

Duurzaamheid, flexibiliteit, en kosten van hoogbouw



Sebastiaan van Hellenberg Hubar
17 september 2009

0. Contactgegevens

0.1.1. Afstudeerder

Ing. S.C.B.L.M. van Hellenberg Hubar
Rietgorsstraat 16
2623 MD Delft
06-48779030
s.hubar@xs4all.nl

0.1.2. Afstudeerbedrijf

IMd Raadgevende ingenieurs
Jan Leentvaarlaan 62
3065 DC Rotterdam
010-2102360

0.1.3. Onderwijsinstelling

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Constructies van Gebouwen
Stevinweg 1
2628 CN Delft
015-2787966

0.1.4. Afstudeerbegeleiders

Prof. Dipl. Ing. J. Vambersky
015-2785488
j.n.j.a.vambersky@tudelft.nl

Ir. P. Peters (IMd Raadgevende ingenieurs)
06-22245514
p.peters@imdbv.nl

Prof.dr. ir. A. van den Dobbelsteen
06-39251421
a.a.j.f.vandendobbelsteen@tudelft.nl

Ir. S.Pasterkamp
015-2784982
s.pasterkamp@tudelft.nl

Voorwoord

Dit eindrapport is geschreven in het kader van een afstudeeronderzoek bij de opleiding Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft sectie Constructies van Gebouwen. Het is uitgevoerd bij IMd Raadgevende Ingenieurs te Rotterdam.

Het rapport presenteert mijn bevindingen en resultaten van het afstudeeronderzoek. Naast dit rapport zijn de rapporten “Literatuurstudie stabiliteitsystemen, kosten, duurzaamheid en flexibiliteit van hoogbouw” en “Bijlagen stabiliteitsystemen, kosten, duurzaamheid, flexibiliteit van hoogbouw” ook onderdeel van het afstudeeronderzoek.

Het eerste hoofdstuk geeft een inleiding op het onderwerp van het afstudeeronderzoek. Hoofdstuk 2 geeft de onderzoeksopzet en doelstellingen voor het afstuderen weer. In hoofdstuk 3 wordt een korte weergave gegeven van de literatuurstudie, voor gedetailleerde informatie wordt verwezen naar het rapport waarin de volledige literatuurstudie is opgenomen. In het hierop volgende hoofdstuk worden de resultaten van de onderzoeken aangaande functiewisselingen, flexibiliteitsratio, het rekenmodel en het rekenmodel met functiewisselingen weergegeven en geanalyseerd. In hoofdstuk 5 zijn de conclusies en aanbevelingen aangaande deze onderzoeken terug te vinden.

Tijdens het uitvoeren van mijn onderzoeken heb ik van diverse bedrijven en medewerkers van de TU Delft informatie en praktische tips gehad. Deze personen en bedrijven ben ik mijn dank verschuldigd. Ook wil ik mijn ouders, broers en zussen, vrienden en huisgenoten bedanken voor de ontspannende activiteiten naast het afstuderen of juist de gesprekken en discussies waarmee een inhoudelijke bijdrage aan het afstuderen is geleverd. Tenslotte bedank ik mijn afstudeerbegeleiders van de TU Delft Jan Vambersky, Andy van den Dobbelssteen, Sander Pasterkamp en mijn externe begeleiders van IMd Raadgevende Ingenieurs Pim Peters en Paul Korthagen voor hun bijdrage aan mijn afstuderen.

Rotterdam, 17 september 2009
Ing. S.C.B.L.M. (Sebastiaan) van Hellenberg Hubar

Inhoudsopgave

Samenvatting	VII
Literatuurstudie	VII
Onderzoeken	VIII
Conclusies en aanbevelingen	XIII
1 INLEIDING	1
2 ONDERZOEKSOPZET	3
2.1 Probleemstelling	4
2.2 Onderzoeksopzet	6
2.2.2 Onderzoeken	8
3 LITERATUURSTUDIE	9
3.1 Inleiding	10
DEELRAPPORT STABILITEITSYSTEMEN	11
3.2 Hoogbouw	11
3.3 Stabiliteitsystemen hoogbouw	15
DEELRAPPORT KOSTEN	17
3.4 Kosten	17
3.5 Kosten hoogbouw	21
3.6 Bepalen kosten hoogbouw	23
DEELRAPPORT BOUWDUURZAAMHEID	26
3.7 Duurzaamheid	26
1.1 Duurzaam bouwen	26
1.2 Duurzaamheid	27
3.8 Huidige duurzaamheid in de bouw	31
3.9 Duurzaamheid als gevolg van hoogbouw	33
3.10 Bouwduurzaamheid	36
DEELRAPPORT FLEXIBILITEIT	40
3.11 Flexibiliteit	40
4 ONDERZOEK	47
4.1 Functiewisselingen	48
4.1.1 Model	48
4.1.2 Berekenen vloersystemen	52
4.1.3 Resultaten	60
4.1.4 Conclusie functiewisselingen	80
4.2 Flexibiliteitratio	81
4.2.1 Model flexibiliteitratio	81
4.2.2 Case studie flexibiliteitratio	82
4.2.3 Resultaten case studie	83
4.2.4 Conclusie flexibiliteitratio	87
4.3 Rekenmodel	89
4.3.1 Type model	89
4.3.2 Model	90
4.3.3 Belastingen	92
4.3.4 Uitwerking rekenmodellen	96
4.3.5 Resultaten rekenmodel	103

4.3.6	Beste stabiliteitsysteem.....	109
4.3.7	Conclusie rekenmodel.....	114
4.4	Rekenmodel met functiewisselingen	115
4.4.1	Bouwtijd vloertypes	115
4.4.2	Kosten rekenmodel en functiewisseling.....	116
4.4.3	Conclusie rekenmodel met functiewisselingen	120
5	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN.....	121
5.1	Conclusie	122
5.1.1	Duurzaamheid is meer dan de milieubelasting	122
5.1.2	Flexibiliteit is duurzaamheid	123
5.1.3	De traditionele bouwwijze is verkeerd.....	124
5.2	Aanbevelingen	125
5.2.1	Aanbevelingen ten aanzien van afstudeerproject	126
5.2.2	Mogelijk toekomstig onderzoek	127
6	REFERENTIES	129
7	LITERATUURLIJST	133
BIJLAGEN		
	Bijlage Functiewisselingen	1
	Bijlage Flexibiliteitratio	21
	Bijlage Rekenmodel	40
	Bijlage Rekenmodel en Functiewisselingen	90

Samenvatting

In de huidige maatschappij is duurzaamheid een steeds belangrijk wordend onderwerp. De groeiende hoeveelheid leegstaande kantoorpanden die uiteindelijk gesloopt worden omdat geen nieuwe bestemming kan worden gevonden zijn dan ook geen goede ontwikkeling. In Nederland wordt hoogbouw al snel met een betonnen stabiliteitsstelsel uitgevoerd en de vraag is of dit de juiste methode is gezien de duurzaamheid en aanpasbaarheid van de plattegrond voor toekomstige bestemming.

De doelstelling voor dit afstuderen is dan ook de relatie tussen de stabiliteitsstelsels voor hoogbouw, de bouwduurzaamheid, flexibiliteit en de kosten in beeld brengen.

De wijze waarop dit gedaan zal worden is terug te vinden in Hoofdstuk 2 Onderzoeksopzet.

Literatuurstudie

De literatuurstudie is uitgevoerd om van de onderwerpen stabiliteitsstelsels, bouwduurzaamheid, flexibiliteit en kosten te weten te komen, te definiëren wat ze betekenen en vast te stellen hoe ze in het onderzoek gemeten kunnen worden. Een ingekorte versie van de literatuurstudie is terug te vinden in het derde hoofdstuk. De volledige literatuurstudie is in een apart rapport opgenomen, dit rapport is genaamd: "Literatuurstudie: stabiliteitsstelsels hoogbouw, kosten, duurzaamheid en flexibiliteit".

Van de bekende stabiliteitsstelsels is gekeken wat het gedrag is en tot welke hoogte met de stelsels kan worden gebouwd. Dit heeft geleid tot een overzicht met het maximale aantal verdiepingen per stabiliteitsstelsel. Belangrijk om in acht te nemen is dat dit de maximale toepasbare hoogte zijn. Veel van de stelsels zullen bij deze hoogte inefficiënt en oneconomisch worden.

Duurzaam ontwikkelen is het op die wijze ontwikkelen zodat de huidige generatie de toekomstige generatie niet beperkt in het voorzien van hun behoefte. Bouwduurzaamheid is de duurzaamheid waar specifiek naar de duurzaamheid van het bouwproces en bouwmaterialen wordt gekeken. Uit eerdere studies is naar voren gekomen dat 60% van de milieukosten voor bouwmaterialen is toe te schrijven aan de draagconstructie [Dobbelsteen et al., 2007]¹⁰ voor het onderzoek wordt dan ook alleen naar de bouwduurzaamheid van de draagconstructie gekeken. De bouwduurzaamheid wordt bepaald door de hoeveelheid materiaal te vermenigvuldigen met de verborgen milieukosten in € per kilogram materiaal. Via NIBE zijn de kengetallen voor de materialen verkregen, voor de bepaling van deze getallen wordt gebruik gemaakt van het TWIN model wat zowel de kwantitatieve als kwalitatieve benadering voor de bepaling van de milieueffecten combineert. Naast duurzaam ontwikkelen kan over duurzaam in de vorm van tijd worden gesproken. Het gaat dan over hoelang iets meegaat, dit tijdsaspect zit verwerkt in de levensduur die in het TWIN model is aangenomen op 75 jaar.

De kosten die bekeken worden zijn een indicatie van de constructiekosten, gebaseerd op kengetallen in € per kilogram materiaal. Indien over de integrale kosten wordt gesproken wordt naar zowel de constructiekosten als milieukosten gekeken. Ook zal gesproken worden over de integrale totaal kosten, hierin wordt naast de integrale kosten voor de bovenbouw een kostenpost voor de fundering meegenomen. Om een vergelijking tussen staal en beton mogelijk te maken wordt voor beton vanwege de langere bouwtijd de kostenpost bouwplaatskosten meegenomen.

Flexibiliteit wordt gedefinieerd als de mogelijkheid tot aanpassingen van het volume of de indeling waarbij het kan gaan om herindelingen van het gebouw maar ook om functiewisselingen. De mogelijkheid tot herindeling wordt bekeken met de flexibiliteitsratio en de mogelijkheid tot functiewisselingen zijn apart onderzocht alvorens dit te combineren met de stabiliteitsystemen.

Om de flexibiliteit, bouwduurzaamheid en kosten van de verschillende stabiliteitsystemen voor hoogbouw te kunnen bekijken wordt gebruik gemaakt van een rekenmodel. Voor de plattegrond van het rekenmodel is een korte studie gedaan naar de plattegronden van hoogbouw torens in Nederland. Dit heeft een plattegrond van 28,8m in het vierkant opgeleverd. Tevens is gekeken naar de belastingen waar in het rekenmodel rekening mee dient te worden gehouden. De stabiliteitsystemen van het rekenmodel zullen worden bekeken bij een hoogte van 70,4m, 96m en 134,4m. De keuze voor 70m is gemaakt omdat dit veelal als ondergrens voor hoogbouw wordt gezien maar ook beperken de normen en regelgeving zich tot deze hoogte. Uit een lijst met hoogbouwprojecten in Nederland komt naar voren dat een hoogte van 100m ook een bepaalde grens vormt. Gezien de verdiepingshoogte en het aantal verdiepingen is voor de hoogte van 96m gekozen. 150 tot 160m kan in Nederland als maximale bouwhoogte worden gezien. Omdat 134,4m de hoogte van de hoogste toren van het afstudeerproject van IMd Raadgevende Ingenieurs benaderd is als derde hoogte voor deze hoogte gekozen.

Onderzoeken

Het hoofdstuk dat na de literatuurstudie volgt bevat de onderzoeken die in het kader van het afstuderen gedaan zijn. Er zijn vier onderzoeken gedaan waarbij de eerste drie tevens als input dienen voor het laatste onderzoek.

Functiewisselingen

Om de mogelijkheden van het uitvoeren van functiewisselingen te kunnen beoordelen is een model opgezet waarbij de eisen van de functies, de bouwduurzaamheid en de kosten worden vergeleken. In het model wordt niet alleen naar de benodigde vloer gekeken, ook de kolommen en liggers worden meegenomen. Randvoorwaarden bij het bepalen van deze elementen zijn: dat de keuze van de ligger de hoogte van het vloerpakket zo beperkt mogelijk houdt, een hoogte van 260mm voor leidingwerk aanwezig is en indien nodig voor de geluidsisolatie een zwevende dekvloer wordt toegepast.

De vergelijking is gemaakt bij een kleine overspanning(5,4m), een middel grote overspanning (7,2m) en een grote overspanning(12,6m) waarbij niet alle vloersystemen mogelijk zullen zijn. Gekozen is voor deze range zodat een beeld ontstaat van de prestaties bij de verschillende overspanningen.

De volgende vloersystemen zijn bekeken:

- Breedplaat;
- Kanaalplaat;
- Staalplaat betonvloer;
- Infra+ vloer;
- Wing vloer;
- Holconvloer.

De prestaties van deze vloeren zijn bekeken bij de functie kantoor en bijeenkomsten. Als referentiesituatie is uitgegaan van een vlakke plaatvloer met de functie wonen. Tunnelbouw zou als gangbaarder systeem kunnen worden gezien maar hierbij wordt gebruik gemaakt van dragende wanden in plaats van de in het model aangehouden kolom- liggerstructuur. Met een vlakke plaatvloer is vanwege de uitvoering zonder liggers geen functiewisseling mogelijk en daarom wordt naast de vlakke plaatvloer ook de breedplaat met de functie wonen meegenomen. Met deze vloer zijn wel functiewisselingen mogelijk. Bij een overspanning van 12,6m is een breedplaat niet mogelijk en wordt de kanaalplaat als referentie naar de functie wonen aangehouden. Om dit te kunnen beoordelen zijn voor een ontwerp bij de functie kantoor en bijeenkomsten verschillende vloeren beschouwd.

De beste oplossing voor het uitvoeren van een functiewisseling lijkt het versterken van de breedplaat door een dikke druklaag op te storten. Dit blijkt echter niet de beste oplossing te zijn, bij een overspanning van 7,2m zijn de integrale kosten voor de breedplaat bij dezelfde functies alleen beter dan de holconvloer.

De infra+ vloer heeft de laagste integrale kosten en de meeste flexibiliteit en verdient daarom de voorkeur. Deze voer wordt op de voet gevolgd door de kanaalplaat wat de meest duurzame vloer is. Afhankelijk van de projectspecifieke en uitvoeringstechnische eigenschappen dient bij functiewisselingen of de infra+ vloer of de kanaalplaat te worden toegepast. Bij overspanningen boven de 11m is de infra+ vloer niet meer toe te passen en de voorkeur gaat dan uit naar de kanaalplaat. De wingvloer is een integraal vloersysteem wat wel geschikt is voor grote overspanningen, door het gebruik van een computervloer is deze vloer echter een stuk duurder dan de kanaalplaat. Indien een goedkoper systeem of alternatief voor de computervloer wordt gevonden zou deze vloer kunnen concurreren met de kanaalplaat.

Integrale vloersystemen hebben als voordeel dat het leidingwerk in de eigen verdiepingsvloer verwerkt zit. Dit betekent dat het zonder gebruik van een trap of steiger aanpasbaar is, geen verlaagd plafond hoeft te worden toegepast en dat het leidingwerk zonder overlast op andere verdiepingen te veroorzaken bereikbaar en aanpasbaar is.

Voor de verschillende vloeren is een maximaal verschil van 60% voor de milieukosten te vinden. Kijkend naar duurzaamheid is dit een fors verschil en als alleen hierop beoordeeld wordt is vooral de kanaalplaat in het voordeel. Van de integrale kosten wordt ongeveer 15% door de milieukosten gevormd. Dit percentage is zo klein dat de duurzaamheid er bij de keuze van een vloersysteem niet toe zal doen. Een uitzondering hierop is bij de specifieke keuze voor een duurzame vloer.

Vloertype	Breedplaatvloer			Kanaalplaatvloer		Staalplaatbetonvloer	
	Wonen	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst
Eigen gewicht vloer	6,24	6,48	6,96	3,02	3,02	2,39	2,39
Totale vloerbelasting	12,80	14,45	17,94	10,30	13,21	9,55	12,46
Type vloer	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Kanaalplaat 200	Kanaalplaat 200	Comflor 210	Comflor 210
Type ligger	THQ 265x6-190x25-400x12	THQ 265x6-240x25-450x12	THQ 265x6-290x30-500x15	THQ 200x5-240x25-450x12	THQ 200x5-290x30-500x15	280ASB100	280ASB105
Type kolom	HEA160	HEA160	HEA180	HEA140	HEA160	HEA140	HEA160
Vloerhoogte	260	270	290	200	200	280	280
Extra hoogte ondervloer	12	275	275	272	275	276	282
Hoogte vloerpakket	330	340	360	270	270	350	350
Hoogte vloer+installaties	342	615	635	542	545	626	632
Verdiepingshoogte	2,94	3,22	3,24	3,14	3,15	3,23	3,23
Zwevende dekvloer	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Milieukosten per m2	€ 30,36	€ 32,01	€ 36,94	€ 19,82	€ 23,82	€ 22,58	€ 23,58
Kosten vloerpakket per m2	€ 109,61	€ 110,66	€ 112,76	€ 78,95	€ 78,95	€ 121,12	€ 121,12
Kosten ligger per m2	€ 50,48	€ 57,81	€ 76,85	€ 53,15	€ 72,19	€ 36,47	€ 38,07
Kosten kolommen per m2	€ 10,95	€ 11,97	€ 14,06	€ 9,50	€ 11,71	€ 9,76	€ 12,03
Totale kosten per m2	€ 171,04	€ 180,44	€ 203,67	€ 141,60	€ 162,85	€ 167,35	€ 171,22
Integrale kosten per m2	€ 201,40	€ 212,45	€ 240,61	€ 161,43	€ 186,67	€ 189,93	€ 194,80

Vloertype	Wingvloer		Infra+vloer		Holcon vloer		Vlakke plaatvloer
	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Wonen
Eigen gewicht vloer	4,30	4,30	3,02	3,02	6,24	6,24	6,00
Totale vloerbelasting	11,19	14,10	9,05	11,96	12,92	15,83	12,51
Type vloer	Wing 260	Wing 260	Infra+ met IPE300	Infra+ met IPE300	Holcon 700	Holcon 700	Vlakkeplaat 240
Type ligger	THQ 265x6-190x20-400x12	THQ 265x6-240x25-450x12	HEA280	HEB280	B500x650	B550x650	Geen ligger
Type kolom	HEA160	HEA160	HEA140	HEA160	B220x220	B250x250	B200x200
Vloerhoogte	260	260	418	418	700	700	240
Extra hoogte ondervloer	220	220	0	0	0	0	0
Hoogte vloerpakket	260	260	418	418	700	700	310
Hoogte vloer+installaties	480	480	418	418	700	700	310
Verdiepingshoogte	3,08	3,08	3,02	3,02	3,30	3,30	2,91
Zwevende dekvloer	nee	nee	nee	nee	nee	nee	ja
Milieukosten per m2	€ 27,71	€ 30,18	€ 24,78	€ 27,69	€ 26,02	€ 27,12	€ 19,34
Kosten vloerpakket per m2	€ 113,00	€ 113,00	€ 99,32	€ 99,32	€ 120,00	€ 120,00	€ 82,00
Kosten ligger per m2	€ 58,41	€ 72,29	€ 25,25	€ 34,05	€ 82,38	€ 90,62	€ -
Kosten kolommen per m2	€ 11,46	€ 11,46	€ 9,13	€ 11,23	€ 14,99	€ 19,36	€ 10,93
Totale kosten per m2	€ 182,87	€ 196,76	€ 133,70	€ 144,60	€ 217,37	€ 229,98	€ 92,93
Integrale kosten per m2	€ 210,58	€ 226,94	€ 158,48	€ 172,29	€ 243,39	€ 257,10	€ 112,27

Tabel 1: resultaten vloertype bij een vloeroverspanning van 7200mm

Flexibiliteitratio

Om van de stabiliteitsystemen de flexibiliteit te kunnen bespreken is het belangrijk deze te kunnen bepalen. In de literatuurstudie is naar voren gekomen dat om hier een eenduidige uitspraak over te kunnen doen de flexibiliteitratio dient te worden ontwikkeld. De flexibiliteitratio is in formulevorm als volgt geformuleerd:

$$\%_{\text{flex}} = 1 - \sum(\%_{\text{constr}} * \zeta) - \%_{\text{vert}} * \zeta$$

De constructieratio($\%_{\text{constr}}$) is de verhouding van de oppervlakte van de constructie ten opzichte van het vloeroppervlak. Samen met de factor voor de vrije indeelbaarheid van het betreffende stabiliteitsysteem geeft dit een indicatie van de vrije indeelbaarheid van de plattegrond. Niet alleen de constructie heeft een belangrijke invloed op de vrije indeelbaarheid ook het verticaal transport heeft hier invloed op en wordt meegenomen in de formule. De invloed van de indeling van de gevel, sanitaire voorzieningen en leidingwerk zijn buiten beschouwing gelaten. Hier is voor gekozen omdat deze ten opzichte van de constructie pas bij verdere uitwerking van het ontwerp bekend worden. Daarnaast richt het afstuderen zich op de constructie.

De flexibiliteitratio is zelf opgesteld en de factoren van de vrije indeelbaarheid zijn dan ook onbekend. Om deze te bepalen is een case studie onder hoogbouw op de Nederlandse markt uitgevoerd. Met de input vanuit de case studie en de plattegrond van het betreffende gebouw was het mogelijk om de factor voor de vrije indeelbaarheid te bepalen.

Dit heeft de volgende factoren opgeleverd:

- Plattegrond splitsende betonnen schijven 15;
- Beperkt plattegrond splitsende betonnen schijven 10;
- Korte betonnen schijven 5;
- Stalen schijven 5;
- Kern 2,75;
- Overdrachtschijf staal 5;
- Verticaal transport in kern 0,75;
- Verticaal transport decentraal 1,5;
- Kolommen 1,5*10/hoh.

Met behulp van de case studie was het niet mogelijk om de factor voor de vrije indeelbaarheid van kolommen te bepalen. Deze factor is dan ook aangenomen op basis van kennis over de invloed van kolommen op de vrije indeelbaarheid en de bepaalde factor voor de vrije indeelbaarheid van de andere constructie elementen. Een diepgaander onderzoek naar de invloed van kolommen op de vrije indeelbaarheid kan de flexibiliteitratio verbeteren en breder inzetbaar maken. Daarnaast zou de flexibiliteitratio kunnen worden uitgebreid door de indeling van de gevel, plaatsing sanitair en plaatsing leidingwerk mee te nemen.

Bij het bepalen van de flexibiliteitratio voor de stabiliteitsystemen is naar voren gekomen dat interne kolommen in negatieve zin een grote invloed hebben op de flexibiliteitratio. Daarnaast kan het vloeroppervlak in een kern ten opzichte van het totale bruto vloeroppervlak erg groot worden zonder dat dit een negatief effect heeft voor de flexibiliteitratio. In Nederland zitten echter eisen aan de daglicht toetreding waardoor veel ruimte niet in de kern kunnen worden gesitueerd. Beide zijn aandachtspunten om mee te nemen bij toekomstige studies voor de flexibiliteitratio. Tot slot viel bij de op dat waar in de case studie, voor de verschillende gebouwen, uiteenlopende waarden voor de flexibiliteitratio werden gevonden. Voor de rekenmodellen, welke een dezelfde plattegrond hebben, voor de verschillende stabiliteitsystemen een flexibiliteitratio die erg dicht bij elkaar lag werd gevonden.

Rekenmodel

Nu de berekeningen voor de benodigde facetten bekend zijn kan onderzoek worden gedaan naar de flexibiliteit, bouwduurzaamheid en kosten van de verschillende stabiliteitsystemen. Vanwege het vergelijken van de verschillende systemen moet op de plek waar bij een ander stabiliteitsstelsel een stabiliserend element aanwezig is een binnenwand worden meegenomen. Dit zorgt voor zoveel complicaties dat de vergelijking zich beperkt tot de kern, overdrachtconstructie en de buis. Daarnaast geldt voor de stalen varianten dat geen dichte wanden ontstaan, dus moet ter plaatse van het stabiliteitsstelsel ook een binnenwand worden meegenomen.

Voor de betonnen stabiliteitsystemen kan de buis samen met de kern als meest duurzame systeem worden bestempeld. De flexibiliteit valt bij toenemende hoogte in het voordeel van de kern uit. Hierbij dient het, bij de flexibiliteitsratio beschreven, probleem van de een te grote kern in het achterhoofd te worden gehouden. Tevens dient te worden opgemerkt dat de verschillen tussen de stabiliteitsystemen erg klein zijn. De constructie- en integrale kosten vallen beide in het voordeel van de buis uit. De voorkeur voor een betonnen stabiliteitsstelsel gaat dan ook naar de buis.

Bij de stalen stabiliteitsystemen is de overdrachtconstructie overduidelijk het best presterende systeem. Voor zowel de constructiekosten als de duurzaamheid als de flexibiliteit komt dit systeem het beste uit de bus.

Deze twee als beste presterende systemen met elkaar vergelijkend is te zien dat de stalen overdrachtconstructie alleen voor de flexibiliteit beter presteert. Onder het kopje fundering wordt gekeken naar het aantal benodigde palen. Voor de stalen stabiliteitsystemen is het eigen gewicht een stuk lager waardoor als gevolg van trek meer palen nodig zijn dan voor de betonnen stabiliteitsystemen. Zowel voor de milieukosten als de constructiekosten is de betonnen buis goedkoper.

Als meest betaalbare, flexibele en duurzame stabiliteitsstelsel gaat de voorkeur dan ook uit naar de betonnen buis.

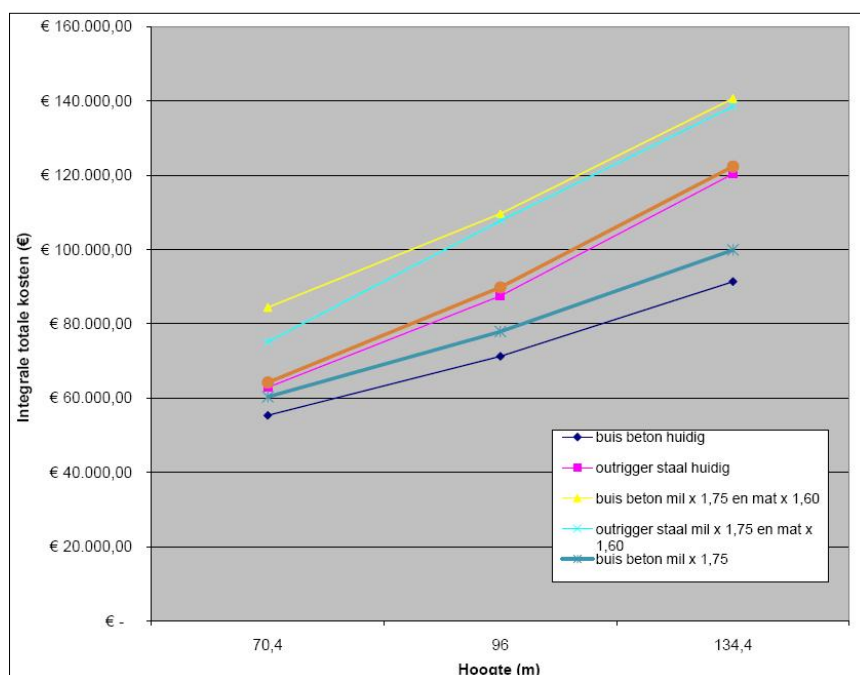
	Constructiekosten		Flexibiliteit		Duurzaamheid		Fundering	
	Buis	Outrigger	Buis	Outrigger	Buis	Outrigger	Buis	Outrigger
70,4m	+	-	-	+	+	-	+	-
96m	+	-	-	+	+	-	+	-
134,4m	+	-	-	+	+	-	+	-

Tabel 2: prestaties betonnen buis ten opzichte van stalen overdrachtconstructie

Toekomst perspectief duurzaamheid

Staal wordt altijd als duurzaam gepromoot omdat het 100% recyclebaar is. Toch blijkt uit het onderzoek dat de betonnen stabiliteitsystemen lagere milieukosten hebben. Volgens de rekenregels van beton mag in constructiebeton maximaal 50% betongranulaat aanwezig zijn [CUR bouw en infra, 2007]⁷⁷. Dit betekent dat voor beton altijd nieuwe grondstoffen moeten worden toegevoegd. In de toekomst kan dit leiden tot uitputting van de grondstoffen en als gevolg daarvan samen met grotere hoeveelheden puin tot landschapaantasting. Deze effecten zorgen ervoor dat stijgende kengetallen voor de milieukosten van beton mogen worden verwacht. Deze stijging kan ook een vertaling zijn van het milieuvriendelijker worden van het productie proces van staal.

Indien dit een stijging van 75% is dan is de stalen overdrachtconstructie duurzamer dan de betonnen stabiliteitsystemen. Door het grote verschil in constructiekosten blijven de integrale kosten in het voordeel van de betonnen buis uitvallen. Naast de stijging voor de milieukosten mag als gevolg van schaarste ook een stijging van de materiaalkosten voor beton worden verwacht. Uitgaande van een stijging van de materiaalkosten met 60% en de milieukosten met 75% vallen de integrale kosten in het voordeel van de stalen overdrachtconstructie uit.



Figuur 1: grafiek integrale kosten per verdieping bij verschillende situaties

Bij een verandering van de kengetallen voor de milieukosten betekent dit een verschuiving van welk systeem het duurzaamste is. Een verschuiving van de kengetallen is goed mogelijk als uitkomt dat bepaalde milieueffecten toch zwaarder of minder zwaar zijn. Als naar de hoeveelheid materiaalgebruik wordt gekeken is veel meer beton nodig dan staal. Het klinkt logisch dat geen balk of een lichtere balk duurzamer is dan een zware balk. Met de huidige situatie is dat niet het geval maar bij een stijging van de milieukosten met 75% wel. Deze verschuiving hoeft niet door genoemde factoren te komen. De kengetallen van de milieukosten zijn afhankelijk van welke kosten aan milieueffecten worden gekoppeld en hernieuwde inzichten kunnen ook een verschuiving van deze kengetallen geven. Voor de duurzaamheid dient dus eigenlijk naar het materiaalgebruik en de milieubelasting van de materialen worden gekeken in plaats van blind van milieukosten uit te gaan.

Rekenmodel en functiewisselingen

Het is ook mogelijk om naar een combinatie van de vloersystemen en stabiliteitsystemen met elkaar te vergelijken. Het doel hierbij is de beste combinatie gezien de kosten, flexibiliteit en duurzaamheid te vinden. Daarnaast worden de bouw tijden van de systemen in dit onderzoek kwalitatief meegenomen. Gevonden wordt dat de kolom- liggerstructuur van de betonnen buis de laagste bouw tijd heeft. Voor de vloersystemen heeft de infra+ vloer de laagste bouw tijd. Omdat de liggers en kolommen in de berekening van het stabiliteitsysteem zitten verwerkt kunnen deze voor de vloersystemen buiten beschouwing worden gelaten. Als gevolg hiervan is de kanaalplaat voor de integrale kosten goedkoper dan de infra+ vloer. De infra+ vloer heeft ten opzichte van de kanaalplaat echter nog een aantal voordelen:

- Door de grotere flexibiliteit treden bij toekomstige aanpassingen kosten besparingen op;
- Door de kortere bouw tijd vallen de financieringskosten lager uit;
- Door het kunnen toepassen van HE profielen in plaats van THQ liggers treedt een kostenbesparing op;
- Bij het uitvoeren van een functiewisseling is geen verlaagd plafond nodig, ook dit geeft een kostenbesparing.

Bij de stabiliteitsystemen heeft de buis duidelijk de laagste integrale kosten en als meest betaalbare, flexibele, duurzame en snel te bouwen systeem gaat de voorkeur uit naar de buis met infra+ vloer.

Om een uitspraak te kunnen doen over de kosten om flexibel te bouwen is de buis met infra+ vloer vergeleken met het traditionele systeem voor woontorens, de kern met een vlakke plaatvloer. Ook zou voor tunnelbouw kunnen worden gekozen echter is dit systeem eerder al uitgesloten omdat dit naast het niet mogelijk zijn van functiewisselingen ook erg beperkt herindeelbaar is. Bij het vergelijken van de infra+ vloer met de andere vloersystemen zijn voor de infra+ vloer een aantal besparingen meegenomen. Deze besparingen zijn niet van toepassing voor de vergelijking van de infra+ vloer met de vlakke plaatvloer bij de functie wonen en dienen achterwege te worden gelaten.

hoogte	Traditioneel systeem	buis - infra+ vloer
70,4	€ 129.939,37	€ 186.414,98
96	€ 146.851,80	€ 202.981,24
134,4	€ 172.344,02	€ 223.641,90

Tabel 3: vergelijking traditioneel systeem met meest flexibele, duurzame en goedkope systeem

De kosten voor flexibiliteit zijn maximaal €56.000,- per verdieping wat overeen komt met 67,50 €/m². Als gevolg van de hogere flexibiliteit mag worden verwacht dat bij aanpassingen van het gebouw aan de nieuwste technieken voor de buis voordelen optreden. Tenslotte is leidingwerk makkelijk in de vloer te verwerken terwijl voor de vlakke plaatvloer al snel gefreesd zal moeten of de aanpassingen achterwege worden gelaten. De eerste optie geeft hogere onderhoudskosten terwijl de laatste lagere huuropbrengsten geeft. Over de levensduur zal dit de extra kosten verkleinen of misschien zelf laten omslaan in opbrengsten.

Een overschot op de woningmarkt of een veranderende markt kan leiden tot leegstand en lagere huurprijzen. De buis met infra+ vloer heeft nu als voordeel dat met een beperkte investering een functiewisseling mogelijk is naar een functie waar meer geld te verdienen is.

Conclusies en aanbevelingen

Conclusie

Uit de onderzoeken zijn op een breder vlak de volgende conclusies te trekken:

- *Duurzaamheid is meer dan milieukosten.* De milieukosten zijn afhankelijk van het materiaalgebruik en de kengetallen voor de milieukosten. Deze kengetallen zijn op hun beurt afhankelijk van de milieueffecten en de beoordeling daarvan. Als gevolg van nieuwe inzichten kunnen deze veranderen. Maar als gevolg van ontwikkelingen voor de staalproductie, landschapaantasting en uitputting van grondstoffen kunnen de kengetallen ook veranderen. Een verandering kan inhouden dat een ander materiaal beter gaat presteren op basis van de milieukosten terwijl het materiaalgebruik gelijk blijft. De concentratie zou dan ook meer op het materiaalgebruik gecombineerd met de milieubelasting moeten liggen dan op de milieukosten.
- *Flexibiliteit is duurzaamheid.* Flexibiliteit zorgt ervoor dat het gebouw goedkoper en makkelijker kan worden aangepast aan de veranderende vraag vanuit de markt. Als gevolg hiervan vindt minder veroudering van het gebouw plaats. En omdat het gebouw aantrekkelijker blijft om te wonen wordt de levensduur van het gebouw langer. Dit betekent dat de milieubelasting van de bouwmaterialen over een langere periode mag worden gespreid oftewel per jaar bekeken wordt het gebouw duurzamer. Door de hogere flexibiliteit is het makkelijker om nieuwe energiezuinigere technieken in te passen. Dit heeft geen invloed op de duurzaamheid van de materialen maar zorgt wel voor een lager energiegebruik. Hiermee draagt het, weliswaar op een andere manier, ook bij aan de duurzaamheid.

- *De traditionele bouwwijze is verkeerd.* De traditionele bouwwijze is de goedkoopste zowel op gebied van constructiekosten als integrale kosten. Echter wordt met deze bouwwijze alleen voor de huidige behoefte gebouwd. Bij een verandering in de behoefte is te weinig flexibiliteit aanwezig om hier goed op in te spelen. De buis met infra+ vloer is wel in staat hierop in te spelen en kan dan ook in de huidige en toekomstige behoeftes voorzien. Nadeel zijn de hogere initiële kosten, 67,50 €/m², echter worden deze extra kosten tijdens de levensduur als gevolg van onderhoudsvordelen of opbrengstenverschillen verkleind of omgezet in meer opbrengsten.

Aanbevelingen

Om een grotere duurzaamheid en flexibiliteit te bereiken dienen de volgende aandachtspunten in acht te worden genomen:

- Een vloersysteem, infra+ vloer, toe passen zodat een functiewisseling makkelijk mogelijk is;
- Maak als stabiliteitsysteem gebruik van een betonnen buis met infra+ vloer;
- Probeer het aantal interne kolommen zoveel mogelijk te beperken om een zo'n groot mogelijke flexibiliteit te bereiken;

De aanbeveling is de betonnen buis met een infra+ vloer toe te passen maar bij veranderingen in de materiaal- en milieukosten in het nadeel van beton zal de aanbeveling de stalen overdrachtconstructie met infra+ vloer worden. De kosten zullen het belangrijkste keuze aspect blijven en op basis daarvan is geniet de buis met infra+ vloer nog de voorkeur.

1 INLEIDING

Nederland is een erg dichtbevolkt land wat in het bijzonder terug te zien is in de Randstad, hier wonen ongeveer 7,1 miljoen mensen en het grootste deel van de economische activiteiten is hier gevestigd. Als gevolg hiervan is de grond in de Randstad prijzig en wordt veel kleine hoogbouw, 70m -100m, gebouwd om grondkosten te besparen.

Voor hoogbouw is de keuze van het stabiliteitsysteem van groot belang omdat dit het gedrag van de constructie, de voelbare bewegingen in het gebouw en de dimensies voor de constructie bepaalt.

Over Nederland wordt gezegd dat het een echt betonland is, veel bouwbedrijven hebben zich dan ook gespecialiseerd in betonbouw en hebben hier het materieel voor.

Deze trend is ook terug te vinden als naar hoogbouwprojecten wordt gekeken, veel van deze projecten worden in een stabiliteitsysteem uitgevoerd wat in beton wordt uitgevoerd.

Soms worden combinaties van staal en beton toegepast maar hoogbouw waarbij het stabiliteitsysteem volledig in staal is uitgevoerd is vrij zeldzaam.

Dit in tegenstelling tot de echte "wolkenkrabber landen", Amerika en een aantal Aziatische landen, waar staal het materiaal is wat de klok slaat voor hoogbouw.

De laatste jaren zijn in Nederland veel leegstaande kantoorpanden te vinden van een aantal verdiepingen hoog. Vaak zijn dit niet eens hele oude gebouwen maar er is teveel gebouwd en de vraag vanuit de markt is veranderd. Het duurt tenslotte een bepaalde tijd tussen het idee voor een project, het beginnen met bouwen en het opleveren van een project. In deze tijd kan binnen de maatschappij een verschuiving van interesses en behoefte optreden en dan ontstaat er een probleem. Het gebouw is minder aantrekkelijk, de leegstand kost de ontwikkelaar veel geld en slopen en nieuwbouw bouwen is gezien de kosten al helemaal geen optie.

Op zo'n moment wordt de flexibiliteit van het gebouw belangrijk, als deze groot is kunnen een paar kleine en goedkope aanpassingen ervoor zorgen dat het gebouw weer aan de interesses en behoeftes voldoet.

Voor een hoogbouwproject is de flexibiliteit helemaal belangrijk omdat de invloed van leegstand nog groter is en dit door rekening te houden met toekomstige aanpassingen of veel flexibiliteit is deze leegstand te minimaliseren.

Een van de veranderingen binnen de maatschappij is dat een gebouw niet alleen een bepaalde ruimte moet bieden maar het milieu en daarmee de duurzaamheid is tegenwoordig ook van belang, dus moet een ruimte duurzaam zijn in het gebruik. Veel bedrijven proberen zich dan ook duurzaam voor te doen om een goede indruk en naam te krijgen binnen de maatschappij.

Binnen het bouwproces is deze trend echter nog niet te zien terwijl juist hier een flinke slag te maken is als het gaat om het duurzaam bouwen van een project.

2 ONDERZOEKSOPZET

2.1 Probleemstelling

Al opgemerkt is dat een verschil te constateren is tussen het materiaal gebruik voor hoogbouw in Amerika /Japan en Nederland. De keuze van het materiaal en stabiliteitsysteem is nauw met elkaar gekoppeld en door de status als betonland lijkt het alsof in Nederland de keuze voor het stabiliteitsysteem na de keuze van het materiaal wordt gemaakt. Terwijl de keuze van het stabiliteitsysteem op de gewenste flexibiliteit zou moeten worden gebaseerd, de materiaalkeuze is namelijk automatisch gekoppeld aan het stabiliteitsysteem.

Voor ieder project wordt een aantal varianten met bepaalde voor- en nadelen bekeken, waarna de ontwikkelaar een bouwmethodiek kiest welke hem het beste lijkt. Hierbij wordt voornamelijk naar de kosten gekeken en niet zo zeer naar de flexibiliteit en al helemaal niet naar de bouwduurzaamheid die men wil bereiken.

Duurzaamheid wordt binnen de maatschappij een steeds groter item en op den duur zal men ook op de bouwduurzaamheid gaan letten. De vraag is dan ook hoe en waar je, je als bedrijf op dit gebied kunt profileren en wat de kosten zijn om dit te doen.

Door de kredietcrisis en de economische recessie die deze met zich mee brengt zal er minder gebouwd gaan worden omdat de risico's te groot zijn. De projecten die wel gebouwd worden zullen goed in de markt moeten passen en zich goed aan de markt moeten kunnen aanpassen om ook daadwerkelijk rendabel te zijn.

Een nieuwbouw gebouw wat leeg staat in deze tijd brengt erg veel risico en kosten met zich mee en dus is het belangrijk om flexibiliteit binnen het gebouw te hebben, dit mag echter niet teveel kosten met zich meebrengen.

Probleemstelling: bij de keuze voor een stabiliteitsysteem voor hoogbouw wordt heel erg naar het draagsysteem en materiaal op zichzelf gekeken terwijl in deze keuze meer de flexibiliteit en bouwduurzaamheid zou moeten worden meegenomen.

2.1.1 Doelstelling

Hoofddoelstelling: de relatie tussen de stabiliteitsystemen voor hoogbouw, de bouwduurzaamheid, flexibiliteit en de hieraan gekoppelde kosten in beeld brengen.

2.1.1.1 Subdoelstellingen

- Een overzicht krijgen van de stabiliteitsystemen voor hoogbouw;
- Duidelijk krijgen wat zowel flexibiliteit als bouwduurzaamheid inhoudt;
- De relatie tussen draagsystemen en de kosten;
- De relatie tussen draagsystemen en de flexibiliteit;
- De relatie tussen draagsystemen en de bouwduurzaamheid.

2.1.2 Onderzoekvraag

Onderzoeksvraag: wat is de relatie tussen de voor hoogbouw bruikbare stabiliteitsystemen met hun bijbehorende performance aan de ene kant en de bouwduurzaamheid, flexibiliteit en kosten aan de andere kant.

2.1.2.1 Subvragen

- Welke stabiliteitsystemen zijn beschikbaar voor hoogbouw?
- Wat is de definitie van zowel flexibiliteit als bouwduurzaamheid?
- Hoe zijn globaal de kosten aan de draagsystemen te koppelen?
- Hoe kan de bouwduurzaamheid van de stabiliteitsystemen worden bepaald?
- Wat is de flexibiliteit van de stabiliteitsystemen?
- Is de flexibiliteit volledig bepaald door de keuze van constructiesysteem of is er binnen het gekozen constructiesysteem nog invloed uit te oefenen?
- Wat zijn de extra kosten om meer flexibiliteit in te passen?
- Wat zijn de extra kosten om een hogere bouwduurzaamheid na te streven?
- Hoe verhoudt de flexibiliteit zich tot de bouwduurzaamheid?

2.1.3 Afstudeerproject

Een groot deel van de insteek voor het afstuderen is naar voren gekomen tijdens het brainstormen over de mogelijkheden van het afstuderen aan de hand van een afstudeerproject. Dit project bestaat uit de bouw van zes woontorens boven op een parkeerkelder, de torens variëren in hoogte van 55m tot 135m. Tijdens de uitwerking van het daadwerkelijke afstuderen heeft dit project op de achtergrond een belangrijke rol gaan spelen. Het is echter niet als case studie project gebruikt.

2.1.4 Relevantie

2.1.4.1 Maatschappelijk

De hele maatschappij is ingesteld op het meer en meer rekening houden met het milieu, dit wordt onder andere gedaan door de duurzaamheid te vergroten. Veel woningen en kantoren worden al zodanig gebouwd dat hun energieverbruik laag is. In het bouwproces en voor de bouwmethodiek wordt hier nog weinig rekening mee gehouden en hier is dus nog een slag te slaan op het gebied van duurzaamheid. Indien kantoorpanden of woningen leeg komen te staan is dit niet alleen voor de eigenaar nadelig, omdat deze geen inkomsten binnen krijgt, vaak trekken deze gebieden of gebouwen ook hangjongeren en criminaliteit aan wat nadelig is voor de hele omgeving. Het voorkomen van leegstand is hiervoor een doeltreffende oplossing en dit is mogelijk door te zorgen dat het gebouw aangepast kan worden aan de behoefte van de maatschappij. Dit wordt bereikt door te zorgen dat het gebouw voldoende flexibiliteit bezit.

2.1.4.2 Wetenschappelijk en vernieuwing

Wetenschappelijk gezien wordt voor het stabiliteitsystemen een verband gelegd tussen de flexibiliteit en bouwduurzaamheid. Dit verband maakt het mogelijk om in de toekomst rekening te houden bij de keuze voor een stabiliteitsysteem rekening te houden met deze aspecten. Met behulp van dit verband kan op een andere manier tegen de constructieve kant van hoogbouw aangekeken worden, hierbij is te zien wat extra investeringen opleveren op het gebied van flexibiliteit en bouwduurzaamheid.

Het idee hiervan is dat indien deze extra kosten laag zijn men eerder duurzamer en flexibeler gaat bouwen.

2.1.4.3 Link met praktijk

Het onderzoek is naar voren gekomen na het bespreken van de interessante punten van het afstudeerproject en dus heeft in ieder geval dat project een link met het onderzoek. Maar zoals bij het vernieuwende ook al gezegd is, is het mogelijk om op een andere manier tegen de constructieve kant van hoogbouw aan te gaan kijken.

2.2 Onderzoeksopzet

Het afstuderen is te verdelen in drie stukken:

- Literatuurstudie;
- Onderzoek;
- Conclusie en aanbevelingen.

2.2.1 Literatuurstudie

De literatuurstudie heeft als doel om een duidelijker beeld te krijgen van de verschillende onderwerpen die in het afstuderen terug komen. Dit zijn: stabiliteitsystemen, globale kosten, bouwduurzaamheid en flexibiliteit.

2.2.1.1 Stabiliteitsystemen

Voor hoogbouw zijn diverse stabiliteitsystemen mogelijk en vaak zijn ze zowel in beton, staal en in staalbeton mogelijk. Naar de systemen zijn in het verleden al diverse onderzoeken gedaan en in grote lijnen is hun gedrag en toepassingsgebied bekend. Belangrijk is deze eigenschappen op een rijtje te zetten met hierbij de voor- en nadelen met de eventuele aandachtspunten voor dit draagsysteem.

Voor dit onderwerp zal een literatuurstudie moeten worden gedaan in boeken, publicaties van onderzoeken en in documentatie over hoogbouw en hoogbouwprojecten.

Het doel van dit deel van de literatuurstudie is antwoord vinden voor de subvraag: "Welke stabiliteitsystemen zijn beschikbaar voor hoogbouw?".

2.2.1.2 Kosten

Voor een ontwikkelaar is het kostenaspect nog altijd het belangrijkste van een bouwproject. Verdient hij te weinig op het project dan is het niet rendabel en gaat het project niet door.

Voor de verschillende stabiliteitsystemen zal via simpele indexgetallen aan de stabiliteitsystemen een kostenplaatje worden gehangen. Door dit kostenplaatje ontstaat meer connectie met de praktijk. Dit onderdeel van de literatuurstudie geeft antwoord op de subvraag: "Hoe zijn globaal de kosten aan de stabiliteitsystemen te koppelen?" en draagt bij aan de subvragen:

- Wat zijn de extra kosten om meer flexibiliteit in te passen?
- Wat zijn de extra kosten om een hogere bouwduurzaamheid na te streven?

2.2.1.3 Bouwduurzaamheid

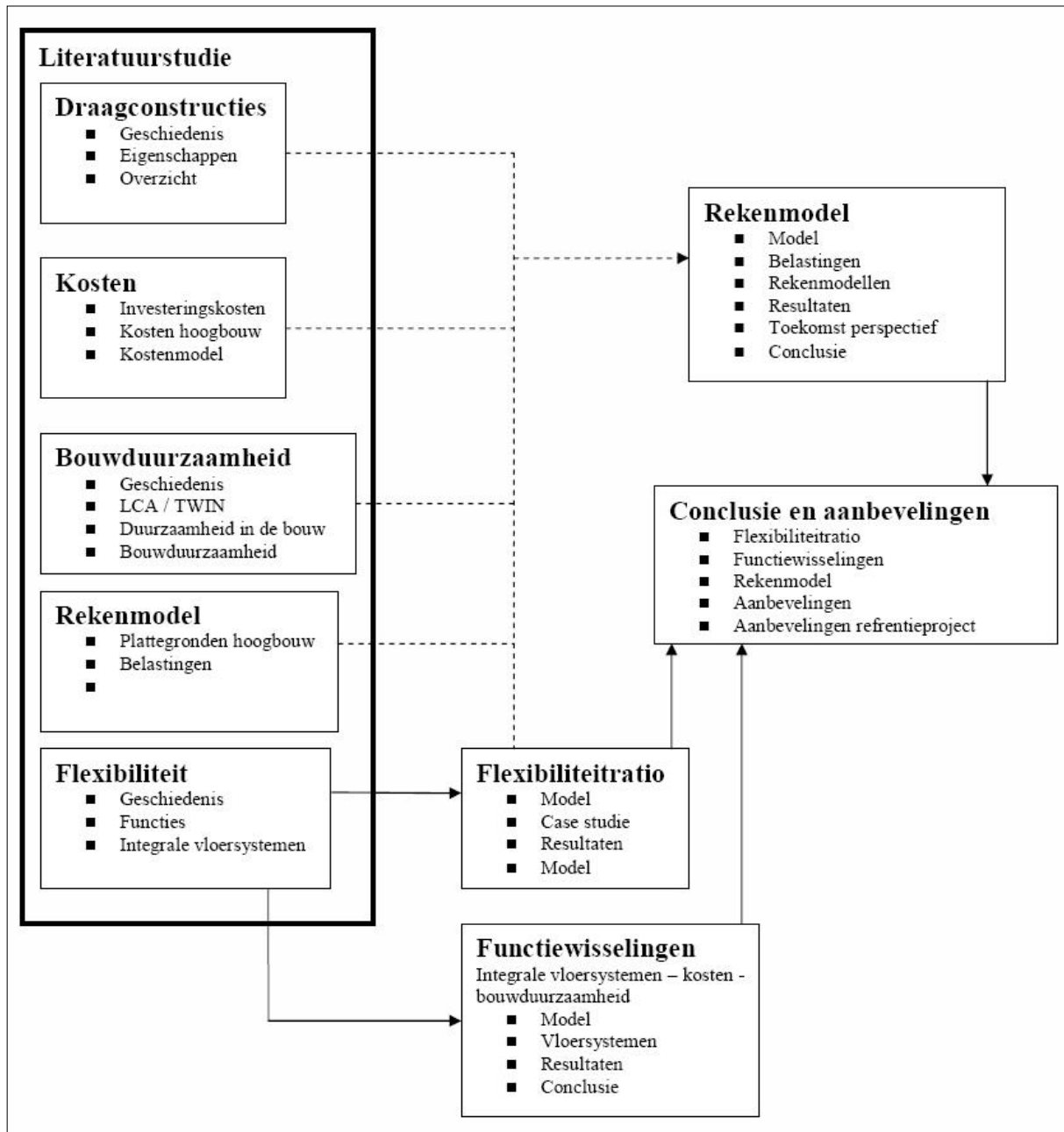
De term duurzaamheid is een volledig ingeburgerde term en als deze in relatie tot het milieu wordt gezien gaat het om hoe goed iets voor het milieu is gelet op energieverbruik, vervuiling en recycling. Voor de term bouwduurzaamheid zou eenzelfde omschrijving gebruikt kunnen worden alleen gaat het dan om het energieverbruik, de vervuiling en de mogelijkheid tot recyclen van de materialen gebruikt tijdens de bouw en het bouwproces. Dit onderdeel van de literatuurstudie dient om de definitie van bouwduurzaamheid te bepalen en te bepalen met welke methode en hoe de duurzaamheid kan worden bepaald.

2.2.1.4 Flexibiliteit

Flexibiliteit is een term die iedereen kent maar waarbij diverse betekenissen mogelijk zijn. Dus ook hier moet, om in het onderzoek de term te kunnen gebruiken en toepassen, een concrete definitie van flexibiliteit worden opgesteld en omschreven worden naar welke onderdelen van flexibiliteit gekeken zal worden.

Dit onderdeel dient om antwoord te geven op de subvragen:

- Wat is de flexibiliteit van de stabiliteitsystemen?
- Is de flexibiliteit volledig bepaald door de keuze van constructiesysteem of is er binnen je gekozen constructiesysteem nog invloed uit te oefenen?



Figuur 2: onderzoeksopzet

2.2.2 Onderzoeken

2.2.2.1 Functiewisselingen

Uit de literatuurstudie naar de flexibiliteit komt naar voren dat naar de mogelijkheid tot functiewisselingen moet worden gekeken om iets te kunnen zeggen over hoe de aanpasbaarheid van een gebouw is.

2.2.2.2 Flexibiliteitratio

Om van de stabiliteitsystemen naar de flexibiliteit te kijken is naar voren gekomen dat de flexibiliteitratio moet worden opgesteld. Dit zal worden gedaan aan de hand van een case studie bij hoogbouw op de Nederlandse markt.

2.2.2.3 Rekenmodel

Met behulp van een rekenmodel zullen verschillende varianten voor de stabiliteitsystemen opgezet worden. Aan deze varianten worden de verschillende aspecten, kosten, bouwduurzaamheid en flexibiliteit gekoppeld. Door per hoogte de beste varianten per stabiliteitsstelsel te vergelijken is vervolgens een uitspraak te doen voor de opgestelde subvragen.

2.2.2.4 Rekenmodel en functiewisselingen

Uit de voorgaande onderzoeken is bekend wat het ideale vloersysteem is, ook is bekend wat het ideale stabiliteitsstelsel is. In dit onderzoek zal gekeken worden naar de combinatie van stabiliteitsstelsel en vloersysteem. Hierbij zal de ideale combinatie worden vergeleken met de traditionele keuze voor stabiliteitsstelsel en vloersysteem.

2.2.3 Conclusie

Met de resultaten uit de literatuurstudie en de onderzoeken moet het mogelijk zijn om alle subvragen te beantwoorden en daarmee een uitwerking voor de doelstellingen te geven.

De conclusie zal per onderzoek worden gegeven waarna een algemene conclusie met de belangrijkste punten volgt. Naast het geven van een conclusie zullen aan de hand van de conclusies aanbevelingen worden gegeven. Vanwege de invloed van het afstudeerproject op de insteek van het afstuderen zullen ook aanbevelingen richting dit afstudeerproject worden gegeven.

3 LITERATUURSTUDIE

3.1 Inleiding

Voordat begonnen is met het daadwerkelijke onderzoek is een literatuurstudie uitgevoerd. De literatuurstudie vormt de basis van het onderzoek en bevat de aan te houden definities en achtergrond informatie over hoogbouw, de stabiliteitsystemen, bouwduurzaamheid, flexibiliteit en kosten.

Deze literatuurstudie is te omvangrijk om in zijn geheel op te nemen in dit rapport. Bij interesse naar meer achtergrondinformatie of de herkomst van bepaalde gegevens wordt verwezen naar het document: "Literatuurstudie, stabiliteitsystemen, kosten, duurzaamheid en flexibiliteit van hoogbouw."

Deze literatuurstudie is opgebouwd uit de volgende deelrapporten:

- Stabiliteitsystemen;
- Kosten;
- Bouwduurzaamheid;
- Flexibiliteit;
- Rekenmodellen.

Hiervan komt het deelrapport rekenmodellen terug in het hoofdstuk onderzoeken in plaats van in dit hoofdstuk.

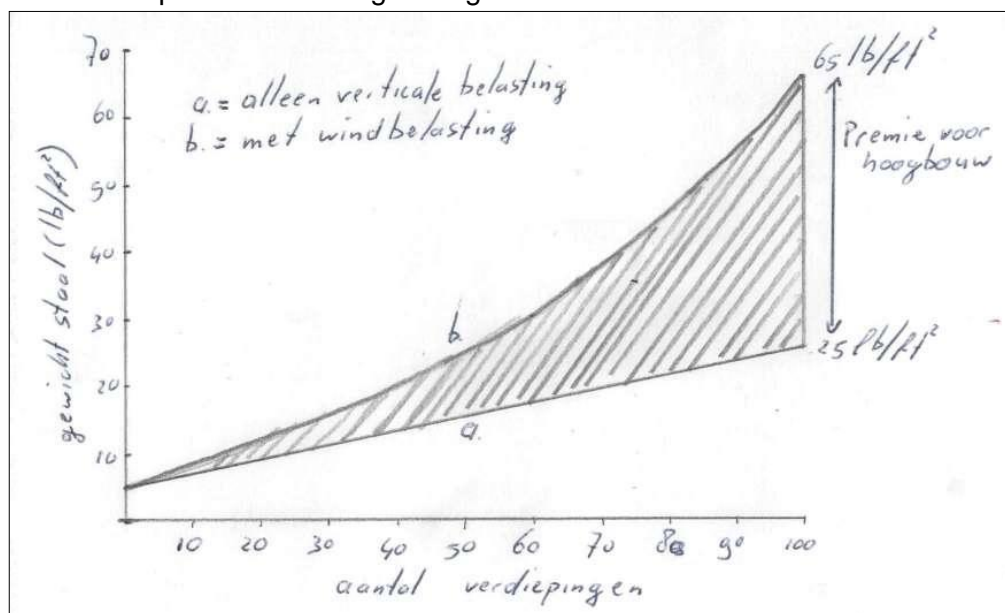
DEELRAPPORT STABILITEITSSYSTEMEN

3.2 Hoogbouw

Ieder gebouw dat gebouwd wordt bezit een hoofddraagconstructie en daarom is het van belang op algemeen vlak wat meer te weten te komen over de mogelijkheden van deze hoofddraagconstructie.

De draagconstructie zorgt ervoor dat de verticale en horizontale belastingen naar de grond kunnen worden afgevoerd. De verticale belastingen bestaan uit het eigen gewicht en verticaal gerichte veranderlijke belasting, de horizontale belasting bestaat uit de windbelasting en eventuele bijzondere belastingen zoals bij een aanrijding.

Bij hoogbouw wordt de verticale belasting al snel van ondergeschikt belang aan de horizontale belasting. De horizontale belasting veroorzaakt een horizontale uitbuiging die moet worden beperkt om de stabiliteit te garanderen. Deze horizontale uitbuiging is tegen te gaan door ervoor te zorgen dat voldoende stijfheid, in veel gevallen in de vorm van materiaal, aanwezig is. De toename van het benodigde materiaal is kwadratisch met de toename van de hoogte als gekeken wordt naar de horizontale belastingen, dit terwijl de toename van materiaal voor de verticale belasting lineair is. Dit kwadratische verband wordt ook wel de premie voor hoogbouw genoemd.



Figuur 3: premie voor hoogbouw [gebaseerd op: Wolfgang Scheuller, 1990]¹

Hoogbouw is iets wat bij iedereen tot zijn verbeelding spreekt en waar iedereen een andere mening over heeft. Voordat zal worden ingegaan op de definitie voor hoogbouw zal worden gekeken naar de geschiedenis van hoogbouw door de jaren heen en de geschiedenis van hoogbouw in Nederland.

3.2.1 Geschiedenis hoogbouw

In de oudheid was men al bekend met hoogbouw, dit vond plaats in de vorm van tempels, piramides, kathedralen, kastelen en diverse torens.

Deze constructies hadden als doel om macht en vertrouwen uit te stralen en werden veelal vanwege politieke of religieuze redenen gebouwd. In deze tijd werden ook woongebouwen van 4 tot 10 verdiepingen gebouwd waarbij men hout, stenen en soms beton gebruikte voor de constructie, de vloer werd vaak gemaakt van gewelven welke op zware houten balken rustten.

Het grote nadeel van het bouwen in metselwerk is dat grote massieve constructies met weinig vrijheid ontstonden omdat de sterkte van metselwerk niet zo groot is. Met de komst van ijzer werd het mogelijk om de interne kolommen de verticale belasting af te laten dragen terwijl het externe metselwerk voor stabiliteit zorgde door de horizontale belasting op te nemen.

Deze manier van bouwen kan worden gezien als de eerste stap naar skeletconstructies en daarmee de geboorte van de voorloper van de wolkenkrabber. Met de ontwikkeling van de eerste “veilige” lift voor personenvervoer, waren de gebouwhoogtes niet meer gelimiteerd aan de hoeveelheid trappen die men moest lopen. Omdat de skeletconstructie zich in het tweede deel van de 19^e eeuw verder ontwikkelde kon men spreken van het aanbreken van de pre wolkenkrabber periode.

In 1885 werd de eerste echte wolkenkrabber in Chicago gebouwd, deze wolkenkrabber was 10 verdiepingen hoog en had een volledig metalen skelet met diagonalen voor de stabiliteit. De wolkenkrabbers uit deze tijd werden niet alleen in staal uitgevoerd, in dragend metselwerk was ook mogelijk. Echter was het grote nadeel hiervan dat de muren op de begane grond een halve meter dik werden waardoor weinig bruikbaar vloeroppervlak overbleef. In de 19^e eeuw bleef voor de hoogte van de “wolkenkrabber” de technologie de beperkende factor. In de 20^{ste} eeuw kwam hier verandering in toen werd aangetoond dat de technische elementen niet de beperkende elementen voor de hoogte waren. Hiermee brak de zogenoemde 2^e periode van de wolkenkrabber aan.



