							
4000	88,2	44,8	2,2	37,7	38,4	1,1					
5000	84,7	37,5	2,0	40,9							

Vervolgens wordt de luchtgeluidisolatie berekend volgens:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{S}{A_2} \text{ (dB)}$$

Hierbij is S het oppervlak het wandpaneel = 1,875 m²

$$\text{En } A_2 = 0,16 \frac{V_2}{T_2} \text{ (m}^2\text{)}$$

Waarbij V₂ het volume is van het ontvangstvertrek = 98 m³

En T₂ is de nagalmtijd

Bijvoorbeeld:

$$A_{2;63} = 0,16 \frac{V_2}{T_{2;63}} = 0,16 \frac{98}{1,9} = 8,25 \text{ m}^2$$

$$R_{63} = L_{1;63} - L_{2;63} + 10 \cdot \log \frac{S}{A_{2;63}} = 87,7 - 59,6 + 10 \cdot \log \frac{1,875}{8,25} = 21,7 \text{ dB}$$

Vervolgens worden de octaafbanden uitgerekend, voorbeeld"

$$R_{63} = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{3} \left(10^{-\frac{R_{50}}{10}} + 10^{-\frac{R_{63}}{10}} + 10^{-\frac{R_{80}}{10}} \right) \right)$$

$$= -10 \cdot \log \left(\frac{1}{3} \left(10^{-\frac{24,9}{10}} + 10^{-\frac{21,7}{10}} + 10^{-\frac{13,5}{10}} \right) \right) = 17,4 \text{ dB}$$

Vervolgens kan R_A berekend worden:

$$R_A = -10 \cdot \log \left(\sum_i 10^{-\frac{(R_i - C_i)}{10}} \right) = -10 \cdot \log \left(10^{-\frac{(17,4 - 26,2)}{10}} + 10^{-\frac{(19,2 - 16,1)}{10}} + 10^{-\frac{(21,8 - 8,6)}{10}} \right.$$

$$\left. + 10^{-\frac{(25,4 - 3,2)}{10}} + 10^{-\frac{(20,7 - 0)}{10}} + 10^{-\frac{(34,0 - 1,0)}{10}} + 10^{-\frac{(38,4 - 1,1)}{10}} \right) = 11,2 \text{ dB}$$

R_w wordt vervolgens bepaald door de referentiewaarden van ISO 717/1 te verschuiven, zodat het absolute verschil van de negatieve waarden kleiner is dan 10. R_w is dan de waarde bij 500 Hz, in dit geval 26 dB.

Als laatste kan I_{lu;lab} bepaald worden, door de gemeten geluidisolatiewaarden te refereren aan de Normwaarden uit NEN 5077.

I_{lu;lab} is dan de kleinste van de volgende waarden:

- Het gemiddelde van de waarden = -23
- De kleinste waarde + 4 dB = -28
- Het gemiddelde van de twee kleinste + 2 dB = -26

I_{lu;lab} is -28 dB

De karakteristieke isolatie-index voor luchtgeluidisolatie is dan:

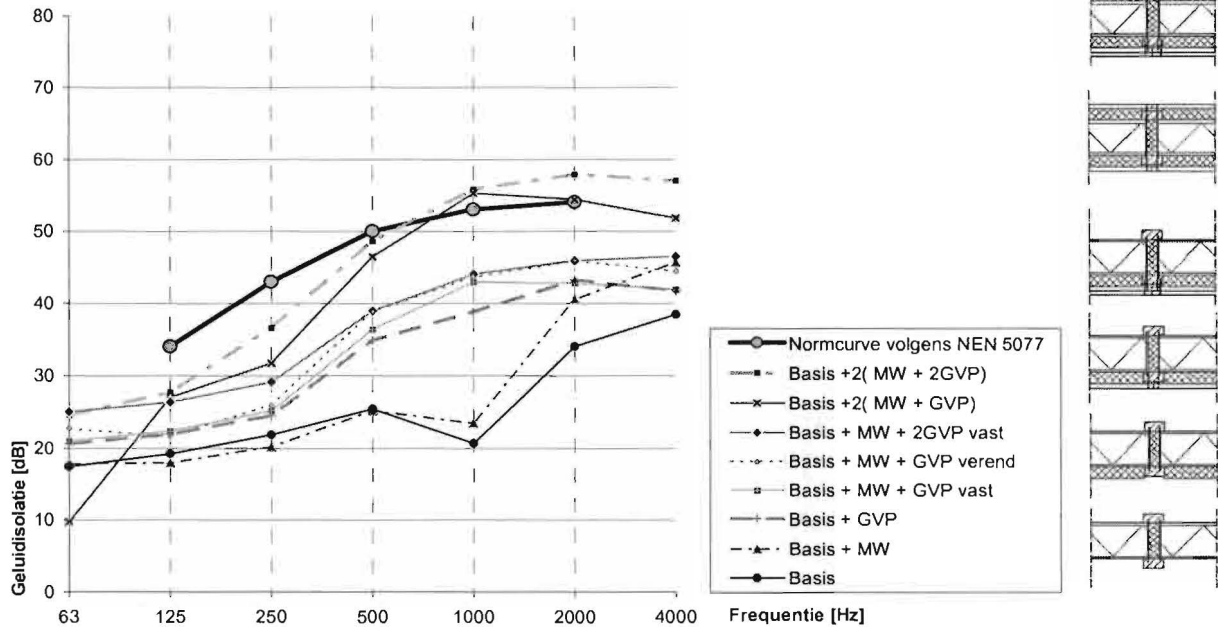
$$I_{lu;lab;k} = I_{lu;lab} - 10 \cdot \log \left(\frac{55,3 \cdot V}{c \cdot T_0 \cdot S} \right) - 1 = -28 - 10 \cdot \log \left(\frac{55,3 \cdot 98}{331,8 \cdot 0,5_0 \cdot 13,07} \right) - 1 = -31 \text{ dB}$$

4.5. WANDELEMENT ENKEL

EVALUATIE

In Figuur 4.5.1 en Tabel 4.5.1 zijn de geluidisolatiewaarden bij verschillende octaafbanden voor de verschillende elementen weergegeven.

Geluidisolatie lichtgewicht dragend Wandpaneel Basis



FIGUUR 4.5.1 GELUIDISOLATIEWAARDEN EN NORMCURVE VOLGESN NEN 5077

TABEL 4.5.1 GECORRIGEERDE GELUIDISOLATIEWAARDEN IN DB

Frequentie	63	125	250	500	1000	2000	4000	R _A	R _W	I _{lu;lab}	I _{lu;lab;k}
NR Curve (NEN 5077)		34	43	50	53	54					
Basis + 2(MW+2GVP)	24,6	27,7	36,6	48,6	55,8	57,9	57,0	40,3	48	-4	-7
Basis + 2(MW+GVP)	9,7	27,1	31,7	46,5	55,3	54,4	51,8	33,7	45	-7	-10
Basis + MW + 2GVP	25,0	26,3	29,1	38,9	44,1	45,9	46,5	34,0	41	-10	-13
Basis + MW + GVP verend	22,7	21,7	26,0	38,8	43,7	45,9	44,5	31,5	39	-13	-16
Basis + MW + GVP vast	21,0	22,4	25,2	36,3	42,9	42,8	41,9	30,5	38	-14	-17
Basis + GVP	20,6	21,9	24,5	34,8	38,8	43,2	41,7	29,6	37	-15	-18
Basis + MW	18,0	18,1	20,4	25,4	23,6	40,7	46,2	21,2	26	-25	-28
Basis	17,4	19,2	21,8	25,4	20,7	34,0	38,4	19,2	26	-28	-31

Uit Figuur 4.5.1 is af te lezen, dat bij toepassing van een basis wandelement, er een dal in de grafiek ontstaat bij 1000 Hz. Door de toevoeging van gipsvezelplaat (massa), wordt dit dal opgeven. Het verend bevestigen van de gipsvezelplaten in plaats van vast, heeft een positief effect op de geluidisolatiewaarde (+ 1 dB).

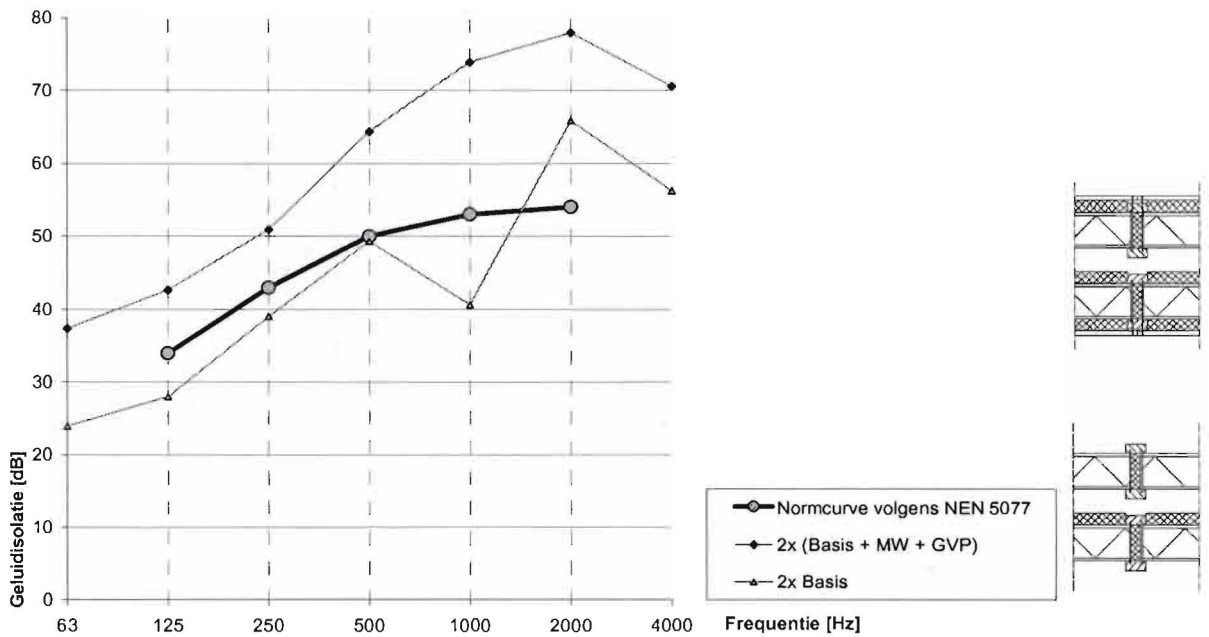
De toevoeging van meer massa zorgt ervoor dat de geluidisolatiewaarde toeneemt. De grafiek blijft hierbij hetzelfde verloop hebben.

4.6. WANDELEMENT DUBBEL

EVALUATIE

In Figuur 4.6.1 en Tabel 4.6.1 zijn de geluidisolatiewaarden bij verschillende octaafbanden voor de verschillende elementen weergegeven.

Geluidisolatie lichtgewicht dragend Wandpaneel 2 * Basis



FIGUUR 4.6.1 GELUIDISOLATIEWAARDEN EN NORMCURVE VOLGENS NEN 5077

TABEL 4.6.1 GECORRIGEERDE GELUIDISOLATIEWAARDEN IN dB

Frequentie	63	125	250	500	1000	2000	4000	R _A	R _w	I _{l,u;lab}	I _{l,u;lab;k}
NR Curve (NEN 5077)		34	43	50	53	54					
2*Basis	24,1	28,1	39,2	49,5	40,8	68,9	63,3	38,2	45	-8	-11
2*(Basis + MW + GVP)	30,8	37,9	46,7	60,1	70,0	73,6	64,5	50,0	58	6	3

Uit Figuur 4.6.1 is af te lezen, dat de geluidisolatiewaarden van alleen de basiselementen een dal vertonen bij 1000 Hz. Bij toepassing van meer massa krijgt de grafiek een mooi vloeiend verloop.

4.7. RESULTATEN

ALGEMEEN

Het geluidtechnisch onderzoek is uitgevoerd om de verschillende wandelementen te toetsen aan de eisen uit het Bouwbesluit. Dit betekent voor een woningscheidende wand een eis van een karakteristieke isolatie-index voor luchtgeluid $I_{lu;k}$ = minimaal 0 dB en voor een kamerscheidende wand $I_{lu;k}$ = minimaal -20 dB.

Bij het samenstellen van de wandelementen is aangenomen dat een enkel basiselement gebruikt zal worden als een kamerscheidende wand en het dubbele wandelement als woningscheidende wand.

OVERZICHT

In onderstaande tabel zijn de waarden van $I_{lu;lab;k}$ gegeven voor de verschillende varianten van het wandelement, met daarbij de bijbehorende minimale eis uit het Bouwbesluit.

TABEL 4.7.1 OVERZICHT VAN DE WAARDEN VAN $I_{LU;LAB;K}$ EN DE BIJBEHORENDE EIS

	$I_{lu;lab}$	$I_{lu;lab;k}$	eis $I_{lu;lab;k}$
Basis + 2(MW+2GVP)	-4	-7	-20
Basis + 2 (MW+GVP)	-7	-10	-20
Basis + MW + 2GVP	-10	-13	-20
Basis + MW + GVP verend	-13	-16	-20
Basis + MW + GVP vast	-14	-17	-20
Basis + GVP	-15	-18	-20
Basis + MW	-25	-28	-20
Basis	-28	-31	-20
2*Basis	-8,0	-11,0	0
2*(Basis + MW + GVP)	6,0	3,0	0

Dit betekent dat het enkele basiselement met toevoeging van een enkele gipsvezelplaat, voldoet als kamerscheidende wand, zoals gesteld in het Bouwbesluit. Het dubbele basiselement voldoet aan de eisen van het Bouwbesluit bij toevoeging van minerale wol en gipsvezelplaat aan beide zijden.

5. CONSTRUCTIEF ONDERZOEK

Omdat er vanuit het oogpunt van bouwfysica een aantal aspecten aan het ontwerp van het experimenteel wandelement is veranderd, acht ik het raadzaam om eerder uitgevoerde experimenten te herhalen. Zo is er besloten om de massa te verhogen door 8 mm dikke spaanplaten toe te passen in plaats van eerder toegepast 3 mm spaanplaten. Ook de hart op hart afstand van de houten stijlen, de dikte van het EPS en de grootte van de houten stijlen zijn gewijzigd.

In dit hoofdstuk zal allereerst de doelstelling van het constructief onderzoek aangehaald worden. Vervolgens wordt het een en ander uitgelegd over de proefstukken en de proefopstelling en meetmethode. Hierna zullen de wandelementen in volgorde behandeld worden.

5.1. DOELSTELLING

De doelstelling van dit constructief onderzoek luidt: Met minimale houtafmetingen en met een maximale samenwerking tussen de verschillende constructieve onderdelen van het wandelement, een hoge sterkte van het wandelement bereiken en het bezwijkgedrag van de wand constateren.

Om aan deze doelstelling te kunnen voldoen, worden tijdens de proeven de volgende variabelen gemeten:

- de belasting in elke afzonderlijke stijl, waarmee uiteindelijk de totale belasting die op de wand wordt aangebracht, kan worden berekend;
- de horizontale verplaatsing in het midden van het wandelement en in het midden van elke stijl;
- de verkorting van de wand aan beide zijden.

5.2. PROEFSTUKKEN

Voor het constructief onderzoek als onderdeel van het gehele afstudeerproject is er voor gekozen om een viertal proefstukken te beproeven.

De hoogte van de proefstukken is gebaseerd op de gangbare maximale verdiepingshoogte in de woningbouw, namelijk 2,8 meter. De breedte van de proefstukken is 2,2 meter en is ontstaan uit de toepassing van vijf stijlen in combinatie met zes hele elementen ertussen.

MATERIAALEIGENSCHAPPEN

Voor de stijlen van de proefstukken is gebruik gemaakt van constructiehout van sterkteklasse C24 met een afmeting van 30x60x2800 mm³. Hier zijn in de fabriek al 2 sleuven in gefreesd van 3 mm breed.

De dakplaten bestaan uit 2 x 8 mm spaanplaat en 89mm EPS.

Omdat uit voorgaand onderzoek is gebleken dat de elasticiteitsmodulus, bepaald door middel van experimenteel onderzoek, zo sterk uiteenloopt, is besloten de gemiddelde elasticiteitsmodulus naar sterkteklasse toe te passen.

AFMETINGEN

De werkelijke afmetingen van alle onderdelen van de proefstukken zijn gemeten en geregistreerd in Tabel 5.2.1.

De gemiddelde breedte van alle houten stijlen is 59.0 mm en de gemiddelde breedte is 29.9 mm. De gemiddelde breedte van alle wandpanelen is 2176,5 mm. Tevens is in Tabel 5.2.1 een overzicht gegeven van de gemiddelde afmetingen.

TABEL 5.2.1 GEMIDDELDE AFMETINGEN VAN DE ONDERDELEN VAN DE PROEFSTUKKEN

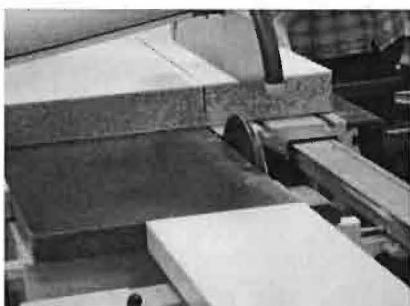
Afmetingen gemiddeld	Breedte Stijl (mm)	Hoogte Stijl (mm)	Breedte Totaal (mm)
TOTAAL	59.0	29.9	2176.5
Wandelement 1	59.1	29.9	2175.5
Wandelement 2	59.0	30.0	2177.5
Wandelement 3	59.0	30.0	2180.3
Wandelement 4	59.1	30.0	2173.1

VERVAARDIGING VAN DE PROEFSTUKKEN

Alle wandpanelen zijn vervaardigd in het Pieter van Musschenbroek laboratorium aan de TU te Eindhoven. Allereerst zijn hiervoor standaard dakplaten met een breedte van 1020 mm in drie gedeelten gezaagd zodat er breedten ontstonden van gemiddeld 335 mm. (Figuur 5.2.1)

Vervolgens zijn in het proces van vervaardigen allereerste de I-vormige stijlen voor de helft in elkaar gelijmd. Hierbij is er een hoeveelheid PU Tix lijm van Bison in de sleuven gespoten (Figuur 5.2.4), waarna de hardboard platen in de sleuven getikt zijn (Figuur 5.2.5).

Deze stijlen zijn in een metalen frame gelegd, waar de contactvlakken van de stijlen en



FIGUUR 5.2.1 ZAGEN VAN DE DAKPLATEN



FIGUUR 5.2.4 LIJMEN GLEUVEN



FIGUUR 5.2.5 INTIKKEN HARDBOARD

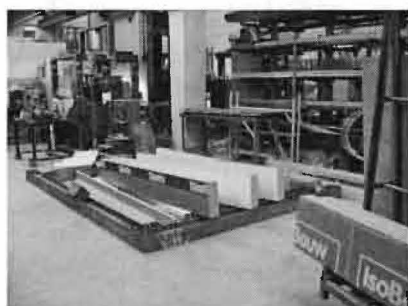
de dakelementen eveneens met PU Tix lijm zijn ingesmeerd. (Figuur 5.2.4) Vervolgens zijn de dakelementen tussen de stijlen geplaatst. (Figuur 5.2.2)

Hierna is de bovenste helft van de stijl ingelijmd net als de contactvlakken met de dakelementen en vervolgens op de hardboard stroken getimmerd.

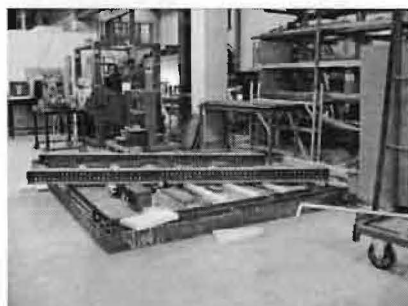
Als laatste is het metalen frame

aangespannen, zodat de elementen goed ingeklemd zijn en zijn de stijlen verzwaaard tegen opbuigen. (Figuur 5.2.3)

In Figuur 5.2.6 is de totale wand uit het frame te zien.



FIGUUR 5.2.2 ALLES IN HET FRAME



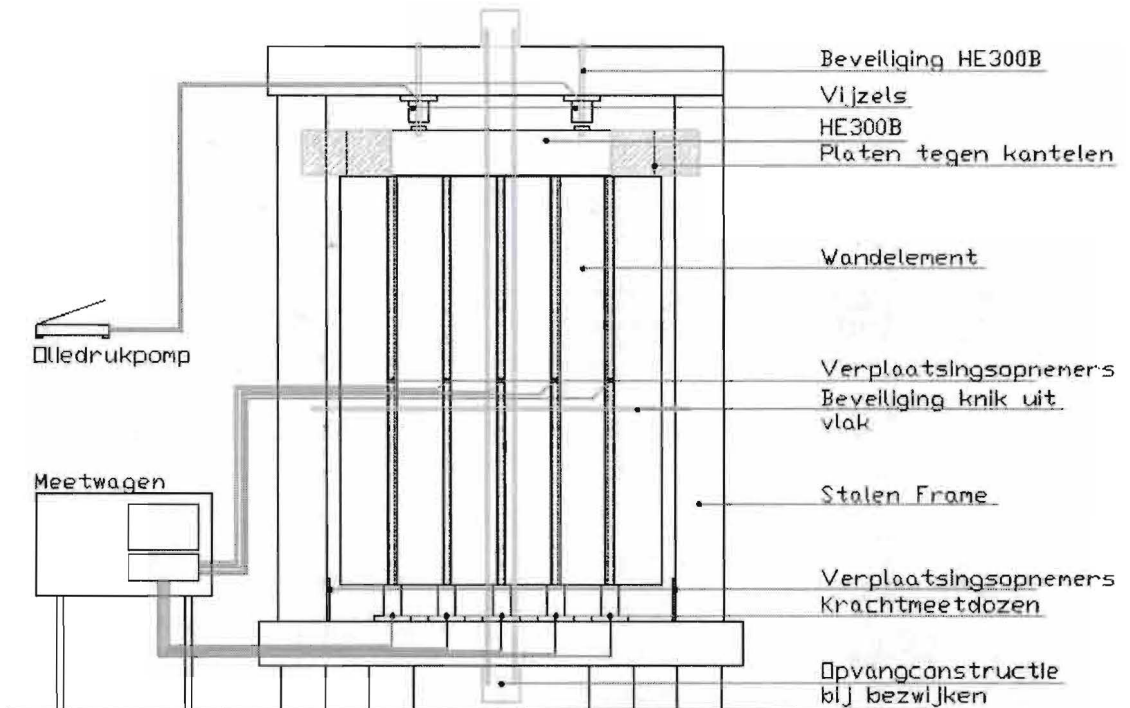
FIGUUR 5.2.3 VERZWAREN VAN DE WAND



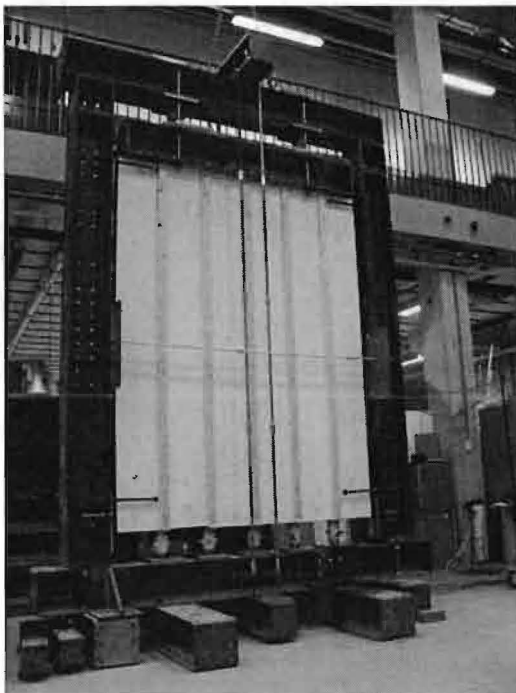
FIGUUR 5.2.6 DE WAND IS KLAAR

5.3. PROEFOPSTELLING

Naar aanleiding van de doelstelling van de experimenten, is de proefopstelling gebouwd. In Figuur 5.3.1 is hiervan een geschematiseerde tekening weergegeven. Het wandelement is geplaatst op een vijftal krachtmeetdozen, welke bevestigd zijn aan een stalen balk. Rondom het wandelement is een stalen frame geplaatst waarop vervolgens een stalen balk is geplaatst met hieraan de vijzels.



