

# Ramen van gebouwkosten in de procesindustrie: een kwestie van open óf gesloten deuren?

R. van der Veer

	Voorwoord	Y4140- 3
1.	Inleiding	Y4140- 4
2.	Theoretisch kader	Y4140- 7
2.1.	Inleiding	Y4140- 7
2.2.	Kostenmanagement	Y4140- 8
2.3.	Kostenramingen in de bouwsector	Y4140-10
2.3.1.	Definitie	Y4140-10
2.3.2.	Functies	Y4140-11
2.3.3.	Methoden	Y4140-11
2.3.4.	Kengetallen	Y4140-13
2.4.	Kostenramingen in de procesindustrie	Y4140-16
2.4.1.	Cost Engineer	Y4140-17
2.4.2.	Nauwkeurigheid	Y4140-17
2.4.3.	Betrouwbaarheid	Y4140-18
2.4.4.	Methodieken	Y4140-19
2.5.	Bouwobjecten in de utiliteitsbouw	Y4140-21
2.5.1.	Bedrijfsfunctie	Y4140-21
2.5.2.	Systeembenadering	Y4140-22
2.5.3.	Decompositie van het systeem	Y4140-24
2.6.	Opzet van het model van Charité	Y4140-26
2.6.1.	Model van Charité	Y4140-26
2.6.2.	Kostenkengetallen	Y4140-28
3.	Parameters	Y4140-29
3.1.	Inleiding	Y4140-29
3.2.	Cost Engineering in de procesindustrie	Y4140-30
3.3.	Parameter binnenomgeving	Y4140-32
3.3.1.	Methode voor inventarisatie	Y4140-32
3.3.2.	Inventarisatie parameters food- en pharmaceutische industrie	Y4140-33

**Y4140-2** Ramen van gebouwkosten in de procesindustrie

3 .3.3.	Classificatie parameters food- en pharmaceutische industrie	Y4140-37
3.4.	Parameters buitenomgeving	Y4140-41
3.4.1.	Inventarisatie paramaters food- en pharmaceutische processen	Y4140-41
3.4.2.	Classificatie parameters food- en pharmaceutische processen	Y4140-42
3.5.	Model van Charité voor productiegebouwen	Y4140-45
3.5.1.	Overzicht parameters	Y4140-45
3.5.2.	Samenhang parameters	Y4140-46
4.	Kostenfunctie	Y4140-49
4.1.	Inleiding	Y4140-49
4.2.	Structuur kostenstructuur	Y4140-50
4.3.	kengetallen	Y4140-52
5.	Toepassing kostenfunctie op DSM-Gist BV	Y4140-55
5.1.	Inleiding	Y4140-55
5.2.	Productiegebouw X	Y4140-56
5.2.1.	Uitgangssituatie	Y4140-55
5.2.2.	Resultaten berekening gebouwkosten	Y4140-56
5.2.3.	Gevoeligheidsanalyse	Y4140-57
5.2.4.	Resultaten gevoeligheidsanalyse	Y4140-58
5.3.	Productiegebouw Y	Y4140-59
5.3.1.	Uitgangssituatie	Y4140-59
5.3.2.	Resultaten berekening gebouwkosten	Y4140-60
5.3.3.	Resultaten gevoeligheidsanalyse	Y4140-60
5.4.	Productiegebouw Z	Y4140-62
5.4.1.	Uitgangssituatie	Y4140-62
5.4.2.	Resultaten berekening gebouwkosten	Y4140-63
5.4.3.	Resultaten gevoeligheidsanalyse	Y4140-64
5.5.	Discussie van de resultaten	Y4140-66
5.5.1.	Resultaten berekening gebouwkosten	Y4140-66
5.5.2.	Resultaten gevoeligheidsanalyses	Y4140-66
6.	Conclusies & aanbevelingen	Y4140-69
6.1.	Conclusies	Y4140-69
6.2.	Aanbevelingen	Y4140-71
	Bijlagen	Y4140-76

**Woord vooraf**

Dit artikel is het resultaat van mijn afstudeeronderzoek naar de parameters en randvoorwaarden ten behoeve van een kostenfunctie, waarmee een betrouwbare raming van de gebouwkosten van een productiegebouw in de programmafase kan worden opgesteld. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Universiteit Twente, faculteit Technologie & Management en DSM-Gist BV. De begeleidingscommissie bestond uit dr. S.H. Al-jibouri en ir. Ph. de Waal (namens de Universiteit Twente) en F.P. Charité en S.G.J. Boeschoten (namens DSM-Gist BV)

Ik hoop dat dit onderzoek een bijdrage zal leveren aan het verkrijgen van inzicht in de parameters en de factoren, die in de programmafase een bepaalde mate van invloed hebben op de gebouwkosten, alsmede de samenhang tussen deze parameters en factoren onderling. Tevens heb ik een poging gewaagd het schemergebied tussen enerzijds het ramen van kostendeskundigen in de bedrijfstak procesindustrie en anderzijds het ramen van kostendeskundigen in de bedrijfstak bouw te betreden en een relatie te vinden tussen deze twee gedachtegoederen.

**Lijst van veel gebruikte begrippen**

3-D configuratie:	parameter, die de grootte van het productiegebouw aangeeft.
Afwerkingsniveau:	parameter, die de mate van afwerking per ruimte in het productiegebouw aangeeft.
Betrouwbaarheid:	graad van vertrouwen, die men aan een gegeven bevestiging hecht.
Bouwbaarheid:	parameter, die de mate van het gemak van bouwen van het productiegebouw aangeeft.
Classificatie:	rangschikking in klassen.
Complexiteit:	parameter, die de dichtheid van de ruimtes in én de vorm van het productiegebouw aangeeft.
Cost engineering:	kostenramings discipline binnen de procesindustrie.
Factor:	kwantiteit, die een indirecte invloed op de kosten én een directe invloed op een parameter heeft.

#### **Y4140-4** Ramen van gebouwkosten in de procesindustrie

Functioneel ramen:	het ramen van de kosten van een willekeurig gewenste functie, zonder daarbij noodzakelijkerwijs het object voor ogen te hebben, die de functie kan vervullen.
Geluidsniveau:	parameter, die het gewenste geluidscheidend vermogen van het productiegebouw aangeeft.
Kostenkengetal:	functionele eenheid, waaraan een prijs is gehangen.
Kostenraming:	schatting van de kosten omtrent de verwachte hoogte van de toekomstige offers, te brengen voor de verwezenlijking van een plan.
Nauwkeurigheid:	bepaalde marge, waarbinnen de begrote kosten moeten overeenkomen met de werkelijke kosten.
Parameter:	kwantiteit, die directe invloed heeft op de kosten.
Productiefaciliteit:	productiegebouw inclusief alle procesgebonden en gebouwgebonden installaties.
Productiegebouw:	productiefaciliteit exclusief de procesgebonden installaties (op het gebied van de werktuigbouwkunde, elektrotechniek en procesautomatisering).
Programmafase:	de eerste fase in het bouwproces van een willekeurig bouwobject.

### **1. Inleiding**

Net als in andere bedrijfstakken is het in de procesindustrie belangrijk om in de beginfase van een project de gebouwkosten van een nieuw productiegebouw zo nauwkeurig en betrouwbaar mogelijk te ramen. In de beginfase kunnen deze kosten namelijk nog beïnvloed worden. De kosten van eventuele wijzigingen verder in het proces worden steeds groter. Tevens is een industrieel gebaat bij een snelle doorlooptijd van het ontwerptraject, om de doorlooptijd van projecten te verkorten om de producten nog effectiever en concurrerend op de markt te brengen.

In de beginfase van een project, ook wel de programmafase, is echter een minieme hoeveelheid informatie aanwezig. De investeringskosten van een productiefaciliteit bestaan uit een aantal elementen, waaronder de kosten van de proces installatie, de automatisering en de bouw van de fabriek. Op dit moment zijn industriëlen in staat om

op basis van een globaal flow diagram een redelijk betrouwbare kostenraming te maken van de kosten op het gebied van de procesinstallatie en automatisering. Nog onvoldoende betrouwbaar is de begroting van de gebouwkosten.

Daar in andere takken van de bouw in de programmafase van een project wel voldoende betrouwbare kostenramingen gemaakt worden met behulp van één eenheidsprijs, rijst de vraag waarom dit niet mogelijk is in de fabrieksbouw. Wellicht is reeds onderzoek gedaan naar dit vraagstuk. Echter, in de literatuur is weinig tot geen informatie hierover terug te vinden. Een eerste in het oog springend feit is dat een fabriek installaties huisvest, die het ontwerp van het gebouw voor een groot deel beïnvloeden. In de woningbouw staan de eisen aan de woning (het gebouw) centraal, in de fabrieksbouw staan de eisen aan het proces centraal. Er spelen dus blijkbaar andere parameters een grote rol in de bouwkosten.

In het licht van bovenstaande problematiek tracht dit onderzoek een helpende hand te bieden. Daarbij is de volgende *doelstelling* (van dit onderzoek) geformuleerd:

Het opstellen van een overzicht met een minimaal aantal parameters en randvoorwaarden voor een kostenramingmethode, waarmee een betrouwbare raming van de gebouwkosten van een productiegebouw in de programmafase opgesteld kan worden, door met behulp van analyses van al bestaande ramingmethoden de relevante parameters en randvoorwaarden, die van toepassing zijn op nieuwe productiegebouwen van farmaceutische en food processen, voor een nieuwe methode te formuleren en te onderbouwen.

Bij bovenstaande doelstelling is de probleemstelling met bijbehorend onderzoeksmodel opgesteld om het onderzoek te structureren. In bijlage 1 is het onderzoeksmodel weergegeven. De *probleemstelling* is als volgt geformuleerd:

Welke parameters en randvoorwaarden spelen een rol bij het opstellen van een betrouwbare methode om de gebouwkosten van een productiegebouw in de programmafase met een minimale nauwkeurigheid van - 10% en + 40% in te schatten?

*Twee elementen uit deze probleemstelling* zijn belangrijk bij de uitvoering van dit onderzoek. Dit laat het onderzoeksmodel in bijlage 1 ook zien. Enerzijds speelt de volgende vraag een rol:

**Y4140-6** Ramen van gebouwkosten in de procesindustrie

- Welke parameters en randvoorwaarden zijn relevant bij het ramen van de gebouwkosten van een productiegebouw in de programmafase met een minimale nauwkeurigheid van - 10% en + 40%?

Anderzijds speelt deze vraag een rol:

- Is het opgestelde overzicht van parameters en randvoorwaarden zodanig, dat een kostenfunctie opgesteld kan worden, waarmee betrouwbaar de gebouwkosten van een productiegebouw geraamd kunnen worden met een minimale nauwkeurigheid van - 10% en + 40%?

De eerste vraag heeft betrekking op het *ontwerpgerichte deel van dit onderzoek*. De *aanpak* is als volgt geweest. De in de drie technische universiteiten (TUD, TUE en UT) aanwezige literatuur op het gebied van bouwkunde is bestudeerd. De informatie omtrent de (opbouw van) bouwkundige kostenramingstechnieken is daarbij verzameld en verwerkt. Dit is ook gedaan voor de informatie omtrent utiliteitsbouwobjecten. Met name de gegevens zijn verzameld over de wijze waarop de bouw of het ontwerp van een utiliteitsbouwobject in kostenperspectief beschouwd kan worden. Deze twee informatie-elementen zijn vervolgens integraal bekeken, waaruit een theoretisch raamwerk is ontworpen, waarmee gestructureerd de benodigde kostenparameters en factoren gevonden worden. Dit model is daarna verder ingevuld met gegevens, die verkregen zijn middels interviews met bouwkundige specialisten.

Om dit model te toetsen op betrouwbaarheid is vervolgens het *case-study deel van het onderzoek* toegepast. Op basis van gegevens van DSM-Gist BV is gepoogd een kostenfunctie op te stellen. Met behulp van het programma in Excel is getracht deze kostenfunctie als bruikbare tool weer te geven. Vervolgens zijn de relevante projectgegevens van drie productiegebouwen, representatief voor de food en farmaceutische industrie, verzameld en ingevoerd in de kostenfunctie. Naar aanleiding van de resultaten zijn conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan. Het onderzoek richt zich in beginsel op een productiegebouw met een willekeurig proces. Vervolgens is gekeken naar de productieprocessen van DSM-Gist BV.

Dit onderzoek is *afgebakend* op een aantal punten:

- De drie processen van DSM-Gist BV, namelijk Anti-infectives, Bakery Ingredients of Food Specialties, zijn onder de noemer food en farmaceutische processen samengenomen, aangezien

deze processen op programmaniveau qua productiefaciliteit op elkaar lijken.

- Wat betreft de kostenraming kan gezegd worden dat slechts gekeken wordt naar de gebouwkosten van de productiefaciliteit. Dit zijn de kosten van het productiegebouw inclusief de gebouwgebonden installaties en exclusief de procesgebonden installaties.
- Er is uitgegaan van het feit dat het productiegebouw in Nederland gebouwd wordt. Verder betreft het gebouw een meerlaags verdiepingsgebouw met een stalen skelet.
- Als laatste punt moet de kostenraming met tenminste een nauwkeurigheid van - 10% en + 40% gemaakt kunnen worden. Qua parameters is niet gekeken naar marktontwikkelingen, zoals een overspannen markt. De tijdsfactor is in zoverre buiten beschouwing gelaten, dat slechts de inflatie is meegenomen.