Figuur 4: Empire State Building [David Shankbone]

De wolkenkrabbers die in deze tijd in Chicago werden gebouwd waren niet de wolkenkrabbers zoals we deze nu kennen. Het waren eerder meerdere verdieping gebouwen volgens het principe: “vorm volgt functie”.

Met de bouw van de eerste volledig vrijstaande wolkenkrabber in New York verschoof de aandacht dan ook van Chicago naar New York. Hier geloofde men meer in de torens die boven de rest van de gebouwen de lucht in staken. Met deze instelling en de verschuiving van aandacht barstte in New York de strijd om de hoogste toren los. In deze tijd was men nog op zoek naar een bouwstijl voor de wolkenkrabbers, in New York greep men terug op Gotisch en Klassieke systemen met de ornamenten in het staal terwijl in Chicago werd gekozen voor vorm volgt functie en de ornamenten werden los gekoppeld van het staal.

Als gevolg van de Chicago tribune competitie in 1922 werd een tweede fase in deze wolkenkrabber periode ingeluid. Het uitgangspunt van deze fase was de opwaartse beweging van het gebouw laten zien, zodat deze iets weg had van een berg die uit de grond groeit. Het toppunt van de strijd om de hoogste toren in de 2^e wolkenkrabber periode vond plaatst met het afronden van de bouw van het in Art Deco stijl gebouwde Empire State Building in 1931. Dit gebouw mocht zich meer dan 40 jaar het hoogste gebouw ter wereld mocht noemen [Wolfgang Scheuller, 1990]¹.

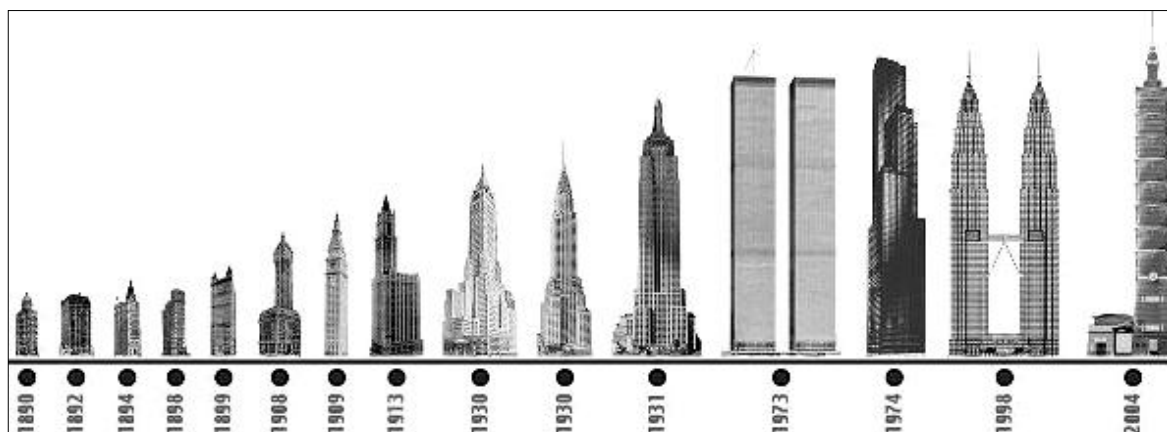
The PSFS Building van 1932 liet duidelijke de draagconstructie zien in plaats van de gevel te bekleden met ornamenten. Dit was de voorloper van de 3^e wolkenkrabber periode die als gevolg van de economische crisis en de Tweede wereldoorlog tot de jaren vijftig op zich liet wachten. In deze fase werd de benaming veranderd in hoogbouw. Hoogbouw vond in deze periode over heel de wereld plaats in zowel staal, gewapend beton en metselwerk.

De gebouwen werden steeds meer ontworpen op functionele en technologische feiten waardoor de constructie een belangrijker element werd. Dit zorgde ervoor dat de ontwerpers innovatief en inventief werden wat tot veel nieuwe hoogbouw leidden. Bij deze hoogbouw werden de portalen, welke uit de eerste twee periode komen, en veel materiaal nodig hadden, omdat ze inefficiënt zijn in het opvangen van dwarskrachten en momenten, vervangen door de efficiënt werkende kernen [*Diktaat hoogbouw*]².

In het begin van de jaren zeventig leidde dit tot het World Trade Center in New York en kort daarna de Sears Tower in Chicago als nieuw hoogste gebouw ter wereld.

Na deze periode ontwikkelde het modernisme zich door tot het Structuralisme waarbij de nadruk op robotica en geavanceerde ruimtetehnologie kwam te liggen. Ook werd Art Deco weer een grote bron van inspiratie waardoor het beeld van de eerdere wolkenkrabbers weer terug kwam. Met deze ontwikkeling brak de 4^e periode van de wolkenkrabber aan. In deze periode veranderde de reden voor het bouwen van wolkenkrabbers meer en meer terug naar de reden die ook voor tempels en paleizen werd gebruikt, namelijk de status van de stad en de economische kracht die deze heeft laten zien [*Wolfgang Scheuller, 1990*]¹.

Andere veranderingen in de 4^e wolkenkrabber periode zijn dat de bouw van wolkenkrabbers zich van Noord Amerika heeft verlegd naar Azië en Australië. Het World Trade Center en de Sears Tower werden gebouwd met behulp van een gevelbuis en dit systeem is alleen maar meer toegepast net zo als outriggers. Het voordeel van deze stabiliteitsystemen is dat de gevel wordt geactiveerd voor de stabiliteit van het gebouw [*Diktaat Hoogbouw*]².



Figuur 5: tijdlijn hoogste gebouw [www.skyscrapers.org/tallest_towers/tallest.htm]

3.2.2 Hoogbouw in Nederland

De eerste hoogbouw van Nederland, het Witte Huis in Rotterdam, werd al in 1898 gebouwd, samen met het twaalf verdiepingen tellende huis van J.F. Staal in 1932, wat bekend stond als de Wolkenkrabber, waren dit de bekende hoge gebouwen van voor de Tweede Wereldoorlog. De keuze voor hoogbouw bleef echter nog redelijk beperkt in deze tijd. Hier kwam een verandering in toen men in de jaren zestig vanuit het oogpunt van ruimte voor groen in de wijk galerijflats ging bouwen. Deze keuze werd later gezien als een slechte keuze omdat het niet aansloot bij de woonwensen en met de bouw van laagbouw wijken ontstonden door leegloop veel problemen in deze "hoogbouw" wijken.

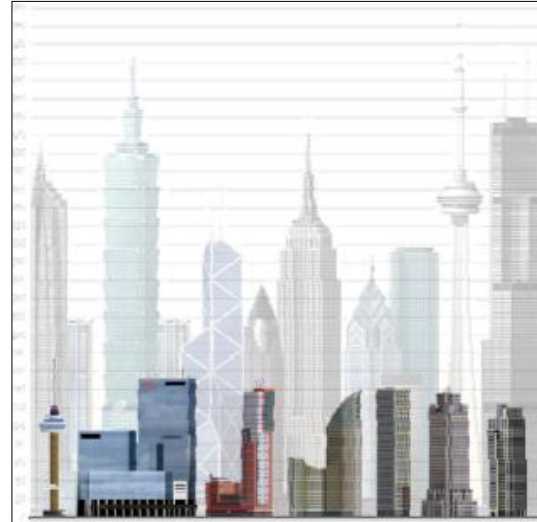


Figuur 6: het Witte huis in Rotterdam
[<http://hdl.loc.gov/loc.pnp/ppmsc.05839>]

Met de bouw van het World Trade Center in Rotterdam, welke in tegenstelling tot de eerdere hoogbouw als fraai werd beschouwd, vond in de jaren tachtig een omslag plaats in het denken over hoogbouw. De reden voor hoogbouw veranderde van een oplossing bieden voor de woningnood naar de stad of een bedrijf een uitstraling geven en van hoge woongebouwen ging men over in hoge kantoorgebouwen.

In de jaren negentig ontwikkelde Rotterdam zich als hoogbouw stad van Nederland waarbij vooral de Kop van Zuid erg bekend werd. [Hoffman, 2008]³.

Vergeleken met de grote hoogbouwlanden blijft Nederland op het gebied van hoogbouw achter. Dit heeft deels te maken met het feit dat hoogbouw pas doorbrak in de jaren negentig maar ook met de behoefte die vanuit binnenstedelijke problemen naar hoogbouw aanwezig is. Tevens hebben veel steden een eigen karakter, historie en historisch centrum wat het moeilijker acceptabel maakt om midden in de stad hoogbouw te bouwen. Dit zorgt dat de hoogbouw aan de rand van de stad komt, minder makkelijk in het beeld van de stad past en hierdoor een grotere impact op de maatschappij heeft in vergelijking met Amerikaanse steden [Beedle, 1995]⁴.



*Figuur 7: vergelijking hoogbouw in Nederland en de rest van de wereld
[<http://www.skyscraperpage.com>]⁵¹*

3.2.3 Definitie hoogbouw

In Nederland is geen eenduidige definitie voor de term hoogbouw voorhanden. In de verschillende publicaties over hoogbouw wordt dan ook telkens een andere definitie gebruikt.

De definitie in de Van Dale is: “hoge gebouwen, het tegenovergestelde van laagbouw.”

Stichting Hoogbouw gebruikt in “Hoogbouw in Nederland” de definitie: “minimaal 60 meter voor torens met een kantoorfunctie en voor woongebouwen 18 verdiepingen.” Een minder concrete omschrijving is de beschrijving van toenmalig voorzitter van de Stichting Hoogbouw, Dhr. J. Klerks: “hoogbouw zijn alle bouwwerken welke je indien je voor het object staat door zijn hoogte respect inboezemen.” De omschrijving welke The Council of Tall Building and Urban Habitat toe past is dat een bouwwerk hoogbouw is indien de hoogte of slankheid bepalend is voor het gebouw. Hierbij speelt het ontwerp, gebruik en de omgeving van het gebouw een rol omdat deze factoren invloed hebben op de beleving van het gebouw.

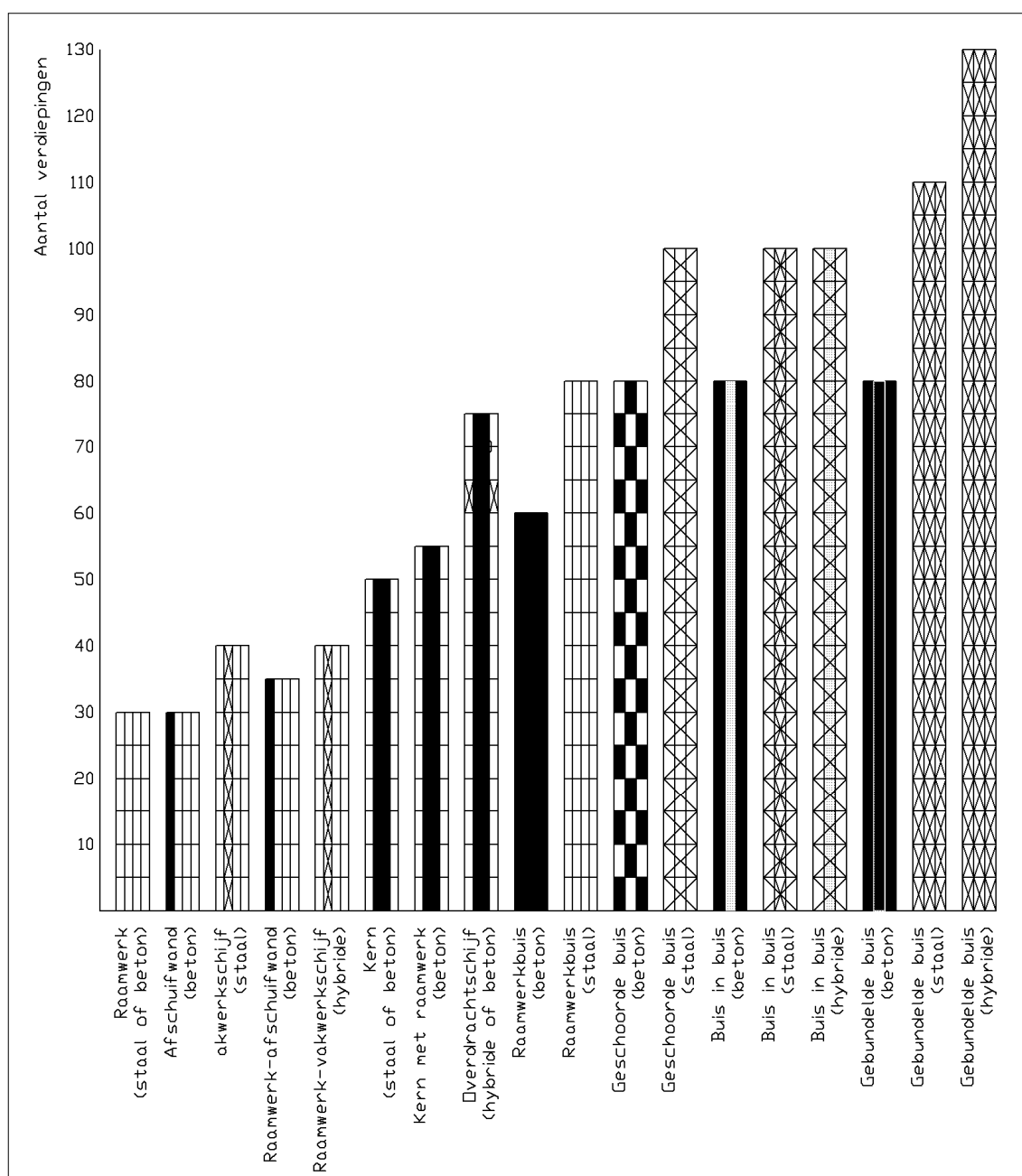
In feite is als naar heel de wereld wordt gekeken geen hoogte te noemen vanaf waar een gebouw hoogbouw is. In dit rapport zal de concentratie liggen op Nederland en daarom zal voor hoogbouw gebouwen hoger dan 70m worden aangehouden. Er is gekozen voor 70m omdat dit de grens is tot waar eisen worden gesteld in de normen. In het achterhoofd dient wel te worden meegenomen dat het aspect slankheid, hoogte en de omgeving belangrijk zijn.

3.3 Stabiliteitsystemen hoogbouw

In de literatuurstudie zijn de volgende stabiliteitsystemen bekeken:

- Raamwerk;
- Schijven;
- Kern;
- Kern met raamwerk;
- Overdrachtschijf;
- Raamwerkbuis;
- Geschoorde buis;
- Buis in buis;
- Gebundelde buis.

Voor deze systemen is uitgebreid gekeken naar het gedrag, materiaal, de plaatsing en tot welke hoogte met het systeem kan worden gebouwd. Hieronder is een overzicht te vinden met de resultaten. Voor meer informatie wordt verwezen naar het onderdeel stabiliteitsystemen in: "Literatuurstudie, stabiliteitsystemen, kosten, duurzaamheid en flexibiliteit van hoogbouw."



Figuur 8: overzicht aantal verdiepingen versus mogelijke stabiliteitsystemen

Draagsysteem	Materiaal	Aantal verdiepingen	Stabiliteit in	Plaatsing	Opmerkingen
Raamwerk	Beton	30	1 richting	overal	Bij 30 verdiepingen erg grote afmetingen
Raamwerk	Staal	30	1 richting	overal	Duur en bij 30 verdiepingen erg grote afmetingen
Afschuifwand	Beton	30	1 richting	overal	Dichte wanden kunnen vrije indeelbaarheid beperken
Vakwerkschijf	Staal	40	1 richting	overal	Diagonalen beperken plaatselijk vrije indeelbaarheid
Raamwerk-schijf	Beton	35	1 richting	overal	Dichte wanden kunnen vrije indeelbaarheid beperken
Raamwerk-schijf	Hybride	40	1 richting	overal	Betonnen raamwerk en stalen schijf dus rekening houden met diagonalen
Kern	Beton	50	2 richtingen	midden gebouw	Dichte wanden dus combineren met algemene ruimte
Kern	Staal	50	2 richtingen	midden gebouw	Minder stijf dan betonnen kern maar alleen plaatselijke beperking vrije indeelbaarheid
Kern met raamwerk	Beton	55	2 richtingen	midden / overal	
Overdrachtschijf	Beton	75	1 richting	midden / boven in	Minder materiaal efficiënt dus duurder dan in maar ook meer vrije indeelbaarheid
Overdrachtschijf	Staal	75	1 richting	midden / boven in	Ter plaatste van overdrachtschijf beperking vrije indeelbaarheid
Raamwerkbuis	Beton	60	2 richtingen	gevel	Beperkt aantal openingen in de gevel 30%
Raamwerkbuis	Staal	80	2 richtingen	gevel	Meer openingen door meer stijfheid maar ook duurder
Geschoorde buis	Beton	80	2 richtingen	gevel	Plaatselijk verplichte dichte gevel
Geschoorde buis	Staal	100	2 richtingen	gevel	
Buis in buis	Beton	80	2 richtingen	gevel / midden	
Buis in buis	Staal	100	2 richtingen	gevel / midden	
Buis in buis	Hybride	100	2 richtingen	gevel / midden	
Gebundelde raamwerkbuis	Beton	80	2 richtingen	gevel / intern	Door interne kolommen minder vrije indeelbaarheid
Gebundelde raamwerkbuis	Staal	110	2 richtingen	gevel / intern	Door interne kolommen minder vrije indeelbaarheid
Gebundelde geschoorde buis	Staal	130	2 richtingen	gevel / intern	Door interne kolommen minder vrije indeelbaarheid

Tabel 4: overzicht met eigenschappen van de stabiliteitsystemen

DEELRAPPORT KOSTEN

3.4 Kosten

3.4.1 Investeringskosten

Om een indicatie te kunnen geven van de totale kosten van een hoogbouw project moet gekeken worden naar de investeringskosten. Deze kosten zijn opgebouwd uit de grondkosten, bouwkosten, bijkomende kosten en de belasting toegevoegde waarde (BTW). Belangrijk om op te merken is dat er veel verschillende onderverdelingen en benamingen van kostenposten zijn om de investeringskosten te bepalen.

Investeringskosten								
Grondkosten	Bouwkosten						Kosten voor losse inrichtingen en bedrijfsinstallaties	bijkomende kosten
	Bouwkundige werken	Installaties			vaste inrichtingen	terrein		
W-Installaties		E-Installaties	Lift en transport					

Figuur 9: onderdelen waaruit investeringskosten zijn opgebouwd [NEN 2634, 2002]⁴⁶

3.4.1.1 Grondkosten

Voordat het mogelijk is om over te gaan tot bouwen is het van belang dat de grond in bezit van de ontwikkelaar komt, in Nederland kan dit op drie verschillende manieren.

- De kosten voor het bruto vloeroppervlak kunnen worden bepaald als een percentage van de opbrengsten van het bouwwerk. Dit percentage is gebaseerd op de functie en de locatie.
- De grondkosten kunnen ook bepaald worden met de residuele grondwaardemethode. De residuele grondwaarde is het verschil tussen de commerciële waarde en de bouw- en bijkomende kosten. Een berekening voor deze kosten wordt gemaakt aan de hand van in de markt gebruikelijke parameters. Het voordeel van deze methode is dat onderhandelen over de grondprijs mogelijk is. Als een gemeente een project graag gerealiseerd ziet maar de begroting is niet sluitend door te hoge grondkosten is het mogelijk om deze te laten zakken.
- De derde methode om de grondkosten te bepalen gaat uit van de comperatieve methode, hierbij wordt de grondprijs bepaald door te kijken naar vergelijkbare transacties uit het recente verleden. Door deze en de toekomstige gronduitgave te analyseren wordt de prijs bepaald [Nout, 1996]⁴⁷.

3.4.1.2 Bouwkosten

Als naar de bouwkosten wordt gekeken gaat het meestal over de totale bouwkosten. Deze totale kosten zijn opgebouwd uit de directe en indirecte bouwkosten.

Directe bouwkosten

De directe bouwkosten zijn de kosten die te maken hebben met het materiaal, materieel, loon en onderaanneming. Deze kosten hebben rechtstreeks met het bouwwerk, de constructie, de gevel en de installatie te maken en zijn daarmee ook afhankelijk van hoe hoog gebouwd wordt.

De directe bouwkosten kunnen op twee manieren worden bepaald, met behulp van kengetallen of door bepaling van de kosten per bouwdeel.

De kengetallen kunnen worden verkregen door een uitvoerige analyse van referentieprojecten waarna de bouwkosten kunnen worden bepaald door voor alle materialen de hoeveelheden te vermenigvuldigen met een eenheidsprijs. Voor hoogbouw is dit geen geschikte methode omdat er weinig referentieprojecten voor handen zijn en daarnaast zijn deze projecten vaak niet met elkaar te vergelijken omdat ze teveel verschillen.

De tweede methode is minder globaal dan de eerste en hierbij wordt het gebouw onderverdeeld in verschillende gebouwdelen. Vervolgens kan er gedetailleerder worden gewerkt door deze gebouwdelen weer onder te verdelen in element- of productgroepen. Deze verdeling wordt gemaakt aan de hand van de NL-Sfb classificatie of de NEN classificatie. Het verschil hierbij is de onderverdeling van de gebouwdelen [Oss, 2007]²⁸.

Indirecte bouwkosten

Naast de directe kosten zijn ook de indirecte kosten van invloed op de totale bouwkosten. Simpel gezegd zijn dit de kosten die het mogelijk maken dat gebouwd kan worden en daardoor zijn ze niet aan een specifiek onderdeel van de bouw toe te schrijven. Deze kosten zijn opgebouwd uit de volgende onderdelen:

- Algemene Kosten (AK), dit zijn de algemene bedrijfskosten van het bouwbedrijf zoals kantoor en directie. Voor hoogbouw ongeveer 7% van de directe bouwkosten;
- Algemene BouwplaatsKosten (ABK), zijn de kosten die nodig zijn voor het geschikt maken en houden van de bouwplaats en het organiseren en controleren van de werkzaamheden op de bouwplaats. Als de gebouwhoogte stijgt zullen deze kosten ook stijgen omdat de bouwplaats complexer wordt. Voor een gebouw van tien verdiepingen zijn deze kosten ongeveer 8% van de directe bouwkosten;
- Winst en Risico (W&R), als winst en risico wordt 4% over de directe bouwkosten in rekening gebracht. Dit percentage is enigszins afhankelijk van de economische situatie [Jonge de, 1998]⁴⁸.

3.4.1.3 Bijkomende kosten

De bijkomende kosten volgens de NEN2632 zijn ongeveer als volgt opgebouwd:

- Voorbereidingskosten, dit zijn de kosten voor architect, constructeur, installateur, opzichter en andere adviseurs. Deze kosten zijn een bepaald percentage van de bouwkosten;
- Heffingen, deze post is opgebouwd uit de kosten voor leges en aansluitingen;
- Aanloopkosten, de kosten die gemaakt worden in de aanloop, ter promotie en verkoop van het project;
- Verzekeringen, de kosten voor de benodigde verzekeringen tijdens de bouw;
- Financieringskosten, de benodigde kosten ter financiering van het project. Als gevolg van aangegane leningen moet er rente betaald worden. De hoogte van deze post is deels afhankelijk van de bouwtijd welke weer deels worden beïnvloed door het stabiliteitsysteem;
- Risico verrekening, in deze post worden de overheadkosten van de ontwikkelaar meegenomen;
- Onvoorzien, deze post moet enigszins worden aangepast aan hoe gedetailleerd het plan al is uitgewerkt en dus hoeveel onvoorziende problemen nog op kunnen treden [Gerritse, 1999]⁴⁹.

3.4.1.4 Belasting toegevoegde waarde

In Nederland geldt voor een gebouw een BTW van 19%. Deze moet geheven worden over alle hiervoor benoemde kosten: de grondkosten, totale bouwkosten en bijkomende kosten. Volgens de NEN valt de belasting eigenlijk ook onder de bijkomende kosten maar omdat de belasting ook geheven moet worden over de daar binnenvallende kosten is het makkelijk om deze als een losse hoofdpост te zien.

3.4.2 Invloed hoogbouw

Voor iedereen is het duidelijk dat de investeringskosten voor een hoogbouwproject hoger zijn dan een laagbouwproject met hetzelfde bruto vloeroppervlak (BVO). Dit heeft met een aantal factoren te maken:

- Invloed hoogte op gebouwdelen;
- Bouwtijd;
- Bouwplaatskosten;
- Efficiëntie van het vloeroppervlak.

3.4.2.1 Invloed hoogte op gebouwdelen

In paragraaf 3.4.1.2 is kort aangestipt dat de directe bouwkosten rechtstreeks te maken hebben met het bouwwerk. Als hoger gebouwd wordt zijn meer materialen nodig wat consequenties heeft voor met name de kosten voor de draagconstructie, installaties en gevel.

Draagconstructie

Bij hoogbouw blijft de verticale belasting per verdieping gelijk maar door het hogere aantal verdiepingen neemt de totale verticale belasting op de onderste kolommen wel toe. De horizontale belasting neemt zowel in de lengte waarover als in de grote waarin deze aanwezig is toe. Als gevolg hiervan moet de draagconstructie zwaarder en dus duurder worden uitgevoerd. Niet alleen de draagconstructie maar ook de fundering moet door het hogere gebouwgewicht meer krachten overbrengen en dus zwaarder en duurder worden uitgevoerd.

Installaties

Voor hoogbouw kunnen de bouwkosten voor de installaties oplopen tot boven de 40% van de bouwkosten [Oss, 2007]²⁸. Hierbij kan het onderdeel installaties worden opgedeeld in liften en de overige installaties die zorgen voor thermisch, hygiënisch, akoestisch en visueel comfort.

Gevel

Bij een kantoorgebouw van 12 verdiepingen kan de gevel een aandeel van 33% hebben in de bouwkosten [Gerritse, 1999]⁴⁹. Bij hoogbouw zal niet alleen de hoeveelheid gevel ten opzichte van het grondoppervlak toenemen, ook wordt de gevel op hoogte aan een zwaardere windbelasting en moeilijker uitvoering blootgesteld wat de kosten zal verhogen.

3.4.2.2 Bouwtijd

Voordat bij een bouwproject met de uitvoer van de gevel en installatie kan worden begonnen moet de draagconstructie een eind uit de grond zijn. Dit betekent dat de bouwtijd per verdieping niet alleen invloed heeft op hoelang het duurt voordat het hoogste punt wordt bereikt maar ook wanneer met de gevel, installaties en afbouw kan worden begonnen en dus hoe snel het totale gebouw gereed is.

De bouwtijd is voor de ontwikkelaar belangrijk omdat de bouwtijd invloed heeft op hoe hoog de financieringskosten worden als gevolg van de rente. Over het algemeen heeft een hoogbouwproject met een forse investering en dus lening te maken. Over deze lening wordt rente betaald en hoe korter de bouwtijd hoe sneller er kan worden begonnen met afbetalen en hoe kleiner deze post gehouden kan worden.

3.4.2.3 Materiaalkeuze

Een belangrijke invloedsfactor op de bouwtijd is de materiaalkeuze. Voor deze bouwtijd kan gesproken worden over de bouwtijd tijdens de realisatie en de totale bouwtijd.

De bouwtijd tijdens de realisatie van een stalen draagconstructie is korter dan wanneer voor een betonnen uitvoering wordt gekozen. Hoe hoger het gebouw wordt hoe meer deze tijdswinst wordt. Echter heeft beton, indien van in het werk gestort beton wordt uitgegaan, het voordeel dat de bouw al kan beginnen voordat het ontwerp volledig af is. Bij staal moet het ontwerp eerst naar de staalleverancier waar de constructie in productie wordt genomen. Dit zorgt ervoor dat de totale bouwtijd van beton inloopt op staal, voor lagere gebouwen kan de bouwtijd van beton zelfs korter worden dan voor staal [Stichting Bouwresearch, 1988]⁶.

3.4.2.4 Bouwplaatskosten

Voor een snelle en efficiënte uitvoering zijn de bouwplaatsfaciliteiten van belang. Een hoogbouwproject wordt vaak gekenmerkt door een kleine bouwplaats vergeleken met het bouwvolume. De belangrijkste aandachtspunten die hierbij ontstaan zijn: de aan- en afvoerroutes, opslagruimte en verticaal transport. Vooral over het verticaal transport moet van te voren goed worden nagedacht omdat dit niet overal kan worden geplaatst, niet makkelijk verplaatsbaar is en bij niet efficiënt gebruik te veel kost of de bouw vertraagd.

3.4.2.5 Efficiëntie vloeroppervlak

Als van laagbouw naar hoogbouw wordt over gegaan zal het constructieoppervlak, installatieoppervlak en de ruimte benodigd voor ontsluiting toenemen. Dit betekent dat er van het bruto vloeroppervlak minder verhuurbaar vloeroppervlak overblijft en dus de efficiëntie van het vloeroppervlak lager is. Als gevolg van deze lagere efficiëntie zullen de kosten niet beïnvloedt worden maar de opbrengsten zullen bij een vaste m² prijs minder hoog uitvallen en zo een belangrijke invloed op de kosten- baten analyse hebben. Een verhouding van de efficiëntie per aantal verdiepingen komt naar voren uit een onderzoek naar de efficiëntie van kantoorgebouwen in westerse landen door Langdon in 2002.

Gebouw efficiency (BVO/VVO verhouding) van een kantoorgebouw	
Aantal verdiepingen	Efficiency (%)
2 tot 4	88-91
5 tot 9	84-88
10 tot 19	77-85
20 tot 29	75-83
30 tot 39	74-79
40+	72-77

Figuur 10: efficiëntie kantoorgebouwen [Langdon, 2002]⁶⁰

3.5 Kosten hoogbouw

Nu in kaart is gebracht waar de hogere investeringskosten van hoogbouw vandaan komen zal gekeken worden waar de daadwerkelijke kosten stijgingen zitten voor de verschillende onderdelen van hoogbouw. Een uitgebreide beschrijving hiervan is terug te vinden in de literatuurstudie.

Bij dit hoofdstuk is veelvuldig gebruik gemaakt van de bevindingen en het model van van Oss. In dit model zijn de kostenstijgingen voor hoogbouw geanalyseerd, bij deze analyse is gekeken naar de stijging in kosten bij een stijging in hoogte van 10 verdiepingen naar 60 verdiepingen. De benodigde gegevens zijn door van Oss verkregen door het analyseren van referentieprojecten en het interviewen van ervaren bedrijven uit de Duitse, Engelse en Nederlandse markt [Oss, 2007]²⁸.

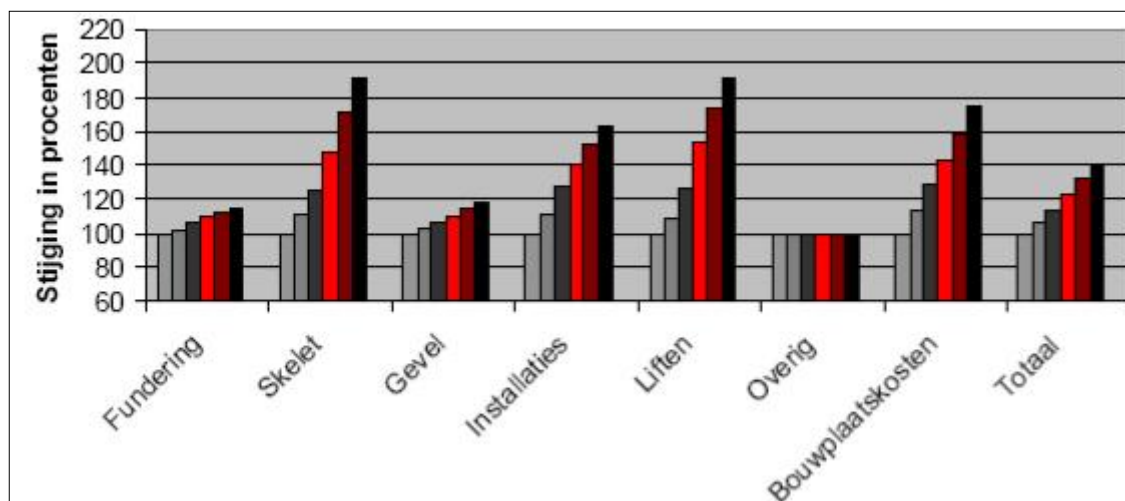
3.5.1 Stijging bouwkosten

Samenvattend zijn voor de bouwkosten per onderdeel de volgende stijgingen te vinden:

- Fundering, 2% per tien verdiepingen;
- Draagconstructie, 15% tot 20% per tien verdiepingen;
- Gevel, 4% per tien verdiepingen;
- Liften, 15% tot 20% per tien verdiepingen;
- Overige installaties, 13% per tien verdiepingen;
- Bouwplaatskosten, 15% per tien verdiepingen.

De opbouw van de directe bouwkosten is ongeveer als volgt:

- Fundering, 2 % van de directe bouwkosten;
- Draagconstructie, 16% van de directe bouwkosten;
- Gevel, 18 % van de directe bouwkosten;
- Overige installaties, 25% van de directe bouwkosten;
- Liften, 3% van de directe bouwkosten;
- Overige, 36% van de directe bouwkosten.



Figuur 11: overzicht stijging kosten per m² BVO per tien verdiepingen [Oss, 2007]²⁸

In het overzicht is te zien dat de stijging van de bouwkosten bij hoogbouw voornamelijk veroorzaakt wordt door de draagconstructie en liften gevolgd door de bouwplaatskosten en gevel.

Onder de kop overige vallen de kosten van het plafond, dak en binnenwanden. De kosten stijging bij meerdere verdiepingen hiervan is te verwaarlozen. Voor het dak is de kostenstijging per m² BVO zelfs negatief, bij hoogbouw is er tenslotte geen groter dak nodig.

Uit het overzicht volgt dat voor de totale directe kosten samen met de bouwplaatskosten een stijging van 8% per tien verdiepingen geldt.

3.5.2 Bouwtijd

Om de financieringskosten te kunnen bepalen is het van belang de bouwtijd te weten. De bouwtijd is opgebouwd uit een deel uitvoering en een deel aanlooperperiode.

Voor het uitvoeringsdeel is van belang te weten uit hoeveel verdiepingen het project bestaat en hoeveel verdiepingen per week worden gebouwd. Hoeveel verdiepingen per week worden gebouwd is afhankelijk van de uitvoering en het constructiesysteem. In staal is ongeveer drie verdiepingen per week en met beton twee verdiepingen te week te halen [*Stichting Bouwresearch, 1988*]⁶.

3.6 Bepalen kosten hoogbouw

Uit de voorgaande hoofdstukken is bekend wat de hoogtefactoren voor de verschillende kostenbepalende onderdelen van de bouwkosten zijn en hoe de investeringskosten kunnen worden bepaald.

Het onderzoek is gebaseerd op de draagconstructie van hoogbouw en daarom is dit de basis van waaruit de investeringskosten zullen moeten worden bepaald.

3.6.1 Kosten draagconstructie

Naar voren is gekomen dat voor de kosten van de draagconstructie ongeveer een stijging van 15% per tien verdiepingen geldt. Hierbij wordt een gebouw van tien verdiepingen als 100% gezien en hiervoor wordt door van Oss een prijs van €200 per m² BVO aangenomen. Met deze gegevens is het mogelijk om de directe kosten van de draagconstructie, de totale bouwkosten en de investeringskosten te bepalen. Op deze manier wordt echter niet naar het toegepaste draagsysteem gekeken.

In het deelrapport stabiliteitsystemen zijn de verschillende stabiliteitsystemen bekeken. Voor elk systeem zal een ander materiaalgebruik naar voren komen en dus andere kostenaspecten. Daarom zullen de kosten worden bepaald aan de hand van het materiaalgebruik voor de draagconstructie. Het materiaalgebruik is uit te drukken in het aantal kilogrammen materiaal en door te vermenigvuldigen met een kengetal voor de kiloprijs van dat materiaal zijn de kosten te vinden.

Een fout die hierbij wordt gemaakt kan worden is dat arbeid niet of maar deels wordt meegenomen. Het doel van dit afstuderen is niet om een perfect model voor de kosten op te zetten maar wel om een kostenvergelijking te geven en daarom zal deze fout geaccepteerd moeten worden. Deze fout keert voor hetzelfde materiaal bij iedere variant terug wat het mogelijk maakt om de kosten toch te vergelijken, in het geval van staal met beton vergelijken is het wel mogelijk dat een verschil optreedt in de hoeveelheid arbeid die in de kosten is meegenomen. Dit probleem is alleen te ondervangen met een uitvoerige kostenstudie, wat niet het doel van dit afstuderen is en daarom ook niet gedaan is.

3.6.1.1 Kilo prijzen

Bij het bepalen van de kiloprijzen moet niet alleen onderscheid worden gemaakt tussen staal en gewapend beton. De hoeveelheid wapening in het gewapende beton is afhankelijk van het type element en dus moet er voor het gewapende beton nog onderscheid worden gemaakt tussen de kolommen en liggers, wanden voor kern en schijf, wanden voor buis en vloeren. Hiervoor worden de volgende getallen gebruikt:

- Kolommen en liggers 90 kg/m³; [www.bouwkostenonline.nl]³⁷
- Wand kern en schijf 200 kg/m^{3,a}
- Wand buis 140 kg/m^{3,a}
- Vloeren 85 kg/m³ [www.bouwkostenonline.nl]³⁷.

^a Opgave Pim Peters IMd Raadgevende Ingenieurs te Rotterdam

Beton

Beton kent diverse sterkteklassen en milieuklasse en hier moet dan ook rekening mee worden gehouden. Omdat de toepassing van het beton in een gebouw is wordt de milieuklasse aangenomen op XC3 wat overeen komt met matige of hoge luchtvochtigheid. De betonprijs wordt weergegeven in m³ in plaats van in kg en dus moet deze met de soortelijke massa, 2400 kg/m³, omgerekend worden naar kg. De gevonden materiaalkosten voor beton en wapeningstaal zijn:

Sterkteklasse	C20/25	C28/35	C35/45
prijs per m ³	€ 81,00	€ 85,50	€ 92,00
prijs per kg	€ 0,034	€ 0,036	€ 0,038

Tabel 5: betonprijzen per sterkteklasse (www.bouwkosten.nl)³⁶

Diameter in mm	8	10	12	16	20	25	32	40
Prijs per kg	€ 0,64	€ 0,61	€ 0,58	€ 0,56	€ 0,56	€ 0,56	€ 0,59	€ 0,61

Tabel 6: prijzen wapeningstaal per diameter bij afname van 25.000-50.000 kg (www.bouwkosten.nl)³⁶

Met de eerder genoemde wapeningsverhouding en een gemiddelde prijs voor het wapeningsstaal is nu de prijs van gewapend beton te bepalen. Met deze gegevens en de eerder genoemde wapeningsverhouding is de prijs voor gewapend beton te bepalen. In deze kosten wordt geen rekening gehouden met de arbeid en benodigd materieel. Met name voor beton zijn dit belangrijke elementen omdat de elementen met behulp van bekisting moeten worden gemaakt. Om toch rekening te houden met deze extra kosten is het mogelijk om vanuit standaardelementen de kosten terug te rekenen naar kosten per kilogram. De kosten voor de standaardelementen zijn verkregen via www.bouwkostenonline.nl. Echter wordt er geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende beton sterkteklasse. Dus zal de betonprijs alleen per elementtype variëren.

Per element wordt voor verschillende afmetingen een prijs gegeven en hieruit zijn de volgende kosten, inclusief arbeid en materieel, aangenomen:

- Kolom 0,365 €/kg;
- Wand kern en schijf 0,273 €/kg;
- Wand buis 0,229 €/kg [www.bouwkostenonline.nl]³⁷.

Tussen de prijs inclusief en exclusief arbeid zal een groot verschil optreden waarbij de kosten inclusief arbeid reëler zijn en daarom wordt met deze kosten gerekend.

Staal

Staal wordt in de vorm van profielen gebruikt en dus is de prijs niet alleen afhankelijk van de prijs van staal per kilo maar ook van de bewerking die nodig is om het profiel te verkrijgen. De prijzen voor de staalprofielen zijn nu wel weergegeven inclusief arbeid en materieel maar zijn echter maar voor een beperkt aantal profielen te vinden.

Profiel	IPE 80	IPE 100	IPE 120	IPE 160	IPE 200	IPE 240	IPE 300		
Prijs per kg	€ 1,20	€ 1,19	€ 1,19	€ 1,13	€ 1,13	€ 1,16	€ 1,16		
Profiel	HE 100 A	HE 120 A	HE 140 A	HE 160 A	HE 180 A	HE 200 A	HE 240 A	HE 280 A	HE 300 A
Prijs per kg	€ 1,14	€ 1,14	€ 1,13	€ 1,13	€ 1,13	€ 1,17	€ 1,19	€ 1,19	€ 1,19
Profiel	HE 100 B	HE 120 B	HE 140 B	HE 160 B	HE 180 B	HE 200 B	HE 240 B	HE 280 B	HE 300 B
Prijs per kg	€ 1,14	€ 1,14	€ 1,13	€ 1,13	€ 1,13	€ 1,16	€ 1,18	€ 1,19	€ 1,18

Tabel 7: staalprijzen per profiel (www.bouwkosten.nl)³⁶

Er is geen vermelding gevonden voor de sterkteklasse, terwijl hier in de praktijk wel een verschil tussen zou moeten zitten. Vaak een heel spectrum aan staalprofielen worden gebruikt waarbij ook zeker profielen zijn die zwaarder zijn dan een HE300B.

Op basis van deze gegevens is ervoor gekozen om uit te gaan van een prijs van 1,19 €/kg voor zowel S235 als S355. Naast de standaardprofielen zijn er ook gelaste profielen die meer bewerkbaar zijn om te maken en daarom hogere kosten hebben. Bij dit soort profielen valt te denken aan de THQ-, ASB-, en SFB ligger.

De THQ ligger is volledig uit losse platen in elkaar gelast en de ASB- en SFB ligger bestaan nog voor een deel uit een HE profiel. Om enige rekening te houden met de hogere productie kosten van deze liggers is er voor gekozen om voor de ASB en SFB ligger de kosten met 10% te verhogen en voor de THQ ligger zal een verhoging van 50% van de kosten worden meegenomen.

Met deze gegevens is het mogelijk om de constructiekosten te bepalen. Omdat bekend is dat deze kosten ongeveer 16% van de directe bouwkosten zijn en voor de indirecte bouwkosten vaste percentages gelden zou het mogelijk zijn om een bedrag voor de totale bouwkosten te bepalen. Er zal echter met de constructiekosten worden gerekend omdat het bepalen van de totale bouwkosten een vertekend beeld kan geven en het idee geeft alsof de precieze bouwkosten te bepalen zijn. Met de kengetallen die gebruikt worden wordt echter een indicatie van de kosten voor de draagconstructie gegeven welke wel conform de marktprijzen is maar niet conform de prijs van aannemers hoeft te zijn.

DEELRAPPORT BOUWDUURZAAMHEID

3.7 Duurzaamheid

3.7.1 Geschiedenis en terminologie

De laatste jaren is duurzame ontwikkeling een hot item in de Nederlandse politiek en sinds de film "An Inconvenient Truth", van Al Gore, is de maatschappij zich ook meer bewust geworden van duurzaamheid en duurzame ontwikkeling.

Toch is het onderwerp duurzame ontwikkeling al ruim 20 jaar oud, sinds het rapport "Our common future" van de World Commission on Environment and Development in 1987 is het onderwerp binnen de internationale gemeenschap onder de aandacht gebracht en houdt men zich bezig met het milieu en de ontwikkeling daarvan.

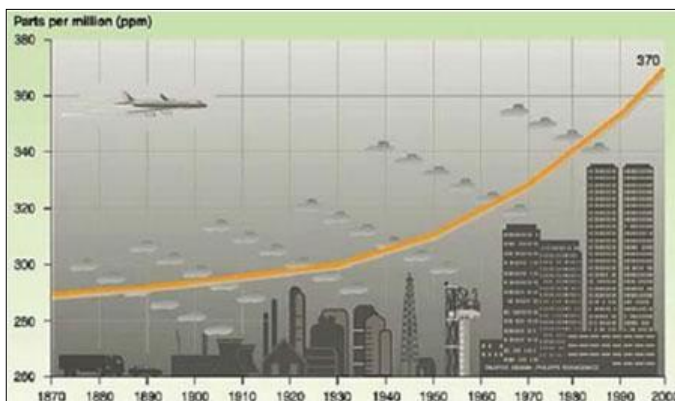
De omschrijving van duurzame ontwikkeling die in 1987 in het rapport werd gebruikt is: "Duurzame ontwikkeling is de ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen [Brundland, 1987]⁴³.

Dit betekent dat een ontwikkeling als duurzaam kan worden gezien als deze plaatsvindt zonder daarbij het milieu aan te tasten.

De belangrijkste reden dat na dit rapport meer aandacht naar duurzame ontwikkeling ging was de conclusie over de milieu- en armoedeproblemen in de mondiale wereld. Welke het gevolg zijn van de armoede in het ene deel van de wereld en de niet-duurzame productie en consumptie van het andere deel van de wereld.

Onder milieuproblemen wordt verstaan het bedreigen van het voortbestaan van planten, dieren en mensen [Hoffman, 2008]³. Deze bedreiging is in te delen in drie verschillende oorzaken namelijk:

- Uitputting van de bronnen;
- Aantasting van het ecosysteem;
- Aantasting van de menselijke gezondheid.



Figuur 12: stijging CO₂ in de lucht over de afgelopen 130 jaar [http://www.climatequest.org/page/reference.php?id=16]

Een eerste stap om iets te doen tegen deze problemen was het verdrag van Kyoto in 1997 waarbij mondiaal een emissiereductie van 5,2% binnen 7 jaar werd afgesproken. Dit verdrag is nog steeds niet door alle landen geaccepteerd en geratificeerd, wat als gevolg heeft dat het verdrag nog steeds niet van kracht is geworden. De EU-lidstaten hebben zich in 2007 een zwaardere eis opgelegd, in 2020 willen ze de CO₂ uitstoot met minstens 20% verlaagd hebben [http://euobserver.com/885/28214]⁴⁴.

1.1 Duurzaam bouwen

De Nederlandse overheid heeft in het kader van de duurzame ontwikkeling een overheidsbeleid opgesteld met als belangrijkste punten:

- Het garanderen van het economische groeipotentieel;
- Het handhaven van de sociale cohesie;
- Het terugdringen van de druk op milieu en natuur en het leveren van een eerlijke bijdrage aan het behoud van mondiale ecosystemen [Hoffman, 2008]³.

Met deze punten en het gegeven dat 18% van het totale energiegebruik in Nederland wordt gebruikt voor het verwarmen en koelen van gebouwen, de bouwsector mede een belangrijke oorzaak is van het aantasten van de ozonlaag kan de overheid niet anders dan actie ondernemen in deze sector.

In de jaren negentig is dit gebeurd doormiddel van het opstellen van het Nationaal Milieubeleidsplan, waarin het begrip duurzaam bouwen wordt geïntroduceerd. De omschrijving die het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) geeft voor duurzaam bouwen is: “het ontwikkelen en beheren van de gebouwde omgeving met respect voor mens en milieu [www.senternovem.nl begrippenlijst]⁴⁵.”

Milieuprobleem	Bijdrage door de bouw aan totaal (%)
Aantasting ozonlaag	25
Broeikasewffect	33
Verzuring	10
Vermesting	16
Verspreiding milieugevaarlijke stoffen	9
Afvalstoffen	40
Geluidsoverlast in gebouwen (buren, verkeer)	30
Binnenklimaat in gebouwen	80
Aantasting landschap en grondstofwinning	500 ha per jaar
Grondstofbehoefte	150Mton per jaar

Tabel 8: milieubelastingen als gevolg van bouwen, wonen, werken en verplaatsen [*Hendriks, 1999*]⁷

Dit moet worden gedaan door een reductie van de milieubelasting te bewerkstelllen, dit kan worden bereikt door beheersing van de kringloop van de grondstoffen voor de bouwmaterialen. In het Nationaal Milieuplan zijn drie hoofdlijnen van beleid omschreven voor ketenbeheer:

1. Het zoveel mogelijk sluiten van kringlopen bij het gebruik van grondstoffen in de bouw, dit wil zeggen: het verminderen van het gebruik van eindige grondstoffen en het stimuleren van het gebruik van vernieuwbare en secundaire grondstoffen;
2. Voorkomen van restafvalstromen en het bevorderen van hergebruik van bouw- en sloopafval, dit wil onder andere zeggen: het verminderen van het volume van afvalstoffen, het gescheiden inzamelen van afvalstoffen en het vergroten van het hergebruik van bouw- en sloopafval;
3. Verminderen van de restemissies naar het milieu als gevolg van de productie van bouwmaterialen en het productieproces van het bouwen [*Hendriks, 1999*]⁷.

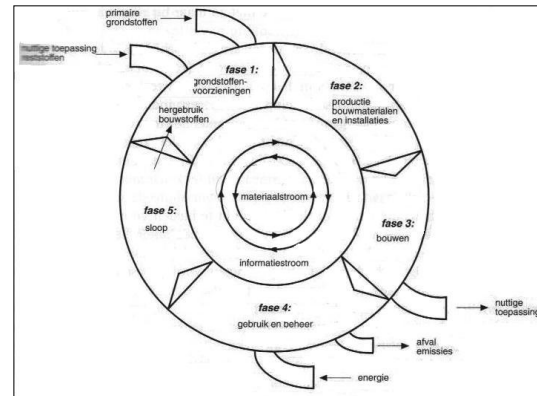
1.2 Duurzaamheid

Duurzaamheid en duurzaam zijn twee woorden die veelvuldig worden gebruikt en met meerdere betekenissen worden geassocieerd. De twee grootste verschillen in de betekenis zitten in het koppelen van duurzaamheid aan de tijd, wat te maken heeft met hoelang een product mee gaat, en het koppelen van duurzaamheid aan de ontwikkeling of het proces, waarbij de manier van ontwikkelen zo moet zijn dat de huidige generatie de toekomstige generatie niet beperkt om zich in zijn behoefte te kunnen voorzien. In het Engels wordt voor duurzaamheid respectievelijk durability en sustainability gebruikt zodat het verschil meteen duidelijk is.

De duurzaamheid waar tijdens het afstuderen over wordt gesproken is de duurzaamheid die is gebaseerd op het op die manier ontwikkelen. Duurzaamheid tijdens het afstuderen is dus het op die wijze ontwikkelen zodat de huidige generatie de toekomstige generatie niet beperkt in het voorzien van hun behoefte.

3.7.2 Duurzaamheid meten

De LevensCyclus Analyse(LCA), die in 1992 is gepresenteerd door het onderzoekscentrum CML, is wel een gestandaardiseerde wetenschappelijke methode voor milieubeoordelingen [Dobbelsteen & Alberts, 2001]⁸. De LCA wordt ook wel de wieg tot graf methode genoemd omdat niet alleen uit wordt gegaan van de milieueffecten van het materiaal tijdens de bouw en gebruiksfase maar het hele traject van winning, transport, verwerking, recycling en afval wordt ook meegenomen. Tijdens deze fases heeft het materiaal tenslotte ook invloed op het milieu. Doordat de winning niet altijd in de directe omgeving is, zorgt de gedachte ver van ons bed dat deze milieueffecten vaak worden vergeten [Dobbelsteen & Alberts, 2001]⁸.



Figuur 13: levenscyclus bouwmaterialen [Hendriks, 1999]⁷

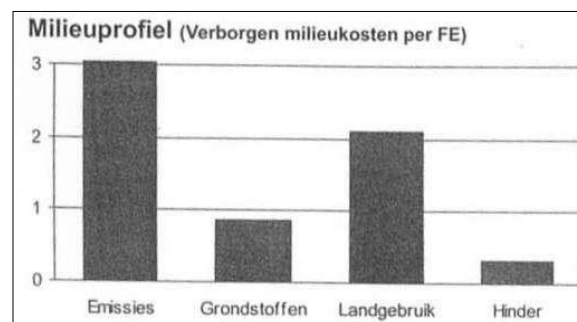
3.7.2.1 Levenscyclus analyse

De LCA is zoveel mogelijk van kwantitatieve aard en als deze gegevens ontbreken worden kwalitatieve aspecten meegenomen zodat een zo'n compleet mogelijk beeld ontstaat. De LCA doorloopt de volgende stappen:

1. Vaststellen functionele eenheid en procesboom, hierbij wordt de vergelijkingsbasis voor de alternatieve vastgesteld en de functionele eenheid beschrijft welke functie het product of object in bepaalde periodes moet vervullen en welke processen hiervoor nodig zijn. Belangrijk hierbij is de vraag wat wel en niet tot een proces hoort zeker als er gekeken gaat worden naar de recycling;
2. Inventarisatie en beoordeling van de milieu-ingrepen (aggregatie);
3. Evaluatie, met het genormaliseerde milieuprofiel is het mogelijk varianten te vergelijken en met een weging zou er een totaal score gevormd kunnen worden [Dobbelsteen & Alberts, 2001]⁸.

In een LCA wordt naar de milieueffecten gekeken terwijl in de eerste stap een overzicht in milieu-ingrepen wordt verkregen. Iedere milieu-ingreep kan op meerdere milieueffecten invloed hebben en iedere stof heeft een andere invloed op het milieueffect. De aggregatie is het per milieueffect samenvoegen van de milieu-ingrepen uit de verschillende procesfase zodat één waarde per milieueffect ontstaat. Dit wordt gedaan met behulp van classificatiefactoren, deze geven aan hoeveel een bepaalde stof aan dat effect bijdraagt.

Het milieuprofiel wordt gevormd door de milieueffecten, in een LCA is nog een tweede aggregatie stap aanwezig namelijk de normalisatie. Hierbij wordt het milieuprofiel of de milieueffecten gerelateerd aan de totale milieubelasting van dat effect in een bepaald gebied, op deze manier ontstaat het genormaliseerde milieuprofiel. Belangrijk op te merken is dat dit geen weging is en geen oordeel geeft over het belang van het ene milieueffect ten opzichte van het andere milieueffect. Naar voren komt aan welk milieueffect meer aandacht zou moet worden geschonken [Hendriks, 1999]⁷.



Figuur 14: voorbeeld milieuprofiel gewapend beton in Euro's per Functionele eenheid [Haas, 2008]⁹

Indien een LCA wordt gebruikt wordt een goed en duidelijk beeld gevormd van de milieueffecten die optreden. Groot nadeel van de LCA is echter dat deze alleen cijfers over de verschillende milieueffecten gaan, doordat ieder alternatief anders is opgebouwd zullen per milieueffect verschillende cijfers ontstaan wat vergelijken moeilijk maakt. Dit probleem wordt tegen gegaan door gebruik te maken van een weging waarmee één milieugestal ontstaat zodat het wel mogelijk is om alternatieven te vergelijken.

Voor de weging zijn de volgende methodes voor handen:

- Panelmethode;
- Distance to targetmethode;
- Milieukosten methode [Dobbelsteen & Alberts, 2001]⁸.

Iedere methode heeft zijn eigen voor- en nadelen, in veel gevallen afhankelijk van de persoonlijke voorkeur van mensen. Een beschrijving van de methodes is terug te vinden in de literatuurstudie.

De weging kan worden gezien als een soort van beoordelingsmethode en omdat verschillende weegmethodes mogelijk zijn, waarbij iedere methode zijn voor- en nadelen heeft, zijn ook veel programma's om een beoordeling mee uit te voeren beschikbaar. Voor de bouwsector zijn er diverse beoordelingsmethodes waarbij soms nog extra elementen buiten de LCA worden meegenomen omdat deze in de LCA buiten beschouwing zijn gelaten wat een vertekend beeld kan geven van de uitkomst. Dit wil niet zeggen dat de uitkomst verkeerd is, deze is onvolledig. Een voorbeeld hiervan is het verhaal van prof. Charles Hendriks dat uit een LCA studie naar verschillende soorten zand de winning van nieuw zand als beste optie naar voren kwam ten opzichte van zand uit recycling. Bij deze studie werd echter de landschapsaantasting van winning niet meegenomen en de verontreiniging van recycling wel, indien de aantasting wel zou worden meegenomen zou de voorkeur anders kunnen uitvallen.

Een beoordelingsmethode welke naast de LCA nog andere elementen meeneemt om een zo'n volledig mogelijk beeld te kunnen geven is het TWIN model. Ondanks dat in het afstuderen een concentratie op duurzaamheid aanwezig is gaat het te ver om al de verschillende beoordelingsmethodes voor bouwproducten te bespreken en het TWIN model is het enige model wat hierna besproken zal worden.

3.7.3 TWIN model

In de gestandaardiseerde LCA methode zijn de gezondheidscriteria ondergewaardeerd en wordt aantasting nog niet verwerkt en dus niet meegenomen. Daarom zijn deze effecten in het TWIN model los ingepast, dit om niet te hoeven af te wijken van de standaard LCA. Om een volledige LCA uit te kunnen voeren zijn erg veel gegevens nodig. Deze gegevens ontbreken vaak of ontbreken deels, als gevolg hiervan zijn de uitkomsten wel betrouwbaar maar onvolledig. Om te zorgen dat de uitkomsten volledig worden, moeten de ontbrekende kwantitatieve gegevens kwalitatief beschreven worden. Deze stap is ook in een LCA mogelijk maar wordt in de praktijk niet gedaan waardoor de mogelijke voorkeur voor een variant anders kan uitvallen.

De kwalitatieve gegevens komen voort uit een niet-levenscyclusanalyse studie waarin algemene literatuur, product- en bedrijfsgegevens zitten verwerkt, de eigenschap van deze informatie is dat deze wel volledig is maar ernstig getwijfeld kan worden aan de juistheid. Deze twijfel aan de juistheid komt voort uit het feit dat de informatie van leveranciers en fabrikanten niet altijd even objectief en verifieerbaar is om hun product beter in de markt te krijgen.

Om dit probleem tegen te gaan is aan de kwalitatieve gegevens een milieu- en gezondheidsbeoordeling gekoppeld welke onderverdeeld zijn in subcriteria, via aggregatie en normalisatie worden deze weer samengevoegd tot een getal en zo kunnen ze toegevoegd worden aan het milieuprofiel.

De naam TWIN model komt voort uit het feit dat het model gebaseerd is op een tweetal tweelingen namelijk:

- De kwantitatieve, op de onvolledige LCA gebaseerde, gegevens en de kwalitatieve, op de volledige op prestatiebeschrijvingen gebaseerde, gegevens;
- De milieu- en gezondheidsbeoordeling [Haas, 2008]⁹.

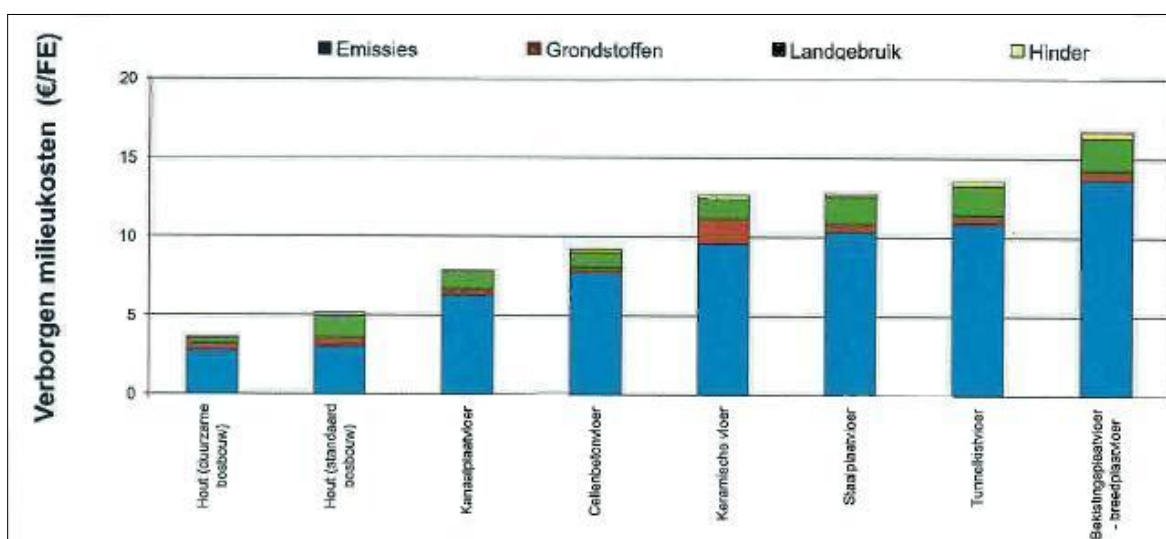
Het verschil tussen het TWIN model en een LCA is dat de LCA alleen de kwantificeerbare milieucriteria meeneemt terwijl het TWIN model alle erkende milieucriteria meeneemt en tevens wordt in een LCA geen gewogen eindoordeel gegeven. Bij het TWIN model gebeurt dit wel door voor de weging gebruik te maken van de distance-to-target methode gecombineerd met de panelmethode, in deze tijd was de milieukosten methode nog niet voorhanden.

3.7.3.1 TWIN model 2002

Het TWIN model 2002 is logischerwijs de opvolger van het oorspronkelijke TWIN model, in dit model is nog meer uitgegaan van de LCA en zoveel mogelijk aangesloten bij de laatste stand van de techniek. De LCA, gebruikt voor dit model, is ook verder ontwikkeld en is gebaseerd op de CML-2 methodiek, daarnaast wordt er gebruik gemaakt van het oorspronkelijke model, Eco-indicator '99 en de methode voor beoordeling van geluidshinder en wegtransport.

Een andere grote verandering is de weging die bij het model is toegepast, was de oorspronkelijke versie nog gebaseerd op distance-to-target en panel methode nu wordt gebruik gemaakt van monetariseren, de milieukosten methode. Als gevolg hiervan is het niet meer nodig om de milieueffecten te normaliseren, dit proces zit namelijk verwerkt in het monetariseren. Monetariseren is het toepassen van de verborgen milieukosten voor de verschillende milieukosten, door deze kosten bij elkaar op te tellen ontstaat één milieubelasting [Haas, 2008]⁹.

Deze weegmethode, beter bekend als milieukosten methode, heeft als bijkomend voordeel dat het een objectieve methode is, dit in tegenstelling tot de panelmethode waar de weging afhangt van de in de commissie zittende leden en de distance-to-target methode waarbij het politieke doel in de na te streven waarde kan worden meegenomen.



