

# Literatuurstudie 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 rapport 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 de literatuurstudie voor het afstudeeronderzoek. Naast dit rapport zijn de rapporten “Onderzoek stabiliteitsystemen, kosten, duurzaamheid en flexibiliteit van hoogbouw” en “Bijlagen stabiliteitsystemen, kosten, duurzaamheid, flexibiliteit van hoogbouw” ook onderdeel van het afstudeeronderzoek. Het eerste deelrapport van de literatuurstudie gaat in op de geschiedenis van hoogbouw en het gedrag en de hoogte van de verschillende stabiliteitsystemen. Het tweede deelrapport houdt zich bezig met de kostenaspecten van bouwprojecten, wat de extra kosten voor hoogbouw zijn en hoe de kosten tijdens het onderzoek zullen worden bepaald. De twee hierna volgende deelrapporten gaan voor respectievelijk de duurzaamheid en flexibiliteit in op de definitie van deze term in het onderzoek en hoe tijdens het onderzoek deze aspecten zullen worden bepaald. Het vijfde en laatste deelrapport bevat een korte studie naar de huidige hoogbouw in Nederland om voor het rekenmodel een plattegrond vast te stellen en daarnaast wordt een studie gedaan naar de belastingen voor hoogbouw.

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 Dobbelsesteen, 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

DEELRAPPORT STABILITEITSYSTEMEN .....	1
Inleiding stabiliteitsystemen .....	2
Hoogbouw .....	3
1.1 Geschiedenis hoogbouw .....	3
1.2 Hoogbouw in Nederland .....	5
1.3 Definitie hoogbouw .....	6
Stabiliteitsystemen .....	7
1.4 Raamwerken .....	7
1.5 Schijven .....	8
1.6 Raamwerk met schijven .....	9
1.7 Kernen .....	9
1.8 Kern met raamwerken .....	12
1.9 Overdrachtconstructie .....	12
1.10 Raamwerkbuis .....	14
1.11 Geschoorde buis .....	15
1.12 Buis in buis .....	16
1.13 Gebundelde buizen .....	17
1.14 Megaconstructies .....	17
Hoogtes stabiliteitsystemen .....	18
DEELRAPPORT KOSTEN .....	21
2 Inleiding kosten .....	22
3 Investeringskosten .....	23
3.1 Grondkosten .....	23
3.2 Bouwkosten .....	23
3.3 Bijkomende kosten .....	24
3.4 Belasting toegevoegde waarde .....	24
4 Invloed hoogbouw .....	25
4.1 Invloed hoogte op gebouwdelen .....	25
4.2 Bouwtijd .....	26
4.3 Bouwplaatskosten .....	26
4.4 Efficiëntie vloeroppervlak .....	26
5 Kosten hoogbouw .....	27
5.1 Fundering .....	27
5.2 Draagconstructie .....	27
5.3 Installaties .....	28
5.4 Gevel .....	29
5.5 Bouwplaatskosten .....	29
5.6 Directe bouwkosten .....	30
5.7 Bouwtijd .....	31
6 Bepalen kosten hoogbouw .....	32
6.1 Kosten draagconstructie .....	32
DEELRAPPORT BOUWDUURZAAMHEID .....	35
7 Inleiding bouwduurzaamheid .....	36
8 Geschiedenis en terminologie .....	37
8.1 Duurzame ontwikkeling .....	37
8.2 Duurzaam bouwen .....	37
8.3 Duurzaamheid .....	38

9	Duurzaamheid meten.....	39
9.1	Achtergrond levenscyclusanalyse .....	39
9.2	Levenscyclusanalyse .....	39
9.3	Weging.....	40
9.4	Conclusie .....	41
10	TWIN model.....	42
10.1	TWIN model 2002 .....	42
11	Huidige duurzaamheid in de bouw .....	44
11.1	Milieubelasting kantoren.....	44
11.2	Draagconstructie optimaliseren .....	45
12	Duurzaamheid als gevolg van hoogbouw.....	47
12.1	Grondgebruik .....	47
12.2	Reizen.....	48
12.3	Maatschappelijke waarde.....	49
12.4	Conclusie .....	49
12.5	Innovatieve toepassingen.....	49
13	Bouwduurzaamheid .....	50
13.1	Definitie bouwduurzaamheid .....	50
13.2	Huidige status bouwduurzaamheid.....	50
13.3	Bepalen bouwduurzaamheid.....	51
<b>DEELRAPPORT FLEXIBILITEIT .....</b>		<b>55</b>
14	Inleiding flexibiliteit.....	56
15	Terminologie .....	57
15.1	Industrieel Flexibel en Demontabel bouwen .....	57
15.2	Flexibiliteit en tijd.....	57
15.3	Definitie flexibiliteit.....	58
16	Functies.....	59
16.1	Functie eigenschappen .....	59
16.2	Conflicten en overeenkomsten .....	61
16.3	Overzicht conflicten en overeenkomsten.....	64
17	Integrale vloersystemen.....	65
17.1	Infra+vloer .....	65
17.2	Holcon vloer .....	67
17.3	Flexvloer .....	68
17.4	Wingvloer .....	69
<b>DEELRAPPORT REKENMODEL.....</b>		<b>71</b>
Inleiding rekenmodel.....		72
18	Model.....	73
18.1	Plattegrond.....	73
19	Belastingen.....	77
19.1	Permanente belasting .....	77
19.2	Veranderlijke belasting.....	77
19.3	Belastingfactoren, momentaanfactoren en belastingcombinaties .....	81
19.4	Uitbuiging en trilling.....	81
<b>REFERENTIES.....</b>		<b>83</b>
<b>LITERATUURLIJST.....</b>		<b>87</b>





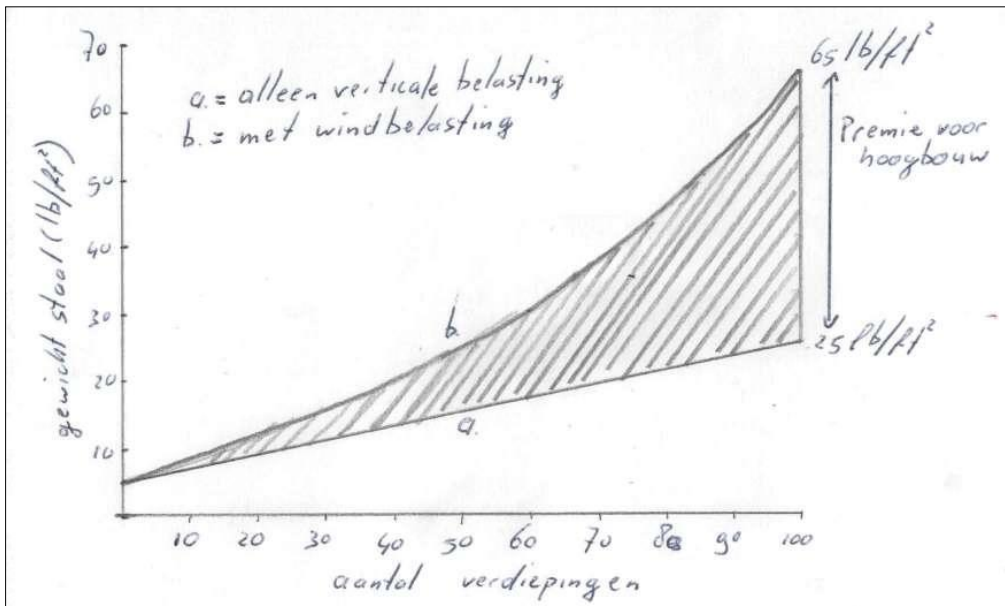
# DEELRAPPORT STABILITEITSYSTEMEN

## Inleiding stabiliteitsystemen

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 1: premie voor hoogbouw [gebaseerd op: Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>

Voor de hoofddraagconstructie van hoogbouw zijn verschillende systemen voorhanden om te zorgen dat aan de sterkte en stijfheid wordt voldaan, ieder systeem heeft hierbij zijn eigen kenmerken en maximaal hoogte waarbij het systeem efficiënt en economisch blijft.

Nadat de afzonderlijke systemen zijn bekeken en een overzicht is gemaakt van de systemen voor de draagconstructie van hoogbouw moet een beoordeling van de systemen bedacht worden.

In dit rapport is van de verschillende voor hoogbouw geschikte systemen terug te vinden wat hun kenmerken, hoogte en eventuele voor- en nadelen zijn.

## Hoogbouw

### 1.1 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. De komst van ijzer zorgde ervoor dat een splitsing tussen het afdragen van de belastingen en verzorgen van de stabiliteit kon worden gemaakt. De intern geplaatste kolommen en liggers van gegoten ijzer en later het smeedijzer, dat sterker en minder bros is, namen de verticale belastingen op. Het externe metselwerk zorgde voor de stabiliteit door de horizontale belastingen 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 tevens de skeletconstructie zich in het tweede deel van de 19<sup>e</sup> eeuw verder ontwikkelde kon men spreken van het aanbreken van de pre wolkenkrabber periode.

#### 1.1.1 1<sup>e</sup> Wolkenkrabber periode (1885-1900)

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. Met deze nieuwe bouwmethode hadden de architecten veel moeite omdat er nog geen stijl voor ontwikkeld was. In veel gevallen is het palazzo idee, een basis, schacht en kop, terug te vinden waarbij de schacht in de hoogte is opgerekt.

Sullivan was een architect die van mening was dat voor de wolkenkrabbers geen historische stijl moest worden gebruikt maar dat de ideale compositie de eigenschappen van de constructie, de hoogte en de geest van de industriële maatschappij moest weergeven [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>. Zodoende verschoof de concentratie van de basis, schacht en top naar een zware basis, welke de belastingen moet dragen, en een zich in de hoogte ontwikkelden schacht. Tevens vond de ontwikkeling plaatst dat de gevels volledig open waren tussen de constructie in, dit benadrukte de slanke afmetingen van de constructie nog meer. De wolkenkrabbers uit deze tijd waren niet alleen in staal, 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.

#### 1.1.2 2<sup>e</sup> Wolkenkrabber periode (1900-1931)

Waar in de 19<sup>e</sup> eeuw de technologie nog een beperkende factor was voor de hoogte van de "wolkenkrabber" kwam hier in de 20<sup>ste</sup> eeuw verandering in toen werd aangetoond dat de technische elementen niet meer de beperkende factoren voor de hoogte waren.



*Figuur 2: Guaranty Building, waarbij de hoogte wordt benadrukt ipv de basis, schacht en top. [Jeffrey Howe, Boston College]*

De in Chicago gebouwde wolkenkrabbers zijn niet de wolkenkrabbers zoals we deze nu kennen, het waren eerder meerdere verdiepingen 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, waar men meer geloofde 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.

Zodoende werd de echte wolkenkrabber geboren en ging men opzoek naar een stijl voor deze gebouwen, waarbij de New Yorkse architecten terug grepen op de Gotische en Klassieke systemen waarbij de ornamenten in het staal zitten verwerkt. Dit in tegenstelling tot Chicago waar een scheiding tussen het gebouw en de ornamenten aanwezig is volgens het vorm volgt functie principe.



Figuur 3: Empire State Building [David Shankbone]

#### 1.1.2.1 Tweede fase 2<sup>e</sup> wolkenkrabber periode

De Chicago Tribune competitie in 1922 werd gewonnen door een Gotisch uitgevoerde toren maar ook werden nieuwe ontwerp mogelijkheden opgedaan waardoor deze competitie een nieuwe fase inluidde. Deze nieuwe fase had als uitgangspunt dat de massa van het gebouw de opwaartse beweging laat zien. Op deze manier ontstond een gebouw wat iets weg heeft van een berg die uit de grond omhoog groeit. Door deze filosofie te combineren met kunst en architectuur ontstond de Art Deco stijl waarbij diverse al bekende stijlen werden gecombineerd.

Het toppunt van de strijd om de hoogste toren in de 2<sup>e</sup> wolkenkrabber periode vond in 1931 plaats met het afronden van de bouw van het in Art Deco stijl gebouwde Empire State Building. Dit gebouw mocht zich meer dan 40 jaar het hoogste gebouw ter wereld mocht noemen [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>.

#### 1.1.3 3<sup>e</sup> Wolkenkrabber periode (1931-1974)

The PSFS Building van 1932 was de eerste wolkenkrabber die brak met de torenvorm configuratie en liet duidelijk het draagsysteem zien in plaats van de gevel te bekleden met ornamenten. Het kon gezien worden als een moderne manier van bouwen en was een voorloper van de 3<sup>e</sup> wolkenkrabber periode. Het begin van de 3<sup>e</sup> wolkenkrabber periode liet echter tot de jaren vijftig op zich wachten. Dit was het gevolg van de economische crisis in de jaren dertig en vervolgens de Tweede Wereldoorlog. In deze fase werd niet zo zeer meer over wolkenkrabbers maar over hoogbouw gesproken, de bouw hiervan vond over heel de wereld plaats in zowel staal, gewapend beton en metselwerk.

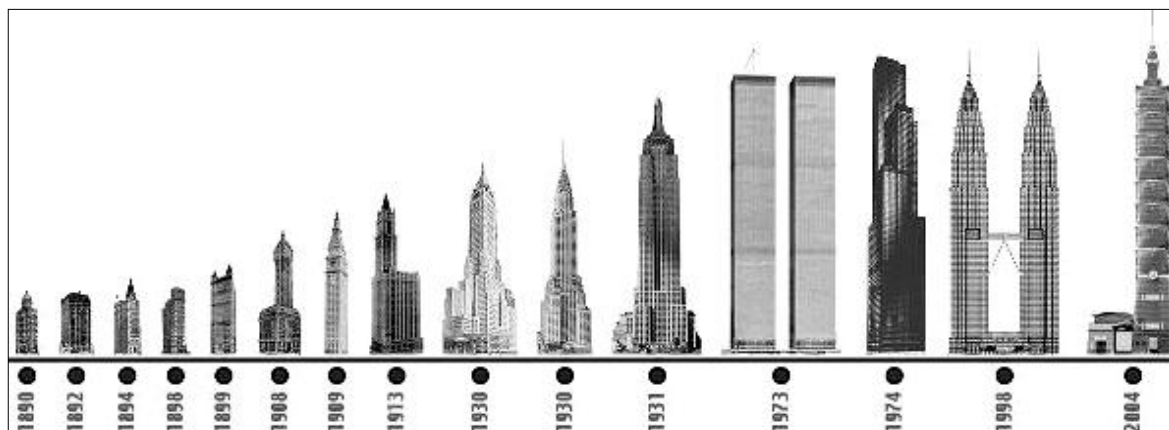
In plaats van het bekleden van de gevels met historische stijlen en de emotie als element te zien voor het ontwerp werden de gebouwen nu ontworpen op functionele en technologische feiten waardoor de constructie een belangrijker element werd. Dit zorgde ervoor dat de ontwerpers innovatief en inventief 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, doordat ze inefficiënt zijn in het opvangen van dwarskrachten en momenten, vervangen door de efficiënt werkende kernen [Diktaat hoogbouw]<sup>2</sup>.

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.

### 1.1.4 4<sup>e</sup> Wolkenkrabber periode (1974-nu)

Dit is de periode waarin Art Deco weer een grotere bron van inspiratie werd en het beeld van de eerdere wolkenkrabbers weer enigszins terug kwam. Maar tevens heeft het modernisme van de 3<sup>e</sup> wolkenkrabber periode zich door ontwikkeld in het Structuralisme waarbij de nadruk wordt gelegd op robotica en geavanceerde ruimtetechnologie.

De reden voor het bouwen van wolkenkrabbers is weer meer en meer terug gegaan naar de reden die ook voor tempels en paleizen werd gebruikt, namelijk de status van de stad en de economische kracht die het heeft laten zien [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>.



Figuur 4: tijdlijn hoogste gebouw [www.skyscrapers.org/tallest\_towers/tallest.htm]

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

## 1.2 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. Toen Rotterdam na de oorlog weer werd opgebouwd bleef de bouw van hoogbouw nog redelijk beperkt, totdat men in de jaren zestig vanuit het oogpunt van ruimte voor groen in de wijk galerijflats ging bouwen. Later werd deze keuze gezien als een slechte keuze omdat het niet aansloot bij de woonwensen en met de bouw van laagbouw wijken ontstond door leegloop veel problemen in deze "hoogbouw" wijken.

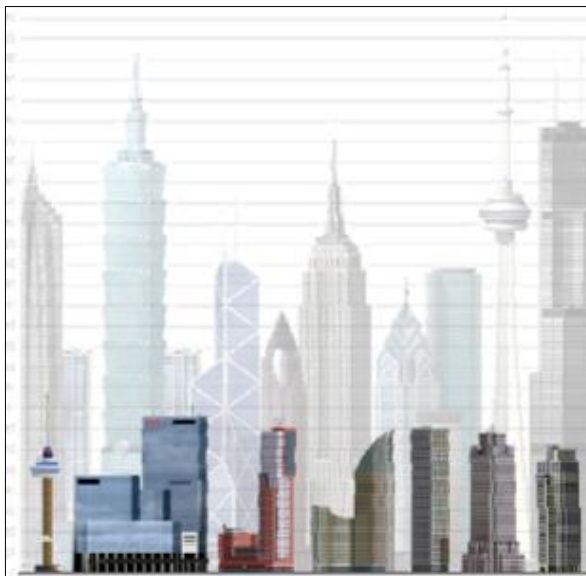


Figuur 5: het Witte huis in Rotterdam  
[http://hdl.loc.gov/loc/ppn/pnsc.05839]

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 in het denken over hoogbouw plaats. De reden voor hoogbouw veranderde van een oplossing bieden voor de woningnood naar de stad of een bedrijf een uitstraling geven. En men veranderde van hoge woongebouwen naar hoge kantoorgebouwen.

Rotterdam ontwikkeld zich in de jaren negentig door tot de hoogbouw stad van Nederland waarbij vooral de Kop van Zuid erg bekend werd. Ook andere steden gaan zich bezig houden met hoogbouw zoals: Amsterdam, Den Haag, Utrecht, Leeuwarden, Tilburg en Eindhoven. Hierbij blijft de concentratie van hoogbouw wel in Rotterdam en Den Haag liggen [Hoffman, 2008]<sup>3</sup>.

Ondanks deze ontwikkelingen blijft Nederland vergeleken met de grote hoogbouwlanden achter op het gebied van hoogbouw. Dit heeft deels te maken met dat men pas begin jaren negentig is begonnen met hoogbouw maar ook met de behoefte die vanuit binnenstedelijke problemen naar hoogbouw aanwezig is. Het ruimtegebrek in Nederland is niet zo extreem dat hoge of superhoge hoogbouw nodig zijn. Daar komt nog bij dat in Nederland maar ook in de rest van Europa veel steden een eigen karakter, historie en historisch centrum hebben wat het moeilijker acceptabel maakt om midden in de stad hoogbouw te bouwen. Dit zorgt ervoor 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]<sup>4</sup>.



Figuur 6: vergelijking hoogbouw in Nederland en de rest van de wereld [<http://www.skyscraperpage.com>]<sup>51</sup>

### 1.3 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.

Ook in het bouwbesluit en bij de verschillende gemeente is men het niet eens over de definitie van hoogbouw, het bouwbesluit noemt een gebouw hoogbouw indien een lift aanwezig is en de eis die hier aan zit is bij een gebouw van 5 verdiepingen of hoger. De gemeente Rotterdam houdt aan dat het gebouw 70m of hoger moet zijn, de gemeente Amsterdam houdt aan gebouwen van 30m hoog waarbij meer dan 50% boven de gemiddelde bouwhoogte van de omgeving uitsteekt en als het gebouw hoger is dan 90m is het altijd hoogbouw. In de gemeente Den Haag houdt men aan vanaf 25 m hoog waarbij meer dan 50% boven het gemiddelde van de omgeving uitsteekt.<sup>a</sup>

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 waar boven geen eisen meer worden gesteld in de normen. In het achterhoofd dient wel te worden meegenomen dat het aspect slankheid, hoogte en de omgeving belangrijk zijn.

<sup>a</sup> Hoogbouwvisie van de verschillende gemeente's

## Stabiliteitsystemen

### 1.4 Raamwerken

#### 1.4.1 Gedrag en plaatsing

Het raamwerk is een stabiliteitsstelsel dat bestaat uit kolommen en liggers die in de knopen stijf of semi-stijf verbonden zijn. Een horizontale belasting wordt opgenomen door momenten in de kolom, momenten in de ligger en een axiale kracht in de kolom. Deze manier van krachtsopname heeft een horizontale uitbuiging tot gevolg, welke onder te verdelen is in een raamwerkdeel en een schijfwerk deel respectievelijk de momenten en de axiale kracht.

De belastingafdracht is te vergelijken met die van een uitkragende afschuifligger, dat wil zeggen dat voornamelijk de vervormingen onderin erg groot zijn omdat deze door alles wat er boven staat beïnvloed wordt.

Als de stijfheid van het raamwerk verhoogd dient te worden, is de beste optie het vergroten van de stijfheid van de balk omdat hier het grootste deel van de stijfheid vandaan komt. In the Vertical Building Structure wordt een indicatie van een verdeling van de stijfheid geven van: 65% komt uit de momenten in de ligger, 15% komt uit de momenten in de kolom en 20% komt uit de axiale kracht in de kolom [*Stichting Bouwresearch, 1988*]<sup>5</sup>.

Om een gebouw in beide richtingen stabiel uit te voeren zullen de raamwerken in twee richtingen loodrecht op elkaar moeten worden toegepast, vervolgens kan gekozen worden om deze intern of in de gevel toe te passen. Intern zijn vaak grote vrij indeelbare ruimtes vereist wat betekent dat grote overspanningen nodig zijn. Hierdoor zijn hogere liggers, en dus een hogere gebouwhoogte, nodig om dezelfde stijfheid te bereiken als bij een kleinere overspanning.