FIGUUR 5.3.1 DE PROEFOPSTELLING MET EEN TOTALE HOOGTE VAN 4,5 METER



FIGUUR 5.3.2 DE PROEFOPSTELLING

De vijzels brengen de kracht via een stijve stalen HE300B balk ($1,2 \text{ kN/m}^1$) gelijkmatig over op het wandelement. Deze HE300B balk is met behulp van draadstangen bevestigd aan het totale frame, zodat bij bezwijken van het wandelement het afglijden van de balk voorkomen kan worden. Aan beide zijden van de balk zijn platen aangebracht ter voorkoming van het kantelen van de balk. Ter beveiliging is er in het midden van het wandelement tevens een draadstand aan de voor en achterzijde aangebracht ter voorkoming van totaal uitknikken van de wand.

En om de vrijkomende krachten bij bezwijken van het wandelement op te vangen is er in het midden van het frame een hulpconstructie aangebracht, die de kracht kan afdragen. (Figuur 5.3.2)

MEETAPPARATUUR

In de opstelling is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:



FIGUUR 5.3.3 OLIEDRUKPOMP

a. Oliedrukpomp (Figuur 5.3.3)

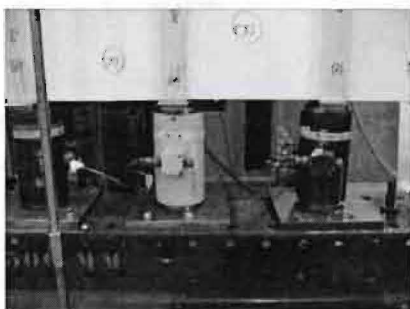
De oliedrukpomp kan met de hand bediend worden en regelt de oliedruk in beide vijzels. Deze vijzels zijn parallel gekoppeld, zodat de kracht in beide vijzels gelijk is.



FIGUUR 5.3.4 VIJZELS

b. Vijzels (Figuur 5.3.4)

Om de belasting aan te brengen op het wandelement, zijn er twee vijzels in de opstelling aangebracht. Beide vijzels hebben een bereik van 500 kN.



FIGUUR 5.3.5 KRACHTMEETDOZEN

c. Krachtmeetdozen (Figuur 5.3.5)

Om de verdeling van de totale kracht over de vijf verschillende stijlen te meten, zijn er onder het wandelement een vijftal krachtmeetdozen gepositioneerd.

Bij de eerste proef (paneel 3) zijn hiervoor krachtmeetdozen toegepast van 150 kN, bij de overige proeven zijn onder stijl 3 en 5 krachtmeetdozen geplaatst van ieder 600 kN en onder de overige stijlen krachtmeetdozen van 350 kN.

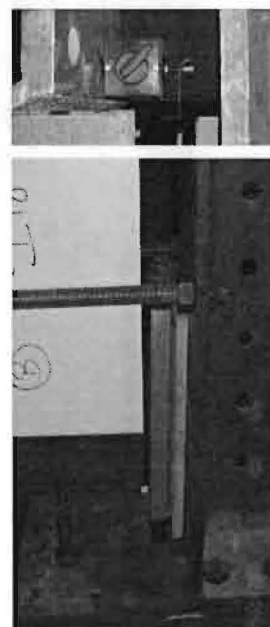


FIGUUR 5.3.7 HORIZONTALE
VERPLAATSINGSMETERS

d. Horizontale verplaatsingsmeters (Figuur 5.3.7)

In het midden van het element (op een hoogte van 1400 mm) zijn een vijftal horizontale verplaatsingsmeters (potentiaal meters) aan de achterzijde en in het midden van elke stijl toegepast om de horizontale uitbuiging van de betreffende stijl te registreren. Deze verplaatsingsmeters hebben elk een bereik van 250 mm.

Verplaatsingsmeters
Aan beide zijkanten van het wandelement zijn in de proefopstelling twee verticale verplaatsingsmeters aan het frame bevestigd om de horizontale zakking van de stalen verdeelbalk te meten. Elke verticale verplaatsingsmeter heeft een bereik van 250 mm.



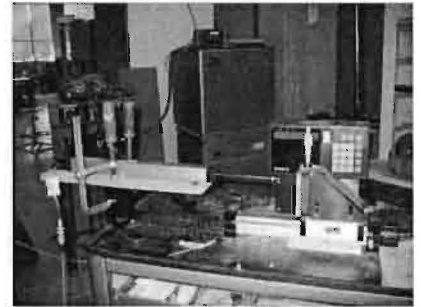
FIGUUR 5.3.6 VERTICALE
VERPLAATSINGSONEMER



FIGUUR 5.3.8 IJKEN KRACHTMEETDOOS

Voorafgaand aan de proevenserie zijn de krachtmeetdozen en de verplaatsingsmeters geijkt. De krachtmeetdozen worden hiervoor in een druckbank gezet (Figuur 5.3.8), waardoor de programmatuur kan uitlezen wat het specifieke verband is tussen het aantal kilonewton en Volt voor de betreffende krachtmeetdoos.

Bij het kalibreren van de verplaatsingsmeters leest het programma het verband uit tussen het aantal millimeter en aantal Volt (Figuur 5.3.9).



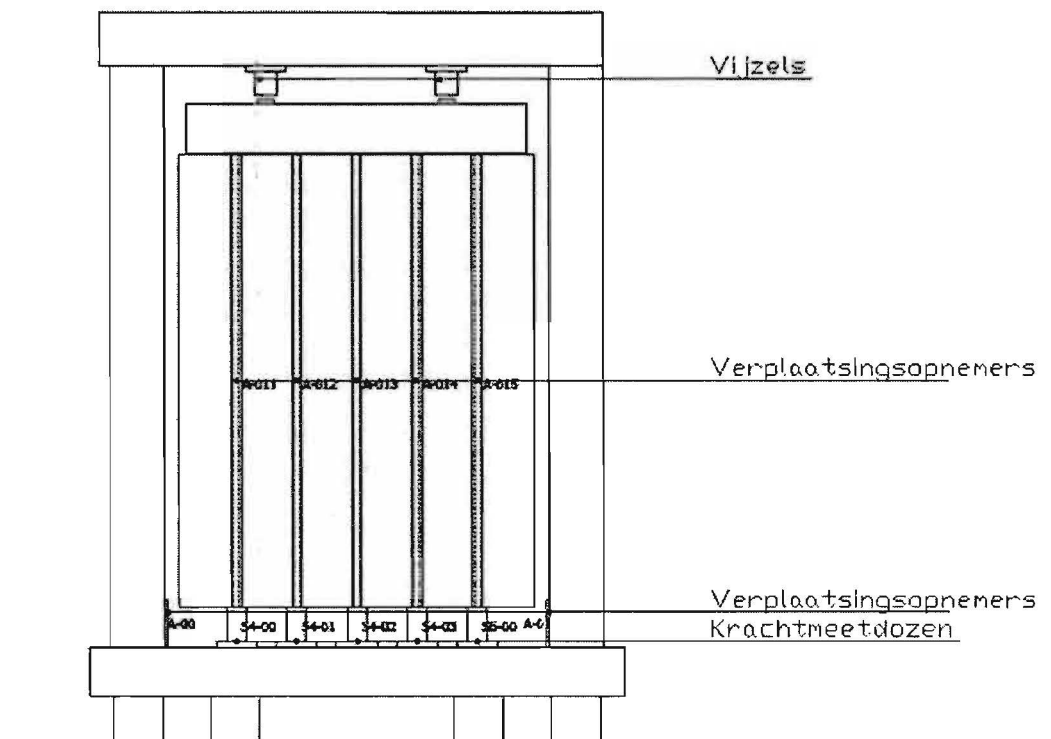
FIGUUR 5.3.9 KALIBRATIE OPNEMER

Dit verband, die voor elke krachtmeetdoos of verplaatsingsmeter uniek is, slaat de computer op in een kalibratiefactor. Deze factor kan hierdoor meteen verrekend worden.

MEETPUNTEN

Alle meetpunten blijven gelijk tijdens de proeven en zijn aangegeven in Figuur 5.3.10. Meetpunten A-00 en A-01 registreren de verticale verplaatsing van de HE300B balk, die als verdeling van de totale kracht dient. Hierbij is de verplaatsing naar beneden negatief.

De verplaatsingsopnemers A-11 t/m A-15 meten de horizontale uitbuiging van elke stijl in het midden van het wandelement aan de achterzijde van het wandpaneel. In het verdere verslag zullen deze verplaatsingsopnemers aangeduid worden met de namen δ stijl 1 t/m 5. Ten slotte geven de krachtmeetdozen S4-00, S4-01, S4-02, S4-03 en S5-00 de kracht ter plaatse van de betreffende stijl weer (altijd positief). Deze krachtmeetdozen zullen in het vervolg genoemd worden Kracht stijl 1 t/m 5.

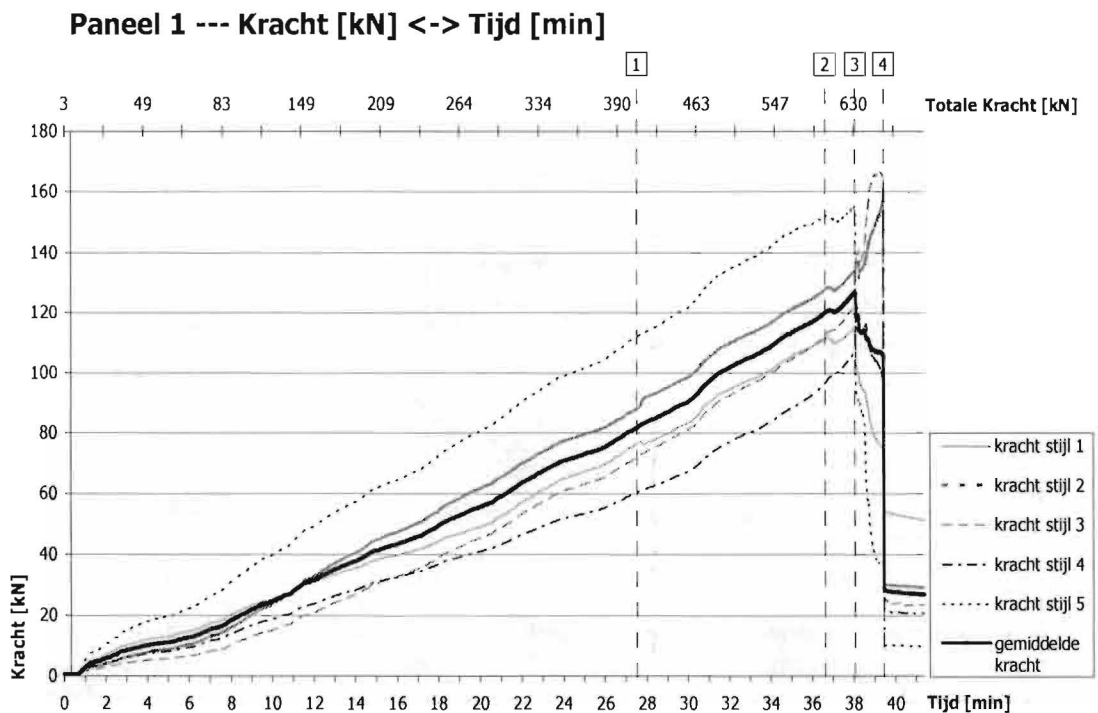


FIGUUR 5.3.10 MEETPUNTEN IN DE PROEFOPSTELLING

5.4. WANDPANEEL 1

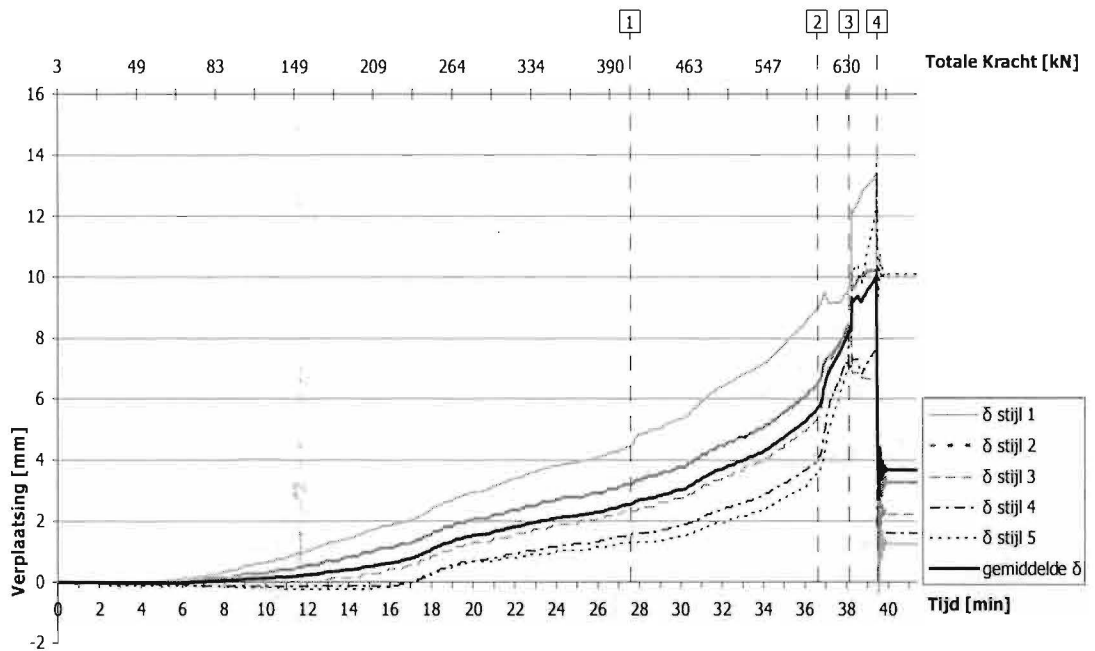
EVALUATIE

Uit Figuur 5.4.1 is af te lezen dat de totale kracht niet gelijkmatig over de verschillende stijlen verdeeld is. Bij een kracht van 412 kN treedt er in stijl 1 een klein plaatselijk bezwijken op, waardoor een rimpeling in de grafiek te zien is (punt 1). Maar de kracht wordt meteen herverdeeld naar de naastliggende stijl, nummer 2. Vervolgens is ditzelfde waar te nemen in stijlen 1, 2 en 5, bij een totale kracht van 600 kN (punt 2). Ook hier nemen de stijlen 3 en 4 de kracht over. Bij punt 3 wordt de totale maximale belasting gehaald van 634 kN, waarna stijl 1 en 5 geheel bezwijken. In de overige stijlen loopt de belasting dan snel op, maar niet lang daarna bezwijken ook de overige stijlen bij een totale kracht van 520 kN (punt 4).



FIGUUR 5.4.1 KRACHTSVERDELING OVER DE STIJLEN (WANDPANEEL 1)

Paneel 1 --- Verplaatsing Horizontaal [mm] <-> Tijd [min]



FIGUUR 5.4.2 HORIZONTALE VERPLAATSING VAN DE STIJLEN (WANDPANEEL 1)

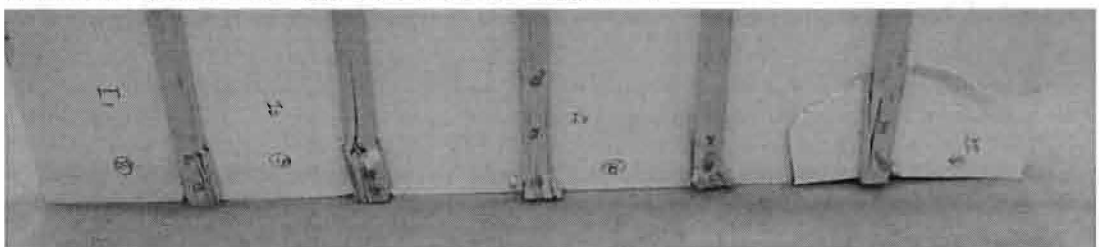
De manier van bezwijken van het wandelement wijst erop dat via de spaanplaten de krachten herverdeeld kunnen worden. Tevens is geen knikbezwijkpatroon geconstateerd, wat ook uit Figuur 5.4.2 is af te lezen (zie ook Figuur 5.4.3 en Figuur 5.4.4)

De totale bezwijkbelasting van het wandelement is 634 kN, de maximale horizontale uitbuiging is 13,5 mm en de maximale verkorting van het wandelement is 7,3 mm links en 7,0 mm rechts.

In stijl 3 trad de hoogste belasting op, namelijk 167 kN en in stijl 1 is de laagste belasting geconstateerd namelijk 115 kN. De gemiddelde maximale belasting van de 5 stijlen is 145 kN met een standaardafwijking van 13,9%.



FIGUUR 5.4.3 DE ONDERZIJDE VAN DE ACHTERZIJDE VAN WANDPANEEL 1



FIGUUR 5.4.4 DE ONDERZIJDE VAN DE VOORZIJDE VAN WANDPANEEL 1

5.5. PANEEL 2

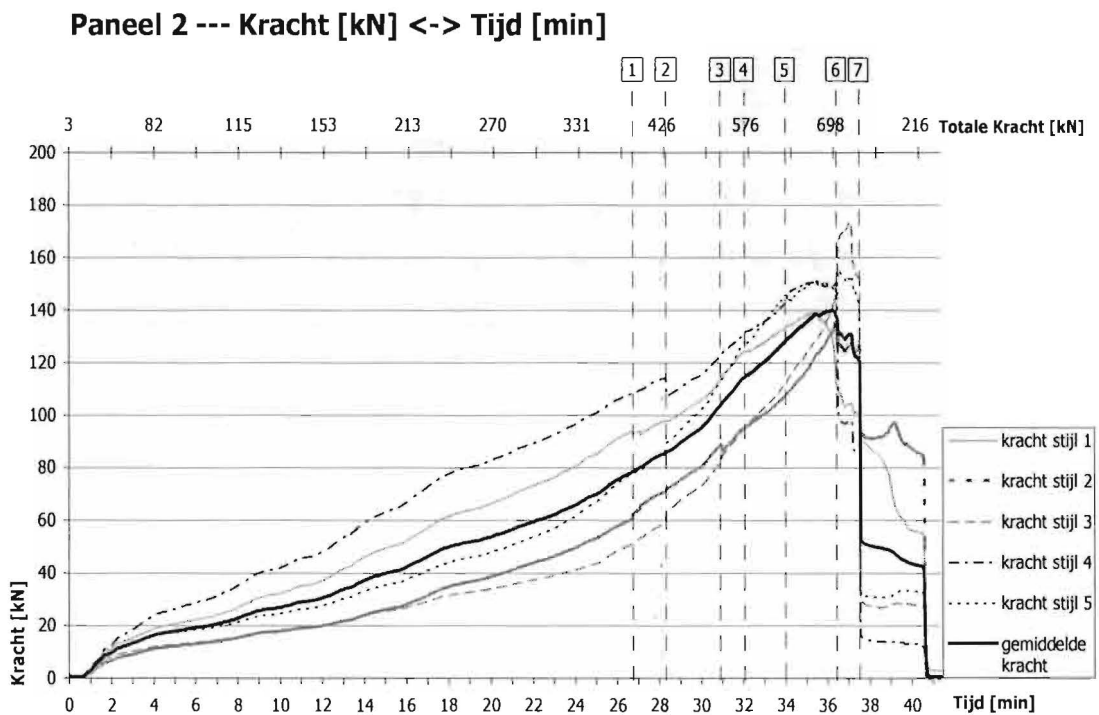
EVALUATIE

In Figuur 5.5.3 is de krachtsverdeling over de verschillende stijlen grafisch uiteen gezet. Hieruit valt af te lezen, dat na ongeveer 27 minuten, in punt 1 een kleine rimpeling in de grafiek van stijl 1 te constateren is, bij een totale kracht van 397 kN. Stijl nummer 2 neemt het meteen van stijl 1 over.

Bij een kracht van 429 kN treedt er een grote terugval in belasting in stijl 4 op (punt 2), welke herverdeeld wordt naar de stijlen 3 en 5. Vervolgens treedt ditzelfde op in stijl 2 in punt 3, bij een totale kracht van 525 kN. In dit geval neemt stijl 3 de kracht over.

In punt 4 bij een kracht van 575 kN valt een kleine verandering in stijl 1 af te lezen en een extra belasting in stijl 4 en 5. Hierna valt bij een totale kracht van 644 kN de belasting in stijl 5 terug, terwijl de kracht in stijl 4 toeneemt. Als laatste bezwijken bij punt 6 de stijlen 1 en 4 bij de maximale belasting van 700 kN en in punt 7 bezwijken de overige stijlen.

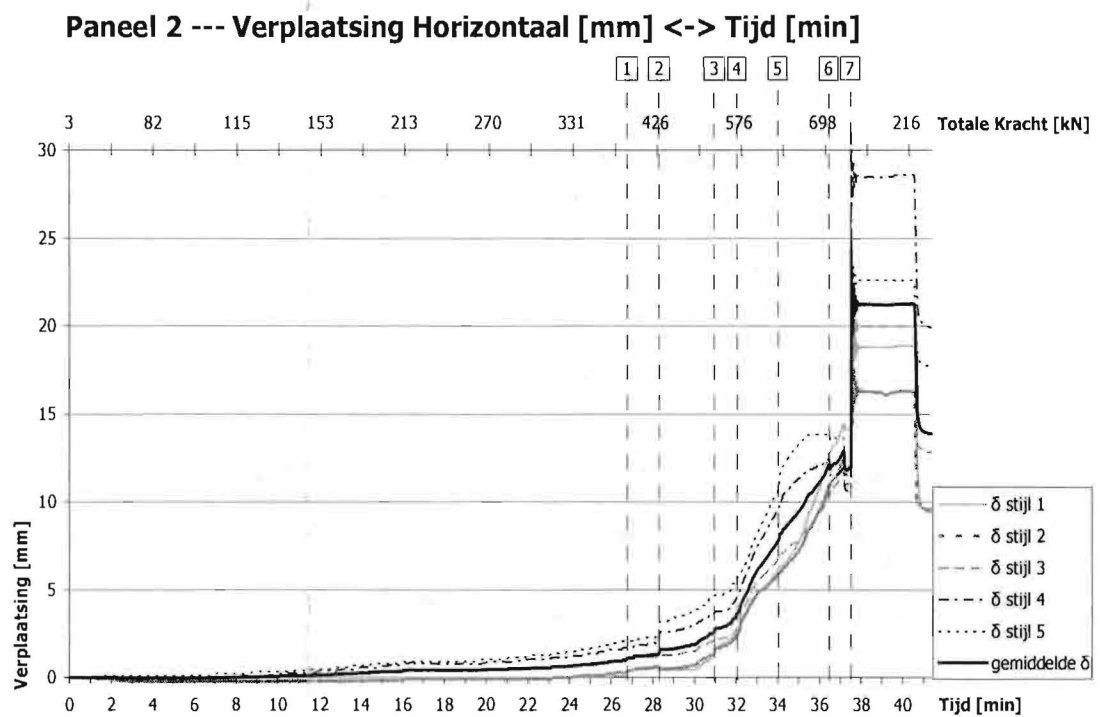
Bij punt 4 is duidelijk te zien dat de horizontale uitbuiging meer gaat toenemen. Vanaf dit punt gaat ook de verkorting van het element toenemen en zich tevens ongelijk verdelen. Hierbij is duidelijk te zien dat aan de rechterzijde van het wandelement de stijlen later bezwijken. Ook hier was geen bezwijken door knik geconstateerd (zie ook Figuur 5.5.3 en Figuur 5.5.4).