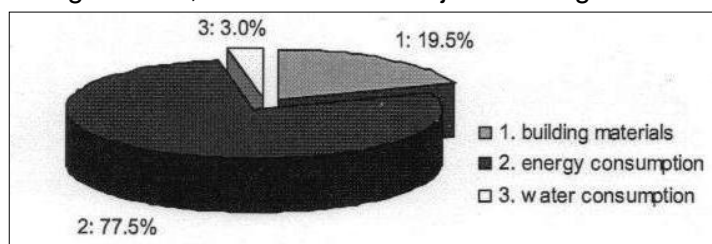
Figuur 15: verborgen milieukosten verdiepingvloeren per functionele eenheid van 1m² [Haas, 2008]¹¹

3.8 Huidige duurzaamheid in de bouw

Tijdens het afstuderen wordt gekeken naar bouwduurzaamheid. Als achtergrond is het ook belangrijk om te weten hoe het op dit moment is gesteld met duurzaamheid in de bouw en waar eventuele winst te pakken is. Om hierover een uitspraak te kunnen doen zal gekeken worden naar de conclusies van het onderzoek van Dobbelsteen, Arets en Linden waarbij naar de milieubelasting van rijkskantoorgebouwen is gekeken.

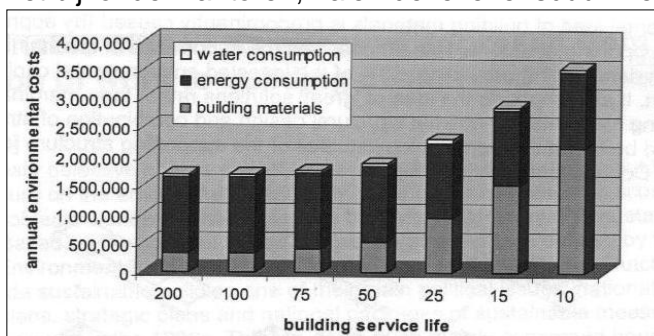
3.8.1 Milieubelasting kantoren

Met behulp van de beoordelingsmethode GreenCalc, waarbij niet alleen de milieubelasting van materialen maar ook de milieubelasting van energie- en watergebruik worden meegenomen, is van meerdere rijkskantoorgebouwen de milieukosten bepaald.



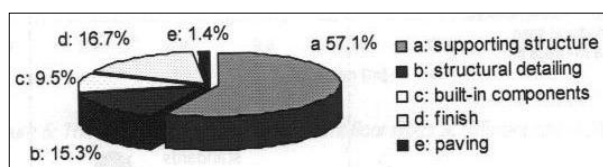
Figuur 16: gemiddelde verdeling milieubelasting rijkskantoren [Dobbelsteen et al., 2007]¹⁰

Belangrijk op te merken is dat met GreenCalc automatisch wordt uitgegaan van een levensduur van 75 jaar, veel gebouwen in het bijzonder kantoren, halen deze levensduur niet omdat teveel veroudering plaats vindt. Voor kantoren vindt veelal na 20 á 30 jaar herbesteding of sloop plaats en dit betekent dat de levensduur van 75 jaar zoals in de GreenCalc berekening een vertekend beeld geeft. Uitgaande van deze kortere levensduur wordt de invloed van de bouwmaterialen op de milieubelasting veel hoger, bij een levensduur van 20 jaar zou de invloed gelijk zijn aan die van het energieverbruik [Dobbelsteen, 2004]¹².



Figuur 17: verdeling milieukosten bij variërende levensduur [Dobbelsteen, 2004]¹²

Voor de milieukosten als gevolg van het energieverbruik is door slimme oplossingen een reductie te realiseren, maar zonder dat de bouwsector moeite hoeft te doen is hier ook een reductie te verwachten als gevolg van innovaties en groenere energiewinning. Dit heeft niet zozeer met duurzaam bouwen te maken maar komt wel terug in de GreenCalc berekening en als gevolg hiervan wordt de invloed van de bouwmaterialen alleen maar groter en het duurzaam bouwen dus belangrijker.



Figuur 18: onderverdeling milieukosten bouwmaterialen [Dobbelsteen, 2004]¹²

Uitgaande van deze gegevens is het interessant om de milieukosten voor bouwmaterialen wat nauwkeuriger te bestuderen en hieruit blijkt dat bijna 60% van de milieukosten van bouwmaterialen is toe te schrijven aan de draagconstructie, bij deze gegevens komt dat neer op ongeveer 12% van de totale milieukosten. Hiervan is vervolgens de vloer voor de meeste belasting verantwoordelijk [Dobbelsteen et al., 2007]¹⁰.

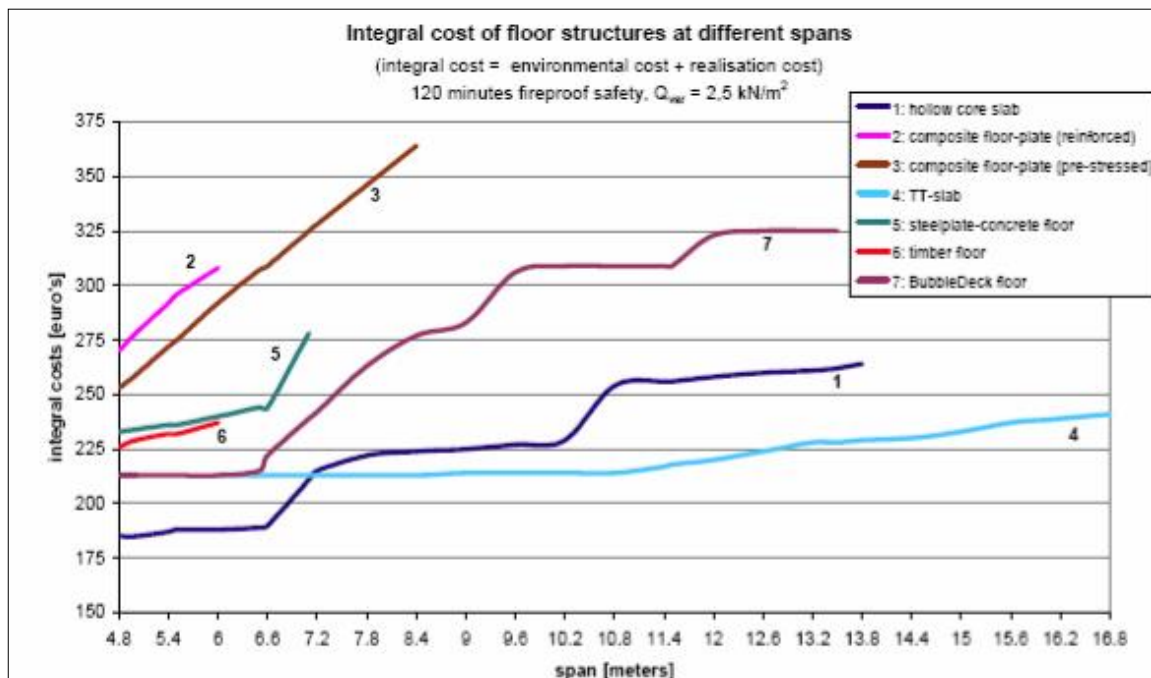
3.8.2 Draagconstructie optimaliseren

Naar aanleiding van de resultaten van dit onderzoek is door Dobbelsteen ook een onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om de milieukosten van de draagconstructie te verlagen. Hierbij is gekeken naar de mogelijkheden voor de vloeren en voor een totale constructie van een aantal beuken.

3.8.2.1 Vloeren

Gekeken is naar verschillende overspanningen met een veranderlijke vloerbelasting van 2,5 kN/m² en 5,0 kN/m². Voor de korte overspanningen met een belasting van 2,5 kN/m² geven de kanaalplaat of een houtenvloer de beste resultaten voor de milieukosten. Wordt naar de integrale kosten, dus met investeringskosten, gekeken dan gaat de voorkeur uit naar de kanaalplaat. Bij een belasting van 5,0 kN/m² is de kanaalplaat ook favoriet aangezien de houtenvloer deze zware belastingen niet aankan.

Als ook naar grotere overspanningen wordt gekeken wordt gevonden dat voor de integrale kosten bij 7,2m een omslagpunt ligt van kanaalplaat als favoriet naar TT plaat.



Figuur 19: integrale kosten vloerconstructie bij verschillende overspanningen [Arets, 2001]¹³

3.8.2.2 Totale constructie

Bij de totale constructie van een aantal beuken is ook gekeken naar verschillende overspanningen en een veranderlijke vloerbelasting van 2,5 kN/m² en 5,0 kN/m². Voor de vloer is de uitkomst, dat afhankelijk van de situatie ook hier de TT plaat, kanaalplaat of de houtenvloer het beste presteert. Voor de liggers wordt duidelijk dat de keuze voor staal of beton bij korte overspanningen niet heel veel uitmaakt, bij grotere overspanningen heeft het hoge eigen gewicht van beton een negatieve invloed. Als de liggers van hout zouden worden gemaakt kan dit een verbetering tot 40% geven. De kolommen presteren in zowel hout, staal als beton nagenoeg gelijk [Dobbelsteen et al., 2007]¹⁰.



Figuur 20: voorbeeld duurzaam bedrijfspand, CO2 neutraal kantoor Eneco [Dam&Partners architecten]

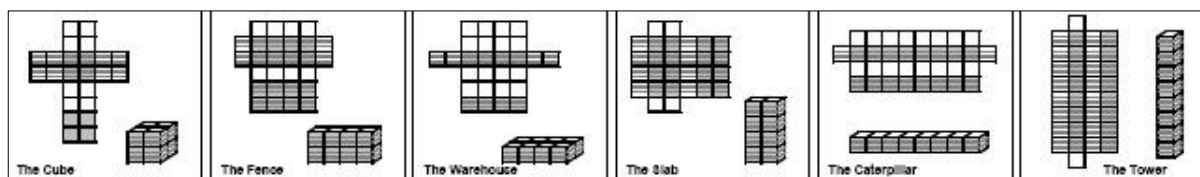
3.9 Duurzaamheid als gevolg van hoogbouw

Naast het kijken naar de milieubelasting van kantoorgebouwen is het ook mogelijk om te kijken of als gevolg van het toepassen van hoogbouw duurzaamheidsaspecten optreden.

3.9.1 Grondgebruik

Veel hoogbouw wordt in dichtbevolkte gebieden toegepast zodat de beperkte ruimte die beschikbaar is zoveel mogelijk vloeroppervlak oplevert. De vraag is of hoogbouw ook interessant is om toe te passen in dunbevolkt niet stedelijk gebied.

Uit een onderzoek van Dobbelsteen komt naar voren dat de toegepaste gebouwworm bij eenzelfde vloeroppervlak weinig verschillen in de duurzaamheidsprestaties oplevert.



Figuur 21: overzicht gebouwwormen onderzoek [Dobbelsteen et al., 2007]¹⁴

In de tabel is te zien dat The Tower en de Caterpillar maar 10% slechter presteren dan The Cube welke als referentie dient.

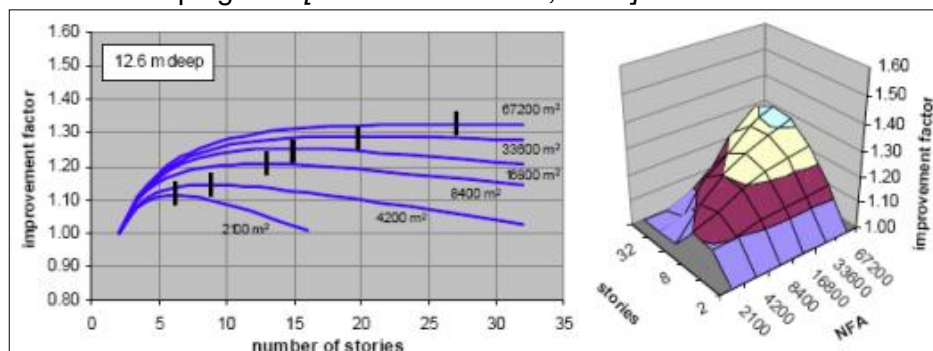
shape type	energy	materials	water	total
contribution >	77.5%	19.5%	3.0%	100.0%
the Cube	1.00	1.00	1.00	1.00
the Slab	1.02	0.91	1.00	1.00
the Fence	1.02	0.92	1.00	1.00
the Warehouse	0.93	0.93	1.00	0.93
the Tower	0.92	0.80	1.00	0.90
the Caterpillar	0.92	0.82	1.00	0.90

Een tweede onderzoek was naar de prestaties van gebouwen met een verschillend aantal verdiepingen, een

vast bruto vloeroppervlak en een bij de hoogte passende verhouding van bruto en netto vloeroppervlak. Het resultaat

hiervan is dat bij een stijgend bruto vloeroppervlak de meest optimale situatie een hoger aantal verdiepingen is [Dobbelsteen et al., 2007]¹⁴.

Tabel 9: duurzaamheidsprestaties gebouwwormen [Dobbelsteen et al., 2007]¹⁴



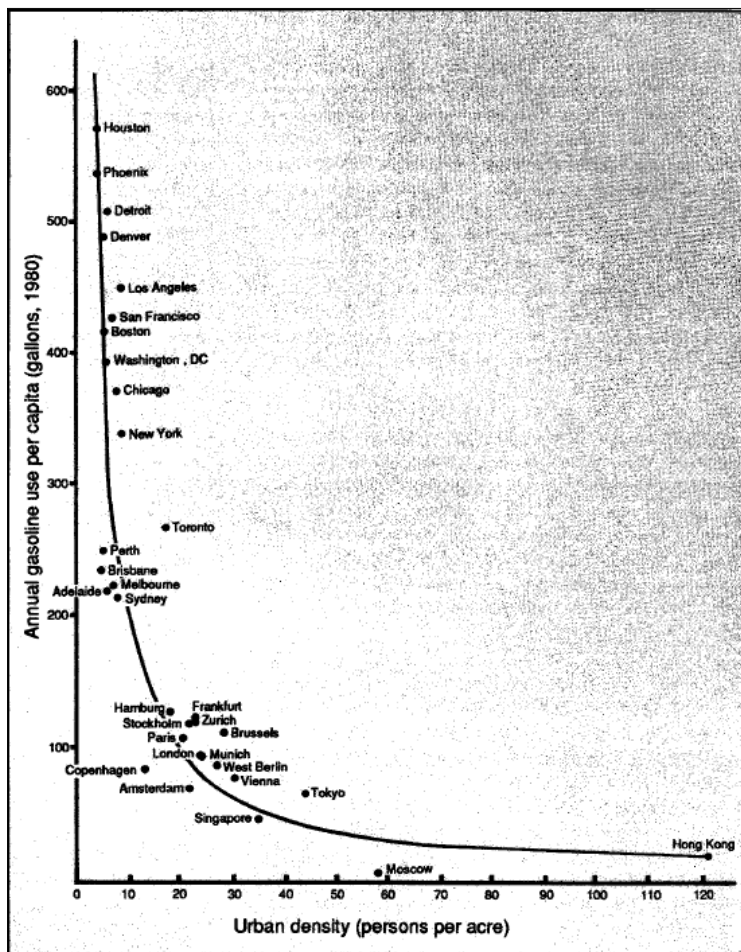
Figuur 22: relatie duurzaamheidsprestatie en aantal verdiepingen, aantal verdiepingen en BVO [Dobbelsteen et al., 2007]¹⁴

Met deze gegevens kan geconcludeerd worden dat hoogbouw bij een voldoende groot bruto vloeroppervlak ook in niet stedelijk gebied interessant kan zijn. Indien dit gedaan wordt komt er nog een extra duurzaamheidsaspect kijken wat in de twee onderzoeken niet is meegenomen en dat is het grondgebruik.

The Tower heeft een grondgebruik wat ¼ is van het grondgebruik van The Cube, dit betekent dat meer ruimte overblijft voor groen en dus minder landschapsaantasting optreedt. Aan de andere kant kan hoogbouw dus voorkomen dat belangrijke ecologische gebieden volledig "omsingelt" worden door steden of in het ergste geval opgaat in steden.

3.9.2 Reizen

Bij hoogbouw ontstaat een concentratie van mensen waarbij niet alleen de interne routing van belang is maar ook de routing naar het gebouw toe. Door het gebouw bij infrastructurele knooppunten te plaatsen kan het voordeel optreden dat mensen in plaats van de auto het openbaar vervoer gaan gebruiken. Het voordeel hiervan is dat het openbaar vervoer milieuvriendelijker is dan de auto. Als de bevolkingdichtheid nog groter wordt zal het auto gebruik nog kleiner worden en kan het gebruik van het openbaar vervoer ook verminderen omdat men gaat fietsen en lopen [Newman & Kenworthy, 1989]¹⁵. In dit geval wordt de ligging aan knooppunten ook van minder groot belang.



Figuur 23: relatie benzinegebruik per persoon ten opzichte van personen per ha [Newman & Kenworthy, 1989]¹⁵

Dit is niet de enige positieve invloed die hoogbouw kan hebben op het reisgedrag, door het plaatsen van meer hoogbouw bij elkaar in de buurt ontstaat een dichtbevolkt gebied. Doordat in dichtbevolkte gebieden niet alleen veel mensen wonen maar het werk ook dicht in buurt is geeft dit over het algemeen een reductie op het benzinegebruik per inwoner ten opzichte van het aantal mensen per hectare.

Deze reductie vereist wel een multifunctioneel grondgebruik in een bepaald gebied, gebieden waar alleen gewoond en gebieden waar alleen gewerkt wordt dragen juist bij aan meer mobiliteit en dus belasting van het milieu. Deze multifunctionaliteit zou ook in het extreme kunnen worden doorgetrokken door woningen en kantoren in een gebouw te combineren. De meest ideale situatie zou zijn om de werknemers van het kantoor in de woningen te hebben wonen wat de mobiliteit beperkt tot interne mobiliteit waardoor de

milieubelasting als gevolg van reizen verdwijnt. Praktisch gezien is dit niet haalbaar en kan het reisgedrag alleen beïnvloed worden door te zorgen dat wonen en werken niet te ver verwijderd van elkaar mogelijk is en dat de bereikbaarheid van beide met het openbaar vervoer goed mogelijk is zodat een goed alternatief voor de auto beschikbaar is.

3.9.3 Maatschappelijke waarde

Een gebouw kan naast zijn functionele waarde ook een esthetische of culturele waarde hebben en op deze manier iets toevoegen aan de maatschappij waardoor het een speciale status heeft. Een voorbeeld hiervan zijn monumenten. Vanwege deze status blijft het gebouw ondanks de veroudering aantrekkelijk en wordt het niet afgeschreven of gesloopt zoals bij een gewoon gebouw met eenzelfde veroudering.

Door de status wordt de levensduur van het gebouw verlengd waardoor de milieubelasting van de bouwmaterialen over een langere periode mag worden bekeken. Simpel gezegd wordt het gebouw door de langere levensduur dus duurzamer.

Voorbeelden van hoogbouw waarbij dit het geval is zijn:

- The Chrysler Building, bijna 80 jaar oud;
- The Trump Building, bijna 80 jaar oud;
- The Woolworth Building, bijna 100 jaar oud.



Figuur 24: Woolworth Building [A World of Buildings]

3.9.4 Conclusie

Van het grondgebruik kan stellig gezegd worden dat in theorie een duurzaamheidseffect ontstaat. Of dit effect in de praktijk ook optreedt is afhankelijk van hoe met de ruimte besparing wordt omgegaan. In de praktijk zal in stedelijk gebied deze ruimte besparing niet in de directe omgeving merkbaar zijn. Hoogbouw wordt toegepast omdat weinig ruimte aanwezig is of de bespaarde ruimte wordt in de loop van de tijd toch volgebouwd om het in omvang groeien van de stad in te perken. In beide gevallen worden groengebieden aan de rand van de stad gespaard maar merkt men in de stad niks van deze duurzaamheid als gevolg van hoogbouw.



Figuur 25: Meraas Tower met energieopwekking uit de zon en de wind [Adrian Smith +Gordon Gill Architecture]

De invloed van hoogbouw op het reisgedrag en de milieubelasting daarvan is niet alleen moeilijk te meten maar kan in de loop van de tijd ook sterk variëren. Al treedt er een effect op dan is het nog maar de vraag of het met de hoogbouw te maken heeft of dat er andere factoren in het spel zijn. Het is dus een duurzaamheidseffect wat op zou kunnen treden.

Voor de invloed van de maatschappelijke waarde op de duurzaamheid is de levensduur van het gebouw van belang en dus is het duurzaamheidseffect pas aan het eind van de levensduur te bepalen. Eventueel kan dit al als het gebouw de 75 jaar overschrijft, deze waarde vaak aangehouden voor de levensduur van bouwmaterialen bij bepaling van de milieubelasting.

3.9.5 Innovatieve toepassingen

Hierbij is te denken aan windturbines op hoogte waarbij gebruik wordt gemaakt van de hogere windsnelheid die in de smalle passages ontstaat en op hogere hoogte toch al aanwezig is [Verhoeven, 1982]¹⁶. Ook is het mogelijk om fotonvoltaïsche cellen toe te passen.

Met beide mogelijkheden wordt energie opgewekt, welke het energieverbruik van het gebouw vermindert, en zo het gebouw een duurzaam karakter geven.

3.10 Bouwduurzaamheid

In hoofdstuk 3.8 is naar voren gekomen dat ongeveer 12% van de totale milieukosten toe te schrijven is aan de milieukosten voor de draagconstructie, uitgaande van een levensduur van 75 jaar. Dit maakt het interessant om naar de duurzaamheid van de draagconstructie te kijken, ondanks dat de begrippen duurzaamheid en duurzaam bouwen zijn vastgesteld blijven dit brede begrippen. Daarom is het belangrijk te definiëren wat onder de duurzaamheid van de draagconstructie wordt verstaan. Hiervoor wordt de term bouwduurzaamheid gebruikt.

Niet alleen is het belangrijk om de betekenis van bouwduurzaamheid te weten maar het is ook van belang om te weten hoe deze bouwduurzaamheid wordt bepaald en hoe deze te meten is.

3.10.1 Definitie bouwduurzaamheid

Onder bouwduurzaamheid wordt verstaan de duurzaamheid van het bouwproces en de bouwmaterialen. Bij deze duurzaamheid ligt de aandacht voornamelijk bij de gezondheid- en milieuaspecten.

3.10.1.1 Definitie bouwduurzaamheid tijdens afstuderen

Tijdens het afstuderen wordt niet naar het totale plaatje van bouwmaterialen en bouwproces gekeken, gekeken wordt naar de stabiliteitsystemen voor hoogbouw. In het verdere afstuderen zal als over de bouwduurzaamheid wordt gesproken dan ook de bouwduurzaamheid van de draagconstructie worden bedoeld. Hierbij gaat het dus om de duurzaamheid van de materialen die in de draagconstructie verwerkt zitten.

De draagconstructies waar naar gekeken wordt zijn die van hoogbouwprojecten, door de hoge bouwhoogte gaat het verticale transport van de materialen een belangrijke rol spelen in de uitvoering. De basis waarop de uitspraak over de duurzaamheid wordt gedaan is gevormd door een LCA. Daarom zal gekeken moeten worden of het verticale transport in voldoende mate in rekening wordt gebracht bij het bouwproces deel wat in de LCA zit.

Is dit niet het geval dan zal gekeken moeten worden op wat voor een manier deze extra milieueffecten kunnen worden meegenomen.

3.10.1.2 Huidige status bouwduurzaamheid

Bouwduurzaamheid is een nieuw geïntroduceerde term maar dit wil niet zeggen dat tot nu toe nooit is gekeken naar de duurzaamheid van bouwmaterialen. Dit komt terug in ontwikkelingen die er zijn geweest om de milieubelasting en dus de duurzaamheid te verlagen. Hierbij is te denken aan:

- De kanaalplaat welke een materiaalbesparing van 40% ten opzichte van een breedplaat laat zien. Deze ontwikkeling is echter eerder vanuit kostenbesparing dan verlaging van de milieubelasting [Arets, 2001]¹³;
- De infra+ en holcon vloer zijn ontwikkeld om meer flexibiliteit te bieden waardoor een langere levensduur ontstaat wat ook een verlaging van de milieubelasting geeft.

Door Thijssen is in zijn afstuderen een casestudie gedaan naar de duurzaamheid van bouwmaterialen bij drie kantoor hoogbouwprojecten in Nederland.

Een aantal bevindingen die naar voren komen als het gaat om de bouwduurzaamheid zijn:

- Voor hoogbouw komt naar voren dat de milieukosten hoger zijn dan voor laagbouw met dezelfde inhoud aangezien de zwaardere fundering niet opweegt tegen het grotere oppervlak waarover moet worden gefundeerd. De eigenschappen van de grond en hoe diep gefundeerd moet worden spelen hierin ook mee;

- Hoogbouw kan het beste met een vierkante plattegrond worden toegepast omdat een rechthoekige vorm meer stabiliteitsvoorzieningen vereist en de milieukosten als gevolg van de stabiliteit erg afhangen van de afmetingen van de voorzieningen;
- Naast het simpel houden van de plattegrond komt ook naar voren dat speciale esthetische constructies niet alleen het gebouw meer uitstraling kunnen geven maar ook de milieukosten flink opdrijven [Thijssen, 2007]¹⁷.

3.10.2 Bepalen bouwduurzaamheid

3.10.2.1 Bouwmateriaal

Uit een LCA volgt een overzicht van de gezondheid- en milieueffecten van de bouwmaterialen om vervolgens een uitspraak te kunnen doen over de milieubelasting in één milieugegetal moet een weging en beoordeling plaats vinden.

Van de bekende weegmethode gaat de voorkeur uit naar het gebruik van de milieukosten methode omdat de resultaten hiervan eenvoudig bij de investeringskosten kan worden opgeteld. Zo ontstaat een totaal beeld van de kosten, ook wel integrale kosten genoemd, als de bouwduurzaamheid wordt meegenomen.

In het TWIN model 2002 wordt ook gebruik gemaakt van de milieukosten en bijkomend voordeel is dat ook effecten worden meegenomen die in de LCA buiten beschouwing worden gelaten. Dit maakt het TWIN model 2002 uitermate geschikt om te gebruiken bij het bepalen van de bouwduurzaamheid van de bouwmaterialen voor de draagconstructie.

Functionele eenheid

Om een LCA of TWIN model berekening te doen dient de functionele eenheid te worden bepaald. Met het TWIN model zijn tabellen opgesteld waarbij voor elementen met een bepaalde functionele eenheid van verschillende materialen de milieukosten zijn bepaald.

Bij de draagconstructie draait het om constructieve elementen waarbij zowel de belasting als de afmeting van een kolom op de 2^e en 20^{ste} verdieping niet hetzelfde zullen zijn. Dit zorgt ervoor dat tabellen met een bepaalde belasting op de kolom niet bruikbaar zijn. Voor de milieukosten van de draagconstructie zal daarom per materiaal moeten worden gekeken naar hoeveel materiaal wordt gebruikt, dit betekent een functionele eenheid per kilogram materiaal.

Levensduur

Naast de functionele eenheid is de levensduur van het gebouw ook van belang om de milieukosten te kunnen bepalen. De levensduur heeft via de materialen invloed op de hoogte van de milieukosten. Zeker bij kantoorgebouwen staat de levensduur van 75 jaar, zoals deze in berekeningen wordt meegenomen, nogal eens ter discussie. Voor een hoogbouwproject kan deze levensduur echter wel als reëel worden aangehouden omdat het zijn van hoogbouw vaak voor zorgt dat een gebouw langer en meer in trek is.

3.10.2.2 Bouwproces

In het geval van hoogbouwprojecten gaat veel aandacht uit naar het bouwproces omdat dit een grote invloed heeft op de bouwtijd en daarmee de bouwkosten. Voor de bouwduurzaamheid kan dit bouwproces in de vorm van verticaal transport met een hijskraan invloed hebben op de milieukosten. In het TWIN model wordt dit transport op de bouwplaats echter niet meegenomen. Dit hoeft ook niet omdat de grondstoffen voor het product en het product zelf al honderden kilometers heeft gereisd dat het transport op de bouwplaats te verwaarlozen is. De uitzondering hierop zijn grote civiele werken, zoals nieuwe snelwegen, waarbij het product op de bouwplaats ook nog over een groot aantal kilometers wordt vervoerd.^b

^b Informatie verkregen via Dhr. Haas van NIBE

3.10.2.3 Milieukosten

Uitgaande van de functionele eenheid zoals hiervoor bepaald zullen kengetallen per kilogram materiaal worden bepaald. Hierbij wordt voor zowel beton als voor staal geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende sterkteklasse. Voor wapeningsstaal geldt dat gerekend moet worden met dezelfde waarde als voor staal.

Voor dit onderzoek zijn door NIBE de milieueffecten en omrekenfactoren naar de milieukosten verstrekt voor beton en staal. Hierbij is gekozen om uit te gaan van beton zonder betongranulaat, voor staal wordt standaard van staal met 12% gerecycled staal uitgegaan.

Impact category	Unit	Total	008 Staal (12% recycled)	Transp. naar bouwplaats GCT	Slopen en laden	-Bouwafval GCT default
global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	2,09	2,05	0,0138	0,00844	0,0151
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,00000416	0,0000041	1,84E-09	1,14E-09	3,05E-09
human toxicity	kg 1,4-DB eq	0,226	0,222	0,00153	0,00091	0,00165
freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,0182	0,0173	0,000306	0,000186	0,00033
marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	232	230	0,851	0,496	0,881
terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,00443	0,00439	0,0000168	0,00000805	0,0000146
photochemical oxidation	kg C2H4	0,000846	0,000841	0,00000142	0,00000154	0,00000183
acidification	kg SO2 eq.	0,00956	0,00928	0,0001	0,0000654	0,000107
eutrophication	kg PO4--- eq	0,000793	0,000737	0,0000207	0,0000136	0,0000218
exhaus biotic	mbp	0 x	x	x	x	x
exhaus abiotic	mbp	0,0299	0,0299	0,000000334	0,0000002	0,000000597
exhaus Energy	mbp	0,0853	0,0826	0,001	0,000622	0,0011
Eco99 EQ Landuse	PDF*m2yr	0,146	0,143	0,00183	0,0000502	0,0000771
malodorous air	OTV m3	96300	96300	1,15	0,71	2,05
Roadnoise	DALY	0,000000682	7,64E-08	0,000000314 x		0,000000292
hinder geluid	mbp	8,44	8,44	0,000177	0,000109	0,000269
hinder licht	mbp	0,0796	0,077	0,000961	0,000598	0,00106
hinder calamite	mbp	0,0793	0,0767	0,000961	0,000598	0,00106
energy	MJ	35,2	34,7	0,19	0,118	0,21
Waste	kg	1,33	1,3	0,000481	0,000298	0,0311
Waste to recycling	kg	0,97 x	x	x		0,97
distance	kgkm	20400	20200	150 x		50,2

Figuur 27: milieueffecten staal, 12% gerecycled [NIBE]

Impact category	Unit	Total	086 Beton (0% puingranulaat)	Transp. naar bouwplaats GCT	Slopen en laden	-Bouwafval GCT default
global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	0,14	0,102	0,0138	0,00844	0,0153
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	7,35E-09	1,99E-09	1,84E-09	1,14E-09	2,38E-09
human toxicity	kg 1,4-DB eq	0,00756	0,00346	0,00153	0,00091	0,00165
freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,0013	0,00047	0,000306	0,000186	0,000335
marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	8,37	6,11	0,851	0,496	0,911
terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,000085	0,0000452	0,0000168	0,00000805	0,000015
photochemical oxidation	kg C2H4	0,0000096	0,00000481	0,00000142	0,00000154	0,00000183
acidification	kg SO2 eq.	0,00048	0,000206	0,0001	0,0000654	0,000108
eutrophication	kg PO4--- eq	0,0000903	0,0000339	0,0000207	0,0000136	0,0000221
exhaus biotic	mbp	0 x	x	x	x	x
exhaus abiotic	mbp	0,0216	0,0216	0,000000334	0,0000002	0,000000447
exhaus Energy	mbp	0,00552	0,00278	0,001	0,000622	0,00112
Eco99 EQ Landuse	PDF*m2yr	0,0171	0,0146	0,00183	0,0000502	0,0000708
malodorous air	OTV m3	17,5	14	1,15	0,71	1,58
Roadnoise	DALY	0,000000661	5,18E-08	0,000000314 x		0,000000295
hinder geluid	mbp	1	1	0,000177	0,000109	0,00026
hinder licht	mbp	0,00601	0,00338	0,000961	0,000598	0,00107
hinder calamite	mbp	0,00614	0,00351	0,000961	0,000598	0,00107
energy	MJ	1,3	0,776	0,19	0,118	0,213
Waste	kg	0,024	0,0127	0,000481	0,000298	0,0106
Waste to recycling	kg	1,02	0,0297 x	x		0,99
distance	kgkm	414	214	150 x		50,1

Figuur 26: milieueffecten beton [NIBE]

Als deze milieueffecten worden vergeleken met elkaar is te zien dat staal voor elk effect een hogere waarde heeft. Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door het onderdeel bouwafval en de productie van het materiaal zelf.

Om tot de milieukosten te komen worden deze milieueffecten gemonetariseerd aan de hand van de hiernaast weergegeven factoren. Deze factoren zijn bepaald aan de hand van kosten die nodig zijn om de milieuschade op te heffen. Te zien is dat aantasting van de ozonlaag een erg hoge factor heeft geluidshinder een erg lage factor. De marine aquatic ecotoxicity heeft een waarde van 0, dit omdat onvoldoende bekend is om er kosten aan te koppelen.

Als de milieueffecten met de milieukosten worden vermenigvuldigd zijn de volgende milieukosten te vinden:

- Staal 0,3181 €/kg;
- Beton 0,0246 €/kg.

Impact category	factor
global warming (GWP100)	0,090756
ozone layer depletion (ODP)	5724,691
human toxicity	0,048392
freshwater aquatic ecotoxicity	0,048392
marine aquatic ecotoxicity	0,00
terrestrial ecotoxicity	0,048392
photochemical oxidation	4,401668
acidification	2,722681
eutrophication	54,45363
exhaus biotic	0,042202
exhaus abiotic	0,042202
exhaus Energy	0,042202
Eco99 EQ Landuse	0,20482
malodorous air	2,33E-08
Roadnoise	321,946
hinder geluid	1,49E-06
hinder licht	0,024005
hinder calamite	0,024005

Figuur 28: omrekenfactor milieueffecten per kg naar milieukosten €/kg [NIBE]

Beton wordt over het algemeen als gewapend beton toegepast, om hiervan de milieukosten te bepalen moeten de kengetallen van staal en beton worden gecombineerd. Om deze combinatie te kunnen maken is het nodig om uit te gaan van een bepaalde verhouding tussen beton en staal. Deze verhouding is dezelfde als besproken in het hoofdstuk kosten, de verhouding tussen staal en beton is als volgt:

- Kolommen en liggers 90 kg/m³
- Wanden kern en schijf 200 kg/m³;
- Wanden buis 140 kg/m³;
- Vloeren 85 kg/m³.

Vervolgens kunnen de milieukosten voor gewapend beton worden berekend:

- Kolommen en liggers 0,0356 €/kg;
- Wanden kern en schijf 0,0491 €/kg;
- Wanden buis 0,0417 €/kg;
- Vloeren 0,0350 €/kg.

Belangrijk om op te merken is dat de waarde voor de milieukosten geen erg harde waarde zijn. Dit zijn de milieukosten zoals deze nu gelden. Als de opwarming van de aarde toeneemt of de ozonlaag verder verslechterd zullen deze milieueffecten zwaarder gaan wegen, het meer kosten om de schade van deze milieueffecten op te heffen. Het gevolg hiervan is dat de milieukosten ook zullen veranderen. Omdat de milieueffecten voor staal hoger uitvallen zal dit extra nadelig zijn voor het staal, het is echter ook mogelijk dat als gevolg van productie ontwikkelingen of uitputting van grondstoffen dat grote van de verschillende milieueffecten verandert. Indien voor staal milieuvriendelijkere productiemethode worden ontwikkeld zullen de milieukosten van staal en beton dichter bij elkaar komen te liggen.

DEELRAPPORT FLEXIBILITEIT

3.11 Flexibiliteit

3.11.1 Terminologie

De term flexibiliteit is een term waar vele betekenissen en omschrijvingen aan gegeven kunnen worden. Volgens de Van Dale is de volgende omschrijving van toepassing:

1. buigzaamheid (lenigheid);
2. mogelijkheid tot aanpassing.

3.11.1.1 Industrieel Flexibel en Demontabel bouwen

Als in de bouw aan flexibiliteit wordt gedacht komt men als snel uit bij Industrieel Flexibel en Demontabel (IFD) bouwen. Het idee van IFD bouwen is dat het ontwerpen, ontwikkelen en bouwen zich niet alleen op het gebouw richt maar ook op het bouwproces en de organisatie hier omheen. Om deze manier van bouwen onder de aandacht te brengen en te stimuleren is door het Ministerie van VROM en Economische Zaken in 1999 het programma demonstratieprojecten opgestart.

Voor de term flexibel binnen IFD moet gelden dat niet meer dan twee van onderstaande opmerkingen met nee wordt beantwoord:

- Het systeem biedt een grote mate van ontwerprijheid;
- De oplossing is zowel permanent als tijdelijk te gebruiken;
- Het volume is eenvoudig aanpasbaar;
- De indeling is eenvoudig aanpasbaar;
- De oplossing is verplaatsbaar [www.ifd.nl]⁴².

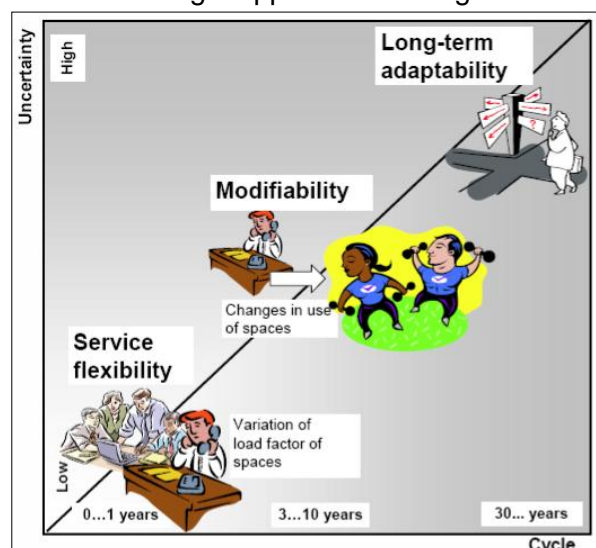
3.11.1.2 Flexibiliteit en tijd

Niet alleen kan flexibiliteit als meerdere dingen worden gezien, de gebruiker en eigenaar van een gebouw zullen ook anders over flexibiliteit denken. De gebruiker associeert flexibel gebruik van de ruimte met zijn alledaagse bezigheden terwijl de eigenaar meer naar de middellange en lange termijn kijkt oftewel wat wanneer de huidige gebruiker het pand verlaat. Flexibiliteit is dan ook op te delen in drie tijdsaspecten:

- Service flexibiliteit: dit is het om kunnen gaan van het gebouw met snelle veranderingen zoals het aan aantal mensen in een ruimte en gebruiksfunctie van de ruimte aanpassen. Dit is veelal gekoppeld aan de gebruiker en vindt plaats binnen 0 tot 1 jaar;
- Aanpasbaarheid: hierbij gaat het om het aanpassen aan de veranderende wensen vanuit de (nieuwe) gebruiker. Deze vorm van flexibiliteit is gekoppeld aan de eigenaar en kan binnen 3 tot 10 jaar plaats vinden;
- Functiewisselingen: hierbij gaat het om een volledig ander gebruik van het gebouw welke van te voren niet te voorspellen is. Dit is gekoppeld aan de eigenaar en kan na 30 jaar plaats vinden [[Saari & Heikkila, 2008](#)]¹⁸.

Tussen aanpasbaarheid en functiewisseling kan weinig verschil zitten omdat aanpassen ook een functiewisseling kan betekenen. Een gebouw gebaseerd op aanpasbaarheid heeft dan alleen minder mogelijkheden omdat minder rekening is gehouden met deze functiewisseling.

Figuur 29: verschillende type flexibiliteit [[Saari & Heikkila, 2008](#)]¹⁸



De economische levensduur geeft aan in welke periode een voorwerp wordt afgeschreven. Deze afschrijving wordt gedaan omdat het voorwerp veroudert en hetzelfde voorwerp met nieuwere technieken op de markt zijn. Het voorwerp is dan echter nog wel bruikbaar pas als het kapot is en niet meer in staat is te voldoen waarvoor het bedoeld is, is de technische levensduur verstreken.

Bij gebouwen wordt in berekeningen een levensduur van 50 jaar aangehouden, dit terwijl de technische levensduur veel meer kan zijn. De economische levensduur hoeft echter niet altijd deze 50 jaar te halen en belangrijk is dat dan functiewisselingen of aanpassingen worden gedaan om het gebouw een nieuwe economische levensduur te geven zodat ook daadwerkelijk de technische levensduur wordt gehaald. Naast het verzorgen van een nieuwe economische levensduur zijn aanpassingen en functiewisselingen een methode om in een nieuwe functionele levensduur te voorzien. De functionele levensduur gaat over de periode dat een voorwerp functioneel is. Voor de eigenaar kan deze hernieuwd worden met aanpassingen en functiewisselingen, een gebruiker kan service flexibiliteit toepassen als de functionele levensduur voor hem verlopen is omdat de indeling van een ruimte niet meer voldoet.

3.11.1.3 Definitie flexibiliteit

Zoals te zien is zijn meerdere omschrijvingen en criteria voor flexibel en flexibiliteit mogelijk. Daarom is het belangrijk goed te definiëren wat in het verdere afstuderen wordt verstaan onder flexibiliteit. Met de flexibiliteit wordt bedoeld de mogelijkheid tot aanpassingen van het volume of de indeling. Hierbij kan het gaan om herindelingen van het gebouw maar het kan ook gaan om de functieverwisseling van wonen naar werken of andersom. Belangrijk hierbij op te merken is dat flexibiliteit aanpassingen in het gebouw zijn en niet aan het gebouw, dit wil zeggen dat de constructie in tact blijft [Rongen, 1994]¹⁹.

Binnen het afstuderen zal flexibiliteit op twee manieren worden bekeken. Voor de aanpasbaarheid zal een onderzoek worden gedaan naar de mogelijkheid tot functiewisselingen. Daarnaast zal gekeken worden naar een methode om in een vroegtijdig stadium uitspraak te doen over de flexibiliteit van de draagconstructie. Deze flexibiliteit heeft invloed op tot in welk stadium aanpassingen in de indeling mogelijk zijn en hoe snel een ontwikkelaar de plattegrond definitief moet hebben. Er zal niet uitgebreid in worden gegaan op mogelijkheid tot herindelen maar dit is wel deels gekoppeld aan de flexibiliteit van de draagconstructie omdat deze bepaald hoeveel ontwerprijheid de draagconstructie overlaat.

3.11.2 Functies

Om een uitspraak te kunnen doen over de mogelijkheid tot functiewisselingen zal voor de verschillende functies naar hun eisen worden gekeken.

3.11.2.1 Functie eigenschappen

De functies waar naar gekeken zal worden zijn:

- Woonfunctie, appartementen;
- Kantoorfunctie;
- Logiesfunctie, hotel;
- Winkelfunctie;
- Sportfunctie;
- Bijeenkomstenfunctie, restaurant (met alcohol) en vergaderzalen;
- Onderwijsfunctie.

Van deze functies is in de literatuurstudie gekeken naar de volgende onderdelen:

- Veranderlijke belastingen;
- Vrije hoogte en verlaagd plafond;
- Ventilatie;
- Geluid.

Vaak wordt ook gesproken over de aanwezigheid van grote (kolom)vrije ruimte. Of deze ruimte aanwezig kunnen zijn hangt af van het draagsysteem en de eventuele aanpassingen die hieraan te doen zijn. In het overzicht is het mogelijk om dit onderdeel mee te nemen maar het is in een algemene beschouwing lastig waarde of indicaties te bepalen. Zo ontstaat de vraag wat is het stabiliteitsysteem en laat deze aanpassingen voor een grote vrije ruimte toe? Maar ook wat is de invulling van de functie, een winkel kan een supermarkt, een kledingwinkel of een bakkerij zijn. Met allemaal hun eigen wensen als het om vrije ruimtes gaat. Voor de meeste functies geldt dus dat deze behoefte afhangt van de toepassing binnen de functie en daarom is dit onderdeel in het overzicht buiten beschouwing gelaten.

Overzicht functies

Hieronder is het overzicht met de eisen voor de verschillende functies terug te vinden. Aan de hand van dit overzicht kan geanalyseerd worden waar overeenkomsten zitten en waar problemen optreden.

Functie	Veranderlijke belasting	Vrije hoogte	Verlaagd plafond aanwezig	Minimale ventilatie bezettingsgraad B2	Minimale ventilatie bezettingsgraad B3	Luchtgeluid ll,u,k ruimte-verblijfsgebied	Contactgeluid lco ruimte-verblijfsgebied	Luchtgeluid ll,u,k ruimte-ruimte	Contactgeluid lco ruimte-ruimte
Wonen	1,75*	2,6	nee	0,9	0,9	0	5	-5	0
Kantoor	2,50*	2,6	ja	1,3	1,3	0	0	-5	-5
Winkel	4,00	2,6	ja	1,9	0,8	0	0	-5	-5
Logies	5,00	2,6	ja	6	2,4	0	0	-5	-5
Sport	5,00	2,6	optioneel	3,2	1,3	0	0	-5	-5
Bijeenkomst(met alcohol)	5,00	2,6	ja	4,8	4,8	10	10	5	5
Bijeenkomst	5,00	2,6	optioneel	1,9	0,8	0	0	-5	-5
Onderwijs	3,70	2,6	optioneel	3,5	1,4	0	0	-5	-5
Eenheid	kN/m ²	m	-	l/s per m ²	l/s per m ²	dB	dB	dB	dB

Tabel 10: overzicht eigenschappen functies

* tevens moet een permanente belasting van 1,2 kN/m² worden meegenomen

3.11.2.2 Conflicten en overeenkomsten

In het afstuderen wordt als uitgangspunt de functie wonen genomen en daarom zal ook hier deze functie als beginpunt worden genomen als naar de conflicten en overeenkomsten wordt gekeken.

Belastingen

Bij de functie wonen moet worden gerekend met een belasting van $2,95 \text{ kN/m}^2$, dit is de laagste waarde die in het rijtje voorkomt. Om een functiewisseling in de toekomst mogelijk te maken, zal altijd een over gedimensioneerde constructie moeten worden toegepast of de mogelijkheid tot verzwaren moet aanwezig zijn.

Vrije hoogte en verlaagd plafond

Bij een woning wordt meestal geen verlaagd plafond toegepast, ook is onder de vloer geen extra hoogte aanwezig voor de kanalen omdat deze in de vloer verwerkt zitten.

Bij een functiewisseling waarbij aanpassingen aan de kanalen of leidingen moeten worden gedaan, zal een volledig nieuw leidingwerk op of onder de vloer moeten worden aangebracht omdat het huidige leidingwerk niet bereikbaar en dus aanpasbaar is. Dit betekent dat bij voorbaat meer verdiepingshoogte nodig is om dit extra leidingwerk te kunnen aanbrengen.



Alleen het toepassen van meer verdiepingshoogte is echter niet het meest efficiënt. Door de standaard uitvoering aan te houden ontstaat een mooie hoge ruimte wat een positief effect heeft op het ruimte besef maar het aanwezige leidingwerk is nog steeds niet aanpasbaar. Door het leidingwerk onder de vloer aan te brengen is het bestaande leidingwerk wel aanpasbaar wat kosten besparend kan werken. Vervolgens kan of een verlaagd plafond worden toegepast of het leidingwerk wordt in het zicht gelaten.

Figuur 30: hoogte en ruimtebesef [Gemeente Amsterdam Bureau Monumenten & Archeologie GAK gebouw]

Ventilatie

Bij dit onderdeel speelt de bezettingsgraad een rol, zo is de ventilatie in bezettingsgraad B3 voor de functie winkel en bijeenkomst kleiner dan de ventilatie voor de functie wonen. In bezettingsgraad B2 is dit echter niet meer het geval. Dit betekent dat vrijwel altijd meer geventileerd moet gaan worden, wat als gevolg heeft dat de luchtbehandelingkast (LBK) meer capaciteit moet hebben en de kanalen groter moeten worden.

Als gevolg van de grotere capaciteit die de LBK moet hebben zal het gewicht hiervan stijgen, dit betekent dat op de technische verdieping rekening moet worden gehouden met een zwaardere belasting op de vloer. Ook de benodigde ruimte voor de LBK zal meer worden en het moet mogelijk zijn om de onderdelen die nodig zijn voor de vergroting van de LBK aan te voeren en te plaatsen.

Het is mogelijk om op voorhand een zwaardere LBK te plaatsen en deze niet op vol vermogen laten draaien, dit brengt bij voorbaat al extra kosten met zich mee waarvan nog niet zeker is of ze ook daadwerkelijk nodig zijn.

Bij een aantal functies is koeling ook een belangrijk aandachtspunt, de benodigde koellast is al snel groter dan die bij de functie wonen waar meestal warmte terugwinning voldoende oplevert om de woning te koelen, als al koeling wordt toegepast in de woning. Bij bepaalde functies zitten echter eisen aan de condities van het binnenklimaat en zodoende is koeling vereist. Dit betekent dat aan de technische ruimte een koelmachine zal moeten worden toegevoegd, hier moet wel ruimte voor zijn.

Geluid

Bij de geluidseisen wordt onderscheidt gemaakt tussen contact- en luchtgeluid, van een ruimte naar een andere ruimte en van een ruimte naar een verblijfsgebied. Voor de functie wonen zijn deze eisen over het algemeen gelijkwaardig of strenger. Dit betekent dat functiewisselingen zonder probleem mogelijk zijn. Alleen voor de functie bijeenkomst met alcohol is de eis strenger en bij een wisseling hierheen zal extra geluidswering moeten worden aangebracht.

Wat niet in het overzicht wordt meegenomen maar wel belangrijk is om te bekijken is het geluid van buitenaf, of te wel de geluidswering van de gevel. Alleen voor de functie wonen en onderwijs zijn eisen gesteld aan deze geluidswering waarbij voor een functie wonen de strengste eisen gelden. Dit geeft dus geen problemen bij functiewisselingen.

Plaatsing sanitair

De plaatsing van sanitair wordt niet besproken in het overzicht maar is wel enige aandacht waard. Het sanitair voor de functie wonen wordt veelal per twee woningen geclusterd en levert veel kleine sanitair groepen over de hele plattegrond op. Bij andere functie vindt ook een clustering plaats maar in een kleiner aantal en centraler in het gebouw. Dit betekent een verschuiving van de standleiding en hiervoor is schachtruimte nodig of er moet afvoer naar bestaande standleidingen plaats vinden waarbij voldoende afschot mogelijk moet zijn.

Liften

Ook niet genoemd in het overzicht zijn liften, welke voor hoogbouw een belangrijk element voor de ontsluiting zijn. Een goede ontsluiting, en dus voldoende liften, is nodig om een functioneel en leefbaar gebouw te creëren maar aan de andere kant betekent dit veelal minder verhuurbaar oppervlak. Voor de verschillende functies moet met verschillende vervoerscapaciteiten rekening worden gehouden. Deze capaciteit is afhankelijk van de populatie, bezettingsgraad en de piekvorming.

Vooraf voor woningen is de bezettingsgraad en piekvorming een stuk lager dan voor een hotel of kantoren zoals in de tabel hiernaast te zien is. Het is lastig een eenduidige uitspraak te doen met deze gegevens maar het wordt wel duidelijk dat bij functiewisselingen rekening moet worden gehouden met een grotere liftcapaciteit.

Parameters verkeersintensiteit			
Gebouwfunctie	Populatie	Bezettingsgraad	Piekvorming
Kantoor	1 werkplek per 18-25 m ² BVO of 1 werkplek per 10-15 m ² NVO	60-85 % komt binnen in de opgaande ochtendpiek (1 uur)	De opgaande piek is vrijwel altijd maatgevend (12,5-18 % per 5 minuten), tenzij het restaurant niet op de hoofdverdieping ligt.
Hotel	1,2-1,5 personen per kamer	90 % van de kamers is bezet	De neergaande piek in de ochtend is maatgevend: neergaand en opgaand ontbijtverkeer met neergaand checkoutverkeer (gezamenlijk 14-18 % per 5 minuten)
Woningen	Op basis van NEN 5080 afhankelijk van het aantal kamers per woning: 1,25 personen bij één of twee kamers 2,00 personen bij drie kamers 2,75 personen bij vier kamers 3,5 personen bij vijf of meer kamers	40-60 % vertrekt in de neergaande ochtendpiek	De neerpiek is maatgevend (3-6 % per 5 minuten) Let op: NEN 5080 zegt 7,5-20 %!
Onderwijsgebouw	1 personen per 4-7 m ² NVO	45-75 % komt voor het 1 ^e of 2 ^e collegeuur aan	De opgaande piek en/of de piek tijdens collegewisselingen is maatgevend (15-25 % per 5 minuten).

Tabel 11: indicatie populatie, bezettingsgraad en piekvorming voor gebouwfuncties [Wit, 2007]³

Conclusie

Als vanuit de functie wonen een functiewisseling moet plaats vinden treden een aantal conflicten op waar wel degelijk rekening mee moet worden gehouden wil de functiewisseling soepel kunnen verlopen. De belangrijkste aandachtspunten zijn:

- Een grotere belasting op kunnen nemen;
- Het leidingwerk kunnen aanpassen zodat er meer ventilatie mogelijk is;
- Een grotere LBK en eventueel een koelmachine kunnen plaatsen;
- Voldoende hoogte hebben voor aanpassingen leidingwerk;
- Voldoende liftcapaciteit hebben.

De grotere LBK, ruimte voor een koelmachine en meer liftcapaciteit zijn aandachtspunten die plaatselijk in het gebouw aanwezig zijn en waar plaatselijk in het ontwerp rekening mee dient te worden gehouden. De hogere belasting en het aan kunnen passen van het leidingwerk geldt voor heel de plattegrond. In hoeverre het leidingwerk aanpasbaar is hangt af van het toegepaste vloersysteem. Simpel gezegd zijn de opties meer verdiepingshoogte mee te nemen zodat het leidingwerk onder de vloer kan worden aangebracht of een integraal vloersysteem toepassen waarbij het leidingwerk in de vloer wordt opgenomen. De belastingen zijn voor een groot deel afhankelijk van het gekozen vloersysteem en zullen in combinatie met de systemen moeten worden bekeken.

3.11.2.3 Overzicht conflicten en overeenkomsten

Met de gedane analyse is het mogelijk om een kruistabel te maken waarin wordt aangegeven waar andere functies zwaardere of lichtere eisen hebben. In de tabel is dit niet alleen voor de functie wonen gedaan maar voor alle functies zodat een totaal beeld ontstaat van de conflicten en overeenkomsten bij functiewisselingen.

	Belasting								Verdiepingshoogte								Ventilatie B2								
	Wonen	Kantoor	Winkel	Logies	Sport	Bijeenkomst (alcohol)	Bijeenkomst		Onderwijs	Wonen	Kantoor	Winkel	Logies	Sport	Bijeenkomst (alcohol)		Bijeenkomst	Onderwijs	Wonen	Kantoor	Winkel	Logies	Sport	Bijeenkomst (alcohol)	Bijeenkomst
Belastingen	Wonen	0	-	-	-	-	-	-	Wonen	0	-	-	-	-	-	-	Wonen	0	-	-	-	-	-	-	-
	Kantoor	+	0	-	-	-	-	0	Kantoor	+	0	0	0	0	0	0	Kantoor	+	0	-	-	-	-	-	-
	Winkel	+	+	0	-	-	-	+	Winkel	+	0	0	0	0	0	0	Winkel	+	+	0	-	-	-	0	-
	Logies	++	+	+	0	0	0	+	Logies	+	0	0	0	0	0	0	Logies	++	++	0	+	+	+	+	+
	Sport	++	+	+	0	0	0	+	Sport	+	0	0	0	0	0	0	Sport	++++	++	-	0	-	+	+	+
	Bijeenkomst(alcohol)	++	+	+	0	0	0	+	Bijeenkomst(alcohol)	+	0	0	0	0	0	0	Bijeenkomst(alcohol)	++++	++	-	+	0	++	+	+
	Bijeenkomst	++	+	+	0	0	0	+	Bijeenkomst	+	0	0	0	0	0	0	Bijeenkomst	++	+	0	-	-	0	-	-
	Onderwijs	+	0	-	-	-	-	0	Onderwijs	+	0	0	0	0	0	0	Onderwijs	++++	++	-	+	-	+	0	0
								Verdiepingshoogte								Ventilatie B2									
Ventilatie B3	Wonen	0	-	+	-	-	+	Wonen	0	+	+	+	+	-	+	Wonen	0	+	+	+	+	+	+	+	+
	Kantoor	+	0	+	-	0	+	Kantoor	-	0	0	0	0	-	0	Kantoor	-	0	0	0	0	-	0	0	0
	Winkel	-	0	-	-	0	-	Winkel	-	0	0	0	0	-	0	Winkel	-	0	0	0	0	-	0	0	0
	Logies	++	+	++	0	+	++	Logies	-	0	0	0	0	-	0	Logies	-	0	0	0	0	-	0	0	0
	Sport	+	0	+	-	0	+	Sport	-	0	0	0	0	-	0	Sport	-	0	0	0	0	-	0	0	0
	Bijeenkomst(alcohol)	++++	++	++	+	0	++++	Bijeenkomst(alcohol)	+	++	++	++	++	0	++++	Bijeenkomst(alcohol)	+	++	++	++	++	0	++++	++	++
	Bijeenkomst	-	0	-	-	0	-	Bijeenkomst	-	0	0	0	0	-	0	Bijeenkomst	-	0	0	0	0	-	0	0	0
	Onderwijs	+	+	+	+	+	+	Onderwijs	-	0	0	0	0	-	0	Onderwijs	-	0	0	0	0	-	0	0	0
								Geluid																	

Tabel 12: kruistabellen conflicten en overeenkomsten eigenschappen functies, -- veel zwaardere eis, - zwaardere eis, 0 dezelfde eis, + lichtere eis, ++ veel lichtere eis

4 ONDERZOEK

4.1 Functiewisselingen

Uit de literatuurstudie is naar voren gekomen dat de functie wonen veelal de laagste eisen heeft. Bij toenemende vraag naar kantoren of bijeenkomsten ruimte en een afnemende vraag naar woningen is het interessant in het gebouw deze wijziging door te kunnen voeren. In dit onderzoek zal worden gekeken welke vloer hier het meest geschikt voor is.

4.1.1 Model

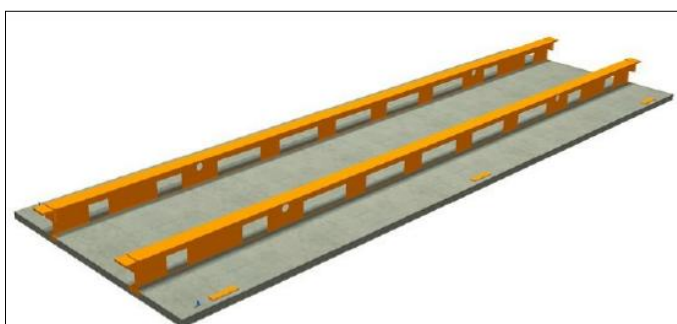
Voor de functiewisselingen zal niet alleen worden gekeken naar de bekende “standaard” vloeren, de breedplaat, kanaalplaat en staalplaat betonvloer. Ook zal worden gekeken naar integrale vloersystemen. Dit zijn vloeren waarin ruimte aanwezig is voor luchtkanalen en leidingwerk. In de “Literatuurstudie stabiliteitsystemen, kosten, duurzaamheid en flexibiliteit van hoogbouw” zijn in hoofdstuk 17 Integrale vloersystemen verschillende integrale vloersystemen terug te vinden. Voor de functiewisselingen zal gekeken worden naar de infra+ vloer, wingvloer en holcon vloer.



Figuur 31: voorbeeld Holcon vloer [3D Bleuprint]²⁶



Figuur 33: aanzicht oude wingvloer [Betonson]⁴¹



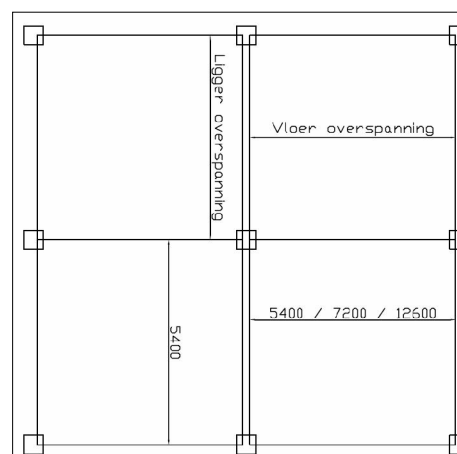
Figuur 32: voorbeeld infra+ vloer [Slimline buildings BV]²⁵

Voor de hieronder weergegeven plattegrond wordt niet alleen naar de vloer gekeken, het ontwerp wordt gebruikt om ook de benodigde liggers en kolommen te bepalen.

De afmeting van deze elementen zal worden bepaald voor de functie kantoor en bijeenkomst.

In woningen zijn woningscheidende wanden goed te gebruiken als constructie element toch is gekozen voor een kolom liggerstructuur omdat deze scheidingswanden bij kantoren en bijeenkomsten ruimte de vrije indeelbaarheid en het creëren van grote open ruimte tegengaan. In de woningbouw is tunnelbouw een gangbare bouwmethodologie maar zal vanwege de slechte flexibiliteit buiten beschouwing worden gelaten.

Om de prestaties van de verschillende systemen toch met de woningbouw te kunnen vergelijken wordt als referentie gekeken naar een vlakke plaatvloer welke puntvormig wordt ondersteund.



Figuur 34: plattegrond rekenmodel

Bij de functie kantoren en bijeenkomsten heeft deze vloer liggers nodig in verband met de hogere belastingen. De referentiesituatie is, vanwege de puntvormige ondersteunde uitvoering, niet geschikt bij het uitvoeren van functiewisselingen. De vlakke plaatvloer met liggers lijkt veel op de breedplaat en de laatste, met de functie wonen, wordt meegenomen om de verschillen bij functiewisselingen te kunnen bekijken.