In de gevel werkt het net andersom, vaak staan hier om praktische redenen de kolommen dicht op elkaar terwijl de ligger net zo hoog wordt uitgevoerd als intern en dit betekent automatisch een hogere stijfheid.

#### 1.4.2 Materiaal en hoogte

Het uitvoeren van een raamwerk in staal of beton heeft niet zo zeer invloed op de behaalbare hoogte maar wel op de uitvoeringsmethode.

Bij een gebouw van een aantal verdiepingen hoog vereist een raamwerk geen extra materiaal voor het opnemen van de horizontale belasting. Vanaf ongeveer 10 verdiepingen worden de horizontale belastingen maatgevend voor het bepalen van de afmetingen van de kolommen en liggers. Het is mogelijk om tot 30 verdiepingen door te bouwen, de afmetingen van de kolommen en liggers zijn dan wel erg groot en het stabiliteitsstelsel gaat richting inefficiënt en oneconomisch [*Stichting Bouwresearch, 1988*]<sup>5</sup>.

##### 1.4.2.1 Staal

Als een raamwerk in staal wordt uitgevoerd ligt de aandacht bij de knoop die stijf of semi-stijf moet zijn. Dit zal gedaan moeten worden door een voorspan boutverbinding of doormiddel van lassen. In beide gevallen zorgt dit ervoor dat het een dure constructie wordt en deze manier van uitvoeren is daarom minder gewenst.

##### 1.4.2.2 Beton

Bij uitvoering in beton kan gekozen worden tussen een prefab of in het werk gestorte uitvoering. Het voordeel van prefab beton is dat gebouwd kan worden zonder natte knopen en dus stijve verbindingen. Bij een raamwerk is deze stijve verbinding echter wel nodig, het is mogelijk om deze te maken maar dit is erg ingewikkeld en duur.

In het werk gestort beton is de ideale uitvoeringsmethode voor raamwerken. De verbindingen zijn dan monoliet en dit betekent dat ze automatisch stijf of semi-stijf zijn.

## 1.5 Schijven

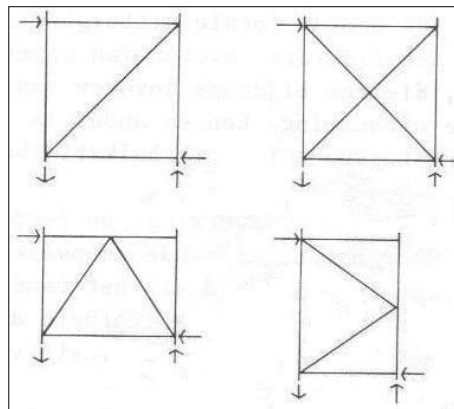
### 1.5.1 Gedrag

Een schijf is een stabiliteitsstelsel dat een grote afschuifstijfheid heeft en dit zorgt ervoor dat de afschuifvervalsingen te verwaarlozen zijn. Wat overblijft zijn de buigvervalsingen en het stelsel kan dan ook worden gezien als een uitkragende buigligger, welke in tegenstelling tot een uitkragende afschuifligger juist bovenin grote vervalsingen kent door de steeds verder oplopende rotatie.

De term schijven is een verzamelnaam voor vakwerkschijven en afschuifwanden, het ene stelsel wordt uitgevoerd in staal en het andere in beton.

#### 1.5.1.1 Vakwerkschijven

Een vakwerkschijf, ook wel geschoord raamwerk genoemd, is een schijf die uitgevoerd wordt in staal. De term geschoord raamwerk zegt het al, het is een raamwerk waarin diagonale verbanden, welke als schoren werken, zijn opgenomen. Er zijn verschillende vormen verbanden mogelijk welke allemaal vormvaste driehoeken creëren en ervoor zorgen dat in plaats van stijve of semi-stijve knopen scharnieren volstaan. Door buigslappe elementen te gebruiken voor de diagonale worden de diagonale alleen op trek belast en niet op druk wat gunstig is voor de krachtswerking omdat anders rekening moet worden gehouden met knik.



Figuur 7: manieren om te schoren  
[Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>

#### 1.5.1.2 Afschuifwanden

Afschuifwanden of stabiliteitswanden is de benaming als de schijf in beton wordt uitgevoerd. Beton is niet goed in het opnemen van trek dus trekdiagonalen zijn geen optie, drukdiagonalen werken ook niet optimaal en daarom wordt gebruik gemaakt van een volledige betonwand. Doordat deze bij horizontale belastingen in het vlak grote afmetingen en stijfheid bezit treden maar geringe vervalsingen op. Eventueel kan een dunne staalplaat ook als afschuifwand worden bestempeld, dit wordt verder niet bekeken in dit rapport.

### 1.5.2 Hoogte en plaatsing

Voor vakwerkschijven geldt dat een hoogte van 40 verdiepingen te bouwen is voordat de uitbuigingen te groot worden, voor de afschuifwanden is deze hoogte met 30 verdiepingen iets lager [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>.

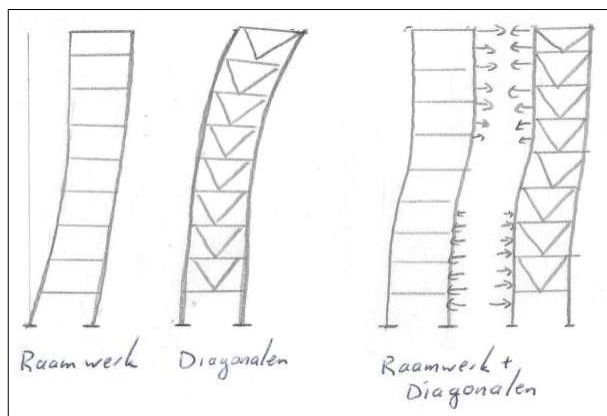
Als het om de plaatsing gaat komt dit voor beide systemen overeen. De plaatsing kan in principe overall in het gebouw, als het maar in twee richtingen en met meer dan één snijpunt van de krachtslijnen wordt gedaan, anders is niet het volledige gebouw stabiel. De plaatsing heeft echter wel consequenties voor de vrije indeelbaarheid, in de stabiliteitswanden moeten doorbrekingen als het kan worden voorkomen zodat een zo'n groot mogelijke wand en daarmee stijfheid ontstaat. De diagonalen worden om ze uit het zicht te houden vaak opgenomen in een wand. Het is wel mogelijk om in deze wand openingen aan te brengen als maar rekening wordt gehouden met de plek van het verband.



## 1.6 Raamwerk met schijven

### 1.6.1 Gedrag

Een raamwerk en een schijf hebben een verschillend gedrag, het raamwerk werkt als een uitkragende afschuifligger en schijven werken als een uitkragende buigligger. Van een raamwerk is het nadeel dat deze vanaf een bepaalde hoogte onderin te slap is en daarom oneconomisch wordt. Het probleem van schijven is dat deze aan de bovenzijde teveel gaan uitbuigen als gevolg van de opbouwende rotatie.



Door het raamwerk nu samen met schijven toe te passen wordt van de schijf de teveel vervormende bovenzijde door het raamwerk gesteund en onderin zorgt de schijf ervoor dat de vervorming van het raamwerk wordt gesteund. Op deze manier kan de uitbuiging tot 50% worden gereduceerd.

Het gevolg is een systeem waarbij de horizontale stijfheid aanzienlijk is vergroot en waarbij de vervorming de vorm van een S krijgt. Het systeem gedraagt zich nu als een uitkragende buig-afschuifligger.

Figuur 8: werking buig- afschuifligger [gebaseerd op: Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>

### 1.6.2 Materiaal, plaatsing en hoogte

De hoogte die met dit stabiliteitsysteem kan worden gehaald hangt enigszins af van het materiaal gebruik, in het meest gunstige geval zijn 35 á 40 verdiepingen te bouwen [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>.

Een raamwerk kan het beste in beton worden uitgevoerd en een schijf kan zowel in beton als in staal worden uitgevoerd, waarbij met staal het hoogste kan worden gebouwd.

Een combinatie van staal en beton, ook wel hybride constructie genoemd, is het meest optimaal.

Voor de plaatsing geldt hetzelfde als bij de losse onderdelen, dit kan in principe in het hele gebouw alleen moet rekening gehouden worden met de vrije indeelbaarheid en het feit dat het systeem in twee richtingen nodig is.

## 1.7 Kernen

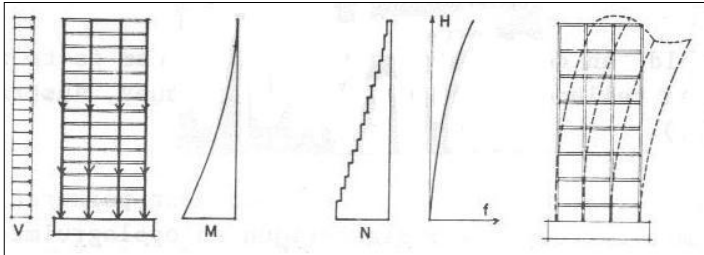
### 1.7.1 Gedrag en plaatsing

Als met schijven dicht bij elkaar een combinatie wordt gemaakt van dwars- en langselementen ontstaat een ruimtelijk element wat een kern wordt genoemd. Kernen zijn gewone schijven maar dan met specifieke kenmerken voor de ruimtelijke werking en daarom worden ze als een apart stabiliteitsysteem besproken.

Bij een horizontale belasting gedraagt een kern zich als een uitkragende buigligger waardoor binnen de kern trek- en drukkrachten worden ontwikkeld in de zijde loodrecht op de windrichting, in de zijde evenwijdig aan de windrichting vind een verloop van trek naar druk plaats.

Het is van belang een zo'n groot mogelijke stijfheid van een kern te bereiken, daarom moet gelet worden op het aanbrengen van openingen en de plek waar deze openingen aangebracht worden. Indien de openingen overal boven elkaar zitten is het ook mogelijk om van een open kern, zoals bijvoorbeeld een C-kern, uit te gaan.

Voor de efficiëntie van de kern is het van belang dat genoeg gebouwgewicht zich op de kern bevindt. Dit zorgt ervoor dat de trekkracht die ontstaat enigszins beperkt wordt wat het funderen makkelijker maakt. Ook de stijfheidsaspecten zijn van belang, hier wordt bij het materiaal op terug gekomen.



Figuur 9: krachtsafdracht en vervorming kern [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>

Een kern is een ruimtelijk element en dus is het in staat om de stabiliteit in twee richtingen te verzorgen, het is echter wel zaak dat de stijfheid dan in beide richtingen voldoende is. Daarom wordt een kern vaak in het midden van het gebouw geplaatst zodat een combinatie met de liften, trappen en algemene ruimtes kan worden gemaakt. Deze ruimtes hebben geen daglicht nodig en de dichte wand vormen hier dus geen probleem.

De kern moet wel een bepaalde afmeting hebben voor de stijfheid en dit moet goed met deze ruimtes worden afgestemd.

### 1.7.2 Materiaal en hoogte

Met een kern is een gebouw tot 50 verdiepingen goed te stabiliseren, bij hogere gebouwen ontstaat het probleem dat de kern zo'n groot grondoppervlak moet hebben dat het binnenste niet meer met alleen algemene ruimtes kan worden opgevuld en ruimte verloren gaat [Stichting Bouwresearch]<sup>6</sup>. De uitvoering van een kern is zowel in staal als in beton mogelijk.

#### 1.7.2.1 Staal

Een kern is opgebouwd uit schijven en dus is een stalen kern opgebouwd uit vakwerkschijven waarbij verschillende verbanden kunnen worden gekozen. Het meest voor de hand liggende verband is het verticale K-verband omdat hiermee voldoende ruimte wordt geboden om, zonder stijfheid te verliezen, openingen te creëren.

#### 1.7.2.2 Beton

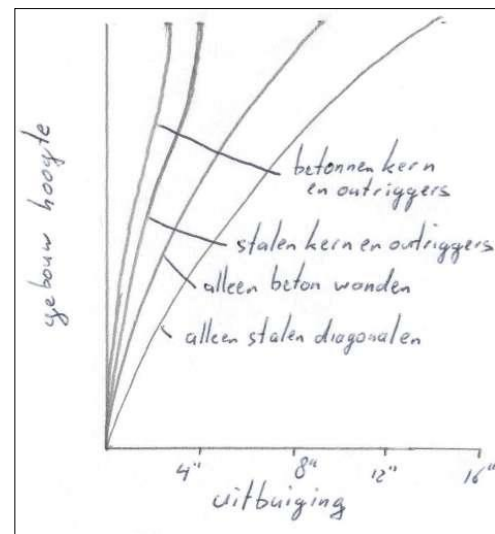
Hier worden de afschuifwanden gebruikt om een kern te vormen en het nadeel van beton is dat de openingen invloed hebben op de stijfheid indien deze meer dan een bepaald percentage van het oppervlak zijn.

Genoeg gebouwgewicht op de kern kan voor beton het voordeel hebben dat geen trekkracht ontstaan en het beton dus niet scheurt. Dit betekent dat de kern een hogere stijfheid behoudt wat een materiaalbesparing geeft. Als een kern wordt toegepast wordt deze meestal in beton uitgevoerd omdat dit in de uitvoering makkelijker is en tevens is uit onderzoek gebleken dat met een betonnen kern meer stijfheid te behalen is [Beedle, 1995]<sup>4</sup>.

### 1.7.3 Varianten

Een kern is een element wat centraal in het gebouw toegepast wordt en in beide richtingen stabiliteit verzorgd. Dit maakt het door kleine varianten toe te passen een ideaal stabiliteitsysteem voor kleine bouwplaatsen waar tijdens de bouw geen ruimte is voor gevelkolommen op het maaiveld.

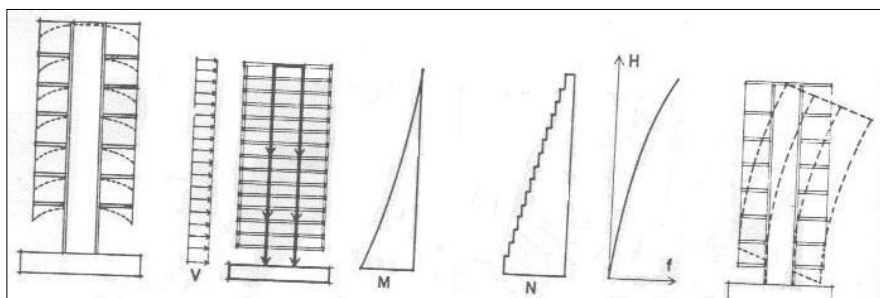
Er zijn diverse opties te bedenken en drie gangbare varianten worden hieronder besproken.



Figuur 10: stijfheidverhoudingen kern [gebaseerd op: Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>

### 1.7.3.1 Vloeren ophangen aan kern

Als de overspanning van de kern naar de gevel niet te groot is, is de makkelijkste oplossing om de vloeren in te klemmen in de kern en tot de gevel uit te laten kragen.

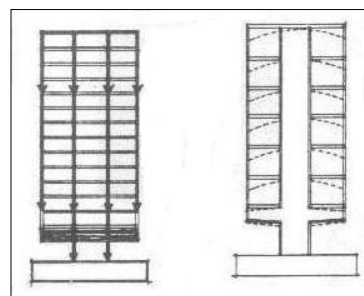


Figuur 11: krachtsafdracht en vervorming uitkragende vloeren [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>

Voordeel van dit systeem is dat alle gebouwbelasting op de kern komt maar er zijn ook een aantal nadelen. Doordat de vloeren uitkragen worden deze erg dik en niet alleen worden verticale krachten op de kern overgebracht maar ook op iedere verdieping momenten. Dit gaat ten koste van de capaciteit voor de horizontale belasting en bij hele hoge torens maakt dit het systeem minder efficiënt.

### 1.7.3.2 Verzwaarde voet

Omdat op de begane grond geen kolommen geplaatst kunnen worden, wordt op de eerste verdieping een overgangsconstructie gemaakt. Deze brengt alle krachten over op de kern en vanaf deze constructie kan het draagsysteem op de normale manier worden toegepast.



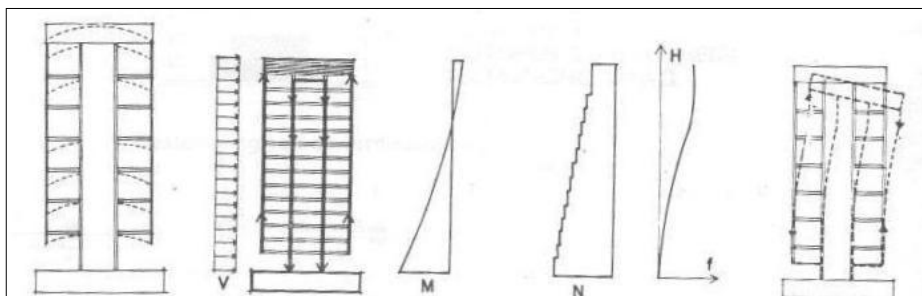
Figuur 12: krachtsafdracht en vervorming verzwaarde voet [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>

Groot nadeel is dat de overgangsconstructie erg groot en zwaar is en veel ruimte inneemt. De uitdaging is dan ook om deze ruimte efficiënt te gebruiken.

### 1.7.3.3 Hangconstructie

Nu wordt in plaats van op de eerste verdieping in de top een zware constructie gemaakt welke als "kraag" fungeert. De gevelkolommen worden aan deze kraag opgehangen waardoor een gevelconstructie op trek in plaats van druk ontstaat. In dit systeem maakt de belasting een grote omweg, eerst naar boven en dan via de kern naar beneden, wat extra materiaal gebruik betekent. Ook worden de gevelkolommen op trek belast wat betekent dat deze in de tijd verlengen. Dit geeft een verschil in vervorming met de kern waar goed rekening mee moet worden gehouden om problemen in de uitvoering te voorkomen. De consequentie hiervan is dat per kraag maximaal 20 verdiepingen mogen worden opgehangen.

Voordeel van dit systeem is dat het volledige gebouw gewicht op de kern wordt overgebracht wat voor de kern weer materiaalbesparing kan betekenen.



Figuur 13: krachtsafdracht en vervorming hangconstructie [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>

## 1.8 Kern met raamwerken

### 1.8.1 Gedrag en plaatsing

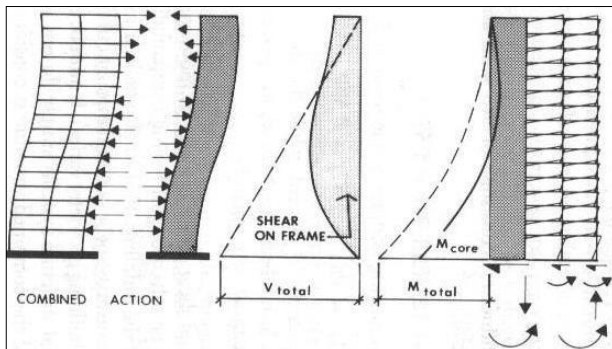
Het combineren van raamwerken en schijven heeft een gunstig effect op de uitbuiging die de systemen los van elkaar zouden hebben. Bij een kern met raamwerken is het dus logisch dat dit ook een gunstige werking op elkaar heeft. De raamwerken steunen de kern aan de bovenzijde en de kern steunt het raamwerk aan de onderzijde waardoor er een uitkragende buig-afschuifligger ontstaat.

De kern zal ook bij dit systeem in het midden van het gebouw worden geplaatst en heeft de mogelijkheid om in twee richtingen de stabiliteit te voorzien. De raamwerken kunnen weer overall worden geplaatst en deze leveren alleen stabiliteit in de richting waarin ze zijn geplaatst en zouden dus ook in een richting kunnen worden toegepast om een rechthoekige kern te verstijven.

### 1.8.2 Materiaal en hoogte

Het toevoegen van een raamwerk zorgt niet zo zeer dat de hoogte die met dit bouwsysteem kan worden gehaald zoveel hoger wordt maar wel dat de horizontale uitbuiging wordt gereduceerd.

Voor het raamwerk is een uitvoering in beton het meest logische en ook een kern in beton levert de meeste stijfheid op. Wat dit de stijfste combinatie maakt en waarmee 50 á 55 verdiepingen hoog kan worden gebouwd zonder dat de kern extreem groot wordt [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>.



Figuur 14: krachtsafdracht buig- afschuifligger [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>

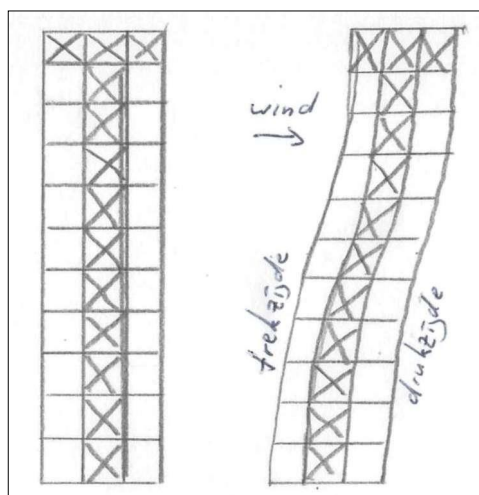
## 1.9 Overdrachtconstructie

### 1.9.1 Gedrag en plaatsing

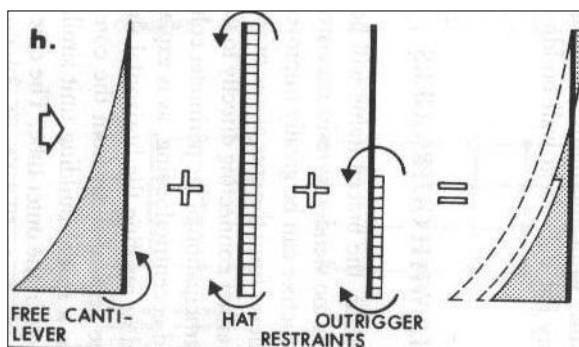
Een overdrachtconstructie op zichzelf is geen draagsysteem, het is een toevoeging die aan een kern wordt gedaan. Als gevolg van deze toevoeging wordt de werking van de kern zodanig beïnvloed dat het wel als apart draagsysteem moet worden besproken.