Ten slotte is qua *indeling van het artikel* de structuur van het onderzoeksmodel aangehouden. In hoofdstuk 2 is het theoretisch kader uiteengezet, waarbinnen de parameters en factoren gezocht dienen te worden. Vervolgens gaat hoofdstuk 3 in op de inventarisatie en bepaling van deze parameters. In hoofdstuk 4 is de bouw van de kostenfunctie beschreven. Daarna volgt in hoofdstuk 5 de toepassing van deze kostenfunctie op de drie representatieve productiegebouwen van DSM-Gist BV. In hoofdstuk 6 zijn tot slot de conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

## **2. Theoretisch kader**

### *2.1. Inleiding*

Het ramen van gebouwkosten valt als discipline onder het bouwkostenmanagement. Bouwkostenmanagement is een specialisatie van bouwprojectmanagement ten aanzien van het beheersaspect geld. Voordat invulling wordt gegeven aan kostenmanagement in het bouwproces, worden daarom eerst in paragraaf 2.2 de principes van kostenmanagement nader uitgelegd.

Paragraaf 2.3 gaat verder met de kostenraming. Achtereenvolgens komen het begrip zelf, de functies die een kostenraming heeft en de verschillende methoden om een kostenraming te maken aan bod. Afsluitend is nader ingegaan op één van de methodieken, relevant voor dit onderzoek. Aangezien het ramen niet alleen in de bouw wordt gedaan, maar ook in de procesindustrie en het feit dat de be-

studeerde objecten van dit onderzoek tot de procesindustrie behoren, is in paragraaf 2.4 de discipline cost engineering beschreven. Dit is de benaming van het ramen van kosten in de procesindustrie. In deze paragraaf is getracht inzicht te geven in de discipline zelf, de twee belangrijke begrippen nauwkeurigheid en betrouwbaarheid en de relatie met het ramen van kosten in de bedrijfstak bouw.

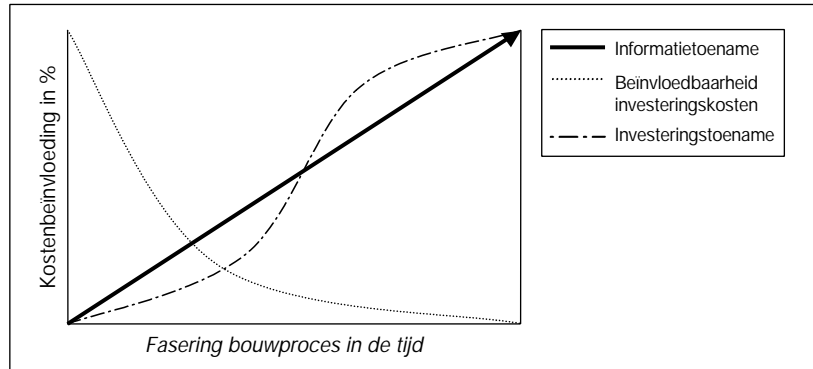
Vervolgens handelt paragraaf 2.5 over objecten in de utiliteitsbouw. Hier is ingegaan op de systeembenadering. Elk object in de utiliteitsbouw is te beschouwen als een systeem met bijbehorende kenmerken. Aan de hand daarvan is getracht duidelijk te maken dat een productiegebouw als object in de utiliteitsbouw verschillend is met de andere objecten zoals woningen en kantoren. Daarnaast wordt de opzet gegeven voor een model dat als input kan dienen voor een geschikte kostenramingmethode van een productiegebouw. Paragraaf 2.6 vat de belangrijke punten uit de vorige paragrafen nog eens samen.

## *2.2. Kostenmanagement*

Kostenmanagement is een specialisatie van bouwprojectmanagement ten aanzien van het beheersaspect geld. Naast dit beheersaspect worden door Groote [1995] nog de vier beheersaspecten kwaliteit, organisatie, informatie en tijd onderscheiden. Kostenmanagement heeft als doel de kostenontwikkeling van een project gedurende de loop van het bouwproces zodanig te begeleiden en te sturen, dat een project gerealiseerd wordt binnen een budget dat vooraf is vastgesteld op basis van onderbouwde prognoses als kostenramingen. De ontwikkeling van de kosten wordt gedurende het bouwproces gestuurd. De kostenramingen worden per fase getoetst op basis van projectgegevens uit de betreffende projectfase. Tijdens elke fase van het bouwproces is kostenbeheersing van groot belang. De belangrijkste beslissingen worden echter in het begin van een project genomen. Op dat moment is de beïnvloedbaarheid van de kosten het grootst. De beschikbare informatie is in het begin van een project echter gering. Dit spanningsveld is weergegeven in figuur 2.1.

De principes van bouwprojectmanagement zijn ook van toepassing op het kostenmanagement. Dit houdt in dat duidelijke afspraken gemaakt moeten worden over de momenten waarop kostenramingen geleverd en beoordeeld worden. Een duidelijke projectfasering is een eerste vereiste. Bij faseren geldt dat in een fase de besluiten uit





Figuur 2.1. Beïnvloedbaarheid van investeringskosten tijdens bouwproces [Dekker, 2001].

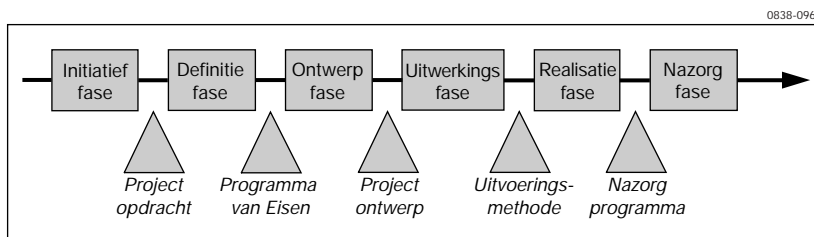
een voorgaande fase worden vertaald naar meer concrete oplossingen of meer concrete vragen. De faseovergangen zijn kunstmatige „go/no-go” momenten, waarvoor vereiste resultaten en benodigde beslissingen gespecificeerd zijn [Dorée, 1995]. Zo is het bouwproces opgedeeld in verschillende fasen. In figuur 2.2 zijn deze fasen weergegeven.

<b>Programma</b>	1. Initiatief 2. Haalbaarheidsstudie 3. Projectdefinitie
<b>Ontwerp</b>	4. Structuurontwerp 5. Voorlopig ontwerp 6. Definitief ontwerp
<b>Uitwerking</b>	7. Bestek 8. Prijsvorming 9. Werkvoorbereiding
<b>Realisatie</b>	10. Uitvoering 11. Oplevering
<b>Beheer</b>	
<b>Sloop</b>	

Figuur 2.2. Fasering van het bouwproces [NNI, 1979].

Ook moeten afspraken gemaakt worden over de inhoud en opzet van de kostenramingen op elk van de beslismomenten. Met name in de vroege projectfasen worden veel aannames gedaan. Het is be-

langrijk deze aannames duidelijk in de beslisdocumenten aan te geven. De beslismomenten zijn vastgelegd in beslisdocumenten. Deze documenten vormen zo het formele eindpunt van de voorgaande fase. Ze zijn ook het beoordelingspunt van het werk dat tot zover is gedaan. Het beslisdocument wordt vergeleken met eerder opgestelde documenten. Daarnaast is het een startpunt voor de volgende fase. Het is in ieder geval een document dat op wijzigingen wordt bijgehouden [Grootte, 1995]. In figuur 2.3 is aangegeven op welke keuzes de beslismomenten gericht zijn. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit model voor het bouwproces onvolledig is. De uitwerkingsfase heeft nog een beslismoment, namelijk de keuze voor de aannemer als „afsluiting” van de prijsvormingfase.



Figuur 2.3. De beslismomenten in het bouwproces [Grootte, 1995].

### 2.3. Kostenramingen in de bouwsector

#### 2.3.1. Definitie

In de vorige paragraaf is al aangegeven dat in elke fase van het bouwproces kostencalculaties worden gemaakt. In het bouwproces kent men volgens De Wildt [1992] een groot aantal benamingen voor een kostencalculatie: elementenraming of -begroting, directiebegroting, aannemersbegroting, voor- en nacalculatie. De begrippen „begroting”, „calculatie” en „raming” worden door elkaar gebruikt. Men kent gewoonlijk aan de begrippen „begroting” en „calculatie” een grotere precisie toe dan aan de term „raming”. „Begroting” en „calculatie” worden dan ook in latere fasen van het bouwproces gehanteerd. Dat neemt niet weg dat het in alle gevallen om een raming gaat. Van belang is dat al deze berekeningen hun nauwkeurigheid hebben. Die nauwkeurigheid moet worden onderkend in de besluitvorming.

In dit onderzoek zal het begrip „kostenraming” worden gehanteerd. Daarbij is de volgende treffende definitie gevonden van Kooiker [1993]: „schatting van de kosten omtrent de verwachte hoogte van de toekomstige offers, te brengen voor de verwezenlijking van een

plan". De offers zijn in het geval van de bouw op te vatten als de benodigde hoeveelheden materiaal en arbeidsuren.

De te onderkennen kostenramingen hebben een verschillende opbouw doordat [Smook, 1995]:

- naarmate het bouwproces vordert meer gedetailleerde gegevens beschikbaar komen;
- de betrokken partijen per fase verschillen;
- de doelstelling per fase een andere is.

### 2.3.2. *Functies*

Kooiker [1993] onderscheidt voor de kostenraming drie functies, te weten:

1. Voorcalculatie: het doel hiervan is dat men wil weten wat de financiële gevolgen zijn van nog te nemen beslissingen c.q. nog uit te voeren activiteiten.
2. Ondersteunend kostenbeheersing: prognoses van de opbrengsten en kosten moeten met elkaar worden vergeleken. Mochten zich kostenoverschrijdingen aandienen, dan dienen de plannen zodanig te worden bijgestuurd dat de te verwachten kosten binnen de begroting (budget) blijven.
3. Ondersteuning nacalculaties: de kostenbegroting wordt als een belangrijk middel ervaren ter verdieping van het analysewerk.

### 2.3.3. *Methoden*

Kooiker [1993] en Smook [1995] onderscheiden drie fundamentele kostenramingmethodieken, te weten in toenemende nauwkeurighedsgraad:

- Kengetallenraming.
- Elementenmethode.
- Aannemersbegroting.

In de programmafase moet de opdrachtgever of bouwkostendeskundige op basis van summier gegevens een kostenraming opstellen, omdat er nog geen definitief ontwerp is. Deze kostenraming geeft de investeringskosten van het gebouw weer. Het Nederlandse Normalisatie Instituut heeft hiervoor een norm opgesteld, de NEN 2631. Vanwege de summier gegevens worden bij deze kostenraming *kengetallen* toegepast. Kengetallen zijn verhoudingsgetallen waarmee relaties tussen verschillende grootheden worden weergegeven [Kooiker, 1993]. Een bouwobject wordt vertaald in functionele eenheden. Aan deze eenheden hangen eenheidsprijzen, ofwel kengetallen. Kengetallen zijn dikwijls ervaringscijfers. Hoewel deze

methodiek hoofdzakelijk in de programmafase van een bouwproject wordt toegepast, vindt de kengetallenraming ook toepassing in de overige fasen. Aangezien deze kostenraming vooral in de vroegere fasen van het bouwproces wordt toegepast, is deze kostenraming voor dit onderzoek relevant. Paragraaf 2.3.4 gaat nader in op kengetallen.

In de tweede methode, de *Elementenmethode*, wordt er direct vanuit de elementen een kostenraming opgesteld. Deze methode staat in Nederland ook wel bekend als de NL/Sfb coderingselementenmethode. Per element worden de kosten bepaald door vermenigvuldiging van de hoeveelheid element met de eenheidsprijs. De hoeveelheden element worden verkregen door het uittrekken van de tekeningen voor zover voorhanden. De elementenmethode wordt met name toegepast in de ontwerpfase van het bouwproces. De methode kan, zoals al vermeld, uitgevoerd worden op basis van elementen (met name in de fase Structuurontwerp en Voorlopig Ontwerp). Daarnaast kan deze ook uitgevoerd worden op basis van elementgroepen (met name in de fase Structuurontwerp) en bouwdelen (met name in de fase Definitief ontwerp). Om verwarring te voorkomen is een uitleg over deze begrippen op z'n plaats.

Elementen zijn gedefinieerd als [Dekker, 2001] gebouwonderdelen, die een zelfstandige functie vervullen binnen of buiten een bouwwerk en zijn onafhankelijk qua vorm, constructiewijze en materiaalkeuze. Elementgroepen is een niet-officiële verdeling, die elementen groepeerd op een hoger niveau naar vakgroep. Bouwdelen zijn ten slotte [Dekker, 2001] de aanwijsbare en meetbare, niet-ruimtelijke delen van bouwwerken, hetzij in werkelijkheid, hetzij in gedachte toestand (ontwerp), zowel tijdelijk als blijvend. In figuur 2.4 is een voorbeeld opgenomen van alle begrippen.

Classificatie	Voorbeeld
Elementgroep	Open gevel
Element	Raamkozijn
Bouwdeel	Ventilatiestrook

*Figuur 2.4. Overzicht begrippen.*

In bijlage 2 is een voorbeeld opgenomen van het gebruik van de Elementenmethode. Tegenwoordig zijn er verschillende computerprogramma's (bijvoorbeeld IBIS-Calc van de firma Brink Groep) op de markt aanwezig om deze elementenmethode eenvoud-

diger uit te voeren. Hierbij wordt gebruik gemaakt van grote kengetallenbestanden die in de loop van de jaren opgebouwd zijn en elk jaar bijgehouden worden.