4.1.1.1 Eigenschappen en aannames model

De plattegrond van het rekenmodel bestaat uit vier vloervelden. De ligger overspanning is hierbij 5400mm en gekeken zal worden naar een vloeroverspanning van 5400mm, 7200mm en 12600mm.

In het model wordt maar één vloerveld meegenomen, omdat over het algemeen meer middenvelden dan randvelden aanwezig zijn wordt voor het bepalen van de liggers en kolommen van vier vloervelden uitgegaan. Op deze manier worden de kolommen en liggers als middenligger en middenkolom bepaald.

De veranderlijke belastingen van de functie kantoor en bijeenkomst zijn respectievelijk 2,5 kN/m² en 5,0 kN/m².

Als permanente belasting zullen de volgende belastingen worden aangehouden:

- 0,2 kN/m² voor installaties;
- 1,04 kN/m² voor een zwevende dekvloer;
- 1,2 kN/m² bij de functie kantoor voor niet dragende wanden en afwerking;
- 0,5 kN/m² bij de functie bijeenkomst voor afwerking.

De functie bijeenkomst heeft vaak grote open ruimtes, in de norm wordt geen eis gegeven voor niet dragende wanden zodoende hoeft alleen een afwerking van de vloer en plafond te worden meegenomen. De belasting van de zwevende dekvloer komt voort uit 50mm cement dekvloer, 20 kN/m², en 20mm isolatie, 2 kN/m².

Een zwevende dekvloer moet worden toegepast indien de massa minder is dan 850 kg/m². Indien in de vloer een systeem aanwezig is om te voorzien is geluidswering is geen zwevende dekvloer nodig.

Bij de functies is naar voren gekomen dat de functie wonen weinig leidingwerk nodig heeft daarom hoeft voor deze functie de belasting voor installaties niet te worden meegenomen. Weinig leidingwerk wordt voor deze functie verkregen door de ruimtes die ventilatie nodig hebben tegen een verticale schacht te plaatsen zodat alleen in verticale richting ruimte voor de ventilatie nodig. Eventueel horizontaal leidingwerk wordt in de vloer ingestort. Bij de functie kantoor en bijeenkomsten is wel in het hele gebouw ventilatie nodig en dus wordt hier gebruik gemaakt van horizontale kanalen. Tevens wil men het leidingwerk aanpasbaar houden in verband met herindeling van de ruimte, iets wat bij een woning minder snel gebeurt. Dit zorgt ervoor dat opname van het leidingwerk in de vloer niet ideaal is en daarom moet rekening worden gehouden met ruimte voor het leidingwerk.

De eis voor deze ruimte is gesteld op 260mm in beide richtingen waarbij in één richting niet onderbroken. Deze 260mm zal in de praktijk niet genoeg zijn om kruisingen met kanalen te maken, dit probleem is te ondervangen doordat bij kantoren en bijeenkomsten ruimte gangen aanwezig zijn. In gangdelen mag afgeweken worden van vereiste vrije hoogte en zodoende kan met een koof extra hoogte worden gecreëerd om de kanalen te laten kruisen.

De verdiepingshoogte is bij gebouwen altijd een belangrijk aspect, te hoge verdiepingen geven niet alleen meer kosten voor de gevel, verticaal leidingwerk, trappen en liften maar zorgen ook dat bij dezelfde hoogte minder verdiepingen mogelijk zijn en dit leidt tot minder opbrengsten. De minimale vrije hoogte is 2600mm, om de verdiepingshoogte te beperken zullen zoveel mogelijk geïntegreerde liggers worden toegepast. In veel gevallen zal dit gedaan worden met THQ of ASB liggers.

Duurzaamheid

Niet alleen wordt gekeken naar de benodigde vloer, liggers en kolommen. Ook zal worden gekeken naar de duurzaamheid van de benodigde elementen.

Van de verschillende materialen die worden gebruikt is het mogelijk om de milieueffecten te bepalen. Omdat deze effecten per materiaal veel verschillen is het nog steeds niet mogelijk om verschillende materialen met elkaar te vergelijken. Om dit mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van de verborgen milieukosten. Dit zijn de kosten die de maatschappij in de toekomst moet maken voor het herstel van het milieu en ter bestrijding en preventie van de milieueffecten.

De verborgen milieukosten zijn per milieueffect te bepalen door deze te vermenigvuldigen met de kengetallen welke de toekomstige kosten voor de maatschappij weergeven. Door vervolgens de milieukosten per milieueffect bij elkaar op te tellen is één getal voor de verborgen milieukosten van één kilo materiaal te vinden.

In hoofdstuk 3.10 zijn deze milieukosten al bepaald, voor wapeningstaal dient dezelfde waarde aangehouden te worden als voor S235 en S355. De milieukosten van staal en beton zijn als volgt:

- Staal 0,3181 €/kg;
- Beton 0,0246 €/kg.

Bij de wingvloer wordt een computervloer toegepast welke gemaakt wordt van calciumsulfaat. Van dit materiaal heeft NIBE geen milieukosten voorhanden. Calciumsulfaat is scheikundig gezien hetzelfde als gips en daarom zal als milieukosten voor calciumsulfaat de milieukosten voor gips worden aangehouden, dit is 0,094 €/kg.

Kosten

Naast de milieukosten wordt ook gekeken naar de kosten van de benodigde onderdelen. Dit wordt gedaan door het materiaalgebruik in kilogrammen te vermenigvuldigen met de kengetallen voor de verschillende onderdelen. Voor staal en beton zijn deze kengetallen in de literatuurstudie naar voren gekomen, voor de vloersystemen speelt de productie een belangrijke rol in de kosten. De kengetallen zijn daarom niet te gebruiken, in plaats daarvan zijn webdatabases als bouwkosten en bouwkostenonline, welke zich gespecialiseerd hebben in eenheidsprijzen voor de bouw, gebruikt. Helaas waren niet alle vloersystemen te vinden en is van verschillende bronnen gebruik gemaakt om alle kosten te vinden.

De eenheidsprijzen die in het model worden gebruikt zijn hieronder te vinden:

- HE profiel: 1,19 €/kg;^c
- ASB profiel 1,1 x 1,19 = 1,309 €/kg;
- THQ profiel 1,5 x 1,19 = 1,785 €/kg;
- Beton 0,365 €/kg;^d
- Zwevende dekvloer 10,- €/m²;^b
- Computervloer 85,- €/m²;^c
- Zwaluwstaartvloer 48,- €/m²;^e
- Systeemplafond 27,- €/m²;^c
- Kanaalplaat 200 tot 6m 39,70 €/m²;^c
- Kanaalplaat 200 tot 8m 41,95 €/m²;^c
- Kanaalplaat 260 tot 13m 53,81 €/m²;^c
- Kanaalplaat 320 tot 13m 55,89 €/m²;^c
- Breedplaat 50 h=200mm 66,31 €/m²;^b
- Vlakke plaatvloer tot 6m 68,- €/m²;

^c [www.bouwkosten.nl]³⁶

^d [www.bouwkostenonline.nl]³⁷

^e Telefonische opgave leverancier

• Vlakke plaatvloer tot 10m	72,- €/m ² ;
• Extra kosten breedplaat per 1mm	0,105 €/m ² ; ^b
• Staalplaat betonvloer 280mm tot 6m	80,72 €/m ² ; ^c
• Staalplaat betonvloer 280mm tot 8m	84,12 €/m ² ; ^c
• Infra+ vloer met IPE300	88,32 €/m ² ; ^d
• Wing 260	54,- €/m ² ; ^d
• Wing 320	54,- €/m ² ; ^d
• Holconvloer	148,- €/m ² . ^d

Voor de wingvloer heerst het gevoel dat deze kostprijs alleen de productie bevat, de prijs ligt namelijk te dicht bij de prijs voor de kanaalplaat. Voor het gevoel zou de prijs van de vloer tussen de breedplaat en staalplaat betonvloer in moeten liggen. Voor de wingvloer wordt echter uitgegaan van alleen de vloerplaat, deze hoeft niet te worden aangestort omdat als afwerking een computervloer wordt gebruikt. In het rekenmodel is de kostprijs toch met 5 €/m² verhoogd om rekening te houden met uitvoeringsaspecten dit is ongeveer vergelijkbaar met de uitvoeringskosten voor een kanaalplaat 320.

In de literatuurstudie komt voor de integrale vloersystemen naar voren dat een van de voordelen van integrale vloersystemen het besparen van hoogte is. De producent van de infra+ vloer, Slimline Building BV, heeft onderzoek gedaan naar de kostenbesparingen die de infra+ vloer oplevert ten opzichte van de standaard vloersystemen.

Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat dit vloersysteem een besparing tot 77 €/m² kan geven ten opzichte van de standaard vloersystemen [*Slimline Building BV*]³⁴.

Deze besparing is opgebouwd uit de volgende onderdelen:

• Minder geveloppervlak	40,- €/m ² ;
• Makkelijker en sneller werken installateur	20,- €/m ² ;
• Sneller bouw door prefab bouwen	10,- €/m ² ;
• Minder hoogte voor verticaal leidingwerk, trap en lift	6,- €/m ² ;
• Door licht gewicht besparing op draagsysteem en fundering	1,- €/m ² .

Deze besparingen zijn bepaald bij een verschil in hoogte van het vloerpakket voor de infra+ vloer en de andere systemen van 500mm. In dit onderzoek blijkt dit verschil uit de resultaten maar 180mm te zijn wat betekent dat het voordeel van minder geveloppervlak en minder hoogte voor verticaal leidingwerk, trappen en liften een stuk lager ligt. Deze besparing komt te liggen op: $(40+6) \cdot 180 / 500 = 17 \text{ €/m}^2$.

Tevens is het merendeel van de systemen een prefab systeem wat betekent dat de besparing vanwege het prefab bouwen niet terecht is om mee te nemen, in het onderzoek wordt de benodigde constructie meegenomen en daarom is de besparing als gevolg van het lichte gewicht ook achterwege gelaten.

Met al deze aanpassingen wordt een besparing van 37 €/m² gevonden.

Naast de infra+ vloer zijn de wingvloer en holconvloer ook integrale vloersystemen welke een besparing vanwege de hoogte zouden kunnen hebben.

Voor de wingvloer is het hoogte verschil 120mm en dit geeft een besparing van $46 \cdot 120 / 500 = 11 \text{ €/m}^2$.

In totaal geeft dit voor de wingvloer een besparing van 31 €/m².

De holconvloer heeft juist meer hoogte en zou alleen het voordeel van de makkelijkere uitvoer voor de installateur hebben maar dit gaat weer verloren aan de extra benodigde gevelhoogte en daarom wordt voor de holconvloer geen besparing meegenomen.

Voor het bepalen van deze besparingen is aangenomen dat de besparing lineair verloopt met de hoogte.

Bij het bepalen van de kosten van de verschillende systemen zijn deze besparingen al meegenomen.

4.1.2 Berekenen vloersystemen

Voor het berekenen van de vloersystemen is gebruik gemaakt van Excel spreadsheets. De breedplaat met een vloeroverspanning van 5400mm voor de functie wonen is hieronder volledig uitgewerkt. Voor de andere vloeroverspanningen en vloersystemen zijn de berekeningen in de bijlage opgenomen. Per vloersysteem worden de belangrijkste afwegingen, beslissingen en de toegepaste vloerhoogte gegeven.

4.1.2.1 Breedplaat functie wonen vloeroverspanning 5400mm

Constructie

Als belasting zonder het eigen gewicht van de vloerplaat geldt:

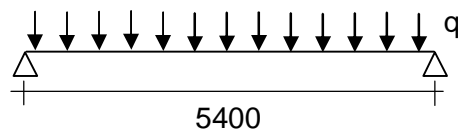
- Zwevende dekvloer = 1,04 kN/m²;
- Afwerking en niet dragende wanden = 1,2 kN/m²;
- Veranderlijke belasting = 1,75 kN/m²;
- Totale belasting = 3,99 kN/m².

Met programma rekenplan van Dycore [www.dycore.nl]³⁸ wordt voor een vloeroverspanning van 5400mm en een breedplaat van 50mm een vloerhoogte van 160mm gevonden.

Dit geeft een eigen gewicht van $0,16 \times 24 = 3,84$ kN/m².

Totale belasting vloer: 3,99 + 3,84 = 7,83 kN/m².

Rekenwaarde totale belasting $1,2 \times (1,04 + 1,2 + 3,84) + 1,5 \times 1,75 = 9,92$ kN/m².



Figuur 35: belasting schema ligger

Met de vloeroverspanning van 5,4m geeft dit een representatieve q-last op de ligger van:

$q_{rep} 7,83 \times 5,4 = 42,28$ kN/m

De rekenwaarde van de q-last is: $q_d = 9,92 \times 5,4 = 53,57$ kN/m².

$$M = 0,125 \times q_d \times l^2$$

$$M = 0,125 \times 53,57 \times 5,4^2 = 195,28 \text{ kNm}$$

$$W_{ben} = M / \sigma =$$

$$W_{ben} = 195,28 / 0,235 = 831 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Dit zou een THQ 150x5-240x25-450x12 betekenen want hiervoor geldt $W_y = 859 \times 10^3 \text{ mm}^3$.

De I_y van dit profiel is $7030 \times 10^4 \text{ mm}^4$ en dit geeft een doorbuiging van:

$$u = (5 \times q_{rep} \times l^4) / (384 \times E \times I)$$

$$u = (5 \times 42,28 \times 5400^4) / (384 \times 210000 \times 7030 \times 10^4) = 31,71 \text{ mm.}$$

Dit is meer dan de toegestane $0,004 \times 5400 = 21,6$ mm en dat betekent dat een zeeg van $31,71 - 21,6 = 10,11$ mm benodigd is.

Om de kolom te kunnen berekenen is de verdiepingshoogte van belang. Deze wordt bepaald door de vrije hoogte, de hoogte die nodig voor het vloersysteem en de hoogte van de ligger onder de vloer bij elkaar op te tellen.

$$h = h_{vrij} + h_{ligger} + h_{vloer} = 2,6 + 0,012 + (0,16 + 0,7) = 2,84 \text{ m.}$$

Het eigen gewicht van de te gebruiken ligger is 0,908 kN/m.

$$\text{De belasting op de kolom is: } (53,57 + 1,2 \times 0,908) \times 5,4 = 295,18 \text{ kN}$$

In verband met het moeten uitvoeren van een knikberekening is gebruik gemaakt van een Excel berekening om de kolom te dimensioneren.

HEA120

A	2534 mm ²	I_{ybuc}	2840 mm
I_y	6062000 mm ⁴	I_{zbuc}	2840 mm
I_z	2309000 mm ⁴	E	210000 N/mm ²
$f_{y,d}$	235 N/mm ²	λ_e	93,91 mm
$N_{c,u,d}$	595,49 kN	$N_{c,s,d}$	295,18 kN
i_y	48,91 mm	λ_y	58,06 mm
i_z	30,19 mm	λ_z	94,08 mm
$\lambda_{y,rel}$	0,62	$\lambda_{z,rel}$	1,00
a_k	0,34	a_k	0,49
λ_0	0,2	λ_0	0,2
$\omega_{y,buc}$	0,828	$\omega_{z,buc}$	0,539
$\frac{N_{c,s,d}}{\omega_{y,buc} * N_{c,u,d}}$	0,599	$\frac{N_{c,s,d}}{\omega_{z,buc} * N_{c,u,d}}$	0,920

Tabel 13: knikberekening kolom

Duurzaamheid

De duurzaamheid wordt uitgedrukt in de verbogen milieukosten, om deze te bepalen is het van belang het aantal kilogrammen staal en beton te weten.

Het totale gewicht van de vloer is $5,4 \times 5,4 \times 348 = 11197$ kg.

Uit het programma van Dycore volgt de benodigde wapening, voor deze vloer is dit onderin 477 mm² en bovenin 147 mm². Deze 477 mm² is nodig vanwege het maximale moment en hoeft niet overal aanwezig te zijn. Daarom wordt over 50% van de lengte Ø8-105 (479 mm²) meegenomen en voor de rest van de lengte wordt de praktische hoeveelheid van Ø8-150 (355 mm²) aangenomen. Bovenin wordt ook minimaal van deze praktische hoeveelheid uitgegaan. Dit betekent voor de wapening een gewicht van:

$$(0,5 \times 9,52 \times 0,395 + 1,5 \times 6,67 \times 0,395) \times 5,4 \times 5,4 = 170,06 \text{ kg.}$$

$$\text{Voor de liggers geldt een totaal gewicht van } 2 \times 90,8 \times 5,4 = 980,64 \text{ kg.}$$

$$\text{Voor de kolommen geldt een totaal gewicht van } 4 \times 19,9 \times 2,84 = 226,06 \text{ kg.}$$

Dit geeft een milieubelasting van:

- Beton kanaalplaatvloer $11010 \times 0,0246 = \text{€ } 270,87$;
- Wapeningstaal $170,06 \times 0,3181 = \text{€ } 54,10$;
- Liggers $980,64 \times 0,3181 = \text{€ } 311,95$;
- Kolommen $226,06 \times 0,3181 = \text{€ } 71,92$;
- Totale milieukosten $270,87 + 54,10 + 311,95 + 71,92 = \text{€ } 709,26$.

$$\text{Per m}^2 \text{ zijn de milieukosten } 709,26 / (5,4 \times 5,4) = 24,32 \text{ €/m}^2.$$

Kosten

De kosten worden per m² bepaald zodat ook een vergelijking mogelijk is tussen de verschillende vloeroverspanningen. Het gewicht van de vloer is 3,48 kN/m² dit komt overeen met 348 kg/m² dus moet een zwevende dekvloer worden toegepast. Voor dit systeem worden de volgende kosten gevonden:

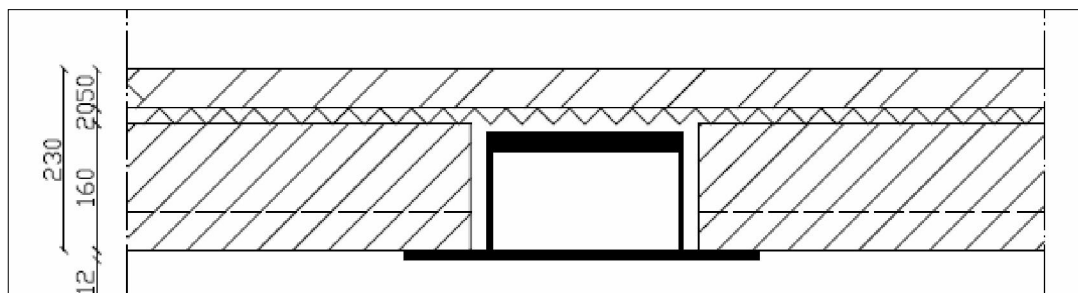
- Kosten vloer = $(66,31 - 0,105 \times 40) + 10$ = 72,11 €/m²;
- Kosten liggers = $980,64 \times 1,785 / (5,4 \times 5,4)$ = 60,03 €/m²;
- Kosten kolommen = $226,06 \times 1,19 / (5,4 \times 5,4)$ = 9,23 €/m²;
- Totale kosten = $72,11 + 60,03 + 9,23$ = 141,37 €/m².

Nu zijn zowel de verborgen milieukosten als de constructiekosten voor dit systeem bekend, door deze bij elkaar op te tellen worden de integrale kosten gevonden. De integrale kosten laten zien wat het systeem kost indien ook rekening zou worden gehouden met de toekomstige kosten voor de maatschappij ter bestrijding en preventie van de milieueffecten.

De integrale kosten van deze variant zijn: $141,37 + 24,49$ = 165,86 €/m².

Detail

Ter hoogte van de ligger levert dit het volgende detail op.



Figuur 36: detail ter plaatse van ligger, breedplaat bij functie wonen met vloeroverspanning 5400mm

4.1.2.2 Vlakke plaatvloer

Bij het berekenen van een vlakke plaatvloer wordt na schatting van de vloerdikte gebruik gemaakt van de TGB tabellen om de momenten in de plaat te bepalen. Aan de hand van deze momenten is de benodigde wapening te bepalen.

De dikte van deze vloer is te bepalen met de volgende vuistregels:

- $d = l/35$ voor $l < 7\text{m}$;
- $d = l^2/245$ voor $l > 7\text{m}$.

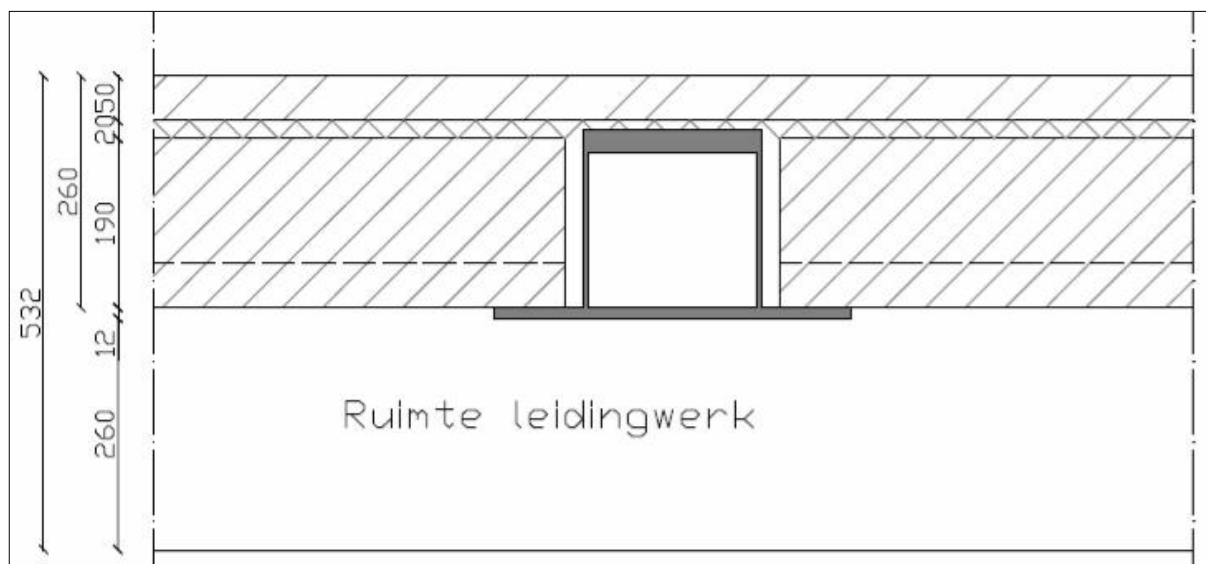
Voor een overspanning van 5400mm geeft dit een d van 155mm en voor een overspanning van 7200mm geeft dit een d van 215mm. Een overspanning van 12600mm is met de vlakke plaatvloer niet mogelijk. Voor de wapening wordt in beide richtingen uitgegaan van staven Ø8 en een dekking van 15mm. Dit geeft een hoogte van respectievelijk 180mm en 240mm.

De plaat komt overeen met plaat III-2 uit de TGB tabellen, dit betekent een puntvormig ondersteunde plaat met, omdat een middenveld wordt beschouwd, ingeklemde randen.

4.1.2.3 Breedplaat

Voor de berekening van de vloeren is gebruik gemaakt van het rekenprogramma van Dycore. In dit programma wordt een vloeroverspanning, vloerhoogte, permanente en veranderlijke belasting ingevoerd. Aan de hand van deze gegevens wordt gekeken of de vloer voldoet en wordt de benodigde oppervlakte wapening gegeven.

Dit rekenprogramma gaat standaard uit van een breedplaat van 50mm in B35, voor de rest van de vloer wordt van B25 uit gegaan. Het eigen gewicht volgt door de hoogte te vermenigvuldigen met het soortelijk gewicht van beton, 2400 kg/m^3 .

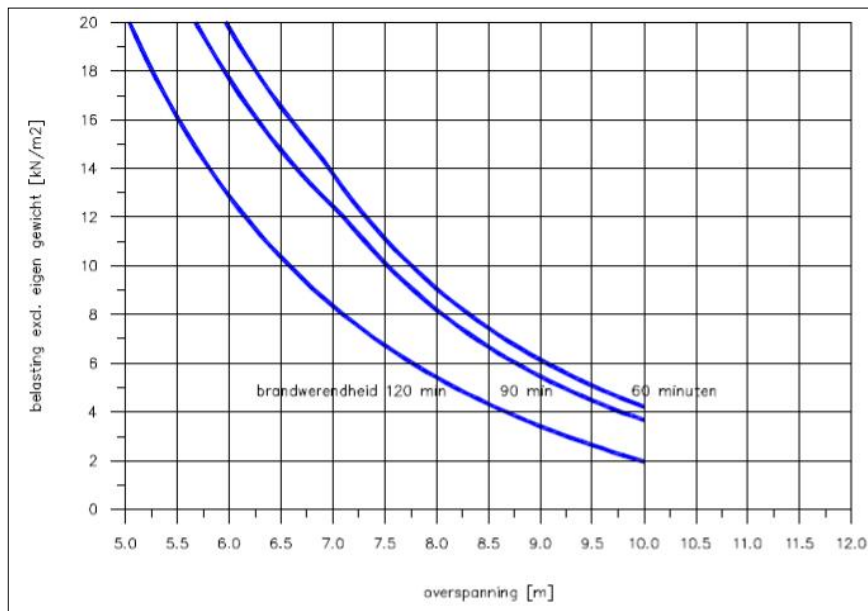


Figuur 37: doorsnede breedplaat ter plaatse van ligger, functie kantoor, overspanning 5400mm

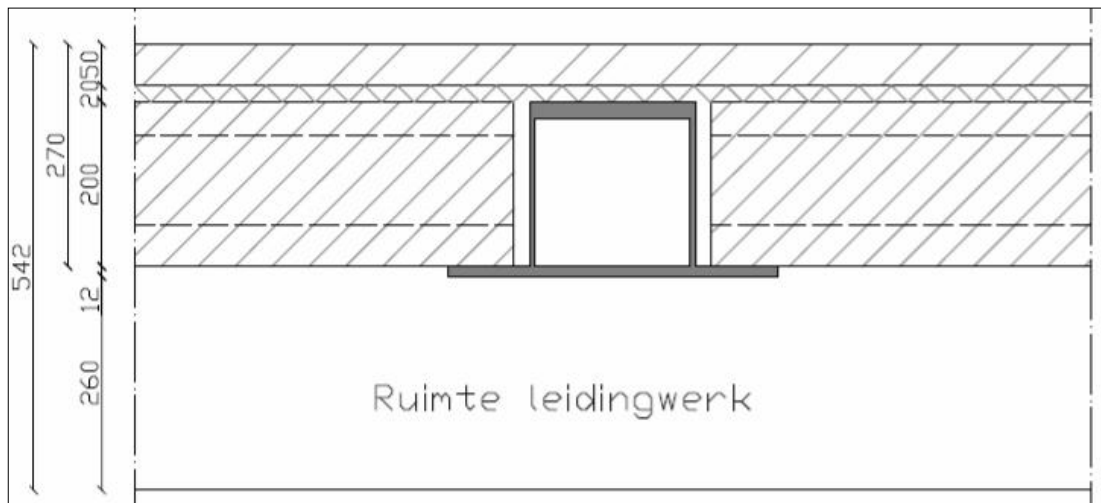
De volgende vloerhoogte zijn gevonden:

- Voor de functie kantoor is bij een vloeroverspanning van 5400mm een totale hoogte van 190mm nodig;
- Voor de functie bijeenkomst is bij een vloeroverspanning van 5400mm een totale hoogte van 200mm nodig;
- Voor de functie kantoor is bij een vloeroverspanning van 7200mm een totale hoogte van 270mm nodig;
- Voor de functie bijeenkomst is bij een vloeroverspanning van 7200mm een totale hoogte van 290mm nodig.

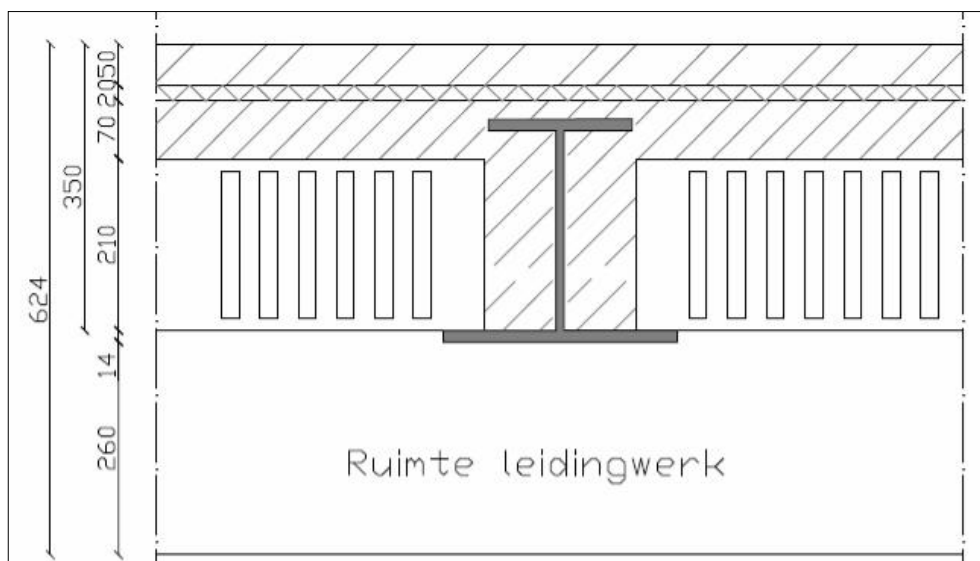
Om de hoeveelheid wapeningstaal voor de milieukosten te bepalen wordt de oppervlakte benodigde wapening omgerekend naar kilogrammen benodigde wapening.



Figuur 40: voorbeeld draagvermogen tabel kanaalplaat 200 [www.vbi.nl]³⁹



Figuur 39: doorsnede kanaalplaat ter plaatse van ligger, functie kantoor, overspanning 5400mm



Figuur 38: doorsnede staalplaat betonvloer ter plaatse van ligger, functie kantoor, overspanning 5400mm

4.1.2.4 Kanaalplaat

Op de website van VBI [www.vbi.nl]³⁹ zijn ontwerpdiagrammen voor de verschillende type kanaalplaat te vinden. Met een gekozen brandveiligheidseis en overspanning is de maximale nuttige belasting af te lezen. De nuttige belasting is de representatief opneembare veranderlijke belasting, dit betekent dat permanente belastingen niet eigen gewicht zijnde moeten worden omgerekend naar veranderlijke belasting. Dit wordt gedaan door deze met een factor $1,2 / 1,5 = 0,8$ te vermenigvuldigen. Voor de functie kantoor geldt een nuttige belasting van $4,45 \text{ kN/m}^2$ en voor de functie bijeenkomst $6,39 \text{ kN/m}^2$.

De volgende vloertype zijn benodigd:

- Voor de functie kantoor met een overspanning van 5400mm een kanaalplaat 200;
- Voor de functie bijeenkomst met een overspanning van 5400mm een kanaalplaat 200;
- Voor de functie kantoor met een overspanning van 7200mm een kanaalplaat 200;
- Voor de functie bijeenkomst met een overspanning van 7200mm een kanaalplaat 200;
- Voor de functie kantoor met een overspanning van 12600mm een kanaalplaat 260;
- Voor de functie bijeenkomst met een overspanning van 12600mm een kanaalplaat 320.

4.1.2.5 Staalplaat betonvloer

Dutch Engineering heeft van hun verschillende vloertype op de website productinformatie staan met hierbij ontwerptabellen [www.dutchengineering.nl]⁴⁰. Deze tabellen gaan uit van een vloerdikte en hierbij wordt de nuttige belasting bepaald. Voor dit onderzoek is de belasting bekend en moet de vloerdikte bepaald worden. De gegevens over het benodigde vloertype en hoogte zijn verkregen door telefonisch contact met Dhr. Wind van Dutch Engineering.

Voor het beton dat gebruikt wordt voor de vloer kan gekozen worden tussen lichtbeton en grindbeton. Uitgegaan wordt van lichtbeton omdat dit met een soortelijk gewicht van 2000 kg/m^3 een lagere eigen gewicht voor de vloer geeft.

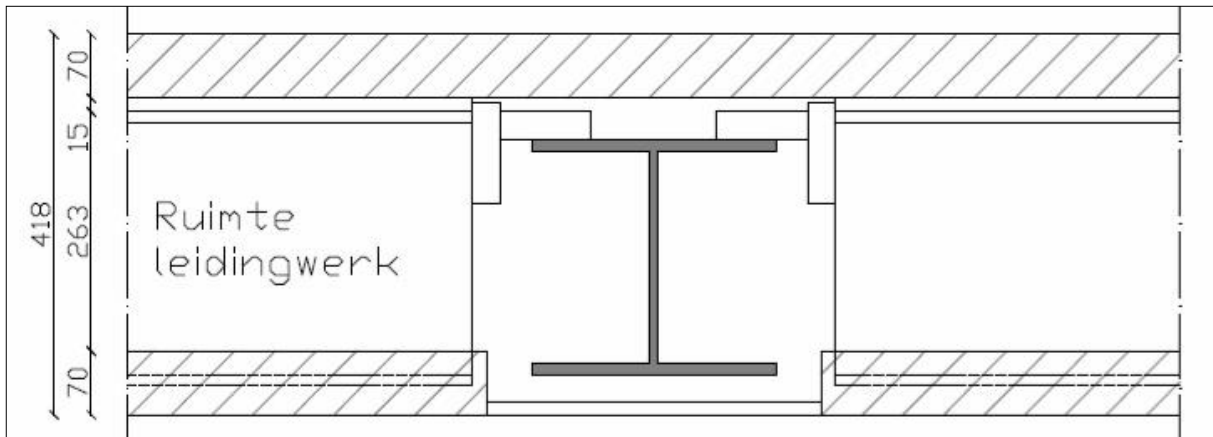
De volgende vloertype zijn benodigd:

- Voor de functie kantoor met een overspanning van 5400mm een comflor 210 met een hoogte van 280mm;
- Voor de functie bijeenkomst met een overspanning van 5400mm een comflor 210 met een hoogte van 280mm;
- Voor de functie kantoor met een overspanning van 7200mm een comflor 210 met een hoogte van 280mm;
- Voor de functie bijeenkomst met een overspanning van 7200mm een comflor 210 met een hoogte van 280mm.

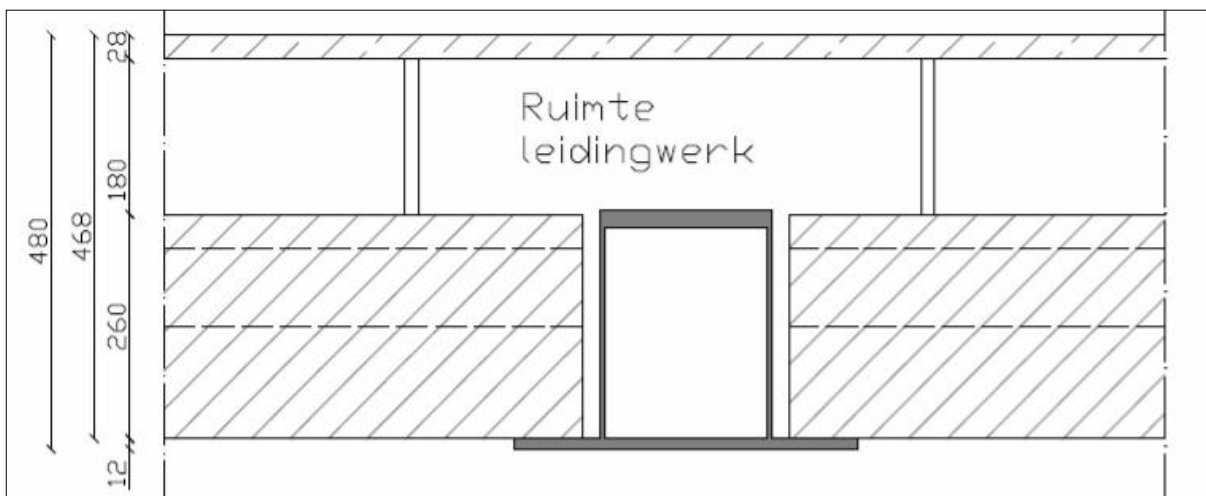
In tegenstelling tot de meeste andere vloersystemen wordt voor dit vloersysteem gebruik gemaakt van ASB liggers. Bij het bepalen van de milieukosten moet opgelet worden dat de staalplaat ook wordt meegenomen in de hoeveelheid staal die gebruikt wordt.

4.1.2.6 Infra+ vloer

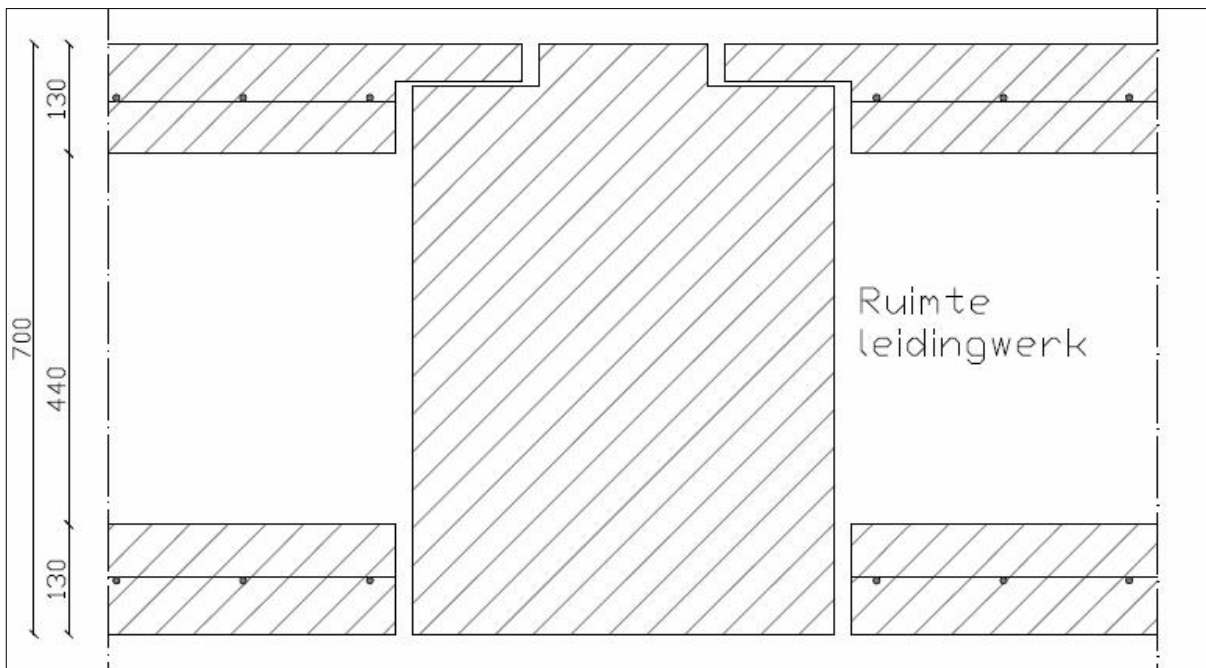
De infra+ vloer is een integraal vloersysteem waarbij het leidingwerk tussen de onderschil en later aan te brengen bovenschil wordt aangebracht. Belangrijk is dat deze bovenschil zo wordt uitgevoerd dat het leidingwerk aanpasbaar blijft. Met de vaak gebruikte zwaluwstaartvloer is dit niet mogelijk, door te openen stroken in de vloer op te nemen is dit probleem te ondervangen. In de productinformatie van Slimline Buildings BV worden alleen indicaties van de hoogtes gegeven. De benodigde hoogtes voor het model zijn verkregen door telefonisch contact met Dhr. Wesdorp van Slimline Buildings BV.



Figuur 41: doorsnede infra+ vloer ter plaatse van ligger, functie kantoor, overspanning 5400mm



Figuur 42: doorsnede wingvloer ter plaatse van ligger, functie kantoor, overspanning 7200mm



Figuur 43: doorsnede holconcvloer ter plaatse van ligger, functie kantoor, overspanning 7200mm

Voor de vloeroverspanning van 5400mm is voor zowel de functie kantoor als bijeenkomst een infra+ vloer met een IPE300 nodig. Voor de vloeroverspanning van 7200mm voldoet deze vloer ook voor beide functies.

Omdat de vloer voor de oplegging gebruik maakt van de stalen liggers die in de vloer verwerkt zitten kan voor de liggers gebruik gemaakt worden van HE profielen. Voor de geluidsisolatie is geen wevende dekvloer nodig, uit onderzoek is namelijk gebleken dat de ontkoppelde boven en onderschil voldoende geluidsisolatie geven [*Slimline Buildings BV*]²⁵.

4.1.2.7 Wingvloer

Bij de traditionele wingvloer zorgt het deel dat als kanaalplaat is uitgevoerd alleen voor gewichtsbesparing. Door de wingvloer met een computervloer toe te passen ontstaat een integraal vloersysteem waarbij het leidingwerk bereikbaar is en het gewicht beperkt wordt. Voor de computervloer geldt een eigen gewicht van 0,5 kN/m².

Deze vloer wordt geproduceerd door Betonson, op hun website zijn geen ontwerptabellen voorhanden en via telefonisch contact met Dhr. Weenink zijn de volgende gegevens verkregen:

- De vloer is niet interessant om toe te passen bij een overspanning van 5400mm;
- Voor zowel de functie kantoor als bijeenkomst is bij een overspanning van 7200mm een wing 260 nodig;
- Voor zowel de functie kantoor als bijeenkomst is bij een overspanning van 12600mm een wing 320 nodig.

De vloer biedt in één richting ruimte voor installaties, in de andere richting kunnen in het deel van de kanaalplaat doorvoeren worden gemaakt. Voor de wing 260 met een hoogte van 85mm en voor de wing 320 met een hoogte van 150mm. Om aan de eis van 260mm te voldoen blijft een resthoogte over, dit is de hoogte die tussen de bovenkant kanaalplaat en computervloer aanwezig moet zijn.

De computervloer zorgt tevens voor de geluidsisolatie en het is dus niet nodig om bij dit vloersysteem een zwevende dekvloer mee te nemen.

4.1.2.8 Holconvloer

De holconvloer is een vloer die is ontwikkeld vanuit het cradle to cradle oogpunt en werkt daarom met een vaste hoogte namelijk 700mm. De vloer is in verschillende overspanningen te verkrijgen waaronder 7200mm en 12600mm. De standaard plaatlengte is 16200mm en de overspanningen van het onderzoek zijn voor de vloer aan de korte kant. In de hoogte van 700mm is ruimte voor leidingwerk aanwezig, waar een eis van een hoogte van 260mm is gesteld is in dit vloersysteem een hoogte van 430mm beschikbaar. In deze ruimte loopt ook het traliewerk van de vloer echter hoeft dit geen problemen te geven omdat dit afgestemd kan worden op de wensen van de installateur.^f

In tegenstelling tot de andere vloeren, waar is uit gegaan van een stalen kolom-liggerstructuur, is voor deze vloer uitgegaan van een betonnen kolom-liggerstructuur. In de praktijk zal de vloer vaak op een dragende wand worden toegepast in verband met de grote belasting als gevolg van de grote overspanning, door hiervan uit te gaan zou als gevolg van het materiaalgebruik de vloer niet meer met de andere vloeren te vergelijken zijn.

Ook voor dit vloersysteem geldt dat door de gescheiden boven- en onderschil een zwevende dekvloer niet nodig is om aan de geluidseisen te voldoen.

^f Informatie verkregen van Andre de Witte van Bartels ingenieursbureau te Lochem

4.1.3 Resultaten

De berekening van de verschillende vloersystemen zal eerst per vloeroverspanning worden besproken en vervolgens zal naar een totaal overzicht worden gekeken.

4.1.3.1 Vloeroverspanning 5400mm

Vloertype Functie	Breedplaatvloer			Kanaalplaatvloer	
	Wonen	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst
Eigen gewicht vloer	3,84	4,56	4,80	3,02	3,02
Totale vloerbelasting	9,92	12,15	15,35	10,30	13,21
Type vloer	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Kanaalplaat 200	Kanaalplaat 200
Type ligger	THQ 150x5-240x25-450x12	THQ 200x5-190x25-400x12	THQ 200x5-240x25-450x15	THQ 200x5-190x20-400x12	THQ 200x5-240x25-450x12
Type kolom	HEA120	HEA140	HEA160	HEA140	HEA140
Vloerhoogte	160	190	200	200	200
Extra hoogte installaties	12	272	275	272	272
Hoogte vloerpakket	230	260	270	270	270
Hoogte vloer+installaties	242	532	545	542	542
Verdiepingshoogte	2,84	3,13	3,15	3,14	3,14
Zwevende dekvloer	ja	ja	ja	ja	ja
Milieukosten per m2	€ 24,32	€ 27,42	€ 31,99	€ 21,09	€ 25,10
Kosten vloerpakket per m2	€ 99,11	€ 102,26	€ 103,31	€ 76,70	€ 76,70
Kosten ligger per m2	€ 60,03	€ 61,09	€ 78,01	€ 56,06	€ 78,01
Kosten kolommen per m2	€ 9,23	€ 12,63	€ 15,61	€ 12,67	€ 12,67
Totale kosten per m2	€ 168,37	€ 175,97	€ 196,93	€ 145,43	€ 167,38
Integrale kosten per m2	€ 192,69	€ 203,40	€ 228,92	€ 166,52	€ 192,48

Vloertype Functie	Staalplaatbetonvloer		Infra+vloer		Vlakke plaatvloer
	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Wonen
Eigen gewicht vloer	2,39	2,39	3,02	3,02	4,50
Totale vloerbelasting	9,55	12,46	9,05	11,96	10,71
Type vloer	Comflor 210	Comflor 210	Infra+ met IPE300	Infra+ met IPE300	Vlakkeplaat 180
Type ligger	280ASB74	280ASB100	HEA260	HEA280	Geen ligger
Type kolom	HEA140	HEA140	HEA120	HEA140	B200x200
Vloerhoogte	280	280	418	418	180
Extra hoogte installaties	270	275	0	0	0
Hoogte vloerpakket	350	350	418	418	250
Hoogte vloer+installaties	620	625	418	418	250
Verdiepingshoogte	3,22	3,23	3,02	3,02	2,85
Zwevende dekvloer	ja	ja	nee	nee	ja
Milieukosten per m2	€ 23,26	€ 26,41	€ 26,24	€ 27,84	€ 15,57
Kosten vloerpakket per m2	€ 117,72	€ 117,72	€ 99,32	€ 99,32	€ 78,00
Kosten ligger per m2	€ 35,68	€ 48,63	€ 30,06	€ 33,67	-
Kosten kolommen per m2	€ 12,98	€ 13,00	€ 9,80	€ 12,17	€ 14,27
Totale kosten per m2	€ 166,39	€ 179,35	€ 139,18	€ 145,16	€ 92,27
Integrale kosten per m2	€ 189,64	€ 205,76	€ 165,43	€ 173,00	€ 107,84

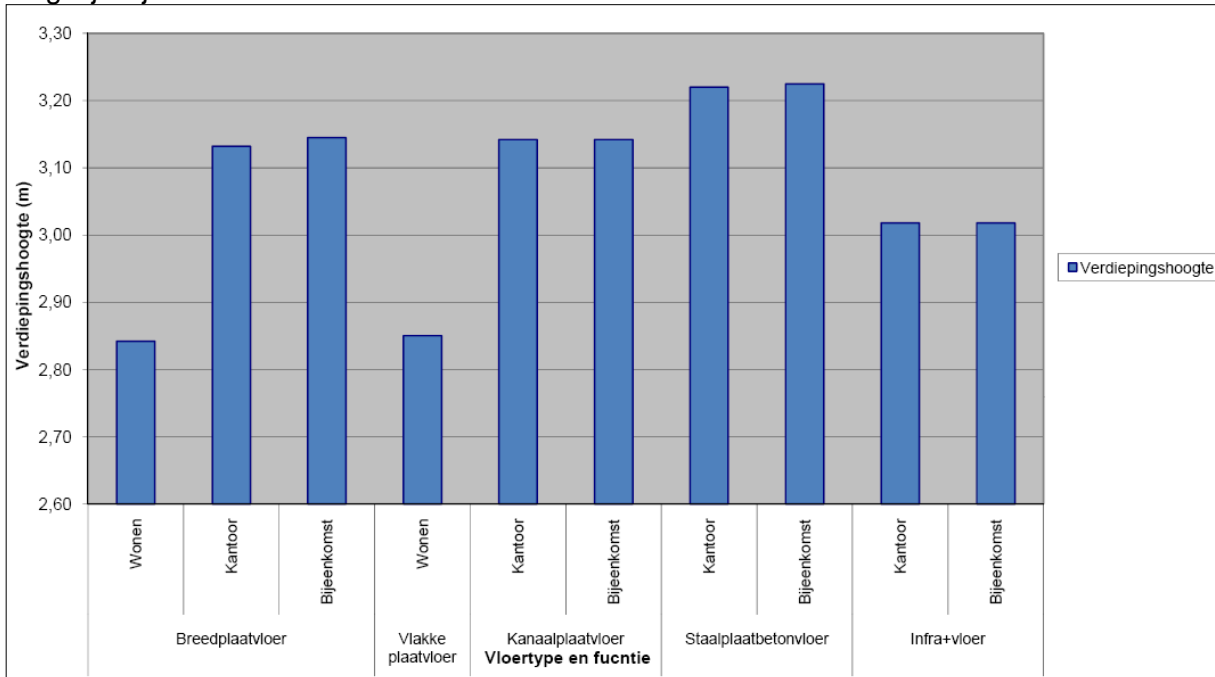
Tabel 14: overzicht resultaten vloeroverspanning 5400mm

Belastingen overspanning 5400mm

Als naar de prestaties van de verschillende vloeren op gebied van belastingen wordt gekeken dan zijn een aantal te verwachten resultaten te zien. Zoals het erg hoge eigen gewicht van de breedplaat en het erg lage eigen gewicht van de staalplaat betonvloer. Wat opvalt, is dat de infra+ vloer de laagste totale vloerbelasting heeft ondanks dat het eigen gewicht hoger is dan dat van de staalplaat betonvloer. Dit effect is het gevolg van het niet toe hoeven passen van een zwevende dekvloer.

Hoogtes overspanning 5400mm

De functie wonen heeft de laagste belasting en dit geeft een lichtere vloer wat ook terug te zien is in de hoogte van de vloer voor deze functie. Voor de breedplaat en vlakke plaatvloer in deze functie worden dan ook vrijwel dezelfde verdiepingshoogte gevonden. Deze functie behoeft geen extra hoogte voor het leidingwerk, het eventuele horizontale leidingwerk wordt namelijk in de vloer opgenomen. Nadeel hiervan is dat toekomstige aanpassingen niet mogelijk zijn.



Figuur 44: grafiek verdiepingshoogte vloersystemen bij een vloeroverspanning van 5400mm

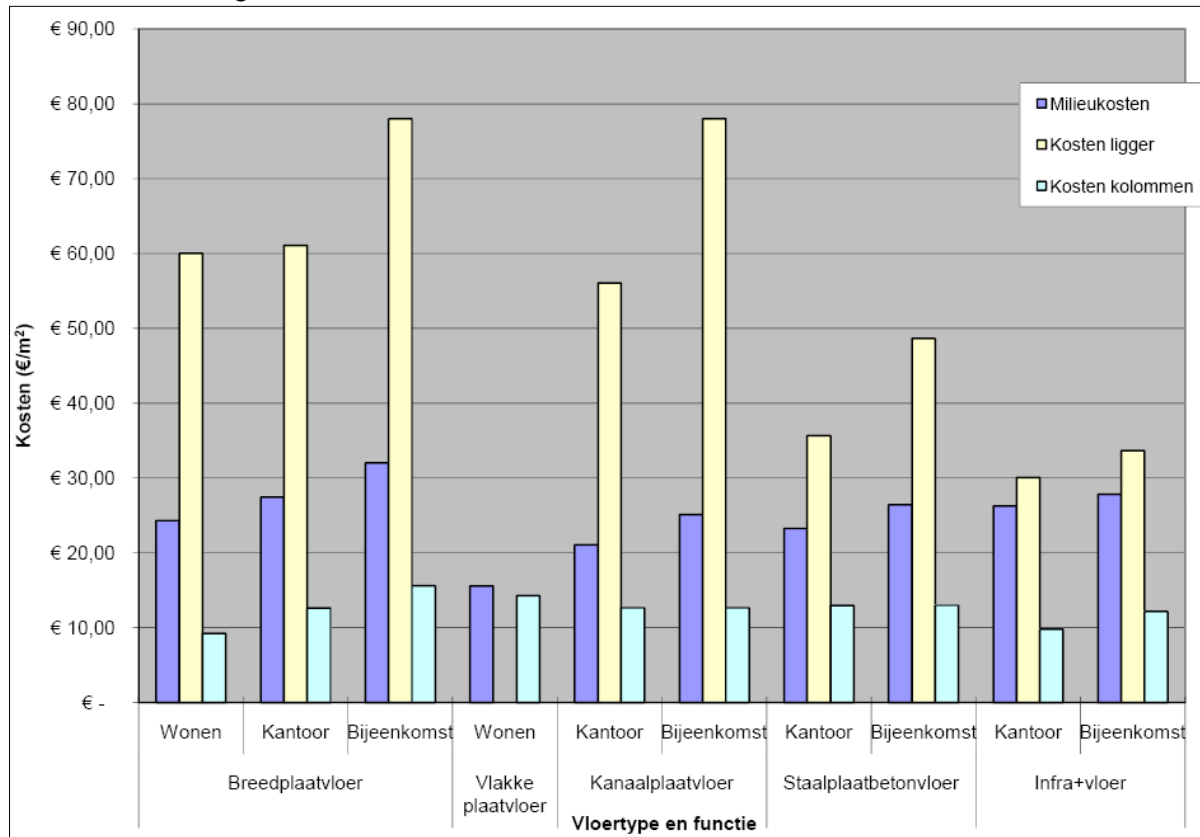
De verdiepingshoogtes vergeleken met elkaar is te zien dat de infra+ vloer bij de functie kantoor en bijeenkomsten gunstig uit de bus komt ten opzichte van de andere systemen. Deze vloer is een integraal vloersysteem. Als gevolg daarvan heeft het geen last van de extra hoogte voor het leidingwerk onder de vloer en daarmee blijft het vloerpakket dunner. De hoogste verdiepingshoogte wordt gevonden voor de staalplaat betonvloer, de verklaring hiervoor is de werking van de staalplaat betonvloer.

De functie kantoor en bijeenkomsten bekeken scoort de breedplaat van de niet integrale vloersystemen het beste, toch is het verschil met de infra+ vloer al 110mm. Dit betekent dat per 29 verdiepingen bij gebruik van de infra+ vloer een extra verdieping kan worden gebouwd of dat het gebouw ongeveer 3m kleiner kan worden. Dit scheelt aanzienlijk in de bouwkosten en dit zit dan ook verwerkt in een deel van de besparing van de kosten die voor deze vloer is meegenomen.

Het verschil in hoogte tussen de vloeren bij de functie kantoor en bijeenkomst en de breedplaat of vlakke plaatvloer voor de functie wonen kan gezien worden als de benodigde hoogte voor functiewisselingen, anders gezegd de hoogte voor flexibiliteit. Gezien de hoogte is het gunstige om voor de infra+ vloer te kiezen en de extra hoogte voor flexibiliteit is dan 170mm per verdieping.

Kosten overspanning 5400mm

De kosten zijn in meerdere onderdelen uitgesplitst zodat gezien kan worden wat de grote kostenposten zijn. De belangrijkste onderdelen om naar te kijken zijn de milieukosten, totale kosten en de integrale kosten.



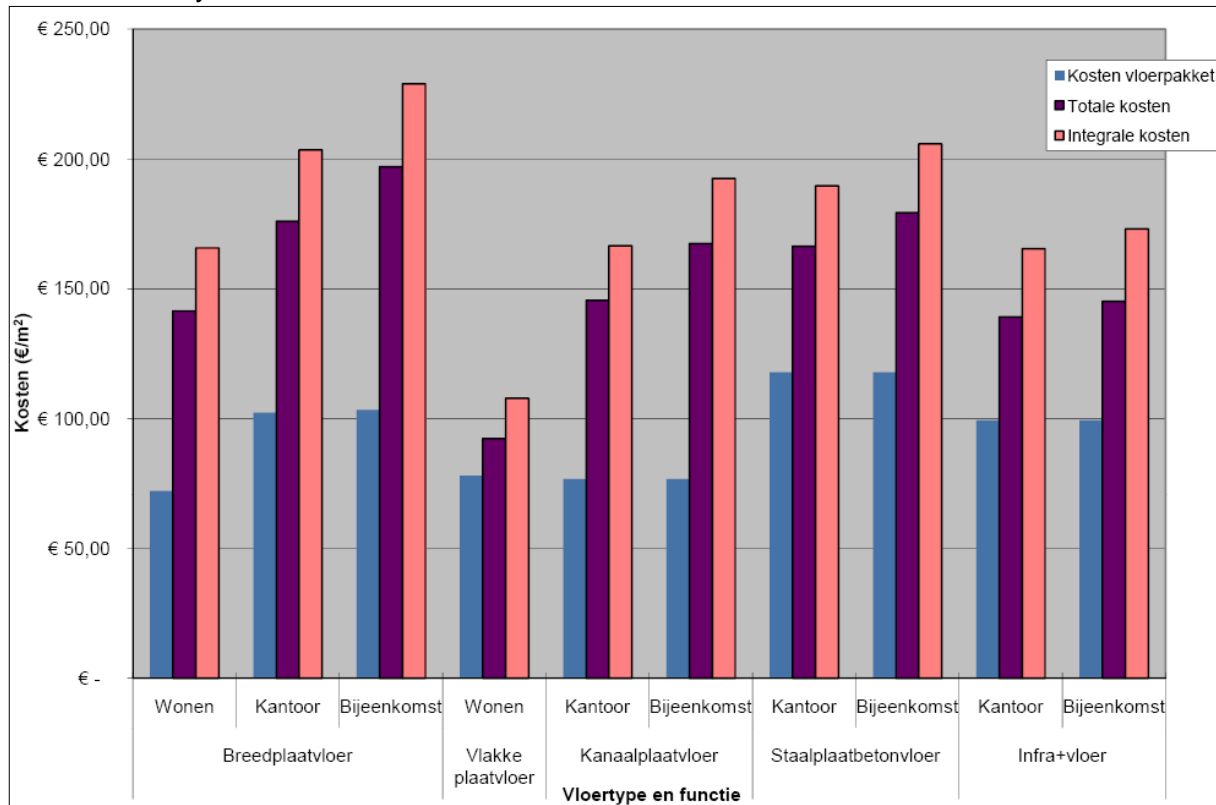
Figuur 45: grafiek verschillende kosten vloersystemen bij een vloeroverspanning van 5400mm

De kosten voor de kolommen zijn voornamelijk afhankelijk van de belasting en de lengte van de kolom. Als het resultaat voor de kolommen langs de verdiepingshoogte wordt gelegd is te zien dat deze hoogte een grote invloed heeft op de kosten en het is dan ook niet verrassend dat de staalplaat betonvloer voor deze kosten het slechts uit de bus komt. Met de andere kostenposten vergelijkend zijn deze kosten zo klein dat ze te verwaarlozen zijn. Ook zijn de verschillen onderling minimaal. De kosten voor de liggers zijn afhankelijk van de belasting en daarnaast van het toegepaste profiel. De infra+vloer en staalplaat betonvloer welke met HE of ASB profielen worden uitgevoerd hebben een stuk gunstigere kosten dan de vloersystemen met het duurdere THQ profiel.

De milieukosten zijn het laagst voor de vlakke plaatvloer, dit is niet verwonderlijk omdat deze vloer geen ligger nodig heeft en zodoende in het voordeel is ten opzichte van de andere systemen. Uitgezonderd deze vloer heeft de kanaalplaat de laagste milieukosten en de breedplaat de hoogste. Het verschil hiertussen is ongeveer 30%. Zowel de kanaalplaat als de staalplaat betonvloer hebben voor de functie kantoor lagere milieukosten dan de breedplaat voor de functie wonen. De milieukosten voor de flexibiliteit, dus het verschil tussen de kanaalplaat en vlakke plaatvloer is 35%.

Voor de vloersystemen is een groot verschil te vinden in de kosten per m². Deze kosten bevatten naast de gevonden eenheidsprijzen voor de vloeren indien nodig de kosten voor de zwevende dekvloer en de kosten voor een verlaagd plafond. De kosten van de infra+ vloer zijn inclusief de eerder genoemde besparingen voor deze vloer.

In de grafiek is te zien dat de kanaalplaat voor de functie kantoor en bijeenkomst nagenoeg gelijk presteert als de vlakke plaatvloer en breedplaat voor de functie wonen. Voor deze functies is de kanaalplaat dan ook veruit het goedkoopste vloersysteem, gevolgd door de infra+ vloer welke een licht voordeel heeft op de breedplaat. De staalplaat betonvloer is het duurste vloersysteem.



Figuur 46: totale, milieu en integrale kosten bij een vloeroverspanning van 5400mm

De totale kosten bestaan uit de hiervoor genoemde kosten met uitzondering van de milieukosten. De invloed van de kosten voor de liggers heeft hierbij een belangrijke invloed op de prestaties. Voor de functie kantoor is de infra+ vloer nu een fractie goedkoper dan de kanaalplaat en breedplaat voor de functie wonen. De infra+ vloer bij de functie bijeenkomsten is ruim goedkoper dan de kanaalplaat bij deze functie. Waar bij de vloerkosten de staalplaat betonvloer nog de duurste was, is door de hoge ligger kosten nu de breedplaat het duurste.

De vlakke plaatvloer welke geen liggers heeft wordt nu duidelijk goedkoper dan de andere systemen. De infra+ vloer functie kantoor, wat de goedkoopste optie is, is al 50% duurder. Bij de hoogte kon gesproken worden over een hoogteverschil voor flexibiliteit, op dezelfde manier kan dit verschil, 46,91 €/m², worden gezien als de extra kosten voor flexibiliteit.

De integrale kosten zijn zowel de milieukosten als de totale kosten. De kanaalplaat heeft gunstige milieukosten ten opzichte van de infra+ vloer en voor de functie kantoor zijn de vloeren vergelijkbaar, voor de functie bijeenkomsten blijft de infra+ vloer in het voordeel. Ondanks de slechtere duurzaamheid blijft als ook naar de materiaalkosten wordt gekeken de infra+ vloer dus net favoriet. De breedplaat met de functie wonen, wat gezien kan worden als de vlakke plaatvloer die wel functiewisselingen aan kan, presteert vergelijkend met de infra+ vloer en kanaalplaat voor de functie kantoor.