Een overdrachtconstructie bevat een outrigger wat een vakwerkconstructie is die op één of over meerdere verdiepingen wordt aangebracht en zo een verbinding maakt tussen de gevel en de kern.

Deze vakwerkconstructie heeft een bepaalde stijfheid en hierdoor wordt in bepaalde mate voorkomen dat de kern kan roteren ter plaatse van de outrigger. De kern wil echter wel roteren en hierdoor ontstaan in de gevel trek- en drukkrachten. De andere kant op redenerend kan gezegd worden dat de trek- en drukkrachten die in de gevel ontstaan een tegengesteld moment in de kern genereren wat een positief effect heeft op de krachtswerking en vervorming.



Figuur 16: vervorming overdrachtconstructie  
[gebaseerd op: Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>



Figuur 15: krachtsafdracht overdrachtconstructie  
[Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>

De outrigger wordt plaatselijk aangebracht en dit zal overbelasting van die ene gevelkolom geven, daarom is het van belang om in de gevel ook een vakwerkconstructie aan te brengen zodat de kracht die overgebracht wordt verspreid kan worden over alle gevelkolommen.

Het aanbrengen van een outrigger kan daar waar men wil maar de plaatsing heeft wel consequenties voor de vrije indeelbaarheid en hoe effectief de outrigger werkt. De outrigger bevindt zich op één of meerdere verdiepingen wat op die verdiepingen de vrije indeelbaarheid beperkt, dit is echter ideaal te combineren met de technische ruimtes. Een outrigger in de top van het gebouw zorgt ervoor dat op 5/8 van de hoogte een omslag plaats vindt van trek naar druk en andersom [Wolfgang Scheuller]<sup>1</sup>. De meest effectieve plek is op 2/3 van de hoogte, het is zonder problemen mogelijk om meerdere outriggers toe te passen in het gebouw [Diktaat Hoogbouw, 1994]<sup>2</sup>.

De overdrachtconstructie zorgt alleen voor extra stijfheid in de richting waarin deze wordt toegepast en zou bij toepassing in één richting kunnen worden gebruikt om een rechthoekige kern te verstijven of in twee richtingen als de volledige kern moet worden verstijfd.

### 1.9.2 Materiaal en hoogte

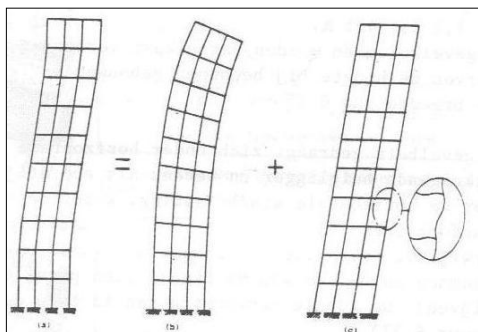
De hoogte die met dit systeem haalbaar is, is ongeveer 75 verdiepingen en dus niet extreem veel hoger dan met alleen een kern [Stichting Research Rationalistie Bouw, 2005]<sup>6</sup>. Door het toepassen van dit systeem treedt voor de vervormingen een reductie tot zo'n 30% op. Deze reductie zorgt ervoor dat afmetingen van de kern beperkter kunnen blijven, zodat minder ruimte verloren gaat aan algemene ruimtes en efficiënter met materialen wordt omgegaan. Belangrijk is hierbij in de gaten te houden dat de stijfheid van de outrigger invloed heeft de op hoeveel reductie die optreedt maar de uiteindelijke stijfheid altijd afhankelijk blijft van de stijfheid van de kern.

De overdrachtconstructie kan zowel van beton als van staal worden gemaakt, waarbij gezien het toepassen van een vakwerkconstructie staal de voorkeur verdient. Indien beton wordt toegepast zou een Vierendeelligger ook een optie zijn, het voordeel hiervan is dat de vrije indeelbare ruimte minder verstoord wordt maar het nadeel is het ongunstige materiaal gebruik van dit type ligger en dus hogere kosten. Voor de kern blijft beton de meest voor de hand liggende keuze.

## 1.10 Raamwerkbuis

### 1.10.1 Gedrag en plaatsing

Het principe van een buisconstructie is dat gebruik wordt gemaakt van een kern die zich in de gevel van het gebouw bevindt en zo de stabiliteit in beide richtingen verzorgt. Dit betekent dat de interne kolommen alleen maar verticale belastingen hoeven op te nemen. Bij een raamwerkbuis is deze gevelbuis gemaakt met raamwerken die bestaan uit dicht bij elkaar geplaatste gevelkolommen met bij iedere verdieping een hoge buigstijve ligger.

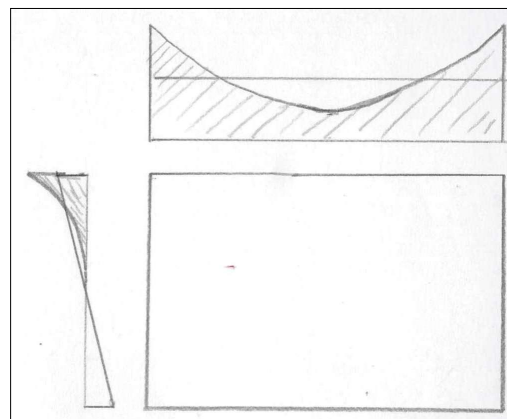


Figuur 17: werking raamwerkbuis [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>

Het gedrag van dit systeem bij horizontale belastingen is als dat van een uitkragende buigligger en een stijf raamwerk. Het opnemen van de belasting kan dan ook in twee delen worden opgesplitst namelijk buigvervorming en afschuifvervorming. De buigvervorming geeft trek- en drukkrachten in de gevels die loodrecht op de windrichting staan en de afschuifvervorming treedt op in de gevels evenwijdig aan de windrichting als gevolg van de buiging en axiale kracht in het stijve raamwerk.

#### 1.10.1.1 Shear lag

Bij raamwerkbuisen zijn de hoeken stijver dan in het midden van de gevel en dit heeft tot gevolg dat meer kracht naar de hoeken wordt getrokken, dit effect wordt ook wel shear lag genoemd. Als gevolg hiervan werkt de buis minder efficiënt. Belangrijk is om het aantal openingen in de buis te beperken omdat anders de werking van uitkragende buigligger verandert in die van een uitkragende afschuifligger en hierdoor wordt de buis minder efficiënt en neemt de shear lag toe.



Figuur 18: krachtverdeling shear lag [gebaseerd op: Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>

### 1.10.2 Materiaal en hoogte

Bij raamwerkbuisen is de hoogte die kan worden behaald afhankelijk van het materiaal dat wordt gebruikt.

#### 1.10.2.1 Beton

Bij een betonnen raamwerkbuis wordt ook wel van een holle geperforeerde buis gesproken omdat een groot deel van de gevel uit beton zal bestaan. Hoe meer openingen in de gevel aanwezig zijn hoe meer het gedrag op afschuifvervorming wordt gebaseerd. In the Vertical Building Structure wordt gesteld dat bij meer dan 40% afschuifvervorming, wat overeen komt met 30% aan openingen, verlies van effectiviteit op treedt [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>. De hoogte die kan worden behaald is 60 verdiepingen.

#### 1.10.2.2 Staal

Indien een stalen raamwerkbuis wordt toegepast ligt het percentage toegestane openingen in verband met de hogere stijfheid van staal rond de 50%. Een nadeel van staal is dat de stijve of semi-stijve knopen, wat erg duur is, nodig zijn om een raamwerk te maken. In staal is een hoogte van 80 verdiepingen te bouwen [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>.

## 1.11 Geschoorde buis

### 1.11.1 Gedrag

Een geschoorde buis bestaat uit kolommen met diagonalen en horizontale trekstrips. Deze diagonalen zorgen ervoor dat de horizontale belasting niet zoals bij een raamwerkbuis via momenten wordt afgevoerd maar via axiale krachten in de diagonalen en strips. Door deze axiale krachtsafdracht wordt het materiaal gunstiger gebruikt en de diagonalen die in de hoeken van het gebouw samenkomen zorgen ervoor dat de kracht om de hoek loopt zodat het gebouw als één geheel samenwerkt en tegelijkertijd het gebouw bij elkaar houdt.

Bij dit draagsysteem wordt 80% van de totale vervorming gevormd door buiglijger vervorming en 20% door afschuifvervorming. Dit betekent dat het probleem van shear lag, wat een negatieve werking op de effectiviteit van de buis had, zo klein wordt dat het te verwaarlozen is [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>.

### 1.11.2 Materiaal en hoogte

De hoogte die met een geschoorde buis kan worden behaald is 100 verdiepingen [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>5</sup>. Aangezien we spreken over diagonalen ligt het voor de hand dat dit systeem in staal wordt uitgevoerd. Maar een betonvariant is ook mogelijk, er wordt dan gebruik gemaakt van dichte betonpanelen, die als afschuifwand dienen, in het patroon van de diagonalen. Deze werken zo goed dat de shear lag zelfs nog verder afneemt, met deze variant is een hoogte van 80 verdiepingen te bouwen.

### 1.11.3 Volledige rasterbuis

Een volledige rasterbuis is een buis welke uit alleen diagonalen is opgebouwd. Voor het afvoeren van de horizontale belasting is dit de meest efficiënte manier omdat in de hoeken geen kolommen aanwezig zijn die shear lag veroorzaken. Het probleem dat nu optreedt, is het afvoeren van de verticale belasting, dit kan niet op een effectieve manier omdat kolommen ontbreken en de krachten ontbonden moeten worden.



*Figuur 20: Voorbeeld volledige rasterbuis, Swiss Re building in Londen [A. Zerche]*



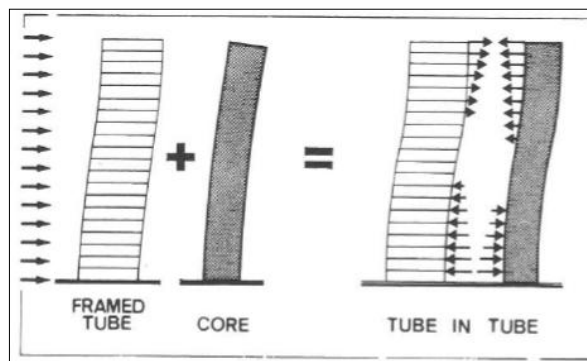
*Figuur 19: voorbeeld betonnen geschoorde buis, Onyiah building in Chicago [Daniel Kieköwer]*

## 1.12 Buis in buis

### 1.12.1 Gedrag en plaatsing

Een buis in buis systeem bestaat uit een buis in de gevel en een kern in het gebouw welke doormiddel van de vloeren aan elkaar gekoppeld zijn. De mate waarin de gevelbuis aan de stabiliteit bijdraagt is afhankelijk van de breedte van de gevelwanden evenwijdig aan de windrichting en de mate van perforatie van de gevel. Het grootste deel van de vervorming van de gevel zal uit afschuifvervorming bestaan waardoor deze als uitkragende afschuifligger mag worden gezien. De kern daarentegen gedraagt zich als uitkragende buigligger.

Ook hier treedt dus weer een buig-afschuifligger op waarbij de kern aan de bovenzijde gesteund wordt door de buis en de buis onderin gesteund wordt door de kern, het grote verschil is dat de stijfheid van de buis ten opzichte van een raamwerk een stuk groter is. Hierdoor zal niet veel hoger gebouwd kunnen worden maar de uitbuiging en het materiaal gebruik wordt wel gereduceerd.



Figuur 21: werking buis in buisconstructie [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>1</sup>

### 1.12.2 Materiaal en hoogte

Het stabiliteitsysteem bestaat uit twee onderdelen, een kern en een buis. Deze onderdelen kunnen in beton of staal worden uitgevoerd.

#### 1.12.2.1 Staal

Een kern in staal is een optie, alleen zal de stijfheid hiervan wel minder zijn dan van een betonnen kern. Als buis in staal komt een geschoorde buis in aanmerking, deze heeft een stijfheid zodat tot 100 verdiepingen hoog kan worden gebouwd.

Specifiek voor deze uitvoering zijn geen gegevens gevonden en dus zal de hoogte die met een stalen buis, 100 verdiepingen, worden aangehouden.

#### 1.12.2.2 Beton

Zoals al opgemerkt gedraagt beton zich een stuk stijver in de kern alleen heeft het in de buis weer minder stijfheid. Met een volledig uit beton gemaakte buis in buisconstructie kan 80 verdiepingen hoog gebouwd worden [Stichting Research Rationalisatie Bouw]<sup>6</sup>.

#### 1.12.2.3 Staal en Beton

Indien een hybride constructie wordt toegepast met beton voor de kern en staal voor de buis wordt voor beide elementen van de meest stijve optie gebruik gemaakt.

Ook voor deze specifieke uitvoer zijn geen gegevens gevonden en wordt uitgegaan van de hoogte van een stalen buis, 100 verdiepingen.



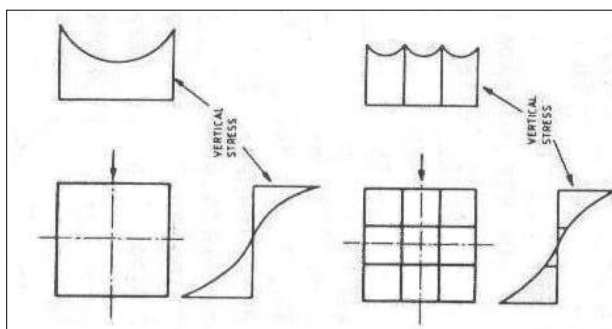
## 1.13 Gebundelde buizen

### 1.13.1 Gedrag en plaatsing

Bij een raamwerkbuis treedt het nadeel op dat niet alle kolommen evenveel meehelpen met het opnemen van de horizontale belasting door het optreden van shear lag. Door de interne kolommen, die nu alleen verticaal worden belast, op te nemen in het raamwerk van de buis wordt het shear lag effect verkleind en bevindt zich tevens meer gebouwgewicht op de horizontaal belaste onderdelen.

Door het mee laten werken van de interne kolommen in de raamwerken is een systeem van meerdere buizen ontstaan waarbij iedere buis op zichzelf sterk en stijf is.

Bijkomend voordeel hiervan is dat de buizen niet allemaal even hoog hoeven te worden uitgevoerd, er meer plaatsingsmogelijkheden zijn zodat er meer variatie mogelijk is.



Figuur 22: verschil shear lag enkele en gebundelde buis [Stichting Bouwresearch, 1998]<sup>6</sup>

De shear lag vindt nu per buis plaats en is daardoor een stuk kleiner en in de praktijk blijkt dat deze zelfs verwaarloosd mag worden [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>6</sup>.

### 1.13.2 Materiaal en hoogte

#### 1.13.2.1 Staal

Bij een uitvoering in staal zijn meerdere opties mogelijk namelijk raamwerkbuisen of geschoorde buizen.

Met een raamwerkbuis is een hoogte van 110 verdiepingen te halen en met een geschoorde buis is een hoogte van 130 verdiepingen te halen [Wolfgang Scheuller, 1990]<sup>7</sup>.

#### 1.13.2.2 Beton

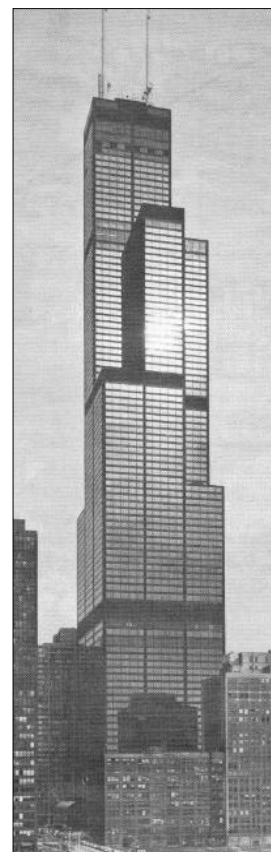
Voor een uitvoering in beton zijn voor deze specifieke uitvoering geen hoogtes te vinden en aangenomen is dat in ieder geval 80 verdiepingen gebouwd kunnen worden.

## 1.14 Megaconstructies

### 1.14.1 Gedrag

Megaconstructies zijn constructies welke uit steeds kleiner wordende constructies zijn opgebouwd. De hoofddraagconstructie en het stabiliteitsysteem is een superconstructie welke van gebouwhoek naar gebouwhoek loopt. Bij diagonalen zitten tussen de diagonalen de vloeren welke de basis vormen voor de constructie die tot de volgende vloer loopt. Op deze manier is er veel vrijheid en kan op iedere vloer een ander systeem of andere maatvoering worden toegepast.

Voor de volledigheid is dit stabiliteitsysteem hier wel genoemd maar het wordt verder niet meegenomen in het overzicht.

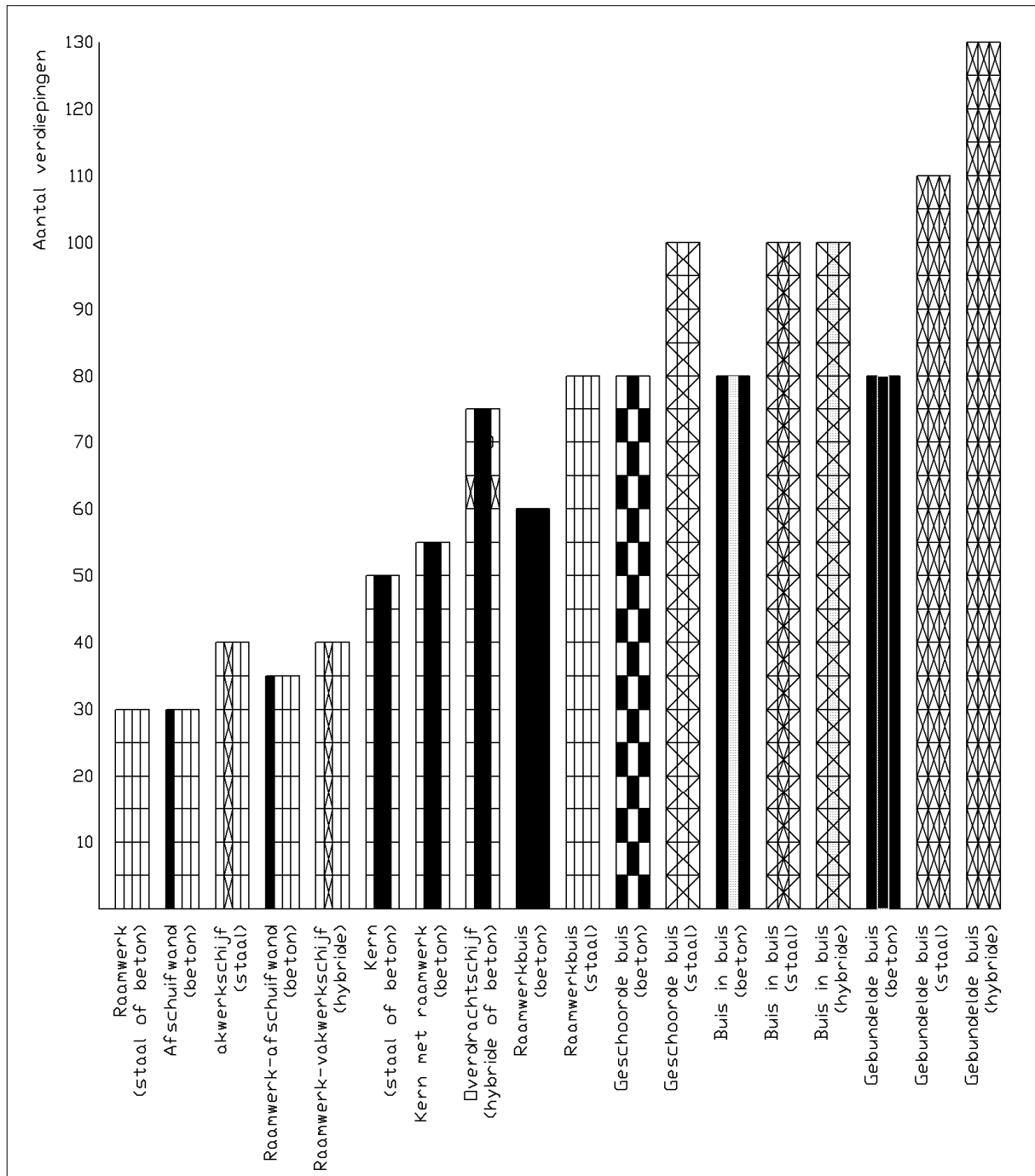


Figuur 23: voorbeeld gebundelde buis: Sears Tower in Chicago [Stichting Bouwresearch, 1988]<sup>6</sup>

## Hoogtes stabiliteitssystemen

Nu alle stabiliteitssystemen besproken zijn is het mogelijk om een overzicht te geven van de hoogte, in hoeveel richtingen ze stabiliteit verzorgen, waar in het gebouw de stabiliserende elementen geplaatst worden en wat de bijbehorende opmerkingen zijn.

Dit overzicht is op de volgende pagina te vinden.