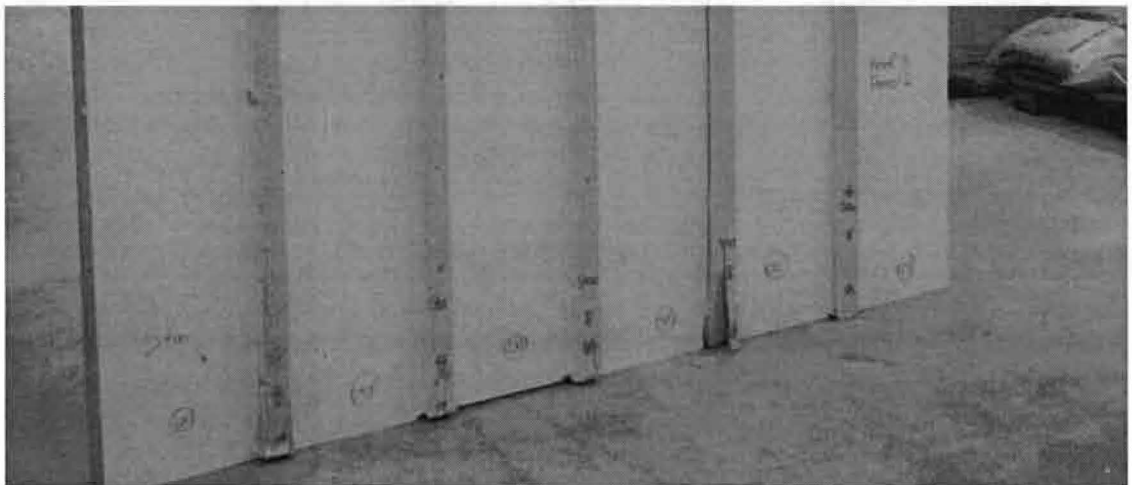
FIGUUR 5.5.1 KRACHTSVERDELING OVER DE STIJLEN (WANDPANEEL 2)

De totale bezwijkbelasting van het wandelement is 700 kN, de maximale horizontale uitbuiging is 13,8 mm en de maximale verkorting van het wandelement is 17,3 mm links en 13,5 mm rechts.

In stijl 3 trad de hoogste belasting op, namelijk 173 kN en in stijl 2 is de laagste belasting geconstateerd namelijk 136 kN. De gemiddelde maximale belasting van de 5 stijlen is 151 kN met een standaardafwijking van 8,8%.



FIGUUR 5.5.2 HORIZONTALE VERPLAATSING VAN DE STIJLEN (WANDPANEEL 2)



FIGUUR 5.5.3 VOORZIJDJE EN ONDERZIJDJE VAN WANDPANEEL 2 NA BEZWIJKEN



FIGUUR 5.5.4 ACHTERZIJDJE EN ONDERZIJDJE VAN WANDPANEEL 2 NA BEZWIJKEN

5.6. PANEEL 3

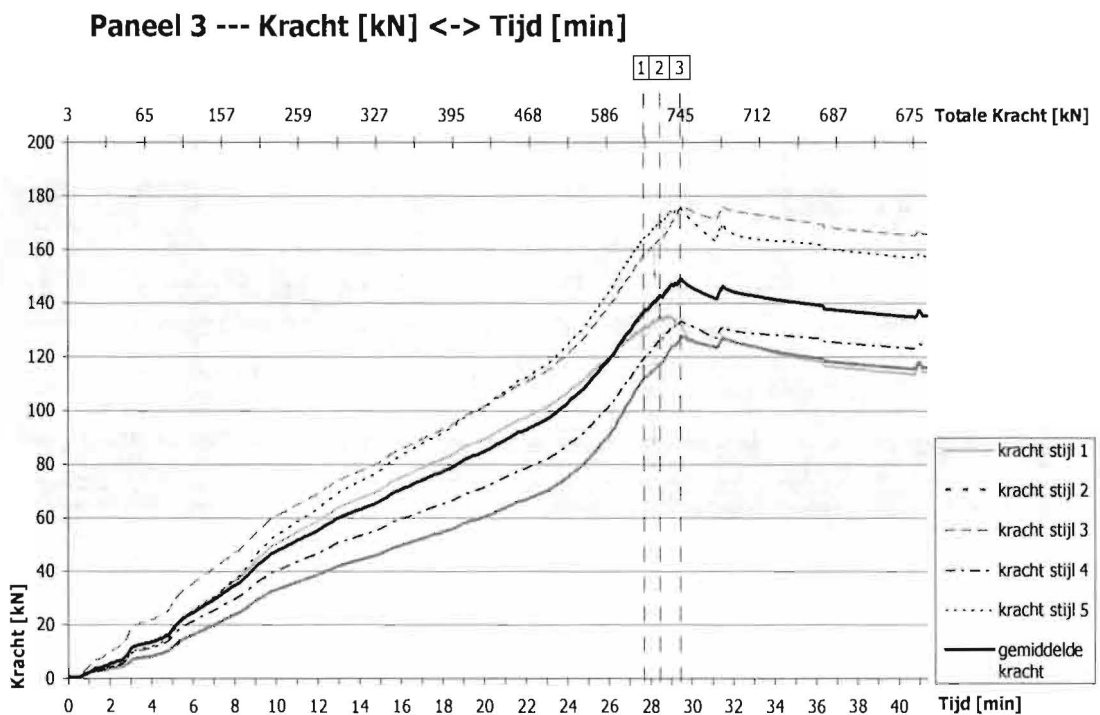
Paneel nummer 3 was de eerste in de rij van de vier proeven die zijn uitgevoerd. Helaas was hier de te verwachten maximale belasting niet hoger dan 150 kN per stijl aangenomen. Hierdoor waren de toegepaste krachtmeetdozen niet toereikend en is de proef bij een totale belasting van 745 kN moeten stoppen.

EVALUATIE

Omdat de proef is gestopt voordat het wandelement duidelijk kon bezwijken is er in de grafiek (zie Figuur 5.6.1) maar een aantal punten van belang aan te wijzen. Zo is een kleine afname in de belasting in stijl 5 af te lezen in punt 1 bij ongeveer 680 kN. Deze belasting wordt vervolgens overgenomen door stijl 2.

In punt 2 neemt de belasting in alle stijlen een klein beetje af en bij punt 3, bij de maximale belasting van 745 kN, is een klein beetje bezwijken te constateren in stijl 1 en 5.

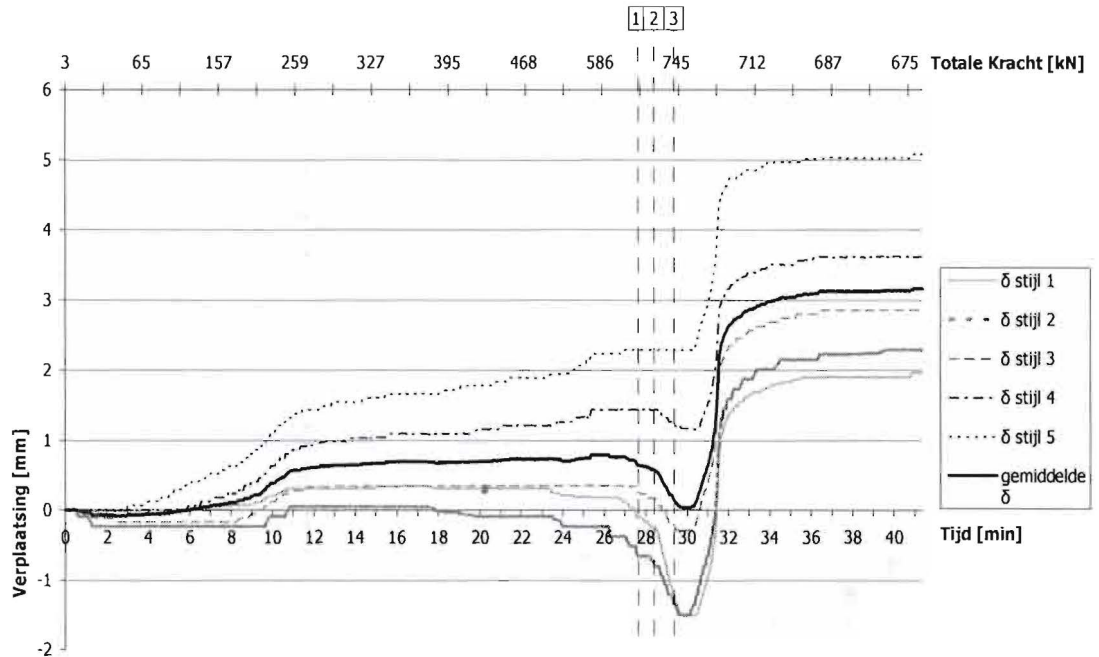
Uit Figuur 5.6.2 is af te lezen dat de horizontale uitbuigingen zeer klein zijn gebleven tijdens de proef.



FIGUUR 5.6.1 KRACHTSVERDELING OVER DE STIJLEN (WANDPANEEL 3)

De totale bezwijkbelasting van het wandelement is 745 kN, de maximale horizontale uitbuiging is 5 mm en de maximale verkorting van het wandelement is 14,5 mm links en 12,8 mm rechts.

Paneel 3 --- Verplaatsing Horizontaal [mm] <-> Tijd [min]



FIGUUR 5.6.2 HORIZONTALE VERPLAATSING VAN DE STIJLEN (WANDPANEEL 3)



FIGUUR 5.6.3 BOVENZIJDDE STIJL 4

In stijl 4 trad de hoogste belasting op, namelijk 176 kN en in stijl 3 is de laagste belasting geconstateerd namelijk 127 kN. De gemiddelde maximale belasting van de 5 stijlen is 150 kN met een standaardafwijking van 14,5%.

Uit Figuur 5.6.3 en Figuur 5.6.4 is te concluderen dat stijl 1 en 4 wel een vorm van bezwijken vertoonden.



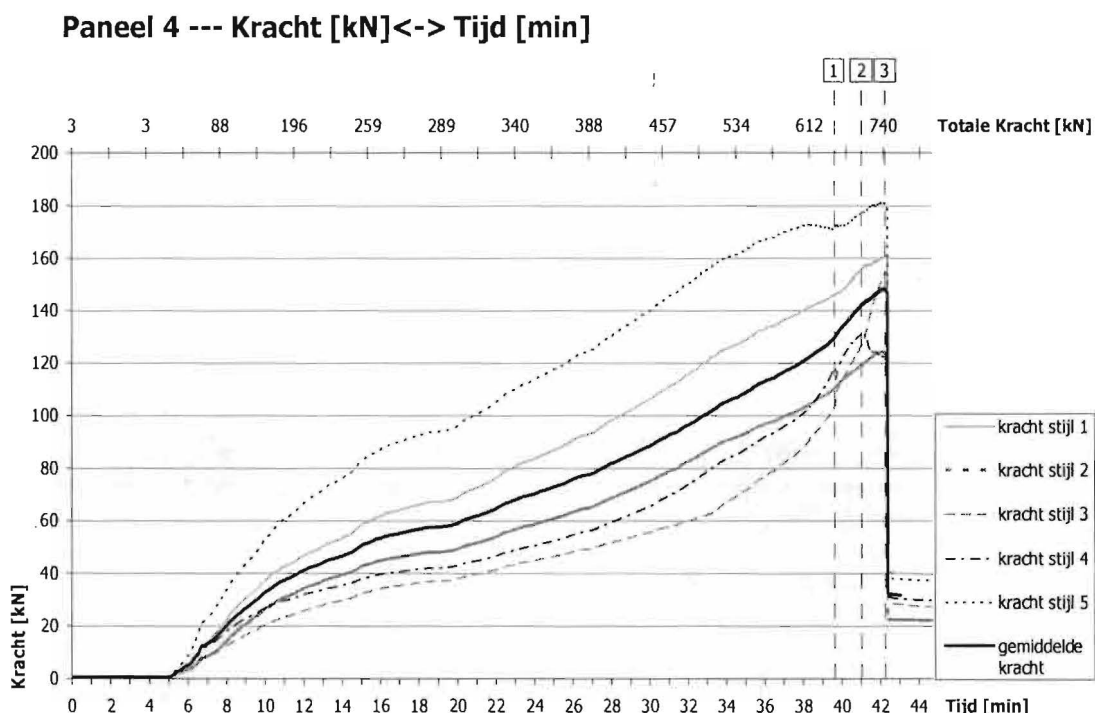
FIGUUR 5.6.4 ONDERZIJDDE STIJL 1

5.7. PANEEL 4

EVALUATIE

Minstens een half uur is er bij de proef van paneel 4 weinig op te merken. Vanaf punt 1 bij een totale belasting van 650 kN, treedt er plaatselijk bezwijken op in stijl 4. Deze kracht wordt meteen opgenomen door stijl 3 (zie Figuur 5.7.1).

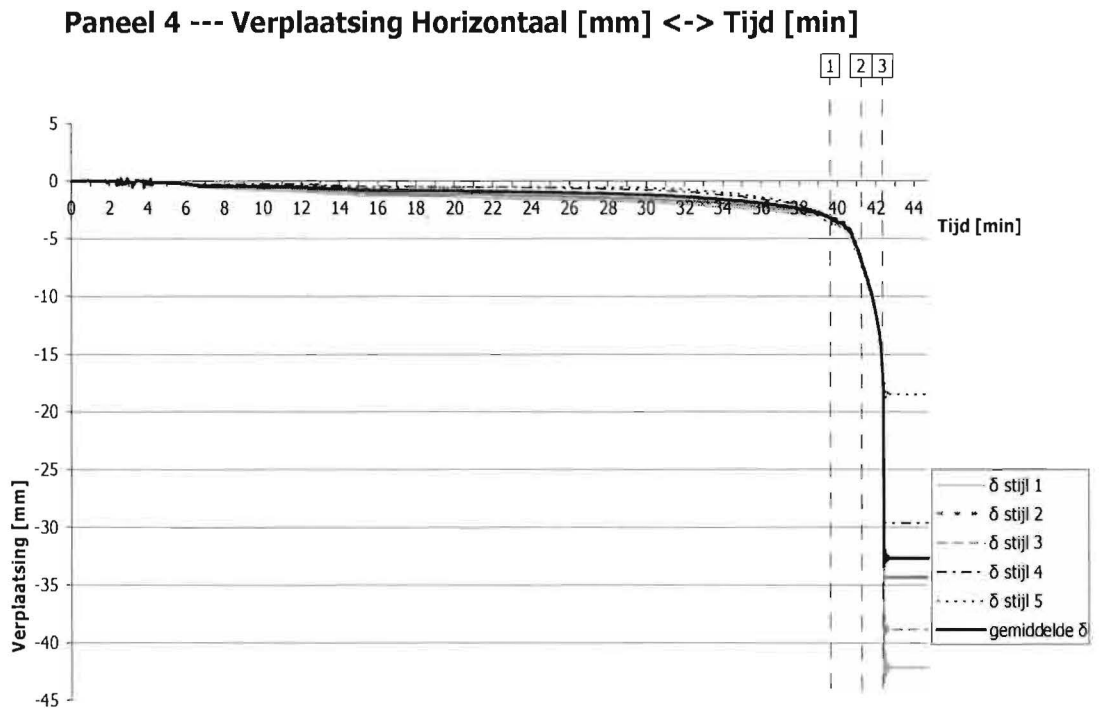
Snel hierna bij een totale kracht van 698 kN bereikt stijl nummer 4 zijn maximale draagkracht (punt 2). In punt 3 bij een totale kracht van 742 kN bereikt het paneel zijn totale maximale belasting en bezwijken alle stijlen.



FIGUUR 5.7.1 KRACHTSVERDELING OVER DE STIJLEN (WANDPANEEL 4)

De totale bezwijkbelasting van het wandelement is 742 kN, de maximale horizontale uitbuiging is 18 mm (Figuur 5.7.2) en de maximale verkorting van het wandelement is 15,2 mm links en 16,4 mm rechts.

In stijl 5 trad de hoogste belasting op, namelijk 181 kN en in stijl 2 is de laagste belasting geconstateerd namelijk 125 kN. De gemiddelde maximale belasting van de 5 stijlen is 151 kN met een standaardafwijking van 13,7%.



FIGUUR 5.7.2 HORIZONTALA VERPLAATSING VAN DE STIJLEN (WANDPANEEL 4)



FIGUUR 5.7.3 STIJLEN AAN DE VOORZIJDE VAN WANDPANEEL 4

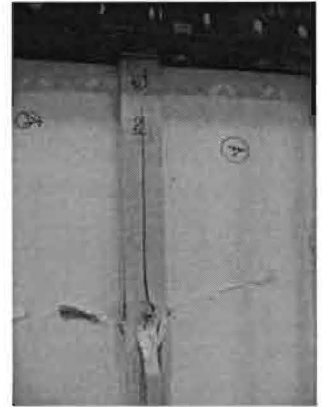
5.8. RESULTATEN

ALGEMEEN

Lokaal Bezwijken

Alle wandpanelen vertoonden een lokaal bezwijkpatroon. Slechts een paneel vertoonde hiernaast het bezwijken van de spaanplaat. (Figuur 5.8.1)

Wat hierbij eveneens opviel is dat bijna alle stijlen een bezwijkvorm vertoonden aan de onderzijde van het paneel.



FIGUUR 5.8.1 LOKAAL BEZWIJKEN EN BEZWIJKEN VAN DE SPAANPLAAT

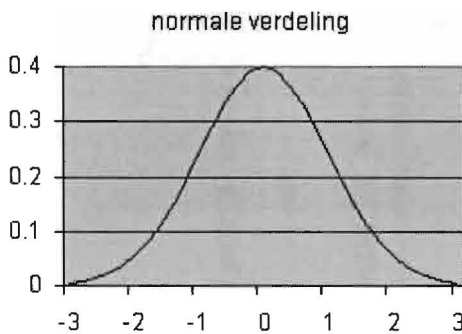
Herverdeling kracht

Uit de grafieken waarbij de kracht uitgezet is tegen de tijd, is duidelijk af te lezen dat bij alle panelen de krachten herverdeeld worden. Dit betekent dat de spaanplaat van de standaard dakelement genoeg capaciteit heeft om de krachten te herverdelen.

Knik

De maximale horizontale uitbuiging is gemeten op 18 mm, wat ongeveer $1/150^e$ van de totale hoogte is. Op basis van de maximale horizontale uitbuiging, observatie tijdens de proeven en bezwijkpatronen kan dus gesteld worden dat bezwijken door knik, zowel uit het sterke als uit het zwakke vlak, niet optreedt.

OVERZICHT



FIGUUR 5.8.2 DE NORMALE VERDELING

Volgens een normale verdeling (Figuur 5.8.2) van een totale populatie kan het gemiddelde van de 4 proeven berekend worden en vervolgens de standaardafwijking hiervan. De standaarddeviatie kan dan worden berekend volgens de formule:

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

waarin \bar{x} het gemiddelde van de populatie is en n de grootte van de populatie.

De gemiddelde bezwijkbelasting van de proeven is 705 kN met een standaardafwijking van 6,35%. Dit betekent dat volgens een nominale verdeling en NEN 6700, de 5% onderschrijdingskans op een waarde van 615 kN ligt.

De maximale bezwijkbelasting per strekkende meter heeft een waarde van 320 kN, met een 5% onderschrijdingskans van 280 kN.

In Tabel 5.8.1 is een overzicht gegeven van de bezwijkbelasting per proef en de afwijkingen ten opzichte van het gemiddelde.

TABEL 5.8.1 OVERZICHT VAN DE BEZWIJKBELASTINGEN VAN DE WANDPANELEN

	Maximale belasting	Afwijking t.o.v. gemiddelde belasting
Wandpaneel 1	634 kN	-10%
Wandpaneel 2	700 kN	-1%
Wandpaneel 3	745 kN	+6%
Wandpaneel 4	742 kN	+5%
Gemiddelde	705 kN	

VERGELIJKING PROEF <-> THEORIE

Spanningen

In Hoofdstuk 3 is de constructie berekend en getoetst volgens de geldende eisen en normen. Hieruit kwam voort dat de maximaal opneembare belasting, berekend volgens NEN 6760, 119 kN/m¹, en per stijl 44,2 kN is. Deze waarde is veel kleiner dan de maximale waarde gevonden bij de experimenten.

Allereerst is dit te verklaren doordat door de samenwerking van het totale paneel, bezwijken optreedt door het lokaal bezwijken van hout in plaats van door knik van de stijlen.

Ook zou dit mede veroorzaakt kunnen worden door het feit dat door de samenwerking tussen het spaanplaat en de houten stijlen, de kans op bezwijken door lokaal verminderde sterkte, kleiner wordt.

Uit [6] kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde spreiding (zie Figuur 5.8.2) van schoon hout 18% voor de druksterkte is. Dit betekent dat de 5% ondergrens waar in de norm mee gerekend moet worden 36% lager is dan de gemiddelde sterkte van hout.

Wanneer de berekeningen opnieuw uitgevoerd worden, maar dan met de gemiddelde sterkte van hout en uitgegaan wordt van bezwijken door druk, worden de volgende waarden gevonden:

TABEL 5.8.2 OVERZICHT VAN DE BEZWIJKBELASTINGEN VAN DE WANDPANELEN

	DRUK		
	5% ondergrens hout	Gemiddelde hout	5% overschrijding hout
1 stijl	76	118	161
5 stijlen = 100%	378	591	803
Gemiddelde proeven	705	705	705
Afwijking	+87%	+19%	-12%

Het is waarschijnlijk dat door de samenwerking in het paneel de spreiding in het hout verkleind wordt, waardoor hogere waarden gevonden worden.

Spaanplaat

Tevens is de hogere gevonden bezwijkbelasting te verklaren door ervan uit te gaan dat het spaanplaat (SP) meewerkt in de sterkte. Ook bij het spaanplaat is sprake van een spreiding van 18%, waardoor verschillende hogere sterktes gevonden kunnen worden bij een meewerkende breedte van 100 en 125 mm:

TABEL 5.8.3 OVERZICHT VAN DE BEZWIJKBELASTINGEN BIJ MEEWERKENDE BREEDTE SPAANPLAAT

	DRUK					
	5% ondergrens Hout en SP		Gemiddelde Hout en SP		5% overschrijding Hout en SP	
	100 mm	125 mm	100 mm	125 mm	100 mm	125 mm
1 stijl	124	136	194	213	264	289
5 stijlen = 100%	620	681	969	1064	1318	1447
Gemiddelde proeven	705	705	705	705	705	705
Afwijking	+14%	+4%	-27%	-34%	-47%	-51%

Het is waarschijnlijk dat een gedeelte van het spaanplaat meewerkt in de sterkte van het totale paneel.

Schematisering

In paragraaf 2.5 is het wandpaneel geschematiseerd met behulp van het programma PC frame. Hieruit bleek dat de verdeling van de krachten inderdaad ongelijk is over de verschillende stijlen. Ook verandert de verdeling wanneer een stijl sterker of zwakker blijkt dan de overige stijlen. Dit verschijnsel kan dus ook van invloed zijn geweest bij het experimenteel onderzoek, aangezien hier ook een ongelijke verdeling van de krachten optrad.

VERGELIJKING PROEF <-> PRAKTIJK

Naast de afwijking in het verschil tussen de theorie en de uitgevoerde proeven, bestaat er ook een verschil in de uitgevoerde proeven en de praktijk.

Excentriciteiten

Bij het plaatsen van het wandelement en aansluiting van bijvoorbeeld vloeren, treden werkelijke excentriciteiten op als gevolg van een excentrische verbinding.

Ook treden toevallige excentriciteiten op als gevolg van maatafwijkingen en scheefstanden. Hierbij moet rekening worden gehouden met het feit dat de werkelijke belasting anders optreedt dan bij de theorie vanuit is gegaan.

Belastingen

Bij de berekening van het maximaal draagvermogen van het wandelement is er van uit gegaan dat bezwijken optreedt door een verticale belasting. In werkelijkheid zal het wandelement door wind ook belast worden door een horizontale kracht.