De duurzaamheid meenemend zijn de kosten voor flexibiliteit opgelopen tot 57,59 €/m².

Als de integrale kosten en de milieukosten naast elkaar worden gelegd is te zien dat de milieukosten maar 12-16% van de integrale kosten vormen.

Overall overspanning 5400mm

Met de gevonden resultaten is het mogelijk een kruistabel met plussen en minnen te maken. Hierin is de vlakke plaatvloer buiten beschouwing gelaten. De belangrijkste elementen hierin zijn de verdiepingshoogte en de kosten.

De infra+ vloer en kanaalplaat presteren beide erg goed, de kanaalplaat heeft gunstigere milieukosten waardoor de vloer voor de integrale kosten dicht bij de infra+ vloer komt te liggen. De infra+ vloer daar in tegen heeft een gunstigere totale belasting en verdiepingshoogte. Het voordeel van de verdiepingshoogte is echter al verwerkt in de besparing die voor deze vloer optreedt.

	eigen gewicht	totale belasting	verdiepingshoogte	milieukosten	totale kosten	integrale kosten
Breedplaat	--	--	0	-	-	-
Kanaalplaat	0	-	0	+	+	+
Staalplaat betonvloer	+	0	-	0	0	0
Infra+vloer	0	+	+	0/-	+	+

Tabel 15: kruistabel overall score vloeroverspanning 5400mm

De breedplaat scoort alleen op de verdiepingshoogte gemiddeld maar op de andere onderdelen zijn de prestaties het slechts.

De staalplaat betonvloer is wat betreft het eigen gewicht in het voordeel, de verdiepingshoogte zorgt echter voor een erg slechte score, zowel de kosten als de milieukosten vallen gemiddeld uit.

4.1.3.2 Vloeroverspanning 7200mm

Bij deze vloeroverspanning wordt naast de vloeren waar bij een overspanning van 5400mm naar werd gekeken ook naar een wingvloer en een holconvloer gekeken.

Vloertype Functie	Breedplaatvloer			Kanaalplaatvloer		Staalplaatbetonvloer	
	Wonen	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst
Eigen gewicht vloer	6,24	6,48	6,96	3,02	3,02	2,39	2,39
Totale vloerbelasting	12,80	14,45	17,94	10,30	13,21	9,55	12,46
Type vloer	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Kanaalplaat 200	Kanaalplaat 200	Comflor 210	Comflor 210
Type ligger	THQ 265x6-190x25-400x12	THQ 265x6-240x25-450x12	THQ 265x6-290x30-500x15	THQ 200x5-240x25-450x12	THQ 200x5-290x30-500x15	280ASB100	280ASB105
Type kolom	HEA160	HEA160	HEA180	HEA140	HEA160	HEA140	HEA160
Vloerhoogte	260	270	290	200	200	280	280
Extra hoogte ondervloer	12	275	275	272	275	276	282
Hoogte vloerpakket	330	340	360	270	270	350	350
Hoogte vloer+installaties	342	615	635	542	545	626	632
Verdiepingshoogte	2,94	3,22	3,24	3,14	3,15	3,23	3,23
Zwevende dekvloer	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Milieukosten per m2	€ 30,36	€ 32,01	€ 36,94	€ 19,82	€ 23,82	€ 22,58	€ 23,58
Kosten vloerpakket per m2	€ 109,61	€ 110,66	€ 112,76	€ 78,95	€ 78,95	€ 121,12	€ 121,12
Kosten ligger per m2	€ 50,48	€ 57,81	€ 76,85	€ 53,15	€ 72,19	€ 36,47	€ 38,07
Kosten kolommen per m2	€ 10,95	€ 11,97	€ 14,06	€ 9,50	€ 11,71	€ 9,76	€ 12,03
Totale kosten per m2	€ 171,04	€ 180,44	€ 203,67	€ 141,60	€ 162,85	€ 167,35	€ 171,22
Integrale kosten per m2	€ 201,40	€ 212,45	€ 240,61	€ 161,43	€ 186,67	€ 189,93	€ 194,80

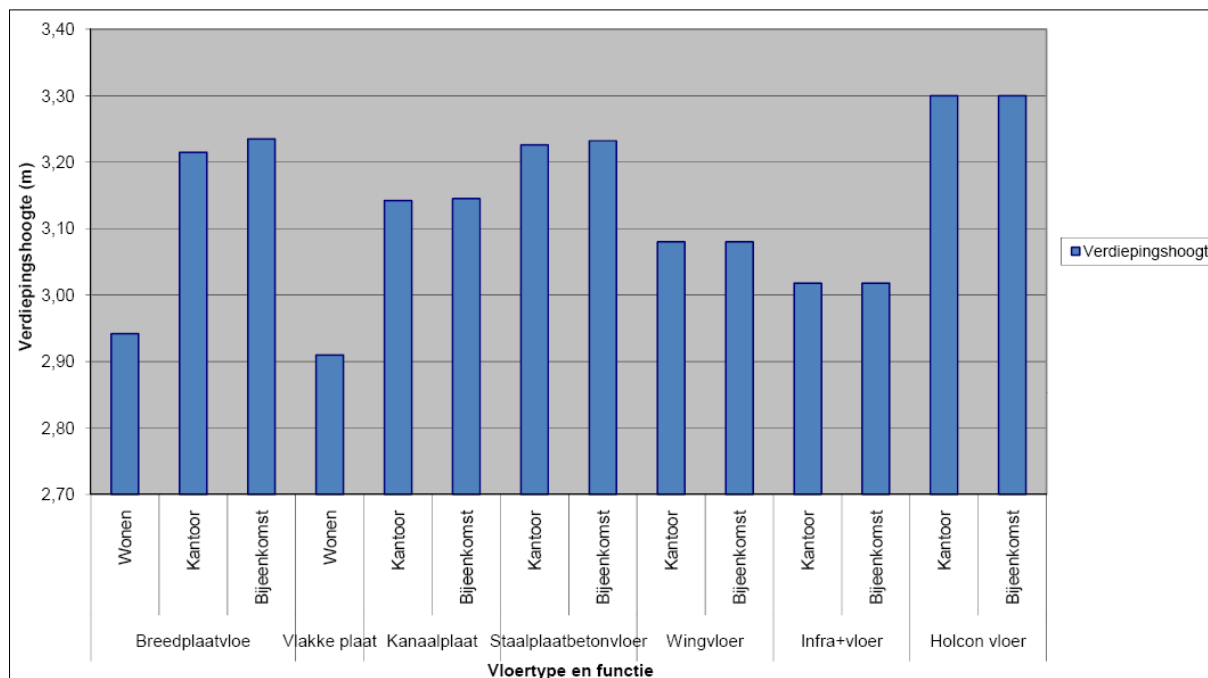
Vloertype Functie	Wingvloer		Infra+vloer		Holcon vloer		Vlakke plaatvloer
	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Wonen
Eigen gewicht vloer	4,30	4,30	3,02	3,02	6,24	6,24	6,00
Totale vloerbelasting	11,19	14,10	9,05	11,96	12,92	15,83	12,51
Type vloer	Wing 260	Wing 260	Infra+ met IPE300	Infra+ met IPE300	Holcon 700	Holcon 700	Vlakkeplaat 240
Type ligger	THQ 265x6-190x20-400x12	THQ 265x6-240x25-450x12	HEA280	HEB280	B500x650	B550x650	Geen ligger
Type kolom	HEA160	HEA160	HEA140	HEA160	B220x220	B250x250	B200x200
Vloerhoogte	260	260	418	418	700	700	240
Extra hoogte ondervloer	220	220	0	0	0	0	0
Hoogte vloerpakket	260	260	418	418	700	700	310
Hoogte vloer+installaties	480	480	418	418	700	700	310
Verdiepingshoogte	3,08	3,08	3,02	3,02	3,30	3,30	2,91
Zwevende dekvloer	nee	nee	nee	nee	nee	nee	ja
Milieukosten per m2	€ 27,71	€ 30,18	€ 24,78	€ 27,69	€ 26,02	€ 27,12	€ 19,34
Kosten vloerpakket per m2	€ 113,00	€ 113,00	€ 99,32	€ 99,32	€ 120,00	€ 120,00	€ 82,00
Kosten ligger per m2	€ 58,41	€ 72,29	€ 25,25	€ 34,05	€ 82,38	€ 90,62	-
Kosten kolommen per m2	€ 11,46	€ 11,46	€ 9,13	€ 11,23	€ 14,99	€ 19,36	€ 10,93
Totale kosten per m2	€ 182,87	€ 196,76	€ 133,70	€ 144,60	€ 217,37	€ 229,98	€ 92,93
Integrale kosten per m2	€ 210,58	€ 226,94	€ 158,48	€ 172,29	€ 243,39	€ 257,10	€ 112,27

Tabel 16: overzicht vloertype bij een vloeroverspanning van 7200mm

Belastingen overspanning 7200mm

De invloed van een grotere overspanning is vooral bij de breedplaat en vlakke plaatvloer terug te zien. Het eigen gewicht is fors hoger geworden en met uitzondering van de holconvloer is voor ieder vloertype de totale belasting bij de functie kantoor lager dan de totale belasting voor de functie wonen bij de breedplaat en vlakke plaatvloer. Bij de staalplaat betonvloer en infra+ vloer is zelfs de belasting bij de functie bijeenkomst lager dan de belasting voor de functie wonen.

De holconvloer, welke ook een hoog eigen gewicht heeft, heeft geen zwevende dekvloer nodig en is hier door in het voordeel ten opzichte van de breedplaat.



Figuur 47: grafiek verdiepingshoogte verschillende vloersystemen bij een vloeroverspanning van 7200mm

Hoogtes overspanning 7200mm

De verdiepingshoogte voor de vlakke plaatvloer is bij deze overspanning iets minder dan voor de breedplaat bij de functie wonen. Voor deze functie blijft de verdiepingshoogte lager dan voor de laagste verdiepingshoogte voor de functie kantoor. Dit is wederom de infra+ vloer en het verschil is nu 110 mm. Dit is bij deze overspanning de benodigde hoogte voor flexibiliteit.

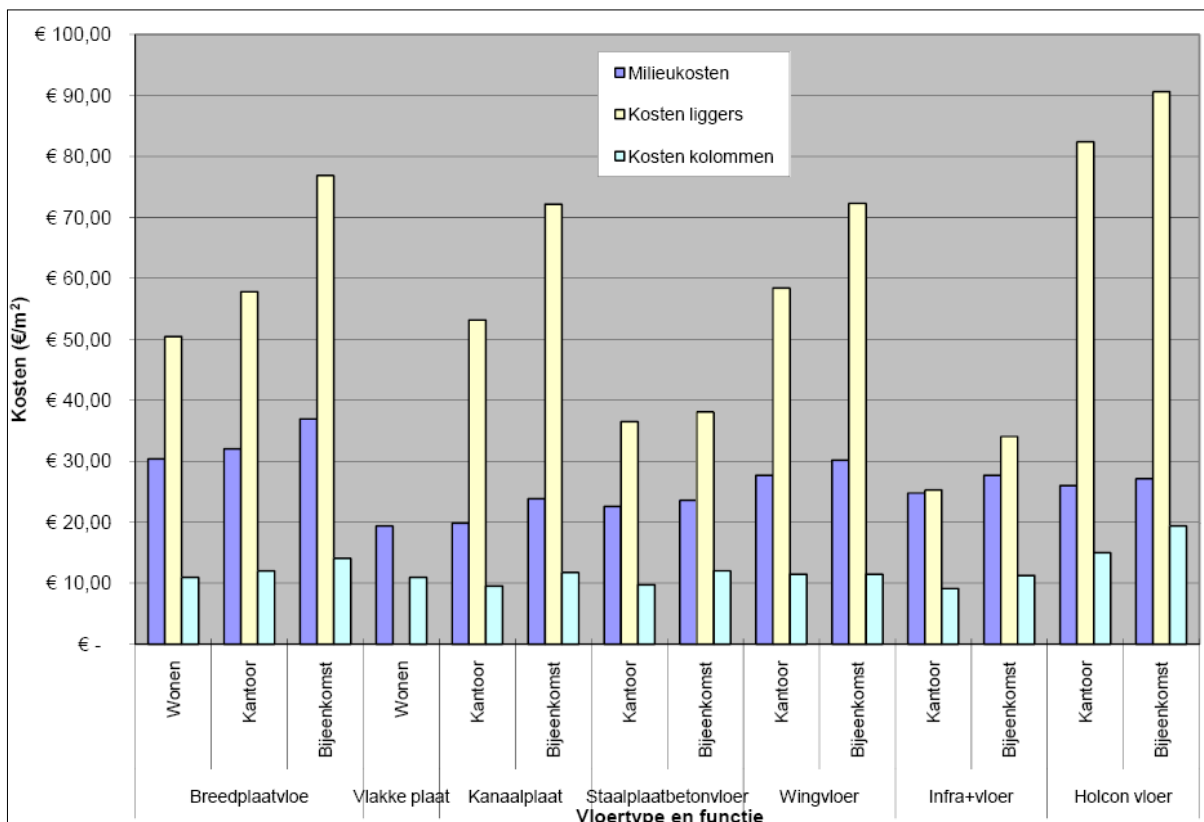
De holconvloer is bij deze overspanning een uitschieter, waar de staalplaat betonvloer dit bij een overspanning van 5400mm was is de verdiepingshoogte voor deze vloer bij gelijke functies nu vergelijkbaar met de breedplaat.

De wingvloer, een ander integraal vloersysteem, volgt met een verschil van 60mm na de infra+ vloer. Deze vloer wordt weer gevolgd door de kanaalplaat.

Kosten overspanning 7200mm

De invloed van de kolommen op de totale kosten en de verschillen onderling zijn ook bij deze vloeroverspanning te verwaarlozen. Een uitzondering hierop is de holconvloer waar een betonnen kolom- liggerstructuur is toegepast welke voor zowel de kolommen als liggers fors hoger uitvalt dan de stalen kolommen en liggers van de andere vloersystemen.

Voor de ligger kosten treedt, met uitzondering van de holconvloer, hetzelfde beeld op als bij de vloeroverspanning van 5400mm, de staalplaat betonvloer en infra+ vloer zijn in het voordeel vanwege goedkopere profielen. De wingvloer presteert hierbij tussen de kanaalplaat en breedplaat in.



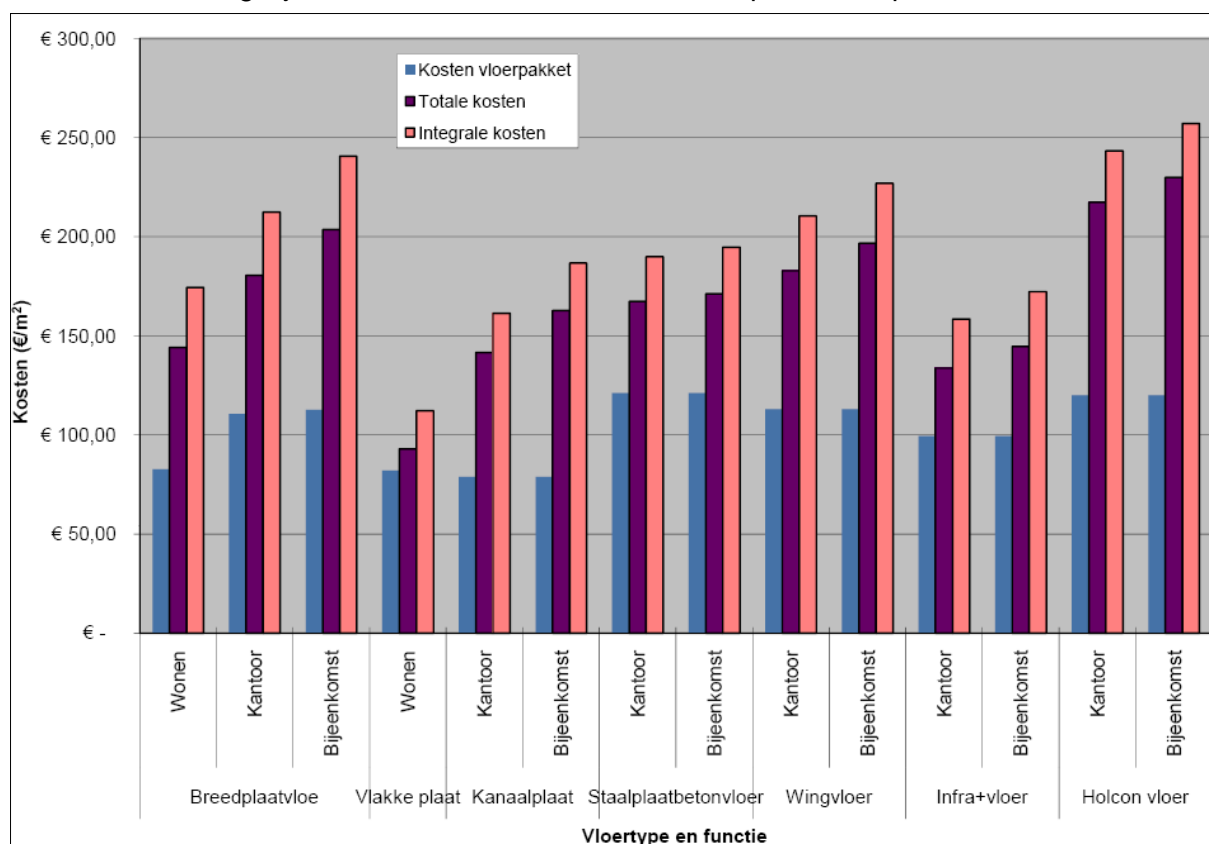
Figuur 48: grafiek diverse kosten vloersystemen bij een vloeroverspanning van 7200mm

Bij deze overspanning wordt voor de infra+ vloer en staalplaat betonvloer precies dezelfde vloer toegepast als voor een overspanning van 5400mm. Dit betekent dat de milieukosten nu iets voordeliger uitvallen. De vlakke plaatvloer heeft wederom de laagste milieukosten, van de overige vloeren is dit de kanaalplaat bij de functie kantoor, voor de functie bijeenkomsten is dit de staalplaat betonvloer. De milieukosten voor de flexibiliteit geven bij deze overspanning maar een verschil van 2%. De minst duurzame vloer blijft de breedplaat gevolgd door de wingvloer en holconvloer en de infra+ vloer. Van de laatste twee is de volgorde afhankelijk van de functie.

Voor de wingvloer en holconvloer, wat beide integrale vloersystemen zijn, geldt dat geen zwevende dekvloer en verlaagd plafond hoeft te worden toegepast. De wingvloer heeft net als de infra+ vloer het voordeel van een lage verdiepingshoogte wel besparingen oplevert. Deze besparingen zijn al meegenomen in de prijs van de vloer.

In de grafiek is te zien dat voor de kosten van het vloerpakket van de kanaalplaat lager zijn dan voor de vlakke plaatvloer en de breedplaat bij de functie wonen. De kanaalplaat wederom veruit het goedkoopste vloersysteem als naar de functie kantoor en bijeenkomsten wordt gekeken.

Deze vloer wordt net als bij de vloeroverspanning gevolgd door de infra+ vloer en de breedplaat. De wingvloer is voor deze kosten vergelijkbaar met de breedplaat en de holconvloer is vergelijkbaar met de als duurste te bestempelen staalplaat betonvloer.



Figuur 49: totale, milieu en integrale kosten bij een vloeroverspanning van 7200mm

Voor de totale kosten wordt de invloed van de liggers ook weer meegenomen, dit zorgt ervoor dat de infra+ vloer en staalplaat betonvloer welke geen gebruik hoeven te maken van THQ liggers en de vlakke plaatvloer welke geen liggers heeft in het voordeel zijn. Dit zorgt ervoor dat de infra+ vloer voor beide functies goedkoper wordt dan de kanaalplaat. De staalplaat betonvloer wordt door dit voordeel goedkoper dan de breedplaat, wingvloer en holconvloer. Door de toe te passen betonnen kolom liggerstructuur wordt de laatst genoemde de duurste optie gevolgd door de wingvloer voor de functie kantoor en breedplaat voor de functie bijeenkomsten.

De goedkoopste vloer is de vlakke plaatvloer en bij de kosten voor flexibiliteit zijn bij deze overspanning iets kleiner geworden, 40,77 €/m².

Bij de integrale kosten hebben zowel de breedplaat en wingvloer last van hun hoge milieukosten. Dit is iets meer in het nadeel van de breedplaat maar de vloer blijft wel goedkoper dan de holconvloer. Voor de kanaalplaat werken de milieukosten gunstig ten opzichte van de infra+ vloer maar toch blijft deze vloer goedkoper. De vlakke plaatvloer blijft helemaal in het voordeel en de duurzaamheid meenemend lopen de kosten voor flexibiliteit op tot 46,21 €/m². Als naar de breedplaat met de functie wonen wordt gekeken, de variant van deze vloer waarmee functiewisselingen mogelijk zijn, is de infra+ vloer voordeliger en de kanaalplaat voor de functie kantoor.

De milieukosten vormen 11-17% van de integrale kosten.

Overall overspanning 7200mm

Ook voor deze overspanningen komen de kanaalplaat en infra+ vloer het beste uit de bus. Het nadeel wat de kanaalplaat daarbij ten opzichte van de infra+ vloer heeft is al meegenomen in vorm van kosten besparingen voor de infra+ vloer. Deze twee vloeren worden gevolgd door de staalplaat betonvloer en iets daarna de wingvloer. Ook voor de wingvloer geldt dat een kostenbesparing in verband met de gunstige hoogte is meegenomen en zodoende het nadeel van de verdiepingshoogte van de staalplaat betonvloer opgeheven wordt.

Samen met de holconvloer presteert de breedplaat vloer telkens slecht, de wingvloer pakt het voordeel op deze vloeren met zijn lage gewicht wat verschil maakt in de benodigde kolommen en liggers en daarmee de kosten.

	eigen gewicht	totale belasting	verdiepinghoogte	milieukosten	totale kosten	integrale kosten
Breedplaat	--	--	-	--	-	-
Kanaalplaat	+	0	0	++	+	++
Staalplaat betonvloer	++	+	-	0	0	0
Wingvloer	0	+	+	-	-	0 / -
Infra+ vloer	++	++	++	0 / -	++	++
Holconvloer	--	--	--	0 / -	--	--

Tabel 17: kruistabel overall score vloeroverspanning 7200mm

4.1.3.3 Vloeroverspanning 12600mm

Vanwege de grote van de overspanning komen alleen nog de kanaalplaat, wingvloer en holconvloer in aanmerking. Als referentie naar de functie wonen wordt de kanaalplaat bekeken. Dit zal in de woningbouw echter niet snel voorkomen.

Vloertype	Kanaalplaatvloer			Wingvloer
	Wonen	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor
Eigen gewicht vloer	3,76	4,41	4,41	4,63
Totale vloerbelasting	9,83	11,97	14,88	11,59
Type vloer	Kanaalplaat 260	Kanaalplaat 320	Kanaalplaat 320	Wing 320
Type ligger	THQ 265x6-240x30-450x15	THQ 320x8-240x25-450x15	THQ 320x8-290x30-500x20	THQ 320x8-240x25-450x15
Type kolom	HEA180	HEA200	HEA220	HEA200
Vloerhoogte	260	320	320	320
Extra hoogte ondervloer	15	275	280	153
Hoogte vloerpakket	330	390	390	320
Hoogte vloer+installaties	345	665	670	473
Verdiepingshoogte	2,95	3,27	3,27	3,07
Zwevende dekvloer	ja	ja	ja	nee
Milieukosten per m2	€ 19,17	€ 23,53	€ 27,48	€ 29,22
Kosten vloerpakket per m2	€ 90,81	€ 92,89	€ 92,89	€ 113,00
Kosten ligger per m2	€ 38,82	€ 40,52	€ 54,00	€ 50,63
Kosten kolommen per m2	€ 7,31	€ 9,66	€ 11,55	€ 9,09
Totale kosten per m2	€ 136,94	€ 143,07	€ 158,45	€ 172,73
Integrale kosten per m2	€ 156,11	€ 166,60	€ 185,93	€ 201,95

Vloertype	Wingvloer	Holcon vloer	
	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst
Eigen gewicht vloer	4,63	6,24	6,24
Totale vloerbelasting	14,50	12,92	15,83
Type vloer	Wing 320	Holcon 700	Holcon 700
Type ligger	THQ 320x8-290x30-500x15	B750x650	B800x650
Type kolom	HEA220	B300x300	B300x300
Vloerhoogte	320	700	700
Extra hoogte ondervloer	153	0	0
Hoogte vloerpakket	320	700	700
Hoogte vloer+installaties	473	700	700
Verdiepingshoogte	3,07	3,30	3,30
Zwevende dekvloer	nee	nee	nee
Milieukosten per m2	€ 32,02	€ 25,29	€ 26,08
Kosten vloerpakket per m2	€ 113,00	€ 120,00	€ 120,00
Kosten ligger per m2	€ 60,41	€ 70,61	€ 75,32
Kosten kolommen per m2	€ 10,86	€ 15,93	€ 15,93
Totale kosten per m2	€ 184,26	€ 206,54	€ 211,25
Integrale kosten per m2	€ 216,28	€ 231,83	€ 237,33

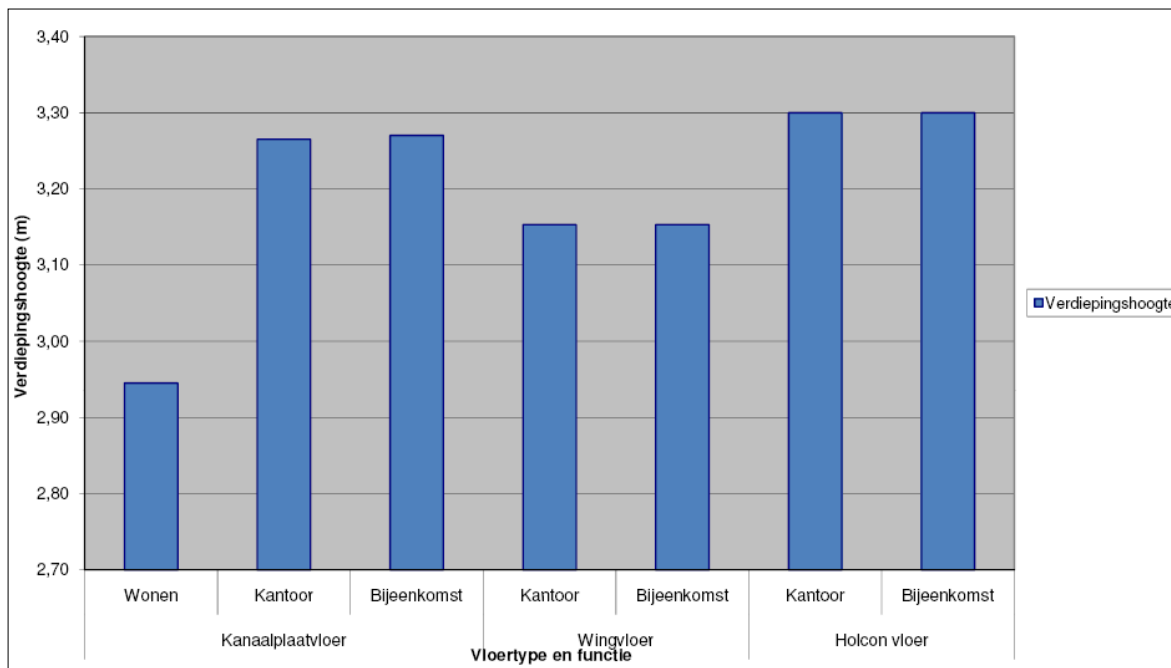
Tabel 18: overzicht vloersystemen bij een vloeroverspanning van 12600mm

Belastingen overspanning 12600mm

Naar het eigen gewicht kijkend heeft de kanaalplaat de laagste waarde. Door de afwezigheid van een zwevende dekvloer voor de wingvloer heeft deze vloer de laagste totale belasting.

Hoogtes overspanning 12600mm

De holconvloer welke bij grotere overspanningen beter zou moeten gaan presteren heeft nog steeds het dikste vloerpakket en daarmee de hoogste verdiepingshoogte. De kanaalplaat voor de functie kantoor en bijeenkomst heeft een iets kleinere verdiepingshoogte. De wingvloer heeft bij deze functies de laagste verdiepingshoogte, in hoogte zit er een verschil van 200mm met de kanaalplaat voor de functie wonen. Dit verschil heeft te maken met de ruimte voor leidingwerk.

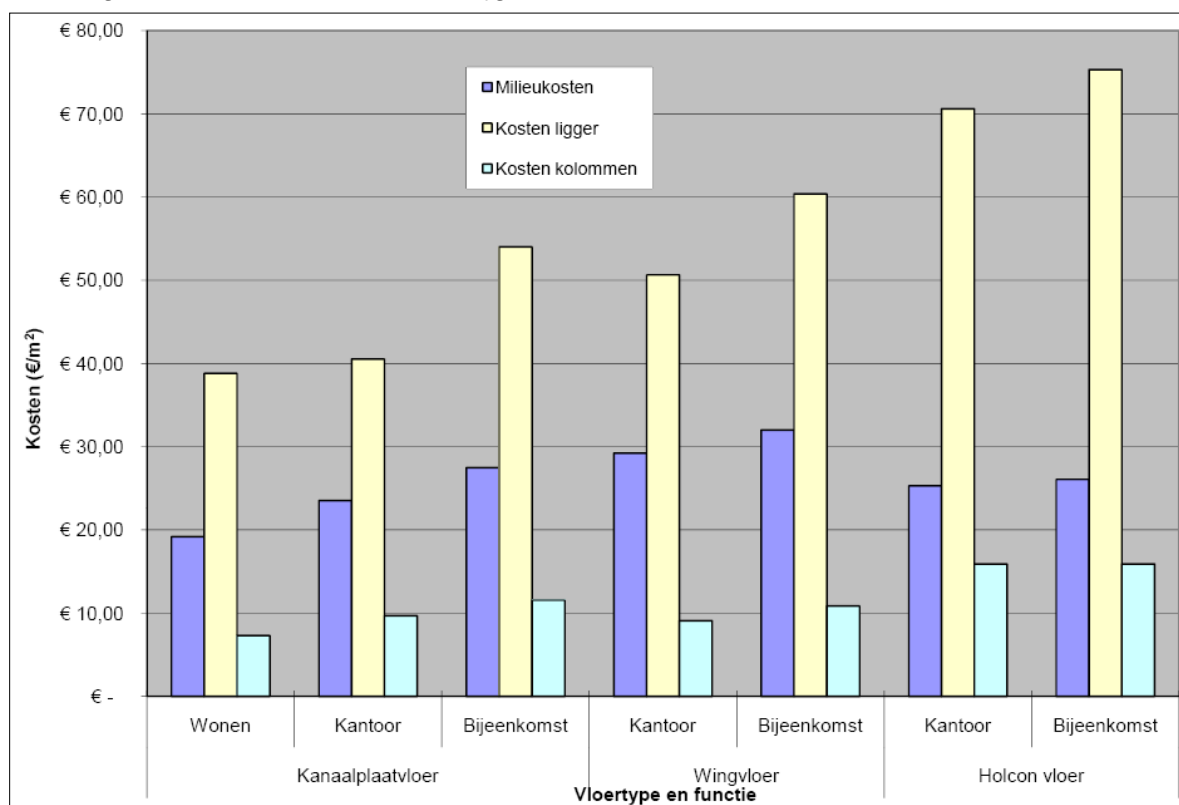


Figuur 50: grafiek verdiepingshoogte vloersystemen bij een vloeroverspanning van 12600mm

Kosten overspanning 12600mm

De invloed van de kolommen is weer verwaarloosbaar. Zowel de kanaalplaatvloer als de wingvloer maken gebruik van een THQ ligger en dus is de invloed van de ligger nu alleen maar afhankelijk van de belasting, dit valt in het voordeel van de wingvloer uit. Voor de holconvloer wordt gebruik gemaakt van een betonnen kolom- liggerstructuur en dat levert liggers op die een stuk duurder zijn dan de THQ liggers. Waar bij de andere overspanningen voor de functie wonen een vlakke plaatvloer die geen liggers nodig had werd meegenomen, is nu een kanaalplaat welke ook liggers nodig heeft meegenomen.

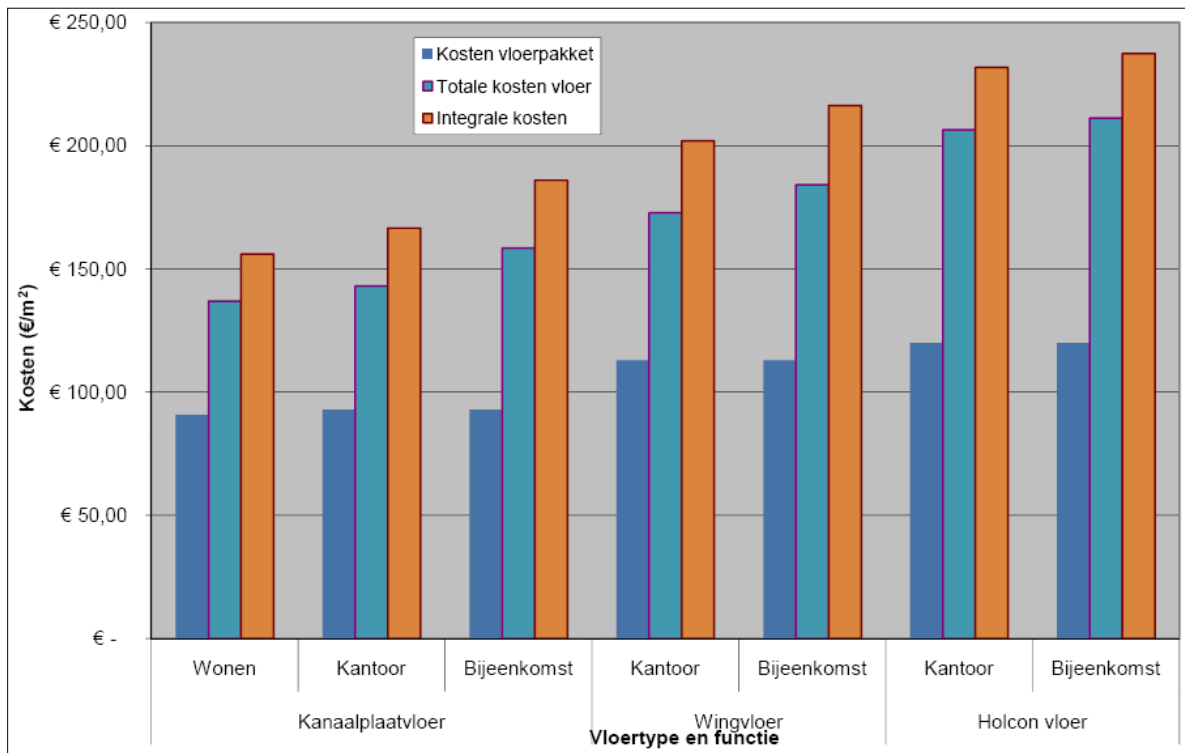
Door de grotere overspanning zijn de milieukosten een stuk dicht bij elkaar komen te liggen. De kanaalplaat is niet meer uitgesproken de duurzaamste, voor de functie bijeenkomsten is de holconvloer het duurzaamst. De wingvloer heeft de hoogste milieukosten. De kanaalplaat voor de functie wonen heeft lagere milieukosten en om rekening te houden met flexibiliteit stijgen de milieukosten met 22%.



Figuur 51: overzicht diverse kosten overspanning 12600mm

Voor de kosten van het vloerpakket verandert niet veel ten opzichte van de overspanning van 7200mm. De kanaalplaat wordt iets duurder maar blijft goedkoper dan de wingvloer en de holconvloer blijft de duurste, ongeveer 30% duurder dan de kanaalplaat. De kosten van de vloer voor de functie wonen zijn nagenoeg gelijk aan de functie kantoor en bijeenkomsten voor de kanaalplaat.

Voor de totale kosten is de invloed van de liggers zo dat de holconvloer nog slechter uit de bus komt en de wingvloer dichter bij de kanaalplaat komt te liggen maar wel duurder blijft. Het enige verschil tussen de functie wonen en de goedkoopste vloer bij de functie kantoor, de kanaalplaat, is de hoogte van de kanaalplaat. De kosten voor flexibiliteit bedragen dan ook minder dan bij de andere vloeroverspanningen, 5% wat overeenkomt met 6,13€/m². Zoals al opgemerkt is het verschil bij de milieukosten erg klein en het beeld voor de integrale kosten verandert dan ook niet. De kosten voor flexibiliteit worden met 10,49 €/m² iets meer. De milieukosten bedragen 11-15% van de integrale kosten wat overeen komt met de eerder gevonden percentages.



Figuur 52: overzicht Totale, milieu en integrale kosten bij een overspanning van 12600mm

Overall overspanning 12600mm

Als nu naar de overall score wordt gekeken geldt hier net zo als bij de vloeroverspanning van 7200mm dat gezien de kosten, de kanaalplaat het beste presteert. De holconvloer presteert voor de kosten duidelijk het slechts en de wingvloer hangt tussen de andere twee vloeren in.

	eigen gewicht	totale belasting	verdiepinghoogte	milieukosten	totale kosten	integrale kosten
Kanaalplaat	+	+	-	0	+	+
Wingvloer	0	+	+	-	0	0
Holconvloer	-	0	-	+	-	-

Tabel 19: kruistabel overall score vloeroverspanning 12600mm

4.1.3.4 Totaal overzicht

Vloertype	Breedplaat						Vlakke plaatvloer	
	5400			7200			5400	7200
Vloeroverspanning	Bijeenkomst	Kantoor	Wonen	Bijeenkomst	Kantoor	Wonen	Wonen	Wonen
Eigen gewicht vloer	4,8	4,56	3,84	6,96	6,48	6,24	4,60	6,00
Totale vloerbelasting	15,348	12,15	9,921	17,94	14,454	12,801	10,71	12,51
Type vloer	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Breedplaat 50	Vlakkeplaat 180	Vlakkeplaat 240
Type ligger	THQ 200x5-240x25-450x15	THQ 200x5-190x25-400x12	THQ 150x5-240x25-450x12	THQ 265x8-280x30-500x15	THQ 265x8-240x25-450x12	THQ 265x8-190x25-400x12	Geen ligger	Geen ligger
Type kolom	HEA160	HEA140	HEA120	HEA180	HEA160	HEA160	B200x200	B200x200
Vloerhoogte	200	180	160	290	270	260	180	240
Extra hoogte installaties	275	272	12	275	275	12	0	0
Hoogte vloerpakket	270	260	230	360	340	330	250	310
Hoogte vloer+installaties	545	532	242	635	615	342	250	310
Verdiepingshoogte	3,15	3,13	2,84	3,24	3,22	2,94	2,85	2,91
Zwevende dekvloer	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Milieukosten per m2	€ 31,99	€ 27,42	€ 23,41	€ 36,94	€ 32,01	€ 30,36	€ 15,57	€ 19,34
Kosten vloerpakket per m2	€ 103,31	€ 102,26	€ 99,11	€ 112,78	€ 110,88	€ 109,81	€ 78,00	€ 82,00
Kosten ligger per m2	€ 78,01	€ 61,09	€ 60,03	€ 76,85	€ 57,81	€ 50,48	-	-
Kosten kolommen per m2	€ 15,61	€ 12,63	€ 9,23	€ 14,06	€ 11,97	€ 10,95	€ 14,27	€ 10,93
Totale kosten per m2	€ 196,93	€ 175,97	€ 168,37	€ 203,67	€ 180,44	€ 171,04	€ 92,27	€ 92,93
Integrale kosten per m2	€ 228,92	€ 203,40	€ 191,78	€ 240,61	€ 212,45	€ 201,40	€ 107,84	€ 112,27

Vloertype	Holcon vloer				Infra+vloer			
	7200		12600		5400		7200	
Vloeroverspanning	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor
Eigen gewicht vloer	6,24	6,24	6,24	6,24	3,02	3,02	3,02	3,02
Totale vloerbelasting	15,828	12,918	15,828	12,918	11,964	9,054	11,964	9,054
Type vloer	Holcon 700	Holcon 700	Holcon 700	Holcon 700	Infra+ met IPE300	Infra+ met IPE300	Infra+ met IPE300	Infra+ met IPE300
Type ligger	B550x850	B500x850	B800x850	B750x850	HEA280	HEA260	HEB280	HEA280
Type kolom	B250x250	B220x220	B300x300	B300x300	HEA140	HEA120	HEA160	HEA140
Vloerhoogte	700	700	700	700	418	418	418	418
Extra hoogte installaties	0	0	0	0	0	0	0	0
Hoogte vloerpakket	700	700	700	700	418	418	418	418
Hoogte vloer+installaties	700	700	700	700	418	418	418	418
Verdiepingshoogte	3,30	3,30	3,30	3,30	3,02	3,02	3,02	3,02
Zwevende dekvloer	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
Milieukosten per m2	€ 27,12	€ 26,02	€ 26,08	€ 25,29	€ 27,84	€ 26,24	€ 27,69	€ 24,78
Kosten vloerpakket per m2	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 99,32	€ 99,32	€ 99,32	€ 99,32
Kosten ligger per m2	€ 90,62	€ 82,38	€ 75,32	€ 70,61	€ 33,67	€ 30,06	€ 34,05	€ 25,25
Kosten kolommen per m2	€ 19,36	€ 14,99	€ 15,93	€ 15,93	€ 12,17	€ 9,80	€ 11,23	€ 9,13
Totale kosten per m2	€ 229,98	€ 217,37	€ 211,25	€ 206,54	€ 145,18	€ 139,18	€ 144,80	€ 133,70
Integrale kosten per m2	€ 267,10	€ 243,39	€ 237,33	€ 231,83	€ 173,00	€ 165,43	€ 172,29	€ 158,48

Vloertype	Kanaalplaat						
	5400		7200		12600		
Vloeroverspanning	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Wonen
Eigen gewicht vloer	3,02	3,02	3,02	3,02	4,41	4,41	3,76
Totale vloerbelasting	13,212	10,302	13,212	10,302	14,88	11,97	9,825
Type vloer	Kanaalplaat 200	Kanaalplaat 200	Kanaalplaat 200	Kanaalplaat 200	Kanaalplaat 320	Kanaalplaat 320	Kanaalplaat 260
Type ligger	THQ 200x5-240x25-450x12	THQ 200x5-190x20-400x12	THQ 200x5-290x30-500x15	THQ 200x5-240x25-450x12	THQ 320x8-290x30-600x20	THQ 320x8-240x25-450x12	THQ 265x8-240x30-450x15
Type kolom	HEA140	HEA140	HEA160	HEA140	HEA220	HEA200	HEA180
Vloerhoogte	200	200	200	200	320	320	260
Extra hoogte installaties	272	272	275	272	280	275	15
Hoogte vloerpakket	270	270	270	270	390	390	330
Hoogte vloer+installaties	542	542	545	542	670	665	345
Verdiepingshoogte	3,14	3,14	3,15	3,14	3,27	3,27	2,95
Zwevende dekvloer	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Milieukosten per m2	€ 25,10	€ 21,09	€ 23,82	€ 19,82	€ 27,48	€ 23,53	€ 19,17
Kosten vloerpakket per m2	€ 76,70	€ 76,70	€ 78,95	€ 78,95	€ 92,89	€ 92,89	€ 90,81
Kosten ligger per m2	€ 78,01	€ 56,06	€ 72,10	€ 53,15	€ 54,00	€ 40,52	€ 38,82
Kosten kolommen per m2	€ 12,67	€ 12,67	€ 11,71	€ 9,50	€ 11,55	€ 9,66	€ 7,31
Totale kosten per m2	€ 167,38	€ 145,43	€ 162,85	€ 141,60	€ 158,45	€ 143,07	€ 136,94
Integrale kosten per m2	€ 192,48	€ 166,52	€ 186,67	€ 161,43	€ 185,93	€ 166,60	€ 156,11

Vloertype	Staalplaatbetonvloer				Wingvloer			
	5400		7200		7200		12600	
Vloeroverspanning	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor	Bijeenkomst	Kantoor
Eigen gewicht vloer	2,39	2,39	2,39	2,39	4,3	4,3	4,63	4,63
Totale vloerbelasting	12,456	9,546	12,456	9,546	14,1	11,19	14,496	11,586
Type vloer	Comflor 210	Comflor 210	Comflor 210	Comflor 210	Wing 260	Wing 260	Wing 320	Wing 320
Type ligger	280ASB100	280ASB74	280ASB105	280ASB100	THQ 265x8-240x25-450x12	THQ 265x8-190x20-400x12	THQ 320x8-290x30-500x15	THQ 320x8-240x25-450x15
Type kolom	HEA140	HEA140	HEA160	HEA140	HEA160	HEA160	HEA220	HEA200
Vloerhoogte	280	280	280	280	260	260	320	320
Extra hoogte installaties	275	270	282	276	220	220	153	153
Hoogte vloerpakket	350	350	350	350	260	260	320	320
Hoogte vloer+installaties	625	620	632	626	480	480	473	473
Verdiepingshoogte	3,23	3,22	3,23	3,23	3,08	3,08	3,07	3,07
Zwevende dekvloer	ja	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee
Milieukosten per m2	€ 26,41	€ 23,26	€ 23,58	€ 22,58	€ 30,18	€ 27,71	€ 32,02	€ 29,22
Kosten vloerpakket per m2	€ 117,72	€ 117,72	€ 121,12	€ 121,12	€ 113,00	€ 113,00	€ 113,00	€ 113,00
Kosten ligger per m2	€ 48,63	€ 35,68	€ 38,07	€ 36,47	€ 72,29	€ 58,41	€ 60,41	€ 50,63
Kosten kolommen per m2	€ 13,00	€ 12,98	€ 12,03	€ 9,78	€ 11,48	€ 11,48	€ 10,86	€ 9,09
Totale kosten per m2	€ 179,35	€ 166,39	€ 171,22	€ 167,35	€ 196,78	€ 182,87	€ 184,26	€ 172,73
Integrale kosten per m2	€ 205,76	€ 189,64	€ 194,80	€ 189,93	€ 226,94	€ 210,58	€ 216,28	€ 201,95

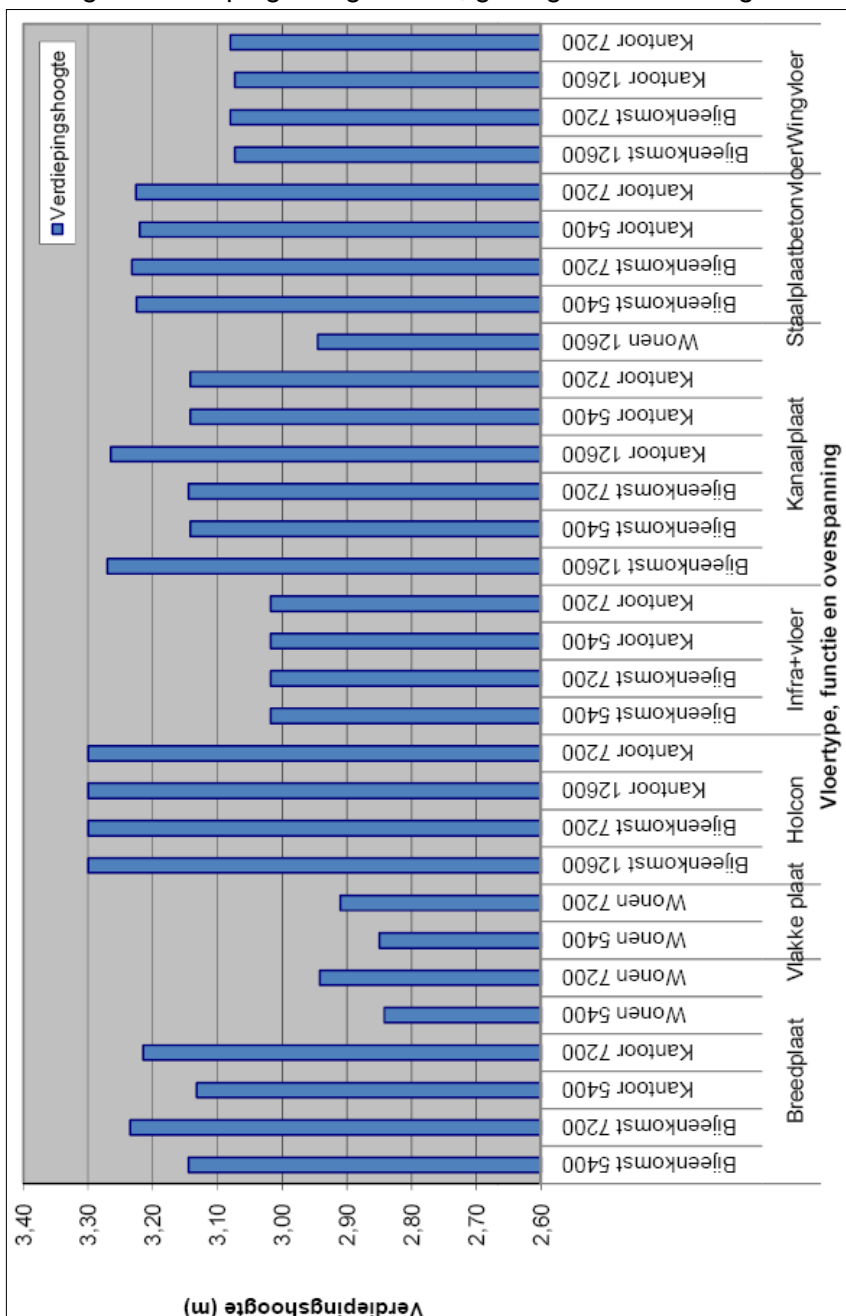
Tabel 20 : totale overzicht vloersystemen bij verschillende vloeroverspanningen

Belastingen totaal overzicht

Bij de belastingen treden geen grote verrassingen op en als naar het totale overzicht wordt gekeken is te zien dat de voor het eigen gewicht de meeste vloeren dicht bij elkaar in de buurt liggen. Met uitzondering van de breedplaat, vlakke plaatvloer, wingvloer, holconvloer en de kanaalplaat met een overspanning van 12600mm ligt het eigen gewicht niet hoger dan 4,0 kN/m². Voor de totale vloerbelasting is het patroon grilliger en is de laagste belasting te vinden bij de infra+ vloer met een overspanning van 5400mm en 7200mm. Gevolgd door de staalplaat betonvloer met dezelfde overspanningen.

Hoogtes totaal overzicht

Als alleen naar de vloerhoogte bij de functie kantoor en bijeenkomsten wordt gekeken is de kanaalplaat in het voordeel maar als vervolgens naar het totale vloerpakket wordt gekeken, worden de laagste varianten gevormd door de infra+ vloer en de wingvloer. In het overzicht met verdiepingshoogte is terug te zien dat buiten de functie wonen om de infra+ vloer altijd de laagste verdiepingshoogte heeft, gevolgd door de wingvloer en daarna de kanaalplaat.



Figuur 53: totale overzicht verdiepingshoogte bij verschillende vloeroverspanningen

Door een woongebouw in plaats van met de vlakke plaatvloer met een voor die geschikt is voor de functie kantoor of bijeenkomsten te bouwen is een functie wisseling naar deze functie mogelijk. Door het hoogte verschil voor de deze vloeren en de vlakke plaatvloer te bekijken wordt de hoogte voor flexibiliteit gevonden.

De laagste extra hoogte voor flexibiliteit wordt, zoals als geconcludeerd, bij de infra+ vloer gevonden. Deze vloer heeft dezelfde vloerhoogte voor beide functies en overspanningen. Bij een overspanning van 5400mm is de hoogte voor flexibiliteit 170mm en bij 7200mm is dit 110mm.

Kosten totaal overzicht

Naar de totale kosten kijkend presteert de infra+ vloer bij iedere overspanning beter dan de kanaalplaat. Voor de functie kantoor liggen de prestaties van de wingvloer en de breedplaat bij elkaar in de buurt, voor de functie bijeenkomst is de wingvloer goedkoper. De holconvloer is duidelijk de duurste optie. Voor ieder vloertype is te zien dat de functie bijeenkomsten een duurdere vloer vereist. Dit is niet verrassend gezien de grotere belasting die moet worden opgenomen. Wat wel opvallend is, is dat de kosten per m² bij een grotere overspanning kleiner worden. Dus een grotere vloeroverspanning is kostentechnisch voordeliger. De uitzondering hierop is de breedplaat.

De breedplaat en wingvloer hebben structureel hoge milieukosten en de kanaalplaat heeft structureel erg lage milieukosten. De functie wonen buiten beschouwing latend wordt tussen dezelfde overspanning en functie een maximaal verschil van 60% gevonden.

Bij de vlakke plaatvloer worden milieukosten gevonden die nog een stuk lager zijn dan voor de kanaalplaat.

Bij de integrale kosten valt op dat voor alle overspanningen hetzelfde beeld te zien is. De breedplaat en wingvloer welke slecht presteren voor de milieukosten verliezen meer terrein op de al beter presterende vloeren. De kanaalplaat heeft voordeel van de milieukosten en de integrale kosten komen dicht bij de infra+ vloer te liggen.

Het verschil tussen de staalplaat betonvloer en wingvloer wordt groter in het voordeel van de staalplaat betonvloer en op zijn beurt gaat de wingvloer beter presteren ten opzichte van de breedplaat.

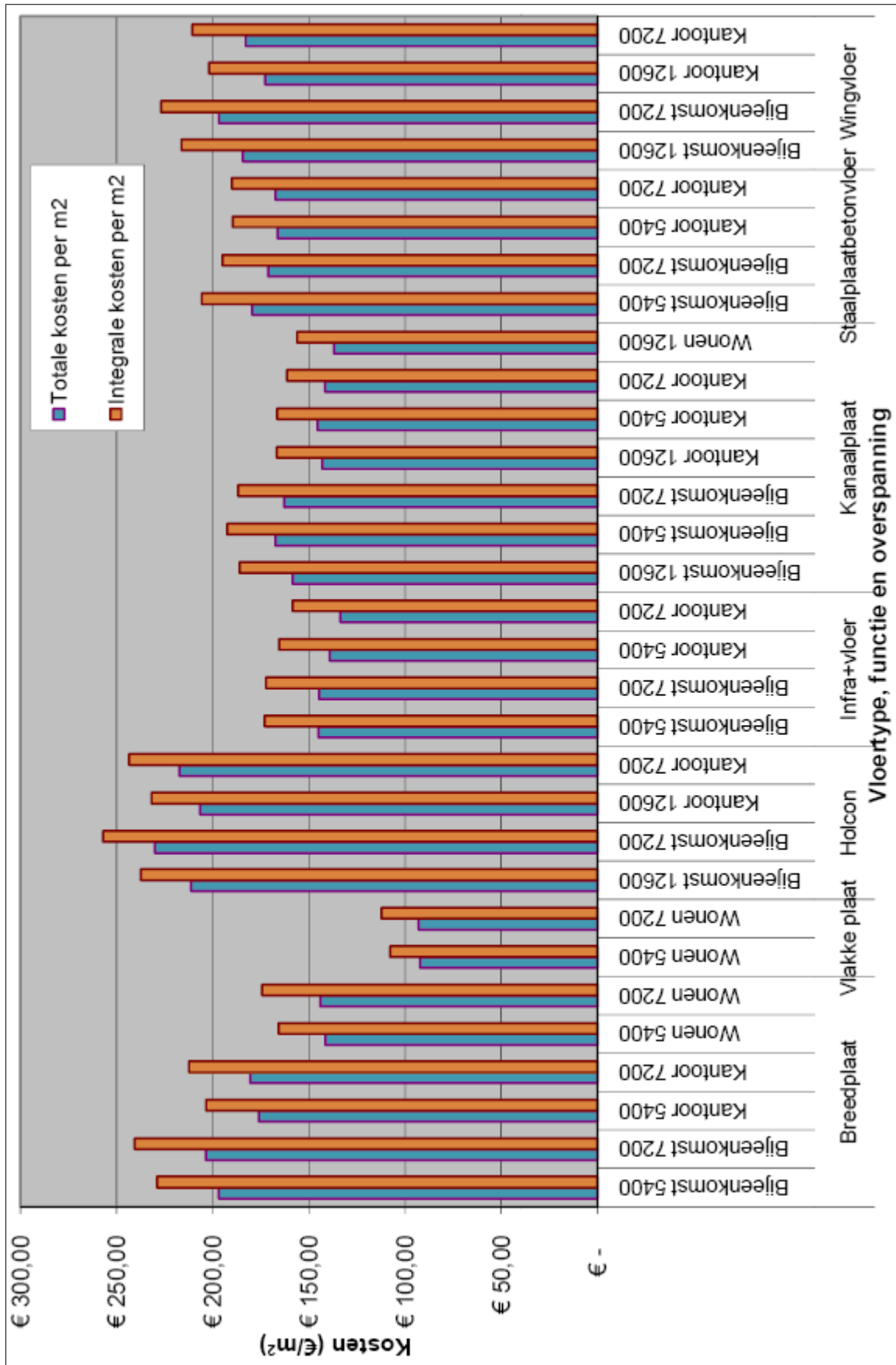
De infra+ vloer heeft de gunstige integrale kosten, daarom zal deze vloer vergeleken worden met de vlakke plaatvloer om de kosten voor flexibiliteit te bepalen. Als uit wordt gegaan van het mogelijk maken van een functiewisseling naar kantoor dan zijn de extra kosten bij een overspanning van 5400mm 57,59 €/m², voor een overspanning 7200mm 46,21 €/m². Bij de functie bijeenkomsten zijn deze extra kosten als gevolg van de hogere belasting vanzelfsprekend hoger. Ze bedragen respectievelijk 65,16 €/m² en 60,02 €/m².

Overall totaal overzicht

Als nu weer naar de kruistabel wordt gekeken waarbij voor de vloeren iedere vloeroverspanning waarin ze voorkomen is meegenomen wijkt het beeld niet veel af van de kruistabel die voor losse overspanningen is gevonden.

	eigen gewicht	totale belasting	verdiepinghoogte	milieukosten	totale kosten	integrale kosten
Breedplaat	--	--	0 / -	--	-	-
Holconvloer	--	--	--	-	--	--
Infra+ vloer	+	++	++	0 / -	++	++
Kanaalplaat	+	0 / -	0	++	++	++ / +
Staalplaat betonvloer	++	+	-	0	0	0
Wingvloer	0	+	+	-	-	-

Tabel 21: kruistabel totaal overzicht



Figuur 54: totaal overzicht totale en integrale kosten bij verschillende overspanningen

4.1.3.5 Uitvoeringsaspecten

Naast de overwegingen die in het model worden meegenomen zijn ook de uitvoeringsaspecten van belang. Hierbij valt te denken aan hoe gezorgd wordt dat de vloer meewerkt aan de stabiliteit en het aantal hijsbewegingen wat nodig is om een volledige verdieping te leggen. Deze hijsbewegingen bepalen mede de bouwtijd van een verdieping en daarmee de totale bouwtijd wat invloed heeft op de financieringskosten.

Hijswerkzaamheden

Hoeveel hijsbewegingen voor de vloer nodig zijn om een verdieping te leggen is afhankelijk van de m² vloer die per hijsbeweging naar de verdieping kan worden gebracht. Voor een staalplaat betonvloer kunnen erg veel m² per keer worden gehesen omdat een pakket met staalplaten wordt gehesen. De vloer wordt na het leggen van de platen, wat met de hand gedaan kan worden, met een betonpomp aangestort.

Voor de andere vloersystemen geldt dat één vloerplaat per hijsbeweging kan worden gehesen en dit betekent dat het aantal hijsbewegingen afhankelijk is van de afmeting van de plaat. Omdat telkens van een dezelfde vloeroverspanning wordt uitgegaan is de standaard plaatbreedte van de vloersystemen van belang. De kosten voor de bouwkraan zijn afhankelijk van het gewicht en de duur dat de kraan nodig is.

De breedplaat is in deze beschouwing in het voordeel door zowel zijn grote standaardbreedte, 3000mm, en het lage eigen gewicht. Deze vloer moet echter nog aangestort worden met behulp van een betonpomp en dit kost weer extra tijd en geld, dit is dan ook het nadeel van deze vloer.

De wingvloer en kanaalplaat vloer hebben een standaardbreedte welke de helft is van de infra+ vloer maar deze twee vloeren zijn wel twee keer zo licht. De standaardbreedte van de holconvloer ligt tussen die van infra+ vloer en wingvloer maar het gewicht ligt wel hoger dan de infra + vloer.

Op het eerste gezicht lijkt de staalplaat betonvloer in het voordeel als het om het aantal hijsbewegingen gaat, of de wingvloer, kanaalplaat of infra+ vloer in het voordeel zijn ten opzichte van de breedplaat zal veelal project afhankelijk zijn. Om een algemene uitspraak te kunnen doen over welke vloer vanuit dit oogpunt in het voordeel is moet extra onderzoek worden gedaan naar de voordelen van minder hijsbewegingen met een zwaarder gewicht ten opzichte van meer hijsbewegingen met minder gewicht en het nodig hebben van een betonpomp met weinig hijsbewegingen ten opzichte van het niet nodig hebben van een betonpomp met meer hijsbewegingen.

Stabiliteit

Vaak helpt de vloer mee met het verzorgen van de stabiliteit en hiervoor dient deze als schijf te fungeren. In het geval van een in het werk gestorte vloer, zoals de breedplaat of staalplaat betonvloer, is deze schijfwerking automatisch aanwezig. Bij de andere beschreven vloeren moeten voorzieningen worden getroffen om de vloer als schijf te laten werken.