Figuur 24: overzicht hoogte stabiliteitssystemen

Dragstelsel	Materiaal	Aantal verdiepingen	Stabiliteit in	Plaatsing	Opmerkingen
Raamwerk	Beton	30	1 richting	overall	Bij 30 verdiepingen erg grote afmetingen
Raamwerk	Staal	30	1 richting	overall	Duur en bij 30 verdiepingen erg grote afmetingen
Afsluitwand	Beton	30	1 richting	overall	Dichte wanden kunnen vrije indeelbaarheid beperken
Vakwerkschijf	Staal	40	1 richting	overall	Diagonalen beperken plaatselijk vrije indeelbaarheid
Raamwerk-schijf	Beton	35	1 richting	overall	Dichte wanden kunnen vrije indeelbaarheid beperken
Raamwerk-schijf	Hybride	40	1 richting	overall	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 / overall	
Overdrachtschijf	Beton	75	1 richting	midden / bovenin	Minder materiaal efficiënt dus duurder dan in maar ook meer vrije indeelbaarheid
Overdrachtschijf	Staal	75	1 richting	midden / bovenin	Ter plaats 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 1: overzicht stabiliteitsystemen



# DEELRAPPORT KOSTEN

## 2 Inleiding kosten

Om ervoor te zorgen dat de uitkomsten van het afstuderen niet alleen een theoretisch waarde hebben wordt naar de globale kosten gekeken. In de praktijk is de haalbaarheid van een project van belang, hierbij zijn de kosten een belangrijk element. Doordat nu naast de investeringskosten ook informatie beschikbaar is over de duurzaamheid en flexibiliteit kan de keuze op meer factoren gebaseerd worden dan alleen het kostenaspect.

Om dit mogelijk te maken is het belangrijk inzicht te krijgen in de globale kosten voor een hoogbouw project. Voordat deze kosten inzichtelijk kunnen worden gemaakt moet bekend zijn hoe de investeringskosten van een bouwproject in elkaar zitten. Nadat dit bekend is zal worden gekeken wat de invloed van hoogte is op de verschillende kostenposten. Met deze gegevens wordt een rekenmodel van de investeringskosten opgezet wat in het verdere afstuderen wordt gebruikt.

In dit rapport wordt veelvuldig gebruik gemaakt van het afstudeerrapport: "Hoe hoger, hoe duurder?" van Sander van Oss. In dit rapport is een onderzoek gedaan naar de invloed van de gebouwhoogte op de investeringskosten van kantoorgebouwen in Nederland. Deze uitkomsten brengen kengetallen naar voren die goed bruikbaar zijn voor het globale rekenmodel voor de kosten zoals dat in dit rapport wordt bepaald.

Als over kosten wordt gepraat wordt vaak gebruik gemaakt van percentages en bedragen welke ter discussie gesteld kunnen worden. Indien aannames worden gedaan dan wordt dit expliciet vermeld.

### 3 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 25: onderdelen waaruit investeringskosten zijn opgebouwd [NEN 2634, 2002]<sup>46</sup>

#### 3.1 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 grondkosten kunnen worden bepaald als een percentage van de opbrengsten van het bouwwerk. Dit percentage is gebaseerd op de functie en de locatie van de grond.
- 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]<sup>47</sup>.

#### 3.2 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.

##### 3.2.1 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]<sup>28</sup>.

### 3.2.2 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]<sup>48</sup>.

### 3.3 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]<sup>49</sup>.

### 3.4 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.



## 4 Invloed hoogbouw

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

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

### 4.1 Invloed hoogte op gebouwdelen

In voorgaand hoofdstuk is kort aangestipt dat de directe bouwkosten rechtstreeks te maken hebben met het bouwwerk. Als gebouwen hoger worden uitgevoerd, wordt het materiaal gebruik meer wat consequenties heeft voor met name de kosten voor de draagconstructie, installaties en gevel.

#### 4.1.1 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 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.

#### 4.1.2 Installaties

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

##### 4.1.2.1 Liften

De pre-wolkenkrabber periode is begonnen met de eerste veilige personenlift van Otis in 1984 en hieraan is af te leiden dat de lift toen al een belangrijk element in de hoogbouw was. Deze belangrijkheid komt voort uit de rol van de lift in de ontsluiting en bereikbaarheid van de hogere verdiepingen. Dit is de reden dat richtlijnen zijn opgesteld voor het aantal liften dat in een gebouw aanwezig moet zijn, de parameters hiervoor zijn: de functie van het gebouw, aantal mensen in het gebouw, wachttijd bij de lift, snelheid en capaciteit van de lift [Oss, 2007]<sup>28</sup>.

Vooraf bij hogere gebouwen is het belangrijk dat mensen makkelijk en snel op zowel de lagere als de hogere verdiepingen kunnen komen zonder teveel wachttijd. Dit wordt gedaan door een zo'n efficiënt mogelijk liftplan te maken waarbij gebruik wordt gemaakt van aparte liftgroepen, skylobby's of "double-deck" liften. Ten opzichte van gebouwen waar met één liftgroep kan worden volstaan, tot ongeveer 25 verdiepingen, is dit een kostenverhogend aspect [Oss, 2007]<sup>28</sup>.

##### 4.1.2.2 Overige installaties

Laag- of hoogbouw in beide zijn installaties nodig om te zorgen dat het binnenklimaat comfortabel is. Voor installaties moet onderscheid worden gemaakt in verticaal en horizontaal transport. Voor het horizontale transport is de hoogte niet zo zeer van belang maar voor het verticale transport wel. Maximaal kunnen maar maximaal 25 verdiepingen per installatieruimte worden aangesloten omdat anders de druk in de waterleidingen zo groot wordt dat extra voorzieningen nodig zijn.

Het toepassen van meer installatieruimtes heeft echter wel het voordeel dat een beter binnenklimaat per gebied kan worden gerealiseerd [Oss, 2007]<sup>28</sup>.

### 4.1.3 Gevel

Bij een kantoorgebouw van 12 verdiepingen kan de gevel al een aandeel van 33% hebben in de bouwkosten [Gerritse, 1999]<sup>49</sup>. 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.

## 4.2 Bouwtijd

Voordat bij een bouwproject met de uitvoer van de gevel en installatie kan worden begonnen moet de draagconstructie al 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 er met de gevel, installaties en afbouw kan worden begonnen en dus hoe snel het 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.

### 4.2.1 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 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]<sup>5</sup>.

## 4.3 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 of te veel kost of de bouw vertraagd.

## 4.4 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 m<sup>2</sup> 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 26: efficiëntie kantoorgebouwen [Langdon, 2002]<sup>50</sup>

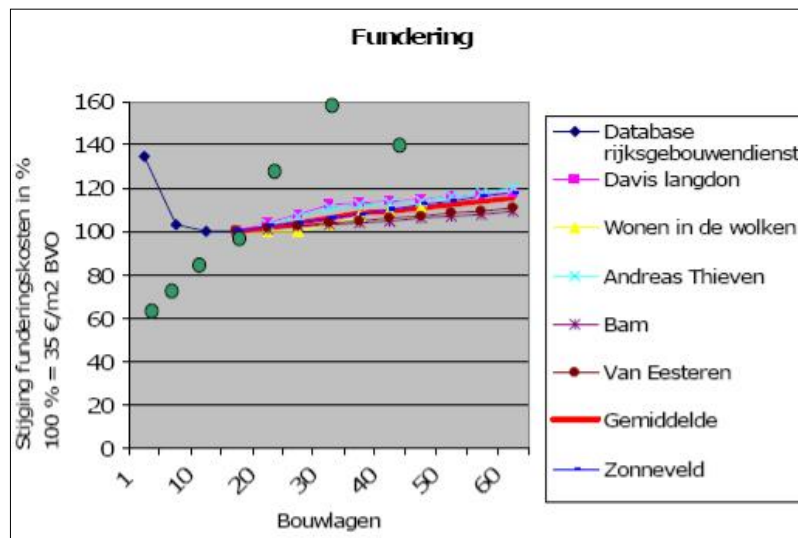
## 5 Kosten hoogbouw

In het voorgaande hoofdstuk is aangegeven wat de grote veroorzakers zijn van de hogere investeringskosten voor hoogbouw. Hier zal in gegaan worden op de daadwerkelijke kosten van deze onderdelen bij hoogbouw.

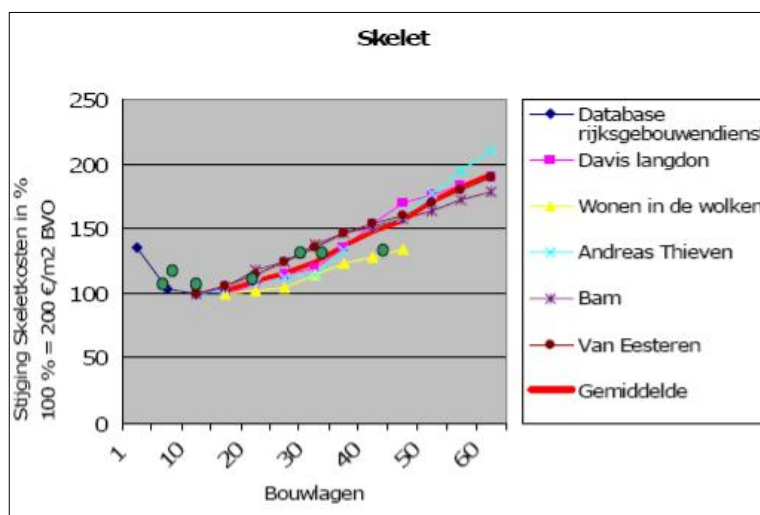
Hierbij wordt gebruik gemaakt van het model van van Oss waarbij de kostenstijgingen voor hoogbouw zijn geanalyseerd [Oss, 2007]<sup>28</sup>. Hierin is voor de verschillende gebouwdelen geanalyseerd wat de stijging in kosten is bij een stijging in hoogte van 10 naar 60 verdiepingen. Door van Oss zijn deze gegevens verkregen door het analyseren van referentieprojecten en het interviewen van ervaren bedrijven uit de Duitse, Engelse en Nederlandse markt.

### 5.1 Fundering

Een goede indicatie van de stijging van de funderingskosten is erg lastig omdat er verschillende oplossingen mogelijk zijn afhankelijk van de bodemgesteldheid en de funderingsdiepte. Deze oplossingen hebben ieder weer hun eigen kosten opbouw, voor de stijging van de kosten mag per tien verdiepingen ongeveer 1,8% worden aangehouden. Deze kosten zijn 1 tot 4% van de directe bouwkosten.



Figuur 27: stijging funderingskosten [Oss, 2007]<sup>28</sup>



Figuur 28: stijging constructiekosten [Oss, 2007]<sup>28</sup>

### 5.2 Draagconstructie

Bij een draagconstructie is niet alleen de hoogte van invloed op de kosten maar ook het draagsysteem want deze bepaald het materiaalgebruik. Doordat de referentieprojecten uit gebouwen met verschillende draagsystemen bestaat is er toch een algemeen beeld van de kosten stijging van de draagconstructie te vormen. De stijging van de kosten

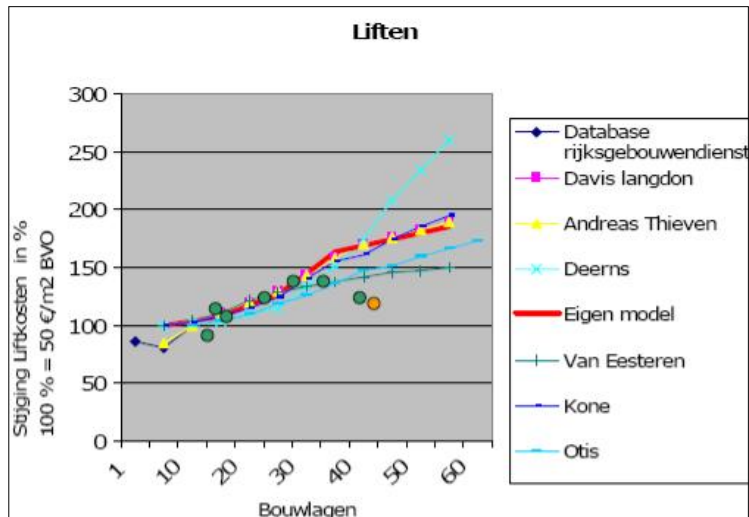
bedraagt ongeveer 15% per tien bouwlagen en boven de 45 verdiepingen moet 20% per tien bouwlagen worden aangehouden. Deze kosten zijn ongeveer 16% van de directe bouwkosten.

## 5.3 Installaties

### 5.3.1 Liften

Voor het onderdeel liften is een groot onderscheid op te merken tussen liften voor kantoorgebouwen en woningbouw. Dit omdat in kantoorgebouwen een piek aan het begin en einde van de dag en eventueel rondom de lunch plaats vindt. Bij woongebouwen zal deze piek minder waarneembaar zijn wat het aantal benodigde liften en daarmee de kosten kan reduceren.

Het bedrijf Deerns geeft bij ongeveer 40 verdiepingen een forse stijging van de kosten omdat ze vanaf 160m standaard van een skylobby uitgaan. Gemiddeld gezien moet ongeveer van een stijging van de liftkosten van 16% per tien verdiepingen worden uitgegaan. De liftkosten bedragen 3% van de directe bouwkosten.



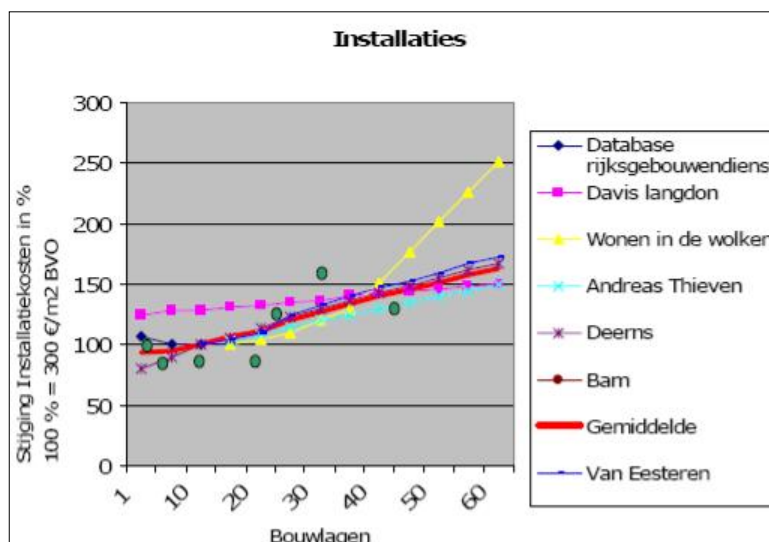
Figuur 29: stijging liftkosten [Oss, 2007]<sup>28</sup>

### 5.3.2 Overige installaties

Bij de overige installaties zal de kosten stijging voornamelijk veroorzaakt worden door de werktuigbouwkundige installaties. Hiervoor zijn een aantal redenen aan te geven:

- Door de toenemende hoogte wordt de montagekosten van de installaties hoger;
- Bij gebouwen waar het BVO gelijk gehouden wordt zal bij meer verdiepingen het geveleppervlak groter zijn en dit betekent dat er voor hoogbouw meer radiatoren en klimaatkasten nodig zijn;
- De eis is dat op iedere verdieping toiletten aanwezig zijn en dus zullen de kosten van sanitair evenredig met het aantal verdiepingen stijgen;
- Ongeveer 15% van de kabels en leidingen voor laagbouw bevindt zich in de verticale schacht, voor hoogbouw zal dit percentage sterk toenemen en zodoende meer kosten met zich meenemen.

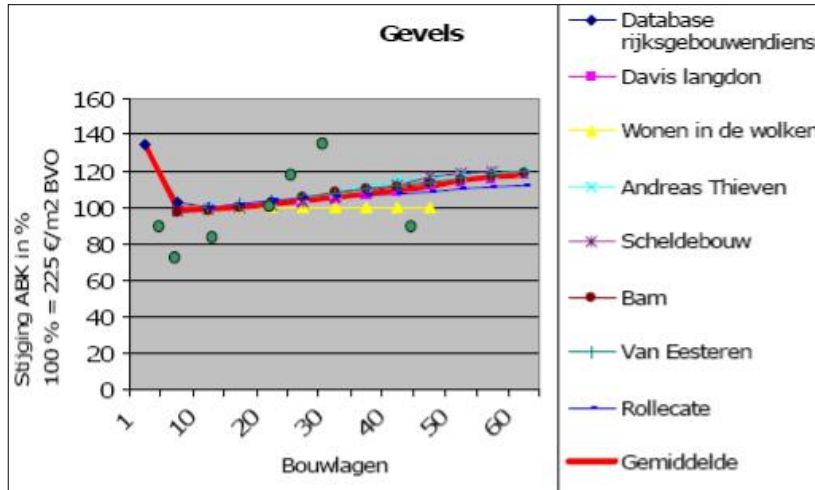
Als stijging van de installatie kosten moet ongeveer 13% per tien verdiepingen worden aangehouden en dit is 25% van de directe bouwkosten.



Figuur 30: stijging overige installatiekosten [Oss, 2007]<sup>28</sup>

## 5.4 Gevel

Voor de kosten en ook de kostenstijging van de gevel is van belang wat voor type gevel wordt toegepast, hoeveel oppervlakte gevel er is en welk percentage van de gevel glas is. De gevelkosten vormen ongeveer 18% van de directe bouwkosten, bij hogere gebouwen ligt het percentage iets hoger doordat dan kwalitatief betere systemen met minder onderhoud worden toegepast om zo onderhoud, wat lastiger uit te voeren is, te beperken. Voor de stijging van de gevelkosten moet ongeveer 4% per tien verdiepingen worden aangehouden.

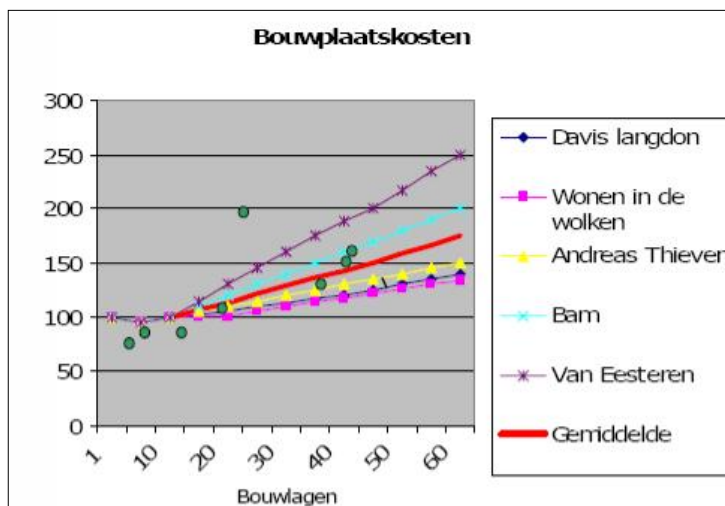


Figuur 31: stijging gevelkosten [Oss, 2007]<sup>28</sup>

## 5.5 Bouwplaatskosten

De bouwplaatskosten zullen bij een stijgende hoogte stijgen als gevolg van een complexere bouwplaatsinrichting en meer en langer gebruik van hulpconstructies.

Voor een bouwproject van tien verdiepingen moet een waarde van ongeveer 8% worden aangehouden en rekening moet worden gehouden met ongeveer een stijging van 15% per tien verdiepingen.



Figuur 32: stijging bouwplaatskosten [Oss, 2007]<sup>28</sup>

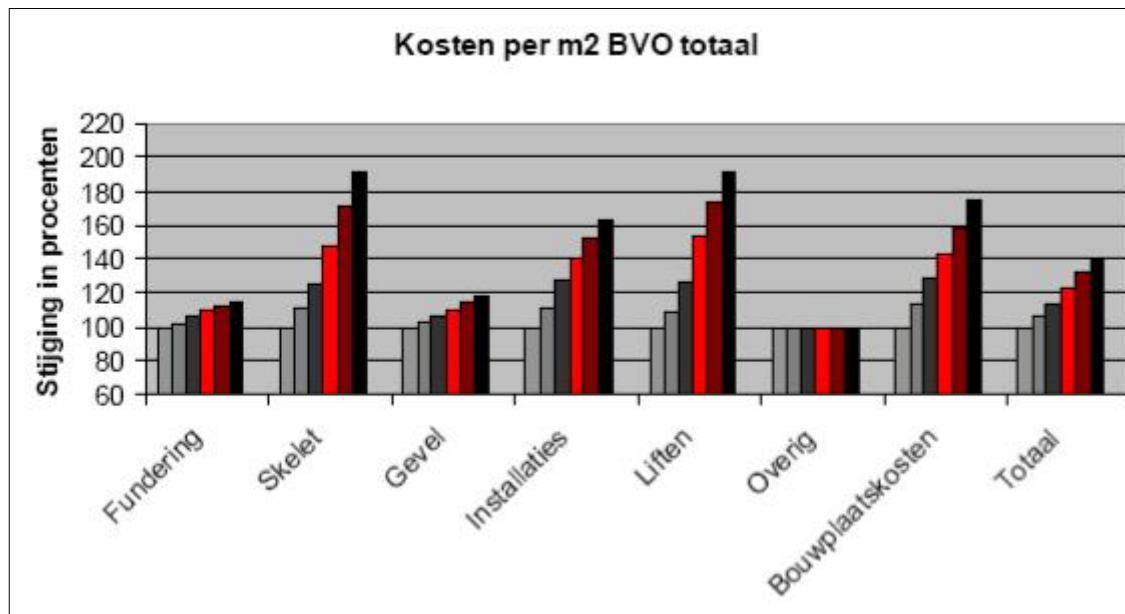
## 5.6 Directe bouwkosten

Nu de belangrijkste kosten verhogende aspecten van hoogbouw zijn besproken is het mogelijk om dit samen te vatten in een overzicht en te kijken wat dit met de stijging van de totale bouwkosten doet. De stijging per onderdeel is de volgende:

- 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 33: overzicht stijging kosten per m<sup>2</sup> BVO per tien verdiepingen [Oss, 2007]<sup>8</sup>

In het overzicht is te zien dat de stijging van de bouwkosten bij hoogbouw voornamelijk veroorzaakt worden 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 m<sup>2</sup> BVO zelfs negatief, bij hoogbouw is 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.

## 5.7 Bouwtijd

Het bepalen van de bouwtijd is nodig om de financieringskosten te kunnen bepalen. Zoals al aangegeven bestaat de bouwtijd uit de tijd van de uitvoering en een stuk aanlooperperiode tussen aankoop grond en begin werkzaamheden fundering.