De *Aannemersbegroting* wordt gebruikt in de uitwerkingsfase van het bouwproces, indien het bestek met bijbehorende tekeningen is gerealiseerd. Deze begroting wordt samengesteld door alle, directe kosten op basis van bestek en tekening gedetailleerd te kwantificeren en per onderdeel een manuurnorm, materiaal/materieel prijs toe te kennen en hierdoor een prijs per bestekshoofdstuk te verkrijgen. Door toevoeging van indirecte kosten wordt dan de totaalprijs verkregen, op basis waarvan de prijsonderhandelingen gevoerd kunnen worden. In deze begroting wordt dit per bestekspost gedaan. Zowel de codering van de NL/Sfb als de bestekscodering (SRW – STABU) kunnen toegepast worden. In bijlage 3 is een voorbeeld van een Aannemersbegroting opgenomen. In de uitwerkingsfase worden er verschillende benamingen voor de begrotingen gehanteerd. Figuur 2.5 vat voor de duidelijkheid alle methoden samen. Hierbij moet opgemerkt worden dat kengetallen ook af en toe gebruikt worden in de Ontwerp- en Uitwerkingsfase.

Fase	Beslismoment	Methode	Met gebruik van	Techniek (voorbeeld)
Programma	Haalbaarheidsstudie	Kengetallenraming	Kengetallen	Hoeveelheid m <sup>2</sup> gebouw × gebouwprijs
	Programma van Eisen	Kengetallenraming	Kengetallen	
Ontwerp	Structuurontwerp Voorlopig ontwerp	Elementenmethode Elementenmethode	Element(groep) Element	Hoeveelheid element × elementprijs
	Definitief ontwerp	Elementenmethode	Bouwdeel	
Uitwerking	Bestek	Aannemersbegroting	Besteksposten	Hoeveelheid middelen × prijs per vakgroep
	Prijsvorming	Inschrijfbegroting	Besteksposten	
	Werkvoorbereiding	Werkbegroting	Besteksposten	

Figuur 2.5. Overzicht gebruik kostenramingsmethoden per fase [Dekker, 2001].

#### 2.3.4. Kengetallen

Smook [1995] verdeelt kengetallen in drie groepen, te weten:

1. programmatische kengetallen;
2. hoeveelheidskengetallen;
3. kostenkengetallen.

In de initiatief- en definitiefase wordt de benodigde vloeroppervlakte van het gebouw vastgesteld zonder dat een ontwerp beschikbaar is. Dit zowel ten behoeve van het instrueren van de ontwerpers (ontwerplimiet) als voor het bepalen van het projectbudget. Hiervoor zijn twee soorten programmatische kengetallen ontwikkeld, te weten [Smook, 1995]:

- kengetallen die oppervlakten genereren, rechtstreeks naar de functie van de ruimten;
- kengetallen die oppervlakten genereren als afgeleide van andere, reeds vastgestelde ruimten en/of aantallen.

Uit programmatische kengetallen kunnen hoeveelheidskengetallen worden afgeleid. De hoeveelheidskengetallen geven de verhouding aan van een vast te stellen hoeveelheid (materie) ten opzichte van een bekend gegeven. Dit kan betreffen:

- aantallen;
- lengten;
- oppervlakten;
- inhouden.

De kostenkengetallen geven een indicatie van de kosten van gedefinieerde onderdelen of groepen van onderdelen van het project. Dat kunnen bedragen zijn of percentages van andere kosten. De hoeveelheids- en kostenkengetallen vinden toepassing in alle fasen van het bouwproces. De manier van toepassen verschilt wel per fase. In de initiatief en/of definitiefase wordt er mee gerekend (geraamd), in de volgende fasen dienen ze als controlemiddel (toetsinstrument): controle van begrotingen van derden, vergelijking met soortgelijke projecten, e.d. Deze twee groepen van kengetallen worden hoofdzakelijk door middel van het analyseren van gerealiseerde projecten verkregen. Hierbij dienen steeds de specifieke eigenschappen c.q. omstandigheden van die projecten te worden vermeld, zodat deze bij het toepassen van de kengetallen in ogenschouw kunnen worden genomen.

De drie soorten kengetallen worden vaak in combinatie met elkaar gebruikt. In figuur 2.6 is aangegeven in welke fase van het bouwproces de verschillende kengetallen toepassing vinden.

Soort kengetal	Projectfasering					
	pro-gramma	ontwerp	uitwer-king	realisatie	beheer	sloop
programmatisch	XX					
hoeveelheden	XX	XX	X	X	X	n.b.
kosten	XX	XX	X	X	X	n.b.

X = t.b.v. toetsing XX = t.b.v. raming en toetsing n.b. = niet bekend

*Figuur 2.6. Toepassing kengetallen per projectfase [Berenschot Osborne, 1999].*

Het werken met kengetallen geeft snel, globaal en met een zekere marge inzicht in de benodigde investering. Toch is voorzichtigheid geboden, inzicht in de opbouw en toepasbaarheid van een kengetal is noodzakelijk. Aandachtspunten bij het gebruik zijn onder meer [Smook, 1991]:

- Prijspeil: met welke reële indexering kan of moet het kengetal actueel worden gemaakt? Correctie ten gevolge van inflatie, rente en loon- en prijsstijgingen.
- Volledigheid: bevat het kengetal alle elementen van de investeringskosten die ook van toepassing zijn op het te ramen project?
- Specifieke onderdelen: specifieke kostendragers. Een organisatie wil bijvoorbeeld vanwege haar imago een meer dan gemiddeld representatieve huisvesting.
- Kwantitatieve factoren: is het project waarvan een kengetal is afgeleid, enigszins vergelijkbaar voor wat betreft bijvoorbeeld omvang van het gebouw en het geveleppervlak?

Aangezien de investeringskosten worden uitgedrukt in een getal c.q. bedrag per eenheid gerealiseerd project, onderscheidt Smook met betrekking tot de investeringskosten ook nog soorten (kosten)kengetallen. Genoemd worden de (kosten)kengetallen op basis van:

- Kubieke meters gebouwinhoud: hierbij worden de investeringskosten gedeeld door het volume van het gebouw;
- Vierkante meters vloeroppervlak: hierbij worden de investeringskosten gedeeld door het totale vloeroppervlak van alle bouwlagen;
- Omsloten ruimte: hierbij wordt rekening gehouden met zowel vloer- en als geveleppervlak en hun onderlinge relatie;
- Specifieke elementen: hierbij gaat men uit van de kosten per medewerker, per bed, e.d.

Kranendonk vermeldt daarbij nog de volgende kengetallen [Brugeman, 1997]:

1. Kengetallen verbonden aan de gebouwvorm.
2. Kengetallen per onderdeel van het gebouw.
3. Toeslagpercentages voor bepaalde voorzieningen.
4. Werkpleknormen en bruto/netto oppervlakte verhouding.

In deze kengetallen zijn de kwaliteit en ook de kosten van de benodigde installaties meestal reeds begrepen. In een later ontwerpstadium worden de installaties afzonderlijk begroot. Het terrein rond het bouwobject vormt een apart onderwerp.

Het opstellen van kengetallen kan fundamenteel op twee manieren gebeuren:

1. statistisch: kengetallen worden bepaald op basis van nacalculatie van uitgevoerde projecten. Voor het verkrijgen van betrouwbare kengetallen is het nodig een groot aantal vergelijkbare projecten te analyseren. De betrouwbaarheid van de kengetallen wordt groter, indien meer projecten geanalyseerd worden;
2. technisch uitgewerkt: kengetallen worden bepaald door een onderdeel tot op besteksniveau uit te werken. Hiervoor is wel ervaring, maar niet noodzakelijk een goed geanalyseerd projectenbestand nodig. De methode is sterk arbeidsintensief en wordt daarom in de initiatief- en definitiefase bij voorkeur niet toegepast.

#### *2.4. Kostenramingen in de procesindustrie*

In de procesindustrie is het maken van kostenramingen in de conceptuele fase van het bouwproces ondergebracht bij de cost engineering. De American Association of Cost Engineers [1998] heeft cost engineering als volgt gedefinieerd: „dat gebied in de ontwerp discipline waar kennis en ervaring in ontwerpen zijn gebruikt in de toepassing van wetenschappelijke principes en technieken op problemen van het ramen van kosten. . .”.

Volgens Bootsma [1985] is het maken van een zodanig uitgewerkt technisch ontwerp voor een moderne productiegebouw van enige omvang dat daarvan een enigermate nauwkeurige begroting kan worden gemaakt, een omvangrijke en vrij kostbare aangelegenheid. Vandaar dat voortdurend is gezocht naar een betere en minder arbeid vereisende methoden die toch een voldoende betrouwbaar beeld kunnen verschaffen van de financieel-economische merites van



een plan. De meeste moderne begrotingstechnieken zijn derhalve bedacht door deskundigen uit de procesindustrie.

Wanneer de literatuur erop nageslagen wordt, kan opgemerkt worden dat er een vrij grote scheiding heerst tussen ramen in de bedrijfstak bouw en ramen in de procesindustrie. Dit geldt niet alleen voor de gehanteerde methodieken, maar ook voor de deskundigen die deze methodieken hanteren.

#### *2.4.1. Cost engineer*

In de procesindustrie worden de deskundigen op het gebied van bouwkosten cost engineer genoemd. DACE hanteert de volgende definitie: „Een cost engineer is een persoon met kennis en ervaring in ontwerpactiviteiten, die in de ontwerp- en planningfase in staat is tot:

- het determineren van de economische en kostenfactoren bij de constructie van productiegebouwen en installaties;
- het adviseren ten aanzien van ontwerp en planning, met het oogmerk een gezond evenwicht te bereiken tussen kapitaal- en exploitatielasten in relatie tot de geplande kwaliteit en;
- het toepassen van wetenschappelijke en economische principes en technieken op begrotings-, kostencontrole- en opbrengstproblemen.”

Uit de definitie komt naar voren dat de cost engineer meer is dan een calculator of een bouwkostendeskundige in de bouw. De cost engineer ontwerpt tevens mee. Daarnaast wordt zij ook meer gestuurd door de informatie die de andere disciplines, zoals de procesontwerpers, werktuigbouwkundigen en elektrotechnici, aanleveren. Het ontwerp van de productiegebouw is namelijk sterk afhankelijk van hetgeen binnenin geplaatst moet worden.

#### *2.4.2. Nauwkeurigheid*

Nauwkeurigheid speelt een grote rol bij het ramen in de procesindustrie. De nauwkeurigheidsmarge is de graad of het percentage van de totale geraamde kosten dat maximaal af mag wijken van de werkelijke kosten<sup>1</sup>. Er zijn daarvoor diverse klassen opgesteld met bijbehorende nauwkeurigheid. Op weg van de initiatieffase naar de realisatiefase worden de volgende begrotingsklassen onderscheiden

1 In de literatuur en de praktijk is men er nog steeds niet uit wat de werkelijke kosten nu zijn. De één baseert de werkelijke kosten op de nacalculatorische kosten, de ander interpreteert de werkelijke kosten als de marktwaarde van het product. Ik laat het in het midden.

door de Dutch Association of Cost Engineers [1989] elk met hun eigen functie en eigen nauwkeurigheid.

Klasse	Begrotingstype	Voornaamste functie	Marge
A	Controlebegroting	Kostenbeheersing tijdens de bouw	± 5%
B	Budgetbegroting	Definitieve goedkeuring budget	± 10%
C	Studiebegroting	Haalbaarheidsstudie	± 25%
D	Orde van grootte-begroting	Projectdefinitie	± 40%

*Figuur 2.7. Klassen met bijbehorende begrotingstypen [DACE, 1989].*

Uit figuur 2.7 komt naar voren dat de moeilijkheidsgraad per fase toeneemt, terwijl de bewerkelijkheid en de nauwkeurigheid van de uitkomst afnemen. Tevens valt op dat de marge van een projectdefinitie ( $\pm 40\%$ ) in de procesindustrie relatief veel groter is dan die van een projectdefinitie in de bouw (ongeveer  $\pm 25\%$ ) [Dekker, 2001].

#### *2.4.3. Betrouwbaarheid*

Naast het begrip nauwkeurigheid is het begrip betrouwbaarheid. Deze begrippen worden vaak door elkaar gebruikt. Toch is het belangrijk om het verschil en de definitie helder te krijgen. Een methode kan bijvoorbeeld betrouwbaar zijn, maar een onnauwkeurige uitkomst geven. Andersom geldt dat ook.

Bootsma [1985] houdt er de volgende definitie op na: betrouwbaarheid houdt, naast de bereikbare nauwkeurigheid als gevolg van de bij het ramen toegepaste werkwijze, bovendien de standvastigheid in van het eindbedrag, voor de totale looptijd van het project.

In de statistiek wordt betrouwbaarheid aangegeven als graad van vertrouwen die men aan een gegeven bevestiging mag hechten en die door middel van de waarschijnlijkheid kan worden uitgedrukt. Dit doet men door betrouwbaarheidsintervallen op te stellen.

Voor dit onderzoek is het van belang dat welke kostenraming of kostenramingsmodel ook toegepast wordt, deze betrouwbaar zal moeten zijn. Dit betekent dat, indien de kostenramingmethode of het kostenramingsmodel eenmaal ontwikkeld is, toegepast moet

worden op een groot aantal verschillende, nagenoeg identieke, projecten. Als de totale geraamde gebouwkosten van al deze projecten binnen de gestelde nauwkeurigheidsmarges vallen kan geconcludeerd worden dat de kostenramingmethode of het kostenramingsmodel voldoende betrouwbaar is.

#### 2.4.4. Methodieken

De bekende kostenramingsmethodieken kunnen ruwweg in drie groepen worden verdeeld, te weten:

1. de factormethodieken [DACE, 1989];
2. de kwantitatieve methoden [DACE, 1989];
3. parametrisch ramen [Vrijland, 1999].