Hierdoor zal de maximale bezwijkbelasting lager liggen dan bij de huidige proeven is gevonden.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1. GELUIDTECHNISCH ONDERZOEK

CONCLUSIES

Ten aanzien van de geluidtechnische eigenschappen van het wandpaneel kan een aantal conclusies getrokken worden.

Er kan worden geconcludeerd dat het wandelement voldoet aan de eisen van het Bouwbesluit met betrekking tot een kamerscheidende en woningscheidende wand. Dit betekent dat het basiselement bij de toepassing als kamerscheidende wand afgewerkt kan worden met aan beide een gipsvezelplaat van 12,5 mm. Voor de opbouw van het wandelement in de toepassing als woningscheidende wand, betekent dit dat er een dubbel basiselement toegepast kan worden met aan beide zijden een afwerking van minerale wol en een gipsvezelplaat van 12,5 mm dik.

Hierbij moet wel rekening worden gehouden met het feit dat het wandelement is beproefd in een opening, bestemd voor beglazing. Dit betekent dat wanneer een groter element beproefd wordt, de geluidisolatie kan afnemen.

AANBEVELINGEN

Het verdient de aanbeveling om te onderzoeken in hoeverre de opbouw van het wandelement aangepast kan worden, zodat een enkel basiselement kan voldoen aan de eisen van het Bouwbesluit voor een woningscheidende wand.

Dit omdat het enkele basiselement met toepassing van minerale wol en twee gipsvezelplaten aan beide zijden, dicht bij de eis van een woningscheidende wand ligt.

6.2. CONSTRUCTIEF ONDERZOEK

CONCLUSIES

Met betrekking tot de constructieve eigenschappen van het wandpaneel kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

Ten eerste kan worden geconcludeerd dat de uitgangspunten met betrekking tot het bezwijkgedrag van het paneel juist zijn. Bij het experimenteel onderzoek is gebleken dat het wandpaneel niet bezwijkt door knik om de zwakke as of sterke as, maar door het plaatselijk bezwijken van het hout, oftewel door het overschrijden van de druksterkte van het hout.

Op de tweede plaats blijkt uit de experimenten, dat de maximale bezwijkbelasting, eventueel gecorrigeerd naar de 5% onderschrijdingskans, voldoende is om de maximaal optredende belasting in de praktijk te kunnen dragen. De hoge bezwijkbelasting kan, naast de opbouw en daardoor de samenwerking tussen de verschillende onderdelen, verklaard worden door het feit, dat het gebruikte hout sterker is dan in de literatuur gegeven waarde, en door het feit dat een gedeelte van het spaanplaat bijdraagt aan de totale sterkte van het paneel. Hierbij moet er wel rekening gehouden worden met het feit dat met de experimenten de korte duur

sterkte van de wand is bepaald. De lange duur sterkte van het hout is slechts ongeveer 55 % van de korte duur sterkte.

Ook kan geconcludeerd worden uit het experimenteel onderzoek, dat het spaanplaat in staat is de krachten te herverdelen over de stijlen. In de verschillende proeven is dit duidelijk naar voren gekomen wanneer een stijl plaatselijk bezweek en een andere stijl in staat was deze kracht tijdelijk over te nemen.

AANBEVELINGEN

Om een beter inzicht te verkrijgen in het krachtenverloop in het paneel, zal onderzoek gedaan moeten worden naar de constructieve eigenschappen van het standaard dakelement en de combinatie met de houten stijlen.

Ook is het van belang om de stabiliteit van het wandpaneel te onderzoeken. Hierbij kan gedacht worden aan een experimenteel onderzoek zoals genoemd, waarbij het wandpaneel belast wordt door een horizontale kracht (windbelasting) in combinatie met een verticale kracht (permanente belasting).

7. **BRONVERMELDING**

1. Nieman, H. *Praktijkgids Bouwbesluit Vocht door Nederlands Normalisatie Instituut*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut, 2005.
2. Lagendijk, P. *Praktijkgids Bouwbesluit Constructieve Veiligheid door Nederlands Normalisatie Instituut*. Delft: Zwinkels, 2006
3. Have, R. ten. *Praktijkgids Bouwbesluit Thermische isolatie en energieprestatie door Nederlands Normalisatie Instituut*. Delft: Zwinkels, 2006
4. Dessing, J. *Praktijkgids Bouwbesluit Geluid door Nederlands Normalisatie Instituut*. Delft: Zwinkels, 2005
5. Boot-Dijkhuis, C. *Praktijkgids Bouwbesluit Brandveiligheid door Nederlands Normalisatie Instituut (2^e druk)*. Delft: Zwinkels, 2006 (2005)
6. *Wood Handbook, Wood as an engineering Material* by United States Department of Agriculture, Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-113 1999
7. Tan, M. *Vernieuwend bouwen met hout (ARR 2000 BWK; 2782)*. Eindhoven, 2000
8. Martin, H.J. *Dictaat Geluidisolatie (7S510)*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven
9. Martin, H.J. *"dB-exercities"*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 1999
10. Moonen, S.P.G., Fiege, M.A. *"New method for timber-frame houses based on integrated stud-theory. Proceedings of WCTE-2000: 6th world conference on Timber Engineering, par.5.2.1, Whistler, Canada.*
11. Huijbregts, C.J.A.M., Kleine, J. de, Offermans, P.A.M., Moonen, S.P.G. *Krachtswerking van een experimenteel wandelement (TUE/CCO/02-19)*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2002.
12. Huijbregts, C.J.A.M., Kleine, J. de, Offermans, P.A.M., Moonen, S.P.G. *Geluidstechnische Aspecten van een experimenteel wandelement (TUE/CCO/02-21)*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2002.
13. Moonen, S.P.G., Schellen, H. *Timber frame house construction without vapour barrier*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.

Internet:

14. Homepage Isobouw. Isobouw. Versie augustus 2007. <http://www.isobouw.nl/>
15. Het Bouwbesluit online. BRIS bv. Versie januari 2008. <http://www.bouwbesluitonline.nl/>
16. NEN-normen online, BRISWarenhuis. Versie februari 2008. <http://www.briswarenhuis.nl/>
 - o NEN 6700 TGB Basiseisen (juli 2005)
 - o NEN 6702 TGB Belastingen (september 2007)
 - o NEN 6760 TGB Houtconstructies (december 2001)
 - o NEN 5077 Geluidwering in gebouwen (oktober 2006)
 - o NEN-EN 12354 Geluidwering in gebouwen (oktober 2006)

BIJLAGEN

BIJLAGE 01

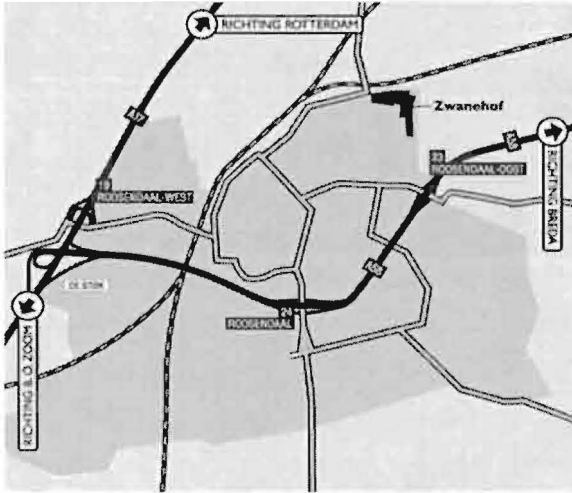
DE REFERENTIEWONING

INHOUDSOPGAVE

1.	DE REFERENTIEWONING	63
1.1.	SITUATIE	63
1.2.	DE WONING	64

1. DE REFERENTIEWONING

1.1. SITUATIE

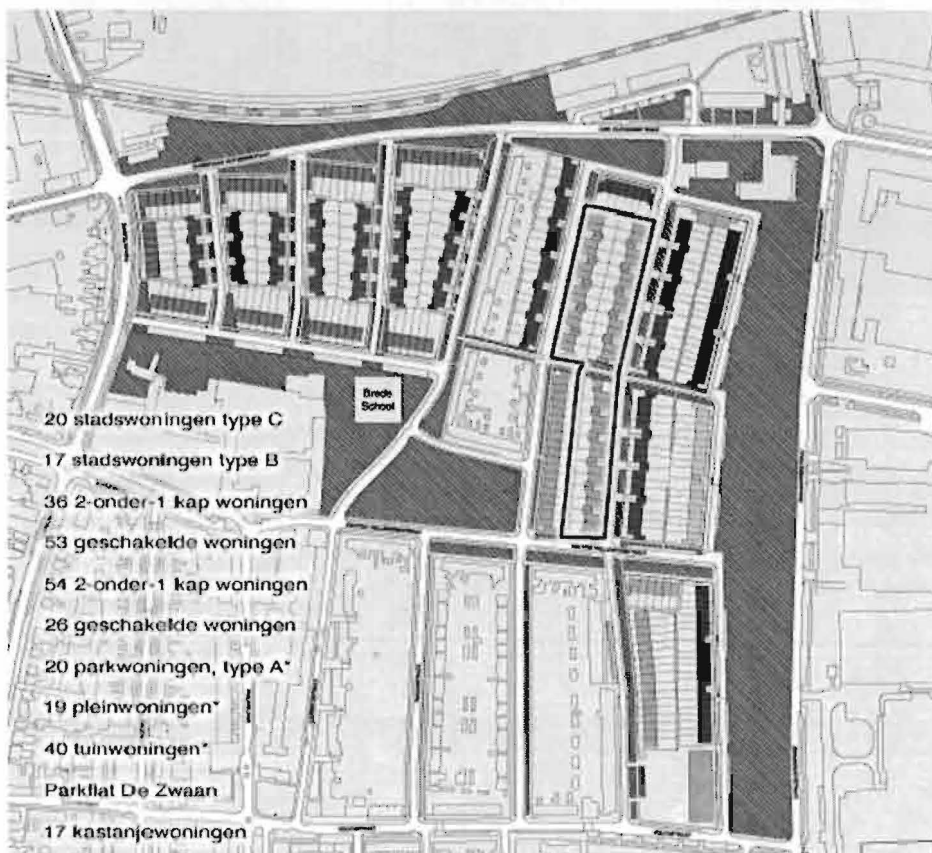


FIGUUR 6.2.1 REFERENTIEWONING GELEGEN TE ROOSENDAAL

De woning die ik heb gekozen als referentiewoning bij mijn afstudeerproject is gelegen in de wijk Kalsdonk te Roosendaal aan de Telefoonstraat. (zie Figuur 6.2.1)

Deze wijk was te beschouwen als een achterstandswijk waar de neerwaartse spiraal van verpaupering en sociaaleconomische achteruitgang duidelijk zichtbaar werd. Daarom is eind jaren 90 besloten deze wijk te herstructureren en een nieuw uiterlijk te geven, tevens met een nieuwe naam "Zwanehof".

Zwanehof moet dé tuinwijk van Roosendaal worden en er wordt dan ook gestreefd naar optimale veiligheid, kwaliteit en leefbaarheid. De wijk kenmerkt zich door comfortabele woningen met een grote keuzevrijheid in typen en ruime percelen die veel privacy bieden tegen een achtergrond van een overwegend groene woonomgeving. (Zie Figuur 6.2.2)



FIGUUR 6.2.2 DE INDELING VAN DE WIJK ZWANEHOF

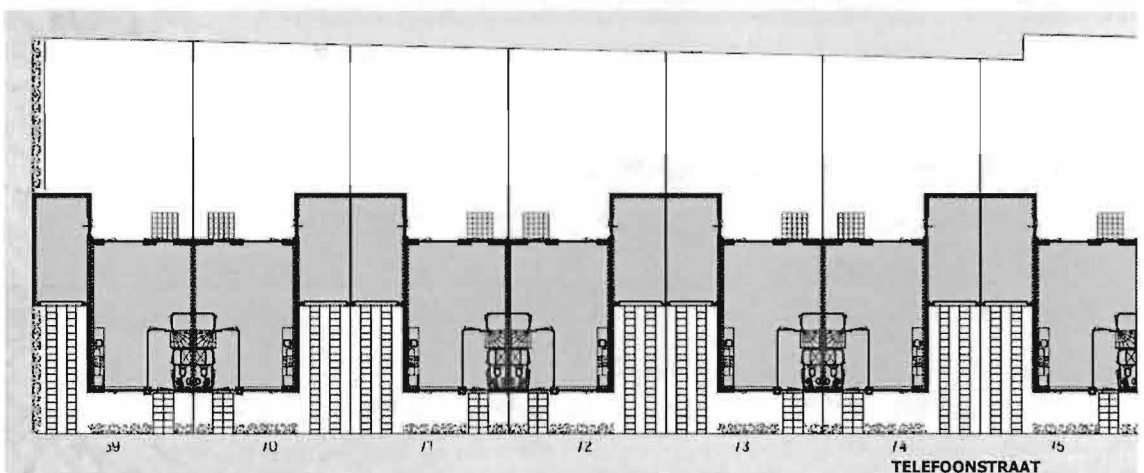
1.2. DE WONING



FIGUUR 1.2.1 DE REFERENTIEWONING

De referentiewoning is een ruime twee onder een kap woning, ideaal voor gezinnen en stellen die rekening houden met gezinsuitbreiding. (zie Figuur 1.2.1) Tegenwoordig werken beide personen en is het dus mogelijk om als standaardwoning van een iets ruimere en luxe woning uit te gaan.

In Figuur 1.2.2 is te zien hoe de woningen aan elkaar geschakeld zijn. Mede door deze schakeling is er voor gekozen om alleen in de voor- en achter gevel lichtinval mogelijk te maken. Dit met betrekking tot de privacy.



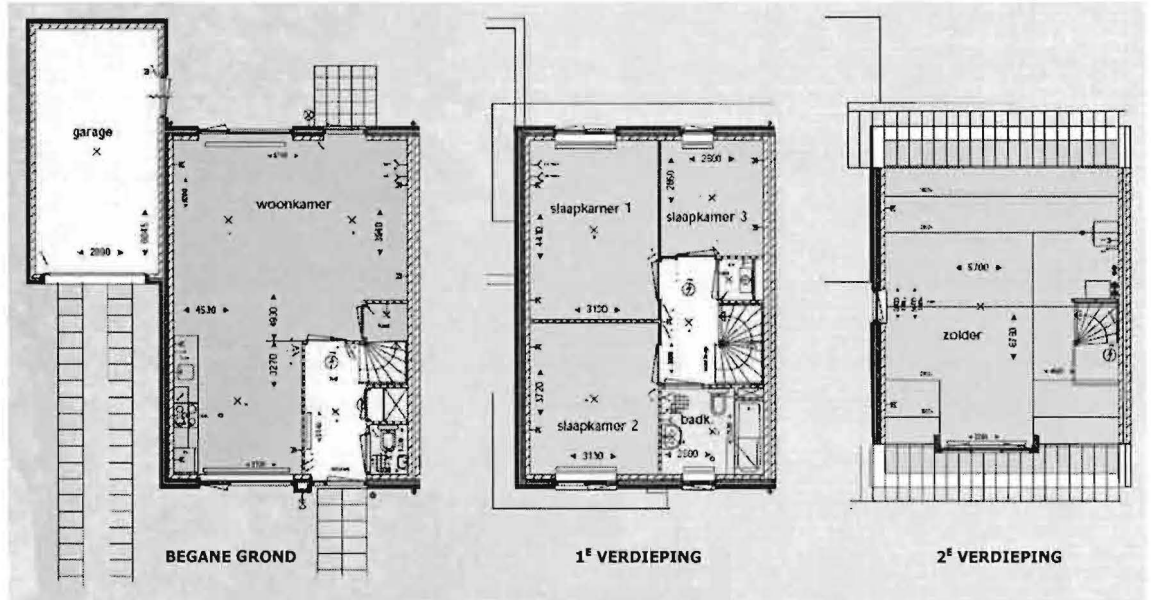
FIGUUR 1.2.2 DE REFERENTIEWONING GELEGEN AAN DE TELEFOONSTRAAT TE ROOSENDAAL

In de plattegronden in Figuur 1.2.3 staan de afmetingen van de verschillende vertrekken afgebeeld. Bij binnenkomst is er meteen rechts de toilet, meterkast en trapopgang. Vervolgens komt men in de woonkamer ($\pm 5,7 * 4,9 \text{ m}^2$) met links tegen de voorgevel de open keuken ($\pm 3,2 * 3,1 \text{ m}^2$). Aan de achterzijde is er de mogelijkheid om via de openslaande deur de tuin te betreden.

Op de eerste verdieping kan men via de overloop ($\pm 3,1 * 1,4 \text{ m}^2$) de drie slaapkamers en de badkamer bereiken. Tevens is er op de overloop een opbergkast, waarin de CV ketel is geplaatst.

Slaapkamer 1 en 3 zijn gelegen aan de achterzijde van de woning en zijn resp. $\pm 4,4 * 3,1 \text{ m}^2$ en $\pm 2,9 * 2,5 \text{ m}^2$ groot. De slaapkamer aan de voorzijde is $\pm 3,7 * 3,1 \text{ m}^2$ en de aangrenzende badkamer, voorzien van ligbad of douche, wastafel en tweede toilet is $\pm 2,5 * 2,1 \text{ m}^2$ groot.

De ruime zolder is via een vaste trap te bereiken en is voorzien van een dakkapel en een zijraam. Deze zolder is $\pm 6,8 * 5,7 \text{ m}^2$.



FIGUUR 1.2.3 DE PLATTEGRONDEN VAN DE REFERENTIEWONING

Vervolgens valt uit de aanzichten van de gevels in Figuur 1.2.4 de posities van de ramen e.d. af te lezen.



FIGUUR 1.2.4 DE AANZICHTEN VAN DE VOOR- EN ACHTERGEVEL



BIJLAGE 02

HART OP HART- AFSTAND STIJLEN

BRON WWW.GOLDENNUMBER.NET

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	69
2.	DE GULDEN SNEDE	70
2.1.	DE GULDEN SNEDE	70
2.2.	DE REEKS VAN FIBONACCI	71
3.	HART OP HART AFSTAND VAN DE STIJLEN	72
3.1.	AFMETINGEN IN DE HOUTSKELETBOUW	72
3.2.	AFMETINGEN IN EEN HUIS	72
3.3.	AFMETINGEN REFERENTIEWONING	73
3.4.	IDEALE AFMETINGEN DAKPLAAT	74
3.5.	PRAKTISCHE AFMETINGEN DAKPLAAT	74
3.6.	HART OP HART AFSTAND STIJLEN	74

1. INLEIDING

De maatvoering van de wandelementen bepaalt een groot aantal factoren. Omdat er bij de huidige bouw vaak gebruik wordt gemaakt van standaard afmetingen en stramienen, is de maatvoering van het element op de eerste plaats een maat voor de hoeveelheid restafval en zaagafval. Het valt dus aan te bevelen de huidige bouw eens goed onder de loep te nemen.

Als er dan op basis van de huidige bouwmethoden en toegepast bouwmaterialen een standaard hart op hart maat van de stijlen is vastgesteld, is het tevens van belang een goed toepasbare reeks van elementbreedten toe te passen.

Om deze reeks te bepalen is de reeks van Fibonacci toegepast. Hieronder zal dit begrip verder toegelicht worden en zal tevens uitgewijd worden over het bepalen van de standaard hart op hart afmeting van de stijlen in het wandelement.

2. DE GULDEN SNEDE

Als uitgangspunt bij de bepaling van de standaard afmetingen van de Dakplaten is de Gulden Snede en daarmee de Fibonacci reeks genomen. Hieronder zullen beide begrippen kort toegelicht worden.

Tevens zal de keuze voor de afmetingen van de plaat verantwoord worden.

2.1. DE GULDEN SNEDE

Over hoe en wanneer deze Gulden Snede is ontstaan is weinig bekend. Vele boeken over de verering van de Gulden Snede gaan terug op de Griekse wiskundige en filosoof Pythagoras uit de zesde eeuw voor Christus.

Wat wel bekend is, is de veelvuldige toepassing van de Gulden Snede in bijvoorbeeld de bouwkunst, schilderkunst en beeldhouwkunst. Ook de verschijning ervan in de natuur is uitzonderlijk te noemen.

Wat is de Gulden Snede?

Technisch gezien is de Gulden Snede de mathematische verdeling berustend op het probleem om een lijn zodanig in twee ongelijke stukken te verdelen, dat het grootste deel middelevenredig is tussen het kleinste deel en de gehele lijn.

Deze ratio wordt phi genoemd en heeft een waarde van 1,618.....

Door de eeuwen heen is deze ratio veelvuldig toegepast en ook in de natuur komt de Gulden Snede vaak voor. Velen zijn er in gaan geloven dat phi de garantie op schoonheid is, dat het de handtekening van God is.



FIGUUR 2.1.1 ENKELE VOORBEELDEN VAN DE GULDEN SNEDE IN HEDENDDAAGSE TOEPASSINGEN

BRON WWW.GOLDENNUMBER.NET

2.2. DE REEKS VAN FIBONACCI

De wiskundige Leonardo Pisano, zoon van de koopman Bonaccio, schreef in 1202 een boek waarin hij de Arabische getallen in Europa introduceerde. Vaak werd Leonardo "Fillius Bonacci" genoemd, wat zoon van de Goedzak betekent. Later is dit verbasterd tot Fibonacci, onder welke naam zijn wereldberoemde reeks bekend is geworden.

De reeks

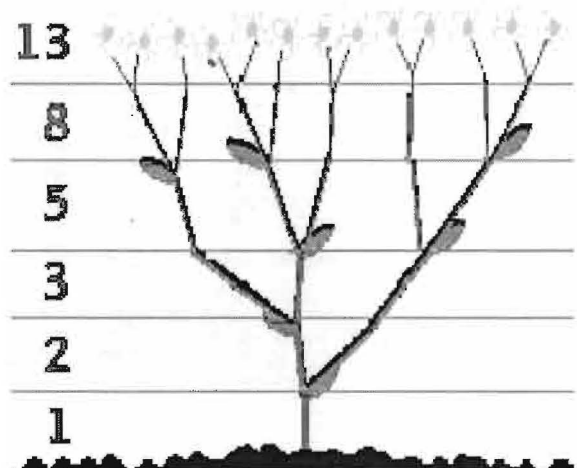
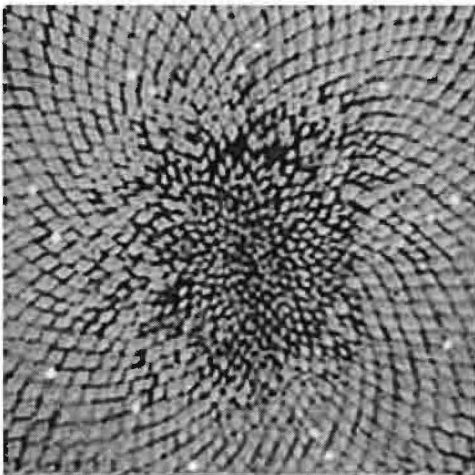
In zijn boek loste Leonardo allerlei problemen uit het dagelijkse leven op met behulp van de Arabische algebra. Hij ontdekt een reeks, waarbij elk element van de rij de som is van de twee voorgaande elementen, beginnend met 0 en 1.

De eerste elementen van de rij zijn dan als volgt:

0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, . . .

De rij blijkt interessante eigenschappen en verbanden te bezitten met onder andere de Gulden Snede. Wanneer je namelijk twee opeenvolgende elementen door elkaar deelt, benadert de uitkomst de Gulden Snede; 1: 0,618.

Ook in de natuur zijn enorm veel voorbeelden te vinden waar de reeks van Fibonacci in te herkennen is, in onderstaande figuur zijn hiervan een tweetal afbeeldingen te zien.