### 5.7.1 Bouwsnelheid

Van een project is bekend uit hoeveel verdiepingen het bestaat, het is vervolgens belangrijk om te weten hoeveel verdiepingen per week worden gebouwd. Indien dit bekend is is de bouwtijd van de constructie te berekenen.

Het aantal verdiepingen per week is afhankelijk van de uitvoering en het constructiesysteem. Met staal is ongeveer drie verdiepingen per week en met beton twee verdiepingen te week te halen [*Stichting Bouwresearch, 1988*]<sup>5</sup>.

## 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.

### 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 m<sup>2</sup> 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. Dit materiaalgebruik is uit te drukken in kilogram materiaal en is te vermenigvuldigen met een kengetal voor de kiloprijs van dat materiaal. 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.

#### 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/m<sup>3</sup>; [[www.bouwkostenonline.nl](http://www.bouwkostenonline.nl)]<sup>37</sup>
- Wand kern en schijf 200 kg/m<sup>3</sup>,<sup>b</sup>
- Wand buis 140 kg/m<sup>3</sup>,<sup>a</sup>
- Vloeren 85 kg/m<sup>3</sup> [[www.bouwkostenonline.nl](http://www.bouwkostenonline.nl)]<sup>37</sup>.

<sup>b</sup> Opgave Pim Peters IMd Raadgevende Ingenieurs te Rotterdam



### 6.1.1.1 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 m<sup>3</sup> in plaats van in kg en dus moet deze met de soortelijke massa, 2400 kg/m<sup>3</sup>, omgerekend worden naar kg. De gevonden materiaalkosten voor beton en wapeningstaal zijn:

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

Tabel 2: betonprijzen per sterkteklasse (www.bouwkosten.nl)<sup>36</sup>

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 3: prijzen wapeningstaal per diameter bij afname van 25.000-50.000 kg (www.bouwkosten.nl)<sup>36</sup>

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](http://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](http://www.bouwkostenonline.nl)]<sup>37</sup>.

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.

### 6.1.1.2 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 4: staalprijzen per profiel (www.bouwkosten.nl)<sup>36</sup>

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 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

## 7 Inleiding bouwduurzaamheid

In het afstuderen wordt gesproken over de bouwduurzaamheid, dit is een niet eerder gedefinieerde term. Om deze term te kunnen gebruiken is het belangrijk om de definitie ervan te bepalen. Voordat dit mogelijk is, is het van belang om meer inzicht te krijgen in het ontstaan en de definitie van het begrip duurzaamheid.

Niet alleen een definitie is van belang ook een methode om een indicatie van de mate van duurzaamheid te kunnen geven is van belang, daarom zal eerst naar de meet- en beoordelingsmethode voor het begrip duurzaamheid worden gekeken en vervolgens zal worden ingegaan op de meetmethode voor de bouwduurzaamheid.

Naast het kijken naar de bouwduurzaamheid waar voor het afstuderen de concentratie ligt op de stabiliteitsystemen voor hoogbouw zal er ook gekeken worden naar de algemene duurzaamheidsaspecten die optreden als hoogbouw wordt toegepast.

## 8 Geschiedenis en terminologie

### 8.1 Duurzame ontwikkeling

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.

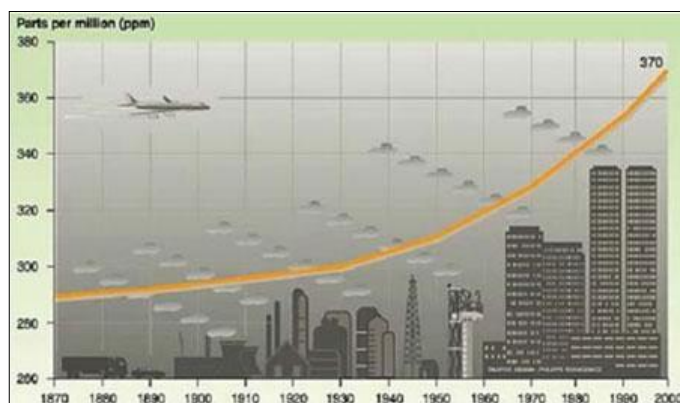
De omschrijving van duurzame ontwikkeling die in 1987 in het rapport werd gebruikt is: "Duurzame ontwikkeling is de ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen [Brundland, 1987]<sup>43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

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]<sup>3</sup>. 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 34: stijging CO<sub>2</sub> in de lucht 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 CO<sub>2</sub> uitstoot met minstens 20% verlaagd hebben [http://euobserver.com/885/28214]<sup>44</sup>.

### 8.2 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]<sup>3</sup>.

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](http://www.senternovem.nl) begrippenlijst]<sup>45</sup>."

Milieuprobleem	Bijdrage door de bouw aan totaal (%)
Aantasting ozonlaag	25
Broeikaseffect	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 5: milieubelastingen als gevolg van bouwen, wonen, werken en verplaatsen [Hendriks, 1999]<sup>7</sup>

Dit moet worden gedaan door een reductie van de milieubelasting te bewerkstelligen, dit kan worden bereikt door beheersing van de keten 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]<sup>7</sup>.

### 8.3 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.

## 9 Duurzaamheid meten

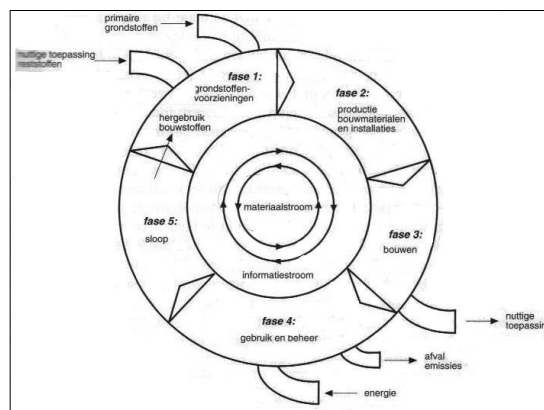
De reden waarom duurzaam bouwen gestimuleerd wordt is nu bekend maar hoe goed de intenties ook zijn, het is wel belangrijk dat gekwalificeerd kan worden wat wel en wat niet duurzaam bouwen is. Daarom zijn criteria- en beoordelingsmethode nodig voor de gezondheid- en milieueffecten.

### 9.1 Achtergrond levenscyclusanalyse

Voordat de begrippen duurzaamheid en duurzaam bouwen werden geïntroduceerd was al een enkeling bezig met milieubewust bouwen doormiddel van checklisten en voorkeurslijsten. Met de introductie van de term duurzaam bouwen ontstond een wildgroei aan dit soort lijstjes die vaak gebaseerd waren op persoonlijke voorkeur en onvolledige informatie. Om deze wildgroei tegen te gaan werd door de Nederlandse overheid een algemene lijst ontwikkeld, welke het nationale pakket duurzaam bouwen vormt. Met deze pakketten werd nog steeds naar de praktische kant gekeken in plaats van op wetenschappelijke methodes gebaseerd te zijn. De LevensCyclusAnalyse(LCA), die in 1992 is gepresenteerd door het onderzoekscentrum CML, is wel een gestandaardiseerde wetenschappelijke methode voor milieubeoordelingen [Dobbelsteen & Alberts, 2001]<sup>8</sup>.

### 9.2 Levenscyclusanalyse

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]<sup>8</sup>.



Figuur 35: levenscyclus bouwmaterialen [Hendriks, 1999]<sup>7</sup>

#### 9.2.1 Werking LCA

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:

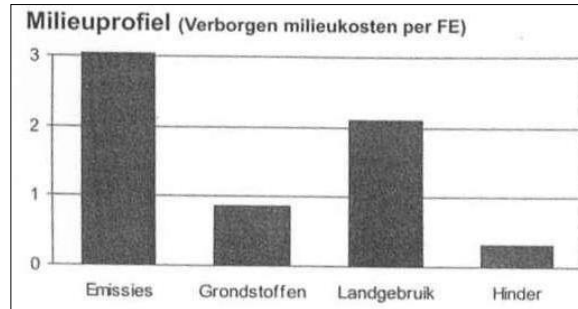
1. Vaststellen functionele eenheid en procesboom, hierbij wordt de vergelijkingsbasis voor de alternatieve vastgesteld en de functionele eenheid beschrijft welke functie het product of object in bepaalde periodes moet vervullen en welke processen hiervoor nodig zijn. Belangrijk hierbij is de vraag wat 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]<sup>8</sup>.

#### 9.2.2 Aggregatie

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 milieueffect in een bepaald gebied, op deze manier ontstaat het genormaliseerde milieuprofiel.

Belangrijk om 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. Wel is te zien aan welk milieueffect meer aandacht zou moeten worden geschonken [Hendriks, 1999]<sup>7</sup>.



Figuur 36: voorbeeld milieuprofiel gewapend beton in Euro's per Functionele eenheid [Haas, 2008]<sup>9</sup>

### 9.3 Weging

Met een milieuprofiel is het mogelijk om van alternatieven de afzonderlijke milieueffecten te vergelijken echter treedt hierbij de vraag op wat de belangrijkheid van de verschillende effecten is en wat qua totale milieubelasting het beste alternatief is.

Om dit in beeld te brengen moet een weging worden toegepast waarna één milieugestal per alternatief volgt.

Er zijn verschillende afwegingen en methodieken mogelijk om de belangrijkheid te bepalen en allemaal hebben ze hun eigen voor- en nadelen, vaak afhankelijk van de persoonlijke voorkeur van mensen.

De methodes die toegepast kunnen worden zijn de volgende:

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

#### 9.3.1.1 Panelmethode

Bij deze methode vraagt men een groep van in- of externe deskundige of vertegenwoordigers van maatschappelijke groeperingen op basis van hun kennis en inzichten per milieueffect een weefactor toe te wijzen

#### 9.3.1.2 Distance to target methode

Bij deze methode krijgt ieder milieueffect een weefactor welke afhankelijk is van het verschil tussen het huidige emissieniveau en het nagestreefde emissieniveau. Hoe hoger het verschil hoe hoger de weefactor. Hierbij moet in het achterhoofd worden gehouden het belang van het huidige emissieniveau en het politieke doel bij het nagestreefde emissieniveau.

#### 9.3.1.3 Milieukosten methode

Bij deze methode zal aan de milieueffecten een prijs worden gekoppeld die nodig is om de milieuschade op te heffen. Hierbij is het belangrijk onderscheid te maken tussen de directe milieukosten en de verborgen milieukosten. De directe milieukosten zijn kosten die bekend zijn en waarvoor bedrijven een soort van eco-tax moeten betalen welke al dan niet wordt doorberekend aan de consument. De verborgen milieukosten worden gebruikt voor de weging en ook hier is weer een onderscheid te maken in twee soorten kosten:

- Schaduwrijzen: dit is de prijs die de maatschappij bereid is te betalen om een milieudoel te bewerkstelligen;
- Preventiekosten: dit zijn de benodigde kosten voor maatregelen die ervoor zorgen dat de milieuschade onder een duurzaam niveau blijft [Dobbelsteen, Arets & Nunes]<sup>10</sup>.



## 9.4 Conclusie

Indien een LCA wordt gebruikt wordt een goed en duidelijk beeld gevormd van de milieueffecten die optreden. Groot nadeel van de LCA is dat deze alleen cijfers over de verschillende milieueffecten geeft, 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.

Deze weging kan worden gezien als een soort van beoordelingsmethode en omdat verschillende weegmethode 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 beoordelingsmethode 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 of onbetrouwbaar 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 beoordelingsmethode die er zijn voor bouwproducten te bespreken en het TWIN model is het enige model wat hierna besproken zal worden.

## 10 TWIN model

Het TWIN model is ontwikkeld zodat het mogelijk is om van verschillende bouwmaterialen de milieubelasting tegen elkaar kunnen af te wegen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de LCA en de weegmethodes zoals in Hoofdstuk 12 beschreven, echter treedt hier nog een probleem op qua volledigheid.

In de gestandaardiseerde LCA methode zijn namelijk de gezondheidscriteria ondergewaardeerd en wordt aantasting nog niet verwerkt en dus niet meegenomen. Om dit probleem op te lossen zijn deze effecten in het TWIN model los ingepast, dit om niet af te hoeven wijken van de standaard LCA.

Om een volledige LCA uit te kunnen voeren zijn erg veel gegevens nodig. Deze gegevens ontbreken vaak ontbreken deels, als gevolg hiervan zijn de uitkomsten wel betrouwbaar maar onvolledig. Om ervoor 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:

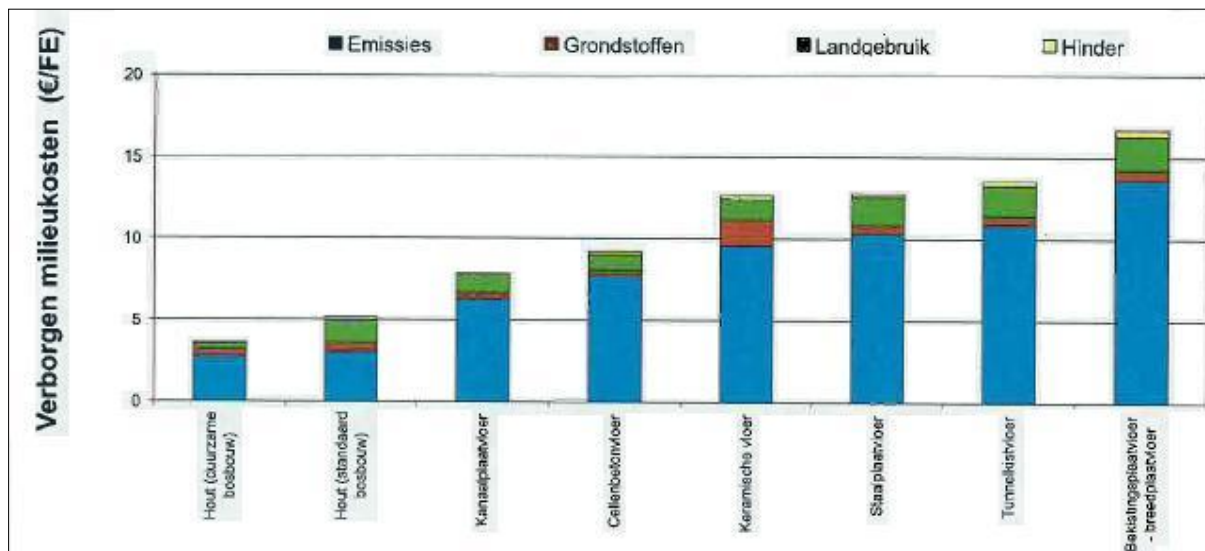
- De kwantitatieve, op de onvolledige LCA gebaseerde, gegevens en de kwalitatieve, op de volledige op prestatiebeschrijvingen gebaseerde, gegevens;
- De milieu- en gezondheidsbeoordeling [Haas, 2008]<sup>9</sup>.

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 in een LCA wordt 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.

### 10.1 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 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. 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]<sup>9</sup>.



Figuur 37: verborgen milieukosten verdiepingsvloeren per functionele eenheid van 1m<sup>2</sup> [Haas, 2008]<sup>11</sup>

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.

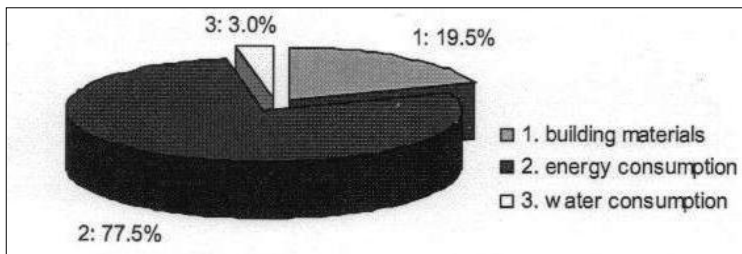
## 11 Huidige duurzaamheid in de bouw

Het idee van duurzaam bouwen is om de milieueffecten van de bouw, gebouwde en bebouwde omgeving te reduceren. Nu bekend is hoe van de verschillende bouwmaterialen de gezondheid- en milieueffecten te berekenen zijn is het mogelijk te kijken hoe over het algemeen in de bouw gepresteerd wordt en welke onderdelen een grote milieubelasting veroorzaken.

Om hierover een uitspraak te kunnen doen zal gekeken worden naar de conclusies van het onderzoek van Dobbelsesteen, Arets en Linden waarbij naar de milieubelasting van rijkskantoorgebouwen is gekeken.

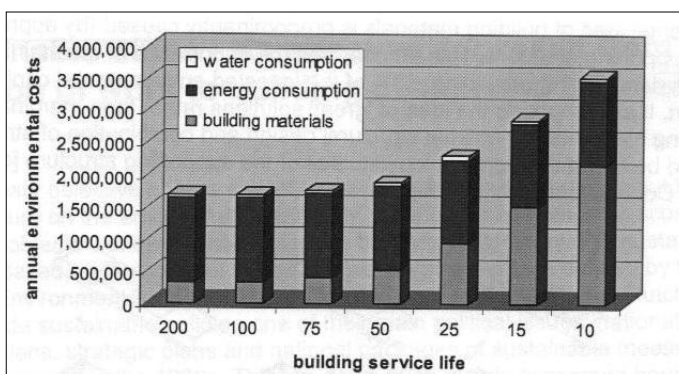
### 11.1 Milieubelasting kantoren

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.



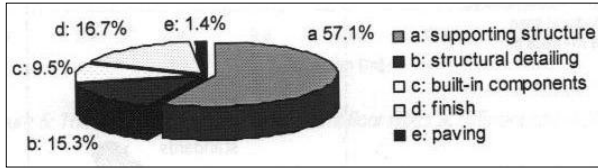
Figuur 38: gemiddelde verdeling milieubelasting rijkskantoren [Dobbelsesteen et al.]<sup>10</sup>

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 zoals in de GreenCalc berekening een vertekend beeld kan geven. 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 [Dobbelsesteen, 2004]<sup>12</sup>.



Figuur 39: verdeling milieukosten bij variërende levensduur [Dobbelsesteen, 2004]<sup>12</sup>

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 heeft wel invloed op de GreenCalc berekening en als gevolg hiervan wordt de invloed van de bouwmaterialen alleen maar groter en het duurzaam bouwen dus belangrijker.



Figuur 40: onderverdeling milieukosten bouwmaterialen [Dobbelsteen, 2004]<sup>12</sup>

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.]<sup>10</sup>.

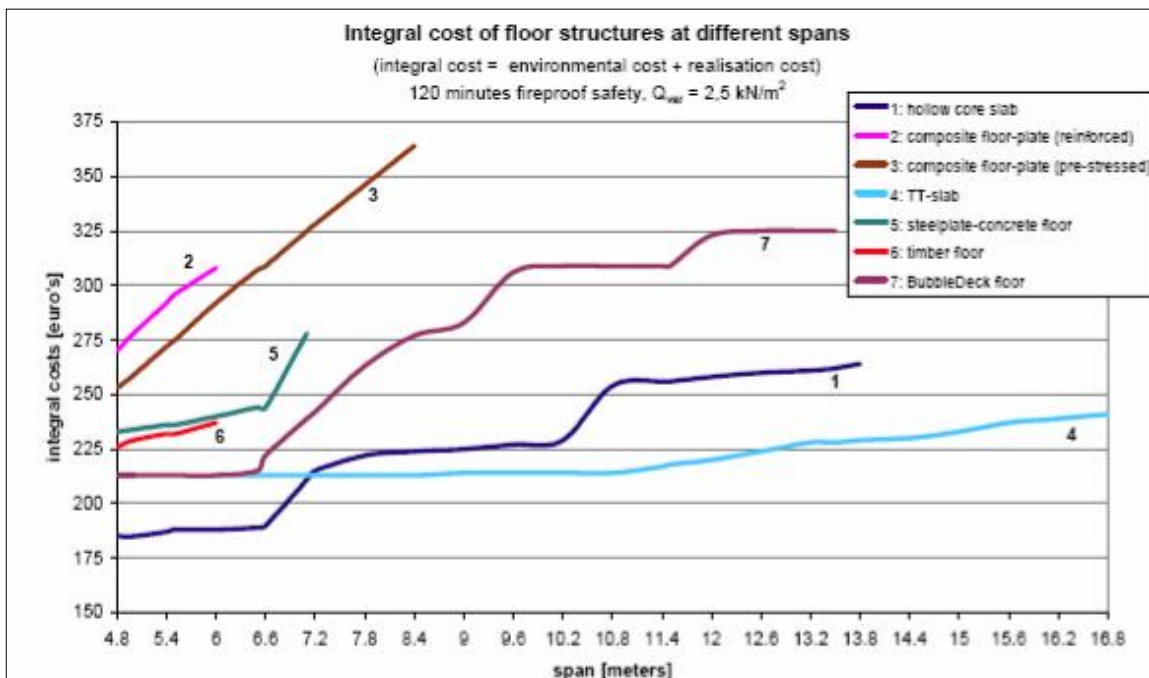
## 11.2 Draagconstructie optimaliseren

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.

### 11.2.1 Vloeren

Gekeken is naar verschillende overspanningen met een veranderlijke vloerbelasting van 2,5 kN/m<sup>2</sup> en 5,0 kN/m<sup>2</sup>. Voor de korte overspanningen met een belasting van 2,5 kN/m<sup>2</sup> geven de kanaalplaatvloer 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 kanaalplaatvloer. Bij een belasting van 5,0 kN/m<sup>2</sup> is de kanaalplaatvloer 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 kanaalplaatvloer als favoriet naar TT plaat.



Figuur 41: integrale kosten vloerconstructie bij verschillende overspanningen [Arets, 2001]<sup>13</sup>

### 11.2.2 Totale constructie

Bij de totale constructie van een aantal beuken is ook gekeken naar verschillende overspanningen en een veranderlijke vloerbelasting van 2,5 kN/m<sup>2</sup> en 5,0 kN/m<sup>2</sup>. Voor de vloer is de uitkomst, dat afhankelijk van de situatie ook hier de TT plaat, kanaalplaatvloer 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.]<sup>10</sup>.