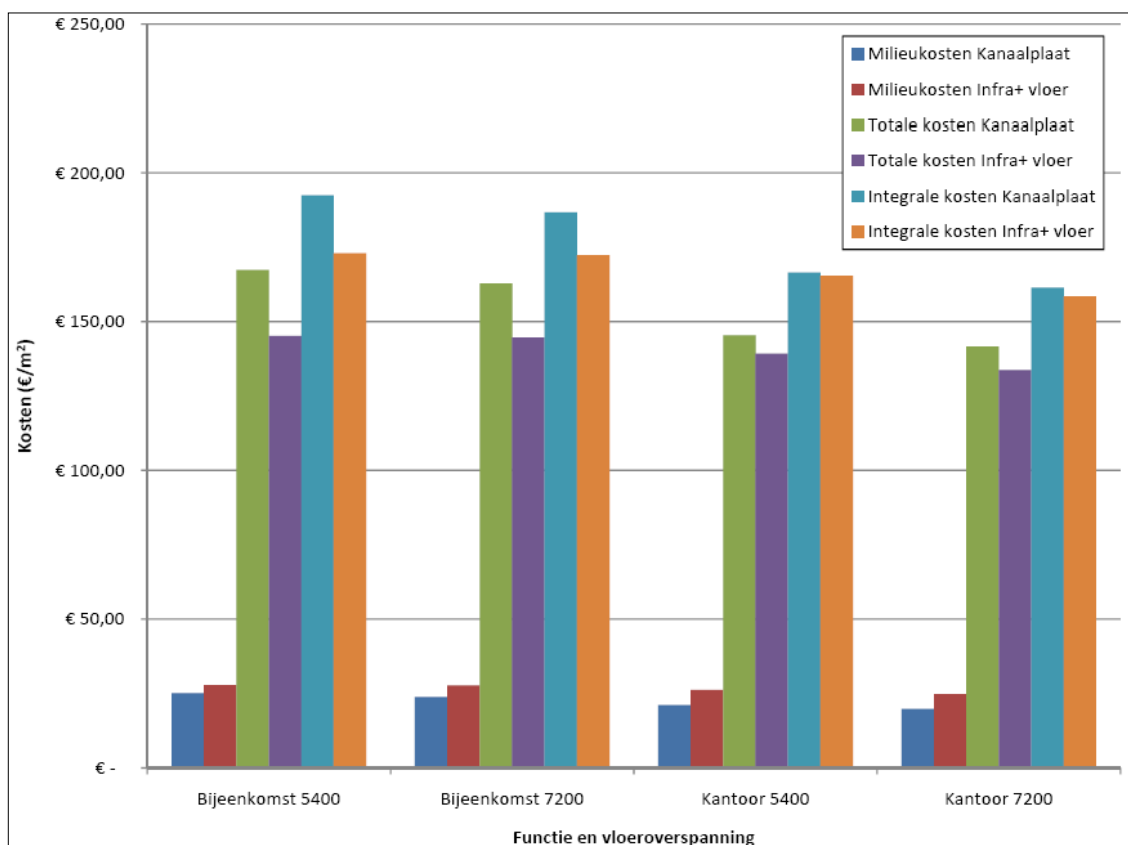
Deze voorzieningen kunnen zijn het wapenen en aanstorten van de naden tussen de vloeren waardoor schijfwerking mogelijk is, zoals bij de kanaalplaat. Of het koppelen van de vloerplaten met behulp van opgelaste staalplaten waardoor schijfwerking mogelijk is, zoals bij de infra+ vloer.

Beide voorzieningen brengen extra kosten met zich mee welke de breedplaat en staalplaat betonvloer niet hebben. Deze kosten zijn niet in het model meegenomen maar de invloed hiervan zal voor de kosten niet snel een ander beeld geven. Wel kan de extra arbeid gezien de uitvoering een bepaalde de vloer ondanks de hogere kosten toch de voorkeur geven.

4.1.3.6 Beste vloer voor functiewisselingen

Al eerder is opgemerkt dat een puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer niet geschikt is voor functiewisselingen, indien deze vloer met liggers wordt toegepast zou dit wel mogelijk zijn. De vlakke plaatvloer met gesteunde randen, liggers, heeft veel weg van de breedplaat en daarom is als referentie naar de functie wonen waarbij wel functiewisselingen mogelijk zijn de breedplaat voor de functie wonen meegenomen. Deze vloer heeft ten opzichte van de andere vloeren dat doormiddel van het storten van een druklaag een functiewisseling mogelijk is. De prestaties van de breedplaat bij de functie kantoor en bijeenkomsten zijn echter ronduit slecht wat betekent dat deze vloer niet de juiste optie is om functiewisselingen mogelijk te maken. Dit betekent dat om functiewisselingen in de toekomst mogelijk te maken bij voorbaat al een zwaardere vloer in het ontwerp dient te worden meegenomen.

De volgende vraag is met welk vloersysteem dit het beste gedaan kan worden. De kanaalplaat komt bij al de bekeken overspanningen kan worden toegepast en daarnaast ook goed presteert. De infra+ vloer is toepasbaar komt de overspanning van 5400 en 7200mm terug. Deze vloer presteert voor zowel de kosten als de verdiepingshoogte beter dan de kanaalplaat. Opgemerkt moet worden dat de besparing als gevolg van onder andere de lagere verdiepingshoogte als in meegenomen in de kosten. Bij de kleinere overspanningen is de staalplaat betonvloer een goede derde optie.



Figuur 55: vergelijking infra+ vloer en kanaalplaat voor diverse kosten

Omdat het verschil in integrale kosten voor de kanaalplaat en infra+ vloer niet bijzonder groot is, met name voor de functie kantoor, zal uitgebreider op de resultaten worden ingegaan. Met een maximaal verschil van 5,15 €/m² voor de milieukosten is de kanaalplaat favoriet boven de infra+ vloer. Vanuit flexibiliteit is de infra+ vloer in het voordeel. Door het integrale karakter is het leidingwerk van bovenaf bereikbaar en dus makkelijker aanpasbaar. De kostenbesparing die dit bij de bouw oplevert is al meegenomen, maar bij ieder aanpassing zal dit een besparing opleveren. Niet alleen zorgt dit voor besparing ook vindt bij aanpassingen alleen op de eigen verdieping overlast plaatst wat meer flexibiliteit voor werkzaamheden geeft. Tot slot mag verwacht worden dat eerder aanpassingen worden uitgevoerd waardoor voor de infra+ vloer ook een langere levensduur mag worden verwacht. Omdat de levensduur ook invloed heeft op de duurzaamheid zal het eerder genoemde verschil dan ook kleiner worden.

Omdat ieder project zijn eigen specifieke eigenschappen heeft blijft de keuze voor het beste systeem voor functiewisselingen projectafhankelijk maar op basis van de genoemde gegevens gaat de voorkeur uit naar de infra+ vloer.

Om een eenduidigere uitspraak te kunnen doen zou diepgaander onderzoek naar de kostenaspecten per vloer moeten worden gedaan. In dit onderzoek moet de aandacht liggen op de besparingen voor de verschillende vloersystemen, de kosten van de benodigde elementen en de uitvoeringsaspecten met bijbehorende kosten.

Indien de overspanning groter is dan 11m is de infra+ vloer niet toepasbaar. Als integraal vloersysteem is voor deze overspanning wel de wingvloer voorhanden. Om deze vloer als integraal vloersysteem te laten werken wordt gebruik gemaakt van een computervloer. Deze is echter zo duur dat de vloer niet kan concurreren met de kanaalplaat. Indien een goedkoper alternatief voor de computervloer wordt gevonden zou dit wel mogelijk zijn.

4.1.3.7 Kosten flexibiliteit

Woningbouw wordt standaard uitgevoerd met of tunnelbouw of een puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer. Vanwege de slechte flexibiliteit bij herindelen en het gebruik van dragende wanden in plaats van een kolom structuur is de eerste optie buiten beschouwing gelaten. Als referentie naar woningbouw is de puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer meegenomen, met deze vloer is het uitvoeren van functiewisselingen echter niet mogelijk. Geconcludeerd is dat functiewisselingen het best en goedkoopst mogelijk worden gemaakt met de infra+ vloer. Door deze twee vloeren met elkaar te vergelijken worden de kosten en hoogte voor het mogelijk maken van functiewisselingen gevonden. In de vergelijking met de vlakke plaatvloer mag het voordeel wat de infra+ vloer ten opzichte van de andere vloersystemen heeft niet worden meegenomen. Dit betekent dat de kosten voor de infra+ vloer 37 €/m² hoger worden. De kanaalplaat zou nu goedkoper uitvallen dan de infra+ vloer, als daadwerkelijk een functiewisseling wordt uitgevoerd is deze besparing echter wel weer van kracht. De extra kosten en hoogte voor functiewisselingen zijn als volgt:

Overspanning (mm)	Bijeenkomst		Kantoor	
	5400	7200	5400	7200
Hoogteverschil (mm)	170	110	170	170
Extra kosten (€/m ²)	102,16	97,02	94,59	83,21

Tabel 22: overzicht extra kosten en hoogte om functiewisselingen mogelijk te maken

4.1.4 Conclusie functiewisselingen

Het doel van dit onderzoek is een oordeel geven over welke vloer het meest in aanmerking komt indien een toekomstige functiewisselingen mogelijk moeten zijn.

Om dit te kunnen beoordelen zijn voor een ontwerp bij de functie kantoor en bijeenkomsten verschillende vloeren beschouwd. In dit ontwerp zijn de liggers zo gekozen dat de hoogte van het vloerpakket zo beperkt mogelijk blijft, is rekening gehouden met een hoogte van 260mm voor leidingwerk en is indien nodig voor de geluidsisolatie een zwevende dekvloer toegepast. Aan de hand hiervan is bepaald wat voor vloer, liggers en kolommen nodig zijn. Met deze gegevens zijn via kengetallen de milieukosten en kosten bepaald en dit leidt tot de volgende conclusies:

- Ondanks dat het voor de hand lijkt te liggen om voor functiewisselingen bij de breedplaat een dikkere druklaag op te storten is dit verre van de beste optie. Om functiewisselingen mogelijk te maken dient de bouw dan ook al uitgevoerd te worden met de vloer voor de toekomstige functie;
- De verschillende vloeren laten een maximaal verschil van 60% voor de milieukosten zien. Hieruit kan worden opgemaakt dat de keuze voor een vloer wel degelijk duurzaamheidsaspecten heeft;
- De milieukosten bedragen ongeveer 15% van de integrale kosten. Dit zorgt ervoor dat de bouwduurzaamheid niet snel de reden zal zijn om een bepaald vloersysteem wel of niet te kiezen;
- Indien functiewisselingen mogelijk moeten zijn gaat voor zowel de functie kantoor als de functie bijeenkomsten de voorkeur uit naar de infra+ vloer. Gevolgd door de kanaalplaat;
- De extra benodigde hoogte om functiewisselingen mogelijk te maken is 110-170 mm per verdieping;
- De extra benodigde kosten om functiewisselingen mogelijk te maken is 83-102 €/m².

4.2 Flexibiliteiratio

In de literatuurstudie is naar voren gekomen dat flexibiliteit een breed toepasbaar begrip is. Het onderzoek naar de flexibiliteiratio heeft als doel een methode op te stellen om in een vroegtijdig stadium een uitspraak te kunnen doen over de flexibiliteit van de draagconstructie.

Het is belangrijk om te weten wat de flexibiliteit van de verschillende stabiliteitsystemen is zodat, voor hoogbouw, bij het maken van een keuze van het toe te passen systeem rekening kan worden met de gewenste flexibiliteit.

4.2.1 Model flexibiliteiratio

Door de vele definities van flexibiliteit heeft iedereen een ander beeld van de deze term. Om de flexibiliteit van de draagconstructie te kunnen bepalen zal naar een model moeten worden gezocht wat gebaseerd is op vaste variabele. Door gebruik te maken van vaste variabele wordt het verschil in perceptie voor flexibiliteit uitgesloten.

Het model dat wordt opgezet gaat uit van de oppervlakte van het aanwezige stabiliteitsysteem en draagconstructie. De oppervlaktes die de draagconstructie en stabiliteitsystemen in een gebouw innemen zijn, als het constructie ontwerp bekend is, een gegeven. Door de oppervlaktes te delen door het bruto vloeroppervlak (BVO) wordt de constructieratio ($\%_{\text{constr}}$) van dat stabiliteitsysteem verkregen.

De vrije indeelbaarheid van de plattegrond wordt afhankelijk van de afmeting, verschijningsvorm en mogelijkheid tot openingen voor het stabiliteitsysteem in meer of mindere mate beperkt. De invloed van het stabiliteitsysteem op de vrije indeelbaarheid wordt aangegeven met de factor voor vrije indeelbaarheid (ζ).

Een flexibiliteiratio van 100% betekent een volledig vrije indeelbaarheid oftewel dat in de plattegrond geen interne constructie aanwezig is. Constructie die in de gevel aanwezig is heeft geen invloed op de vrije indeelbaarheid en hoeft daarom niet mee te worden genomen in het model. De flexibiliteiratio bij een bepaald stabiliteitsysteem kan gevonden worden door de constructieratio vermenigvuldigd met de factor voor de vrije indeelbaarheid van de volledig vrije indeelbaarheid af te trekken. In formulevorm is dit de volgende formule:

$$\%_{\text{flex}} = 1 - \sum(\%_{\text{constr}} * \zeta).$$

Naast de constructie wordt de routing door een gebouw voor een groot deel bepaald door het verticale transport. Omdat het verticaal transport invloed heeft op de routing zal deze ook invloed hebben op de vrije indeelbaarheid. Van het verticaal transport is net zo als van de stabiliteitsystemen de oppervlakte bekend. Dus is het mogelijk om een ratio voor het verticaal transport te bepalen en deze te vermenigvuldigen met een factor voor de vrije indeelbaarheid. Dit levert de volgende formule voor de flexibiliteiratio op:

$$\%_{\text{flex}} = 1 - \sum(\%_{\text{constr}} * \zeta) - \%_{\text{vert}} * \zeta$$

Ook de plaatsing van ramen, sanitair en leidingwerk zijn elementen die invloed hebben op de vrije indeelbaarheid. Deze onderdelen vereisen een verder uitgewerkte plattegrond om over hun invloed een uitspraak te kunnen doen. Tevens ligt voor dit afstuderen de nadruk op de draagconstructie zodoende worden deze onderdelen buiten beschouwing gelaten.

4.2.1.1 Factoren vrije indeelbaarheid

De flexibiliteiratio is een zelf opgesteld model hierdoor zijn de factoren voor de vrije indeelbaarheid onbekend. Met de beschikbare kennis kan wel een uitspraak worden gedaan over in welke mate de vrije indeelbaarheid door de stabiliteitsystemen wordt beperkt. Echter is het niet mogelijk om eenduidige factoren te geven. Met behulp van een case studie naar de flexibiliteit van de draagconstructie zullen de factoren worden vastgesteld.

4.2.2 Case studie flexibiliteitratio

Het doel van de case studie is om aan de hand van de mening van de architecten en constructeurs van Nederlandse hoogbouw de factoren voor de flexibiliteitratio te bepalen.

4.2.2.1 Gebouwen case studie

Gekozen is om naar de Nederlandse hoogbouw te kijken omdat dit aansluit bij het afstuderen. Om een zo groot mogelijke selectie van gebouwen te krijgen is als eis alleen gesteld dat het gebouw hoogbouw, hoger dan 70m, moet zijn. Van deze gebouwen zijn zowel de architect als de constructeur benaderd om de vragenlijst in te vullen omdat deze vanuit hun vakgebied een verschillende mening over de flexibiliteit kunnen hebben.

Gebouw	Plaats	Gebouw	Plaats
ABN Amro HQ	Amsterdam	Leonardo da Vici	Den Haag
Boompjes	Rotterdam	Mahler 4 2	Amsterdam
Castalia	Den Haag	Mahler 4 4	Amsterdam
Coopvaert	Rotterdam	Mahler 4 Ito	Amsterdam
De Admiraal	Rotterdam	Malietoren	Den Haag
De Admirant	Eindhoven	Mees Pierson	Rotterdam
De Entree 2	Amsterdam	Milleniumtoren	Rotterdam
De Regent	Eindhoven	Mondriaantoren	Amsterdam
De Witte keizer	Rotterdam	Muzentoren	Den Haag
Delftse poort	Rotterdam	Oval Tower	Amsterdam
Dexia Bank	Amsterdam	Paleis van Justitie	Den Haag
Ernst Young	Amsterdam	Pegasus	Rotterdam
Europoint 2	Rotterdam	Philips centre	Amsterdam
Fortis Bank	Rotterdam	Queen of the South	Rotterdam
Galghenwert	Utrecht	Rembrandttoren	Amsterdam
Harbour Village	Rotterdam	Residence Le Etiole	Amsterdam
Het Strijkijzer	Den Haag	Scheepmakerstoren	Rotterdam
Hoboken	Rotterdam	Schielandtoren	Rotterdam
Hofpoort	Rotterdam	Shell	Amsterdam
Hoftoren	Den Haag	Splinter	Rotterdam
Hoge Erasmus	Rotterdam	Stadsheer	Tilburg
Hoge Heren	Rotterdam	Vesteda Toren	Eindhoven
Hoge Maas	Rotterdam	Waterstadstoren	Rotterdam
Hoog aan de Maas	Rotterdam	Weenatoren	Rotterdam
Interpolis	Tilburg	Westpoint	Tilburg
Kennedy Toren	Eindhoven	Wilhelminatoren	Rotterdam
KPN tower (Belvedere)	Rotterdam	WTC H Toren	Amsterdam
La Fenetre	Den Haag		

Tabel 23: gebouwen gebruikt voor case studie

4.2.2.2 Vragenlijst case studie

De gegevens uit de vragenlijst worden gebruikt om de factoren te bepalen, om dit mogelijk te maken is het van belang dat de antwoorden van de verschillende partijen in dezelfde vorm zijn. Daarom is gekozen om een vragenlijst met gesloten vragen op te stellen, binnen deze gesloten waarde is de optie aanwezig om een score van 1 tot 5 te geven.

Naast de gesloten vragen zijn ook open vragen opgenomen zodat de ondervraagde meer ruimte heeft om zijn mening over het gebouw en de betekenis van flexibiliteit te geven. De verstuurd vragenlijst is terug te vinden in het onderdeel flexibiliteitratio van de bijlage.

4.2.3 Resultaten case studie

Bedrijven hebben ruim 5 weken de tijd gehad om het onderzoek in te vullen, na één week en drie weken is een herinnering gestuurd naar de bedrijven die het onderzoek nog niet hadden ingevuld. Helaas hebben veel bedrijven per mail laten weten niet deel te willen nemen, een paar bedrijven hebben via de vragenlijst laten weten niet deel te willen nemen en van een groot deel van de bedrijven is geen response ontvangen.

Uiteindelijk zijn 11 vragenlijsten ingevuld waarvan 9 bruikbaar waren omdat vragenlijsten incompleet waren of geen plattegronden van de het gebouw werd aangeleverd.

Voordat over wordt gegaan naar het berekenen van de flexibiliteitsratio zal gekeken worden of tussen de resultaten opvallende waarde aanwezig waren. Tevens zal ingegaan worden op de verwerking van de resultaten.

Te zien is dat voor twee gebouwen zowel de architect als de constructeur gereageerd hebben, dit is voor La Fenetre en de Splinter het geval. Bij de Maastoren valt op dat als indicatie van de flexibiliteit goed met een percentage van 20% is gekoppeld. Echter is als extra opmerking toegevoegd dat bij functiewisselingen de flexibiliteit erg slecht is maar dat de flexibiliteit zonder wijziging van functie goed is. Ook de Hoge Erasmus valt op vanwege de indicatie matig en een percentage van 80%. Als extra opmerking is toegevoegd dat in verband met woningbouw dragende woningscheidende wanden zijn gebruikt welke in de commerciële ruimtes vervangen zijn door kolommen, dit zijn de enige beperkingen voor de flexibiliteit.

4.2.3.1 Gesloten vragen

De gesloten vragen zijn wat specifiekere vragen over de vrije indeelbaarheid van het gebouw. Deze vragen kunnen worden beantwoordt met een score van 1 tot 5. Dit komt overeen met helemaal oneens tot helemaal eens. Aan de hand van deze gegevens wordt een indicatie van de flexibiliteit van het gebouw berekend.

Vraag 4 welke betreft of meer openingen in de draagconstructie minder beperking van de draagconstructie geeft wordt hier niet in meegenomen.

Project	Bedrijf	Type	Stabiliteitsysteem	Indicatie flexibiliteit	Draagconstructie beperkt herindelings	Draagconstructie, routing beperkt herindelings	Draagconstructie beperkt plattegrond op	Meer openingen	Trappen beperkt herindelings	Trappen, routing beperkt herindelings
Admirant	Amvest	Eigenaar	Schijven	redelijk	3	3	3	5	2	2
Boompjes	Klunder	Architect	Schijven	slecht	5	5	5	5	5	5
Hoge Erasmus	Imd	Constructeur	Schijven	Matig	2	3	2	3	3	3
La fenetre a	Rudy Uytendaele	Architect	Kern	Goed	1	2	1	1	1	1
La fenetre	Adams	Constructeur	Onder kern, boven schijven	redelijk	3	3	1	4	2	2
Maastoren	Corsmit	Constructeur	Schijven	Goed	2	4	3	5	3	3
Malestoren	Corsmit	Constructeur	Hybride gevelbus	Goed	1	1	1	1	1	1
Muzenstoren	Kier Kohl	Architect	Kern	redelijk	1	1	2	1	5	2
Splinter a	Wim de Bruyn	Architect	Outigger	redelijk	3	3	1	3	3	3
Splinter	Corsmit	Constructeur	Outigger	matig	4	4	1	2	4	4
Strijkizer	Corsmit	Constructeur	Gevelbus met schijven	Goed	3	2	3	4	1	1

Tabel 24: ingevulde onderzoeksresultaten

Vertaalt naar de flexibiliteit betekent een score van 1 de beoordeling goed en een score van 5 betekent de beoordeling slecht. Aan deze beoordeling wordt een waarde gekoppeld om tot de flexibiliteit te komen, deze waarden zijn als volgt:

- 1 heeft een waarde van 9,5;
- 2 heeft een waarde van 7,5;
- 3 heeft een waarde van 5,5;
- 4 heeft een waarde van 3,5;
- 5 heeft een waarde van 1,5.

De invloed van de vraag op de vrije indeelbaarheid varieert en daarom zal de waarde behorende bij het antwoord op de vraag nog met een factor voor de vraag worden vermenigvuldigd. Hoe hoger de flexibiliteitsratio uitvalt hoe beter de flexibiliteit, dit betekent dat de vragen die in grote mate de vrije indeelbaarheid kunnen beperken een kleine factor moeten krijgen. De trappen en liften zijn ergens in het gebouw gesitueerd en niet aanpasbaar, bij een herindeling vormen ze een uitgangspunt. De vragen die betrekking hebben op de draagconstructie zijn dan ook twee keer zo zwaar meegenomen als de vragend die betrekking hebben op de trappen en liften.

De vraag of de draagconstructie de plattegrond opdeelt wordt vier keer zo zwaar meegenomen als de vraag over trappen. Als de plattegrond wordt opgedeeld betekent dit namelijk dat in veel gevallen alleen een herindeling in dat subgebied mogelijk is.

Dit betekent de volgende factoren voor de vragen:

- Draagconstructie beperkt herindeling: factor 2;
- Draagconstructie, routing beperkt herindeling: factor 2;
- Draagconstructie deelt plattegrond op: factor 1;
- Trappen beperkt herindeling: factor 4;
- Trappen routing beperkt herindeling: factor 4.

Om de kwantitatieve resultaten te vertalen in kwalitatieve resultaten wordt de volgende verdeling gebruikt:

- Slecht 0-20%;
- Matig 20-50%;
- Redelijk 50-80%;
- Goed 80-100%.

Gebouw	Stabiliteitsysteem	indicatie %flex		berekende %flex	
Schijven					
Boompjes	Schijven	slecht	20%	15,0%	Slecht
Hoge Erasmus	Schijven	Matig	80%	59,6%	Redelijk
La fenetre	Onder kern, boven schijven	redelijk	70%	70,4%	Redelijk
Buis					
Strijkijzer	Gevelbuis met schijven	Goed	90%	82,7%	Goed
Malietoren	Hybride gevelbuis	Goed	95%	95,0%	Goed
Kern					
La fenetre arch	Kern	Goed	90%	91,9%	Goed
Muzentoren	Kern	redelijk	50%	62,7%	Redelijk
Outrigger					
Splinter arch	Outrigger	redelijk	50%	58,1%	Redelijk
Splinter	Outrigger	matig	50%	39,6%	Matig

Tabel 25: uitgewerkte resultaten flexibiliteit

In de tabel is te zien dat de kwalitatieve beoordelingen van de flexibiliteit redelijk overeen komen, met uitzondering van de twee projecten, Hoge Erasmus en Maastoren, welke al opvielen in verband met hun relatie tussen kwalitatief en kwantitatieve indicatie. Ook valt de Splinter op doordat deze een beoordeling matig met een flexibiliteit van 50% kreeg, waarbij 50% een erg hoge waarde lijkt. Uit de berekende flexibiliteit komt naar voren dat deze waarde ook aan de hoge kant was maar de indicatie matig wel klopt.

4.2.3.2 Berekenen factoren vrije indeelbaarheid

De flexibiliteitsratio wordt bepaald met de volgende formule:

$$\%_{\text{flex}} = 1 - \sum(\%_{\text{constr}} * \zeta) - \%_{\text{vert}} * \zeta$$

Van de verschillende gebouwen zijn de flexibiliteitsratio's bekend, uit de plattegronden zijn de constructieratio's te bepalen en zodoende is het mogelijk de factoren voor vrije indeelbaarheid te berekenen. Uit de versterkte plattegronden waren de kolommen slecht of niet af te lezen hierdoor was het niet mogelijk om hiervoor de constructieratio te bepalen.

Bij het bepalen van de constructieratio's is een onderverdeling per stabiliteitsstelsel van de gebouwen gemaakt. Hierbij staat La Fenetre één keer bij de gebouwen welke een schijf hebben en één keer bij de gebouwen met een kern. Dit omdat het gebouw beide stabiliteitsystemen gebruikt en gezien de indicatie van de flexibiliteit door de architect voor de kern is ingevuld en door de constructeur voor de schijven is ingevuld. Voor de outrigger was van de verstrekte plattegronden de oppervlakte van de overdrachtschijf helaas niet te bepalen deze is dan ook bij benadering bepaald.

De factor voor de vrije indeelbaarheid is vastgesteld door voor de verschillende gebouwen de factoren zo te kiezen dat de eerder berekende flexibiliteitsratio voor het betreffende gebouw wordt benaderd.

Schijven

Vijf van de gebouwen hebben een schijf als stabiliteitsstelsel, één gebouw heeft onder een kern en boven schijven, één gebouw heeft een kern met schijven en één gebouw heeft een gevelbuis gecombineerd met schijven.

Onderscheid wordt gemaakt tussen schijven in de gevel en intern. De flexibiliteitsratio wordt alleen beïnvloed door de interne constructie en dus hoeven de schijven in de gevel niet meegenomen te worden in de berekening. De factor voor de vrije indeelbaarheid kan variëren afhankelijk van de afmeting en het materiaal.

Voor de betonnen schijven welke de plattegrond in meerdere stukken opdeelt geldt een factor van 15. Niet altijd delen de schijven de plattegrond in stukken, zoals bij het strijkijzer. De schijven die hier zijn toegepast zijn kort zodat de plattegrond niet wordt opgedeeld, als factor geldt factor van 5. Ook de Muzentoren heeft schijven welke de plattegrond niet volledig in stukken verdeeld maar toch zijn de schijven minder gunstig dan bij het strijkijzer vanwege de plaatsing. Voor deze schijven wordt een factor van 10 aangehouden.

In plaats van betonnen schijven is het ook mogelijk om voor een uitvoering in staal te kiezen, er wordt dan gebruik gemaakt van diagonalen die een vakwerkschijf vormen. Dit is bij La Fenetre op de bovenste verdiepingen gedaan. Het voordeel van stalen schijven is dat openingen makkelijk te maken zijn. Hierdoor wordt de plattegrond minder snel in stukken opgedeeld en dezelfde factor als voor de korte betonnen schijven mag worden aangehouden.

Kern

Twee gebouwen zijn uitgevoerd met een kern. La Fenetre heeft op de onderste verdiepingen een kern en voor de Muzentoren vindt een combinatie met schijven plaats. Met een factor van 2,75 wordt de indicatie van de flexibiliteit van La Fenetre goed benaderd terwijl deze factor voor de Muzentoren de berekende flexibiliteit redelijk wordt benaderd.

Overdrachtconstructie

Bij een overdrachtconstructie wordt naast een kern gebruik gemaakt van een outrigger welke op een bepaalde verdieping aanwezig is.

Eén gebouw maakt gebruik van dit systeem maar deze is wel door zowel de architect als de constructeur ingevuld. Gezien de uitvoering van de gebouwen zal de overdrachtconstructie van staal zijn en hier mag net als voor de stalen schijven een factor van 5 worden aangehouden. Bij deze aanname blijft echter een groot verschil zitten tussen de door de ondervraagde opgegeven flexibiliteitsratio en de via de constructieratio berekende flexibiliteitsratio. Voor dit verschil is geen verklaring te vinden zeker gezien het feit dat bij alle andere gebouwen wel een redelijke benadering van de flexibiliteitsratio wordt gevonden.

Buis

Twee gebouwen zijn uitgevoerd met een buis maar een buis bevindt zich in de gevel en heeft dus geen invloed op de flexibiliteitsratio. Echter heeft een buis ook schijven welke wel dienen te worden meegenomen. Daarnaast worden deze gebouwen mede gebruikt om de flexibiliteitsfactor voor het verticaal transport te bepalen.

Verticaal transport

De constructieratio's die voor het verticale transport worden gevonden zijn een stuk groter dan voor de stabiliteitsystemen. Over het algemeen wordt een constructieratio van 6% gevonden alleen de Splinter is hier een uitzondering op. De kern is voor dit gebouw zo ingericht dat veel ruimte verloren gaat aan verticaal transport en de routing daar omheen. Voor de aan te houden factoren voor de vrije indeelbaarheid speelt de locatie een belangrijke rol. Bij het strijkijzer bevindt het verticale transport zich aan de buitenzijde tegen de gevelbuis wat buiten een gang naar deze plek een volledig vrij indeelbare plattegrond geeft. Als flexibiliteitsfactor voor deze uitvoering wordt een factor van 0,5 gevonden. Een andere optie is het verticaal transport in de kern op te nemen. Het verticaal transport zorgt altijd voor een bepaalde opdeling van de plattegrond en door opname in de kern wordt dit gecombineerd met de invloed van de kern, dit geeft een factor van 0,75. Bij schijven en een buis is geen kern aanwezig om het verticaal transport in te plaatsen en zal plaatsing ergens in de plattegrond plaats vinden. Voor deze uitvoering wordt een factor van 1,5 gevonden.

Gebouw	indicatie %flex	berekende %flex	%schijf	% kern	% outr
Schijven					
Boompjes	slecht	20%	15,0%	Slecht	4,84%
Hoge Erasmus	Matig	80%	59,6%	Redelijk	4,37%
La fenetre	redelijk	70%	70,4%	Redelijk	4,17%
Buis					
Strijkijzer	Goed	90%	82,7%	Goed	2,37%
Malietoren	Goed	95%	95,0%	Goed	0,00%
Kern					
La fenetre arch	Goed	90%	91,9%	Goed	0,00%
Muzentoren	redelijk	50%	62,7%	Redelijk	1,98%
Outrigger					
Splinter arch	redelijk	50%	58,1%	Redelijk	0,00%
Splinter	matig	50%	39,6%	Matig	0,00%

Gebouw	%vert	ζ schijf	ζ kern	ζ outr	ζ vert	%flex
Schijven						
Boompjes	5,45%	15			1,5	19,3%
Hoge Erasmus	5,36%	15			1,5	26,4%
La fenetre	6,49%	5			0,75	74,3%
Buis						
Strijkijzer	9,66%	5			0,5	83,3%
Malietoren	7,81%				1,5	88,3%
Kern						
La fenetre arch	6,49%		2,75		0,75	88,0%
Muzentoren	6,41%	10	2,75		0,75	65,8%
Outrigger						
Splinter arch	18,56%		2,75	5	0,75	74,2%
Splinter	18,56%		2,75	5	0,75	74,2%

Tabel 26: overzicht flexibiliteitsratio's, constructieratio's en factoren

4.2.4 Conclusie flexibiliteitratio

Om van de stabiliteitsystemen een eenduidig oordeel te kunnen geven over de flexibiliteit is de flexibiliteitratio opgezet. Om deze bruikbaar te maken moesten de factoren voor de vrije indeelbaarheid worden bepaald. Dit is gedaan doormiddel van een case studie. Bij het uitvoeren van de case studie bleek de gewilligheid om deel te nemen bij de bedrijven erg laag was. Als gevolg hiervan zijn de factoren voor de vrije indeelbaarheid bij redelijk beperkte response bepaald. Kijkend naar bovenstaande tabel wordt voor de gebouwen, met uitzondering van de Splinter, met de aangenomen factoren een flexibiliteitratio gevonden welke goed overeenkomt met de uit de case studie naar voren komende flexibiliteitratio. Het is helaas niet gelukt om boven water te krijgen waarom de Splinter zoveel afwijkt, dit is wel het enige gebouw met een overdrachtconstructie.

Kijkend naar de factoren kan gesteld worden dat deze qua volgorde overeenkomen met wat vanuit gezond verstand verwacht kan worden. De indeling van de factoren is nu echter ook getalsmatig waardoor deze in de formule voor de flexibiliteitratio bruikbaar zijn.

Voor de kolommen is het niet gelukt om factoren vast te stellen terwijl deze in het verdere onderzoek wel terug komen. Bij gevelbuizen bepalen de kolommen samen met het verticaal transport de flexibiliteitratio en dus is het van belang alsnog een factor voor de kolommen te bepalen.

Kolommen hebben een relatief klein oppervlak maar zijn wel in grote getallen aanwezig, een belangrijke invloed op de vrije indeelbaarheid speelt dan ook de hart op hart afstand van de kolommen. Bij een hart op hart afstand in de richting van de liggeroverspanning van 10m of meer mag worden uitgegaan van een factor van 1,5. Bij deze hart op hart afstand hoeft niet verwacht te worden dat de kolommen een beperking vormen voor de vrije indeelbaarheid.

Bij kleine hart op hart afstanden wordt gebruik gemaakt van een extra factor 10/hoh. Dit betekent dat kolommen in één richting 1m hart op hart voor de vrije indeelbaarheid overeen komen met lange betonnen schijven.

De gebruikte methode levert voor dit afstuderen voldoende goede resultaten op om verder te gebruiken. Voor een breder gebruik zullen de resultaten minder geschikt zijn omdat specifiek naar hoogbouw is gekeken. Maar ook omdat de response erg beperkt was en niet alle elementen die invloed hebben op de flexibiliteit zijn meegenomen. Verder onderzoek is dan ook aan te raden.

4.2.4.1 Factoren vrije indeelbaarheid

In het verdere onderzoek zullen bij het bepalen van de flexibiliteitratio de volgende factoren voor de vrije indeelbaarheid worden gebruikt:

- Plattegrond splitsende betonnen schijven 15;
- Beperkt plattegrond splitsende betonnen schijven 10;
- Korte betonnen schijven 5;
- Stalen schijven 5;
- Kern 2,75;
- Overdrachtschijf staal 5;
- Verticaal transport in kern 0,75;
- Verticaal transport buiten kern 1,5;
- Kolommen 1,5*10/hoh.

4.2.4.2 Flexibiliteit volgens ondervraagde

In de case studie is bij de open vragen tevens gevraagd om aan te geven wat volgens de visie van de ondervraagde de betekenis van flexibiliteit is. Dit is gedaan om een duidelijker beeld te krijgen van de term flexibiliteit bij architecten en constructeurs.

Van de architecten, vier, die het onderzoek hebben ingevuld geven twee aan dat flexibiliteit voor hun een 100% vrije indeelbaarheid is. De andere architecten geven aan dat het draait om het kunnen verplaatsen van de binnenwanden, waarbij geen constructieve of grote installatietechnische ingrepen nodig moeten zijn.

Voor de definitie van flexibiliteit door de deelnemende constructeurs is een variatie te vinden van de mogelijkheid van het maken van een nieuwe indeling voor de plattegrond tot het maken van een nieuwe indeling voor het hele gebouw. Een soms extra gebruikte opmerking is dat dit zonder ingrijpende aanpassingen aan de hoofddraagconstructie of noemenswaardige kosten moet gebeuren. In veel gevallen zullen deze kosten te maken hebben met het doen van aanpassingen aan de hoofddraagconstructie en de twee toevoegingen komen dus op hetzelfde neer.

Een deel van de architecten heeft dezelfde definitie als de constructeur namelijk het kunnen aanpassen van een gebouw zonder grote aanpassingen of kosten. Het andere deel van de architect ziet 100% vrije indeelbaarheid als flexibel, wat in theorie mooi klinkt maar in de praktijk rekening houdend met de aanwezigheid van installaties en de constructie al snel lastig zal worden.

4.3 Rekenmodel

Uit de literatuurstudie is bekend welke stabiliteitsystemen voor hoogbouw mogelijk zijn. Tevens is uit de literatuurstudie bekend hoe bij een constructief ontwerp de kosten en de duurzaamheid, in de vorm van milieukosten, kunnen worden bepaald. Met het voorgaande onderzoek is ook mogelijk om de flexibiliteit te bepalen. Voor het combineren van deze verschillende aspecten is het nodig om een model op te zetten. Hierbij kan gekozen worden voor een theoretisch model of een praktisch model met een meer directe link naar de praktijk.

4.3.1 Type model

4.3.1.1 Theoretisch model

Als van een theoretisch model wordt uitgegaan dan zou voor alle stabiliteitsystemen kunnen worden uitgegaan van een toren waarbij de hoogte 70% van het maximale aantal verdiepingen is. Door een verdiepingshoogte, slankheid, grondvorm en stramienmaat te koppelen aan de verdiepingen krijgt de toren een hoogte, breedte en diepte. In dit model zijn de verschillende stabiliteitsystemen te plaatsen.

Het voordeel van het theoretische model is dat een algemeen beeld van de verschillende stabiliteitsystemen ontstaat. De vraag is echter of het de juiste methode is om dit bij een bepaald percentage van de hoogte te doen. Het nadeel hierbij is namelijk dat het erg moeilijk is om de verschillende stabiliteitsystemen met elkaar te vergelijken. Ook zal ieder stabiliteitsysteem een andere grondvorm krijgen, met een breedte welke zo groot wordt dat deze niet toegepast kan worden op de Nederlandse markt omdat dan problemen met de daglicht toetreding ontstaan.

4.3.1.2 Praktisch model

Indien wordt uitgegaan van een praktisch model (referentieproject) ligt van te voren de hoogte en gebouwworm en daarmee de breedte en diepte vast. Hierbinnen zal het stabiliteitsysteem moeten worden vormgegeven wat tot gevolg heeft dat niet alle stabiliteitsystemen, die naar voren zijn gekomen in de literatuurstudie, kunnen worden toegepast omdat de afmetingen dit niet toelaat. Een nadeel van het gebruik van een specifiek project is dat de resultaten niet algemeen interpreteerbaar zullen zijn. Het voordeel van een referentieproject is dat de uitkomsten in ieder geval voor die toren aan de praktijk gerelateerd zijn.

4.3.1.3 Theoretisch of praktisch model

Voor het rekenmodel zal gebruik gemaakt worden van een theoretisch model. Bij dit theoretische model is gekozen om gebruik te maken van een vaste plattegrond bekeken bij een vaste hoogte. Op deze manier wordt het probleem van verschillende plattegronden bij het vergelijken van de systemen ondervangen. Door voor een vaste hoogte te kiezen zijn de belastingen voor de stabiliteitsystemen hetzelfde en dus wordt de vergelijking zuiverder.

Om een goed beeld te kunnen vormen van de prestaties van de stabiliteitsystemen zullen deze niet bij één maar bij drie hoogtes worden bekeken.

4.3.2 Model

Het model zal worden aangenomen in de omgeving Rotterdam. Dat wil zeggen dat de toren in windgebied 2 komt te staan. Voor de terrein eigenschappen wordt aangenomen dat de omgeving lage stedelijke bebouwing is.

4.3.2.1 Plattegrond rekenmodel

In de literatuurstudie is van 12 Nederlandse hoogbouw projecten in zowel utiliteitsbouw als woningbouw naar de eigenschappen gekeken. Aan de hand van deze gegevens is de plattegrond voor het rekenmodel vast gesteld.

De kleinste breedte van 13m wordt gevonden bij een rechthoekige gebouwworm. Voor een vierkante gebouwwormen is 21,6m de kleinst gevonden breedte en de maximale breedte is 32,4m. Omdat de meeste projecten een vierkante of bij benadering vierkante plattegrond hadden is gekozen voor een vierkante plattegrond. De afmeting van de plattegrond is 28,8 bij 28,8m, dit is een afronding de gemiddelde breedte op een veelvoud van 3,6m.

4.3.2.2 Hoogte rekenmodel

De toren zal worden beschouwd bij drie verschillende hoogtes. Omdat gekeken wordt naar de Nederlandse markt kan de maximale hoogte worden beperkt tot een hoogte van 150-160m. Bij de uiteindelijke keuze voor de hoogte van de torens is gebruik gemaakt van het referentieproject, wat bestaat uit zes torens met een hoogte variërend van 55m tot 135m. De hoogtes voor het model zullen ongeveer 70m, 95m en 135m zijn. De hoogte van 70m is wordt veelal gezien als de overgang naar hoogbouw en tevens worden in veel normen geen eisen meer gegeven boven deze hoogte. De hoogste toren van het referentieproject, 135m, is gekozen als maximale hoogte voor het rekenmodel. De derde hoogte die wordt bekeken is bij ongeveer 95m. Voor deze hoogte is gekozen omdat als naar een lijst met hoogbouwprojecten in Nederland wordt gekeken te zien is dat een hoogte van rondom de 100m gezien kan worden als een bepaalde grens[<http://www.skyscrapercity.info>]³⁵.

In Nederland is het voor zowel kantoren als woningen verplicht om een vrije hoogte van 2,6m aan te houden. De verdiepingshoogte wordt gevonden door hier de hoogte van het vloerpakket, de eventuele zeeg en toleranties bij op te tellen. Voor woningen moet minimaal 3,0m worden aangehouden en bij kantoren loopt dit in verband met het verlaagde plafond op tot 3,2m of zelfs 3,5m. De markt vraagt voor kantoren vaak een vrije hoogte van 2,7m, in het rekenmodel zal worden uitgegaan van een verdiepingshoogte van 3,2m. Op deze manier zijn de resultaten zowel bruikbaar voor kantoren als voor woningen. Bij de genoemde hoogte van de torens levert dit met een verdiepingshoogte van 3,2m torens met respectievelijk 22,30 en 42 verdiepingen op. Dit komt overeen met hoogtes van 70,4m, 96m en 134,4m.

Samen met de hiervoor vastgestelde plattegrond van 28,8 bij 28,8m is de slankheid van de torens te bepalen.

Variant	Verdiepingen	Hoogte(m)	Slankheid:
1	22	70,4	2,44
2	30	96	3,33
3	42	134,4	4,67

Tabel 27: overzicht varianten met aantal verdiepingen, hoogte en slankheid

Uit deze tabel komt naar voren dat de slankheid erg laag is voor variant 1 en 2, de torens met respectievelijk een hoogte van 70,4 en 96m. Dit heeft voornamelijk te maken met de afmeting van de plattegrond welke voor wat lagere torens redelijk fors blijkt te zijn.

4.3.2.3 Stabiliteitsystemen rekenmodel

Nu de plattegrond, hoogte en het aantal verdiepingen bekend zijn is het mogelijk te bepalen voor welke stabiliteitsystemen het materiaalgebruik gaat worden bekeken. Bij deze selectie is de Nederlandse markt in het achterhoofd gehouden. Gezien de hoogtes voor het rekenmodel en de veel voorkomende stabiliteitsystemen uit de beschouwing van hoogbouw projecten in Nederland is gekozen voor de volgende systemen:

- Kern;
- Schijven;
- Kern met schijven;
- Overdrachtconstructie;
- Buis.

Voor deze buis zal in het geval van beton worden uitgegaan van een raamwerkbuis en in het geval van staal zal worden uitgegaan van een geschoorde buis. Dit onderscheid is gemaakt omdat dit voor de materialen de meest voor de handliggende uitvoering is.

4.3.3 Belastingen

De belastingen waar mee gerekend zal worden zijn gebaseerd op de Nederlandse norm en de functie wonen. In de literatuurstudie is uitgebreid ingegaan op de belastingen. Hierbij is naar voren gekomen dat voor de wind met een aangepaste belasting zal worden gerekend omdat deze voor hoogbouw niet goed naar voren komt.

4.3.3.1 Permanente belasting

Als permanente belasting moet naast het eigen gewicht van de vloer een gewicht voor de niet dragende wanden, afwerking en eventuele andere belastingen worden meegenomen. Dit resulteert in de volgende permanente belasting:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| • Eigen gewicht vloer | 5,0 kN/m ² ; |
| • Eigen gewicht niet dragende wanden | 1,2 kN/m ² ; |
| • Afwerking en diverse belastingen | 1,2 kN/m ² ; |
| • Totale eigen gewicht | 7,4 kN/m ² . |

Voor de vloer is een vaste waarde aangenomen omdat anders voor elke variant de vloeroverspanning en daarbij horende vloerdikte moet worden bepaald. Een belasting van 5,0 kN/m² komt overeen met een massieve betonvloer van 200mm.

4.3.3.2 Veranderlijke belasting

De veranderlijke belasting kan uit verschillende onderdelen bestaan namelijk:

- Belasting door personen en meubilair;
- Belasting door sneeuw en regen;
- Belasting door wind.

Voor de belasting door personen en meubilair geldt voor de functie wonen 1,75 kN/m², de belasting door regen en sneeuw is afhankelijk van het soort dak en of voorzieningen om wateraccumulatie te voorkomen aanwezig zijn. Voor de toren wordt ervan uitgegaan dat dit het geval is tevens zal het dak als platdak worden uitgevoerd, dit geeft een belasting van 1,0 kN/m².

Windbelasting

Uit onderzoek is naar voren gekomen dat bij hoge gebouwen de windbelasting afwijkt van de waarde die in de norm wordt gegeven. Deze afwijking is een onderschatting welke zowel voortkomt uit het onderschatten van de windsnelheden als de windvormfactoren. De onderschatting van de windsnelheid is op een hoogte van 200m 6% voor de gemiddelde windsnelheid en 10% voor de extreme stuwdruk [Woudenberg & Vambersky, 2003]²⁹. De onderschatting van de windvormfactoren is het gevolg van het niet meenemen van de slankheid in de NEN6702, juist voor hoogbouw is de slankheid van grote invloed op hoe de wind om het gebouw stroomt. Bij een slankheid van h/b=5 vindt een onderschatting van 20% plaats [Woudenberg & Vambersky, 2003]²⁹.

Een deel van de onderschatting bij hoogbouw wordt voorkomen door voor de windvormfactoren uit te gaan van de factoren in de NEN-EN1991-1-4. In de NEN6702 worden de volgende factoren aangehouden:

- C_{pe} drukzijde is 0,8;
- C_{pe} zuigzijde is 0,4 [NEN6702, 2001]²⁰.

Terwijl in de NEN-EN1991-1-4 onderstaande factoren worden aangehouden:

- C_{pe} drukzijde is globaal 0,8 of lokaal 1,0;
- C_{pe} zuigzijde is 0,7 [NEN-EN1991-1-4]³⁰.

Omdat naar het totale gebouw wordt gekeken moet voor de vormfactor voor winddruk van de globale factor worden uitgegaan. Dit geeft een verschil van 0,3 ten opzichte van de NEN6702.

Een ander deel van de onderschatting is het gevolg van de onderschatting van de windsnelheid op grotere hoogte. De windsnelheid wordt in de NEN6702 bepaald met het log model.

$$v(z) = u^*/k \ln(z/z_0)$$

- u^* is de wrijvingsnelheid in m/s welke afhankelijk is van het windgebied;
- k is de von karman constante welke gelijk is aan 0,4;
- z is de hoogte in m waarop de windsnelheid wordt bepaald;
- z_0 is de ruwheidlengte in m afhankelijk van het windgebied [NEN6702, 2001]²⁰.

Het atmospheric boundary layer (ABL) model van Deaves and Harris is ook gebaseerd op deze logformule alleen is een parabolische functie aan het model toegevoegd. Deze toevoeging zorgt dat op hogere hoogte een betere benadering van de windsnelheid ontstaat.

$$v(z) = u^*/k (\ln(z/z_0) + 5,75(z/h) - 1,88(z/h)^2 - 1,33(z/h)^3 + 0,25(z/h)^4)$$

- u^* is de wrijvingsnelheid in m/s welke afhankelijk is van het windgebied;
- k is de von karman constante welke gelijk is aan 0,4;
- z is de hoogte in m waarop de windsnelheid wordt bepaald;
- z_0 is de ruwheidlengte in m afhankelijk van het windgebied;
- h is de hoogte in m van de evenwichtshoogte van het windprofiel [Cook, 1997]³¹.

De verschillen die optreden en de stuwdrukwaarde met het model van Deaves and Harris zijn in onderstaande tabel te vinden.

hoogte	Turbulentie intensiteit			Windsnelheid NEN			Windsnelheid D&H			Verschil NEN - D&H			Stuwdrukwaarde
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
10	0,22	0,256	0,285	25,90	22,49	19,72	26,00	22,59	19,82	0,4%	0,4%	0,5%	0,89
20	0,19	0,217	0,238	29,80	26,48	23,62	30,00	26,67	23,82	0,7%	0,7%	0,8%	1,12
30	0,18	0,2	0,217	32,08	28,81	25,90	32,38	29,10	26,20	0,9%	1,0%	1,1%	1,27
40	0,17	0,189	0,204	33,70	30,47	27,52	34,09	30,85	27,91	1,2%	1,3%	1,4%	1,38
50	0,16	0,181	0,195	34,96	31,75	28,78	35,44	32,23	29,26	1,4%	1,5%	1,7%	1,47
60	0,16	0,175	0,189	35,98	32,80	29,80	36,56	33,38	30,38	1,6%	1,8%	2,0%	1,55
70	0,15	0,171	0,183	36,85	33,68	30,67	37,53	34,36	31,35	1,8%	2,0%	2,2%	1,62
80	0,15	0,167	0,179	37,60	34,45	31,42	38,37	35,22	32,19	2,1%	2,2%	2,5%	1,68
90	0,15	0,164	0,175	38,26	35,13	32,08	39,13	36,00	32,95	2,3%	2,5%	2,7%	1,74
100	0,14	0,161	0,172	38,86	35,73	32,68	39,82	36,70	33,64	2,5%	2,7%	3,0%	1,79
110	0,14	0,158	0,169	39,39	36,28	33,21	40,45	37,34	34,27	2,7%	2,9%	3,2%	1,84
120	0,14	0,156	0,167	39,88	36,78	33,70	41,04	37,94	34,86	2,9%	3,1%	3,4%	1,88
130	0,14	0,154	0,165	40,33	37,24	34,15	41,58	38,49	35,40	3,1%	3,4%	3,7%	1,93
140	0,14	0,153	0,163	40,75	37,67	34,57	42,09	39,01	35,91	3,3%	3,6%	3,9%	1,97
150	0,14	0,151	0,161	41,14	38,07	34,96	42,58	39,51	36,40	3,5%	3,8%	4,1%	2,01
160	0,14	0,15	0,159	41,50	38,44	35,32	43,03	39,97	36,85	3,7%	4,0%	4,3%	2,04
170	0,13	0,148	0,158	41,84	38,79	35,66	43,47	40,41	37,29	3,9%	4,2%	4,6%	2,08
180	0,13	0,147	0,156	42,16	39,11	35,98	43,88	40,84	37,70	4,1%	4,4%	4,8%	2,11
190	0,13	0,146	0,155	42,47	39,42	36,29	44,28	41,24	38,10	4,3%	4,6%	5,0%	2,15
200	0,13	0,145	0,154	42,76	39,72	36,58	44,66	41,63	38,48	4,5%	4,8%	5,2%	2,18
210	0,13	0,144	0,153	43,03	40,00	36,85	45,03	42,00	38,85	4,7%	5,0%	5,4%	2,21
220	0,13	0,143	0,152	43,29	40,27	37,11	45,39	42,36	39,21	4,8%	5,2%	5,6%	2,24
230	0,13	0,142	0,151	43,54	40,52	37,36	45,73	42,71	39,55	5,0%	5,4%	5,9%	2,27
240	0,13	0,141	0,15	43,78	40,77	37,60	46,06	43,05	39,88	5,2%	5,6%	6,1%	2,30
250	0,13	0,14	0,149	44,01	41,00	37,83	46,38	43,38	40,20	5,4%	5,8%	6,3%	2,33
260	0,13	0,139	0,148	44,23	41,23	38,05	46,70	43,70	40,52	5,6%	6,0%	6,5%	2,36
270	0,13	0,139	0,147	44,44	41,45	38,26	47,00	44,00	40,82	5,8%	6,2%	6,7%	2,39
280	0,13	0,138	0,146	44,65	41,65	38,47	47,30	44,31	41,12	5,9%	6,4%	6,9%	2,41
290	0,13	0,137	0,145	44,85	41,86	38,67	47,59	44,60	41,41	6,1%	6,6%	7,1%	2,44
300	0,12	0,137	0,145	45,04	42,05	38,86	47,87	44,89	41,69	6,3%	6,7%	7,3%	2,46

Tabel 28: overzicht windsnelheid NEN, windsnelheid Deaves & Harris, verschil NEN en Deaves & Harris en stuwdrukwaarde

Windbelasting model

Om bij het model de windbelasting te bepalen zal de stuwdrukwaarde, C_{dim} en \emptyset_1 bij de betreffende hoogte moeten worden bepaald. Vervolgens kunnen deze waarde samen met de windvormfactoren worden vermenigvuldigd. Omdat met vereenvoudigde modellen wordt gerekend kan de winddruk en windzuiging opgeteld worden tot één windvormfactor, dit geeft een windvormfactor van $0,8 + 0,7 = 1,5$.

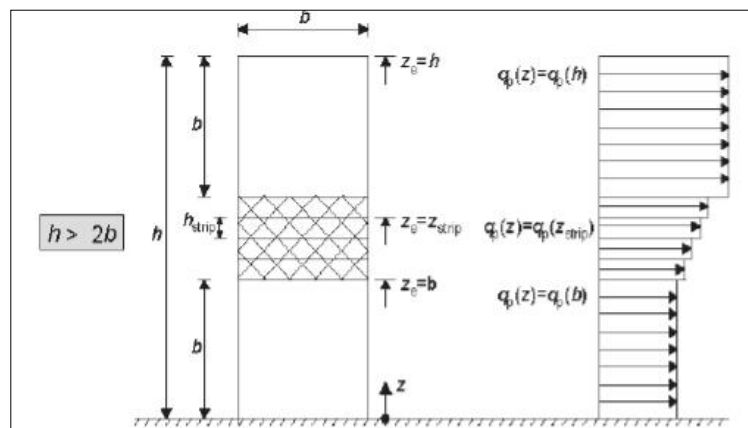
Omdat gebruik wordt gemaakt van een vierkante plattegrond zal de waarde van C_{dim} in beide richtingen hetzelfde zijn en zodoende zal ook de windbelasting gelijk zijn. De \emptyset_1 wordt voor de hoogte waarbij de stuwdrukwaarde wordt berekenend via de NEN6702²⁰ bepaald.

Model	Aantal verdiepingen	Hoogte	Breedte	Lengte	p_w	C_{dim} breedte	C_{dim} lengte	C_t	\emptyset_1	$p_{w,rep}$
Variant 1	22	70,4	28,8	28,8	1,62	0,89	0,89	1,5	1,07	2,31
Variant 2	30	96	28,8	28,8	1,77	0,88	0,88	1,5	1,10	2,58
Vairant 3	42	134,4	28,8	28,8	1,95	0,87	0,87	1,5	1,15	2,93

Tabel 29: windbelasting varianten model

De in de tabel gevonden windbelasting is niet de belasting die over de hele gebouwhoogte moet worden toegepast. Volgens de Eurocode mag indien de hoogte groter is dan de breedte een reductie van de windbelasting worden toegepast [NEN-EN1991-1-4]³⁰.

Deze reductie houdt in dat vanaf de grond over een hoogte gelijk aan de breedte de windbelasting moet worden aangehouden die hoort bij de hoogte gelijk aan de breedte. Vanaf de top gezien moet over de breedte omlaag de windbelasting worden aangehouden die gelijk is aan de hoogte bij de top. Tussen deze twee windbelastingen in vindt een lineair verloop plaats.



Figuur 56: stuwdrukwaarde afhankelijk van de hoogte en breedte [NEN-EN1991-1-4]³⁰

De windbelasting is naast de stuwdrukwaarde ook afhankelijk van de C_{dim} en \emptyset_1 , er gelden de volgende waarde:

Model	Hoogte	p_w	C_{dim}	C_t	\emptyset_1	$p_{w,rep}$
Variant 1	28,8	1,25	0,89	1,5	1,02	1,71
Variant 2	28,8	1,25	0,88	1,5	1,02	1,69
Variant 3	28,8	1,25	0,87	1,5	1,02	1,67

Tabel 30: gereduceerde windbelasting voor varianten als gevolg van slankheid

4.3.3.3 Belastingfactoren, momentaanfactoren en belastingcombinaties

Voor de belastingfactoren wordt uitgegaan van veiligheidsklasse 3 en een referentieperiode van 50 jaar. Dit betekent de volgende belastingfactoren:

- Permanente belasting $\gamma_g = 1,2;$
- Veranderlijke belasting $\gamma_q = 1,5;$
- Alleen permanente belasting $\gamma_g = 1,35;$
- Gunstig werkende permanente belasting $\gamma_g = 0,9.$

Op een gebouw kunnen meerdere veranderlijke belastingen werken maar deze hoeven niet tegelijkertijd te werken. Momentaanfactoren geven aan in hoeverre de belasting met andere belastingen moet worden gecombineerd. Deze momentaanfactoren zijn als volgt:

- Regen en sneeuw: $\psi_s = 0,0;$
- Personen en meubilair: $\psi_p = 0,4;$
- Wind: $\psi_w = 0,0.$

Met deze factoren worden de belastingcombinaties opgesteld. Afgeleid kan worden dat bij een belasting door wind of regen en sneeuw de belasting door personen en meubilair voor 40% moet worden meegenomen. Indien belasting door personen en meubilair volledig wordt meegenomen hoeft geen belasting door wind of regen en sneeuw te worden meegenomen.

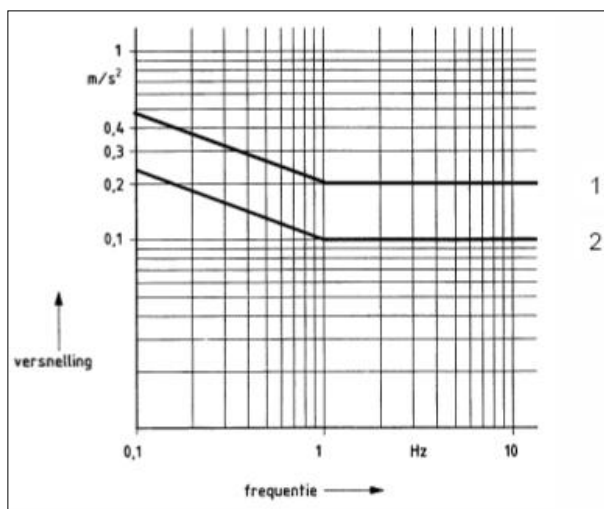
Bij het bepalen van de verticale belasting geldt tevens dat de belasting maar op één verdieping volledig moet worden meegenomen en deze op de andere verdiepingen momentaan mag worden meegenomen.

4.3.3.4 Uitbuiging en trilling

Naast de sterkte zitten aan een gebouw ook eisen aan de uitbuiging en de trilling. Met de eis voor de uitbuiging wordt de benodigde stijfheid van het gebouw bepaald. Deze eis moet voorkomen dat niet constructieve elementen beschadigen door vervormen en zorgt ervoor dat op hoogte niet te grote uitbuigingen ontstaan waardoor mensen deze verdiepingen niet zouden durven bezoeken.

De maximale uitbuiging aan de top moet kleiner zijn dan $h/500$.

Daarnaast geldt nog een eis welke gerelateerd is aan de trilling van het gebouw. Deze eis is van belang voor de belevingswaarde en moet voorkomen dat men het gevoel heeft continu te bewegen. Voor woningbouw is deze eis strenger dan voor utiliteitsbouw omdat in woningbouw ook geslapen wordt, in slaaphouding is het lichaam namelijk het meest gevoelig voor het opmerken van beweging. De versnelling moet worden berekend aan de hand van de norm en deze moet kleiner zijn dan een maximale versnelling welke afhankelijk is van de eigen frequentie van het gebouw $[NEN6702, 2001]^{20}$.



Figuur 57: begrenzingeis voor de versnelling door wind in verblijfsruimte $[NEN6702, 2001]^{20}$

4.3.4 Uitwerking rekenmodellen

Nu het model en de belastingen bekend zijn is het mogelijk om de rekenmodellen voor de verschillende stabiliteitsystemen op te stellen. In de rekenmodellen zal niet alleen het stabiliserend element worden bepaald maar ook de benodigde kolommen, gevelkolommen, liggers en het aantal palen dat benodigd is. Dit alles is gedaan met behulp van Excel spreadsheets voor de verschillende constructieonderdelen. In het onderdeel rekenmodellen van de bijlage zijn de standaardberekeningen voor de constructieonderdelen terug te vinden. De stabiliteitsystemen zullen worden bekeken in zowel staal als beton en daarnaast zal ieder systeem worden bekeken met een uitvoering van een stalen en een betonnen kolom liggerstructuur. Ook de minder logische combinaties zoals, een stalen stabiliteitsysteem met een betonnen kolom liggerstructuur, zijn bekeken.

Hieronder volgen voor de verschillende constructie onderdelen de belangrijkste aannames voor de berekening.

4.3.4.1 Kolom

Voor de kolommen is uitgegaan van één mogelijkheid om de doorsnede te verjongen. Het element wordt vervolgens ter plaatse van de verjonging en bij de begane grond op sterkte gecontroleerd.

Voor het staal is deze controleberekening gebaseerd op een knikberekening gecombineerd met een buigend moment als gevolg van de scheefstand.

Een milieuklasse van 1 zou gezien de toepassing van het beton voldoen, in verband met de brandwerendheid, van 120 minuten, voor hoogbouw is milieuklasse 2 aangehouden. Dit betekent dat voor de dekking, d , een waarde van 35mm moet worden aangehouden. Voor de grootste korreldiameter van het beton wordt uitgegaan van 32mm.

Voor de berekening van de kolommen zal gebruik worden gemaakt van de GTB grafieken.

De kolommen krijgen grote normaalkrachten te verwerken in combinatie met kleine excentriciteiten. Dit wetende is gekozen om de kolomwapening alzijdig toe te passen.