FIGUUR 2.2.1 VOORBEELDEN VAN DE REEKS VAN FIBONACCI IN DE NATUUR

BRON WWW.GOLDENNUMBER.NET

3. HART OP HART AFSTAND VAN DE STIJLEN

De standaard afmetingen van het te ontwikkelen wandelement, is zoals blijkt uit het voorgaande hoofdstuk, gebaseerd op de reeks van Fibonacci.

Dit omdat deze reeks als een natuurlijk model van schoonheid is te beschouwen.

Om tot een duidelijke reeks te komen zal een getal als eerste afmeting gekozen moeten worden om zo de reeks compleet te kunnen maken.

Dit eerste getal kan op een aantal manieren bepaald worden en hieronder zal dan ook verklaard worden hoe tot deze eerste afmeting is gekomen.

3.1. AFMETINGEN IN DE HOUTSKELETBOUW

De houtskeletbouw is terug te voeren naar een aantal eeuwen geleden. Het zal dan ook niemand verbazen dat deze bouwmethoden aan veranderingen onderhevig is.

Echter over de standaard hart op hart afmeting van de stijlen valt te zeggen dat deze in de loop der jaren niet is verandert.

Naar aanleiding van de informatie, te vinden op de website van Centrum Hout, en andere belangrijke pioniers op het gebied van hout en houtskeletbouw, is te concluderen dat de stramien in een houtskeletbouwwooning op een aantal standaard afmetingen is terug te voeren. Deze afmetingen zijn de 300 mm, 400 mm en 600 mm. Deze afmetingen vinden we tevens veelvuldig terug in vele houtachtige afbouwmaterialen en gipsplaten.

3.2. AFMETINGEN IN EEN HUIS

Zoals in paragraaf 3.1 is vermeld, is er een aantal dingen in en om het huis waar ook rekening mee gehouden kan worden.

Op de eerste plaats zijn dit de afbouwmaterialen, zoals de gipskartonplaat of gipsvezelplaat, die tegen de houten stijlen bevestigd moeten worden.

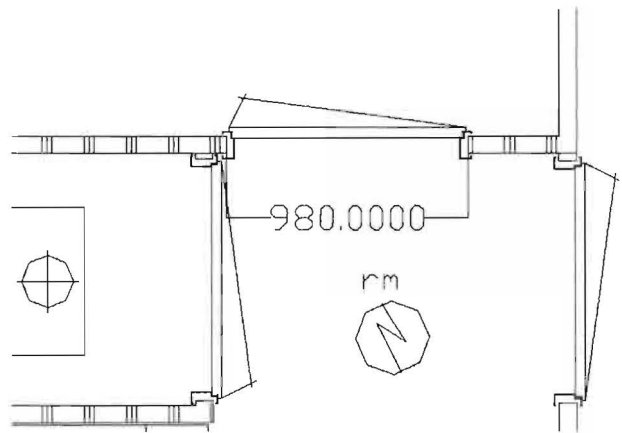
In Tabel 3.2.1 is van een aantal bouwmaterialen de standaardbreedten aangegeven.

TABEL 3.2.1 STANDAARDBREEDTEN

Materiaal	Breedte
Gipskartonplaten	600 mm
Gipsvezelplaat	600, 1200, 1750 en 1800 mm
MDF	1220mm
Triplex	1250mm
Multiplex	1220mm

De breedten zijn duidelijk afgestemd op maten van 600 en 1200 mm. Hierbij is bij de houtsoorten rekening gehouden met eventueel zaagverlies en dergelijke.

Ten tweede kan er gekeken worden naar de afmetingen van openingen, waar het wandelement ingepast kan worden (boven en onder eventueel). De meest voorkomende afmeting van een opening, is de standaard afmeting van een deur, in de referentiewoning 980 mm inclusief de benodigde afmetingen ter bevestiging van het kozijn. In Figuur 3.2.1 is dit geïllustreerd.



FIGUUR 3.2.1 DE OPENING T.B.V. EEN DEUR MET KOZIJN

Bij deze afmeting van de deuren, is het onvermijdelijk om voor de opvulling van de ruimte boven de deuren zaagverlies te hebben.

3.3. AFMETINGEN REFERENTIEWONING

Om tot een optimale afmeting van het wandelement te komen, wordt tevens gekeken naar de afmetingen van de referentiewoning.

Hierbij is in eerste instantie de lange blinde muren als uitgangspunt genomen. Hier kan namelijk het wandelement zonder doorbrekingen herhaald worden.

Deze blinde muren heb een maximale afmeting van 11040 mm en een binnenafmeting van 10840 mm.

De kleinste afmeting kan niet in gehele stukken worden ingedeeld in elementen van 300, 400 of 600 mm breed. De maximale afmeting kan eveneens niet precies worden verdeeld in gehele elementen. Voor de bepaling van de afmetingen van de elementen heeft het dus weinig zin deze blinde muren als uitgangspunt te gebruiken.

Op de tweede plaats kan gekeken worden naar de afmetingen van de breedte van de woning. Voor het binnenspouwblad is de maximale breedte 5940 mm en de kleinste afmeting 5700 mm. Dit betekent dat de kleinste maat van het binnenspouwblad precies gemaakt kan worden uit 19 keer de afmeting 300 mm.

Ook kan er gekeken worden naar de inpassing van de wandelementen ten opzichte van de openingen zoals ramen en deuren. Helaas variëren deze ook in grote mate, waardoor er geen eenduidige maat vastgesteld kan worden.

3.4. IDEALE AFMETINGEN DAKPLAAT

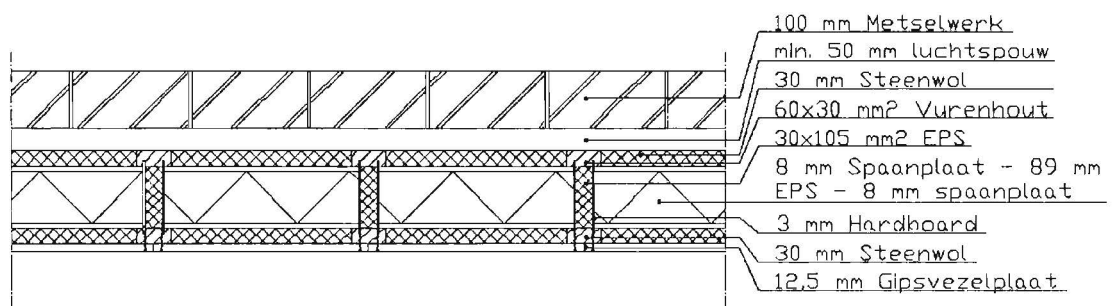
Omdat de referentiewoning geen eenduidige afmetingen tot gevolg heeft, is de bepaling van deze afmetingen vooral aan de hand van in de hedendaagse toegepaste standaardafmetingen gebaseerd.

Omdat de belasting per stijl niet al te groot mag worden en de ruimte tussen de stijlen eveneens niet al te groot, valt de elementbreedte van 600 mm af. Mede dankzij de proeven met het ontworpen element ten behoeve van de oplegging van de kanaalplaten aan het element, is tot deze conclusie gekomen.

De standaard afmetingen die dan nog resten zijn respectievelijk 300 en 400 mm breedte. Omdat de breedte van 300 mm toch vaker toegepast blijkt te worden, is mijn voorkeur uitgegaan naar deze standaard breedte van het wandelement.

Omdat de dakplaten tussen de stijlen worden gemonteerd heeft dit tot gevolg dat de afmetingen van de dakplaten 264 mm zijn (300 mm – 30 mm EPS – 2*3,2 mm hardboard).

In Figuur 3.4.1 is te zien hoe tot deze afmetingen gekomen is.



FIGUUR 3.4.1 OPBOUW VAN HET WANDELEMENT

3.5. PRAKTISCHE AFMETINGEN DAKPLAAT

Om tot het ontwerp te komen van het wandelement, wordt gebruik gemaakt van standaard verkrijgbare dakplaten met een afmeting van 1020 mm.

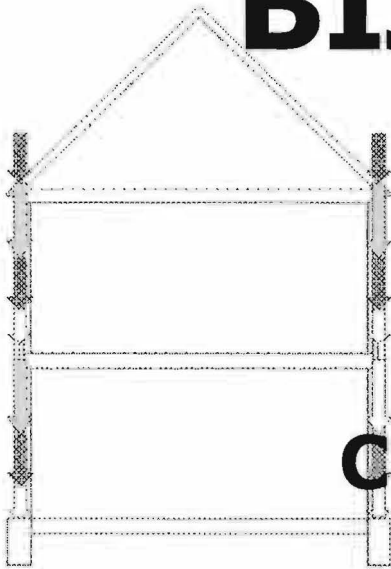
Voor het verdere verloop van het onderzoek is uit economisch oogpunt gekozen voor een afmeting van de dakplaat van $(1020 - 2 * \text{zaagsnede}) / 3 = \text{maximaal } 338 \text{ mm}$.

Met een hart op hart afstand van 300 mm zou namelijk een 12% van elke dakplaat verspild worden. Omdat er nog geen sprake is van industrieel produceren weegt dit dus zwaar mee in de keuze van de afmetingen van de dakplaat.

3.6. HART OP HART AFSTAND STIJLEN

Uit economische overweging is voor het wandelement een dakplaat toegepast met een breedte van 335 mm. Uit Figuur 3.4.1 blijkt dat de hart op hart afstand van de stijlen dan 371 mm is.

BIJLAGE 03



TOETSING CONSTRUCTIE

↓ Eigen Gewicht Pannendak = $1,95 \text{ kN/m}^2$

↓ Eigen Gewicht Snaalplaatvloer = $12,09 \text{ kN/m}^2$

↓ Eigen Gewicht Scheidingswanden = $1,95 \text{ kN/m}^2$

↓ Eigen Gewicht gevel = $1,09 \text{ kN/m}^2$

INHOUDSOPGAVE

1.	BELASTINGEN	77
1.1.	ALGEMEEN	77
	<i>Veiligheidsklasse en referentieperioden</i>	77
	<i>Belastingfactoren</i>	77
	<i>Belastingen</i>	78
	<i>Belastingcombinaties</i>	78
1.2.	PERMANENTE BELASTINGEN	80
	<i>Kanaalplaatvloeren</i>	81
	<i>Pannendak</i>	81
	<i>Scheidingswanden</i>	81
	<i>Gevel</i>	83
	<i>Samenvatting</i>	84
1.3.	VERANDERLIJKE BELASTINGEN	85
	<i>Belastingen door personen, meubilair en aankleding</i>	85
	<i>Sneeuwbelasting</i>	85
	<i>Windbelasting</i>	86
1.4.	BELASTINGCOMBINATIES	88
	<i>Uiterste grenstoestand</i>	88
	<i>Bruikbaarheidsgrenstoestand</i>	88
2.	TOETSING WANDELEMENT	90
2.1.	ALGEMEEN	90
2.2.	TOETSING STERKTE	91
	<i>Toelaatbare belasting</i>	91
2.3.	CONCLUSIE	93

1. BELASTINGEN

1.1. ALGEMEEN

Het Bouwbesluit schrijft voor dat:

“Een te bouwen bouwwerk heeft een bouwconstructie die gedurende de in NEN 6700 bedoelde referentieperiode voldoende bestand is tegen de daarop werkende krachten.” [Bouwbesluit 2003, §2.1.1; artikel 2.1] en

“Een uiterste grenstoestand van een bouwconstructie wordt niet overschreden bij de fundamentele belastingscombinaties, bepaald volgens NEN 6702. Voor zover NEN 6702 niet voorziet in de kwantificering van de belastingscombinaties, wordt uitgegaan van NEN 6700.” [Bouwbesluit, § 2.1.2; artikel 2.2]

VEILIGHEIDSKLASSE EN REFERENTIEPERIODEN

Met het begrip veiligheidsklasse wordt tot uitdrukking gebracht in welke mate het bezwijken van de constructie naast financiële schade ook tot menselijk, emotioneel of maatschappelijk leed leidt; met de referentieperiode wordt de minimale periode bedoeld, waarin de constructie moet blijven voldoen aan de gestelde eisen.

Uit NEN 6702 volgt dat een eengezinswoning in veiligheidsklasse 2 ingedeeld moet worden en dat de referentieperiode 50 jaar is.

BELASTINGFACTOREN

Na het bepalen van de veiligheidsklasse, kunnen de belastingfactoren afgelezen worden. Dit zijn factoren, waarmee de representatieve waarde van de belasting wordt vermenigvuldigd om de rekenwaarde van de belasting te verkrijgen.

Voor de belastingfactoren in de uiterste grenstoestand betekent het voorgaande het volgende:

- Fundamentele combinaties
 - Belastingcombinatie 1: $\gamma_{f;g;u} (\gamma_{f;p;u}) = 1,2$ (ongunstig) of $0,9$ (gunstig) en $\gamma_{f;q;u} = 1,3$
 - Belastingcombinatie 2: $\gamma_{f;g;u} (\gamma_{f;p;u}) = 1,35$
- Bijzondere combinaties
 - Belastingcombinatie 3: $\gamma_{f;g;u} (\gamma_{f;p;u}) = \gamma_{f;q;u} = 1,0$

Voor de belastingfactoren in de bruikbaarheidsgrenstoestand betekent het voorgaande het volgende:

- Incidentele combinaties
 - Belastingcombinatie 4: $\gamma_{f;g;ser} (\gamma_{f;p;ser}) = \gamma_{f;q;ser} = 1,0$
- Momentane combinaties
 - Belastingcombinatie 5: $\gamma_{f;g;ser} (\gamma_{f;p;ser}) = \gamma_{f;q;ser} = 1,0$

BELASTINGEN

De rekenwaarde van de belasting moet zijn verkregen uit:

- Voor permanente belasting:
 - $G_{d;u} = Y_{f;g;u} * G_{rep;u}$ in de uiterste grenstoestand;
 - $G_{d;ser} = Y_{f;g;ser} * G_{rep;ser}$ in de bruikbaarheidsgrenstoestand.
- Voor veranderlijke belasting:
 - $Q_{d;u} = Y_{f;q;u} * Q_{rep;u}$ in de uiterste grenstoestand,
 - $Q_{d;ser} = Y_{f;q;ser} * Q_{rep;ser}$ in de bruikbaarheidsgrenstoestand
- Voor bijzondere belasting:
 - $A_{d;u} = Y_{f;a;u} * A_{rep;u}$ in de uiterste grenstoestand,
 - $A_{d;ser} = Y_{f;a;ser} * A_{rep;ser}$ in de bruikbaarheidsgrenstoestand

Waarin:

G_d, Q_d en A_d	is de rekenwaarde van resp. de permanente, veranderlijke of bijzondere belasting;
$Y_{f;g;u}, Y_{f;g;ser}$	is de belastingsfactor voor permanente belasting, in uiterste, resp. bruikbaarheidsgrenstoestand;
$Y_{f;q;u}, Y_{f;q;ser}$	is de belastingsfactor voor veranderlijke belasting, in uiterste, resp. bruikbaarheidsgrenstoestand;
$Y_{f;a;u}, Y_{f;a;ser}$	is de belastingsfactor voor bijzondere belasting, in uiterste, resp. bruikbaarheidsgrenstoestand;
$G_{rep}, Q_{rep}, A_{rep}$	is de representatieve waarde van resp. de permanente, veranderlijke of bijzondere belasting.

BELASTINGCOMBINATIES

Uiterste grenstoestand

- Fundamentele combinaties

Als fundamentele combinaties moeten volgens de norm worden bekeken:

$$1. \quad F_{\Sigma f;u;d} = Y_{f;g;u} * G_{rep} + Y_{f;q;u} * \psi_t * Q_{1;rep} + \sum_{i \geq 2}^n Y_{f;q;u} * \psi_i * Q_{i;rep}$$

$$2. \quad F_{\Sigma f;u;d} = Y_{f;g;u} * G_{rep}$$

Waarbij in de eerste formule elk belastinggeval van de veranderlijke belasting als $Q_{1;rep}$ moet voorkomen en waarin:

$F_{\Sigma f;u;d}$	is de rekenwaarde van de fundamentele combinatie van belastingen in de uiterste grenstoestand;
$Y_{f;g;u}$	is de belastingsfactor voor permanente belastingen.
G_{rep}	is het belastingsgeval van de som van de representatieve waarden van de permanente belastingen;
$Y_{f;q;u}$	is de belastingsfactor voor de veranderlijke belasting;
ψ_t	is de factor voor de correctie van de veranderlijke belasting, behorend bij het belastingsgeval $Q_{1;rep}$;
$Q_{1;rep}$	is het belastingsgeval voor een veranderlijke belasting met ranggetal 1, zijnde de representatieve waarde van een van de belastingsgevallen;
i	is het ranggetal van het betrokken belastingsgeval;

- n is het aantal van de belastingsgevallen die naar hun aard gelijktijdig kunnen optreden;
- ψ_i is de factor voor de correctie van de belasting, behorend bij het belastingsgeval $Q_{i;rep}$;
- $Q_{i;rep}$ is het belastingsgeval voor een veranderlijke belasting met ranggetal i , zijnde de representatieve waarde van een van de belastingsgevallen.

In belastingcombinatie 1 moet elke veranderlijke belasting eenmaal als extreme waarde $Q_{1;rep}$ voorkomen.

- **Bijzondere combinaties**

Als bijzonder combinatie moet volgens de norm worden bekeken:

$$3. \quad F_{\Sigma a;u;d} = Y_{f;g;u} * G_{rep} + Y_{f;a;u} * A_{rep} + \sum_{i \geq 1}^n Y_{f;q;u} * \psi_i * Q_{i;rep}$$

Waarin in aanvulling op het voorgaande:

- $F_{\Sigma a;u;d}$ is de rekenwaarde van de bijzondere combinatie van belastingen in de uiterste grenstoestand;
- A_{rep} is de representatieve waarde van een bijzondere belasting;
- $Y_{f;a;u}$ is de belastingsfactor voor bijzondere belastingen.

Bruikbaarheidsgrenstoestand

- **Incidentele combinaties**

Als incidentele combinaties moet volgens de norm worden beschouwd:

$$4. \quad F_{\Sigma inc;ser;d} = Y_{f;g;ser} * G_{rep} + Y_{f;g;ser} * \psi_t * Q_{1;rep} + \sum_{i \geq 2}^n Y_{f;q;ser} * \psi_i * Q_{i;rep}$$

Hierbij moet eveneens elk belastingsgeval van een veranderlijke belasting voorkomen als $Q_{1;rep}$ en waarin:

- $F_{\Sigma inc;ser;d}$ is de rekenwaarde van de incidentele combinatie van belastingen in de bruikbaarheidsgrenstoestand;
- $Y_{f;g;ser}$ is de belastingsfactor in de bruikbaarheidsgrenstoestand, voor permanente belastingen;
- G_{rep} is het belastingsgeval van de som van de representatieve waarden van de permanente belastingen;
- $Y_{f;q;ser}$ is de belastingsfactor in de bruikbaarheidsgrenstoestand, voor de veranderlijke belasting;
- ψ_t is de factor voor de correctie van de belasting, behorend bij het belastingsgeval $Q_{1;rep}$;
- $Q_{1;rep}$ is het belastingsgeval voor een veranderlijke belasting met ranggetal 1, zijnde de representatieve waarde van één van de belastingsgevallen;
- i is het ranggetal van het betrokken belastingsgeval;
- n is het aantal van de belastingsgevallen die naar hun aard gelijktijdig kunnen optreden;
- ψ_i is de factor voor de correctie van de belasting, behorend bij het belastingsgeval $Q_{i;rep}$;

$Q_{i,rep}$ is het belastingsgeval voor een veranderlijke belasting met ranggetal i , zijnde de representatieve waarde van één van de belastingsgevallen.

- Momentane combinaties

Als momentane combinaties voor bruikbaarheidsgrenstoestanden moet zijn beschouwd:

$$5. \quad F_{\Sigma mom; ser; d} = Y_{f; g; ser} * G_{rep} + \sum_{i \geq 1}^n Y_{f; q; ser} * \psi_k * \psi_i * Q_{i, rep}$$

Waarin in aanvulling op het voorgaande:

$F_{\Sigma mom; ser; d}$ is de rekenwaarde van de momentane combinatie van belastingen in de bruikbaarheidsgrenstoestand;

ψ_k is de correctiefactor voor momentane belasting;

= 0,6 voor de belasting die voor de kruipberekeningen wordt gebruikt;

= 1 voor de belastingen die voor andere berekeningen worden gebruikt.

1.2. PERMANENTE BELASTINGEN

Voordat kan worden begonnen met de bepaling van de verschillende permanente belastingen, moet eerst een aantal punten worden vastgesteld.

Uit de referentiewoning blijken de volgende randvoorwaarden:

- De breedte van de woning 6 meter h.o.h. wand
- De lengte van de woning is 8,5 meter h.o.h. wand
- De woning bestaat uit 2 verdiepingen en een zolder
- Het dak bestaat uit een pannendak met dakbeschot en gordingen
- De hoogte van de verdieping is 2,4 meter, maar omdat het wandelement ook voor grotere plafondhoogtes geschikt moet zijn, ga ik uit van een verdiepingshoogte van 2,8 meter.

Daarnaast worden de volgende aannamen gedaan:

- De verdiepingsvloeren bestaan uit kanaalplaten met een afwerklaag
- De belasting op de vloeren en het dak worden gelijkmatig verdeeld over de twee dragende binnenmuren.
- De garage en het aangrenzende huis wordt in de ontwerpberekening buiten beschouwing gelaten.
- Bij de berekening is er vanuit gegaan dat er een standaard houtsoort wordt gebruikt van sterkteklasse C24 met een druksterkte $f_{c; 0; rep} = 21 \text{ N/mm}^2$.

Omdat het uitgangspunt is om voor alle wanden het wandelement te gebruiken betekent dit voor de opbouw van de verschillende wanden het volgende:

- De scheiding tussen binnen en buiten wordt verkregen door het wandelement te combineren met een buitenblad van metselwerk.
- De scheiding tussen de twee woningen bestaat uit twee tegen elkaar geplaatste wandelementen.

- De scheidingswanden in de woning zelf worden opgebouwd uit een enkel wandelement.

KANAALPLAATVLOEREN

Als verdiepingsvloer is er een kanaalplaat type A200 van het merk VBI toegepast. Deze kanaalplaat kan maximaal 7,6 meter overspannen, heeft een werkende breedte van 1200 mm en een hoogte van 200 mm.

Het eigen gewicht is 303 kg/m^2 inclusief voegvulling, wat gelijk staat aan $3,03 \text{ kN/m}^2$.

De kanaalplaatvloer wordt afgewerkt met een deklaag van 50 mm, die een permanente belasting van $1,0 \text{ kN/m}^2$ met zich meebrengt. Dit betekent dat t.g.v. een verdiepingsvloer de totale belasting $(3,03 + 1,0 \text{ kN/m}^2) \times 3 \text{ m} = \underline{12,09 \text{ kN/m}^1}$ is.

PANNENDAK

Voor een pannendak met dakbeschot en gordingen wordt een belasting gerekend van $0,65 \text{ kN/m}^2$. Dit betekent een permanente belasting per strekkende meter van $0,65 \times \sqrt{3^2 + 3^2} \text{ m} = \underline{2,76 \text{ kN/m}^1}$.

SCHEIDINGSWANDEN

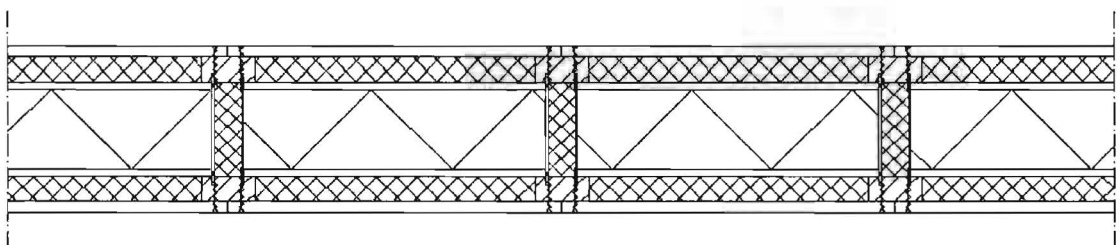
Omdat ik voor de scheidingswanden ervoor gekozen heb om deze uit hetzelfde wandelement te laten bestaan, wordt voor deze ontwerpberekening een aantal aannamen qua opbouw gedaan.