Er dient allereerst opgemerkt worden dat alle methodieken de totale kosten van een productiegebouw ramen exclusief de gebouwkosten. Ten tweede worden er in de praktijk vele verschillende uiteenlopende technieken gebruikt door allerlei bedrijven. De in deze paragraaf beschreven technieken zijn de meest gebruikte.

De eerste groep betreft de *factorbegrotingen*. Onder een factor wordt verstaan een vermenigvuldigingsfactor of een exponent, door middel waarvan een bepaald gegeven wordt aangepast aan de actuele omstandigheden of waarmee de totale kosten van een project (exclusief de gebouwkosten) of van een gedeelte daarvan worden bepaald. Er wordt slechts over een beperkt aantal gegevens beschikt, waaruit door toepassing van één of meerdere factoren het te investeren bedrag kan worden geraamd. De factoren zijn afgeleid uit historische gegevens (nacalculaties), door middel van projectanalyse. Afhankelijk van de projectfase, of liever gezegd de nauwkeurigheidsklasse, zijn er verschillende methoden. In nauwkeurigheidsklasse D vallen de volgende „orde van grootte”-methoden:

- cost/capacity regel William's 0,6 regel;
- de functional unit-methoden van Zevnik en Buchanan en Stallworthy;

Minder gebruikte methoden in de D-klasse zijn [Kamperveen, 2002]:

- N-PID methode;
- TIC-methode.

In bijlage 4 worden alle methoden beschreven. Deze worden gebruikt gedurende de projectdefinitie om een idee te kunnen verkrijgen van de orde van grootte van de voorgenomen investering.

Zodra de projectfase is bereikt waarbij de benodigde apparatuur is gespecificeerd, kunnen een aantal factorramingsmethoden worden

toegepast die in principe alle uitgaan van de kosten van de apparatuur, de gemiddelde apparatuurkosten per stuk of de kosten per apparaat. Tot deze methoden met een nauwkeurigheidsklasse C behoren de volgende methoden:

- methode van Lang;
- methode van Hand;
- methode van Miller.

Ook deze methoden zijn geheel in bijlage 4 beschreven.

Ten slotte is de laatste factormethodiek de kwantitatieve factormethode. Deze methode is nauwkeuriger dan al de voorgaande factormethoden. Bij deze methode moet onderscheid worden gemaakt tussen twee toepassingen, namelijk die voor bepaling van de kosten van apparaten en die voor het bepalen van factoren waarmede, uitgaande van de waarde, het gewicht of de capaciteit van de apparaten, de overige kosten worden bepaald.

De tweede groep, de *kwantitatieve methoden*, is nauwkeuriger dan de groep factortechnieken. Het is de meest elementaire vorm, waarbij elk onderdeel wordt vastgelegd met verregaande gedetailleerde tekeningen en/of beschrijvingen, aan de hand waarvan het benodigde materiaal en de benodigde bewerkingsuren kunnen worden bepaald. Deze worden eerst bepaald aan de hand van SI-eenheden, zoals kg, m, uur, enz. Op het moment dat de begroting in geld uitgedrukt moet worden worden de SI-eenheden vertaald in prijzen met behulp van eenheidstarieven. Deze methode komt in grote mate overeen met de elementenmethode, die in de bouw wordt gehanteerd. De elementen vormen nu de verschillende apparaten en bijbehorende zaken. In de nauwkeurigheidsklasse B valt de eenheidsprijzenbegroting. De begroting op uittrek heeft een nauwkeurigheid van A.

De kwantitatieve methoden worden toegepast in de latere projectfasen, aangezien deze methoden een grote mate van ontwerpactiviteiten vereisen. Echter, er is een derde methodiek, gebaseerd op de kwantitatieve methodieken, dat in de eerste projectfasen toegepast wordt. Deze methodiek is *parametrisch ramen* [Vrijland, 1999]. Het staat voor het analyseren van het verband tussen de kosten van een apparaat of een complete productiegebouwen één of meer kostenbepalende parameters (zog. cost drivers). De parameters, die gehanteerd worden, bepalen de kosten door middel van het aangeven van de kwaliteit (prijzen op basis van historische kostendata) en de hoeveelheden. Wanneer gekeken wordt naar de bouwsector, zou gezegd kunnen worden dat parametrisch ramen sterke overeenkomsten

toont met een kengetallenraming. Het gebouw wordt opgebouwd uit een bepaald aantal en soort eenheden (vergelijkbaar met „parameters”), waaraan kengetallen (prijzen) worden opgehangen.

### *2.5. Bouwobjecten in de utiliteitsbouw*

De sector utiliteitsbouw betreft alle bouwobjecten uitgezonderd woningen. In de utiliteitsbouw wordt een onderscheid gemaakt tussen de private en publieke sector. De private sector omvat de productie van bedrijfsgebouwen voor de agrarische sector, de nijverheid en de sector handel, verkeer en diensten. De publieke utiliteitsbouw is het totaal van de productie in opdracht van de kwartaire of budgetsector. Een productiegebouw behoort zowel tot de categorie bedrijfsgebouwen voor de industrie en bouwnijverheid in de private sector als tot de categorie andere bijzondere gebouwen in de publieke sector, afhankelijk van de opdrachtgever.

In dit onderzoek zijn bouwobjecten in de utiliteitsbouw geanalyseerd als gebruiksvoorwerp. De wijze van analyseren vindt plaats op basis van verschillende visies, welke de (bedrijfs-) functies van verschillende objecten beschouwen. In de eerste paragraaf is aandacht aan het functionele aspect geschonken. Hierna gaat paragraaf 2.5.2 in op de systeembenadering. Deze benadering geeft meer inzicht in zowel de compositiestructuur als de omgeving van het object, welke uitgebreider in respectievelijk paragraaf 2.5.3 en 2.5.4 aan bod komen. Ten slotte zet de laatste paragraaf de opzet van een geschikt model uiteen.

#### *2.5.1. Bedrijfsfunctie*

Bouwobjecten zijn objecten die voor specifieke behoeften ontwikkeld worden. Het object is een materiële entiteit welke beschreven kan worden in termen van locatie, vorm en samenstelling van materialen. Daarnaast wordt het object onderscheiden door de functie van het object. De belangrijkste functie van het object, die veelal direct verwijst naar het belangrijkste gebruiksproces wordt door Berger [1998] de bedrijfsfunctie van een object genoemd.

Bedrijfsfuncties zijn in de utiliteitsbouw eenduidig gedefinieerd. Voorbeelden hiervan zijn een kantoor en een hotel. Een kantoor vervult de functie van „werken” en een hotel vervult de functie van „slapen”. Om deze bedrijfsfunctie te kunnen voldoen wordt doelbewust een ruimte met specifieke eigenschappen gecreëerd. Het proces stelt dus eisen aan het te bouwen object. De functie „slapen” stelt aan eisen bijvoorbeeld dat een hotelkamer een bed, gordijnen, badkamer en een tapijt op de vloer moet bevatten. In de utiliteitsbouw zijn deze eisen zo helder en eenduidig omschreven of algemeen be-

kend dat ze voor elk te realiseren object (in dezelfde categorie) gelden. Kostenkengetallen kunnen eenvoudig aan een standaard pakket van eisen of aan de gehele functie gehangen worden, zodat een kengetallenraming in de programmafase van een project veelvuldig, betrouwbaar en met een grotere nauwkeurigheid wordt toegepast.

Dit noemt men in de regel ook wel functioneel ramen. Functioneel ramen is door Peters [1997] gedefinieerd als het ramen van de kosten van een willekeurige gewenste functie, zonder daarbij noodzakelijkerwijs een product voor ogen te hebben die de functie kan vervullen en/of de vraag te hebben gesteld of deze functie daadwerkelijk vervuld kan worden. Paragraaf 2.5.3 gaat hier nader op in.

In de procesindustrie wordt de bedrijfsfunctie dikwijls omschreven als de output van het betreffende proces. Op dit punt verschilt de bedrijfsfunctie van een productiegebouw (in de procesindustrie) met andere objecten in de utiliteitsbouw. Bij elk hotel is de bedrijfsfunctie „slapen”. Elk hotel heeft dus een standaard pakket aan eisen. Aangezien de output van het proces bij elke productiegebouw verschillend gedefinieerd is, valt de bedrijfsfunctie van een productiegebouw als object niet eenduidig te definiëren. Indien de bedrijfsfunctie niet eenduidig valt te definiëren, is het opstellen van een standaard pakket van eisen niet mogelijk. Hier komt bij dat een productiegebouw in de procesindustrie niet centraal staat, dat wil zeggen het proces an sich is de bedrijfsfunctie. De functie van een productiegebouw heeft een engere relatie met de bedrijfsfunctie dan bij andere objecten in de utiliteitsbouw het geval is.

### *2.5.2. Systeembenadering*

Een bouwobject is vaak complex. Om in deze complexiteit structuur aan te brengen, wordt gebruik gemaakt van de systeemtheorie. Een systeem wordt gedefinieerd als een verzameling entiteiten met de verzameling relaties die onderling tussen de entiteiten bestaan [Kramer & De Smit, 1991]. De entiteiten zijn elementen, die ieder bepaalde eigenschappen hebben. Tussen de elementen bestaan relaties. De opsomming van deze relaties is de structuur van het systeem [Kramer & De Smit, 1991]. Een bouwobject voldoet aan deze definities en kan derhalve als systeem opgevat worden.

Voor een beter inzicht in de complexiteit van een systeem, wordt een onderscheid gemaakt in subsystemen en aspectsystemen. Een subsysteem is een deelverzameling van de elementen in een systeem, waarbij alle oorspronkelijke relaties tussen deze elementen onveranderd behouden blijven. Een aspectstelsysteem is een deelverzameling

van relaties in het systeem, waarbij alle elementen onveranderd behouden blijven [Kramer & De Smit, 1991]. Een voorbeeld:

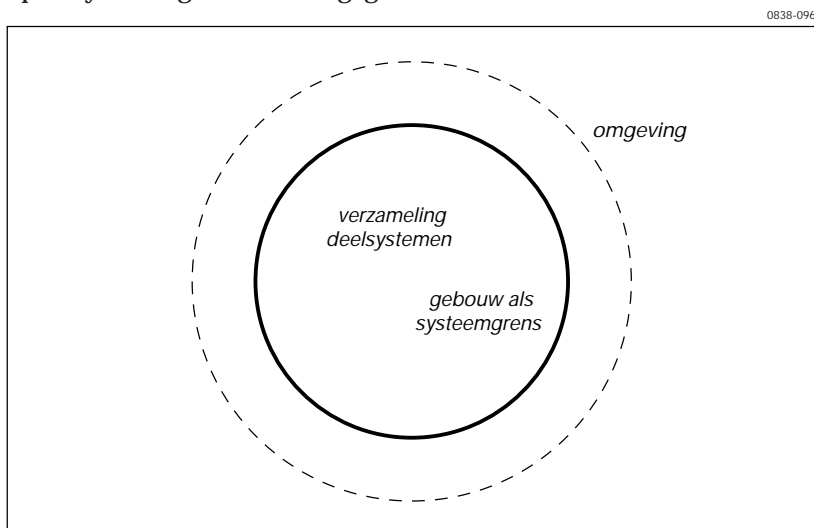
- Subsystemen productiefaciliteit: kantoor, opslagruimte;
- Aspectssystemen productiefaciliteit: staalwerk, grondwerk.

Een systeem is een verzameling van deelsystemen. Tezamen vormen deze deelsystemen een systeemhiërarchie. Door een systeemhiërarchie wordt ordening en een plattegrond van het systeem verkregen. Een plattegrond geeft inzicht in de complexiteit en onderlinge relaties van een systeem. Daarnaast bepalen de eigenschappen van de entiteiten afzonderlijk en in combinatie met elkaar (door de zogenoemde relaties) de eigenschappen van het systeem als geheel. Door het analyseren van de invloeden van de eigenschappen van de deelsystemen op het systeem als geheel, worden de eigenschappen van het systeem als geheel duidelijk.

Om een systeem te definiëren is het nodig om systeemgrenzen te bepalen. Systeemgrenzen zijn de grenzen tussen het systeem en hetgeen dat niet tot het systeem behoort, de omgeving. Wanneer het systeem niet in wisselwerking is of in wisselwerking wordt gedacht met zijn omgeving, wordt gesproken over een gesloten systeem. Wanneer dit wel het geval is, spreekt men over een open systeem. Er is sprake van wisselwerking als er relaties bestaan tussen systeem en omgeving, waardoor ten minste één entiteit uit het systeem de toestand van een entiteit uit de omgeving beïnvloedt en/of andersom. Eerder is gesteld dat een bouwobject voldoet aan de definitie systeem. Het moge duidelijk zijn dat het systeem bouwobject in wisselwerking is met zijn omgeving. Het gebouw neemt namelijk een bepaalde plaats in haar omgeving in, de zogenoemde locatie van het object.

Voor het opstellen van een goede kostenramingstructuur in de programmafase van een productiegebouw is het enerzijds noodzakelijk vast te leggen welke deelsystemen er zijn. Daartoe dient decompositie. Decompositie wordt gedefinieerd als [Kramer & De Smit, 1991]: „het ontleden van een object in zijn samenstellende delen”. Aan de hand van de gekozen decompositie wordt geanalyseerd welke deelsystemen er zijn en welke invloed ze hebben op de eigenschappen van het systeem als geheel. Voor het gemak is in dit onderzoek het geheel der deelsystemen de binnenomgeving van het systeem productiegebouw genoemd. Anderzijds is het noodzakelijk na te gaan wat de relevante omgeving van het model is. De relevante omgeving van het systeem is als volgt gedefinieerd [Kramer & De Smit, 1991]: „die verzameling entiteiten buiten het systeem waarvan de toestand beïnvloedt wordt door het beschouwde systeem respec-

tielukkig die de toestand van het beschouwde systeem beïnvloedt”. Dit wordt in de volgende paragraaf uiteengezet. In figuur 2.8 is het open systeem grafisch weergegeven.