Vanwege de uitvoering moet na bepalen van de wapening gecontroleerd worden of de hart op hart afstand van de wapening niet te klein is.

4.3.4.2 Ligger

Voor de betonnen liggers wordt ook van milieuklasse 2 uitgegaan en als dekking moet een waarde van 30mm worden aangehouden.

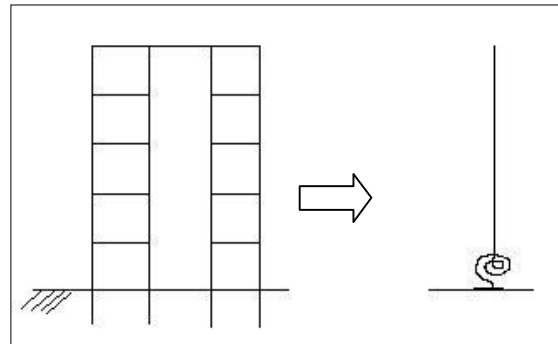
De benodigde wapening wordt bepaald met behulp van de GTB tabellen. Nadat de wapening is bepaald moet gecontroleerd worden of de scheurvorming binnen de eisen blijft. Dit wordt gedaan door een controle van of de spanning in de wapening of de maximale hart op hart afstand van de wapening. Tevens moet de minimale hart op hart afstand ook hier worden gecontroleerd.

Voor de staalvariant is uitgegaan van THQ liggers. Het voordeel hiervan is dat een zo'n groot mogelijke vrije hoogte wordt bewerkstelt omdat de ligger zich tussen de vloer bevindt. Op deze wijze is het profiel niet kip gevoelig en kan de controle beperkt worden tot een standaarddoorsnede en doorbuiging controle. Hierbij is de sterkte als maatgevend genomen en zal een zeeg worden toegepast indien de doorbuiging te groot wordt.

4.3.4.3 Stabiliteitsystemen

Voor de stabiliteitsystemen is ook één mogelijkheid om te verjongen in de berekening meegenomen. Wederom zal een controle op sterkte ter plaatse van de verjonging en op de begane grond plaats vinden.

Voor de stabiliteitsystemen geldt dat een vereenvoudiging van het werkelijkheid plaats vindt. Deze vereenvoudiging is zodanig dat het model een staaf met een verende inklemming wordt. De windbelasting wordt hierbij in plaats van als puntlast per verdieping als q-last op de staaf aangenomen.



Figuur 58: vereenvoudiging kern

De grote van deze verende inklemming is afhankelijk van de paalfundering onder het stabiliserend element. Voor de stijfheid van de palen bij wind is een stijfheid, k , van 200.000 kN/m aangenomen. Als gevolg van de windbelasting zal aan één zijde van het stabiliserend element druk ontstaan en aan de andere zijde trek. Indien deze trek niet door het eigen gewicht op de kern wordt opgeheven moeten trekpalen worden toegepast.

Voor trekpalen is aangenomen dat de maximale belasting, dus trek, 600kN per paal mag zijn. Voor de palen is als maximale drukbelasting een waarde van 5.000kN aangehouden, voor veel varianten blijkt deze waarde een stuk lager te liggen.

Om met een gelijkmatige verdeling van de belasting over de kern te kunnen rekenen is in de rekensheets gewerkt met een vloeroverspanning welke in de kern 90 graden is gedraaid ten opzichte van de vloeroverspanning buiten de kern. In de praktijk zal spreiding vanuit de hoek van de kern en liggers waar de vloeren in opliggen zorgen voor de spreiding van de vloerbelasting over de volledige kern. Om rekening te houden met ruimte voor trappen en liften is er aangenomen dat van het vloeroppervlak in de kern 30% open is.

4.3.4.4 Stijfheden stabiliteitsystemen

Als in beton wordt geconstrueerd is de stijfheid van het beton nog al eens punt van discussie omdat rekening moet worden gehouden met lange termijneffecten en openingen in het stabiliteitsstelsel welke het element verzwakken en piekspanningen kunnen geven.

Om hier rekening mee te houden is gekozen om de elasticiteitsmodulus van de kolommen en liggers met 20% te reduceren. Voor de stabiliteitsystemen wordt een reductie van 30% van de elasticiteitsmodulus aangehouden omdat deze een grotere kans op scheuren hebben.

Zoals gezegd moet ook rekening gehouden worden met verzwakking van het element als gevolg van mee te nemen openingen. Voor de stabiliteitsystemen wordt dit gedaan door de elasticiteitsmodulus met een factor 0,8 te vermenigvuldigen.

De buis is een wat specialer type stabiliteitsstelsel omdat deze in de gevel aanwezig is en daardoor meer openingen bevat. Een factor voor gatverzwakking van 0,8 is niet genoeg en deze factor is aangenomen op 0,6. Als gevolg van de penant balkstructuur die ontstaat zal niet alleen de gatverzwakking moeten worden terug gebracht ook treedt een versterking van de stijfheid in de penanten op. Daarom wordt de elasticiteitsmodulus in plaats van met 30% met 50% gereduceerd.

Indien in staal wordt geconstrueerd geldt voor het stabiliteitsystemen dat geen dichte wanden worden gebruikt maar diagonalen welke vakwerken vormen. De windbelasting wordt door zowel de kolommen als de diagonalen opgenomen. Bij het bepalen van de uitbuiging is naast de buigstijfheid van de kolommen ook de stijfheid van het vakwerk een belangrijk element. Deze stijfheid wordt bepaald aan de hand van de afschuifstijfheid. Bij de bepaling van deze stijfheid is uitgegaan van X- vakwerken en voor de afschuifstijfheid GA geldt.

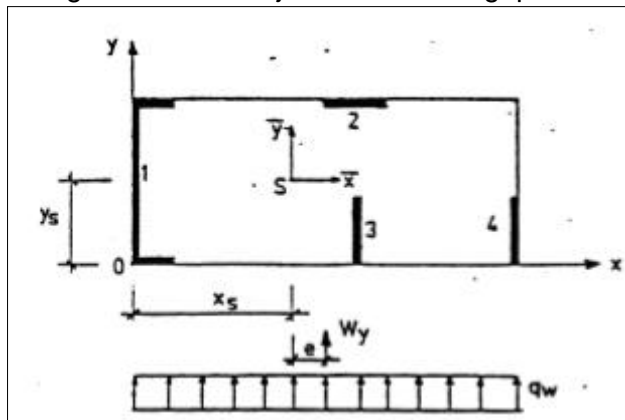
$$GA_x = 2a^2hEA_d / d^3 \text{ [Hoenderkamp, 2004]}^{56}$$

Schijf

Om een gebouw te stabiliseren zijn in twee richtingen schijven nodig, dit betekent dat in één richting de schijven belast zijn met eigen gewicht en de vloer en in de andere richting met alleen het eigen gewicht. Veelal zullen per richting meerdere schijven worden toegepast en

belangrijk wordt de bepaling van de verdeling van de windbelasting over de verschillende schijven. Deze verdeling wordt bepaald door te kijken naar het traagheidsmoment van een schijf ten opzichte van de som van de traagheidsmomenten.

Indien het rotatiepunt van de schijven niet samenvalt met de belastingslijn van de wind zal het gebouw willen torderen. Als gevolg van het torsie moment wat ontstaat werken de schijven in de andere richting nu ook mee om de windbelasting op te nemen. In de rekenmodellen zijn de wanden zo geplaatst dat het rotatiepunt en de belastingslijn samenvallen.



Figuur 59: voorbeeld van een plattegrond waarbij het rotatiepunt en de belastingslijn niet samenvallen [Walraven, 2007]⁵⁵

Kern met schijf

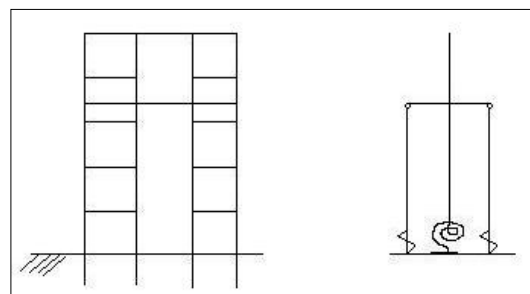
Als een kern met schijven wordt toegepast zal de kern ook moeten worden meegenomen in de bepaling van de verdeling van de windbelasting. Doordat de afmeting van de kern groter is dan de schijven zal het traagheidsmoment van de kern een stuk groter zijn en als gevolg hiervan trekt de kern automatisch meer belasting naar zich toe.

Overdrachtconstructie

Een overdrachtconstructie bestaat uit een kern met op een bepaalde hoogte een outrigger. In het deelrapport stabiliteitsystemen is naar voren gekomen dat de meest gunstige plek voor een outrigger op 2/3 van de hoogte is en gekozen is om de outrigger dan ook op deze hoogte toe te passen. Als gevolg hiervan gaan de gevelkolommen meewerken om de stabiliteit te verzorgen. Net als bij de kern komt de ene zijde van de gevel onder druk te staan terwijl de andere zijde van de gevel onder trek komt. Vanwege deze samenwerking verandert de eerder gegeven vereenvoudiging in het model zoals hiernaast weergegeven.

Tevens zorgen de verschillende stijfheden ervoor dat een berekening met behulp van Excel erg lastig wordt en daarom zal de krachtsverdeling en uitbuiging met behulp van Technosoft worden bepaald. De controle van het systeem wordt vervolgens in Excel gedaan.

Voor de outrigger zal worden uitgegaan van een stalen vakwerk. Dit vakwerk wordt in Technosoft als één staaf geschematiseerd waarbij het traagheidsmoment wordt bepaald door de formule van Steiner voor de randprofielen toe te passen.



Figuur 60: vereenvoudiging overdrachtconstructie

Buis

Een buis is als het ware een kern alleen dan in de gevel en dus zal rekening moeten worden gehouden met raamopeningen. In staal wordt uitgegaan van een geschoorde buis en zullen de raamopeningen geen probleem zijn.

In beton wordt uitgegaan van een raamwerkbuis en geldt dat de hoeveelheid openingen kleiner of gelijk moet zijn aan 30% van de gevel. Gekozen is voor ramen van 2m x 2m met hiertussen penanten van 1,8m en bij de hoeken een penant van 2m. Op deze manier ontstaat een gevel welke voor 30% open is.

Voor de berekening van de spanningen uit buiging worden alleen de penanten meegenomen en de betonbalken boven de ramen worden verwaarloosd.

In de hoeken steunen de raamwerken elkaar waardoor de hoeken stijver zijn dan de penanten in het midden van het gebouw. Dit heeft tot gevolg dat shear lag optreedt wat spanningsconcentraties in de hoek tot gevolg heeft. Naast de standaard spanningscontrole moet op deze spanningsconcentraties worden gecontroleerd.

4.3.4.5 Duurzaamheid rekenmodel

Uit de literatuurstudie is naar voren gekomen dat de bouwduurzaamheid van de verschillende varianten zal worden bepaald met behulp van het TWIN model. Het TWIN model heeft als voordeel dat de milieueffecten welke in de levenscyclus analyse niet worden meegenomen ook worden meegenomen zodat een erg completer model ontstaat. Om vanuit de milieueffecten een uitspraak te kunnen doen over de duurzaamheid is een aggregatie nodig om verschillende materialen met elkaar te kunnen vergelijken. In het TWIN model wordt dit automatisch gedaan door de milieueffecten te monetariseren waarna de verborgen milieukosten per kilogram functionele eenheid worden gegeven.

In dit onderzoek is de functionele eenheid één kilogram staal of gewapend beton. In berekeningen zijn deze materialen in verschillende sterkteklasse toe te passen. Maar in de bepaling van de milieukosten zit geen verschil tussen de milieukosten per kilogram voor S235 of S355 en B25 of B35 en hoger. Voor het gewapend beton moet echter wel onderscheid worden gemaakt in kolommen en liggers, wanden kern en schijf, wanden buis en vloeren. Dit is nodig omdat de functionele eenheid van gewapend beton bestaat uit beton en een bepaalde hoeveelheid wapeningstaal welke verschilt voor deze onderdelen.

Als verhouding wapening ten opzichte van beton zijn onderstaande gegevens aangehouden:

- Kolommen en liggers 90 kg/m³ [www.bouwkostenonline.nl]³⁷;
- Wanden kern en schijf 200 kg/m^{3,9}
- Wanden buis 140 kg/m^{3,9}
- Vloeren 85 kg/m³ [www.bouwkostenonline.nl]³⁷.

De totale milieukosten van een variant is te bepalen door de hoeveelheid materiaal van een variant te vermenigvuldigen met de milieukosten per kilogram. Hierin worden de vloeren buiten beschouwing gelaten omdat alleen een eigen gewicht is aangenomen. De aan te houden milieukosten per kilogram zijn:

- Staal 0,3181 €/kg;
- Beton kolommen en liggers 0,0356 €/kg;
- Beton wanden kern of schijf 0,0491 €/kg;
- Beton wande buis 0,0417 €/kg.

⁹ Opgave Pim Peters IMd Raadgevende Ingenieurs te Rotterdam

Recyclen

Als de milieukosten van staal en beton met elkaar worden vergeleken blijken deze voor beton erg laag, ongeveer een factor 10 lager, uit te vallen. Dit verschil is zo groot dat de milieukosten duidelijk in het voordeel van het beton uitvallen. Dit terwijl juist staal gepromoot wordt als een erg duurzaam materiaal onder andere omdat het goed te recyclen is [<http://www.bouwenmetstaal.nl>]⁶⁴.

De recyclebaarheid van de materialen wordt echter niet meegenomen in de milieukosten, terwijl hiervoor tussen staal en gewapend beton een groot verschil optreedt. Het gewapende beton moet eerst gebroken worden om het wapeningstaal van het beton te scheiden alvorens het apart van elkaar gerecycled kan worden. Het breken van beton is dus een onmisbare handeling welke extra kosten met zich meebrengt. In de milieukosten wordt wel uitgegaan van recycling maar worden deze extra kosten niet meegenomen en daarom is gekozen deze kosten mee te nemen. De milieukosten geven in dit onderzoek niet de zuivere milieukosten weer maar de milieukosten inclusief de kosten om de recycling mogelijk te maken. De extra kosten voor het recyclen zijn bepaald door te kijken naar de sloopkosten van staal en beton zonder daarin arbeid mee te nemen.

Voor deze kosten worden de volgende gegevens gevonden:

- Beton 18,13 €/m³;
- Staal 3,48 €/ton [www.bouwkostenonline.nl]³⁷.

Omerekend in de kosten per functionele eenheid levert dit de volgende waarde op:

- Beton 0,0075 €/kg;
- Staal 0,00348 €/kg.

Dit geeft de volgende milieukosten waarin het rekenmodel mee zal worden gerekend:

- Staal 0,32158 €/kg;
- Beton kolommen en liggers 0,04315 €/kg;
- Beton wanden kern en schijf 0,0566 €/kg;
- Beton wanden buis 0,0492 €/kg.

4.3.4.6 Kosten rekenmodel

In de literatuurstudie zijn per kilogram materiaal de volgende kengetallen naar voren gekomen:

- Staal 1,19 €/kg;
- Beton kolom 0,365 €/kg;
- Beton wand kern en schijf 0,273 €/kg;
- Beton wand buis 0,229 €/kg.

Door van de varianten de hoeveelheid materiaal in kilogrammen uit te drukken zijn de kosten voor de draagconstructie te bepalen. Om de torens welke verschillende hoogtes hebben op het gebied van kosten en milieukosten met elkaar te kunnen vergelijken is gekozen om de kosten per verdieping te bekijken in plaats van voor de hele toren. Het BVO van alle verdiepingen is gelijk echter is de invulling hiervan als gevolg van het gekozen stabiliteitsysteem en de benodigde hoeveelheid verticaal transport verschillend. Daarom zal naar het verhuurbaar vloeroppervlak (VVO) wat het BVO min de oppervlakte van het interne stabiliteitsysteem en de oppervlakte voor het verticaal transport is, moeten worden gekeken

De oppervlakte van het verticaal transport is bepaald als 30% van de gemiddelde vloeroppervlakken voor de betonnen kern. Dit resulteert in de volgende waarde:

- Hoogte 70,4m 30m²;
- Hoogte 96m 50m²;
- Hoogte 134,4m 77m².

Bouwtijd

Over het algemeen geldt dat in staal sneller wordt gebouwd dan in beton [Stichting Bouwresearch, 1988]⁵. Dit vertaalt zich in hogere investeringskosten voor de betonvariant omdat dit doorwerkt in de bouwplaatskosten. Omdat naar de constructiekosten wordt gekeken wordt deze invloed nu niet meegenomen. Het is reëel om dit verschil wel mee te nemen omdat de stalen en betonnen stabiliteitsystemen met elkaar zullen worden vergeleken. Daarom zal voor de betonvarianten extra kosten worden meegenomen welke gebaseerd zijn op de bouwenergie en de huur van een torenkraan.

Per week zijn deze kosten:

- Bouwenergie 115 €/week;
- Huur torenkraan 2970 €/week [www.bouwkostenonline.nl]³⁷.

Voor het bepalen van de bouwtijd wordt gebruik gemaakt van een studie van Boele & van Eesteren welke in opdracht van de opdrachtgever van het referentieproject is gedaan. In deze studie komt naar voren dat voor dit project bij een hoogte van 135m op de volgende bouwtijd moet worden gerekend:

- In het werk gestort 40 maanden;
- Staal 34 maanden [Boele&van Eesteren]⁵³.

Voor de betonvarianten van 135m hoog zal 26 weken aan extra bouwplaatskosten worden meegenomen. Voor de varianten van 70m en 96m hoog wordt aangenomen dat dit respectievelijk 18 en 22 weken aan extra bouwplaatskosten zijn.

4.3.4.7 Flexibiliteitsratio rekenmodel

De flexibiliteitsratio is een ratio die tijdens het afstuderen ontwikkeld is en wordt gebruikt om de flexibiliteit van de draagconstructie van de verschillende varianten aan te geven. De ratio geeft als het ware, rekening houdend met de constructie, de vrije indeelbaarheid van de plattegrond weer.

Dit wordt gedaan door uit de plattegrond van de variant de oppervlakte van de constructie onderdelen te bepalen. Dit oppervlak wordt gedeeld door het BVO en zo ontstaat de constructieratio. Een volledig vrije plattegrond heeft een flexibiliteitsratio van 100%, door hier de constructieratio vermenigvuldigt met de factor voor de vrije indeelbaarheid vanaf te trekken wordt de flexibiliteitsratio van de variant gevonden. In formule vorm geeft dit het volgende:

$$\%_{\text{flex}} = 1 - \sum(\%_{\text{constr}} * \zeta) - \%_{\text{vert}} * \zeta$$

De aan te houden factor voor de vrije indeelbaarheid is bepaald door middel van een case studie en dit heeft de volgende factoren opgeleverd:

- Plattegrond splitsende betonnen schijven 15;
- Beperkt plattegrond splitsende betonnen schijven 10;
- Korte betonnen schijven 5;
- Stalen schijven 5;
- Kern 2,75;
- Overdrachtschijf staal 5;
- Verticaal transport in kern 0,75;
- Verticaal transport buiten kern 1,5;
- Kolommen 1,5*10/hoh.

4.3.4.8 Vergelijken rekenmodellen

Het rekenmodel levert voor ieder stabiliteitsysteem bij de verschillende hoogte een systeem met andere afmetingen en eigenschappen op. Dit betekent dat gezorgd moet worden dat bij het vergelijken van de stabiliteitsystemen deze verschillen worden opgeheven. In paragraaf 3.3.4.6 Kosten is al aangegeven hoe gezorgd wordt dat de kosten van de verschillende hoogtes vergelijkbaar met elkaar worden gemaakt.

Niet alleen in de hoogte is een verschil aanwezig ook de stabiliteitsystemen verschillen dusdanig van elkaar dat zonder bewerking geen vergelijking mogelijk is. Zo is een buis in de gevel aanwezig en verzorgt zodoende naast zijn constructieve functie meteen de functie van binnenspouwblad. De kern daarentegen vormt met zijn schijven een soort van afscheiding rondom het verticaal transport en deze binnenwanden ontbreken weer bij de buis. Om deze systemen met elkaar te kunnen vergelijken zal daarom voor de systemen niet buis zijnde een binnenspouwblad moeten worden meegenomen en voor de buis zal een binnenwand rondom het verticaal transport mee moeten worden genomen.

Dit is echter niet het enige verschil wat optreedt als de varianten worden vergeleken, tussen de uitvoering van het stabiliteitsystemen in staal of beton zit ook een verschil. Een betonnen stabiliteitsysteem werkt veelal met schijven wat betekent dat dichte wanden aanwezig zijn. Maar voor een stalen stabiliteitsysteem wordt veelal met vakwerken gewerkt en dit betekent dat diagonalen in een portaal worden gebruikt. Op de plek waar stalen vakwerken aanwezig zijn zal om een vergelijking met beton mogelijk te maken ook binnenwanden moeten worden geplaatst.

Naast de wanden die moeten worden meegenomen om de systemen te kunnen vergelijken moet voor de stalen stabiliteitsystemen dus ook een wand ter plaatse van het stabiliteitsysteem worden meegenomen.

Binnenwand

Voor de binnenwand en het binnenspouwblad is uitgegaan van een niet dragende houtskeletbouw wand in de vorm van een OSB wand verkregen uit duurzame bosbouw.

Voor deze wand geldt voor de kosten en milieukosten:

- Kosten OSB wand 23,13 €/m² [www.bouwkostenonline.nl]³⁷;
- Milieukosten OSB, duurzame bosbouw 1,08 €/m² [Haas,2008]⁹.

Fundering

Bij de resultaten wordt uiteindelijk naar één variant per hoogte per stabiliteitsysteem gekeken. In de kostenberekening van deze systemen is nog geen kosten voor de fundering meegenomen, wel is aangegeven wat het aantal benodigde palen is. Omdat dit aantal zowel per hoogte als per stabiliteitsysteem verschilt zal aan de hand van de paalbelasting van de systemen een kostenpost per paal worden meegenomen. Deze kosten zijn meegenomen in de integrale totale kosten. Bij het bepalen van de kosten zijn vibro palen met een lengte van 20m aangenomen. Via Dave Maas van Verstralen is een indicatie van de prijs per meter verkregen. Een paal met een draagkracht van 5.000kN is erg zwaar en om deze vergelijkbaar te maken met de andere was het advies om uit te gaan van een paal met draagkracht 4.000kN en het aantal palen met 25% te verhogen. Voor de berekening komt dit echter op hetzelfde neer als een prijs per meter met 25% verhogen. Indien palen met een trekbelasting van rond de 600kN nodig zijn wordt uitgegaan van de kosten voor een paal met een paalbelasting van 4.000kN.

Paalbelasting	Kosten
2000 kN	€ 1.000,00
3000 kN	€ 1.200,00
4000 kN	€ 1.500,00
5000 kN	€ 1.875,00

Tabel 31: kosten per paal bij paalbelastingen [Dave Maas van Verstralen]

4.3.5 Resultaten rekenmodel

In het rekenmodel is voor de genoemde stabiliteitsystemen: schijf, kern, kern met schijf, overdrachtschijf en gevelbuis gekeken naar de prestaties bij een hoogte van 70,4m, 96m en 134,4m. Voor de stabiliteitsystemen zijn bij de genoemde hoogte meerdere varianten uitgewerkt. Deze varianten kenmerken zich door variërende afmetingen van het stabiliteitsysteem en de overspanning van vloeren en liggers.

In voorgaande paragraaf is aangegeven dat, om een vergelijking van de verschillende systemen mogelijk te maken, binnenwanden en binnenspouwbladen moeten worden meegenomen op de plek waar andere systemen hun stabiliteitsysteem hebben. De gevelbuis, kern en overdrachtschijf lijken voldoende op elkaar zodat het mogelijk is om deze wanden mee te nemen. De plattegronden van de schijf of kern met schijf hebben op telkens andere plekken schijven staan wat het een moeilijke exercitie maakt om op een goede manier voor de andere drie stabiliteitsystemen binnenwanden mee te nemen. Daarom is ervoor gekozen om alleen de resultaten van de kern, overdrachtschijf en buis met elkaar te vergelijken.

Door de extra kosten die nodig zijn om de stabiliteitsystemen met elkaar te kunnen vergelijken gaat een duidelijk beeld van de constructiekosten enigszins verloren. Zoals in onderstaande tabel te zien is gaat door het meenemen van binnenwanden en palen de integrale totale kosten met ongeveer €10.000,- per verdieping omhoog.

Kern	Zonder wanden en palen	Zonder wanden	Met wanden en palen
Totaal aantal palen	86	86	86
Milieukosten	€ 7.410,97	€ 7.410,97	€ 7.704,16
Kosten	€ 44.363,27	€ 44.363,27	€ 50.859,47
Integrale kosten	€ 51.774,24	€ 51.774,24	€ 58.563,63
Extra bouwplaatskosten	€ 2.524,09	€ 2.524,09	€ 2.524,09
Integrale totale kosten	€ 54.298,34	€ 58.207,43	€ 64.996,81
Flexibiliteitsratio	93%	93%	93%

Tabel 32: vergelijking kosten kern 70,4m zonder wanden en palen, zonder wanden en met wanden en palen

4.3.5.1 Resultaten per hoogte

Beton

Als bij beton in de hoogte richting de verschillende stabiliteitsystemen worden vergeleken springt de betonnen buis voor de kosten eruit. Ook de overdrachtconstructie valt op, waar bij een hoogte van 70,4m of 96m dit systeem nog als tweede presteert zijn de prestaties bij 134,4m veruit het slechts. Voor de duurzaamheid geldt dat de overdrachtconstructie bij 70,4m de laagste milieukosten heeft, daarna stijgen deze kosten net zo als de constructiekosten drastisch ten opzichte van de andere twee stabiliteitsystemen. Een verklaring voor deze stijging kan de stalen outrigger zijn welke meer materiaal nodig heeft. De werking van een outrigger is dat door plaatselijk meer materiaal toe te passen een verlaging van het benodigde materiaal voor de kern optreedt. Het verschil in kosten voor staal en beton is echter zo groot dat dit positieve effect niet terug te zien is in de milieukosten. De duurzaamheid van buis en kern mogen met een maximaal verschil van € 650,- per verdieping voor een toren van 134,4m als gelijk aan elkaar worden gezien. Dus presteren beide het beste als het om de duurzaamheid gaat.

Naar de integrale totale kosten kijkend kan gezegd worden dat de buis duidelijk in het voordeel is ten opzichte van de andere stabiliteitsystemen.

Voor de betonnen stabiliteitsystemen zijn de verschillen tussen de flexibiliteitsratio's klein, toch valt het volgende op te merken. Bij een hoogte van 70,4m is de overdrachtconstructie het meest flexibel, dit komt voornamelijk door de combinatie van een grote vloeroverspanning, dus weinig interne kolommen, en een relatief kleine kern. Voor 96m hoogte hebben de buis en kern samen de grootste flexibiliteit en voor een hoogte van 134,4m heeft de kern de hoogste flexibiliteit. Hier zou echter verwacht worden dat de buis, welke alleen interne kolommen heeft, de beste resultaten zou behalen. Dat de kern een hogere flexibiliteit dan de buis behaalt is toe te schrijven aan twee factoren die voor een manco in het model zorgen. In de praktijk zal voor een hoogte van 134,4m het systeem met de kern niet worden toegepast. In Nederland zijn eisen gesteld aan de daglicht toetreding en hier is de oppervlakte van de kern zo groot dat veel ruimte in de kern ongebruikt zal blijven. In de flexibiliteitsratio is geen beperking voor de kernafmeting opgenomen, om dit probleem te voorkomen moet dit wel gedaan worden. Het andere element dat aan de kern als meest flexibele betonnen stabiliteitsysteem bijdraagt is de factor voor de vrije indeelbaarheid van de kolommen. De plattegronden bekijken lijken interne kolommen een te groot negatief effect op de flexibiliteit te hebben. Deze factor is zelf opgesteld en om dit effect op te heffen is diepgaander onderzoek naar de invloed van interne kolommen nodig.

Staal

Als voor de stalen varianten in de hoogte richting de stabiliteitsystemen worden vergeleken is overduidelijk te zien dat de overdrachtconstructie veruit het beste presteert.

De overdrachtconstructie heeft voor alle hoogtes de laagste integrale totale kosten. Een verklaring voor dit verschil ten opzichte van de prestaties bij de betonnen stabiliteitsystemen kan zijn dat de kern en outrigger nu van hetzelfde materiaal zijn en dus met hetzelfde kengetal worden vermenigvuldigd. Als gevolg hiervan komt de materiaalbesparing van de outrigger duidelijker naar voren.

Ook valt in negatieve zin de uitschieter van de buis bij een hoogte van 70,4m op, een verklaring hiervoor kan zijn dat deze hoogte eigenlijk te laag is voor dit systeem en dat daardoor erg veel staal wordt gebruikt. Bij een hoogte van 96m en 134,4m liggen de integrale totale kosten van de buis en kern dicht bij elkaar. Zoals ook te verwachten is vanuit de theorie wordt de buis bij toenemende hoogte voordeliger dan de kern.

Dat de overdrachtconstructie een gunstiger materiaalgebruik heeft is ook duidelijk terug te zien in de milieukosten welke bij een stijgende hoogte ten opzichte van de buis en kern alleen maar gunstiger worden. De buis is in staal het stabiliteitsysteem met de slechtste milieukosten en dus materiaalgebruik.

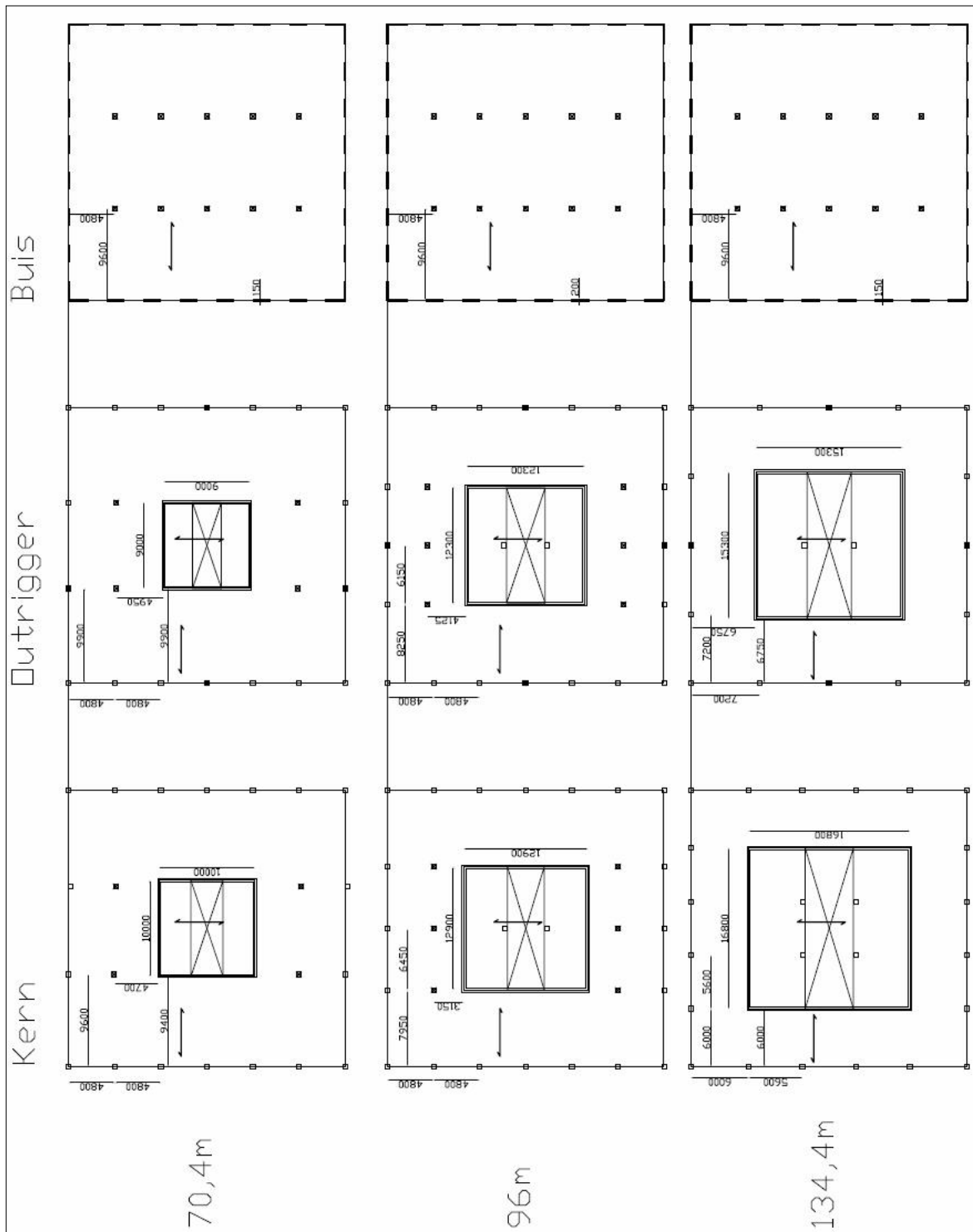
Met toenemende hoogte zijn de verschillen voor de flexibiliteitsratio in staal veel groter dan bij de betonnen stabiliteitsystemen. De beste flexibiliteit wordt gevonden bij de overdrachtconstructie. Een verklaring voor deze verschuiving is dat in staal voor dit systeem een kleinere kern benodigd is.

	Hoogte	Kern	Outrigger	Buis
Aantal palen	70,4	86	84	56
Milieukosten		€ 7.704,16	€ 6.803,20	€ 7.874,90
Kosten		€ 50.859,47	€ 47.913,27	€ 41.862,75
Integrale kosten		€ 58.563,63	€ 54.716,47	€ 49.737,65
Extra bouwplaatskosten		€ 2.524,09	€ 2.524,09	€ 2.524,09
Integrale totale kosten		€ 64.996,81	€ 61.058,74	€ 55.316,29
Flexibiliteitratio		93%	96%	94%
Aantal palen	96	124	96	72
Milieukosten		€ 10.243,84	€ 14.180,25	€ 10.535,97
Kosten		€ 64.181,31	€ 63.832,63	€ 55.222,49
Integrale kosten		€ 74.425,15	€ 78.012,88	€ 65.758,46
Extra bouwplaatskosten		€ 1.851,00	€ 1.851,00	€ 1.851,00
Integrale totale kosten		€ 81.236,15	€ 83.703,88	€ 71.209,46
Flexibiliteitratio		90%	89%	90%
Aantal palen	134,4	160	116	123
Milieukosten		€ 14.223,29	€ 15.948,83	€ 13.578,53
Kosten		€ 84.939,79	€ 99.609,10	€ 70.949,52
Integrale kosten		€ 99.163,08	€ 115.557,93	€ 84.528,05
Extra bouwplaatskosten		€ 1.322,14	€ 1.322,14	€ 1.322,14
Integrale totale kosten		€ 106.199,51	€ 121.022,93	€ 91.341,26
Flexibiliteitratio		86%	84%	85%

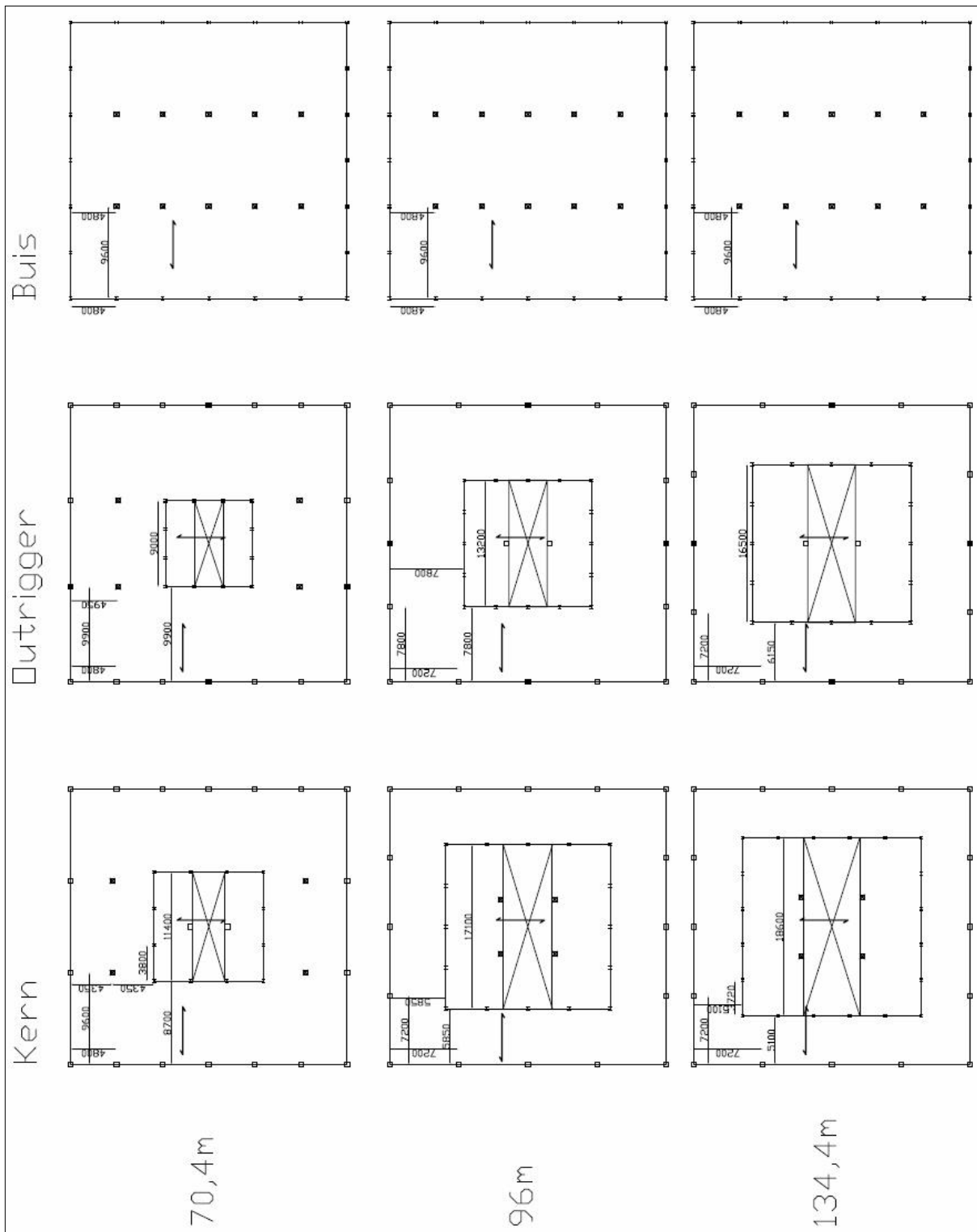
Draagsysteem staal

	Hoogte	Kern	Outrigger	Buis
Aantal palen	70,4	112	104	72
Milieukosten		€ 9.197,26	€ 8.506,35	€ 11.524,87
Kosten		€ 51.656,79	€ 49.621,25	€ 56.705,22
Integrale kosten		€ 60.854,05	€ 58.127,60	€ 68.230,09
Extra bouwplaatskosten		€ -	€ -	€ -
Integrale totale kosten		€ 65.944,96	€ 62.854,88	€ 72.157,36
Flexibiliteitratio		92%	95%	94%
Aantal palen	96	84	108	94
Milieukosten		€ 14.941,49	€ 12.080,38	€ 16.148,87
Kosten		€ 78.871,09	€ 71.066,84	€ 76.043,01
Integrale kosten		€ 93.812,58	€ 83.147,22	€ 92.191,88
Extra bouwplaatskosten		€ -	€ -	€ -
Integrale totale kosten		€ 97.172,58	€ 87.467,22	€ 98.066,88
Flexibiliteitratio		87%	92%	90%
Aantal palen	134,4	216	240	178
Milieukosten		€ 24.653,29	€ 18.926,55	€ 26.021,71
Kosten		€ 116.554,89	€ 95.738,72	€ 111.888,71
Integrale kosten		€ 141.208,18	€ 114.665,27	€ 137.910,42
Extra bouwplaatskosten		€ -	€ -	€ -
Integrale totale kosten		€ 146.351,03	€ 120.379,55	€ 145.856,85
Flexibiliteitratio		79%	88%	85%

Tabel 33: beste resultaat stabiliteitssystemen bij de verschillende hoogte, uitgedrukt in kosten per verdieping



Figuur 61: overzicht plattegronden best presterende betonnen stabiliteitsystemen



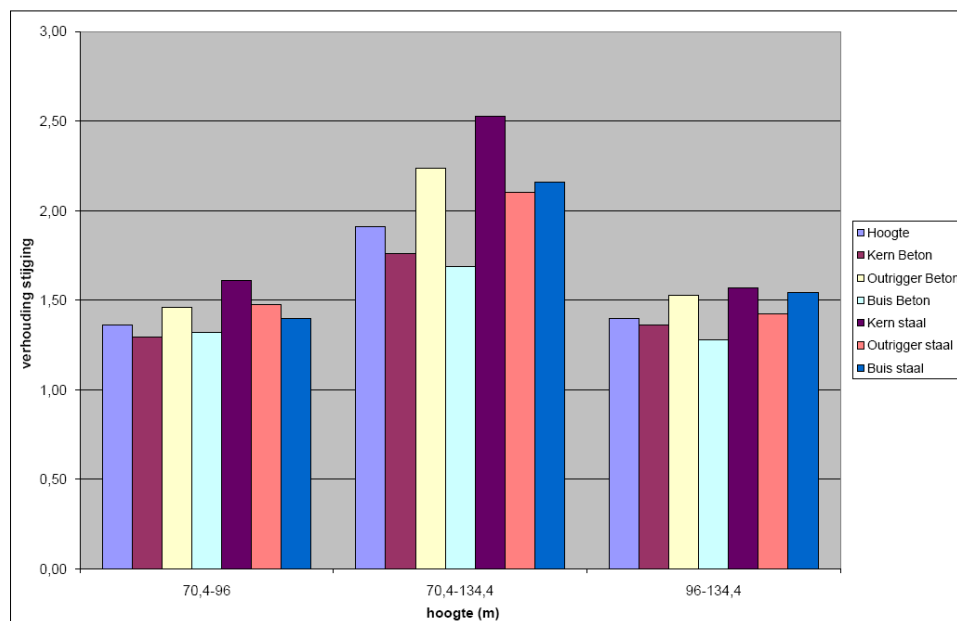
Figuur 62: overzicht best presterende stalen stabiliteitsystemen

4.3.5.2 Resultaten per stabiliteitsysteem

In plaats van naar de prestaties van de stabiliteitsystemen bij een bepaalde hoogte te vergelijken is het ook mogelijk om per stabiliteitsystemen naar de prestaties bij de verschillende hoogtes te kijken. Als vanzelfsprekend gaat bij een stijgende hoogte de gemiddelde kosten per verdieping omhoog omdat meer belastingen moeten worden afgevoerd waardoor de constructie grotere afmetingen krijgt. De vraag is of deze stijging in verhouding staan tot de stijging van de hoogte. Voor het bepalen van deze verhoudingsgetallen zijn de funderingskosten en kosten voor binnenwanden buiten beschouwing gelaten.

Stabiliteitsysteem van Hoogte	Beton			Staal		
	70,4-96	70,4-134,4	96-134,4	70,4-96	70,4-134,4	96-134,4
Hoogte	1,36	1,91	1,4	1,36	1,91	1,4
Kern	1,28	1,72	1,34	1,61	2,53	1,57
Outrigger	1,45	2,18	1,50	1,48	2,10	1,43
Buis	1,31	1,66	1,27	1,40	2,16	1,54

Tabel 34: verhouding stijging hoogte en constructiekosten per stabiliteitsysteem



Figuur 63: grafiek verhouding stijging hoogte en kosten per stabiliteitsysteem

In de grafiek is duidelijk te zien dat de stijging van de kosten voor de betonnen kern en betonnen buis lager zijn dan de stijging van de hoogte. Dit is opmerkelijk omdat over het algemeen geldt dat de kosten meer stijgen dan dat de hoogte stijgt. Een verklaring voor dit verschijnsel kan zijn dat gezien de plattegrond de optimale hoogte van de systemen hoger dan 70,4m ligt. Als gevolg hiervan zouden de kosten bij een hoogte van 70,4m verhoudingsgewijs te hoog uitvallen. Van de betonnen stabiliteitsystemen heeft de overdrachtconstructie de slechtste verhoudingsgetallen wat vreemd is omdat dit systeem bij grotere hoogte ten opzichte van de kern effectiever zou moeten zijn. Ook hier geldt dat de verhouding tussen de kosten voor staal en beton dit beeld verdoezelt. Bij de stalen stabiliteitsystemen heeft de kern zoals te verwachten de meest ongunstige verhouding. Bij toenemende hoogte wordt de overdrachtconstructie steeds gunstiger, de verwachting is echter dat dit de buis zou zijn.

Kanttekening bij deze tabel en grafiek is dat aan de hand hiervan niet mag worden beoordeeld dat een kern beter is dan een buis omdat het verhoudingsgetal lager uitvalt. Dit verhoudingsgetal is gebaseerd op de kosten van het eigen stabiliteitsysteem en hier zit de verhouding van de kosten van de verschillende systemen ten opzichte van elkaar niet in verwerkt.

4.3.6 Beste stabiliteitsysteem

Het onderzoek rekenmodellen is opgezet om een uitspraak te kunnen doen over de relatie tussen de stabiliteitsystemen, bouwduurzaamheid, flexibiliteit en kosten. Om dit te doen is een vaste plattegrond aangenomen welke bij een hoogte van 70,4m, 96m en 134,4m voor een buis, kern en overdrachtconstructie is bekeken.

In het model is een eigen gewicht voor de vloer aangenomen, de overige belastingen zijn bepaald volgens de Nederlandse norm. Of in het geval van de windbelasting aan de hand van een literatuurstudie.

4.3.6.1 Constructiekosten

Kostentechnisch is het voor een stalen stabiliteitsysteem het meest interessant om een overdrachtconstructie toe te passen. Voor de betonnen stabiliteitsystemen de buis favoriet om toe te passen. Als deze twee systemen met elkaar worden vergeleken is het niet moeilijk om op basis van de kosten een keuze te maken. Indien een toren van 70,4m zou worden gebouwd is de constructie voor de betonnen buis €8.000,- per verdieping goedkoper. Dit loopt op tot €25.000,- per verdieping voor een hoogte van 134,4m.

4.3.6.2 Flexibiliteitsratio

Als naar de flexibiliteitsratio voor de overdrachtconstructie wordt gekeken valt op dat de waarde voor betonnen kolommen liggers hetzelfde is als de uitvoering hiervan in staal. Bij een hoogte van 70,4m wordt met een betonnen overdrachtconstructie de hoogste waarde gevonden, voor de andere hoogte is dit voor de stalen variant het geval. Indien voor een kern is gekozen is de hoogste flexibiliteit terug te vinden voor een betonnen kern met betonnen of stalen kolommen. Voor de buis maakt voor de hoogste flexibiliteit niet uit of de buis in beton of staal is uitgevoerd als de kolommen maar in staal worden uitgevoerd. De variant in staal presteert kostentechnisch echter minder goed dan de uitvoering met betonnen kolommen.

Van de op kosten gebied als best presterende systemen heeft bij de stalen stabiliteitsystemen de overdrachtconstructie de hoogste flexibiliteit. Voor de betonnen stabiliteitsystemen is dit voor een hoogte van 70,4m de overdrachtconstructie en voor de andere hoogte de kern.

Overall wordt de meeste flexibiliteit verkregen met de stalen overdrachtconstructie. De uitvoering van de kolommen mag hierbij zowel in beton als in staal zijn, kostentechnisch is beton het interessants.

	Stalen overdrachtconstructie	Laagste kosten	Ratio
70,4m	€ 62.854,88	€ 55.316,29	1,14
96m	€ 87.467,22	€ 71.209,46	1,23
134,4m	€ 120.379,55	€ 91.341,26	1,32

Tabel 35: overzicht constructiekosten systeem met de hoogste flexibiliteit en laagste constructiekosten

In bovenstaande tabel wordt het kostenverschil tussen de stalen overdrachtconstructie, wat het stabiliteitsysteem is met de hoogste flexibiliteit is, en het goedkoopste stabiliteitsysteem. Afhankelijk van de hoogte zijn de kosten 14-32% hoger bij een verschil in flexibiliteitsratio van maximaal 3%. Dit komt overeen met ongeveer 25m² meer die vrij indeelbaar is.

De gevonden flexibiliteitsratios stroken voor de betonnen stabiliteitsystemen niet helemaal met wat te verwachten is. Dit is toe te schrijven aan een zelf bepaalde factor voor de vrije indeelbaarheid van interne kolommen en het niet limiteren van het vloeroppervlak in de kern. Diepgaander onderzoek is nodig om te zorgen dat deze elementen wel kunnen worden meegenomen.

4.3.6.3 Duurzaamheid

De duurzaamheid wordt bepaald met de verborgen milieukosten. Voor de stalen stabiliteitsystemen is het beeld hetzelfde als voor de constructiekosten. Namelijk dat de overdrachtconstructie veruit het gunstigste presteert, wat betekent dat deze het duurzaamst is. Voor de betonnen stabiliteitsystemen zijn, als naar alle hoogte wordt gekeken, zowel de buis als de kern het meest duurzaam. Als de milieukosten van de stalen en betonnen stabiliteitsystemen worden vergeleken met elkaar is te zien dat beton het duurzamere materiaal van de twee is. Bij toenemende hoogte loopt dit verschil tussen het meest duurzame systeem van beide materialen op van 8% naar 39%.

Materiaalgebruik

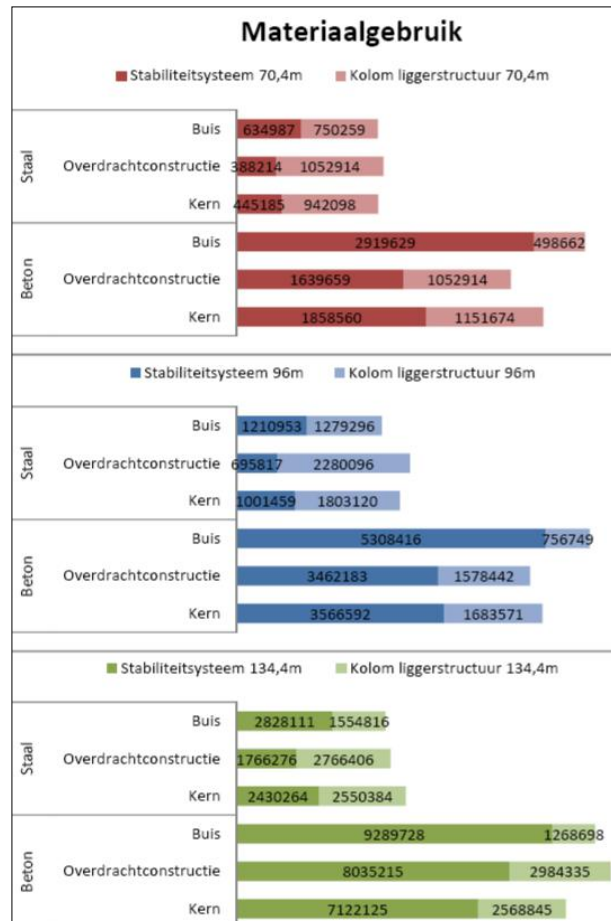
De betonnen overdrachtconstructie presteert erg slecht als naar de milieukosten wordt gekeken. Verwacht wordt juist dat door toepassing van de outrigger een besparing optreedt ten opzichte van de kern. Het is verschil tussen de milieukosten voor staal en beton is blijkbaar zo groot dat het voordeel als gevolg van de besparing weer verloren gaat.

Dat deze materiaalbesparing wel degelijk optreedt, in zowel staal als beton, is te zien in de grafiek met het materiaalgebruik bij de verschillende hoogte. Een uitzondering hierop is in beton bij een hoogte van 134,4m. De lengte van de outrigger is bij deze hoogte zo kort dat het hiervan erg klein wordt. Om toch een kleinere kern te kunnen toepassen is uiteindelijk een eigenlijk ongunstige kern afmeting gekozen.

In de grafiek is tevens te zien dat ondanks de hogere kosten het materiaalgebruik van het staal veel lager is. De vraag die ontstaat, is of beton wel als duurzamer materiaal moet worden gezien. Als aan de hand van materiaalgebruik wordt beoordeeld is staal duurzamer, minder gebruik betekent ook minder winning van de grondstoffen en transport. Uit de kengetallen voor de milieukosten blijkt echter dat de levenscyclus van staal veel schadelijker voor het milieu is. Met de monetariseringsfactoren zoals deze nu bepaald zijn is beton dus inderdaad duurzamer. Wat er gebeurt indien een verschuiving van deze factoren plaats vindt wordt bekeken in de paragraaf toekomstperspectief.

4.3.6.4 Fundering

Een nadeel van de stalen overdrachtconstructie is het aantal palen dat onder de kern benodigd is. Indien aan elke zijde met een dubbele palen rij wordt gewerkt geeft dit voor een toren van 70,4m de hart op hart afstand voor de palen van 900mm en voor een hoogte van 96m is de hart op hart afstand 1440mm. Rekening houdend met een paalafstand van 2,5D geeft dit maximale paaldiameters van 360mm respectievelijk 560mm. Gezien de paalbelastingen, welke in de bijlage terug te vinden zijn, moet dit haalbaar zijn maar ideaal is het zeker niet.

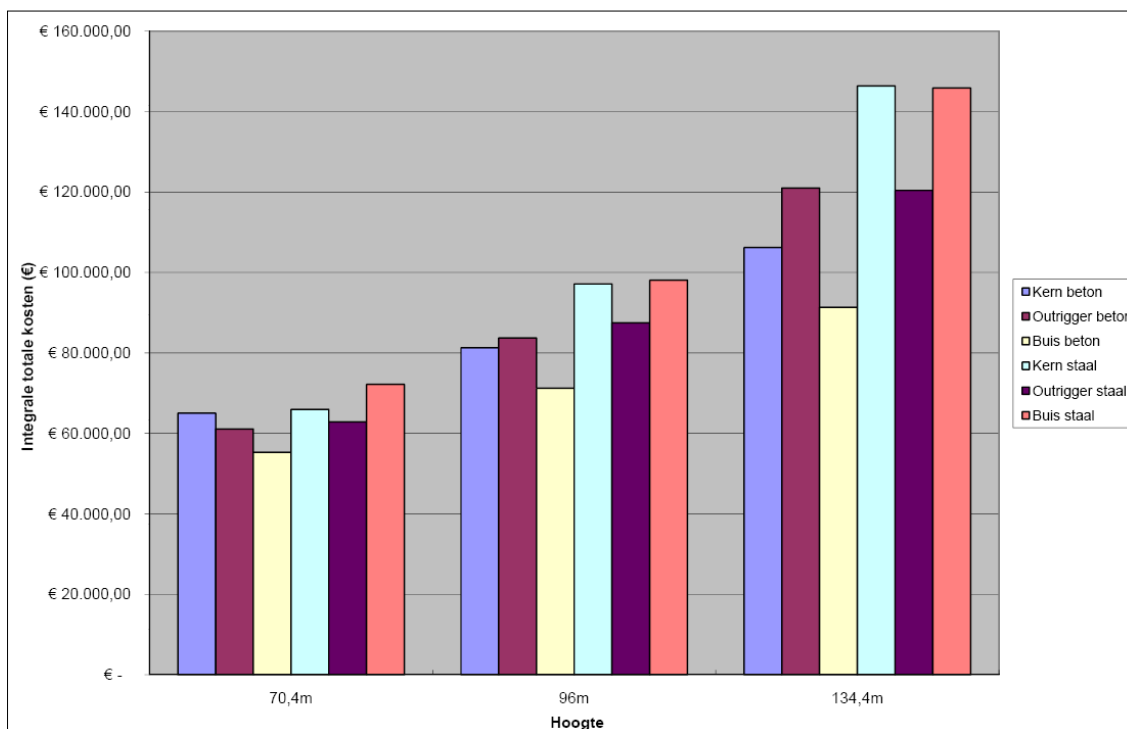


Figuur 64: grafiek materiaalgebruik per stabiliteitsysteem voor de verschillende hoogtes uitgesplitst in het stabiliteitsysteem en de kolom liggerstructuur

Voor de stalen kern en overdrachtconstructie is het aantal palen dat nodig is een terugkerend probleem. Dit grote aantal palen komt voort uit de hoge trekkracht die in de palen komt als gevolg van het lage eigen gewicht en toch zo klein mogelijk gedimensioneerde kern. Door een grotere kern toe te passen is dit probleem tegen te gaan echter gaan dan de kosten omhoog.

4.3.6.5 Integrale totale kosten

De integrale kosten zijn opgebouwd uit de kosten en de milieukosten. Daarnaast zijn in deze post extra bouwplaatskosten meegenomen voor de stabiliteitsystemen in beton. De bouwduur is in beton langer en dit geeft extra kosten. Deze extra kosten zijn meegenomen als extra energieverbruik en langere huur van de bouwkraan. De langere bouwtijd heeft ook invloed op de financieringskosten omdat over een langere periode rente moet worden betaald. In het onderzoek wordt naar de constructiekosten gekeken en de hogere financieringskosten worden dus niet meegenomen maar moeten wel in het achterhoofd worden gehouden.



Figuur 65: grafiek integrale totaal kosten per hoogte van de verschillende stabiliteitsystemen, uitgedrukt in kosten per verdieping

Bij de betonnen stabiliteitsystemen kunnen de buis en kern als even duurzaam worden gezien. De buis is echter in het voordeel als naar de constructiekosten wordt gekeken en dit is ook duidelijk terug te zien bij de integrale kosten. Van de stalen stabiliteitsystemen is de overdrachtconstructie voor zowel de milieukosten als de integrale kosten favoriet en dit systeem is dit voor de integrale kosten ook.

4.3.6.6 Prestaties overall

In onderstaande tabel zijn de prestaties voor de verschillende onderdelen van het best presterende systeem in staal en beton, respectievelijk de overdrachtconstructie en de buis, naast elkaar gezet. Hierbij komt naar voren dat met uitzondering van de flexibiliteit de betonnen buis telkens in het voordeel is ten opzichte van de stalen overdrachtconstructie. Voor de flexibiliteit is tevens vast gesteld dat bij de buis 25m² minder vrij indeelbaar zou zijn.

Gezien deze gegevens kan gesteld worden dat voor een betaalbaar, flexibel, uitvoerbaar en duurzaam stabiliteitsstelsel de voorkeur uitgaat naar de betonnen buis. Indien de betonnen buis om wat voor reden af zou vallen zijn de betonnen kern gevolgd door de betonnen overdrachtconstructie nog favoriet voor de stalen overdrachtconstructie.

	Constructiekosten		Flexibiliteit		Duurzaamheid		Fundering	
	Buis	Outrigger	Buis	Outrigger	Buis	Outrigger	Buis	Outrigger
70,4m	+	-	-	+	+	-	+	-
96m	+	-	-	+	+	-	+	-
134,4m	+	-	-	+	+	-	+	-

Tabel 36: prestaties betonnen buis ten opzichte van stalen overdrachtconstructie

4.3.6.7 Toekomst perspectief

Naar voren is gekomen dat vanwege de kengetallen voor de milieukosten beton duurzamer uit de bus komt dan staal. Dit terwijl staal sterk gepromoot wordt als duurzaam materiaal. Staal wordt als duurzaam gezien omdat het 100% recyclebaar is terwijl voor beton maximaal 50% betongranulaat mag worden zonder dat wijzigingen van de rekenregels moeten worden toegepast [CUR bouw en infra, 2007]⁶⁷. Dit betekent dat bij beton altijd nieuwe grondstoffen dienen te worden toegevoegd, dit naast de grotere benodigde hoeveelheid grondstoffen met de kans op uitputting, het in grotere hoeveelheden en door uitputting over een grotere afstand moeten getransporteerd kan als gevolg hebben dat de milieukosten van beton stijgen. Door technologische ontwikkelingen mag voor staal een daling van energieverbruik en daarmee de milieukosten worden verwacht. Als deze twee effecten worden samengepakt in een stijging van de milieukosten voor beton is het de vraag wanneer staal duurzamer wordt.