We gaan er dan van uit dat het wandelement bestaat uit (Figuur 1.2.1):

1 gipsvezelplaat van 12,5 mm aan beide zijden ter afwerking;

30 mm minerale wol aan beide zijden ten behoeve van een betere geluidsisolatie;

Het Isobouwelement bestaande uit 8 mm hardboard aan beide zijden en 89 mm EPS.



FIGUUR 1.2.1 OPBOUW SCHEIDINGSWAND

De massa van het wandelement volgt dan uit de massa van de verschillende delen volgens Tabel 1.2.1.

TABEL 1.2.1 MASSA VERSCHILLENDE ONDERDELEN

Scheidingswanden	Eigen Gewicht	Afmeting A (m ²)	Massa (kN/m ¹)
Stijlen			
Houten stijl 2x	$\rho_{\text{EPS}} = 550 \text{ kg/m}^3$ $= 5,5 \text{ kN/m}^3$	0,03 x 0,06 m ²	0,01 kN/m ¹
EPS 1x	$\rho_{\text{EPS}} = 30 - 40 \text{ kg/m}^3$ $= (0,3 \text{ à } 0,4) \text{ kN/m}^3$	0,03 x 0,105 m ²	$0,945 * 10^{-3} \text{ à}$ $1,26 * 10^{-3} \text{ kN/m}^1$
Hardboard 2x	$\gamma_{\text{hardboard}} = 10 \text{ kN/m}^3$	0,0032 x 0,125 m ²	0,004 kN/m ¹
Overige			
Gipsvezelplaat 2x	$\gamma_{\text{gipsvezelplaat}} = 15 \text{ kN/m}^3$	0,01 x 0,335 m ²	0,0503 kN/m ¹
Minerale Wol 2x	$\rho_{\text{minerale wol}} = 35 - 200 \text{ kg/m}^3$ $= (0,35 \text{ à } 2) \text{ kN/m}^3$	0,03 x 0,335 m ²	0,0035 à 0,0201 kN/m ¹
Isobouwplaat	$\rho_{\text{minerale wol}} = 13 \text{ kg/m}^2$ $= 0,13 \text{ kN/m}^2$	0,335 m	0,04355 kN/m ¹

Dit betekent een totale massa van de stijl van $2 * 0,01 \text{ kN/m}^1 + 1,26 * 10^{-3} \text{ kN/m}^1 + 2 * 0,004 \text{ kN/m}^1 = 0,02925 \text{ kN/m}^1$.

Voor de overige doorsnede moet uitgegaan worden van een totale massa van $2 * 0,0503 \text{ kN/m}^1 + 2 * 0,0201 \text{ kN/m}^1 + 0,04355 \text{ kN/m}^1 = 0,18435 \text{ kN/m}^1$.

De stijlen hebben een hart op hart afstand van 371 mm = 0,371 m, dus in 1 meter moet $\frac{1 \text{ m}}{0,371 \text{ m}} = 2,70$ stijl berekend worden.

Dit betekent dat er over een afstand van 0,92 meter gerekend moet worden met de andere doorsnede, wat neerkomt op 2,74 stuks maal 335 mm.

Dit betekent een maximale totale massa van maximaal:

$$2,7 * 0,02925 \text{ kN/m}^1 + 2,74 * 0,18435 \text{ kN/m}^1 = 0,58 \text{ kN/m}^1 = 0,58 \text{ kN/m}^2.$$

Uit NEN 6702 kan vervolgens de belasting voor scheidingswanden bepaald worden:

$$P_{\text{eg; rep}} = \frac{q_{\text{eg; rep}}}{b_0}$$

Hierin is:

$P_{\text{eg; rep}}$ = de voor niet dragende binnenwanden in rekening gebrachte gelijkmatig verdeelde belasting in kN/m² (met een minimum van 0,5 kN/m²);

$Q_{\text{eg; rep}}$ = het gedurende de referentieperiode toelaatbare maximale gewicht per lengte van de toegepast niet dragende binnenwand in kN/m¹ (met een maximum van 3,0 kN/m¹);

b_0 = de rekenspreidingsbreedte, $b_0 = 2,5$ meter

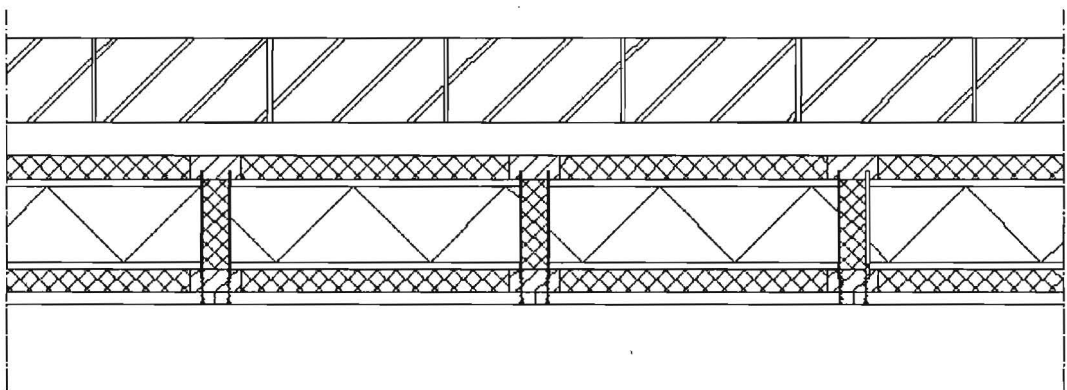
De belasting ten gevolge van de scheidingswanden wordt met een aangenomen wandhoogte van 2,8 meter:

$$P_{\text{eg; rep}} = \frac{0,58 \text{ kN/m}^2 * 2,8 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

Dit betekent bij een overspanning van 6 meter dat de lijnlast uit de scheidingswanden gelijk is aan $0,65 \text{ kN/m}^2 * 3,0 \text{ m} = \underline{1,95 \text{ kN/m}^1}$.

GEVEL

De gevel is een samenstelling van aan de buitenzijde een gemetselde wand van 100 mm en aan de binnenzijde het wandelement met een afwerking van minerale wol (30 mm) en een gipsvezelplaat (12,5 mm), zie Figuur 1.2.2.



FIGUUR 1.2.2 OPBOUW GEVEL

Bij de berekening van het eigen gewicht van de gevel ga ik ervan uit dat de gemetselde wand een zelfdragende wand is.

In Tabel 1.2.1 op pagina 82 is de berekening gemaakt van de verschillende onderdelen van het wandelement.

De totale massa van de stijl is $0,02925 \text{ kN/m}^1$ en die van de overige doorsnede met aan een zijde afwerking $0,18435 - 0,0503 - 0,0201 = 0,11395 \text{ kN/m}^1$.

Dit betekent een maximale totale massa van maximaal:

$$2,7 * 0,02925 \text{ kN/m}^1 + 2,74 * 0,11395 \text{ kN/m}^1 = 0,39 \text{ kN/m}^2.$$

Voor een verdiepingshoogte van 2,8 meter wordt dit dan $2,8 \text{ m} * 0,39 \text{ kN/m}^2 = \underline{1,09 \text{ kN/m}^1}$.

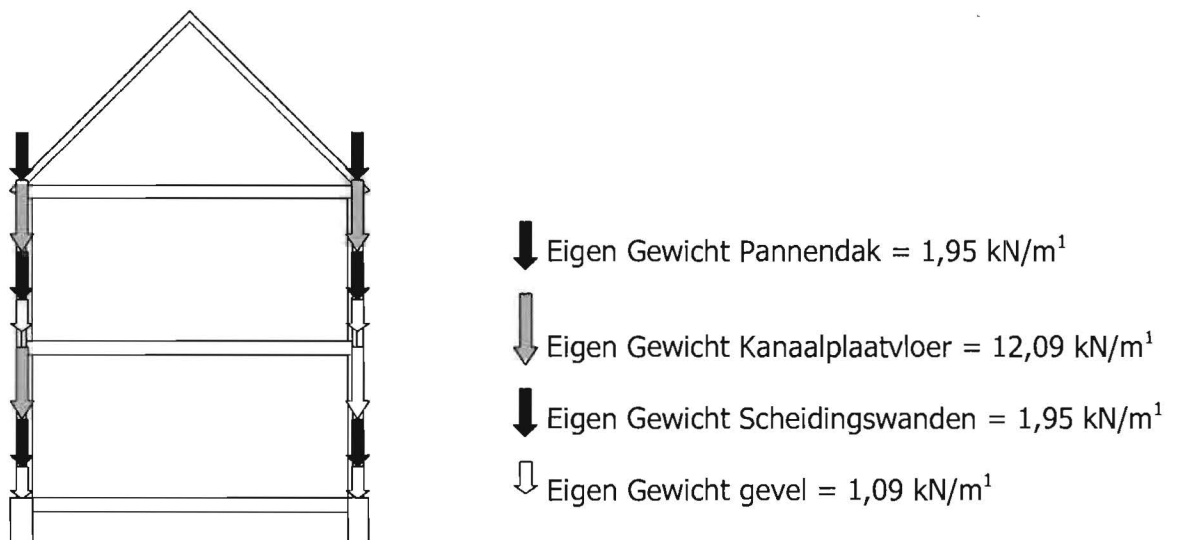
SAMENVATTING

In Tabel 1.2.2 is een overzicht gegeven van de verschillende onderdelen met het bijbehorende eigen gewicht.

TABEL 1.2.2 OVERZICHT VERSCHILLENDE ONDERDELEN

Onderdeel	Eigen gewicht
Kanaalplaatvloeren	12,09 kN/m ¹
Pannendak	2,76 kN/m ¹
Scheidingswanden	1,95 kN/m ¹
Gevel	1,09 kN/m ¹

In Figuur 1.2.3 is vervolgens schematisch weergegeven hoe de berekende eigen gewichten op de wand optreden.



FIGUUR 1.2.3 DOORSNEDE VAN DE REFERENTIEWONING MET BEREKENDE EIGEN GEWICHT

Het maximale totale eigen gewicht op een van de onderste wanden is dan (er van uit gaan dat de gevel belasting aangrijpt op de bovenzijde van de wand):

$$1,95 \text{ kN/m}^1 + 2 * 12,09 \text{ kN/m}^1 + 2 * 1,95 \text{ kN/m}^1 + 2 * 1,09 \text{ kN/m}^1 = \underline{\underline{32,21 \text{ kN/m}^1}}$$

1.3. VERANDERLIJKE BELASTINGEN

BELASTINGEN DOOR PERSONEN, MEUBILAIR EN AANKLEDING

Vloeren

Uit NEN 6702 volgen de waarden voor deze veranderlijke belasting op vloeren:

$$p_{\text{rep}} = 1,75 \text{ kN/m}^2 \text{ (extreem);}$$

$$\psi = 0,40 \text{ (momentaan).}$$

Bij een overspanning van 6 meter betekent dit een veranderlijke belasting van $3 \text{ m} * 1,75 \text{ kN/m}^2 = \underline{5,25 \text{ kN/m}^1}$ op de wanden.

Deze waarden gelden tevens voor de vloer van de zolder, aangezien deze middels een vaste trap te bereiken is.

Daken

Bij een dakhelling $\alpha \geq 20^\circ$ geldt:

$$p_{\text{rep}} = 0 \text{ kN/m}^2 \text{ en}$$

$$\psi = 0.$$

SNEEUWBELASTING

Volgens NEN 6702 kan de sneeuwbelasting berekend worden volgens de formule:

$$P_{\text{rep}} = c_f * P_{\text{sn}; \text{rep}}$$

$$\psi = 0$$

Als ik uitga van een soortelijk gewicht van sneeuw van $2,0 \text{ kN/m}^3$ en een laag van ongeveer 350 mm dik, dan geldt voor $P_{\text{sn}; \text{rep}}$ een waarde van $0,7 \text{ kN/m}^2$.

c_f is de sneeuwvormfactor en voor de referentiewoning met een dakhelling van 45° geldt hiervoor:

$$c_{f1} = 0,4 \text{ en } c_{f2} = 0,6$$

Dit betekent dat de sneeuwbelasting wordt:

$$P_{\text{rep};1} = 0,4 * 0,7 = 0,28 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{\text{rep};2} = 0,6 * 0,7 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

De maximale belasting door sneeuw is dan $\sqrt{3^2 + 3^2} \text{ m} * 0,42 \text{ kN/m}^2 = \underline{1,78 \text{ kN/m}^1}$.

WINDBELASTING

De windbelasting moet als volgt worden bepaald:

$$p_{rep} = C_{dim} \cdot C_{index} \cdot C_{eq} \cdot \varphi_1 \cdot p_w$$

$$F_{index} = A \cdot p_{rep}$$

Waarin:

p_{rep}	is de windbelasting door winddruk, windzuiging, windwrijving en over- of onderdruk, in kN/m^2 ;
C_{dim}	is een factor die de afmetingen van een bouwwerk in rekening brengt;
C_{index}	zijn de windvormfactoren; deze kunnen zijn: C_{pe} voor externe druk of zuiging op vlakken; $C_{pe;loc}$ voor lokale situaties in vlakken; C_{pi} voor interne over- of onderdruk; C_f voor wrijving; C_t voor een combinatie van voornoemde vormfactoren op een zodanige wijze dat de totale windbelasting als een geheel wordt beschouwd.
C_{eq}	is een drukvereffeningsfactor;
φ_1	is de vergrotingsfactor die de dynamische invloed van wind in de windrichting op het bouwwerk in rekening brengt.
p_w	is de extreme waarde van de stuwdruk, in kN/m^2 ;
F_{index}	is de representatieve waarde van de windkracht op een oppervlak;
A	is de beschouwde oppervlakte waarop de windbelasting werkt, in m^2 .

C_{dim}

C_{dim} is een dimensieloze factor, die tot uitdrukking brengt dat extreme windvlagen niet tegelijkertijd over een groter oppervlakte zullen optreden. Deze waarde reduceert de optredende belasting en is dus kleiner of gelijk aan 1. Tevens is deze factor afhankelijk van de hoogte en breedte van het beschouwde gebouw.

Voor de referentiewoning met een breedte van 12,4 meter (breedte van twee huizen) en een hoogte van 10,4 meter, geldt voor C_{dim} een waarde van 0,9452.

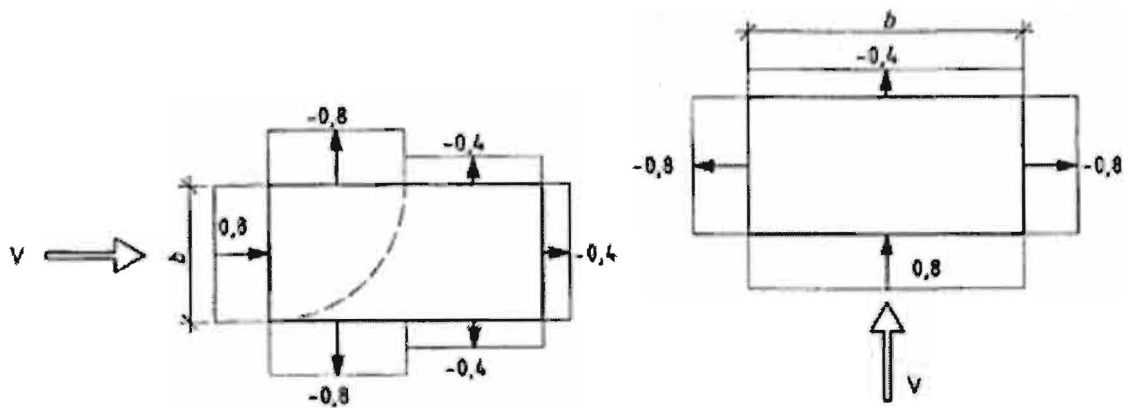
Windvormfactor C_{index}

In bovenstaande formule is C_{index} de windvormfactor. Deze factoren zijn afhankelijk van de geometrie van het gebouw.

Volgens NEN 6702 kunnen verschillende windvormfactoren worden gedefinieerd voor onder andere gevels, daken en luifels, windwrijving en interne wind over- en onderdruk.

Tevens maakt deze norm een onderscheid tussen globale en lokale windvormfactoren, waarbij de globale windvormfactoren gelden voor de bouwconstructie als geheel en de lokale windvormfactoren worden gedefinieerd om rekening te kunnen houden met het optreden van lokaal aerodynamisch ongunstige zones.

Voor deze ontwerpberekening zal alleen worden uitgegaan van de globale windvormfactoren, waarvan in Figuur 1.3.1 een overzicht is gegeven.



FIGUUR 1.3.1 WINDVORMFACTOREN VOOR GEVELS VAN GEBOUWEN MET EEN RECHTHOEKIGE PLATTEGROND

BRON: WWW.BRISWARENHUIS.NL

Voor hellende daken met een hellingshoek van 45° , zoals bij de referentiewoning gelden voor C_{pe1} en C_{pe2} waarden van respectievelijk 0,70 en -0,40.

Drukvereffeningsfactor C_{eq}

Door de grote luchtdoorlatendheid van een laag, zal niet de gehele windbelasting op de betreffende laag werken. Dit wordt in rekening gebracht middels de drukvereffeningsfactor. Deze factor zal door middel van onderzoek moeten worden bepaald of wanneer er geen resultaten bekend zijn, moet de waarde op 1 worden gesteld.

φ_1

Aangezien de woningen niet boven de 50 meter hoogte uitkomen en de hoogte breedte verhouding kleiner is dan 5, is $\varphi_1 = 1,0$.

Stuwdruk p_w

De stuwdruk van de wind is afhankelijk van de hoogte van de woningen, of de woningen in bebouwd of onbebouwd gebied staat en waar in Nederland ze staan. Aangezien de woningen een hoogte hebben van totaal 10 meter en in Roosendaal (Gebied III) in een bebouwd gebied staan, kan voor de stuwdruk een waarde van 0,50 aangenomen worden.

Dit betekent voor de windbelasting op de daken:

$$p_{rep;1} = 0,9452 * 0,70 * 1,0 * 1,0 * 0,50 = 0,33 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{rep;2} = 0,9452 * -0,40 * 1,0 * 1,0 * 0,50 = -0,19 \text{ kN/m}^2$$

Het geval van zuiging op het dakvlak zal niet maatgevend zijn voor de berekening van de maximale belasting op de wand. Bij de verdere detaillering moet er wel rekening gehouden worden met eventueel trek in de verbindingen.

De maximale belasting door wind op de wand is dan $\sqrt{3^2 + 3^2} \text{ m} * 0,33 \text{ kN/m}^2 = \underline{1,40 \text{ kN/m}^1}$.

1.4. BELASTINGCOMBINATIES

Om met voldoende betrouwbaarheid te kunnen garanderen dat de constructie voldoende bestand is tegen de daarop werkende krachten, moeten de ongunstigste combinaties van belastingen die gelijktijdig kunnen optreden worden beschouwd.

In Tabel 1.4.1 is een overzicht gegeven van de belastingen, de belastingfactoren en de momentaanfactoren.

Overzicht belastingen en belastingfactoren

TABEL 1.4.1 OVERZICHT BELASTINGEN EN FACTOREN

Onderdeel	Belasting	Belastingfactor UT	Momentaanfactor
Permanente Belasting	32,21 kN/m ¹	1,2 / 1,35	
Veranderlijke Belasting		1,3	
Personen e.d.	5,25 kN/m ¹		0,4
Sneeuw	1,78 kN/m ¹		0
Wind	1,40 kN/m ¹		0

UITERSTE GRENSTOESTAND

- Fundamentele combinaties

Uit Tabel 1.4.1 is af te lezen dat de maximale veranderlijke belasting op de wand veroorzaakt wordt door de veranderlijke belasting op de vloeren. Volgens NEN 6702 moet de extreme waarde van de veranderlijke belasting op een vloer berekend worden en op de overige vloeren de momentane belasting. Hierbij ga ik ervan uit dat de belasting uit de begane grond vloer eveneens wordt overgedragen op de wand.

- $$F_{\Sigma f;u;d} = 1,2 * 32,21 \text{ kN/m} + 1,3 * 5,25 \text{ kN/m} + 2 * 1,3 * 0,4 * 5,25 \text{ kN/m} = 50,94 \text{ kN/m}$$
- $$F_{\Sigma f;u;d} = Y_{f;g;u} * G_{rep}$$

$$F_{\Sigma f;u;d} = 1,35 * 32,21 \text{ kN/m} = 43,48 \text{ kN/m}$$

Om een eventueel benodigde reserve te creëren, neem ik als rekenwaarde van de fundamentele belastingcombinatie een belasting van 55,0 kN/m¹.

BRUIKBAARHEIDSGRENSTOESTAND

- Incidentele combinaties

Als incidentele combinaties moet volgens de norm worden beschouwd:

- $$F_{\Sigma inc;ser;d} = Y_{f;g;ser} * G_{rep} + Y_{f;g;ser} * \psi_t * Q_{1;rep} + \sum_{i \geq 2}^n Y_{f;q;ser} * \psi_i * Q_{i;rep}$$

$$F_{\Sigma inc;ser;d} = 1,0 * 32,21 \text{ kN/m} + 1,0 * 3 * 5,25 \text{ kN/m} = 47,96 \text{ kN/m}$$

- Momentane combinaties

Als momentane combinaties voor bruikbaarheidsgrenstoestanden moet zijn beschouwd:

$$5. \quad F_{\Sigma \text{mom}; \text{ser}; \text{d}} = Y_{\text{f}; \text{g}; \text{ser}} * G_{\text{rep}} + \sum_{i \geq 1}^n Y_{\text{f}; \text{q}; \text{ser}} * \psi_k * \psi_i * Q_{i; \text{rep}}$$

$$F_{\Sigma \text{mom}; \text{ser}; \text{d}} = 1,0 * 32,21 + 1,0 * 0,4 * 3 * 5,25 = 38,51 \text{ kN/m}^1$$

Om een eventueel benodigde reserve te creëren, neem ik als rekenwaarde van de incidentele belastingcombinatie een belasting van **50,0 kN/m¹**.

2. TOETSING WANDELEMENT

2.1. ALGEMEEN

Uit voorgaande proeven en berekening is gebleken dat de lijmverbinding niet voldoende contactvlak over de breedte van de stijl had.

Voor de breedte van de stijl, kies ik daarom een waarde van 60 mm. De hoogte blijft gelijk op 30 mm.

Voor de bepaling van de maximale toelaatbare belasting gaan we uit van een sterkteklasse van C24 van het hout. De stijlen hebben hierdoor de volgende eigenschappen:

TABEL 2.1.1

Grootheid	Symbol	Waarde	Eenheid
buigsterkte	$f_{m;0;rep}$	24	N/mm ²
volumieke massa	ρ_{rep}	350	kg/m ³
treksterkte (evenwijdig)	$f_{t;0;rep}$	14	N/mm ²
treksterkte (loodrecht)	$f_{t;90;rep}$	0,5	N/mm ²
druksterkte (evenwijdig)	$f_{c;0;rep}$	21	N/mm ²
druksterkte (loodrecht)	$f_{c;90;rep}$	2,5	N/mm ²
schuifsterkte	$f_{v;0;rep}$	2,5	N/mm ²
elasticiteitsmodulus in de bruikbaarheidsgrenstoestand	$E_{0;ser;rep}$	11	kN/mm ²
elasticiteitsmodulus in de uiterste grenstoestand	$E_{0;u;rep}$	7,4	kN/mm ²
elasticiteitsmodulus	$E_{90;ser;rep}$	0,37	kN/mm ²
afschuivingmodulus	$G_{ser;rep}$	0,69	kN/mm ²
breedte	b	60	mm ¹
hoogte	h	30	mm ¹
I_y (zie onder)	I	16.672500	mm ⁴
W_y (zie onder)	W	162.000	mm ³

I_y en W_y

$$I_{eigen} = 1/12 * 60 \text{ mm} * 30^3 \text{ mm}^3 = 135.000 \text{ mm}^4$$

$$I_{totaal} = 2 * (I_{eigen} + Z_{eigen}^2 * A_{eigen}) = 2 * (135.000 \text{ mm}^4 + 67,5^2 \text{ mm}^2 * 30 \text{ mm} * 60 \text{ mm}) = 16.672500 \text{ mm}^4 = 16,67 * 10^6 \text{ m}^4$$

$$W_{totaal} = 1/6 * 60 * 165^2 - (1/6 * 60 * 105^2) = 162.000 \text{ mm}^3 = 1,62 * 10^7 \text{ m}^4$$

2.2. TOETSING STERKTE

Om te controleren of het wandelement voldoet aan de in het Bouwbesluit gestelde eis, dat de constructie voldoende bestand is tegen de daarop werkende krachten, beschouwen we de uiterste grenstoestand. Hierbij ga ik uit van de verticale belastingen die op het wandelement werken, zoals nagebootst in de proeven.