Figuur 43: voorbeeld duurzaam bedrijfspand, CO2 neutraal kantoor Eneco [Dam&Partners architecten]



Figuur 42: voorbeeld duurzaam bedrijfspand, CO2 emissievrij bedrijfspand TNT  
[<http://www.duurzaamgebouwd.nl/index.php?pageID=3946&messageID=903>]

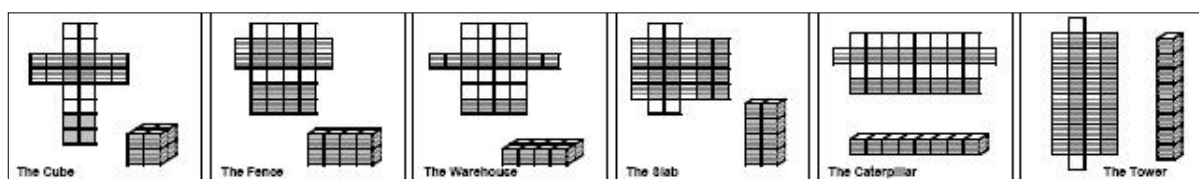
## 12 Duurzaamheid als gevolg van hoogbouw

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.

### 12.1 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 44: overzicht gebouwwormen onderzoek [Dobbelsteen et al.]<sup>14</sup>

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

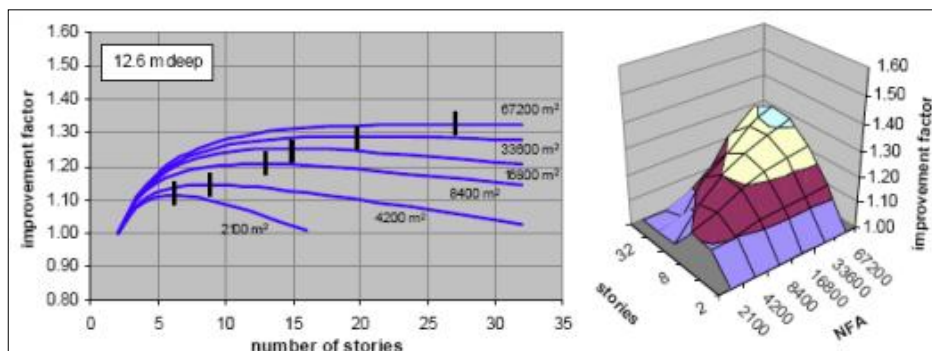
shape type	energy	materials	water	total
contribution >	77.5%	19.5%	3.0%	100.0%
the Cube	1.00	1.00	1.00	<b>1.00</b>
the Slab	1.02	0.91	1.00	<b>1.00</b>
the Fence	1.02	0.92	1.00	<b>1.00</b>
the Warehouse	0.93	0.93	1.00	<b>0.93</b>
the Tower	0.92	0.80	1.00	<b>0.90</b>
the Caterpillar	0.92	0.82	1.00	<b>0.90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

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.]<sup>14</sup>.

Tabel 6: duurzaamheidsprestaties gebouwwormen [Dobbelsteen et al.]<sup>14</sup>



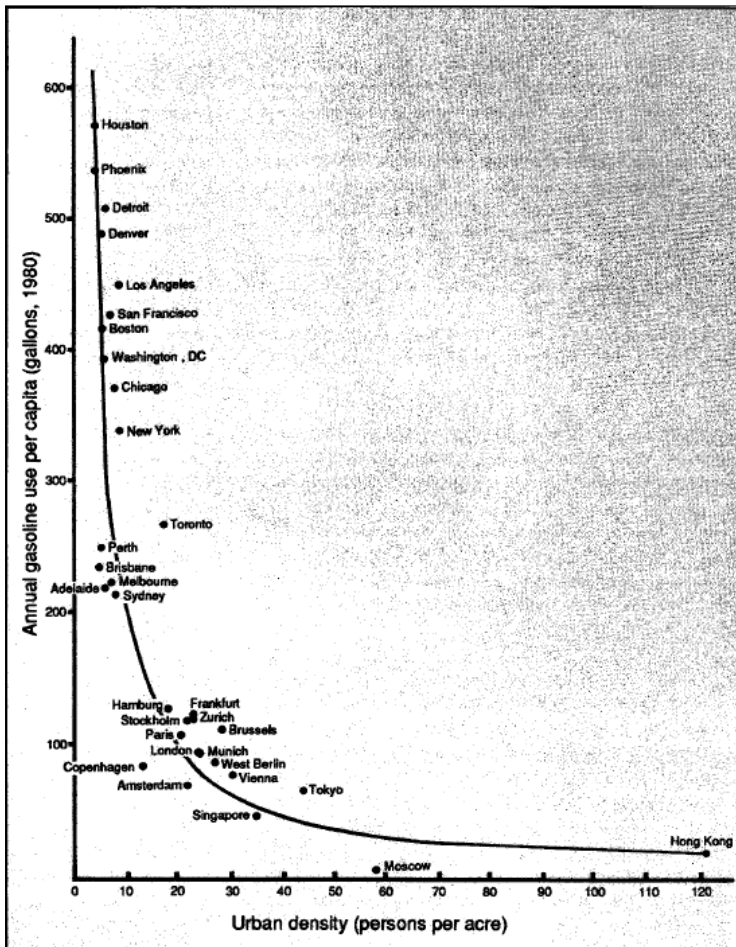
Figuur 45: Relatie duurzaamheidsprestatie en aantal verdiepingen, aantal verdiepingen en BVO [Dobbelsteen et al.]<sup>14</sup>

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.

## 12.2 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 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]<sup>15</sup>. In dit geval wordt de ligging aan knooppunten ook van minder groot belang.



Figuur 46: relatie benzinegebruik per persoon tov personen per ha [Newman & Kenworthy, 1989]<sup>15</sup>

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.



### 12.3 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 47: Woolworth Building  
[A World of Buildings]*

### 12.4 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 of toegepast omdat weinig ruimte aanwezig is of de bespaarde ruimte wordt in de loop van de tijd toch vol gebouwd 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 48: 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 overschrijdt, deze waarde vaak aangehouden voor de levensduur van bouwmaterialen bij bepaling van de milieubelasting.

### 12.5 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]<sup>16</sup>.

Ook is het mogelijk om fotovoltaïsche cellen toe te passen.

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

## 13 Bouwduurzaamheid

In hoofdstuk 15 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.

### 13.1 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.

#### 13.1.1 Definitie bouwduurzaamheid tijdens afstuderen

Tijdens het afstuderen wordt niet naar het totale plaatje van bouwmaterialen en bouwproces gekeken, gekeken wordt naar de stabiliteitssystemen 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.

### 13.2 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 kanaalplaatvloer welke een materiaalbesparing van 40% ten opzichte van een breedplaatvloer laat zien. Deze ontwikkeling is echter eerder vanuit kostenbesparing dan verlaging van de milieubelasting [Arets, 2001]<sup>13</sup>;
- 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 afhankelijk 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]<sup>17</sup>.

### 13.3 Bepalen bouwduurzaamheid

#### 13.3.1 Bouw materiaal

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 milieugestal 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.

##### 13.3.1.1 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<sup>e</sup> en 20<sup>ste</sup> 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.

##### 13.3.1.2 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.

#### 13.3.2 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.<sup>c</sup>

<sup>c</sup> Informatie verkregen via Dhr. Haas van NIBE

### 13.3.3 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	0,000000416	0,00000041	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	0,000771
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 50: 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	0,000708
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 49: 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.

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/m<sup>3</sup>
- Wanden kern en schijf 200 kg/m<sup>3</sup>;
- Wanden buis 140 kg/m<sup>3</sup>;
- Vloeren 85 kg/m<sup>3</sup>.

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.

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 51: omrekenfactor milieueffecten per kg naar milieukosten €/kg [NIBE]*



# DEELRAPPORT FLEXIBILITEIT

## **14 Inleiding flexibiliteit**

Om in het verdere onderzoek de flexibiliteit van de draagconstructie van hoogbouw te kunnen beoordelen is het van belang om te weten wat onder flexibiliteit wordt verstaan en wat de mogelijkheden zijn. Op die manier kan een goede definitie van flexibiliteit voor het onderzoek worden gedefinieerd.

Naast het bepalen van de definitie zal moeten worden gekeken naar kengetallen of een methode om de flexibiliteit van de verschillende draagconstructies te beoordelen.



## 15 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.

### 15.1 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 ontwerpvrijheid;
- 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](http://www.ifd.nl)]<sup>42</sup>.

### 15.2 Flexibiliteit en tijd

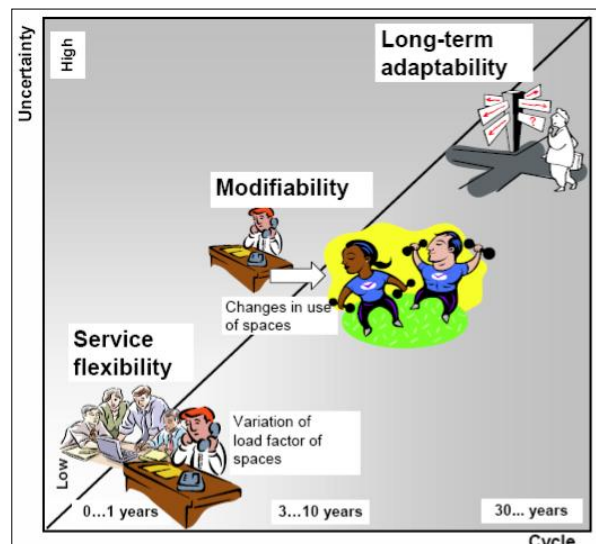
Niet alleen kan flexibiliteit als meerdere dingen worden gezien, de gebruiker en eigenaar van een gebouw zullen ook anders over flexibiliteit denken. De gebruiker associeert flexibel gebruik van de ruimte met zijn alledaagse bezigheden terwijl de eigenaar meer naar de middellange en lange termijn kijkt 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 vind 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](#)]<sup>18</sup>.

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 52: verschillende type flexibiliteit [[Saari & Heikkila, 2008](#)]<sup>18</sup>



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.

### **15.3 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}*<sup>19</sup>.

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.

## 16 Functies

Om een uitspraak te kunnen doen over de mogelijkheid tot functiewisselingen is het belangrijk om een overzicht te hebben van de eigenschappen van de verschillende functies. Aan de hand hiervan kan gekeken worden waar conflicten optreden en waar overeenkomsten zitten.

### 16.1 Functie eigenschappen

De functies waar naar gekeken zal worden zijn:

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

#### 16.1.1 Belastingen

De belastingen waar het om draait bij verschillende functies zijn het eigen gewicht en de veranderlijke belasting door meubels en personen. De waarde van de veranderlijke belastingen zullen zijn bepaald aan de hand van de NEN6702. De waarde van het eigen gewicht zullen veelal afhankelijk zijn van de constructie die nodig is als gevolg van de veranderlijke belasting en zal daarom buiten beschouwing worden gelaten. Voor de functie wonen en kantoor is een extra eis van maximaal  $1,2 \text{ kN/m}^2$  voor niet-dragende scheidingswanden geformuleerd [NEN6702, 2001]<sup>20</sup>.

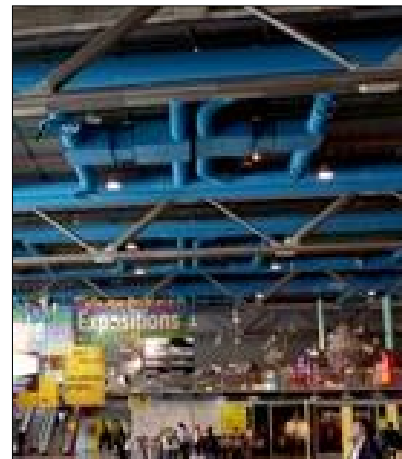
#### 16.1.2 Vrije hoogte en verlaagd plafond

Voor alle functies geldt dat een vrije hoogte van 2,6m is vereist [Bouwbesluit 2003]<sup>21</sup>. Om tot de verdiepingshoogte van de functies te komen moet hier de vloerdikte, zeeg, toleranties en eventuele hoogte boven verlaagd plafond aan worden toegevoegd.

Dit verlaagde plafond wordt aangebracht om het leidingwerk van ventilatie, water, verwarming en elektra boven te verwerken. De hoogte die benodigd is tussen het verlaagd plafond en de vloer is afhankelijk van de hoogte van met name de ventilatiekanalen, hiervoor moet ongeveer 0,2m tot 0,5m worden aangehouden. In een aantal functies wordt het verlaagd plafond wel eens achterwege gelaten, het leidingwerk wordt dan in het zicht gelaten. Dit stelt wel extra eisen aan de uitvoering. Functies waarbij dit gebeurd zijn: sport, winkel en horeca.

In woningbouw is over het algemeen geen verlaagd plafond terug te vinden omdat dit niet nodig is. Het benodigde leidingwerk wordt bij deze functie in de vloer en smeervloer verwerkt.

Een gevolg hiervan is dat aanpassingen moeilijk te doen zijn, daarom wordt voor de elektra vaak op voorhand loze leidingen aangebracht.



Figuur 53: Centre Pompidou in Parijs, voorbeeld van een gebouw met leidingwerk in het zicht [Jean-noël Lafargue]

### 16.1.3 Ventilatie

Als naar de ventilatie wordt gekeken wordt de bezettinggraad van belang, dit is het aantal m<sup>2</sup> gebruiksoppervlak per persoon. In de meeste gevallen zal bezettingsgraad B2 of B3 van toepassing zijn, de hierbij behorende waarde zijn:

- B2 2m<sup>2</sup> tot 5m<sup>2</sup> per persoon;
- B3 5m<sup>2</sup> tot 12m<sup>2</sup> per persoon [Bouwbesluit 2003]<sup>21</sup>.

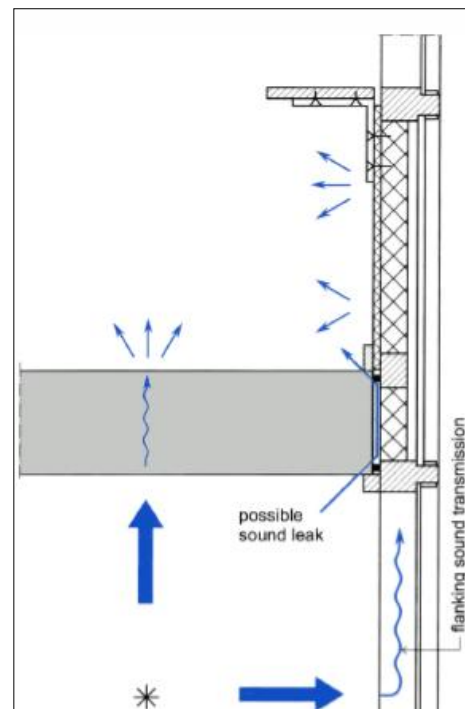
Met deze bezettingsgraad is het mogelijk om uit het bouwbesluit de waarde voor de ventilatie per m<sup>2</sup> te bepalen. Wat in het overzicht niet terug komt is dat voor een woning naast de gegeven ventilatie voor de keuken, badkamer en toilet een hogere ventilatie eis gesteld is.

### 16.1.4 Geluid

Bij het geluid in een gebouw wordt gesproken over contactgeluid en luchtgeluid. Contactgeluid is het geluid dat zich verspreidt door het rechtstreeks in trilling brengen van de constructie. Deze constructie brengt op zijn beurt de lucht rondom de constructie in trilling. Luchtgeluid kan direct en indirect optreden. Bij direct luchtgeluid plant de lucht, die door een bron in trilling is gebracht, zich via kieren en spleten voort in andere ruimtes. Bij indirect luchtgeluid vindt de voortplanting plaats door via de constructie de lucht aan de andere zijde in trilling te brengen [Linden, 2006]<sup>22</sup>.

Om geluidsoverlast tussen de verschillende verblijven te voorkomen zijn eisen gesteld aan de isolatie voor het contact- en luchtgeluid. Deze eis is voor luchtgeluid gebaseerd op een karakteristieke isolatie-index  $I_{l,u,k}$  en voor contactgeluid op de isolatie index  $I_{co}$ . Deze indices geven een afwijking ten opzichte van een standaard normwaarde weer.

Bij het luchtgeluid vindt een karakterisatie plaats omdat de ruimte onafhankelijke waarde ruimte afhankelijk moeten worden gemaakt. De standaardwaarde zijn gebaseerd aan de hand van octaafbanden en de gevoeligheid van het oor [Linden, 2006]<sup>22</sup>.



Figuur 54: direct en indirect luchtgeluid [Linden, 2006]<sup>22</sup>

Octaafband (Hz)	125	250	500	1000	2000
Standaardwaarde luchtgeluid $I_{l,u,k}$ (dB)	40,5	42,5	57	63	65
Standaardwaarde contactgeluid $I_{co}$ (dB)	70	66	66	66	70

Tabel 7: overzicht standaard isolatiewaarde  $I_{l,u,k}$  en  $I_{co}$  [Linden, 2006]<sup>22</sup>

De gebruikte waarde zijn afkomstig uit het bouwbesluit en hierin wordt onderscheid gemaakt tussen de isolatie-index van besloten ruimte naar besloten ruimte en van besloten ruimte naar verblijfsgebied [Bouwbesluit 2003]<sup>21</sup>.

### 16.1.5 Vrije ruimtes

Vaak wordt 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 draagsysteem 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.

### 16.1.6 Overzicht functies

Met de gegevens uit de beschreven onderdelen is het mogelijk om een overzicht te maken. Aan de hand van dit overzicht kan geanalyseerd worden waar problemen optreden en waar overeenkomsten zitten als het gaat om het mogelijk maken van functiewisselingen.

Functie	Veranderlijke belasting	Vrije hoogte	Verlaagd plafond aanwezig	Minimale ventilatie bezettingsgraad B2	Minimale ventilatie bezettingsgraad B3	Luchtgeluid I <sub>lu,k</sub> ruimte-verblijfsgebied	Contactgeluid I <sub>co</sub> ruimte-verblijfsgebied	Luchtgeluid I <sub>lu,k</sub> ruimte-ruimte	Contactgeluid I <sub>co</sub> 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 <sup>2</sup>	m	-	l/s per m <sup>2</sup>	l/s per m <sup>2</sup>	dB	dB	dB	dB

Tabel 8: overzicht eigenschappen functies

\* tevens moet een permanente belasting van 1,2 kN/m<sup>2</sup> worden meegenomen

## 16.2 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.

### 16.2.1 Belastingen

Bij woningen moet worden gerekend met een belasting van 2,95 kN/m<sup>2</sup>, 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.

### 16.2.2 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 55: hoogte en ruimtebesef [Gemeente Amsterdam Bureau Monumenten & Archeologie GAK gebouw]*

### 16.2.3 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 echter 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 er 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.

### 16.2.4 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 zitten eisen aan deze geluidswering waarbij voor een de functie wonen de strengste eisen gelden. Dit geeft dus geen problemen bij functiewisselingen.

### 16.2.5 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 verspringing van de standleiding en hiervoor is schachtruimte nodig of er moet afvoer naar bestaande standleidingen plaats vinden waarbij voldoende afschot mogelijk moet zijn.

### 16.2.6 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 onderstaande tabel 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 <sup>2</sup> BVO of 1 werkplek per 10-15 m <sup>2</sup> 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 neergerende piek in de ochtend is maatgevend: neergerend en opgaand ontbijtverkeer met neergerend check-outverkeer (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 neergerende ochtendpiek	De neergerende piek is maatgevend (3-6 % per 5 minuten) Let op: NEN 5080 zegt 7,5-20 %!
Onderwijsgebouw	1 personen per 4-7 m <sup>2</sup> NVO	45-75 % komt voor het 1 <sup>e</sup> of 2 <sup>e</sup> collegeuur aan	De opgaande piek en/of de piek tijdens collegewisselingen is maatgevend (15-25 % per 5 minuten).

Tabel 9: indicatie populatie, bezettingsgraad en piekvorming voor gebouwfuncties [Wit, 2007]<sup>23</sup>

### 16.2.7 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 toe te passen 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.

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

Tabel 10: kruistabellen conflicten en overeenkomsten eigenschappen functies, -- veel zwaardere eis, - zwaardere eis, 0 dezelfde eis, + lichtere eis, ++ veel lichtere eis



## 17 Integrale vloersystemen

De “standaard” vloersystemen, breedplaat, kanaalplaat, staalplaat betonvloer, zijn wel redelijk bekend. De integrale vloersystemen zijn een stuk minder bekend en daarom zullen hiervan een aantal wat uitgebreider besproken worden.

### 17.1 Infra+vloer

#### 17.1.1 Geschiedenis

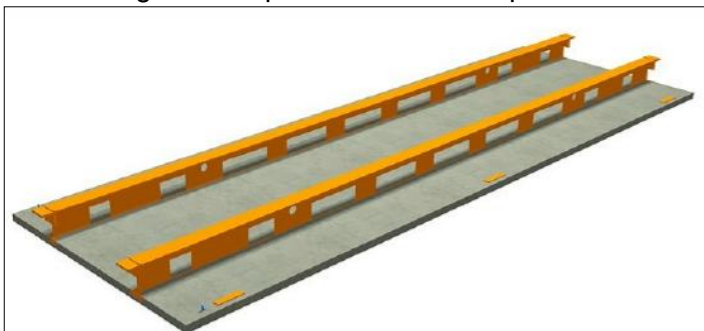
De infra+vloer is een vloersysteem dat voort is gekomen uit het Innovatief Systeem van Bouwen (ISB) uit begin jaren tachtig. Het ISB had als doel projectongebonden industriële productie mogelijk maken en tegelijkertijd de bewoner invloed geven op de indelingsmogelijkheden. In 1993 werd in Eindhoven een proefmodule gebouwd waarbij de vloer en wandelementen worden gevormd uit hoedprofielen in koudgevoormd staalplaat. Op deze manier ontstond ruimte om de kanalen en leidingen op te nemen in de vloer. Deze opzet slaagde niet omdat de vloer een hinderlijk trillingsgedrag had en de materialen niet standaard verkrijgbaar waren op de markt.