Figuur 2.8. Het open systeem „bouwproject”.

### 2.5.3. Decompositie van het systeem

Productiegebouwen kunnen als utiliteitsbouwobjecten op een aantal mogelijke manieren gedecomponeerd worden. De belangrijkste soorten decompositie zijn in figuur 2.9 weergegeven.

Structuur	Opbouw	Voorbeeld
Functiestructuur	Functiegerichte opbouw	- fabriek = fermentatie functie + DSP functie + kantoor functie + . . . - fabriek = scheiden + beschermen + . . .
Productstructuur	Fysieke opbouw	fabriek = gebouw + uitrusting + terrein + . . .
Productiestructuur	Volgordelijke opbouw	fabriek = ruwbouw + afbouw + inrichting + . . .
Disciplinestructuur	Disciplinegerichte opbouw	fabriek = bouwkunde + mechanisch + eletrotechnisch + . . .
Plaatsstructuur	Plaatsgerichte opbouw	fabriek = begane grond + 1 <sup>e</sup> verdieping + . . .

Figuur 2.9. Mogelijke decompositiestructuren [Grootte, 1995].



Deze vijf indelingen kunnen in principe ook als basis dienen voor de kostenraming [De Grootte, 1995]. De keuze voor een systeemstructuur wordt bepaald door de toepassing van een structuur. De in dit onderzoek te kiezen structuur zal toegepast moeten worden in de conceptuele fase van de productiefaciliteitsbouw. In de volgende paragraaf wordt aangegeven welke gevolgen dit heeft voor de systeemstructuur.

In één van de eerdere paragrafen is een typering gegeven van de projectfasen in het bouwproces. Er is kort de relatie tussen de projectfase het het type kostenraming aangegeven. In deze paragraaf wordt de typering van de projectfasen gecombineerd met de kenmerken van de vijf decompositiestructuren.

Kenmerkend voor de *functiestructuur* is dat meerdere functies vervuld kunnen worden door één en hetzelfde onderdeel van een object (en omgekeerd). Een buitenwand kan bijvoorbeeld zowel een dragende als een scheidende functie hebben. Een productiegebouw heeft naast een fermentatiefunctie ook een DSP-functie. Met name in de initiatief- en definitiefase wordt er sterk geredeneerd vanuit de functies en functievervullers. In deze projectfase wordt er nog op een laag detailniveau over (de kosten van) het project nagedacht.

De *productstructuur* is gebaseerd op de fysieke onderdelen van een project. Dit kan op meerdere niveaus bekeken worden. Op een laag detailniveau kan dit een vloer zijn, op een hoger detailniveau wapening en beton. Deze onderdelen komen slechts op één plaats in de hiërarchie voor. Met name in de ontwerpfase wordt er sterk geredeneerd vanuit de fysieke onderdelen van een project. Dit wordt al op een hoger detailniveau gedaan.

De derde indeling, de *productiestructuur*, volgt de uitvoering van projecten en is gebaseerd op de verschillende werksoorten. Ook deze onderdelen komen maar op één plaats in de hiërarchie voor. In de besteksfase wordt een bestek met uit te voeren werkzaamheden opgesteld. In deze fase worden op een hoog detailniveau de benodigde werksoorten c.q. besteksposten opgesteld.

Voor de vierde indeling, de *disciplinestructuur*, geldt hetzelfde als voor de productiestructuur. Een gebouw wordt gerealiseerd met behulp van meerdere disciplines. Zij worden één voor één in de besteksbegroting opgevoerd.

De laatste indeling *plaatsstructuur* komt overeen met de tweede indeling productstructuur. Het enige verschil tussen is dat plaatsstructuur elementengroepen in beschouwing neemt en de productstructuur elementen tot op een hoog detailniveau kan onderscheiden.

Per projectfase is eigenlijk een ander soort systeemstructuur te onderscheiden. Dit is in figuur 2.10 samengevat weergegeven.

Classificatie structuren	Projectfase	Decompositieniveau
Functie	Programma	Object
Plaats	SO, VO	Elementen(groepen)
Product	DO	Bouwdelen
Productie, Discipline	Bestek	Besteksposten

*Figuur 2.10. Overzicht systeemstructuren in relatie tot projectfasen.*

Uit bovenstaande komt naar voren dat in de programmafase een raming van de gebouwkosten primair als een functiestructuur wordt ingevuld. Op functioneel niveau moet gekeken worden welke entiteiten, ofwel parameters, de gebouwkosten beïnvloeden.

### *2.6. Opzet van het model van Charité*

In de voorgaande paragrafen is op verschillende plaatsen aangegeven dat voor dit onderzoek het relevant is gebruik te maken van een parametermodel, kengetallen en een systeembenadering van het productiegebouw. In de volgende paragrafen is een relatie gelegd tussen deze begrippen. Allereerst is een model opgesteld, op basis waarvan parametrisch geraamd kan worden. Daarna is gekeken naar concrete invulling van de parameters. Het gebruik van kengetallen speelt daarin een grote rol.

#### *2.6.1. Model van Charité*

In paragraaf 2.5.3 is naar voren gekomen dat een productiegebouw opgevat mag worden als een systeem met bepaalde eigenschappen, dat in wisselwerking is met haar omgeving. Ook is uiteengezet dat het systeem is opgebouwd uit een aantal deelsystemen, die op functioneel niveau beschouwd mogen worden in de programmafase.

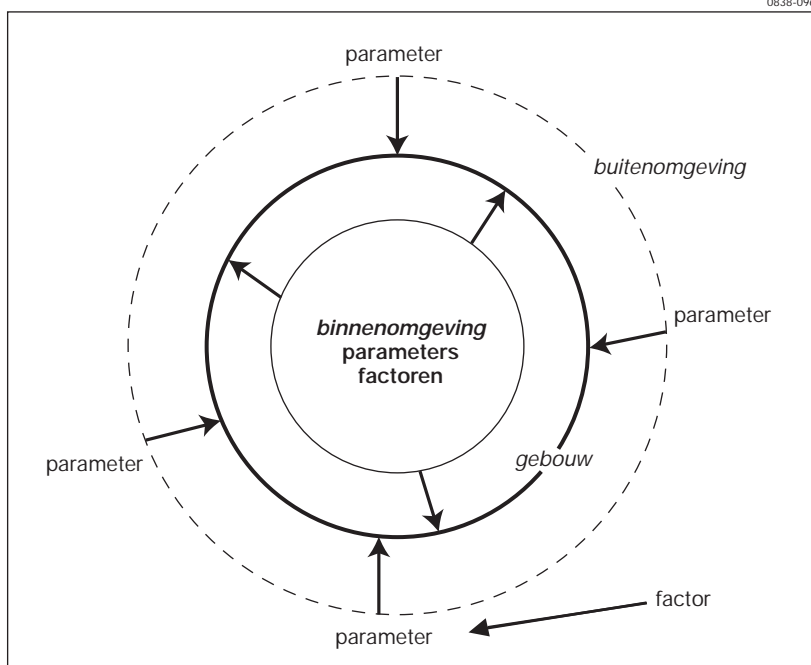
Om de gebouwkosten van een productiegebouw in de programmafase (met een nauwkeurigheidsklasse van 40%) is het van belang om te kijken welke eigenschappen van de productiegebouw de kos-

ten beïnvloeden. In paragraaf 2.5.2 is al aangehaald dat een productiegebouw een materiële entiteit is welke beschreven kan worden in termen van locatie, vorm en samenstelling van materialen. De laatste eigenschap laat zich beter vertalen als kwaliteit. Deze eigenschappen hebben dus invloed in een bepaalde mate invloed op de kosten. Echter hier is nog niet mee bepaald dat dit ook de parameters zijn. Sterker nog, dit is een aanwijzing, die aangeeft dat in drie richtingen de parameters gevonden zullen worden.

Een parameter is een constante kwantiteit, wanneer één bepaalde case wordt beschouwd; echter zij varieert, indien verschillende cases worden beschouwd. Tevens heeft een parameter direct invloed op de kosten [Vrijland, 1999]. Daarnaast is ook een constante kwantiteit, die indirecte invloed heeft op de kosten. Deze wordt een factor genoemd. In dit geval zijn de factoren van invloed op de parameters.

Wat betreft de eigenschap locatie, bestaat deze uit de bouwplaats-afhankelijke parameters en factoren, welke de uniciteit van een project ten opzichte van andere projecten beïnvloeden. Deze parameters en factoren vormen in de systeembenadering van het productiegebouw de relevante omgeving. De eigenschappen vorm en kwaliteit worden ook bepaald door de relevante omgeving. Daarnaast worden deze eigenschappen bepaald door met name de invloeden vanuit de binnenomgeving, voortkomend uit de gekozen decompositiestructuur van het productiegebouw als systeem. In dit onderzoek is de relevante omgeving de buitenomgeving genoemd, om duidelijk het verschil aan te geven met de binnenomgeving. Grafisch is dit als een model, als in figuur 2.11, ontwikkeld. Dit model is genoemd naar Charité, aangezien hij de eerste fundamenten voor dit model heeft gelegd.

Dit model van Charité dient dus als basis voor de zoektocht naar de parameters en factoren, die in de programmafase betrouwbaar de gebouwkosten ramen. Aangezien deze parameters en factoren niet eenduidig zijn vastgelegd in de literatuur, dient een inventarisatie gemaakt te worden van alle parameters, die een rol spelen ofwel invloed uitoefenen (in figuur 2.11 zijn dit de pijlen). De mate van invloed (in figuur 2.11 de dikte van de pijl) dient daarna bekeken worden. Ten slotte is de samenhang tussen alle verschillende parameters van belang. In hoofdstuk 3 komt bovenstaande aan bod.



Figuur 2.11. Model van Charité.

### 2.6.2. Kostenketgetallen

Het model van Charité vormt dus als 't ware de kapstok voor een geschikte en betrouwbare kostenramingmethode in de programmafase van een productiegebouw. De uiteindelijke kostenramingmethode bestaat uit een kostenfunctie, waarin de parameters en factoren opgenomen zijn. Deze parameters en factoren zijn dus kwantificeerbaar. Om parameters en factoren kwantificeerbaar te maken voor de kostenfunctie, worden er statistische kostenketgetallen aan gehangen. Voor het verkrijgen van goede statistische kostenketgetallen is het nodig een groot aantal vergelijkbare projecten te analyseren aan de hand van nacalculatorische gegevens.

Bij de toepassing van deze kostenketgetallen is voorzichtigheid geboden, zoals reeds vermeld in paragraaf 2.3.4. De projecten moeten vergelijkbaar zijn. De kostenketgetallen van deze vergelijkbare projecten moeten ook geactualiseerd worden. Ten slotte moet het ketgetal alle elementen van de investeringskosten, die ook van toepassing zijn op het te ramen project, bevatten. In dit onderzoek vallen de bouwkosten onder de investeringskosten.

De gebouwkosten vormen een onderdeel van de totale investeringskosten van het project. De NEN 2631 [NNI, 1979] bouwt deze investeringskosten op aan de hand van vier posten, te weten:

- grondkosten;
- bouwkosten;
- inrichtingskosten;
- bijkomende kosten.

De bouwkosten bestaan uit [NNI, 1979]:

- bouwkundige werken;
- installaties (werktuigbouwkundige, elektrische installaties);
- vaste inrichtingen.

Een kostenramingmethode voortkomende uit dit onderzoek doet dus uitspraak over het geheel van bovenstaande bouwkosten. Voor het gemak wordt in dit onderzoek de term gebouwkosten gehanteerd.

Voor de duidelijkheid worden alle procesgebonden installaties op het gebied van werktuigbouwkunde, elektrotechniek en proces automatisering met bijbehorende voedings- en utilitysystemen, kosten voor bouwrijp maken, kosten voor herinrichting, kosten voor verkrijgen van sloop-, bouw- en rooivergunningen en alle ontwerpkosten, escalatietoeslag, onvoorzien, en effect marktontwikkelingen dus buiten beschouwing gelaten.

### **3. Parameters**

#### *3.1. Inleiding*

Het model van Charité, ontwikkeld in het vorige hoofdstuk, dient als fundament naar de zoektocht naar de parameters en factoren, die in de programmafase betrouwbaar de gebouwkosten inschatten. Dit hoofdstuk geeft inzicht in deze parameters en factoren, welke met name door gesprekken met deskundigen zijn verkregen. *Voor het gemak wordt tot aan paragraaf 3.5 geen onderscheid gemaakt tussen parameters en factoren, aangezien dit onderscheid tot aan hoofdstuk 4 niet van belang is. Er wordt tot dat punt slechts gesproken over parameters.*

Paragraaf 3.2 geeft inzicht in het kostenramingsproces, die cost engineers hanteren in de procesindustrie. Dit dient als achtergrond. In paragraaf 3.3 volgt de inventarisatie van de relevante parameters en factoren, die voortkomen uit de zogenoemde „binnenomgeving”

van de productiefaciliteit. Dit is gedaan op basis van gesprekken met deskundigen. In deze paragraaf wordt ook gekeken naar de kwantificatie van de parameters. Vervolgens komt in de volgende paragraaf op dezelfde manier de zogenoemde „buitenomgeving” aan bod. Ten slotte behandelt paragraaf 3.5 integraal alle parameters in het licht van het model van Charité. Alle parameters staan namelijk niet op zichzelf, maar hebben in zekere mate invloed op elkaar.