Het Bouwbesluit schrijft voor dat het niet overschrijden van een uiterste grenstoestand (BB, artikel 2.2) moet worden bepaald volgens NEN 6760 voor hout.

Hierbij zijn twee bezwijkvormen te onderscheiden; op de eerste plaats kan het wandelement bezwijken door knik uit het vlak en ten tweede kan het wandelement bezwijken door overschrijding van de druksterkte. In het eerste geval zal de maximaal toelaatbare belasting kleiner zijn dan in het tweede geval en ik houd dan ook knik aan als maatgevende bezwijkvorm.

TOELAATBARE BELASTING

De maximale opneembare belasting bij knik kan volgens NEN 6760 Houtconstructies berekend worden. Hierbij komt een aantal factoren in de formules voor, die ik hieronder verder toelicht.

Factor k_{com}

De factor voor de rekenwaarde van de druksterkte bij knik, heet k_{com} . Deze factor, die altijd gelijk of kleiner is dan 1,0, brengt de slankheid (λ_y) en hiermee de kans op bezwijken op knik in rekening. Hierbij komen de factoren $k_{E,y}$ (de knikfactor om de y -as), η_y en ξ_y (rekengrootheid) in de formules voor.

Hoogte factor k_h

Indien er trekspanningen evenwijdig aan de houtvezel bij het bezwijken optreden, moet de hoogtefactor k_h in rekening gebracht worden. Omdat het hout hier voornamelijk op druk wordt belast, geldt voor k_h een waarde van 1,0.

Modificatiefactor k_{mod}

De in rekening te brengen modificatiefactor bij de controle van de uiterste grenstostanden is afhankelijk van de zogenaamde klimaatklasse waarin het hout wordt toegepast en de zogenaamde belastingduurklasse waartoe de kortst durende belasting behoort.

Met deze factor wordt de relatie tussen het gedrag van hout en de belastingduur en de klimatologische invloeden in rekening gebracht. Voor de belastingduurklasse geldt dat de kortst durende belasting in rekening gebracht moet worden, dit betekent dat als er extreme waarden van de veranderlijke belastingen voorkomen, wat vrijwel altijd het geval is, de modificatiefactor behorende bij belastingduurklasse III moet worden genomen.

Dit betekent dat ik met betrekking tot de wandelementen uitga van een belastingduurklasse III (kort) en een klimaatklasse I (droog).

Volgens NEN 6760 kan voor de modificatiefactor een waarde gevonden worden van 0,85 in de uiterste grenstoestand en een waarde van 1,00 voor de bruikbaarheidsgrenstoestand.

Materiaalfactor γ_m

Voor de factor γ_m geldt voor het materiaal hout een waarde van $\gamma_m = 1,2$ in de uiterste grenstoestand en een waarde van $\gamma_m = 1,0$ in de bruikbaarheidsgrenstoestand

Berekening

$$r_y = \frac{W_y}{A} \qquad r_y = \frac{162.000 \text{ mm}^3}{2 * 30 * 60 \text{ mm}^2} = 45 \text{ mm}^1$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \qquad i_y = \sqrt{\frac{16.672.500 \text{ mm}^4}{2 * 30 * 60 \text{ mm}^2}} = 68,05 \text{ mm}^1$$

$$\eta_y = \frac{i_y}{300 * r_y} \qquad \eta_y = \frac{68,05 \text{ mm}^1}{300 * 45 \text{ mm}^1} = 0,00504$$

$$\lambda_y = \frac{l_{buc;y}}{i_y} \qquad \lambda_y = \frac{2800 \text{ mm}^1}{68,05 \text{ mm}^1} = 41,14$$

$$k_{E;y} = \frac{\pi^2 * E_{0;u;rep}}{\lambda^2 * f_{c;0;rep}} \qquad k_{E;y} = \frac{\pi^2 * 7400 \text{ N/mm}^2}{41,14^2 * 21 \text{ N/mm}^2} = 2,05$$

$$\xi = 1 + \left[1 + \eta_y * \lambda_y * (1 + 20 * \eta_y) * \frac{f_{c;0;rep}}{f_{m;0;rep}} \right] * \frac{k_{E;y}}{1 + 20 * \eta_y}$$

$$\xi = 1 + \left[1 + 0,00504 * 41,14 * (1 + 20 * 0,00504) * \frac{21 \text{ N/mm}^2}{24 \text{ N/mm}^2} \right] *$$

$$\frac{2,05}{1 + 20 * 0,00504} = 3,24$$

$$k_{com} = 0,5 * (1 + 20 * \eta_z) * \left(\xi - \sqrt{\xi^2 - \frac{4 * k_{E;z}}{1 + 20 * \eta_z}} \right)$$

$$k_{com} = 0,5 * (1 + 20 * 0,00504) * \left(3,24 - \sqrt{3,24^2 - \frac{4 * 2,05}{1 + 20 * 0,00504}} \right) = 0,825$$

$$f_{c;0;d} = \frac{f_{c;0;rep}}{\gamma_m} * k_{mod} * k_h \qquad f_{c;0;d} = \frac{21 \text{ N/mm}^2}{1,2} * 0,85 * 1,0 = 14,88 \text{ N/mm}^2$$

A is de oppervlakte van de doorsnede van de stijl, in mm^2 ;

$E_{0;u;rep}$ is de representatieve waarde van de elasticiteitsmodulus, in N/mm^2 ;

I_y is het kwadratisch oppervlaktemoment om de y-as, in mm^4 ;

W_y is het weerstandsmoment om de y-as, in mm^3 ;

- $f_{c;0;rep}$ is de representatieve waarde van de druksterkte, in N/mm^2 ;
 $f_{m;0;rep}$ is de representatieve waarde van de buigsterkte, in N/mm^2 ;
 γ_m is de materiaalfactor;
 I_y is de oppervlaktemomentarm van de doorsnede om de y-as in mm^4 ;
 r_y is de weerstandsmomentarm van de doorsnede om de z-as, bepaald volgens vergelijking (70c), in mm;
 $k_{E;z}$ is de knikfactor om de z-as, bepaald volgens NEN 6760 (11.14.5.2);
 η_y is een factor die wordt bepaald volgens NEN 6760 (11.14.5.4);
 λ_y is de slankheid van het onderdeel, bepaald volgens de elasticiteitstheorie;
 ξ_y is een rekengrootheid die is bepaald volgens NEN 6760 (11.15.2).

Om de maximaal toelaatbare belasting per strekkende meter te vinden moet we berekenen hoeveel stijlen er per strekkende meter meewerken. De hart op hart afstand van de stijlen is 370 mm, dit betekent dat er $1000 \text{ mm} / 370 \text{ mm} = 2,70$ stijlen per meter meewerken

$$F = k_{com} * f_{c;0;d} * A_{stijl}$$

$$F = 0,825 * 14,88 \text{ N/mm}^2 * 2,70 * 2 * 30 * 60 \text{ mm}^2 = 119,3 \text{ kN} = \underline{119,3 \text{ kN/m}^1}$$

Per stijl kan er een kracht van 44,2 kN worden opgenomen.

2.3. CONCLUSIE

De afmetingen van de stijlen van $30 * 60 \text{ mm}^2$ zijn ruim voldoende om de maximale optredende belasting van 55 kN/m^1 op te nemen. Per strekkende meter, bij een hart op hart afstand van 371 mm, kan er namelijk een totale belasting van 119,3 kN opgenomen worden. Dit betekent per stijl een maximale draagkracht van 44,2 kN.

BIJLAGE 04



BOUWFYSICA - WARMTE

3.

4.

INHOUDSOPGAVE

1.	BOUWFYSICA – WARMTE	97
1.1.	WARMTE-ISOLATIE DOORSNEDE	97
	<i>Gemiddelde warmteisolatie van de samengestelde constructie</i>	97
	<i>Doorsnede tussen de stijlen</i>	103

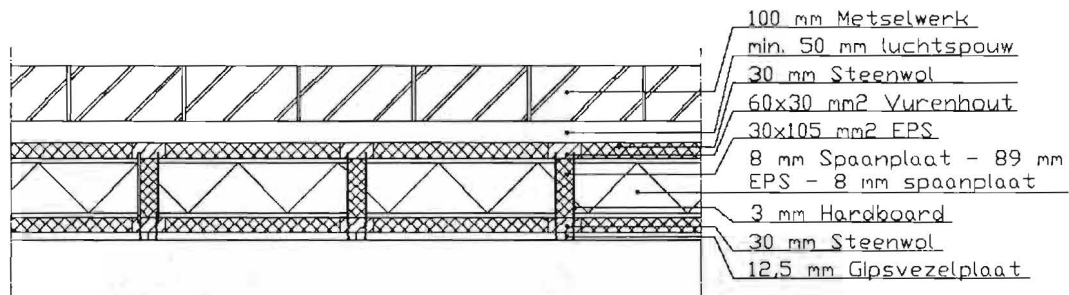
1. BOUWFYSICA – WARMTE

1.1. WARMTE-ISOLATIE DOORSNEDE

In Figuur 1.1.1 is te zien hoe de doorsnede van het laatste ontwerp van het wandelement eruit ziet. Hieruit valt ook te concluderen dat voor de warmtetechnische berekening een splitsing gemaakt moet worden tussen de doorsnede ter plaatse van de stijlen en de doorsnede tussen deze stijlen.

Hierbij is tevens aangenomen dat de buitenkant afgewerkt wordt door een gemetselde wand en dat hierdoor een luchtlaag ontstaat van minimaal 25 mm en dat de binnenkant afgewerkt wordt met een gipsvezelplaat cq. gipskartonplaat. Bij de berekeningen is tevens uitgegaan van een afwerking van 10 mm.

Hieronder zullen voor beide doorsnede de warmte-isolatie verder uitgewerkt worden.

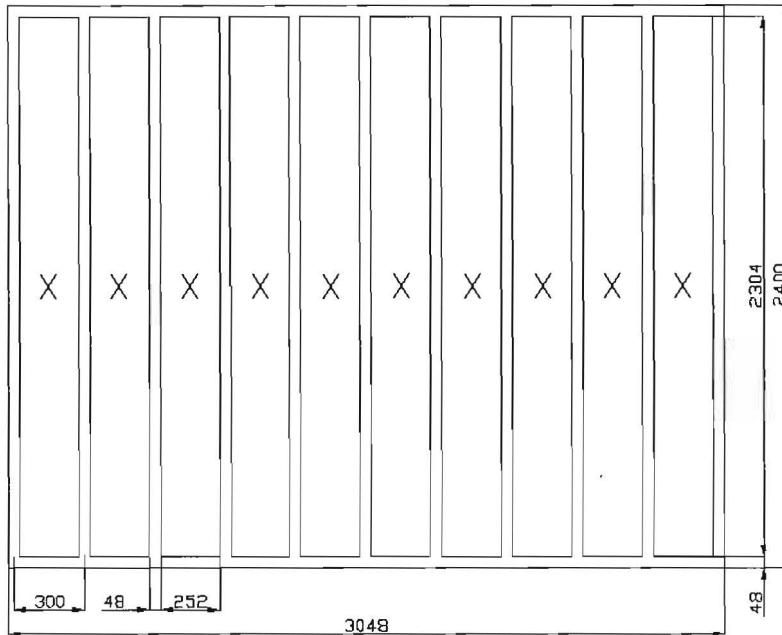


FIGUUR 1.1.1 DOORSNEDE VAN HET WANDELEMENT ALS ONDERDEEL VAN DE BUITENGEVEL

GEMIDDELDE WARMTEISOLATIE VAN DE SAMENGESTELDE CONSTRUCTIE

Om een uitspraak te doen over de warmteweerstand van de samengestelde constructie, dus bestaande uit de stijlen en de panelen hiertussen, kijken we hieronder naar de totale constructie.

Hierbij is tevens gekeken hoeveel invloed de hart op hart afstand van invloed is op de warmteweerstand. Het blijkt dan dat het verschil tussen een hart op hart afstand van 300 of 400 mm, niet meer dan een verschil van 2 tiende oplevert.



FIGUUR 1.1.2 SAMENGESTELDE CONSTRUCTIE

We gaan hierbij uit van een totale breedte van 3048 mm, een hoogte van 2400 mm en een hart op hart afstand van de stijlen van 300 mm. (Figuur 1.1.2)

Oppervlakte verschillende secties

De oppervlakte van de totale constructie $A_{con} = 3,05 \times 2,40 = 7,20 \text{ m}^2$.

De oppervlakte van sectie a (panelen) $A_a = 10 \times \text{vlak X} = 10 \times (0,252 \times 2,304) = 5,81 \text{ m}^2$

De oppervlakte van sectie b (stijlen) $A_b = A_{con} - A_a = 7,20 - 5,81 = 1,39 \text{ m}^2$

Bepaal U_a en U_b

Uit de volgende paragrafen blijkt dat:

$$R_a = 3,88 \text{ (4,96)}$$

$$R_b = 4,36$$

De warmteweerstand U kan dan volgens de volgende formule berekend worden:

$$U_a = \frac{1}{R_c + R_{si} + R_{se}} = \frac{1}{3,88 \text{ (4,438)} + 0,13 + 0,04} = 0,247 \text{ (0,195) W/ (m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$U_b = \frac{1}{R_c + R_{si} + R_{se}} = \frac{1}{4,36 + 0,13 + 0,04} = 0,221 \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{K)}$$

Bepaal R'

$$R' = \frac{A_{con}}{A_a \cdot U_a + A_b \cdot U_b} = \frac{7,20}{5,81 \cdot 0,247 + 1,39 \cdot 0,221} = 4,13 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

(5,001)

Bepaal λ''

Omdat de opbouw van de stijlen en de panelen op hun beurt ook weer bestaan uit verschillende materialen, moeten we een uitspraak doen over de λ van deze samengestelde doorsneden.

Ik neem hierbij een gemiddelde λ aan, berekend volgens de formule:

$$R_c = \frac{d}{\lambda} \text{ en dus } \lambda = \frac{d}{R_c}$$

Hierbij moet wel voor R_c de waarde ingevuld worden die beide doorsneden niet overeen komen. In voorgaande paragraaf is het metselwerk aan de buitenzijde en de gipsplaat aan de binnenzijde bijvoorbeeld wel meegenomen. Ook de luchtlaag die ontstaat door toepassing van de houten stijlen wordt bij het paneel niet meegenomen. Zonder deze gemeenschappelijke elementen worden R_c :

$$R_{c; a} = 3,70 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W (4,438)}$$

$$R_{c; b} = 3,92 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$\lambda_a = \frac{d_a}{R_{c; a}} = \frac{0,165}{3,70} = 0,0446 \text{ W/(m} \cdot \text{K) (0,0372)}$$

$$\lambda_b = \frac{d_b}{R_{c; b}} = \frac{0,165}{3,92} = 0,0421 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$\lambda''_{\text{stijlen/panelen}} = \frac{\lambda_a \cdot A_a + \lambda_b \cdot A_b}{A_{\text{con}}} = \frac{0,0446 \cdot 5,81 + 0,0421 \cdot 1,39}{7,20} = 0,0441 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

(0,0381)

$$\lambda''_{\text{gipsplaat}} = \lambda''_{\text{reken; gipsplaat}} = 0,23 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Bepaal R''

$\sum \frac{d_j}{\lambda''_j} \text{ [(m}^2 \cdot \text{K)/ W]}$	d [mm]	$\lambda'' \text{ [W/(m} \cdot \text{K)]}$	$\frac{d}{\lambda''} \text{ [(m}^2 \cdot \text{K) / W]}$
Gipsplaat/gipsvezelplaat	10	0,23	0,043
Stijlen/panelen	165	0,0441 (0,0381)	3,741 (4,327)
Luchtspouw	25		0,180
Metselwerk	100	0,7	0,143
		$\Sigma R_m =$	3,96 (4,55) zonder metselwerk
		$\Sigma R_m =$	4,11 (4,69) met metselwerk

$$R'' = \frac{\sum \left(\frac{d_j}{\lambda''_j} \right) + R_{si} + R_{se}}{1 + \alpha} - R_{si} - R_{se} = \frac{3,96(4,11) + 0,13 + 0,04}{1 + 0,02} - 0,13 - 0,04 =$$

$$3,88(4,03) \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$$

$$4,63 \text{ (4,76)}$$

Bepaal weegfactor a'

Controle formule:

$$R' < 1,05 * (R'' + R_{si} + R_{se})$$

$$4,13 < 1,05 * (3,88 (4,03) + 0,13 + 0,04)$$

$$4,13 < 4,25 (4,41) \rightarrow \text{dus } a' = 0$$

$$(5,001 < 5,04 (5,18))$$

Bepaal R_c

$$R_c = \frac{a' * R' + R_{si} + R_{se} + R''}{1 + 1,05 * a'} - R_{si} - R_{se}$$

$$= \frac{0 * 4,13 + 0,13 + 0,04 + 3,88(4,03)}{1 + 1,05 * 0} - 0,13 - 0,04 = 3,88 (4,03) (m^2 * K) / W$$

$$4,63 (4,76)$$

Bepaal U

$$U = \frac{1}{R_c + R_{si} + R_{se}} = \frac{1}{3,88 (4,03) + 0,13 + 0,04} = 0,247 (0,238) W / (m^2 * K)$$

CONCLUSIE

Volgens bovenstaande berekening is de gemiddelde isolatiewaarde van het wandpaneel 3,88 (m²*K)/W zonder toepassing van enige buitenafwerking met 4,03 (m²*K)/W bij toepassing van een standaard gemetselde wand. Uitgaande van de variabele maatregelen van het Pakket Duurzaam Bouwen, voldoet de doorsnede zonder buitenafwerking dus niet aan de gestelde eis van een minimum van 4,0 (m²*K)/W.

Echter voldoet het wandpaneel wel aan de eisen in combinatie met een standaard gemetselde wand. Tevens voldoen beiden aan de eisen gesteld in het Bouwbesluit.

Eventueel kan er een extra laag minerale wol toegepast worden aan de zijde van de buitenafwerking, waardoor de doorsnede geheel aan de eisen van het Pakket Duurzaam Bouwen zal voldoen. De isolatiewaarde is dan 4,63 (m²*K)/W, zonder toepassing van enige buitenafwerking.

DOORSNEDE TER PLAATSE VAN DE STIJLEN

Opbouw

De doorsnede ter plaatse van de stijlen is van binnen naar buiten gezien opgebouwd uit achtereenvolgend de volgende materialen:

- Gipsvezelplaat van 12,5 mm dik
- Houten stijl met een dikte van 30 mm
- EPS van 105 mm dik
- Vervolgens nogmaals een vurenhouten stijl van 30 mm dik
- Een luchtlaag van 25 mm
- Ten slotte een gemetselde wand van 100 mm dik

Warmte-isolatie verschillende materialen

De eigenschappen met betrekking tot de warmte-isolatie van deze doorsnede zijn:

Materiaal	Dikte d [mm]	Warmtegeleidingscoëfficiënt λ [W(m*K)]
Gipsplaat/ gipsvezelplaat	12,5	0,23
Vurenhouten stijl	30	0,14
EPS	105	0,03
Metselwerk	100	0,70

De warmte-isolatie van de verschillende materialen is te berekenen met de formule

$$R_m = \frac{d}{\lambda} [(m^2*K)/W]$$

Voor de verschillende materialen heeft dit de volgende waarden tot gevolg

Materiaal	Warmte-isolatie	[(m ² * K)/W]
Gipsplaat/ gipsvezelplaat	0,01 / 0,23 =	0,04
Vurenhouten stijl	0,03 / 0,14 =	0,21
EPS	0,105 / 0,03 =	3,50
Luchtlaag		0,18
Metselwerk	0,10 / 0,7 =	0,14

Warmte-isolatie doorsnede

De totale warmte-isolatie van de gehele doorsnede valt te berekenen met de formule

$$R_c = \left(\frac{\sum R_m + R_{si} + R_{se}}{1 + \alpha} \right) - R_{si} - R_{se}$$

Als we uitgaan van de gevel, grenzend aan de buitenlucht, dan gelden voor R_{si} en R_{se} waarden van resp. 0,13 en 0,04.

Voor α geldt een waarde van 0,02 (ervan uit gaande dat de kwaliteit te vergelijken is met prefabricage).

$$R_c = \frac{(0,04 + 0,21 + 3,50 + 0,21 + 0,18 + 0,14) + 0,13 + 0,04}{1 + 0,02} - 0,13 - 0,04$$
$$= 4,36 \text{ m}^2\text{K/W}$$

CONCLUSIE

De R_c waarde van de doorsnede ter plaatse van de stijlen, voldoet aan de aan het begin van deze paragraaf gestelde eis van minimaal $4,0 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Toch kunnen er weinig verdere conclusies aan verbonden worden, omdat deze doorsnede maar een zeer klein deel van het totale wandelement beslaat.

DOORSNEDE TUSSEN DE STIJLEN

Opbouw

De doorsnede tussen de stijlen is van binnen naar buiten gezien opgebouwd uit achtereenvolgend de volgende materialen:

- Gipsplaat cq. gipsvezelplaat 10 mm dik
- Minerale wol 30 mm
- Spaanplaat 8 mm
- EPS 89 mm
- Spaanplaat 8 mm
- Luchtlaag 25 + 30 = 55 mm
- Metselwerk 100 mm

Warmte-isolatie verschillende materialen

De eigenschappen met betrekking tot de warmte-isolatie van deze doorsnede zijn:

Materiaal	Dikte d [mm]	Warmtegeleidingscoëfficiënt λ [W(m*K)]
Gipsplaat/ gipsvezelplaat	10	0,23
Minerale wol	30	0,04
Spaanplaat	8	0,30
EPS	89	0,03
Metselwerk	100	0,70

De warmte-isolatie van de verschillende materialen is te berekenen met de formule

$$R_m = \frac{d}{\lambda} [(m^2*K)/W]$$

Voor de verschillende materialen heeft dit de volgende waarden tot gevolg

Materiaal	Warmte-isolatie	$[(m^2 * K)/W]$
Gipsplaat/ gipsvezelplaat	0,01 / 0,23 =	0,04
Minerale wol	0,03 / 0,04 =	0,75
Spaanplaat	0,008 / 0,30 =	0,03
EPS	0,089 / 0,03 =	2,97
Luchtlaag		0,18
Metselwerk	0,10 / 0,7 =	0,14

Warmte-isolatie doorsnede

De totale warmte-isolatie van de gehele doorsnede valt te berekenen met de formule

$$R_c = \left(\frac{\sum R_m + R_{sl} + R_{se}}{1 + \alpha} \right) - R_{sl} - R_{se}$$

Als we uitgaan van de gevel, grenzend aan de buitenlucht, dan gelden voor R_{sl} en R_{se} waarden van resp. 0,13 en 0,04.