In de bijlage zijn bij het onderdeel Rekenmodel – Overzicht stabiliteitsystemen de overzichten met de gestegen milieukosten terug te vinden. Naar de volgende stijgingen is gekeken:

1. stijging milieukosten beton een factor 1,5;
2. stijging milieukosten beton een factor 1,75;
3. stijging milieukosten beton een factor 2,25.

	hoogte	kern beton	outrigger beton	buis beton	kern staal	outrigger staal	buis staal
Huidige situatie	70,4	€ 7.704,16	€ 6.803,20	€ 7.874,90	€ 9.197,26	€ 8.506,35	€ 11.524,87
	96	€ 10.243,84	€ 14.180,25	€ 10.535,97	€ 14.941,49	€ 12.080,38	€ 16.148,87
	134,4	€ 14.223,29	€ 15.948,83	€ 13.578,53	€ 24.653,29	€ 18.926,55	€ 26.021,71
Toekomst perspectief 1	70,4	€ 10.866,26	€ 9.576,60	€ 11.164,36	€ 9.994,68	€ 9.395,60	€ 12.154,68
	96	€ 14.497,20	€ 18.214,70	€ 14.939,79	€ 16.096,19	€ 14.781,74	€ 16.956,61
	134,4	€ 20.187,50	€ 22.648,91	€ 19.254,86	€ 25.877,67	€ 20.241,53	€ 26.748,09
Toekomst perspectief 2	70,4	€ 12.447,31	€ 10.963,30	€ 12.809,08	€ 10.393,40	€ 9.840,22	€ 12.469,58
	96	€ 16.623,88	€ 20.231,92	€ 17.141,70	€ 16.673,55	€ 15.653,39	€ 17.360,48
	134,4	€ 23.169,60	€ 25.998,96	€ 22.093,02	€ 26.489,86	€ 20.899,03	€ 27.111,28
Toekomst perspectief 3	70,4	€ 15.609,40	€ 13.736,71	€ 16.098,53	€ 11.190,82	€ 10.729,47	€ 13.099,39
	96	€ 20.877,24	€ 24.266,37	€ 21.545,53	€ 17.828,25	€ 17.396,68	€ 18.168,22
	134,4	€ 29.133,80	€ 32.699,04	€ 27.769,35	€ 27.714,24	€ 22.214,01	€ 27.837,65

Tabel 37: overzicht milieukosten stabiliteitsystemen bij verschillende toekomstperspectieven, de duurzaamste systemen zijn in het grijs aangegeven, uitgedrukt in kosten per verdieping

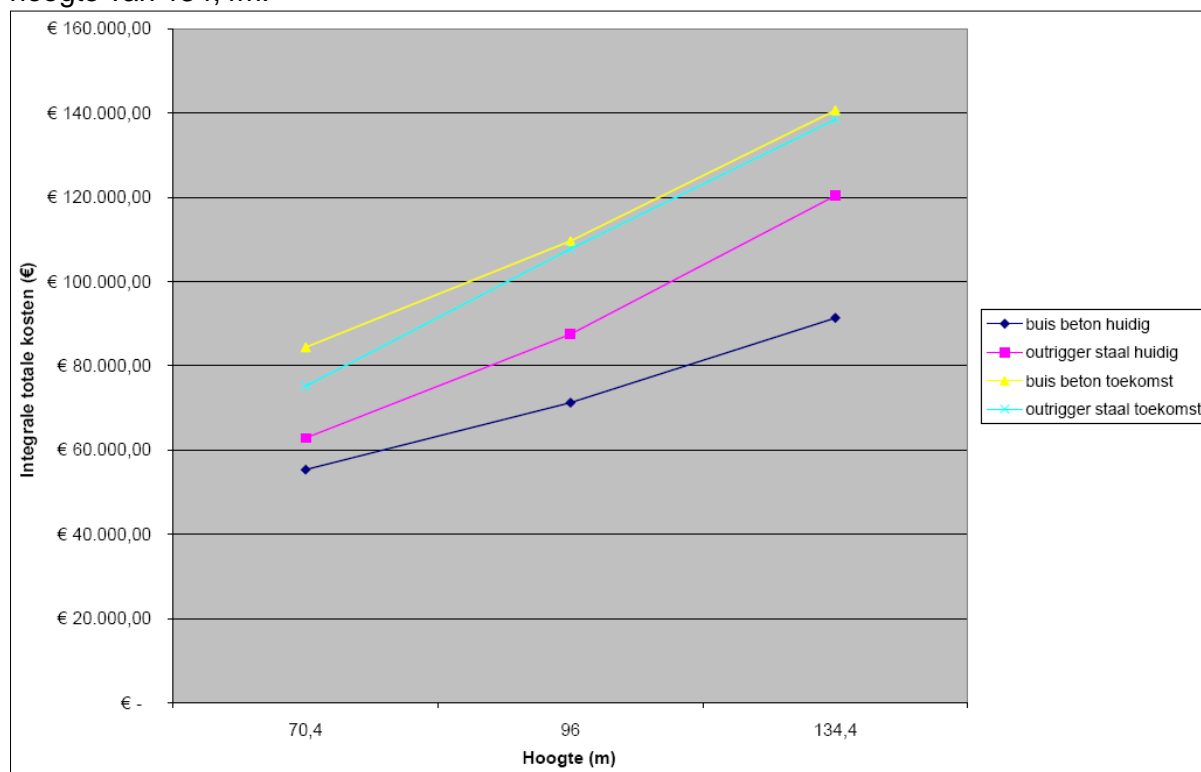
Een stijging van de milieukosten voor beton met een factor 1,5 zorgt ervoor dat de stalen overdrachtconstructie bij een hoogte van 70,4m het duurzaamste systeem wordt. Voor de andere hoogte blijft het beton de laagste milieukosten houden.

Indien de stijging van de milieukosten doorzet naar een factor 1,75 dan is voor iedere hoogte de stalen overdrachtconstructie duurzamer dan de betonnen stabiliteitsystemen. Op het moment dat de stijging een factor 2,25 heeft zijn de stalen stabiliteitsystemen allemaal duurzamer dan hun betonnen variant.

Bij een stijging van de milieukosten met 75% is de overdrachtconstructie duurzamer dan de betonnen stabiliteitsystemen. In de nabije toekomst hoeft een stijging van deze omvang niet verwacht te worden maar op den duur is dit wel een reële kans omdat uitputting van grondstoffen optreedt, landschapsaantasting plaats vindt en de grondstoffen als gevolg van uitputting over een grotere afstand getransporteerd moeten gaan worden.

De betonnen buis mag dan niet meer het meest duurzaam zijn, het verschil in milieukosten is ongeveer €2.000,- per verdieping. Door het grote verschil in constructiekosten is dit systeem voor de integrale kosten nog steeds veruit het voordeligst. De uitputting van de grondstoffen en het transport zullen echter niet alleen effect hebben op de milieukosten ook voor de materiaalkosten van beton is een stijging te verwachten. Daarnaast is het reëel te verwachten dat de kosten voor het energiegebruik stijgen als gevolg van uitputting van de fossiele brandstoffen. Dit werkt in het nadeel van de betonnen systemen omdat deze een langere bouwtijd en dus langer gebruik van energie hebben.

In de verre toekomst zal een afbrokkeling van de dominante positie die beton nu heeft dan ook te verwachten zijn. Bij een stijging van de milieukosten voor beton met 75% en de materiaalkosten met 60% is de betonnen buis niet meer het systeem met de laagste integrale kosten. De stalen buis presteert nu ongeveer gelijk aan de betonnen buis, bij 70,4m is het staal goedkoper, bij 96m zijn de kosten vergelijkbaar en bij 134,4m is beton goedkoper. De stalen overdrachtconstructie is voor alle hoogte voordeliger, dit verloopt van €9.000,- per verdieping goedkoper bij 70,4m naar €2.000,- per verdieping goedkoper op een hoogte van 134,4m.



Figuur 66: huidige en toekomstige integrale totale kosten betonnen buis en stalen overdrachtschijf, uitgedrukt in kosten per verdieping

4.3.7 Conclusie rekenmodel

Het doel van dit onderzoek is uit de verschillende stabiliteitsystemen aan kunnen geven wat het meest geschikte systeem om toe te passen is vanuit het oogpunt van duurzaamheid, flexibiliteit en kosten.

Uitgangspunt bij dit onderzoek is de Nederlandse markt, het model voor het berekenen van de systemen heeft een plattegrond van 28,8m bij 28,8m die bekeken is bij een hoogte van 70,4m, 86m en 134,4m. Om de systemen met elkaar te kunnen vergelijken moesten binnenwanden worden meegenomen. Om dit goed uit te voeren voor alle stabiliteitsystemen zorgde voor problemen en daarom zijn alleen de kern, overdrachtconstructie en buis met elkaar vergeleken.

Aan de hand van dit onderzoek mag het volgende geconcludeerd worden:

- De milieukosten van beton zijn lager dan voor staal;
- De hoogste flexibiliteitsratio wordt verkregen door een stalen overdrachtconstructie toe te passen;
- De stalen stabiliteitsystemen vereisen over het algemeen als gevolg van trek meer palen dan de betonnen stabiliteitsystemen;
- Voor de betonnen stabiliteitsystemen is de buis de beste optie, qua duurzaamheid presteert deze gelijkwaardig aan de kern;
- Voor de stalen stabiliteitsystemen gaat de voorkeur uit naar de overdrachtconstructie;
- De betonnen buis kan gezien worden als het meest betaalbare, flexibele en duurzame stabiliteitsysteem.

Beton heeft lagere milieukosten echter is het materiaalgebruik beduidend groter. Verwacht mag worden dat dit hoge materiaalgebruik in de toekomst voor stijgende milieukosten voor beton zorgt. Een stijging heeft het volgende effect tot gevolg:

- Een stijging van de milieukosten voor beton met 75% heeft tot gevolg dat de stalen overdrachtconstructie duurzamer is dan de betonnen stabiliteitsystemen;
- Als de milieukosten van beton met een factor 2,25 stijgen zijn alle stalen stabiliteitsystemen duurzamer of bij benadering even duurzaam;
- Bij een stijging van 75% voor de milieukosten van beton en een stijging van 60% van de materiaalkosten voor beton wordt de stalen overdrachtconstructie niet alleen duurzamer maar ook voor de integrale kosten goedkoper dan de betonnen buis.

4.4 Rekenmodel met functiewisselingen

Uit voorgaande onderzoeken is bekend welk stabiliteitsstelsel de voorkeur geniet om toe te passen, tevens is bekend welk vloersysteem het beste is om functiewisselingen mogelijk te maken. In dit onderzoek zullen deze gegevens aan elkaar gekoppeld worden en gekeken worden hoe dit in verhouding staat tot de traditionele bouwwijze. Het gebouw dat bekeken wordt is een toren met de functie wonen waarbij een wisseling naar de functie kantoor mogelijk is. Voor woontorens is tunnelbouw een gangbare bouwmethod, net zo als bij het onderzoek naar de functiewisselingen wordt deze methode buiten beschouwing gelaten vanwege de slechte flexibiliteit. Meest voor de hand liggend is dan ook om de vlakke plaatvloer met kern als traditionele bouwwijze te zien. Dit systeem kan door het ontbreken van liggers en het hoger worden van de belasting geen functiewisselingen aan. Een vlakke plaatvloer met liggers lijkt erg veel op de uitvoering met de breedplaat en naast het traditionele systeem wordt de kern met breedplaat bekeken als "traditioneel" systeem wat wel functiewisselingen aankan.

Naar voren is gekomen dat gezien de huidige kengetallen de betonnen stabiliteit favoriet zijn boven de stalen en daarom zal alleen naar de betonnen systemen worden gekeken. Vanuit het rekenmodel is de constructieve plattegrond bekend, dit betekent dat voor de verschillende vloertypes het mogelijk is het aantal vloerplaten te bepalen. Met dit gegeven zal op een kwalitatieve manier uitspraak worden gedaan over de bouwtijd voor de vloertypes.

4.4.1 Bouwtijd vloertypes

Als over de bouwtijd van een verdieping wordt gesproken zijn de tijd om de elementen te hijsen, te plaatsen en nog eventuele extra arbeid van belang. Vooral bij de staalplaat betonvloer, vlakke plaatvloer en breedplaat vormt het laatste een belangrijk punt. Deze vloeren moeten gestempeld worden uitgevoerd. Het plaatsen van de stempels en het uitharden van het beton zodat stempelen mogelijk is zorgt dat deze vloertypes een langere bouwtijd hebben. Tevens hebben de stempels tot gevolg dat de afbouw op de verdiepingen pas later kan beginnen dan het geval is voor de kanaalplaat en de infra+ vloer. Voor de staalplaat betonvloer is in feite één hijsbeweging voldoende omdat per verdieping een pakket met staalplaten voor die verdieping omhoog wordt gebracht. In de praktijk zijn meer hijsbewegingen nodig, de wapening voor de vloer zal namelijk ook moeten worden gehesen. Een breedplaat wordt plaat voor plaat naar de verdieping gehesen en zodoende zal de uitvoering van deze vloer langer zijn dan van de staalplaat betonvloer. De vlakke plaatvloer maakt gebruik van tafelbekistingen waarop de wapening komt te liggen en de vloer wordt gestort. Hoeveel hijsbewegingen nodig zijn is pas echt bekend na uitwerking van het plan voor de tafelbekisting, daarom is aangenomen dat dit gelijk is aan het aantal voor de breedplaat. De kanaalplaat is met een standaardbreedte van 1200mm de helft van de infra+ vloer en heeft dan ook twee keer zoveel vloerplaten nodig om één verdiepingsvloer uit te voeren. Dit geeft veel extra bouwtijd ten opzichte van de infra+ vloer. Als voordeel heeft de kanaalplaat dat de vloer met uitzondering van een druklaag helemaal gereed is. Bij de infra+ vloer moet ook de bovenschil nog worden aangebracht. Het aanbrengen van de bovenschil geeft echter geen vertraging in de verdiepingscyclus omdat deze pas veel later, na het leidingwerk, wordt aangebracht. Uiteindelijk zal het aanbrengen van de bovenschil wel wat extra bouwtijd opleveren waardoor het verschil in bouwtijd tussen de infra+ vloer en kanaalplaat weer kleiner wordt.

Met deze korte beschouwing mag geconcludeerd worden dat een verdiepingsvloer met een infra+ vloer het snelste gelegd is, gevolgd door de kanaalplaat, staalplaat betonvloer en als langzaamste de breedplaat. Hoe langer de bouwtijd van een verdieping is, hoe langer de bouwtijd van het totale gebouw wordt. Dus zal over een langere periode rente moet worden betaald wat hogere financieringskosten geeft.

Niet alleen het vloertype bepaald de bouwsnelheid, ook het aantal vloerplaten, kolommen en liggers is van belang. Het stabiliteitsysteem dat wordt toegepast is voor de bouwsnelheid niet van belang omdat wordt aangenomen dat dit niet in opgenomen in de verdiepingscyclus en dus een aantal verdiepingen voor loopt. Kijkend naar het aantal elementen om de bouwsnelheid te bepalen moet opgemerkt worden dat voor de breedplaat en staalplaat betonvloer een probleem optreedt. De best presterende stabiliteitsystemen hebben bij een hoogte van 70,4m zulke grote vloeroverspanningen dat de breedplaat en staalplaat betonvloer deze niet kunnen maken. Om dit te ondervangen is voor deze vloeren een variant met kleinere vloeroverspanningen meegenomen. In onderstaande tabel is te zien dat dit wel betekent dat er meer kolommen en liggers nodig zijn wat betekent dat de bouwtijd langer zal worden.

	Hoogte	Kern	Outrigger	Buis
Aantal kolommen kleine overspanning	70,4	40	34	9
Aantal liggers kleine overspanning		38	36	12
Aantal kolommen grote overspanning		22	18	10
Aantal liggers grote overspanning		20	20	12
Aantal breedplaat		60	54	40
Aantal kanaalplaat		82	82	72
Aantal infra+		42	42	36
Aantal kolommen kleine overspanning	96	28	24	9
Aantal liggers kleine overspanning		28	28	12
Aantal kolommen grote overspanning		28	24	10
Aantal liggers grote overspanning		28	28	12
Aantal breedplaat		38	40	40
Aantal kanaalplaat		92	94	72
Aantal infra+		48	48	36
Aantal kolommen kleine overspanning	134,4	24	14	15
Aantal liggers kleine overspanning		24	18	18
Aantal kolommen grote overspanning		24	14	15
Aantal liggers grote overspanning		24	18	18
Aantal breedplaat		44	42	40
Aantal kanaalplaat		106	98	96
Aantal infra+		56	50	48

Tabel 38: overzicht aantal elementen per vloertype en stabiliteitsysteem

De staalplaat betonvloer maakt gebruik van een pakket met vloerplaten welke naar de verdieping wordt gebracht, het aantal vloerplaten zegt dan ook niks over de hijsbewegingen en voor de aantallen is dit vloertype buiten beschouwing gelaten. Bij de buis valt op dat bij kleine overspanningen minder kolommen nodig zijn, dit betekent een lagere bouwtijd maar dit geeft niet de laagste integrale kosten. Omdat het verschil maar één kolom is gaat de voorkeur uit naar de variant met grote overspanningen.

Van de verschillende stabiliteitsystemen heeft de buis, met uitzondering voor een hoogte van 134,4m, minder kolommen en liggers nodig. Dit betekent dat dit systeem de snelste bouwtijd voor de kolom liggerstructuur heeft. Dit gegeven combinerend met de snelste bouwtijd voor de vloersystemen geeft dat de buis in combinatie met de infra+ vloer de hoogste bouwsnelheid heeft.

4.4.2 Kosten rekenmodel en functiewisseling

Uit het onderzoek naar functiewisselingen is voor de bekeken overspanningen en vloeren een indicatie van de kostprijs en milieukosten per m² bekend. Vanuit het onderzoek naar het rekenmodel zijn voor de bekeken hoogte en stabiliteitsystemen de integrale kosten bekend.

De bouwplaatskosten welke afhankelijk zijn van de bouwtijd, welke eerder nog vanuit een studie van van Boele & van Eesteren⁵⁷ waren meegenomen, zijn voor dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Met een uitgebreide studie naar de bouwtijd per systeem zou het mogelijk zijn een kwantitatieve uitspraak te doen over de bouw tijden. Ook zouden dan de bouwplaatskosten per systeem kunnen worden bepaald en worden meegenomen.

Het vloeroppervlak is voor alle vloersystemen hetzelfde, de integrale kosten voor de vloer zijn dan ook rechtstreeks afhankelijk van de m² kosten. Als integrale kosten worden de volgende waarde aangehouden:

- Breedplaat 70,4m en buis 96m 102,68 €/m²;
- Breedplaat 96m en 134,4m 115,67 €/m²;
- Vlakke plaatvloer 70,4m 81,34 €/m²;
- Vlakke plaatvloer 96m en 134,4m 73,57 €/m²;
- Kanaalplaat 70,4m en buis 96m 89,42 €/m²;
- Kanaalplaat 96m en 134,4m 71,77 €/m²;
- Staalplaat betonvloer 70,4m en buis 96m 113,98 €/m²;
- Staalplaat betonvloer 96m en 134,4m 116,70 €/m²;
- Infra+ vloer 97,10 €/m².

De vlakke plaatvloer is in de tabel opgenomen omdat deze resultaten voor het traditionele systeem nodig zijn. Tot de volgende paragraaf worden deze resultaten buiten beschouwing gelaten. Omdat alleen naar de vloerkosten wordt gekeken komt niet de infra+ vloer als beste naar voren, zoals bij de functiewisselingen, maar de kanaalplaat. De kosten voor de kolommen en liggers zijn namelijk al meegenomen in de constructiekosten van het stabiliteitsysteem. Hierin wordt uitgegaan van THQ liggers terwijl voor de infra+ vloer en staalplaat betonvloer respectievelijk HE en ASB profielen volstaan. In de praktijk zal dit voor deze systemen nog een kostenbesparing geven.

	Hoogte	Kern	Outrigger	Buis	
Bouwtijd breedplaat	70,4	5996,8	5399,2	3209,4	
Bouwtijd kanaalplaat		4372	4276,8	3463,6	
Bouwtijd staalplaat		2021,4	1823,4	566	
Bouwtijd infra+		3503,2	3408	2650	
Integrale kosten breedplaat		€ 85.166,90	€ 85.166,90	€ 95.941,32	
Integrale kosten vlakke plaatvloer		€ 67.466,65	€ 67.466,65	€ 67.466,65	
Integrale kosten kanaalplaat		€ 74.168,52	€ 74.168,52	€ 74.168,52	
Integrale kosten staalplaat		€ 94.539,57	€ 94.539,57	€ 96.795,65	
Integrale kosten infra+		€ 102.933,50	€ 102.933,50	€ 102.933,50	
Tot kosten breedplaat		€ 162.362,20	€ 164.335,91	€ 152.275,94	
Tot kosten vlakke plaatvloer		€ 129.939,37	€ 126.001,30	€ 120.258,85	
Tot kosten kanaalplaat		€ 136.641,25	€ 132.703,17	€ 126.960,72	
Tot kosten staalplaat		€ 171.734,87	€ 173.708,58	€ 153.130,27	
Tot kosten infra+		€ 165.406,23	€ 161.468,15	€ 155.725,70	
Integrale kosten breedplaat	96	€ 95.941,32	€ 95.941,32	€ 95.941,32	
Integrale kosten vlakke plaatvloer		€ 67.466,65	€ 67.466,65	€ 67.466,65	
Integrale kosten kanaalplaat		€ 59.528,91	€ 59.528,91	€ 74.168,52	
Integrale kosten staalplaat		€ 96.795,65	€ 96.795,65	€ 96.795,65	
Integrale kosten infra+		€ 102.933,50	€ 102.933,50	€ 102.933,50	
Tot kosten breedplaat		€ 175.326,47	€ 177.794,20	€ 167.339,92	
Tot kosten vlakke plaatvloer		€ 146.851,80	€ 149.319,53	€ 136.825,11	
Tot kosten kanaalplaat		€ 138.914,06	€ 141.381,79	€ 143.526,98	
Tot kosten staalplaat		€ 176.180,80	€ 178.648,53	€ 168.194,25	
Tot kosten infra+		€ 182.318,65	€ 184.786,38	€ 172.291,96	
Integrale kosten breedplaat		134,4	€ 95.941,32	€ 95.941,32	€ 95.941,32
Integrale kosten vlakke plaatvloer			€ 67.466,65	€ 67.466,65	€ 67.466,65
Integrale kosten kanaalplaat			€ 59.528,91	€ 59.528,91	€ 59.528,91
Integrale kosten staalplaat			€ 96.795,65	€ 96.795,65	€ 96.795,65
Integrale kosten infra+	€ 102.933,50		€ 102.933,50	€ 102.933,50	
Tot kosten breedplaat	€ 200.818,69		€ 215.642,11	€ 185.960,44	
Tot kosten vlakke plaatvloer	€ 172.344,02		€ 187.167,43	€ 157.485,77	
Tot kosten kanaalplaat	€ 164.406,28		€ 179.229,69	€ 149.548,03	
Tot kosten staalplaat	€ 201.673,02		€ 216.496,43	€ 186.814,76	
Tot kosten infra+	€ 207.810,87		€ 222.634,29	€ 192.952,62	

Tabel 39: integrale kosten vloersystemen en totale integrale kosten per vloersysteem en stabiliteitsysteem, uitgedrukt in kosten per verdieping

Voor alle stabiliteitsystemen is bij iedere hoogte de uitvoering met een kanaalplaat als goedkoopste aan te wijzen. Voor een hoogte van 70,4m en 134,4m is de kanaalplaat in combinatie met de buis het goedkoopste systeem. Als gevolg van de kleinere overspanning bij de overdrachtconstructie en kern is de kanaalplaat met de kern bij een hoogte van 96m het voordeligst.

4.4.2.1 Beste vloer- en stabiliteitsysteem

Als puur naar de bouwtijd zou worden gekeken gaat de voorkeur uit naar de buis met de infra+ vloer. Voor de kosten gaat de voorkeur uit naar de buis met de kanaalplaat. Bij een hoogte van 96m is de kern voordeliger echter is dit verschil klein genoeg om gezien alle hoogte de buis als favoriet te bestempelen.

Vanuit het oogpunt van flexibiliteit gaat de voorkeur naar de infra+ vloer uit. Doordat dit een integraal vloersysteem is zijn functiewisselingen makkelijker mogelijk en wordt daarbij overlast op de andere verdiepingen voorkomen. De buis met deze vloer is echter wel € 28.760,- per verdieping duurder voor een hoogte van 70,4m en 96m. Bij een hoogte van 134,4m is dit systeem zelfs € 43.400,- per verdieping duurder.

Functiewisselingen zijn niet alleen makkelijker uit te voeren met de infra+ vloer ook zal door de goede bereikbaarheid van het leidingwerk de uitvoering goedkoper uitvallen. Voor de andere vloeren dient bij een functiewisseling een verlaagd plafond te worden aangebracht. Doordat het leidingwerk in de vloer wordt verwerkt is dit voor de infra+ vloer niet nodig, dit geeft een besparing van € 22.400,- per verdieping. Naast deze besparing, de mee te nemen besparing voor de liggers, het voordeel bij het uitvoeren van een functiewisselingen en de hogere financieringskosten voor de kanaalplaat meenemend zal het verschil bij een hoogte van 70,4m en 96m al snel verdwenen zijn. Bij een hoogte van 134,4m blijft de infra+ vloer waarschijnlijk wel wat duurder zijn.

Al met al mag vanwege de nog mee te nemen besparingen de buis met infra+ vloer als snelste, duurzaamste en flexibelste bouwsysteem worden gezien.

4.4.2.2 Traditioneel vs beste systeem

Aan het begin van dit hoofdstuk is gesteld dat de kern met vlakke plaatvloer als traditioneel systeem kan worden gezien. Dit systeem wordt vergeleken met het snelste, flexibelste en duurzaamste systeem de buis met infra+ vloer. Omdat uitgangspunt de functie wonen is wordt in de vergelijking de besparingen voor de infra+ vloer buiten beschouwing gelaten.

hoogte	Traditioneel systeem	buis - infra+ vloer
70,4	€ 129.939,37	€ 186.414,98
96	€ 146.851,80	€ 202.981,24
134,4	€ 172.344,02	€ 223.641,90

Tabel 40: traditioneel systeem (kern met vlakke plaatvloer) vergeleken met de buis met infra+ vloer, uitgedrukt in kosten per verdieping

De kosten voor het traditionele systeem vallen lager uit dan de kosten voor de buis met infra+ vloer. Dit kostenverschil ligt afhankelijk van de hoogte rondom de €1.000,- tot € 56.000,- per verdieping en kan worden gezien als de kosten voor flexibiliteit. Uitgaande van de maximale kosten en het vloeroppervlak van een verdieping van 829,44m², betekent dit 67,50 €/m² aan extra kosten voor de flexibiliteit.

Voor de bouwtijd is al geconcludeerd dat zowel de infra+ vloer als de buis een lagere bouwtijd hebben dan de vlakke plaatvloer in combinatie met de kern. Dit heeft als consequentie dat voor de kern langer rente moet worden betaald. Aan de andere kant is de lening voor de buis groter. Aangenomen wordt dat dit elkaar opheft en ook hier worden de financieringskosten buiten beschouwing gelaten.

Kosten en opbrengsten tijdens levensduur

Over de levensduur van het gebouw, indien gelijk genomen aan de levenscyclus analyse 75 jaar, is een verschil in de kosten en opbrengsten van beide systemen te verwachten.

Uitgaande van alleen een verschillend draagsysteem zal de huurprijs bij het op de markt komen van het gebouw als gelijk worden aangenomen. Door de hogere flexibiliteit zou eventueel een iets hogere prijs voor de buis met infra+ vloer mogelijk zijn.

In de loop van de tijd zal veroudering van het gebouw optreden waardoor het niet meer voldoet aan de eisen vanuit de markt. Dit heeft tot gevolg dat nieuwbouw die wel aan deze eisen voldoet interessanter wordt en de opbrengsten dalen. Dit verschijnsel zal voor beide systemen optreden. De opbrengsten worden op peil gehouden door onderhoud uit te voeren waarbij de nieuwste technologieën in het gebouw worden gebracht zodat weer aan de eisen vanuit de markt wordt voldaan en geconcentreerd kan worden met de nieuwbouw. Op dit punt zal een verschil tussen de systemen optreden. De infra+ vloer is erg flexibel en aanpassingen of uitbreiding van het leidingwerk is makkelijk mogelijk. Bij de vlakke plaatvloer daarentegen is het leidingwerk ingestort. Uitbreiding is misschien mogelijk doormiddel van loze leidingen, is dit niet het geval dan kan nieuw leidingwerk worden ingefreezt of in een verlaag plafond worden verwerkt of het aanbrengen van de nieuwste technologieën worden achterwege gelaten.

De eerste twee opties hebben hogere kosten voor het onderhoud tot gevolg, voor de laatste optie zal een verschil in de huuropbrengsten in het voordeel van de buis met infra+ vloer ontstaan. Met deze gegevens kan worden geconcludeerd dat het kosten verschil van 67,50 €/m² verkleint zal worden en misschien wel omslaat in een voordeel.

Daarnaast heeft de buis met infra+ vloer als voordeel dat indien een overschot op de woningmarkt is ontstaan, wat leidt tot leegstand en huurprijzen die onder druk staan. Het met een beperkte investering mogelijk is een functiewisseling naar een andere functie, waar meer te verdienen is mogelijk is.

4.4.3 Conclusie rekenmodel met functiewisselingen

Het doel van dit onderzoek is om op door de voorgaande onderzoeken te koppelen aan de bouwsnelheid aan te geven wat de snelste, duurzaamste, flexibelste en goedkoopste combinatie van stabiliteit- en vloersysteem is. Dit systeem zal vervolgens worden vergeleken met de traditionele bouwwijze, kern met vlakke plaatvloer.

Naar voren is gekomen dat in de huidige situatie de betonnen buis het beste als stabiliteitsysteem kan worden toegepast. Om functiewisselingen mogelijk te maken gaat de voorkeur uit naar de infra+ vloer. De bouwsnelheid is hieraan gekoppeld door de verschillende vloeren en kolom liggerstructuren van de varianten kwalitatief met elkaar te vergelijken. Uit dit onderzoek zijn de volgende conclusies te trekken:

- Vanuit de totale kosten is de buis met kanaalplaat favoriet;
- Vanuit de bouwsnelheid is de buis met infra+ vloer favoriet;
- De kosten, bouwsnelheid, flexibiliteit bekijkend en de besparingen die voor de infra+ vloer optreden meenemend gaat de voorkeur naar de buis met infra+ vloer;
- De initiële kosten voor flexibiliteit, het verschil tussen het traditionele systeem en de buis met infra+ vloer bedraagt 67,50 €/m²;
- Als gevolg van de grotere flexibiliteit mag voor de buis lagere onderhoudskosten en eventueel hogere huuropbrengsten opleveren waardoor de extra kosten in de loop van de levensduur worden terug verdiend.

5 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

In hoofdstuk 4. Onderzoeken zijn aan het eind van de uitgevoerde onderzoeken de bijbehorende conclusies te vinden. In dit hoofdstuk zullen de op een breder vlak te trekken conclusies weergegeven. Daarnaast zullen de aanbevelingen naar aanleiding van het onderzoek worden gegeven. Tevens worden aanbevelingen gedaan voor het project van IMd Raadgevende Ingenieurs. Op de achtergrond is project een bron van inspiratie voor het afstuderen geweest.

5.1 Conclusie

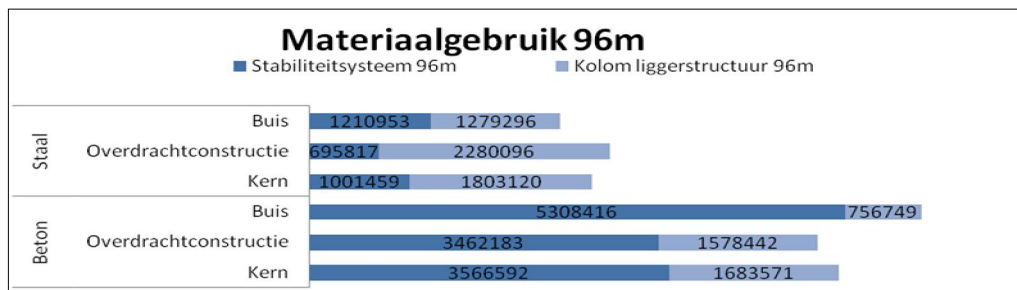
De breder te trekken conclusie bestaat uit de volgende drie statements:

- Duurzaamheid is meer dan de milieubelasting;
- Flexibiliteit is duurzaamheid;
- De traditionele bouwwijze is verkeerd.

5.1.1 Duurzaamheid is meer dan de milieubelasting

Voor het beoordelen van de duurzaamheid is in het afstuderen gebruik gemaakt van de verborgen milieukosten. De milieukosten zijn een indicatie van de kosten voor de ontstane milieuschade. Deze worden bepaald door de hoeveelheid materiaal, in kilogrammen, te vermenigvuldigen met het kengetal voor de milieukosten van het betreffende materiaal.

Bij de milieukosten voor stabiliteitsystemen valt op dat beton onafhankelijk van het stabiliteitsstelsel lagere milieukosten heeft dan de stalen varianten. Wat opmerkelijk is vanwege de vele malen grotere hoeveelheid beton die benodigd is. Bij een hoogte van 96m en afhankelijk van het stabiliteitsstelsel is 1,7 tot 2,45 keer zoveel beton nodig. Resultaat is een groter grondstofverbruik en meer puin bij sloop. Als dieper wordt ingegaan op de milieukosten komt de oorzaak al snel aan het licht. Een aantal milieueffecten, welke de basis voor de kengetallen vormen, hebben voor staal bij beduidend hogere waarde dan bij beton. Resultaat is een verschil in de milieukosten met een factor 12.



Figuur 67: materiaalgebruik stabiliteitsystemen bij een hoogte van 96m

Vanuit het oogpunt van de milieukosten zou het toepassen van een zwaardere betonbalk duurzamer zijn dan het toepassen van een lichtere stalenbalk. Iedereen is het echter eens met de stelling dat geen balk toepassen duurzamer is dan één balk moeten toepassen. Het is vervolgens ook logisch dat een lichtere balk duurzamer is dan een zwaardere balk. Anders gezegd minder materiaal is duurzamer, met de huidige kengetallen komt dit bij het toepassen van verschillende materialen niet naar voren.

De huidige productiewijze van staal is vergeleken met beton te milieubelastend. In de toekomst kan dit veranderen als gevolg van nieuwe of verbeterde productietechnieken. Maar ook is het gebruikte beton, vanwege de rekenregels, maar tot 50% recyclebaar als constructiemateriaal. Op den duur zal uitputting van de grondstof en landschapaantasting als gevolg van de winning en de opslag van puin optreden. Hierdoor zal een verschuiving van de kengetallen optreden. Naar voren is gekomen dat een stijging van 75% voor de milieukosten van beton tot gevolg heeft dat de stalen overdrachtconstructie duurzamer wordt.

Door uitputting ontstaat schaarste van beton, samen met ontwikkelingen op de staalmarkt kan dit een stijging van de materiaalkosten voor beton teweeg brengen. Als deze stijging 60% is betekend dit in combinatie met de stijging van de milieukosten dat de stalen variant niet alleen duurzamer is maar ook voor de integrale kosten goedkoper is.

Duurzaamheid kan dus worden uitgedrukt in milieukosten echter zijn deze bepaald met tijdsafhankelijke kengetallen. Door naar het materiaalgebruik te kijken is een universele uitspraak over de duurzaamheid te doen. Hoe milieubelastend de materialen voor het milieu zijn dient dan echter nog wel in het achterhoofd te worden meegenomen.

5.1.2 Flexibiliteit is duurzaamheid

Zoals beschreven wordt de duurzaamheid bepaald met de milieukosten. Deze kosten worden bepaald bij een levensduur van 75 jaar. Omdat de milieukosten in dit geval gaan over de materialen die in het gebouw verwerkt zitten betekent een langere levensduur lagere milieukosten. De milieubelasting wordt tenslotte over een langere periode verspreid.

Door veroudering van het gebouw voldoet het niet meer aan de eisen van de markt en dus wordt het gebouw minder interessant dan nieuwbouw die wel aan deze eisen voldoet. Het gevolg is leegstand met de kans op sloop. Als dit scenario optreedt binnen de levensduur van 75 jaar betekent dit dat de duurzaamheid van het gebouw slechter is dan van te voren verwacht. Door aanpassingen in het gebouw door te voeren kan weer voldaan worden aan de eisen vanuit de markt. Om deze aanpassingen door te kunnen voeren is wel een bepaalde flexibiliteit vereist. Hierbij valt te denken aan herindeling van de plattegrond, de flexibiliteit die dan nodig is, is een zo'n vrij indeelbare plattegrond als mogelijk. Om sloop te voorkomen en de huidige markt van het gebouw is niet meer interessant genoeg dan is het ook mogelijk om een functiewisseling toe te passen. Om dit op een financieel aantrekkelijke manier te doen moet de aanwezige vloer hiervoor enigszins geschikt zijn.

Niet alleen heeft een grote flexibiliteit via de levensduur een positieve invloed op de duurzaamheid van een gebouw. In de loop van de tijd zullen als gevolg van de ontwikkelingen energie zuinigere technologieën, voor de luchtbehandeling en verlichting, op de markt komen. Indien deze worden ingebouwd kan dit de veroudering afremmen maar daarnaast heeft het ook invloed op duurzaamheid als gevolg van energieverbruik. Een hogere flexibiliteit leidt ertoe dat deze technieken makkelijker en goedkoper, en daarom sneller zullen, worden ingepast.

Flexibiliteit draagt dus bij aan meer duurzaamheid omdat het de levensduur verlengt, veroudering tegen gaat of het inpassen van energiezuinige technologieën, waarmee het energieverbruik wordt verlaagd, mogelijk maakt.

5.1.3 De traditionele bouwwijze is verkeerd

De bouwwijze voor torens zou een buis met een infra+ vloer moeten zijn. Door het toepassen van dit systeem ontstaat een interne plattegrond met een grote vrije indeelbaarheid, zeker indien voor een relatief grote hart op hart afstand van de kolommen wordt gekozen. Een grote vrije indeelbaarheid draagt bij aan het makkelijk mogelijk maken van herindelingen, wat zoals eerder beschreven een positieve invloed op de duurzaamheid heeft. Als vanwege ontwikkeling op de markt van de huidige functie een functiewisseling een betere optie is. Is uit het onderzoek naar functiewisselingen naar voren gekomen dat dit het beste met de toegepaste infra+ vloer kan worden gedaan.

Als traditionele bouwwijze voor woontorens wordt veelal gekozen voor tunnelbouw en een andere optie is een kern met vlakke plaatvloer. De eerste optie is in het afstuderen buiten beschouwing gelaten omdat de dragende wanden de vergelijking met de kolom liggerstructuren van de andere varianten lastig maakt. Ook is dit systeem niet bepaald geschikt voor grote herindelingen of functiewisselingen. De kern met vlakke plaatvloer is ook niet geschikt voor functiewisselingen. Herindelingen of het inpassen van energiezuinige technologieën zijn wel mogelijk maar ten opzichte van de buis met infra+ vloer neemt dit wel extra kosten met zich mee.

Gesteld kan worden dat met de traditionele bouwwijze wordt gebouwd voor de behoefte die op dat moment aanwezig is. De buis met infra+ vloer wordt niet alleen gebouwd voor de behoefte die op dat moment aanwezig is, door de flexibiliteit kan worden ingesprongen op de behoefte die tijdens de levensduur van het gebouw ontstaan. Indien een gebouw uitgevoerd met de traditionele bouwwijze geen speciale culturele waarde voor de maatschappij krijgt. Is de kans op leegstand binnen de levensduur, 75 jaar, een reële kans. De buis met infra+ vloer kan door de flexibiliteit goedkoper inspelen op de kans op leegstand. Als gevolg hiervan zal dit ook eerder gedaan worden en een hoger rendement van de opbrengsten mag verwacht worden. Nadeel van de buis met infra+ vloer is dat de initiële kosten 67,50 €/m² hoger zijn.

Door bij de bouw te investeren in de duurdere buis met infra+ vloer ontstaat een gebouw wat naast het inspelen op de huidige behoefte ook op de toekomstige behoefte kan inspelen. Als gevolg hiervan is een hoger rendement, langere levensduur en als gevolg van de langere levensduur grotere duurzaamheid te verwachten.

5.2 Aanbevelingen

Momenteel zijn bij het ontwerpen van gebouwen veelal de bouwkosten van doorslaggevende betekenis voor de keuze van de variant. Duurzame aspecten worden vervolgens ingepast door geavanceerde en slimme installaties. Voor de duurzaamheid is op gebied van materialen echter ook een slag te slaan. Dit is te doen door opzoek te gaan naar de systemen met minimaal materiaalgebruik maar ook door te zorgen voor een lange levensduur. Voor de bouwmaterialen zit de milieubelasting voornamelijk in de productie en de sloop. Een langere levensduur geeft meer duurzaamheid omdat de milieubelasting over een langere periode kan worden gespreid. De levensduur wordt bewerksteld door een hoge flexibiliteit van het gebouw. Als gevolg van aanpassingen in de plattegrond kan het gebouw weer opnieuw voldoen aan de eisen vanuit de markt of door een functiewisseling is het gebouw in een ander marktsegment bruikbaar waardoor sloop wordt uitgesteld.

Aanbevelingen om een grotere duurzaamheid en flexibiliteit te bereiken zijn:

- Een vloersysteem, infra+ vloer, toe passen zodat een functiewisseling makkelijk mogelijk is;
- Maak als stabiliteitsysteem gebruik van een betonnen buis met infra+ vloer;
- Probeer het aantal interne kolommen zoveel mogelijk te beperken om een zo'n groot mogelijke flexibiliteit te bereiken;

In de conclusie wordt gezegd dat materiaalgebruik boven de milieukosten zou moeten worden gesteld. Met de situatie zoals deze nu is, is de betonnen buis duurzamer dan de stalen overdrachtconstructie. Dus is de aanbeveling voor alsnog de betonnen buis met infra+ vloer. Echter gaat dit over in de stalen overdrachtconstructie met een infra+ vloer indien de beschreven verschuiving van de materiaal- en milieukosten optreedt.

Ondanks dat bouwbedrijven de huidige wijze van bouwen volledig eigen zijn, en daarom graag vast houden aan deze bouwwijze. Zou met behulp van de bovenstaande punten moeten worden afgeweken van deze bouwwijze om flexibeler en duurzamer te bouwen. Deze hogere flexibiliteit en duurzaamheid brengen wel hogere initiële kosten met zich mee maar zijn over de totale investering gezien wel terug te verdienen. Daarnaast krijgt het gebouw een hogere waarde.

5.2.1 Aanbevelingen ten aanzien van afstudeerproject

De insteek van het afstuderen is deels gebaseerd op een hoogbouw project waar zes hoogbouw torens komen variërend in hoogte van 55m tot 135m. In het afstuderen is ongeveer naar deze hoogte range gekeken en hiervoor is naar voren gekomen dat een betonnen buis als stabiliteitsstelsel de voorkeur geniet. De huidige functie van het gebouw is wonen maar om te zorgen dat het gebouw in de toekomst ook bruikbaar blijft is het verstandig om al rekening te houden met mogelijke functiewisselingen. Dit kan gedaan worden door een infra+ vloer toe te passen, bijkomend voordeel hiervan is dat makkelijker gevarieerd kan worden met de plattegronden van de appartementen omdat in de vloer ruimte is om het leidingwerk op te nemen en aan te passen.

Bij toenemende hoogte worden vaak minder appartementen toegepast wat meer vrije indeelbaarheid wenselijk maakt. Waar in een kantoor of bijeenkomstenruimte over het algemeen rekening te houden is met interne kolommen kunnen deze in een woongebouw makkelijker voor problemen zorgen omdat de koper het appartement aan zijn wensen wil afstemmen en daarbij een grote vrije indeelbaarheid vereist. Gezien dit feit zou een overdrachtconstructie of kern in het voordeel zijn.



Figuur 68: onderwerpmodel afstudeerproject [IMd Raadgevende Ingenieurs]

Zoals in de afbeelding te zien is de gevel erg onregelmatig wat niet in het voordeel is van een buis. Daarnaast zal onder de torens een parkeergarage komen wat betekent dat de doorvoer van een buis naar de fundering veel ruimte en parkeerplaatsen zal kosten. Hier staat tegenover dat de buis wel als voordeel heeft dat voor iedere toren eenzelfde bouwsysteem kan worden toegepast. De dikte van de buis voor de toren van 55m kan overeenkomen met het bovenste deel van de toren van 135m wat veel regelmaat in de uitvoering brengt en daarmee een kostenbesparing kan geven.

Voor dit project gaat vanwege de gevel, de parkeergarage en grote gewenste flexibiliteit voor de hoogste torens de voorkeur uit naar een overdrachtconstructie. Met enige afstemming zou de kern zo gekozen kunnen worden dat de kleinere torens uit de voeten kunnen met alleen een kern waarbij de afmeting van de kern overeenkomt met de afmeting van de kern voor de hogere torens. Op deze wijze blijft veel regelmaat in de uitvoering aanwezig.

Als materiaal voor de overdrachtconstructie heeft staal overall de beste papieren maar hier is de duurzaamheid wel slechter en treedt vooral voor de toren van 135m het uitvoeringsprobleem als gevolg van de grote hoeveelheid palen op. Er moet echter wel gekeken moet worden of dit probleem bij de plattegrond voor dit project en de vorm en afmeting van de benodigde kern ook optreedt. Bij een uitvoering in beton kwam de overdrachtschijf slecht uit de bus als gevolg van de hoge kosten voor staal ten opzichte van beton. Door gebruik te maken van betonnen schijven als outrigger zou dit te ondervangen kunnen zijn, wel moet worden gekeken of dit wel gunstige prestaties oplevert. Is dit het geval dan zou dit een goede wel eens waar iets minder flexibele oplossing kunnen zijn. Het gaat om een woongebouw dus vaak speelt geluid een rol, door de uitvoering in beton bevat het stabiliteitsstelsel meer massa en dus wordt geluidsoverdracht door het stabiliteitsstelsel meer tegen gegaan.

5.2.2 Mogelijk toekomstig onderzoek

Bij het gebruik van de flexibiliteitratio in de rekenmodellen kwamen de volgende elementen naar voren:

- Interne kolommen hebben een relatief grote invloed op de flexibiliteitratio, misschien teveel, en verder onderzoek om de factor voor vrije indeelbaarheid van kolommen te bepalen is dan ook nodig;
- Het vloeroppervlak in de kern kan erg groot worden ten opzichte van het totale vloeroppervlak, onder andere in Nederland waar eisen aan de daglichttoetreding zitten is dit niet gewenst en dit moet een negatief effect op de flexibiliteitratio hebben. Deze koppeling zit echter niet in de flexibiliteitratio en zal door verder onderzoek moeten worden aangebracht;
- Voor de case studie werden voor de verschillende gebouwen uiteenlopende waarde voor de flexibiliteitratio gevonden. Voor de rekenmodellen liggen vanwege het gebruik van eenzelfde plattegrond de waarde voor de verschillende stabiliteitsystemen erg dicht bij elkaar.

Dit geeft aanleiding tot toekomstig onderzoek voor de flexibiliteitratio en enige voorzichtigheid en gebruik van gezond verstand bij de interpretatie van de resultaten. In dit toekomstig onderzoek zou zowel de factor voor de vrije indeelbaarheid van de kolommen als voor kernen met een groot vloeroppervlak in de kern ten opzichte van het totale vloeroppervlak moeten worden aangescherpt.

Naast het verdere onderzoek naar de flexibiliteitratio zijn de volgende onderwerpen interessant om toekomstig onderzoek naar te doen.

- De invloed van het aantal hijsbewegingen en de massa van de te hijsen vloer op elkaar en het gebruik van een betonpomp en minder hijsbewegingen ten opzichte van meer hijsbewegingen;
- Een uitgebreid onderzoek naar de bouwtijd voor de vloer- en stabiliteitsystemen;
- De invloed van de kostenbesparingen die optreden voor de integrale vloersystemen;
- Een completere vergelijking voor de uitvoeringsaspecten, kostenbesparingen en materiaalkosten van de verschillende vloersystemen.

5.3 Terugblik

Inmiddels ben ik aangekomen bij de laatste pagina's van mijn afstudeerscriptie. Het afstuderen is een periode geweest waarin ik veel heb geleerd. Door het afstuderen uit te voeren bij IMd Raadgevende Ingenieurs heb ik de kans gehad om te zien hoe het er bij een ingenieursbureau in de beroepspraktijk aan toe gaat. Dit is naar mijn mening een voordeel van het afstuderen bij een bedrijf maar ook heb je constant collega's om je heen. Dit zorgt op zijn tijd niet alleen voor de broodnodige afleiding. Ook zorgt dit ervoor dat je het gevoel krijgt deel uit te gaan maken van een team waarbinnen je jou prestatie moet leveren. Iets wat in mijn ogen de productiviteit ten goede komt.

Met het beginnen aan het afstuderen ben ik ook meteen begonnen met het schrijven van mijn rapport. Deze keuze had ik gemaakt om te voorkomen dat ik aan het einde niet meer wist waarom bepaalde keuzes heb gemaakt. Voor de literatuurstudie een methode die prima werkte. Naar mate dat ik met de onderzoeken voorderde veranderde de wijze van benaderen of de invalshoek wel eens en dit leidde tot het herschrijven van stukken tekst. Na een opmerking van Pim hierover ging ik beseffen dat dit niet alleen veel tijd kostte, het gaf ook veel tekst die uiteindelijk tot te veel details zou leiden. Het overstappen op het uitvoeren van de onderzoeken en pas daarna het verslag schrijven heeft dan ook een versnelling van het proces gegeven. Als gevolg van de vele varianten was het pas laat mogelijk om te beginnen aan de conclusies. Daarnaast zorgde dit ervoor dat de structuur in het geheel leek te ontbreken. Achteraf was tijdsbesparing mogelijk geweest door minder varianten te bekijken. Aan de andere kant hebben de varianten wel bijgedragen aan meer inzicht en gevoel voor de resultaten.

Tijdens het afstuderen ben ik ingegaan op de stabiliteitsystemen voor hoogbouw, duurzaamheid, flexibiliteit en kosten. Hoogbouw was een onderwerp wat altijd mijn interesse heeft getrokken, en ik denk dat het dit stiekem bij iedere civiel ingenieur wel doet. Dit was dan ook de reden dat ik in mijn afstuderen graag met hoogbouw aan de slag wou. Duurzaamheid is een van de andere onderwerpen en kwam enigszins toevallig op mijn pad. Duurzaamheid, een hot item in de maatschappij. Maar aan het begin van mijn afstuderen ook een term waar ik sceptisch tegen over stond omdat de term te pas en te onpas wordt gebruikt. Tijdens mijn afstuderen ben ik de waarde van de term duurzaamheid echter meer en meer gaan zien. Het is een term die meerdere betekenissen kan hebben en helaas wordt vaak de verkeerde gebruikt. Duurzaamheid gaat om het op die wijze handelen dat we niet alleen aan ons zelf denken maar ook aan de toekomstige generaties. Het nastreven van duurzaamheid moet in mijn ogen dan ook niet als een optie worden gezien maar als een uitgangspunt.

Flexibiliteit ook een term waarvoor diverse betekenissen mogelijk zijn. Ik heb gekozen om in te zoomen op de vrije indeelbaarheid en functiewisselingen. Twee in mijn ogen interessante aandachtspunten die meer met duurzaamheid te maken hebben dan dat ik van te voren had kunnen bedenken. Tot slot heb ik naar de kosten gekeken. Voor het afstuderen meegenomen om te dienen als referentiekader aan de hand waarvan verschillende opties worden vergeleken. Helaas in de bouwwereld ook veelal de maatstaaf als het gaat om het nemen van beslissingen. Ook in het afstuderen moest ik me dwingen niet teveel op de kosten te concentreren want hierdoor worden de overige aspecten over het hoofd gezien. Denken aan de toekomst kost nu eenmaal geld maar heeft ook de potentie om meer op te leveren. Ik denk dat duurzaamheid en flexibiliteit het in de bouw ook alleen maar kunnen maken als men de focus minder op de kosten gaat leggen en meer naar het totaal plaatje en de toekomstige behoefte gaat kijken.

6 REFERENTIES

1. Wolfgang Scheuller, 1990, *The Vertical Building Structure*, Van Nostrand Reinhold, 658 pagina's;
2. 1994, *Diktaat Hoogbouw*, TU Delft Civiele Techniek;
3. Hoffman J., 2008, *Duurzame hoogbouw*, Onderzoek naar de financiële consequenties van duurzaam ontwikkelen van hoogbouwprojecten in Nederland, Bouwkunde, TU Delft;
4. Beedle, L.S. 1995, *Proceedings of the Fifth World Congress Tradition and Innovation*, Council of Tall Buildings and Urban Habitat, 1491 pagina's;
5. Stichting Bouwresearch, 1988, *Hoogbouw: staal of beton?*, 338 pagina's;
6. Stichting Research Rationele bouw, 2005, *Hoogbouwlogistiek*, 65 pagina's;
7. Hendriks, Ch.F. 1999, *Duurzame bouwmaterialen*, Æneas, 584 pagina's;
8. Dobbelsteen A. van den & Alberts K., 2001, *Milieueffecten van bouwmaterialen – duurzaam omgaan met grondstoffen*, TU Delft Civiele Techniek & Bouwkunde, 130 pagina's;
9. Haas, M. 2008, *NIBE's basiswerk milieuclassificatie bouwproducten deel 1 draagconstructies*, NIBE Research, 352 pagina's;
10. Dobbelsteen A. van den, Arets M. & Nunes R., 2007, *Sustainable design of supporting structures – Optimal structural spans and component combinations for effective improvement of environmental performance*, 14 pagina's;
11. Haas, M. 2008, *NIBE's basiswerk milieuclassificatie bouwproducten classificatie tabellenboek*, NIBE Research, 62 pagina's;
12. Dobbelsteen, A. van den 2004, *The sustainable office*, proefschrift;
13. Arets, M 2001, *Milieuvergelijkingen van draagconstructies*, Civiele Techniek, TU Delft.
14. Dobbelsteen A. van den, Thijssen, S., Colaleo V. & Metz T., 2007, *Ecology of the Building Geometry – Environmental performance of different building shapes*, 10 pagina's;
15. Newman P. & Kenworthy J., 1989, *Gasoline consumption and cities*, Journal of the American Planning Association nummer 55, 14 pagina's;
16. Verhoeven, A. 1982, *Diktaat Wind nuisance*, Stichting Bouwresearch;
17. Thijssen, S 2007, *Environmental impact of high rise office buildings*, Bouwkunde, TU Delft;
18. Saari A. & Heikkila P., 2008, *Building flexibility management*, The Open Construction and Building Technology Journal nummer 2, 4 pagina's;
19. Rongen, C. van 1994, *Veranderbaarheid en Flexibiliteit van gebouwen*, Publicatieburo Bouwkunde, 65 pagina's;
20. NEN 6702 Algemene belastingen constructies, 2001;
21. Bouwbesluit 2003 met integrale tekst jan 2008;

22. Linden. A. van der 2006, *Bouwfysica*, Thieme meullenhoff, 237 pagina's.
23. Wit, J 2007, *Belifiting in hoogbouw*, TVVL Magazine 2007 nummer 6, 9 pagina;s.
24. Roseboom, J 2005, *Scriptie Infra+ vloer & Betonkernactivering*, Bouwkunde, Hogeschool van Utrecht;
25. Slimline Buildings BV, Brochure infra+ vloer;
26. 3D Blueprint, Brochure Holcon vloer;
27. Dycore, Productinformatie Flexfloor.
28. Oss, S. van 2007, *Hoe hoger hoe duurder*, Onderzoek naar de invloed van de bouwhoogte op de investeringskosten van kantoorgebouwen in Nederland, Bouwkunde, TU Delft;
29. Woudenberg I. & Vambersky J., *Windbelasting, hoogbouw en regelgeving*, Cement 2003 nummer 6, 6 pagina's;
30. Eurocode 1991-1-4, Algemene belastingen constructies – Windbelasting;
31. Cook N., *The Deaves and Harris ABL model applied to heterogeneous terrain*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 1997 nummer 66, 18 pagina's;
32. Bom A. de & Mans D., 1990, *Delftse Poort, hoogste kantoorgebouw van Nederland*, Cement 1990 nummer 4, 9 pagina's
33. Wemelsfelder, P 1996, *Hoofdkantoor Interpolis in Tilburg*, Cement 1996 nummer 12, 6 pagina's;
34. Slimline Buildings BV, *Kostenvergelijking infra+ vloer*,
35. <http://www.skyscrapercity.info>;
36. <http://www.bouwkosten.nl>;
37. <http://www.bouwkostenonline.nl>;
38. <http://www.dycore.nl>;
39. <http://www.vbi.nl>;
40. <http://www.dutchengineering.nl>;
41. Betonson, 2003, *Productinformatie wing plaatvloer*, 6 pagina's;
42. <http://www.ifd.nl>;
43. Brundland, G.H. 1987, World Commission on Environment and Development, *Our common future*, Oxford University, 400 pagina's;
44. <http://euobserver.com/885/28214>;

45. <http://www.senternovem.nl>;
46. NEN 2634, *Termen, definities, en regels voor het overdragen van gegevens over kosten/ en kwaliteitsaspecten voor bouwprojecten*, 2002;
47. Nout, K. 1996, *Grondzaken doen*, Vereniging Nederlandse Gemeenten, 153 pagina's;
48. Jonge de, T. 1998, *Indirecte en Algemene bouwkosten*, NVBK, 20 pagina's;
49. Gerritse, C. 1999, *Kosten en kwaliteit*, 120 pagina's;
50. Langdon, D. 2002, *Cost models highrise office towers*, 7 pagina's;
51. <http://www.skyscraperpage.com>;
52. <http://www.wonen.rotterdam.nl> , Leges 2009 Gemeente Rotterdam;
53. Boele & van Eesteren, 2009, *Projectanalyse Modulus*; 3 pagina's;
54. <http://www.bouwenmetstaal.nl>;
55. Walraven, J.C. 2007, *Concrete structures 2: Buildings*, TU Delft Faculty Civil Engineering and Geosciences Department of Design and Construction Structural and Building Engineering Concrete Structures, 17 pagina's;
56. Hoenderkamp, J.C.D. 2004, *Hoge gebouwen: constructies voor stabiliteit*, TU Eindhoven Faculteit Bouwkunde Capaciteitsgroep Constructief Ontwerpen, 136 pagina's;
57. CUR bouw en infra, 2007, *CUR aanbeveling 112: Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal*, CUR, 12 pagina's.

7 LITERATUURLIJST

7.1 Boeken

1994, *Diktaat Hoogbouw*, TU Delft Civiele Techniek;

3D Blueprint, Brochure Holcon vloer;

Arets, M 2001, *Milieuvergelijkingen van draagconstructies*, Civiele Techniek, TU Delft.

Bom A. de & Mans D., 1990, *Delftse Poort, hoogste kantoorgebouw van Nederland*, Cement 1990 nummer 4, 9 pagina's;

Bouwbesluit 2003 met integrale tekst jan 2008;

Brundland, G.H. 1987, World Commission on Environment and Development, *Our common future*, Oxford University, 400 pagina's;

Cook N., *The Deaves and Harris ABL model applied to heterogeneous terrain*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 1997 nummer 66, 18 pagina's;

Council of Tall Buildings and Urban Habitat, 1995, *Proceedings of the Fifth World Congress Tradition and Innovation*, 1491 pagina's;

Dobbelsteen A. van den & Alberts K., 2001, *Milieueffecten van bouwmaterialen – duurzaam omgaan met grondstoffen*, TU Delft Civiele Techniek & Bouwkunde, 130 pagina's;

Dobbelsteen A. van den, Arets M. & Nunes R., 2007, *Sustainable design of supporting structures – Optimal structural spans and component combinations for effective improvement of environmental performance*, 14 pagina's;

Dobbelsteen A. van den, *The sustainable office – An effective approach from the organisation of work to building design and technology*, 12 pagina's;

Dobbelsteen A. van den, Thijssen, S., Colaleo V. & Metrz T., 2007, *Ecology of the Building Geometry – Environmental performance of different building shapes*, 10 pagina's;

Dobbelsteen, A. van den 2004, *The sustainable office*, proefschrift;

Dycore, Productinformatie Flexfloor;

Eurocode 1991-1-4, Algemene belastingen constructies – Windbelasting;

Gerritse, C. 1999, *Kosten en kwaliteit*, 120 pagina's;

Haas, M. 2008, *NIBE's basiswerk milieuclassificatie bouwproducten deel 1 draagconstructies*, NIBE Research, 352 pagina's;

Haas, M. 2008, *NIBE's basiswerk milieuclassificatie bouwproducten classificatie tabellenboek*, NIBE Research, 62 pagina's;

Hendriks, Ch.F. 1999, *Duurzame bouwmaterialen*, Æneas, 584 pagina's;

Hoffman J., 2008, *Duurzame hoogbouw*, Onderzoek naar de financiële consequenties van duurzaam ontwikkelen van hoogbouwprojecten in Nederland, Bouwkunde, TU Delft;

Langdon, D. 2002, *Cost models highrise office towers*, 7 pagina's;

- Linden. A. van der 2006, *Bouwfysica*, Thieme meullenhoff, 237 pagina's;
- NEN 6702 Algemene belastingen constructies;
- Newman P. & Kenworthy J., 1989, *Gasoline consumption and cities*, Journal of the American Planning Association nummer 55, 14 pagina's;
- Nout, K. 1996, *Grondzaken doen*, Vereniging Nederlandse Gemeenten, 153 pagina's;
- Oss, S. van 2007, *Hoe hoger hoe duurder*, Onderzoek naar de invloed van de bouwhoogte op de investeringskosten van kantoorgebouwen in Nederland, Bouwkunde, TU Delft;
- Rongen, C. van 1994, *Veranderbaarheid en Flexibiliteit van gebouwen*, Publicatieburo Bouwkunde, 65 pagina's;
- Roseboom, J 2005, *Scriptie Infra+ vloer & Betonkernactivering*, Bouwkunde, Hogeschool van Utrecht;
- Saari A. & Heikkila P., 2008, *Building flexibility management*, The Open Construction and Building Technology Journal nummer 2, 4 pagina's;
- Slimline Buildings BV, Brochure infra+ vloer;
- Slimline Buildings BV, Kostenvergelijking infra+ vloer;
- Stichting Bouwresearch, 1988, *Hoogbouw: staal of beton?*, 338 pagina's;
- Stichting Research Rationele bouw, 2005, *Hoogbouwlogistiek*, 65 pagina's;
- Taranath, Bungale S. 1998 , *Steel, Concrete & Composite Design of Tall Buildings*, Mc Graw Hill, 998 pagina's;
- Thijssen, S 2007, *Environmental impact of high rise office buildings*, Bouwkunde, TU Delft;
- Verhoeven, A. 1982, *Diktaat Wind nuisance*, Stichting Bouwresearch;
- Wemelsfelder, P 1996, *Hoofdkantoor Interpolis in Tilburg*, Cement 1996 nummer 12, 6 pagina's;
- Wit, J 2007, *Belifting in hoogbouw*, TVVL Magazine 2007 nummer 6, 9 pagina's;
- Wolfgang Scheuller, 1990, *The Vertical Building Structure*, Van Nostrand Reinhold, 658 pagina's;
- Woudenberg I. & Vambersky J., *Windbelasting, hoogbouw en regelgeving*, Cement 2003 nummer 6, 6 pagina's;
- Zijlstra, H. 2006, *Bouwen in Nederland 1940-1970 – continuïteit + veranderbaarheid = duurzaamheid*, proefschrift.

7.2 Websites

<http://euobserver.com/885/28214>, juli 2009;

<http://www.bouwkosten.nl>;

<http://www.bouwkostenonline.nl>;

<http://www.dutchengineering.nl>;

<http://www.duurzaamgebouwd.nl>;

<http://www.dycore.nl>;

<http://www.hoogbouw.nl>;

<http://www.ifd.nl>;

<http://www.keyzerbouwtechniek.nl>;

<http://www.senternovem.nl>;

<http://www.skylinecity.info>;

<http://www.skyscrapercity.info>;

<http://www.skyscraperpage.com>;

<http://www.skyscrapers.org>;

<http://www.Slimline.nl>;

<http://www.vbi.nl>;

<http://www.wikipedia.nl>.