### 3.2. Cost engineering in de procesindustrie

In de procesindustrie wordt bij de totstandkoming van nieuwe productiegebouwen niet de fasering toegepast, die door het NNI (figuur 2.1, hoofdstuk 2) is opgesteld voor het bouwproces. In de procesindustrie hanteert men de fasering, die wordt gehanteerd in de installatietechniek [Charité, 2002]. In figuur 3.1 is deze fasering weergegeven. Opgemerkt dient te worden dat de benaming van de fasen en kostenramingen veelal in het Engels gegeven wordt. In het vervolg van dit rapport zal, afgezien van figuur 3.1, alle benamingen in het Nederlands gegeven worden.

Project fase		Vergelijkbaar in de bouw met	Naam kostenraming	Type kostenraming	Nauwkeurigheid kostenraming
R/D					
Feasibility		Haalbaarheidsstudie	Investment Indication	D-estimate	- 10%/+ 40%
Pre-basic		Structuur ontwerp	Definition Estimate	C-estimate	- 10%/+ 25%
Basic		Definitief ontwerp	Budget Approval Estimate	B-estimate	- 5%/+ 10%
EPCC	Engineering Procurement Construction Commisioning	Bestek Aanbesteding Realisatie testafse apparatuur	Control budget	Control estimate	
In use				A-estimate	as-built cost

*Figuur 3.1. Fasen in het proces met bijbehorende nauwkeurigheid.*

De kostenraming van een nieuw productiegebouw in de vroege ontwerpfasen gaat volgens een bepaald proces. Elke fase in het proces, weergegeven in figuur 3.1, bepaalt het type kostenraming. Dit is een raming van de totale gebouwkosten van een nieuwe productiege-

bouw met een bepaalde nauwkeurigheid. Dit figuur komt dus in grote mate overeen met figuur 2.7.

In principe is alleen de B-kostenraming nauwkeurig genoeg om een investeringsaanvraag van een productiegebouw bij de directie van de industrieel aan te vragen. Voor het opstellen van een B-kostenraming moet namelijk de volledige ontwerpfase uitgevoerd worden. Het opstellen van deze kostenraming is dan een zaak van hoeveelheden uittrekken en vermenigvuldigen met een eenheidsprijs. Dit wordt in de bedrijfstak bouw ook wel als de Elementenmethode aangeduid. Echter, van de B-kostenraming wordt steeds meer van afgeweken wegens meerdere redenen, zoals tijdsdruk en het verkorten van de doorlooptijd van projecten om producten effectief en concurrerend op de markt te kunnen brengen. De focus van het kostenramingsproces richt zich nu vaak op de D- en C-kostenraming. Met name in deze fasen is nog nauwelijks voldoende en betrouwbare informatie aanwezig. Dit is het punt waar de cost engineering in beeld komt. De kennis van en ervaring in het ontwerpen wordt integraal meegenomen bij het ramen van de kosten.

Voor dit onderzoek is de D-kostenraming relevant, aangezien de haalbaarheidsfase overeenkomt met de programmafase. Een D-kostenraming van een nieuwe productiefaciliteit omvat grof gezegd de raming van de grond-, gebouw- en procesinstallatiekosten. De grondkosten spelen een rol, indien een productiegebouw wordt gebouwd op grond dat niet in eigendom is van een industrieel. De procesinstallatiekosten zijn de kosten van de apparatuur en machines om het desbetreffende proces te dienen. Om een kostenraming van een bepaald type te kunnen maken is een minimale hoeveelheid informatie nodig per vakgebied. Alle vakgebieden (zie figuur 3.2) leveren hiervoor hun bijdrage.

Afkorting	Naam discipline	Vakgebied
A&C	Architectural & Civil	Bouwkunde
EL	Electrical	Elektrotechniek
ME	Mechanical	Werktuigbouwkunde
PC	Process Control	Informatietechnologie
PD	Process Design	Chemische Technologie
R/D	Research & Development	Chemische Technologie

*Figuur 3.2. Overzicht vakgebieden opererend in procesindustrie.*

De afdeling A&C maakt de kostenraming van het bouwkundige gedeelte van de complete productiefaciliteit, d.i. het productiegebouw.

De bouwkundige discipline A&C is hierbij erg afhankelijk van informatie van de andere disciplines, aangezien het ontwerp van het proces met bijbehorende installaties prioriteit nummer één is. Bij een D-kostenraming gaat het hier om de volgende informatie [Kamperveen en Charité, 2002]:

- Apparaten-opstellingstekening;
- Zonering met betrekking tot ruimtes in productiegebouw;
- Globale automatiseringsfilosofie;
- Inventarisatie van beschikbare utilities;
- Inventarisatie van SHE-aspecten.

Vroeger ontwierp de bouwkundige als laatste het gebouw „om het proces heen” en raamde als laatste de gebouwkosten erbij. Tegenwoordig wordt de bouwkundige meer betrokken bij het ontwerpen door de andere disciplines, met name wanneer de ME begint met de opstellingstekeningen. Wanneer de discipline A&C gereed is met het ontwerp en de kostenraming, kan de betreffende fase in het bouwproces afgesloten worden.

### *3.3. Parameters binnenomgeving*

In paragraaf 2.6.1 is reeds uiteengezet het productiegebouw een zogenoemde binnenomgeving en buitenomgeving heeft, waarin zich parameters bevinden, die van invloed zijn op de gebouwkosten. Deze paragraaf gaat in op de eerste omgeving, de binnenomgeving.

Tevens is aangehaald dat de parameters gevonden zullen worden in de richting van de drie eigenschappen van een gebouw, locatie, kwaliteit en vorm. Deze drie richtingen zullen afzonderlijk van elkaar geïnventariseerd en geanalyseerd worden voor de food- en farmaceutische industrie (paragraaf 3.3.2 en 3.3.3). De methode die hierbij gehanteerd wordt, is de functieboom-methode. Deze is eerst in de komende paragraaf uiteengezet

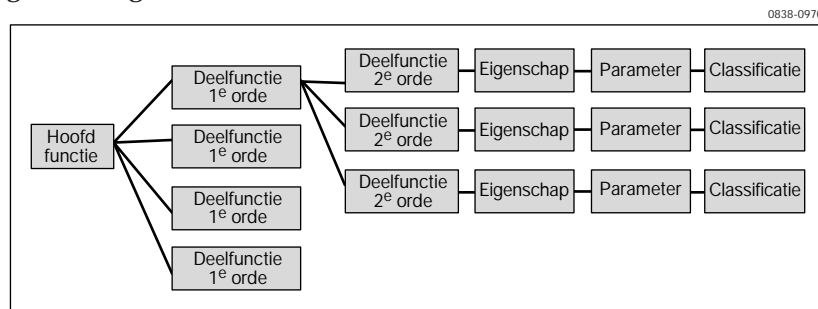
#### *3.3.1. Methode voor inventarisatie*

In de programmafase wordt een raming van de gebouwkosten primair als een functiestructuur ingevuld. Op functioneel niveau moet gekeken worden welke entiteiten, ofwel parameters, de gebouwkosten beïnvloeden. Bij het achterhalen van functies kan een functieboom opgesteld worden [Peters, 1997]. Hierbij worden de functies van het object in kolommen gerangschikt, waarbij uiterst links de hoofdfunctie staat en daarnaast de afgeleide functies staan op een aantal niveaus. Uiterst rechts staat de entiteit, die verantwoordelijk is voor de functies van het derde niveau. In horizontale richting is er



logische samenhang. De rechter functies geven antwoord op de vraag: „Hoe wordt deze functie vervuld?“, terwijl naar links gaand de vraag beantwoord wordt: „Waartoe dient deze functie?“.

Het aantal niveaus van deelfuncties hangt af van de betreffende fase, waarin de kostenraming gemaakt wordt. Daarbij is de tot dat punt beschikbare informatie maatgevend. Als de deelfuncties op het „laagste“ niveau bekend zijn, is het mogelijk te kijken op welke eigenschappen van het productiegebouw de deelfuncties invloed hebben. Als dit bekend is, is het mogelijk de parameters op te stellen. De parameters vormen de link tussen de te vervullen deelfunctie en de eigenschappen. De parameter is een veranderlijke grootte die, vanuit de deelfunctie bekeken, het meest van invloed is op de eigenschap. Om de deelfunctie kwantificeerbaar te maken zijn de parameters uitgedrukt in een classificatie. Het bovenstaande is samengevat in figuur 3.3.



Figuur 3.3. Structuur functieboom met eigenschappen, parameters en classificatie.

### 3.3.2. Inventarisatie parameters food- en pharmaceutische processen

De inventarisatie van de de parameters in de food- en pharmaceutische processen geschiedt dus volgens de functieboom. In bijlage 5 is de functieboom in z'n geheel uitgewerkt voor de food- en pharmaceutische processen.

Wanneer gekeken wordt naar de hoofdfunctie van de productiefaciliteit, is in hoofdstuk 3 al naar voren gekomen dat het proces het belangrijkste bestaansrecht en/of doel van een productiegebouw is. Het soort en type proces is dus een belangrijk gegeven in de totstandkoming van een productiefaciliteit. Op D-niveau is bekend dat een productiegebouw een bepaalde functie moet verrichten. Deze functie is geformuleerd aan de hand van de output van een proces.

In de farmaceutische en food industrie is deze output bijvoorbeeld gedefinieerd als X kg van product Y met een bepaalde zuiverheid. Deze zuiverheid geeft de verontreiniging in het product aan. De *hoofdfunctie* van de productiegebouw als bouwobject is gedefinieerd als het huisvesten van het food/pharmaceutisch proces.

Dit hoofdproces bestaat uit drie belangrijk te onderscheiden deelprocessen van *eerste orde niveau*. Dit zijn:

1. Fermentatieproces: fermentatie is gisting. Gisting staat omschreven [De Grote Oosthoek, 1976] als de door enzymen te weeg gebrachte omzettingen, met name anaërobe omzettingen waarbij organische stof gedeeltelijk wordt afgebroken onder vrijkomen van energie;
2. „Down stream processing” (DSP): verwerken van de gescheiden vaste stof tot uiteindelijke eindproduct of halffabrikaat [Kamperveen, 2002];
3. Additionele werkzaamheden, die het fermentatieproces en het DSP dienen [Kamperveen, 2002].

De additionele werkzaamheden zijn nog te onderscheiden op een *tweede orde niveau* [Kamperveen, 2002]:

- laboratoriumwerkzaamheden: het uitvoeren van testen in het kader van juiste procesvoering;
- kantoorwerkzaamheden: werkzaamheden in het kader van het bedienen en het beheren van het proces;
- opslag van eindproducten;
- opslag van grondstoffen/ halffabrikaten;
- inpakwerkzaamheden: het inpakken van de eindproducten;
- wassen- en omkleden door werknemers: in sommige gevallen is het noodzakelijk dat werknemers zich voor het uitvoeren van het proces moeten wassen en omkleden.

De deelfuncties van de eerste en tweede orde kunnen ook opgesplitst worden tot een derde orde. Deze overgang betreft echter niet een ontleding op procesgebied. Het betreft een ontleding puur op bouwkundig niveau.

Het huisvesten van een industrieel proces en/of activiteit in bouwkundig opzicht wordt door middel van de volgende vier deelfuncties vervuld (*derde orde niveau*) [Vlug, 2002]:

1. Bieden van draagkracht voor de betreffende proces en/of activiteit;

2. Beschermen van het product tegen mogelijk vervuiling vanuit omgeving (contaminatie):
  - a. Zorgen voor het juiste afwerkingsniveau;
  - b. Zorgen voor een optimaal klimaat;
3. Borgen van aspecten op het gebied van Safety, Health and Environment (SHE);
4. Ruimte bieden aan het uitvoeren van het proces en/of activiteit.

De deelfunctie beschermen van het product tegen contaminatie vanuit de omgeving is opgesplitst in twee deelfuncties van de vierde orde, aangezien dit twee belangrijk te onderscheiden deelfuncties zijn.

Het derde en vierde orde niveau zijn hier de laagste niveaus in de programmafase, aangezien de informatie in de programmafase niet verder reikt. In paragraaf 3.2 is reeds opgesomd, dat bij de D-kostenraming (in de haalbaarheidsfase) slechts de apparaten-opstellingstekening, de zonering, de globale automatiseringsfilosofie, de inventarisatie van SHE-aspecten en de inventarisatie van de beschikbare utilities bekend zijn.

Vervolgens zijn deze deelfuncties toebedeeld aan de eigenschappen van een productiegebouw. De deelfunctie *bieden van draagkracht voor het proces en/of activiteit* heeft invloed op de eigenschap kwaliteit. In dit geval vereist het fermentatie proces of DSP een bepaalde draagkracht, die de kwaliteit van het gebouw teweeg moet brengen. De bijbehorende *parameter* is het *gewicht van de apparatuur*, die benodigd is om het fermentatieproces of DSP uit te voeren. Het gewicht van de apparatuur bepaalt de grootte van de draagkracht die de samenstelling van de materialen moet bieden. Een indeling naar gewicht vormt de classificatie. Wat betreft de additionele werkzaamheden mag aangenomen worden dat zij zich qua draagkracht conformeren naar het gewicht van de procesapparatuur. Deze aanname wordt gedaan, omdat de additionele werkzaamheden plaatsvinden in dezelfde ruimtelijke eenheid (namelijk het productiegebouw) als het hoofdproces.