Wel is dit concept later doorontwikkeld tot de infra+vloer waarbij het trillingsgedrag is aangepakt en ervoor gekozen is om het aanbrengen van installaties alleen vanuit de bovenzijde mogelijk te maken zodat er een vlak plafond ontstaat [Roseboom, 2005]<sup>4</sup>.

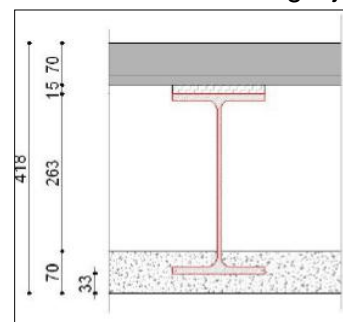
#### 17.1.2 Eigenschappen

##### 17.1.2.1 Constructief

De infra+ vloer is een vloer die bestaat uit een betonnen schil van 70mm dik, hierin worden IPE liggers aangebracht welke standaard 1200mm hart op hart liggen. Bij hoge belastingen of om hoogte te besparen is een hart op hart afstand van 800mm of 400mm ook mogelijk.



Figuur 57: voorbeeld infra+ vloer [Slimline buildings BV]<sup>25</sup>



Figuur 56: doorsnede infra+ vloer [Slimline Buildings BV]<sup>25</sup>

Bovenop deze IPE's is een rubbergranulaat van 15mm als akoestische onderbreking aanwezig en hierop ligt een topvloer. De breedte van de vloerplaten is tot 2400mm en standaardlengtes zijn tot 10600mm verkrijgbaar, de maximale lengte is 14400mm. Gezien de ruimte voor de installaties en het beperkt houden van de hoogte ligt het economisch optimum voor de overspanning tussen de 7m en 9m. Met een veranderlijke belasting voor personen van 5 kN/m<sup>2</sup> en een overspanning van 7200mm voldoet een vloer met een IPE330 hart op hart 1200mm net. De totale hoogte is dan 448mm en het totale eigen gewicht 4,52 kN/m<sup>2</sup>.

Bij een overspanning van 8100mm is een IPE 360 en dus een hoogte van 478mm nodig, indien de liggers hart op hart 800mm worden toegepast blijft een vloer met IPE330 mogelijk, het eigen gewicht neemt dan wel toe.<sup>d</sup> De vloer hoeft hierbij niet onderstempeld te worden en is direct belastbaar. Door aan de rand van de plaat voorzieningen aan te brengen kan de plaat gekoppeld worden zodat de vloer zich als schijf gedraagt [Slimline buildings BV]<sup>25</sup>.

<sup>d</sup> Gegevens verkregen van Gido Wesdorp van Slimline Buildings B.V.

### 17.1.2.2 Installaties

Zoals in de figuur te zien is worden in de IPE's sparingen aangebracht voor de doorvoer van leidingen en kanalen. De betonnen schil fungeert zowel als constructief element als verlaagd plafond, wat een hoogte besparing geeft. Het is belangrijk dat het aantal sparingen niet op de huidige situatie is gebaseerd maar dat extra sparingen worden opgenomen met het oog op toekomstige aanpassing. De hoogte die beschikbaar is voor de kanalen is afhankelijk van de hoogte van de toegepaste IPE. Voor een IPE300 is dit ongeveer 260mm en dit loopt op met hoogte toename van de IPE.

### 17.1.2.3 Topvloer

Voor de topvloer kan een keuze worden gemaakt tussen een cementgebonden vezelplaat of een zwaluwstaartvloer met cementdekvloer. Door het aanbrengen van een zwaluwstaartvloer met cementdekvloer gaat de bereikbaarheid van de kanalen en leidingen tussen de schil en topvloer, het plenum, verloren. Dit betekent dat ook het flexibele karakter van de vloer, het makkelijk kunnen bereiken en aanpassen van de kanalen en leidingen, verloren gaat tenzij een volledige verbouwing van de verdieping plaats vindt waarbij de dekvloer wordt verwijderd.

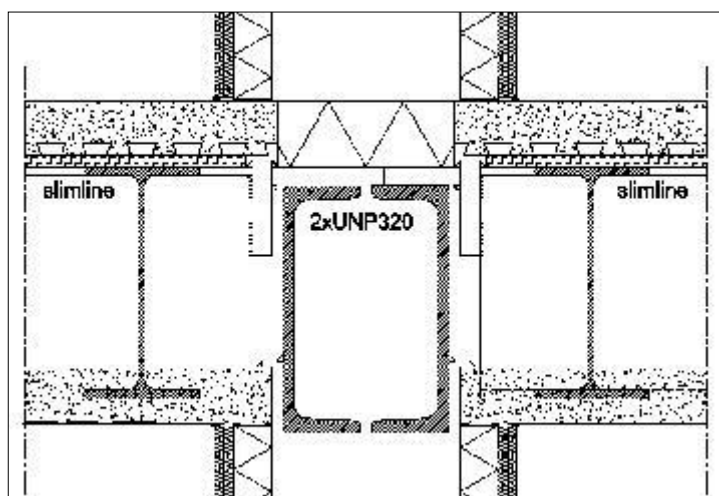
Bij het toepassen van een cement gebonden vezelplaat is de bereikbaarheid van de kanalen en leidingen beter maar zal het verwijderen van de platen nog steeds niet makkelijk gaan. Daarom is het raadzaam om verwijderbare stroken in de topvloer op te nemen zodat de kanalen ten alle tijden bereikbaar blijven. Dit is in beide uitvoeringsmethode van de topvloer mogelijk en zorgt voor behoud van het flexibele karakter. In de verdere afwerking van de topvloer moet rekening worden gehouden met de bereikbaarheid van deze verwijderbare stroken.

Omdat de topvloer pas later wordt aangebracht moeten tijdens de uitvoering platen worden aangebracht om makkelijker over de vloer te kunnen lopen. Dit moet tevens het gevaar van beschadiging van de kanalen en leidingen tegen gaan [Roseboom, 2005]<sup>24</sup>.

### 17.1.2.4 Brand en geluid

Zoals al eerder aangegeven wordt tussen de IPE's en de topvloer een rubbergranulaat toegepast welke voor akoestische loskoppeling zorgt. Op deze manier ontstaat een isolatie voor luchtgeluid  $I_{l,u,k}$  van 10dB en voor contactgeluid  $I_{co}$  van 10dB in verticale zin.

In horizontale zin verdient de geluidswering extra aandacht indien hier eisen aan zitten, zoals bij een woningscheidende wand. Zijn dit lichte wanden dan zorgt de wand niet voor demping van de vloer en moet een soort van ankerloze spouw worden gemaakt met behulp van twee UNP's in plaats van één IPE.



Figuur 58: detail infra+vloer bij woningscheidende wand [Slimline buildings BV]<sup>25</sup>

Een verlaagd plafond gaat galm tegen, de betonschil van de infra+vloer doet dit niet en extra akoestisch materiaal zal moeten worden aangebracht om galm tegen te gaan.

De brandveiligheid van dit vloersysteem is na onderzoek van TNO vastgesteld op meer dan 145 minuten. Om dit te bereiken hoeven de stalen profielen niet brandwerend bekleed te worden, wel is het van belang dat de naden tussen de betonnen schillen met brandwerende kit worden afgewerkt [Slimline buildings BV]<sup>25</sup>.

## 17.2 Holcon vloer

Het doel waarmee de Holcon vloer is ontwikkeld is om de gebouwen die aan de bouwvoorraad worden toegevoegd een grotere toekomstwaarde te geven doordat ze flexibel zijn. Hierbij moeten voordelen ontstaan op het gebied van multifunctioneel bouwen, indeelbaarheid, duurzaamheid en integrale benadering.

### 17.2.1 Eigenschappen

#### 17.2.1.1 Constructief

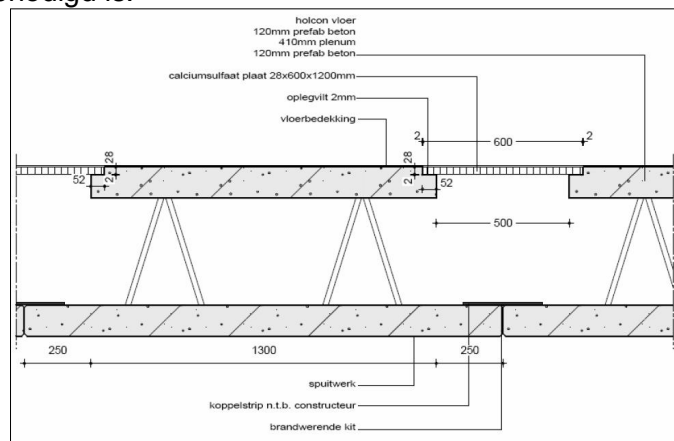
De vloer wordt opgebouwd uit een dubbele betonvloer van 120mm dik waartussen een 3d-vakwerk van onbehandeld wapeningsstaal wordt aangebracht. Dit vakwerk brengt de dwarskrachten van de drukzone (bovenplaat) over naar de trekzone (onderplaat). De breedte van de onderplaat is 1800mm en van de bovenplaat 1300mm. Een standaard uitvoering is een plaatlengte van 16200mm met een hoogte van 700mm, een veranderlijke belasting van personen van 5,0 kN/m<sup>2</sup> kan hierbij zonder problemen worden opgenomen. Zowel de hoogte als plaatlengte is aanpasbaar en af te stemmen op wat benodigd is.<sup>e</sup>



Figuur 59: voorbeeld Holcon vloer [3D Bleuprint]<sup>26</sup>

#### 17.2.1.2 Installaties

Door het 3d-vakwerk ontstaat een open structuur waar tussen de kanalen en leidingen kunnen worden aangebracht. De benodigde afmetingen hiervoor kunnen in overleg met de installateur worden bepaald. Doordat de bovenplaat kleiner is dan de onderplaat ontstaat bij het leggen van de platen automatisch een open strook van 500mm van waaruit de tussenruimte bereikbaar is. Deze strook wordt dicht gelegd met onbrandbare vloerluiken.



Figuur 60: doorsnede Holcon vloer [3D Bleuprint]<sup>26</sup>

Voordeel van dit systeem is dat

meteen een bovenplaat aanwezig is en het gevaar op beschadiging van de kanalen en leidingen zoals bij de infra+ vloer wordt voorkomen. Voor de verwarming en koeling van het gebouw is het mogelijk in de bovenplaat vloerverwarming op te nemen en de onderplaat als koelplafond uit te voeren.

#### 17.2.1.3 Brand en geluid

Door de naden van de onderplaat met een brandwerende kit af te werken ontstaat een brandwerende schil. In het plenum mogen geen gasleidingen en halogeen bevattende kabels worden aangebracht. Op deze manier is samen met de onbrandbare vloerluiken de brandbelasting in het plenum zo laag dat verhitting van het vakwerk boven de 300 graden niet mogelijk is en onbehandelde toepassing van het staal mogelijk is. Toch zijn de staven voor extra veiligheid voor brand, corrosie en knik overgedimensioneerd [3D Bleuprint]<sup>26</sup>.

Voor lucht- en contactgeluid zijn geen isolatie waarde bekend omdat hier nog nooit metingen naar zijn gedaan. In de bestaande gebouwen met deze vloer zijn echter nog nooit problemen met geluid opgetreden.<sup>d</sup>

<sup>e</sup> Gegevens verkregen van Andre de Witte van Bartels Ingenieursbureau te Lochem

### 17.3 Flexfloor

Dycore is ook bezig geweest met het ontwikkelen van een vloersysteem dat kan worden gebruikt als integraal vloersysteem waarmee meer flexibiliteit wordt gerealiseerd. Helaas is ondanks de ontwikkeling van een prototype de verder ontwikkeling tot nadere orde stopgezet.

De vloer is in eerste instantie bedacht als vloer voor utiliteitsbouw waarbij aanpassingen in de het leidingwerk makkelijk mogelijk zijn. Deze aanpassingen zijn mogelijk door de aanwezigheid van holle ruimte, kamers genoemd, welke met elkaar in verbinding staan doormiddel van tunnels. Een kamer kan zowel van boven als van onder bereikbaar worden gemaakt waarbij voor utiliteitsbouw werd uitgegaan van bereikbaarheid van onderaf zodat de vloerbedekking bij aanpassingen niet hoeft worden verwijderd. Bij toekomstige uitvoer voor woningbouw zou bereikbaarheid van bovenaf makkelijker zijn.

De kamers worden vervolgens afgesloten door het toepassen van akoestische tegels.



*Figuur 61: aanzicht prototype Flexfloor [Dycore]<sup>27</sup>*

*Figuur 62: tunnels in Flexfloor [Dycore]<sup>27</sup>*

Voor het verwarmen en koelen van het gebouw wordt in de onderzijde van de plaat betonkernactivering opgenomen. Door deze toepassing kunnen de ventilatiekanalen voor alleen de luchtverversing worden gebruikt wat zorgt dat de kanalen kleiner blijven [Dycore]<sup>27</sup>.

De belasting die de vloer kan dragen is niet alleen afhankelijk van de overspanning en de hoogte van de vloer maar ook van het wel of niet voorspannen van de vloer. Niet voorgespannen is een overspanning van ongeveer 8m mogelijk indien als hoogte voor de functie wonen 300mm wordt aangehouden en voor de functie kantoren 350mm wordt aangehouden. Deze overspanning mag vergroot worden tot ongeveer 12,6m indien de vloer wel wordt voorgespannen.<sup>f</sup>

<sup>f</sup> Gegevens verkregen van Jan de Wit van Dycore systeemvloeren

## 17.4 Wingvloer

De wingvloer is ontwikkeld door Betonson en is een vloer welke een combinatie is van een breedplaat en een kanaalplaat. Deze vloer is niet direct een integraal vloersysteem maar kan door slim gebruik te maken van de vloer wel zo worden gebruikt.

### 17.4.1 Eigenschappen

#### 17.4.1.1 Constructief

De vloer is opgebouwd uit een breedplaat met hierop een kanaalplaat. Deze breedplaat is standaard 130mm hoog en de kanaalplaat kan een hoogte hebben van 130, 190 of 270mm.

De plaatbreedte is 1200mm en het kanaalplaat deel heeft een breedte van 700 mm. Zo ontstaat aan beide zijde een verlaging over 250mm.

Met deze plaat is een overspanning van 6 tot 16m mogelijk [Betonson]<sup>41</sup>.



Figuur 63: aanzicht oude wingvloer [Betonson]<sup>41</sup>

#### 17.4.1.2 Installaties

Na het leggen van de vloer kan het leidingwerk worden aangebracht in de "goot" die tussen de verhogingen van de kanaalplaten ontstaat, vervolgens wordt deze goot aangestort. Op deze manier ontstaat echter geen integraal vloersysteem omdat het leidingwerk niet meer aanpasbaar is. Door in plaats van de goot aan te storten de opening met platen dicht te leggen of indien meer hoogte nodig is een computervloer toe te passen ontstaat wel een



Figuur 64: oude wingvloer met leidingwerk in goot en ingekorte kop [Betonson]<sup>41</sup>

systeem waarbij het leidingwerk aanpasbaar blijft. In de breedterichting van de vloer is het mogelijk om dwarskanalen in de kanaalplaat toe te passen, deze hebben een maximale hoogte van 90mm om te voorkomen dat de krachswerking van de vloer wordt verstoord. In sommige gevallen wordt gekozen om de vloer met een ingekorte kop toe te passen, de kanaalplaat eindigt dan eerder zodat in de breedterichting ook een goot ontstaat voor leidingwerk. Deze oplossing heeft wel invloed op de krachswerking.

Tevens is het mogelijk om in de vloer betonkernactivering toe te passen.

#### 17.4.1.3 Brand en geluid

De vloer voldoet standaard aan een brandwering van 60 minuten maar het is ook mogelijk om de vloer zo uit te voeren dat wordt voldaan aan de eis van 90 of 120 minuten [Betonson]<sup>41</sup>.

Als de vloer niet wordt aangestort zullen extra voorzieningen nodig zijn om te voldoen aan de geluidseisen. Bij het toepassen van een computervloer is dit probleem ondervangen omdat de computervloer dan voorziet in de geluidswering.



# DEELRAPPORT REKENMODEL

## Inleiding rekenmodel

Van de verschillende stabiliteitsystemen is bekend in hoeveel richtingen ze stabiliteit voorzien en hoe veel verdiepingen in welk materiaal kunnen worden gebouwd. Om de verschillende stabiliteitsystemen met elkaar te kunnen vergelijken zal aan de hand van een referentie toren naar het materiaalgebruik van de verschillende systemen worden gekeken.

Om dit rekenmodel te op te stellen is het van belang meer te weten te komen over de standaardplattegrond voor hoogbouw. Om vervolgens te kunnen rekenen met het model is het belangrijk de belastingen en factoren in kaart te brengen.



## 18 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.

### 18.1 Plattegrond

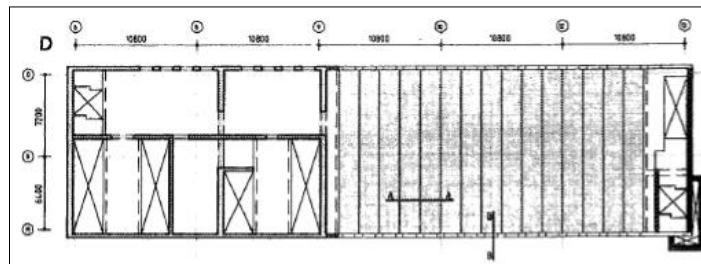
Voor het model is het belangrijk om een plattegrond aan te nemen welke zo goed mogelijk overeenkomt met de gebruikelijke plattegrond voor hoogbouw in Nederland. Om deze plattegrond te vinden is van 12 hoogbouw projecten in zowel utiliteitsbouw als woningbouw naar de eigenschappen gekeken. Aan de hand van deze gegevens is de plattegrond voor het rekenmodel vast gesteld.

#### 18.1.1 Bestaande torens

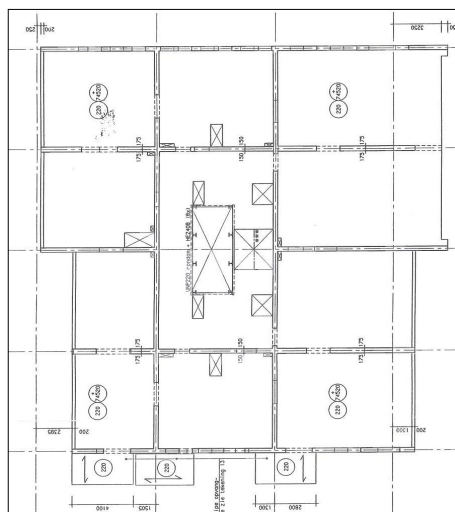
##### 18.1.1.1 Delftse poort

Architect: A. Bonnema;  
Plaats: Rotterdam;  
Hoogte: 151m;  
Aantal verdiepingen: 42;

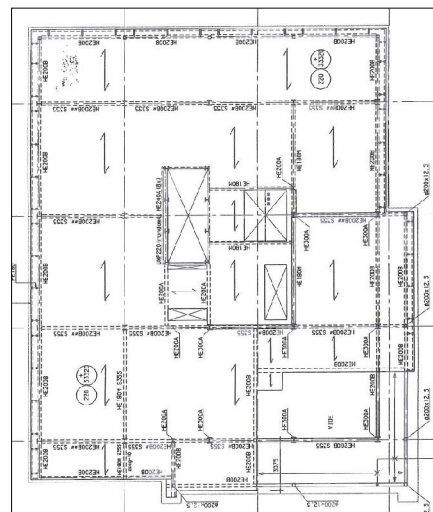
Functie: Kantoor;  
Plattegrond: 15 bij 54m;  
Dragconstructie: Aan de zijde van de laagbouw een kern en aan de andere zijde een dragende wand in de gevel [Boo & Mans, 1990]<sup>32</sup>;



Figuur 65: plattegrond Delftse Poort [Boo & Mans, 1990]<sup>32</sup>



Figuur 66: plattegrond betondeel Montevideo (links) [ABT]



Figuur 67: plattegrond staaldeel Montevideo (rechts) [ABT]

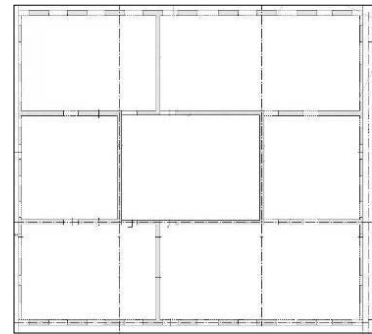
##### 18.1.1.2 Montevideo

Architect: Mecanoo Architecten;  
Plaats: Rotterdam;  
Hoogte: 139,5m;  
Aantal verdiepingen: 43;  
Functie: Kantoor en wonen;  
Plattegrond: Bij benadering voor het beton deel 27,0 bij 27,6m en voor het staal deel 21,6 bij 27,3m;  
Dragconstructie: Het betonnen deel zijn afschuifwanden en het stalen deel is een geschoorde gevelbuis.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Informatie verkregen van Allison Murray van ABT te Velp

### 18.1.1.3 Red Apple

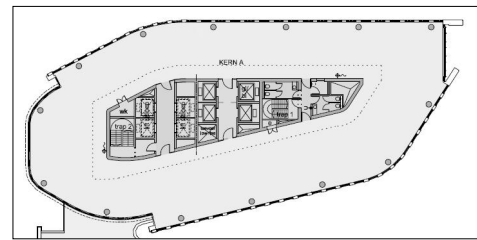
Architect: KCAP;  
Plaats: Rotterdam;  
Hoogte: 127,10m;  
Aantal verdiepingen: 38;  
Functie: Wonen;  
Plattegrond: 21 bij 23m;  
Draagconstructie: Afschuifwanden.<sup>h</sup>