Voor α geldt een waarde van 0,02.

$$R_c = \frac{(0,04 + 0,75 + 0,03 + 2,97 + 0,03 + 0,18 + 0,14) + 0,13 + 0,04}{1 + 0,02} - 0,13 - 0,04$$
$$= 3,88 \text{ m}^2\text{K/W}$$

CONCLUSIE

De doorsnede, waaruit het wandelement voornamelijk uit bestaat, voldoet niet aan de variabele maatregel van Het Pakket Duurzaam Bouwen, welke een isolatiewaarde van minimaal 4,0 m²K/W stelt.

Om een uitspraak te kunnen doen over de totale samenstelling van het wandelement, is het tevens nodig deze totale opbouw te beschouwen. Dit zal dan ook gedaan worden in de volgende paragraaf.

BIJLAGE 05



BOUWFYSICA – GELUID SIMULATIES BASLAB

luchtgeluid

1. contactgeluid

2.

BOUWKUNDE 7A

BRON:

Jelena

INHOUDSOPGAVE

1.	BOUWFYSICA – GELUID	107
1.1.	ALGEMEEN	107
1.2.	SIMULATIE BASLAB	107
	<i>Verschillende dikten EPS</i>	<i>107</i>
	<i>EPS met Spaanplaat (SP)</i>	<i>108</i>
	<i>Verschillende dikten Gipskarton (GK)</i>	<i>109</i>
	<i>EPS met Spaanplaat, Minerale wol (MW) en Gipskartonplaat</i>	<i>110</i>
1.3.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	113
	<i>Conclusies</i>	<i>113</i>
	<i>Aanbevelingen</i>	<i>113</i>

1. BOUWFYSICA – GELUID

1.1. ALGEMEEN

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de geluidwering tussen ruimten. De volgens NEN 5077 bepaalde karakteristieke isolatie-index voor lucht- en contactgeluid voor de geluidoverdracht van een verblijfsruimte naar een andere verblijfsruimte van dezelfde woonfunctie moet namelijk minstens -20 dB zijn.

Tevens stelt het Bouwbesluit een eis aan twee naast elkaar gelegen woonfunctie op twee verschillende percelen. Hierbij moet de karakteristieke luchtgeluidisolatie $I_{l,u;k}$ minimaal 0 zijn.

Omdat de bepalingmethoden voor de isolatie-indices alleen een meetmethode omvat en omdat de bepaling van de geluidwering van een uitwendige scheidingsconstructie zeer ingewikkeld is, is de bepaling van de luchtgeluidisolatie van het wandelement met behulp van het programma Baslab en door middel van experimenteel onderzoek uitgevoerd. In deze bijlage zal een samenvatting gegeven worden van de simulaties en hieruit zullen vervolgens conclusies getrokken worden.

1.2. SIMULATIE BASLAB

Om een gevoel te krijgen welke materialen bijdragen in de geluidwering en in welk frequentiegebied deze materialen het effectiefste zijn, is er een aantal simulaties met BASLab uitgevoerd.

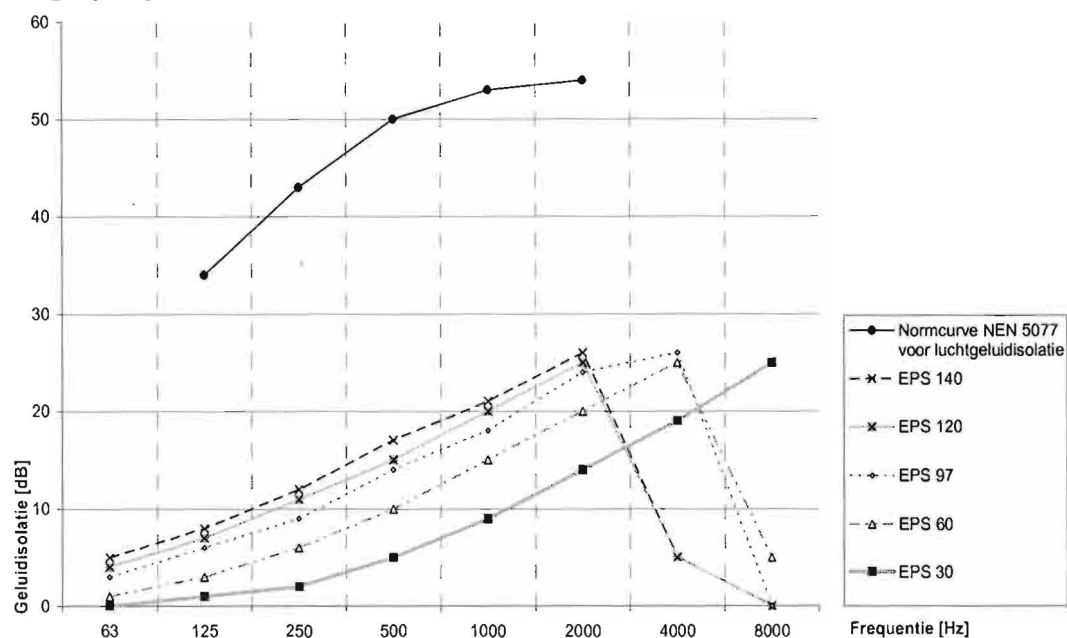
Hierbij is een aantal grootheden van belang:

$I_{l,u;lab}$	Isolatie-index van luchtgeluid
R	Geluidisolatie per octaaf/tertsband in dB
R_w	1-getal-aanduiding volgens ISO 717/1 (Normcurve) (dB)
R_A	1-getal-aanduiding gewogen aan referentiespectrum van burenlawaai (dB0)

VERSCHILLENDE DIKTEN EPS

Ten eerste is er gekeken naar het effect van EPS op de geluidisolatie. In Figuur 1.2.1 en Tabel 1.2.1 komt dit duidelijk naar voren.

Vergelijking Verschillende dikten EPS



FIGUUR 1.2.1 VERGELIJKING VERSCHILLENDE DIKTES EPS

TABEL 1.2.1 VERGELIJKING VERSCHILLENDE DIKTES EPS

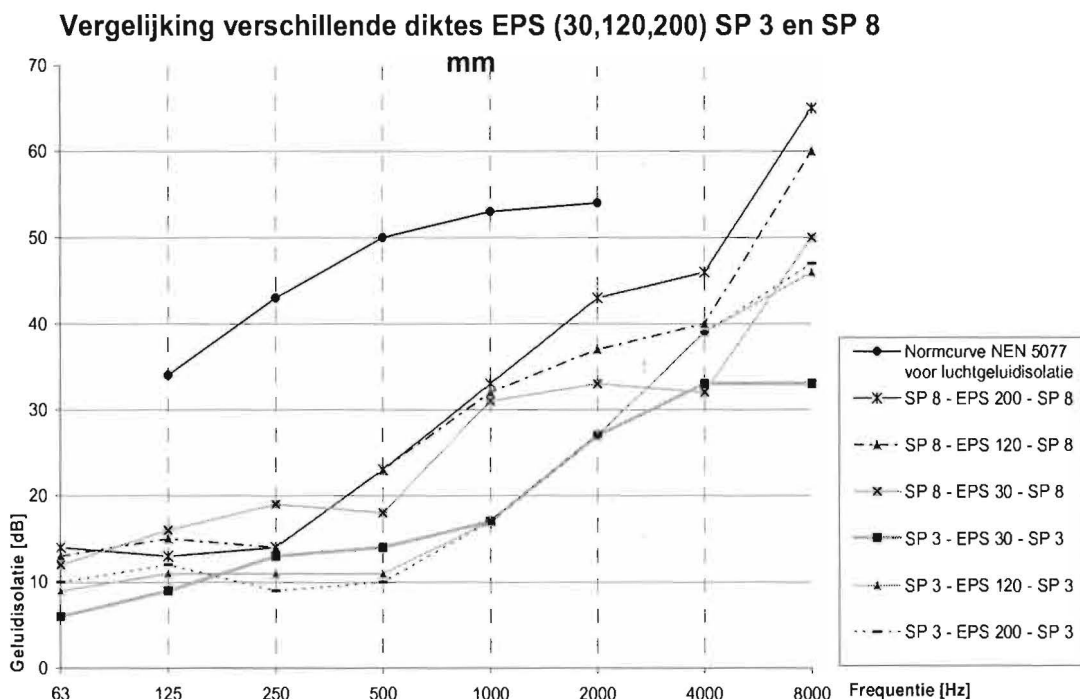
	M kg/m ³	Frequentie (Hz)									I _{lu,lab} dB	R _w dB	R _a dB
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000				
—x— EPS 140	4	5	8	12	17	21	26	5	0	-30	21	20	
—x— EPS 120	3	4	7	11	15	20	25	5	0	-32	20	19	
---o--- EPS 97	2	3	6	9	14	18	24	26	0	-33	18	17	
---Δ--- EPS 60	2	1	3	6	10	15	20	25	5	-37	14	13	
—■— EPS 30	1	0	1	2	5	9	14	19	25	-42	10	9	

De volgende conclusies kunnen hieruit afgeleid worden:

- Vanaf ongeveer 95 mm EPS is het verschil tussen de dikten EPS zeer klein;
- In de hogere frequentiegebieden draagt het EPS weinig tot niets meer bij;
- De normwaarden van NEN 5077 liggen vele malen hoger dan de behaalde geluidsisolatiewaarden van EPS alleen.

EPS MET SPAANPLAAT (SP)

Op de tweede plaats is er gekeken naar het effect van het EPS met spaanplaat van het Isobouwelement (Figuur 1.2.2 en Tabel 1.2.2). Dit element is opgebouwd uit 2 spaanplaten van 3 of 8 mm dikte met daartussen EPS. Tevens is er gevarieerd in de dikte van het element om te kijken wat voor een effect dit heeft.



FIGUUR 1.2.2 VERGELIJKING VERSCHILLENDE DIKTES EPS MET 3 MM SPAANPLAAT EN 8 MM SPAANPLAAT

TABEL 1.2.2 VERGELIJKING VERSCHILLENDE DIKTES EPS BIJ 3 MM SPAANPLAAT EN 8 MM SPAANPLAAT

		M	Frequentie (Hz)								$I_{l,u,lab}$	R_w	R_a
			kg/m ³	63	125	250	500	1000	2000	4000			
✱	SP 8 - EPS 200 - SP 8	14	14	13	14	23	33	43	46	65	-26	27	26
✱	SP 8 - EPS 120 - SP 8	12	13	15	14	23	32	37	40	60	-26	27	25
✱	SP 8 - EPS 30 - SP 8	10	12	16	19	18	31	33	32	50	-28	26	24
■	SP 3 - EPS 30 - SP 3	4	6	9	13	14	17	27	33	33	-34	18	18
▲	SP 3 - EPS 120 - SP 3	6	9	11	11	11	17	27	39	46	-35	17	16
●	SP 3 - EPS 200 - SP 3	8	10	12	9	10	17	27	39	47	-36	16	16

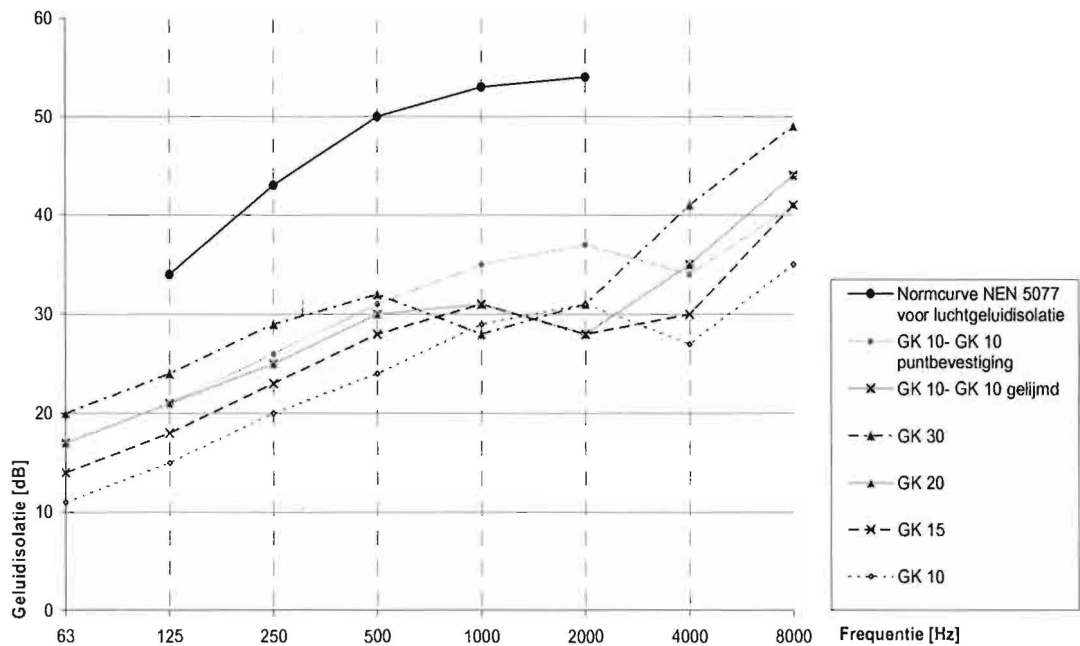
Een aantal conclusies kan aan de hand van de grafiek en tabel getrokken worden:

- Bij een dikte van 3 mm spaanplaat is er weinig verschil tussen de toepassing van 30, 120 of 200 mm EPS. Het enige verschil ligt in het frequentiegebied rond de 8000 Hz.
- Deze zelfde conclusie kan getrokken worden bij een toepassing van een 8 mm dikke spaanplaat.
- Bij toepassing van 8 mm spaanplaat is er een verband tussen de toename van de massa en een toename van de geluidisolatie te onderscheiden.

VERSCHILLENDE DIKTES GIPSKARTON (GK)

Omdat massa het een en ander kan beïnvloeden in de geluidisolatiewaarde, is er ook gekeken naar de invloed van de verdubbeling van de gipskartonplaten. In Figuur 1.2.3 en Tabel 1.2.3 is dit grafisch en in tabelvorm weergegeven.

Vergelijking verschillende diktes GK



FIGUUR 1.2.3 VERGELIJKING VERSCHILLENDE DIKTEN GIPSKARTONPLAAT

TABEL 1.2.3 VERGELIJKING VERSCHILLENDE DIKTEN GIPSKARTONPLAAT

		M kg/m ³	Frequentie (Hz)								I _{lu,lab} dB	R _w dB	R _a dB
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
—■—	GK 10-10 punt	17	17	21	26	31	35	37	34	41	-17	34	33
—×—	GK 10-10 lijm	17	17	21	25	30	31	28	35	44	-22	30	29
—★—	GK 30	26	20	24	29	32	28	31	41	49	-22	30	30
—▲—	GK 20	17	17	21	25	30	31	28	35	44	-22	30	29
—×—	GK 15	13	14	18	23	28	31	28	30	41	-22	29	28
—◆—	GK 10	9	11	15	20	24	29	31	27	35	-23	28	27

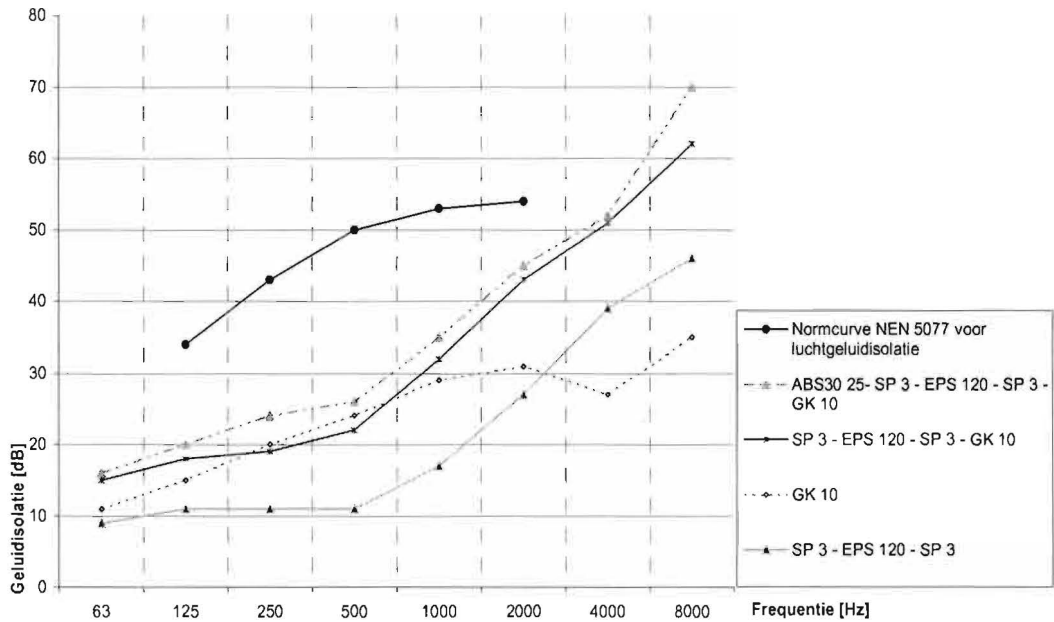
Uit deze gegevens kom ik tot de volgende conclusies:

- Toevoeging van meer gipskarton heeft effect in de lage en hoge frequentiegebieden;
- In de middenfrequenties heeft het gipskarton een constante geluidisolatiewaarde van ongeveer 30 dB;
- Twee gipskartonplaten aan elkaar bevestigd kan gunstiger zijn dan een gipskartonplaat van een dikte, mits deze met een puntbevestiging is gemaakt.

EPS MET SPAANPLAAT, MINERALE WOL (MW) EN GIPSKARTONPLAAT

In onderstaande grafiek en tabel is de vergelijking opgesteld tussen EPS in combinatie met spaanplaat en hieraan toegevoegd een laag minerale wol en gipskarton.

Vergelijking EPS 120-MW-GK



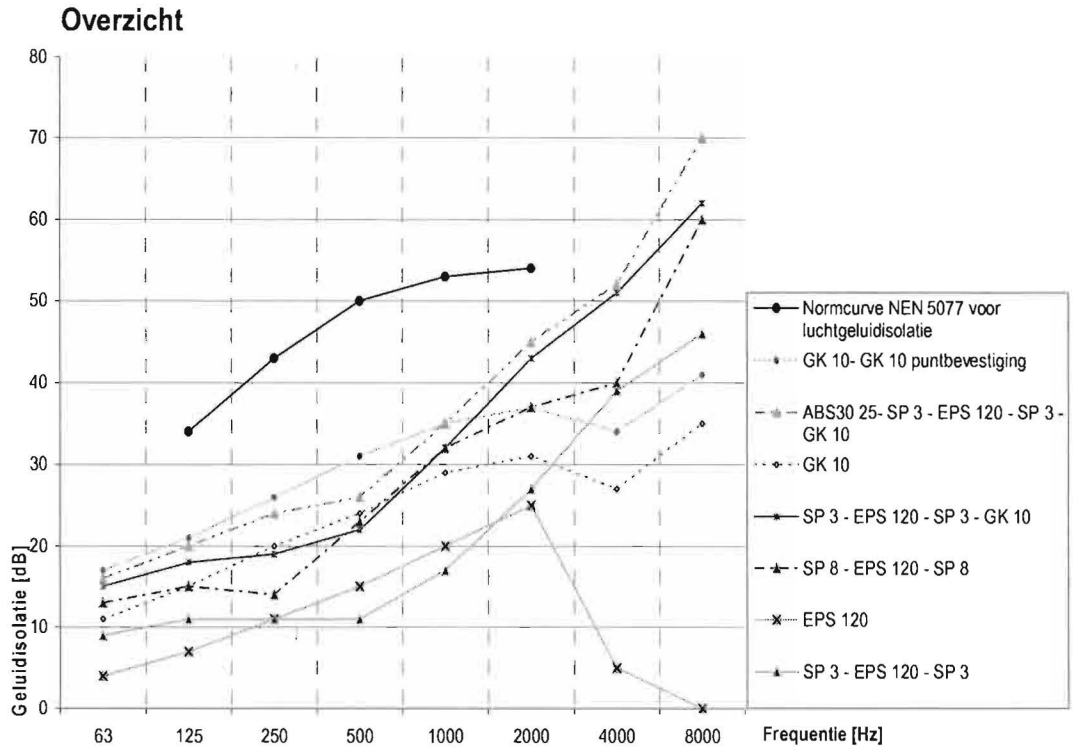
FIGUUR 1.2.4 EPS 120 IN COMBINATIE MET SPAANPLAAT EN MINERALE WOL EN GIPSKARTONPLAAT

TABEL 1.2.4 EPS 120 IN COMBINATIE MET SPAANPLAAT EN MINERALE WOL EN GIPSKARTONPLAAT

	M	Frequentie (Hz)									I _{lu,lab}	R _w	R _a
		kg/m ³	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
---▲---	ABS30 25 - SP 3 - EPS 120 - SP 3 - GK 10	16	16	20	24	26	35	45	52	70	-20	32	31
—▲—	SP 3 - EPS 120 - SP 3 - GK 10	15	15	18	19	22	32	43	51	62	-24	29	28
	GK 10	9	11	15	20	24	29	31	27	35	-23	28	27
—▲—	SP 3 - EPS 120 - SP 3	6	9	11	11	11	17	27	39	46	-35	17	16

Door deze vergelijking te stellen, kom ik tot de volgende conclusies:

- De toepassing van gipskartonplaten in het wandelement is van groot belang. Deze gipskartonplaten verhogen de geluidisolatie drastisch;
- De combinatie van gipskarton met spaanplaat en EPS verbetert de geluidisolatie in het middenfrequentiegebied;
- Door toevoeging van minerale wol bovenop de doorsnede van spaanplaat en EPS neemt de geluidisolatie vooral toe in de lage frequentiegebieden.



FIGUUR 1.2.5 OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE MATERIALEN IN HET WANDELEMENT

TABEL 1.2.5 OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE MATERIALEN IN HET WANDELEMENT

	M	Frequentie (Hz)									I _{lu,lab}	R _w	R _a
		kg/m ³	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
GK 10-10 punt	17	17	21	26	31	35	37	34	41	-17	34	33	
ABS30 25 - SP 3 - EPS 120 - SP 3 - GK 10	16	16	20	24	26	35	45	52	70	-20	32	31	
GK 10	9	11	15	20	24	29	31	27	35	-23	28	27	
SP 3 - EPS 120 - SP 3 - GK 10	15	15	18	19	22	32	43	51	62	-24	29	28	
SP 8 - EPS 120 - SP 8	12	13	15	14	23	32	37	40	60	-26	27	25	
EPS 120	3	4	7	11	15	20	25	5	0	-32	20	19	
SP 3 - EPS 120 - SP 3	6	9	11	11	11	17	27	39	46	-35	17	16	

Uit het bovenstaande komen de volgende punten:

- Het gipskarton heeft een gunstigere invloed op de geluidisolatiewaarde dan Gipskarton i.c.m. EPS met een eventueel hogere massa;
- De toename van massa kan een gunstige invloed hebben.

1.3. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

CONCLUSIES

Uit de simulaties die besproken zijn in voorgaande paragrafen, kan het een en ander voorspeld worden ten aanzien van de totale geluidisolatie van het wandelement.

Allereerst komt naar voren dat de toepassing van gipsplaten onmisbaar is. De massa en samenstelling van de platen hebben een goede invloed op de geluidisolatiewaarde. Bij toepassing van meerdere platen is een puntbevestiging beter dan een totale lijmbevestiging.

Op de tweede plaats blijkt dat de dikte van het EPS vanaf ongeveer 95 mm geen invloed meer heeft, minerale wol echter blijkt daarnaast nog wel een positieve invloed te hebben.

Als laatste kan uit bovenstaand simulatie geconcludeerd worden dat de toepassing van 8 mm spaanplaat in plaats van 3 mm een verhoging van de geluidisolatie tot gevolg heeft door de toename van massa onder andere.

AANBEVELINGEN

Door onder andere bovenstaande conclusies, is besloten om een standaard dakplaat toe te passen met aan beide zijden een spaanplaat van 8 mm dik en een totale dikte EPS hiertussen van 89 mm.