De tweede deelfunctie beschermen van het proces en/of activiteit tegen invloeden van buitenaf bestaat uit het *zorgen voor het juiste afwerkingsniveau* en *zorgen voor een optimaal klimaat*. Beide deelfuncties hebben ook invloed op de eigenschap kwaliteit. Het fermentatieproces en het DSP hebben in bepaalde mate bescherming tegen vervuiling nodig. Vervuiling van het proces zorgt ervoor dat niet de

juiste kwaliteit en zuiverheid van de eindproducten worden afgeleverd. De vervuiling moet dus geminimaliseerd worden door voor een juiste kwaliteit te kiezen. De parameter behorende bij de deelfunctie zorgen voor de juiste afwerking vormt het afwerkingsniveau. Wat betreft het zorgen voor een optimaal klimaat vormt de HVAC („heating, ventilation, airconditioning”) de parameter. Deze parameter met bijbehorende classificatie geldt ook voor alle additionele werkzaamheden. Wat betreft de additionele werkzaamheden geldt ook dat het afwerkingsniveau en de HVAC zorgen voor bescherming tegen invloeden van buitenaf.

Ook de deelfunctie *borgen van aspecten op het gebied van Safety, Health and Environment* is van invloed op de eigenschap kwaliteit. Op het niveau van de programmafase spelen de *parameters brandveiligheid* en *geluidsniveau* als enige SHE-aspecten een steekhoudende rol. Indien de juiste kwaliteit gekozen wordt, kan aan de eisen van brandveiligheid en geluidsoverlast voldaan worden. De aard van het fermentatieproces, DSP en de additionele werkzaamheden zelf bepalen het niveau (classificatie) van de parameters brandveiligheid en geluidsniveau.

De laatste deelfunctie *ruimte bieden aan het proces en/of activiteit* heeft invloed op de *eigenschap vorm*. Voor het uitvoeren van de twee processen van fermentatie en DSP is volumineuze apparatuur benodigd, die een bepaalde ruimte innemen. De procesapparatuur wordt vaak weergegeven als een grootte, de parameter 3-D configuratie. Afhankelijk van deze parameter kan het aantal benodigde meters gebouwtrek, het aantal vierkante meters bruto vloeroppervlakte<sup>1</sup> of het aantal kubieke meters bruto gebouwinhoud<sup>2</sup> bepaald worden. De parameters voor de additionele werkzaamheden zijn bepaald aan de hand van het aantal vierkante meters bruto vloeroppervlakte.

Naast de parameter 3D-configuratie speelt de parameter complexiteit een rol bij de deelfunctie ruimte bieden aan het proces en/of activiteit. Deze parameter heeft enerzijds betrekking op de vorm van

1 Onder bruto vloeroppervlakte verstaat men hier de vermenigvuldiging van de lengte van de vloer van buitenkant tot buitenkant met de breedte van de vloer van buitenkant muur tot buitenkant muur [Charité, 2002].

2 Onder bruto gebouwinhoud verstaat men hier de vermenigvuldiging van de bruto vloeroppervlakte met de hoogte van het gebouw van onderkant voetplaat tot bovenkant dakplaat [Charité, 2002].

het productiegebouw in z'n geheel, anderzijds betrekking op de dichtheid van de afzonderlijke ruimtes in het productiegebouw zelf.

Volgens Douglas et al. [1999] zorgt een grote dichtheid van ruimtes in een gebouw voor hogere gebouwkosten, aangezien schaalvoordelen door differentiatie niet gelden. Daarnaast heeft, volgens Douglas et al. [1999], het gebouw met de kleinste omtrek de laagste gebouwkosten. Wat betreft de kleinste omtrek geeft de rechthoekige vorm (vierkant), afgezien van de cirkelvorm, het beste antwoord. In principe heeft de cilinder- en bolvormig gebouw de kleinste omtrek. Echter, de gebouwkosten vallen hoger uit dan de gebouwkosten van een rechthoekig gebouw, daar een cirkelvormig gebouw moeilijk door de bouwpartij is uit te zetten. Tevens is de realisatie van gekromde oppervlakten met betrekking tot timmer- en staalwerk, relatief duur. Ten slotte veroorzaken cirkelvormige gebouwen zelden een efficiënt gebruik van de ruimte binnenin het gebouw.

De classificatie, behorende bij de parameter complexiteit, is de mate van complexiteit. De complexiteit neemt toe, indien het ontwerp van het productiegebouw een grotere dichtheid qua ruimtes kent én de vorm van het productiegebouw in z'n geheel afwijkt van een optimale kubusvorm. Naarmate de complexiteit van een productiegebouw toeneemt, vallen de gebouwkosten dus hoger uit.

*3.3.3. Classificatie parameters food- en pharmaceutische processen*  
De geïnventariseerde parameters in de vorige paragraaf hebben zoals vermeld een bijbehorende classificatie. Dit is om de parameters te kunnen kwantificeren. Er is gekozen voor een *driedelige classificatie*, aangezien de kosten op een hoog abstractieniveau bekeken wordt. Tevens is een „midden”-waarde met twee uitersten vrij gangbaar in de praktijk.

Hieronder volgt het overzicht van de parameters, die onder de eigenschap kwaliteit vallen en van toepassing zijn in de pharmaceutische en food industrie:

1. gewicht procesapparatuur;
2. afwerkingsniveau;
3. HVAC;
4. brandveiligheid;
5. geluidsniveau.

Wat betreft de parameter *gewicht procesapparatuur* is de driedelige classificatie gebaseerd op de algemene indeling van gewichten, die

door de Dutch Association of Cost Engineers [DACE, 2000] wordt gehanteerd. Deze is:

- 20 kN/m<sup>2</sup>: de procesapparatuur draagt een kracht ter grootte van 20 kN per vierkante meter over op de gebouwconstructie;
- 30 kN/m<sup>2</sup>: de procesapparatuur draagt een kracht ter grootte van 30 kN per vierkante meter over op de gebouwconstructie;
- 50 kN/m<sup>2</sup>: de procesapparatuur draagt een kracht ter grootte van 50 kN per vierkante meter over op de gebouwconstructie.

Het *afwerkingsniveau* kan op verschillende manieren geclassificeerd worden. Echter, de ISPE/FDA Baseline Pharmaceutical Engineering Guides for New Facilities [Volume 1, 1st edition, June 1996] is een veel gehanteerde classificatie. Deze geeft het afwerkingsniveau weer in drie niveaus van ruimtes:

- Niveau 1 – Algemeen: een ruimte met een normale huishouding en onderhoud.
- Niveau 2 – Beschermd: een ruimte waarin stappen zijn ondernomen om blootgestelde producten te beschermen tegen verontreiniging.
- Niveau 3 – Gecontroleerd: een ruimte waarvoor specifieke omgevingscondities worden gedefinieerd, beheerst en gecontroleerd om blootgestelde producten te beschermen tegen verontreiniging. Dit niveau kan verder worden onderverdeeld in een niet-steriele (3a) en een steriele (3b) ruimte, dat afhangt van de eisen met betrekking tot controle van biologische verontreiniging.

Bij veel productiefaciliteiten wordt de zonering in kleuren gegeven [Kalenkamp, 2002]. Bij DSM-Gist wordt bijvoorbeeld de kleur zwart gebruikt voor niveau 1, de kleur grijs voor niveau 2 en de kleur zwart voor niveau 3 [Vlug, 2002].

Bij de bepaling van de niveaus van de ruimten, waar zich de fermentatieprocessen en het DSP bevinden, spelen twee vragen een centrale rol:

- Is de stap van het proces blootgesteld (open) of niet blootgesteld (gesloten) aan de omgeving?
- Is de stap van het proces kritiek of prekritiek?

Kritiek is omschreven als een processtap waarna herstel van het disfunctioneren of verontreiniging van het proces niet meer mogelijk is. Een prekritieke stap is omschreven als elke stap voor een kritieke stap of operatie.

Deze twee vragen kunnen in de volgende matrix (figuur 3.4) geplaatst worden:

	<b>Open</b>	<b>Gesloten</b>
<b>Kritiek</b>	Wit	Zwart
<b>Prekritiek</b>	Grijs	Zwart

Figuur 3.4. Matrix ter bepaling van kleur van een ruimte.

Naast het afwerkingsniveau speelt de *HVAC* een grote rol in de ruimte. De *HVAC* is afhankelijk van het niveau van de ruimte. Dit geeft de volgende classificatie:

- Basis: de *HVAC* behoort tot de ruimte met niveau 1.
- Uitgebreid: de *HVAC* behoort tot de ruimte met niveau 2.
- Hoogwaardig: de *HVAC* behoort tot de ruimte met niveau 3.

Alhoewel de parameter *HVAC* dus grotendeels bepaald wordt door het niveau van de ruimte, gaat dit niet altijd op. Soms wordt bij een bepaald niveau van de ruimte een andere klasse *HVAC* gekozen dan de corresponderende klasse *HVAC*. In dit geval geldt dus bovenstaande classificatie.

De parameter *brandveiligheid* vormt een *SHE*-aspect. Brand is namelijk een bijzondere belasting van een productiefaciliteit. Kenmerk daarvan is dat het effect op de constructie erg groot is. Er moet rekening gehouden worden met brand om voortgaande instorting te voorkomen en persoonlijk letsel of verlies aan mensenlevens te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. De parameter wordt in drie klassen onderscheiden [Vlug, 2002]:

- brandgevaarlijk: het proces en/of de activiteit heeft een grote risico om brand te veroorzaken;
- weinig brandgevaarlijk: het proces en/of de activiteit heeft een klein risico om brand te veroorzaken;
- niet brandgevaarlijk: het proces en/of de activiteit heeft (bijna) geen risico om brand te veroorzaken.

De parameter *geluidsniveau* betreft het geluidsscheidend vermogen, dat men wenst te realiseren tussen twee omgevingen. Het betreft hier dus het aantal decibellen geluid, dat het gebouw (als schil) moet reduceren. Er gelden de volgende klassen [Charité, 2002]:

- 30 dB(A);
- 50 dB(A);
- 80 dB(A).

De twee resterende parameters in de binnenomgeving zijn:

1. complexiteit;
2. 3D-configuratie.

Deze parameters behoren namelijk tot de eigenschap vorm. De driedelige classificatie van de parameter *complexiteit* is gebaseerd op twee criteria. Ten eerste het criterium ten aanzien van de vorm van het productiegebouw in z'n geheel. Dit criterium is gebaseerd op het geveleppervlak. Het geveleppervlak van het nieuwe productiegebouw dient vergeleken te worden met het geveleppervlak van hetzelfde productiegebouw, maar dan in z'n minst complexe vorm. Dit wil zeggen, de kubus- of balkvorm bij gelijkblijvende inhoud en begane vloeroppervlak. De optimale lengte en de optimale breedte zijn beide de uitkomst uit het trekken van de wortel uit het aantal vierkante meters werkelijke begane vloeroppervlak. De optimale hoogte is de uitkomst uit de deling van het aantal kubieke meters werkelijke inhoud door het aantal vierkante meters werkelijke begane vloeroppervlak. De complexiteitsratio wordt dan berekend door het aantal vierkante meters optimale geveleppervlak te delen door het totale aantal vierkante meters werkelijk vloeroppervlak.

Ten tweede geldt het criterium van dichtheid van ruimtes in het productiegebouw. Hoe meer ruimtes zich bevinden in het productiegebouw, hoe groter de dichtheid. Op basis van de twee criteria, ziet de classificatie als volgt uit:

- niet complex: het productiegebouw heeft een complexiteitsratio gelijk of lager dan de waarde 1 én een lage dichtheid;
- redelijk complex: het productiegebouw heeft een complexiteitsratio hoger dan de waarde 1 òf een hoge dichtheid;
- wel complex: het productiegebouw heeft een complexiteitsratio hoger dan de waarde 1 én een hoge dichtheid;

De laatste parameter *3D-configuratie* heeft geen driedelige classificatie, aangezien deze parameter een te grote variatie heeft. Deze parameter wordt namelijk door de procesapparatuur bepaald. Het fermentatieproces zich af in vaten, die in onderlinge verbinding staan door middel van pompen en pijpleidingen. Deze vaten hebben afhankelijk van de stap in het proces verschillende afmetingen (variërend van een vijf duizendste kubieke meter inhoud tot tweehonderd kubieke meter inhoud). Deze vaten leggen een groot beslag op de ruimte en de draagkracht in vergelijking met de pompen en pijpleidingen.



Bij het DSP wordt de vaste stof van de vloeibare stof gescheiden middels een centrifuge. Daarna wordt de vaste stof verwerkt tot het eindproduct of halffabrikaat. DSP heeft in vergelijking met fermentatie geen grote volumineuze apparatuur. De afmetingen van de vaten bepalen dus in grote mate de afmetingen van een productiegebouw. Daarnaast speelt de ruimtelijke indeling ook een grote rol. Deze indeling wordt gebaseerd op een logische procesgang en de afmeting voor de daarvoor benodigde apparatuur.

De 3D-configuratie doet een uitspraak over:

- Aantal verdiepingen met bruto hoogte in meters.
- Bruto oppervlakten van de verdiepingen in vierkante meters.
- Geveleppervlak (inclusief dakoppervlak) in vierkante meters.
- Gebouwtrek in lengte meters van de productiegebouw past.

Voor de additionele werkzaamheden geldt in principe dezelfde configuratie. Echter, hier worden het aantal bruto meters vloeroppervlakte genomen.

### 3.4. *Parameters buitenomgeving*

De parameters met betrekking tot de eigenschap locatie bevinden zich in de zogenoemde buitenomgeving van het model van Charité. Deze „buitenomgeving” vormt de relevante omgeving van de productiegebouw als systeem. Deze relevante omgeving is ook functioneel bekeken, aangezien de productiegebouw in haar relevante omgeving een bepaalde hoofdfunctie vervult. Aan de hand van een functieboom kunnen de deelfuncties met bijbehorende parameters geïnventariseerd worden.