Figuur 68: plattegrond Red Apple [Corsmit Raadgevende Ingenieurs]

### 18.1.1.4 Hoftoren

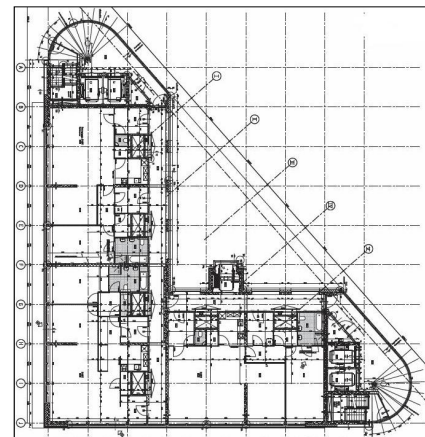
Architect: Kohn Pedersen Fox;  
Plaats: Den Haag;  
Hoogte: 142m;  
Aantal verdiepingen: 30;  
Functie: Kantoor;  
Plattegrond: Bij benadering 23,5 bij 47,5m;  
Draagconstructie: Kern welke extra stijfheid ontleent aan de kern en een stabiliteitswand van de laagbouw.<sup>i</sup>



Figuur 69: plattegrond Hoftoren [Kohn Pedersen Fox]

### 18.1.1.5 Het strijkijzer

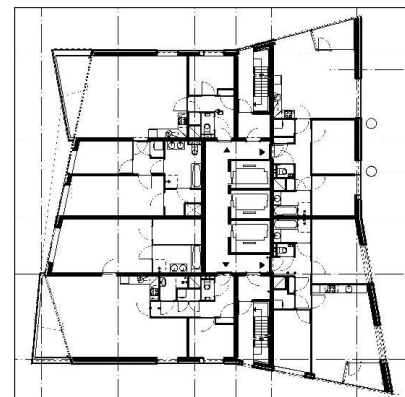
Architect: AAArchitecten;  
Plaats: Den Haag;  
Hoogte: 132m;  
Aantal verdiepingen: 42;  
Functie: Wonen;  
Plattegrond: Twee poten van een driehoek met als vorm met een basis van 36m en een hoogte van 32,6m;  
Draagconstructie: Gevelbuis.<sup>j</sup>



Figuur 70: plattegrond het strijkijzer [AAArchitecten]

### 18.1.1.6 Waterstadtoeren

Architect: HM Architecten;  
Plaats: Rotterdam;  
Hoogte: 108,88m;  
Aantal verdiepingen: 37;  
Functie: Wonen;  
Plattegrond: Bij benadering 25,4 bij 26,6m;  
Draagconstructie: Een combinatie van een buisconstructie en afschuifwanden waarbij de wanden in de gevel de flenzen van de afschuifwanden vormen.<sup>k</sup>



Figuur 71: plattegrond Waterstadtoeren [HM Architecten]

<sup>h</sup> Informatie verkregen van Janko Arts van Corsmit Raadgevende Ingenieurs te Rijswijk

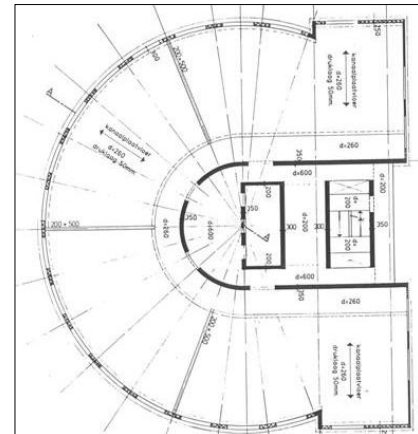
<sup>i</sup> Informatie verkregen van Ron Bakker van Kohn Pedersen Fox te Londen

<sup>j</sup> Informatie verkregen van Jaap Verkade van AAArchitecten te Den Haag

<sup>k</sup> Informatie verkregen van Henk Duijzer van HM Architecten te Amsterdam

### 18.1.1.7 Weenatoren

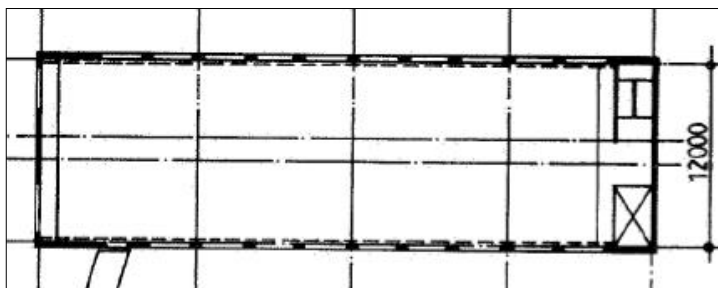
Architect: Klunder Architecten;  
 Plaats: Rotterdam;  
 Hoogte: 106m;  
 Aantal verdiepingen: 33;  
 Functie: Kantoor en wonen;  
 Plattegrond: 22 bij 30m;  
 Draagconstructie: Kern met afschuifwanden.<sup>l</sup>



Figuur 72: plattegrond Weena Toren [Klunder Architecten]

### 18.1.1.8 Interpolis

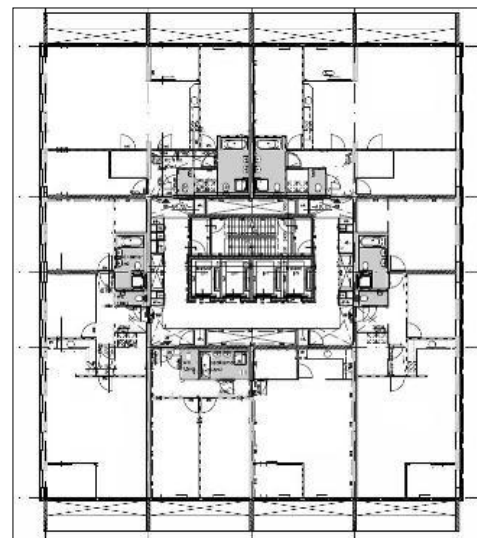
Architect: A. Bonnema;  
 Plaats: Tilburg;  
 Hoogte: 82,5m;  
 Aantal verdiepingen: 22;  
 Functie: Kantoor;  
 Plattegrond: 13 bij 43m;  
 Draagconstructie: gevelbuis met in dwarsrichting een koppeling tussen de kantoorstoren en verkeerstoren [Wemelsfelder, 1996]<sup>33</sup>.



Figuur 73: plattegrond kantoorstoren Interpolis [Wemelsfelder, 1996]<sup>33</sup>

### 18.1.1.9 Westpoint

Architect: Van Aken Architecten;  
 Plaats: Tilburg;  
 Hoogte: 142m;  
 Aantal verdiepingen: 48;  
 Functie: Wonen;  
 Plattegrond: 27,13 bij 29,29m;  
 Draagconstructie: Kern met dragende wanden.<sup>m</sup>



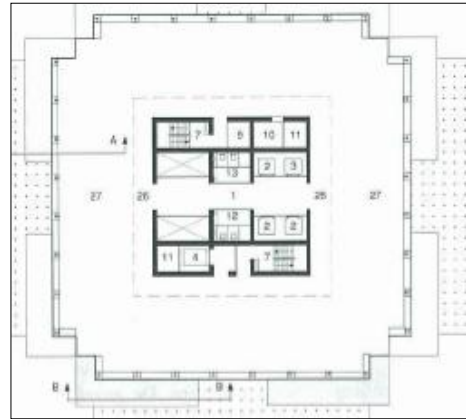
Figuur 74: plattegrond Westpoint [Van Aken Architecten]

<sup>l</sup> Informatie verkregen van Sharon Brinkema van Klunder Architecten

<sup>m</sup> Informatie verkregen van Van Aken Architecten te Eindhoven

### 18.1.1.10 Rembrandttoren

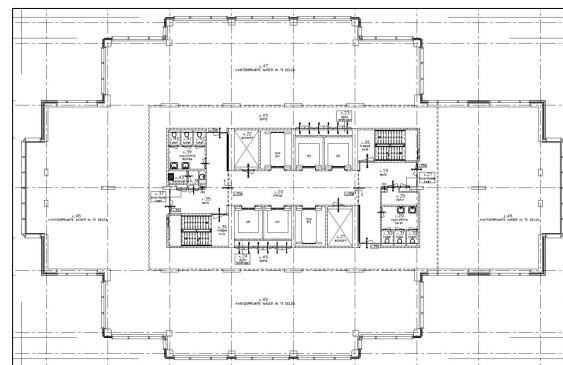
Architect: ZZDP Architecten;  
 Plaats: Amsterdam;  
 Hoogte: 135m;  
 Aantal verdiepingen: 35;  
 Functie: Kantoor;  
 Plattegrond: Op de grond 46,8 bij 46,8m en  
 vanaf de 9<sup>e</sup> verdieping 32,4 bij  
 32,4m;  
 Draagconstructie: Kern.<sup>n</sup>



Figuur 75: plattegrond Rembrandttoren [ZZPD Architecten]

### 18.1.1.11 Mondriaantoren

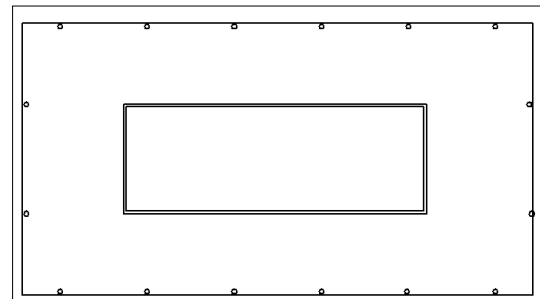
Architect: ZZDP Architecten;  
 Plaats: Amsterdam;  
 Hoogte: 123m;  
 Aantal verdiepingen: 32;  
 Functie: Kantoor;  
 Plattegrond: Bij benadering 28,8 bij  
 43,2m;  
 Draagconstructie: Kern met dragende  
 buitenwanden(buis).<sup>o</sup>



Figuur 76: plattegrond Mondriaantoren [ZZPD Architecten]

### 18.1.1.12 World Trade Center H toren

Architect: Kohn Pedersen Fox;  
 Plaats: Amsterdam;  
 Hoogte: 105m;  
 Aantal verdiepingen: 28;  
 Functie: Kantoor;  
 Plattegrond: 21,8 bij 41,6m;  
 Draagconstructie: Kern.<sup>p</sup>



Figuur 77: Constructieve plattegrond WTC H toren

## 18.1.2 Plattegrond rekenmodel

Aan de hand van de hiervoor bekeken hoogbouwprojecten is te concluderen dat de meeste plattegronden vierkant zijn of met een kleine afwijking een vierkant benaderen.

De kleinste breedte van 13m wordt gevonden bij een rechthoekige gebouwvorm. Voor een ongeveer vierkante gebouwvormen is 21,6m de kleinst gevonden breedte en de maximale breedte is 32,4m.

Gezien de gevonden gegevens is voor het rekenmodel gekozen om uit te gaan van een vierkante plattegrond met als afmeting 28,8 bij 28,8m. Deze afmeting is een afronding van het gemiddelde van de grootste en kleinste breedte op een veelvoud van 3,6m.

<sup>n</sup> Informatie verkregen van Frank Hoekzema van ZZPD Architecten te Amsterdam

<sup>o</sup> Informatie verkregen van Frank Hoekzema van ZZPD Architecten te Amsterdam

<sup>p</sup> Informatie verkregen van Ron Bakker van Kohn Pedersen Fox te Londen

## 19 Belastingen

De belastingen waar mee gerekend zal worden zijn gebaseerd op de Nederlandse norm. Voor sommige factoren welke uit de norm voortkomen worden aanpassingen gedaan. Dit wordt gedaan omdat uit onderzoeken naar voren is gekomen dat de waarde in de norm voor hoogbouw te laag zijn, zoals het geval bij de windbelasting. De belastingen waar van wordt uitgegaan zijn die voor de functie wonen.

### 19.1 Permanente belasting

De permanente belasting is afhankelijk van het eigen gewicht van het gebouw. Dit eigen gewicht is opgebouwd uit het gewicht van de vloeren, liggers, kolommen, niet dragende wanden en een afwerking. Over de vloer in het rekenmodel zal geen specifieke uitspraak worden gedaan en voor de vloer is een belasting van  $5,0 \text{ kN/m}^2$  aangenomen. Daarnaast wordt een belasting voor het eigen gewicht van niet dragende wanden en een belasting voor afwerking en eventuele andere belastingen meegenomen.

Dit resulteert in de volgende permanente belasting:

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

### 19.2 Veranderlijke belasting

De veranderlijke belasting kan uit verschillende factoren bestaan namelijk:

- Belasting door personen en meubilair;
- Belasting door sneeuw;
- Regen en belasting door wind.

Door het gebruik van momentaanfactoren wordt de maximaal aan te nemen belastingcombinatie gevonden.

Voor de belasting door personen en meubilair geldt voor de functie wonen  $1,75 \text{ kN/m}^2$ , de belasting door regen en sneeuw is afhankelijk van het soort dak en of voorzieningen voor wateraccumulatie aanwezig zijn. Voor de toren wordt ervan uitgegaan dat dit het geval is en het dak zal als platdak worden uitgevoerd, dit geeft een belasting van  $1,0 \text{ kN/m}^2$ .

#### 19.2.1 Windbelasting

Voor de windbelasting is uit onderzoek naar voren gekomen dat deze bij hoge gebouwen afwijkt van de waarde die in de norm worden gegeven. Deze afwijking is een onderschatting welke voortkomt uit het onderschatten van zowel de windsnelheden als de windvormfactoren. De onderschatting van de windsnelheid op een hoogte van 200m is 6% voor de gemiddelde windsnelheid en 10% voor de extreme stuwdruk [Woudenberg & Vambersky, 2003]<sup>29</sup>. De onderschatting van de windvormfactoren is het gevolg van het niet meenemen van de slankheid in de NEN6702, deze slankheid is juist voor hoogbouw van grote invloed op hoe de wind om het gebouw stroomt. Met de NEN6702 ontstaat voor een slankheid van  $h/b=5$  een onderschatting van 20% ten opzichte van de concept EN 1991-1-4 wat het vervolg op de Eurocode 1 is [Woudenberg & Vambersky, 2003]<sup>29</sup>.

De methode om voor hoge gebouwen tot een betrouwbare windvormfactoren en windbelasting te komen is een windtunnelonderzoek echter is het niet realistisch om dit voor het afstuderen te gaan uitvoeren. Om toch de onderschatting van de NEN6702 uit te sluiten zal gebruik worden gemaakt van de windvormfactoren uit de NEN-EN 1991-1-4 en de windsnelheden uit het Deaves and Harris ABL model.

### 19.2.1.1 Windvormfactoren

De vormfactoren zoals deze in de NEN6702 worden gevonden zijn de volgende:

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

In de Eurocode worden de volgende vormfactoren gevonden:

- $C_{pe}$  drukzijde is globaal 0,8 of lokaal 1,0;
- $C_{pe}$  zuigingszijde 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.

### 19.2.1.2 Windsnelheid

In de NEN6702 wordt de windsnelheid 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  $[NEN6702, 2001]^{20}$ .

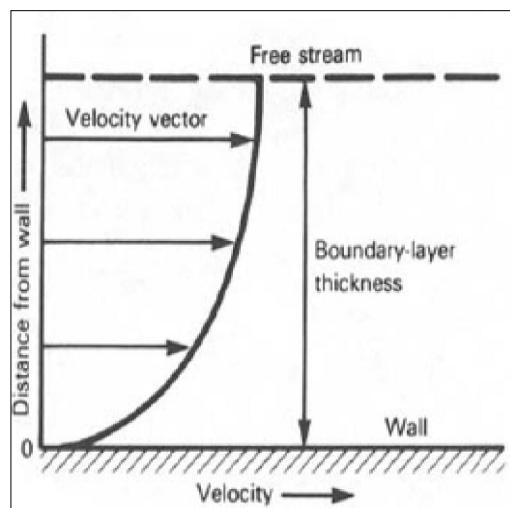
Het atmospheric boundary layer (ABL) model van Deaves and Harris is ook gebaseerd op deze logformule alleen is een parabolische functie toegevoegd. Deze toevoeging zorgt ervoor dat op hogere hoogte een betere benadering van de windsnelheid ontstaat.

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

- $u^*$  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 evenwichtshoogte van het windprofiel is de overgang van het logaritmische toenemende windprofiel naar het constante windprofiel. Voor deze hoogte geldt  $h = u^*/6f$  en is afhankelijk van de Coriolis parameter,  $f$ , en de wrijvingsnelheid,  $u^*$ . De Coriolis parameter is afhankelijk van de rotatie van de aarde en de positie op de aarde ten opzichte van de evenaar. Voor Nederland geldt een parameter van  $1,13 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ .<sup>9</sup>

In Nederland wordt een onderscheid gemaakt in drie verschillende windgebieden, het verschil in deze windgebieden komt terug in de wrijvingsnelheid en de ruwheidlengte. In de tabel op de volgende pagina is aan de hand van deze windgebieden de windsnelheid volgende de NEN en het Deaves and Harris model bepaald. Tevens is het percentage dat de windsnelheid volgens het Deaves and Harris model afwijkt van de NEN bepaald.



Figuur 78: toename windsnelheid van aarde naar evenwichtshoogte  $[Verhoeven, 1982]^{16}$

<sup>9</sup> Gegeven verkregen via Chris Geurts van TNO Bouw

### 19.2.1.3 Windbelasting

De formule om de windbelasting te bepalen is als volgt geformuleerd:

$$P_{rep} = \rho_w \times C_t \times C_{dim} \times \emptyset_1$$

- $\rho_w$  is de stuwdrukwaarde en komt hierbij voort uit  $W \times C_{terrein}$ 
  - $W$  = druk van de ongestoorde wind,  $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$ ;
  - $C_{terrein}$  = is de invloedfactor van het terrein,  $(1+7I(z))$ ;
- $C_t$  zijn de windvormfactoren volgens de Eurocode;
- $C_{dim}$  relateert de windvraag aan de gebouwafmetingen volgens de NEN;
- $\emptyset_1$  brengt de constructieve eigenschappen in rekening volgens de NEN [NEN6702, 2001]<sup>20</sup>.

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 11: overzicht windsnelheid NEN, windsnelheid Deaves & Harris, verschil NEN en Deaves & Harris en stuwdrukwaarde

### 19.2.2 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  $0,8 + 0,7 = 1,5$ .

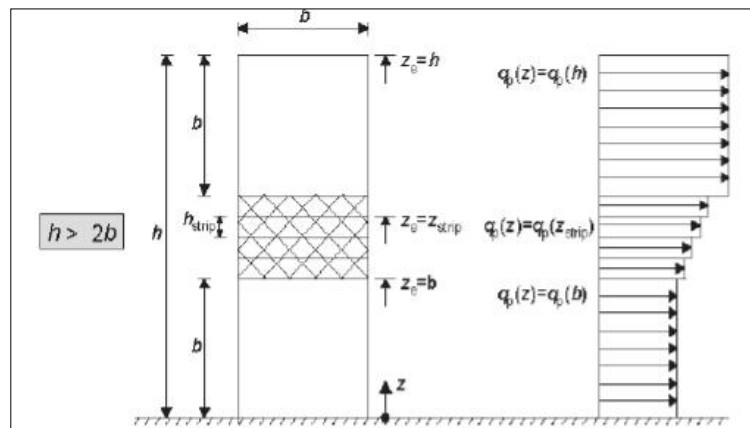
Omdat gebruik wordt gemaakt van een vierkante plattegrond zal de waarde van  $C_{dim}$  in beide richtingen hetzelfde zijn en zodoende zal ook de windbelasting gelijk zijn. De  $\emptyset_1$  wordt voor de hoogte waarbij de stuwdrukwaarde wordt berekenend via de NEN6702<sup>20</sup> bepaald.

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 12: 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]<sup>30</sup>.

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 79: stuwdrukwaarde afhankelijk van de hoogte en breedte [NEN-EN1991-1-4]<sup>30</sup>

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 13: gereduceerde windbelasting voor varianten als gevolg van slankheid



### 19.3 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 belastingen werken maar deze hoeven niet tegelijkertijd te werken. Daarom zijn momentaanfactoren welke aangeven in hoeverre een 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:  $\psi_w = 0,0.$

Uit deze factoren kan voor de belastingcombinaties worden afgeleid 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.

### 19.4 Uitbuiging en trilling

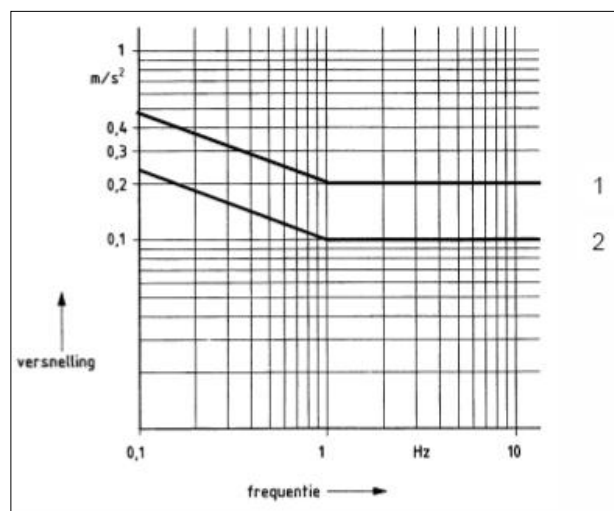
Naast de sterkte zitten aan een gebouw ook eisen aan de uitbuiging en de trilling.

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



# 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., *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., *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;

# LITERATUURLIJST

## 20 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., *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. & Metz T., *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*, Aeneas, 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, *Belifiting 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.

## 21 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>.