#### 3.4.1. *Inventarisatie parameters food- en farmaceutische processen*

De derde eigenschap locatie ligt ten grondslag voor de inventarisatie van de parameters in de buitenomgeving. De productiegebouw wordt op een bepaalde plaats gerealiseerd. Dit productiegebouw zal een X aantal jaren zodanig blijven staan, dat de omgeving „niet om haar heen kan”. Vice versa geldt ook dat het productiegebouw, eenmaal geplaatst op een locatie met een bepaalde omgeving, niet „om die omgeving heen kan”. Aangezien de productiegebouw wordt geplaatst in een bepaalde omgeving, die al aanwezig is, is de *hoofdfunctie* van een productiegebouw de inpassing van het productiegebouw in de omgeving.

Deze hoofdfunctie wordt door de volgende *deelfuncties van eerste orde niveau* vervuld:

1. Voldoen aan wettelijke eisen.
2. Integreren in bestaande bebouwing.
3. Aanpassen aan natuurlijk omstandigheden.

De eerste deelfunctie *voldoen aan wettelijke eisen* komt voort uit het feit dat de productiegebouw wordt geplaatst op een stuk grond, dat binnen de grenzen van een bepaalde overheid valt. Dat houdt in dat de productiegebouw zal moeten voldoen aan de wettelijke eisen, die gesteld worden door de betreffende overheid. De eisen die de wet stelt zijn randvoorwaarden bij het ramen van de gebouwkosten in de programmafase. De wettelijke eisen zijn onderverdeeld in *drie deel-categorieën op tweede orde niveau*:

- bestemmingsplan;
- bouwbesluit en bouwverordening;
- eisen welstand.

Een *bestemmingsplan* is een juridisch bindend ruimtelijk plan. Een bestemmingsplan geeft aan gronden een bestemming met bepaalde gebruiks- en bebouwingsvoorschriften. De voorschriften geven de regels die aangehouden moeten worden voor die bestemming. Er zijn grofweg drie soorten regels, over de bebouwingsdichtheid, over de bouwhoogte en over de functie van de te bebouwen locatie. Deze regels hebben geen invloed op de gebouwkosten, aangezien met de dimensionering van de te bouwen productiegebouw sowieso moet worden voldaan aan deze regels. Deze parameters zijn dus wel aanwezig, maar hebben geen invloed op de gebouwkosten.

De bouwtechnische aspecten worden geregeld in het *Bouwbesluit* en in de *Bouwverordening*. Het bouwbesluit bevat alle technische voorschriften voor het bouwen. Deze voorschriften hebben betrekking op veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, en energiezuinigheid. Het gedeelte over veiligheid is onderverdeeld in vier paragrafen: constructieve veiligheid, gebruiksveiligheid, brandveiligheid en sociale veiligheid. Belangrijke grootheid, die de gebouwkosten in de programmafase beïnvloedt, betreft de *parameter brandveiligheid*. Wettelijk worden eisen gesteld aan vluchtwegen, de bijdrage aan het zich voortplanten van een brand, rookproductie van materialen en compartimentering. Constructieve veiligheid gaat in op de brandweerstandheid van constructies met betrekking tot bezwijken. Hiervoor zijn allerlei eisen opgesteld.

Een tweede grootheid, die voortvloeit uit het bouwbesluit, is de *parameter geluidsniveau*. Voor het geluidsniveau zijn wettelijke nor-

men opgenomen. Bepaalde omgevingen mogen slechts aan een bepaald niveau van decibellen worden blootgesteld. Deze twee parameters, brandveiligheid en geluidsniveau, zijn enigszins te beïnvloeden. Er geldt namelijk een wettelijk minimum.

In de gemeentelijke bouwverordening wordt onder andere geregeld: de wijze van aanvragen van vergunningen en meldingen, waaraan voldaan moet worden bij sloopwerkzaamheden, waaraan voldaan moet worden tijdens en na de uitvoering van de bouwwerkzaamheden, het brandveilig gebruik van bouwwerken, het verbod tot het bouwen op verontreinigde grond.

Alle bouw aanvragen worden aan redelijke *eisen van welstand* getoetst door een onafhankelijke welstandscommissie; deze geeft een advies aan de gemeente. Er wordt gekeken naar de vorm van de bouwwerkzaamheden, vlakindeling en materiaalgebruik. Een van de belangrijkste criteria is dat het ontwerp in de omgeving moet passen. Een derde *parameter* betreft dan ook de uiterlijke uitstraling, de *esthetica* van het productiegebouw. Dit is ook een parameter, waarbij een „wettelijk” minimum geldt.

De tweede deelfunctie op eerste orde niveau betreft het integreren in de bestaande bebouwing. Het productiegebouw wordt op een locatie geplaatst, eventueel in de directe nabijheid van andere gebouwde objecten. Die directe nabijheid van gebouwde objecten heeft invloed op de bouwbaarheid van het productiegebouw. De bouwbaarheid van een productiegebouw is de mate waarin het productiegebouw tijdens het ontwerp (dimensionering) en de realisatie gehinderd wordt door de andere gebouwde objecten in de directe nabijheid. De vierde *parameter* is de *bouwbaarheid*.

De derde en laatste deelfunctie op eerste orde niveau houdt in het aanpassen van de productiegebouw aan de natuurlijke omstandigheden. Dit zijn omstandigheden, die de natuur op een bepaalde locatie veroorzaakt. Van belang voor een productiegebouw zijn dat het gebouw moet „inspelen” op de grondcondities. Bijbehorende *parameter* is de *bodemgesteldheid*. Overige natuurlijke omstandigheden zoals neerslag, windbelasting en temperatuur doen niet ter zake, aangezien deze op elke locatie in Nederland ten opzichte van elkaar qua kosten te verwaarlozen zijn.

**3.4.2. Classificatie parameters food- en pharmaceutische processen**  
In de vorige paragraaf zijn de volgende relevante parameters in de buitenomgeving naar voren gekomen:

1. Brandveiligheid.
2. Geluidsniveau.
3. Esthetica.
4. Bouwbaarheid.
5. Bodemgesteldheid.

Wat betreft de parameter *brandveiligheid* is op basis van wettelijke eisen een driedelige classificatie aangenomen. Deze classificatie is gebaseerd op het feit of aan de brandwerendheidseisen van de constructie is voldaan. Brandwerendheid is gedefinieerd als [Adriaansen, 1996] de tijd gedurende welke constructieonderdeel bij verhitte volgens de standaardbrandkromme weerstand kan bieden aan de erop werkende belasting. De brandwerendheid is groter, naarmate een gebouw mensen herbergt. Doel is het verlies aan menselijke levens en/ of persoonlijk letsel te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. De classificatie is als volgt:

- brandgevaarlijk: het productiegebouw bevat verblijfsruimten voor werknemers, die hoger gelegen dan 13 meter zijn;
- weinig brandgevaarlijk: het productiegebouw bevat verblijfsruimten voor werknemers, die hoger is gelegen dan 5 meter en lager is gelegen dan 13 meter;
- niet brandgevaarlijk: het productiegebouw bevat geen verblijfsruimten voor werknemers.

De parameter *geluidsniveau* betreft het geluidsscheidend vermogen, dat wettelijk gerealiseerd dient te worden tussen twee omgevingen. Het betreft hier dus het aantal decibellen geluid, dat een bepaalde scheiding moet reduceren. Hier wordt een volgende indeling gehanteerd [Charité, 2002]:

- 30 dB(A);
- 50 dB(A);
- 80 dB(A).

De welstand toetst of aan de eisen van de *esthetica* is voldaan door met name te kijken of de productiegebouw past binnen haar omgeving. Aan deze eisen van esthetica moet sowieso voldaan worden. Deze eisen in achterhoofd hebbende, kan echter ook besloten worden een hoger budget voor het uiterlijk van de productiegebouw te reserveren. Hierin zijn drie klassen te onderscheiden:

- lowbudget: geen expressieve architectonische vormgeving;
- medium budget: architectonische aanvaardbare vormgeving;
- high budget: aansprekende en representatieve architectonische vormgeving.

De vierde parameter betreft de *bouwbaarheid*, ofwel het gemak dat de omgeving biedt om het daadwerkelijk gerealiseerde ontwerp „in te passen” of te realiseren. Hiervoor zijn drie niveaus opgesteld:

- groene weide: er zijn geen gebouwde objecten in de directe nabijheid, groene weide staat bij wijze van spreken voor een stuk weiland;
- gemiddeld bebouwd: er staan hier en daar gebouwde objecten in de directe nabijheid van de te bebouwen locatie, er hoeft weinig rekening gehouden worden met de objecten;
- maximaal bebouwd: qua ontwerp en realisatie moet rekening gehouden worden met allerlei gebouwde objecten in de directe nabijheid.

De *bodemgesteldheid* is de laatste parameter. Er zijn in Nederland qua draagkracht drie soorten grond te onderscheiden:

- slecht draagkrachtig: de grondsoort op de te bebouwen locatie heeft een slechte draagkracht;
- weinig draagkrachtig: de grondsoort op de te bebouwen locatie heeft weinig draagkracht;
- goed draagkrachtig: de grondsoort op de bebouwen locatie heeft een goede draagkracht.

### 3.5. Model van Charité voor productiegebouwen

#### 3.5.1. Overzicht parameters

De inventarisatie van de parameters in de binnen- en buitenomgeving van het model van Charité is functioneel aangepakt, aangezien in de programmafase een kostenraming primair als functiestructuur ingevuld dient te worden. Aan de hand van een functieboom zijn vanuit één hoofdfunctie van de productiegebouw alle verschillende deelprocessen tot op een bepaald niveau geanalyseerd. Dit niveau blijkt afdoende, vanwege de beschikbare hoeveelheid informatie in de programmafase. Elk deelproces is gelieerd aan een van de eigenschappen kwaliteit, vorm of locatie. De link tussen het deelproces en de eigenschap vormt de parameter, die uiteindelijk deel uit maakt van een kostenfunctie, welke de gebouwkosten in de programmafase van een productiegebouw betrouwbaar raamt. Figuur 3.5 geeft een overzicht van alle parameters met betrekking tot de eigenschappen en de omgevingen. In bijlage 7 zijn deze parameters ingevuld in het model van Charité.

Omgeving:	Binnenomgeving		Buitenomgeving
Eigenschap:	Vorm	Kwaliteit	Locatie
Parameters:	3D-configuratie complexiteit	gewicht procesapparaatuur afwerkingsniveau HVAC brandveiligheid geluidsniveau	esthetica brandveiligheid geluidsniveau bouwbaarheid bodemgesteldheid

Figuur 3.5. Overzicht van alle parameters naar eigenschap van productiegebouw.

### 3.5.2. Samenhang parameters

De geïnventariseerde parameters staan niet op zichzelf. Sommige parameters hebben op een of andere manier een relatie met elkaar, dat wil zeggen ze hebben invloed op elkaar. Het is in deze ook belangrijk om de confrontatie tussen de parameters uit alle omgevingen te vinden. Als er sprake is van het feit dat een bepaalde parameter invloed heeft op een andere parameter, betekent dit dat eerstgenoemde parameter een factor is. Deze heeft dus een indirecte invloed op de gebouwkosten.

De relaties zijn geanalyseerd met behulp van een tabel, waarbij in de meest linkse kolom en de bovenste rij alle parameters tegen elkaar uitgezet zijn. Vervolgens is per parameter in de meest linkse kolom nagegaan of er samenhang is met de parameter in de bovenste rij. Een kruis betekent in dit figuur dat de parameter in de corresponderende rij invloed heeft op parameter in de corresponderende kolom. Figuur 3.6 geeft de samenhang tussen alle parameters weer.

Eigenschappen ↓	Eigenschappen →	Vorm	Kwaliteit		Locatie	
		3D-configuratie complexiteit	gewicht afwerkingsniveau HVAC	brandveiligheid geluidsniveau	esthetica bodemgesteldheid brandveiligheid geluidsniveau bouwbaarheid	
Vorm	3D-configuratie complexiteit	- -	X	X	X	X
Kwaliteit	gewicht apparaatuur afwerkingsniveau HVAC		- - -	X		

Eigenschappen ↓	Eigenschappen →	Vorm	Kwaliteit	Locatie	
	Parameters →	3D-configuratie complexiteit	gewicht afwerkingsniveau HVAC	brandveiligheid geluidsniveau	esthetica bodemgesteldheid brandveiligheid geluidsniveau bouwbaarheid
	brandveiligheid geluidsniveau		X	- -	X X
Locatie	esthetica bodemgesteldheid brandveiligheid geluidsniveau bouwbaarheid	X X	X X X X X	X X X X X	- - - X X X X X

Figuur 3.6. Samenhang alle parameters.

Ten eerste vallen de twee parameters *brandveiligheid* en *geluidsniveau* op, aangezien zij beide bij zowel de eigenschap kwaliteit als de eigenschap locatie voorkomen. Tevens komen ze beide eenmaal in de binnenomgeving en eenmaal in de buitenomgeving voor, daar voor deze parameters zowel eisen uit de binnenomgeving als uit de buitenomgeving gesteld worden. Dit betekent dat de eisen met betrekking tot de parameters elkaar op het grensvlak in het model van Charité (het productiegebouw zelf) „ontmoeten”.

Aangezien het geluidsniveau het geluidsscheidend vermogen van het productiegebouw inhoudt, zijn de twee parameters samengenomen tot één parameter geluidsniveau. Hierbij geldt de gewone classificatie van de parameter geluidsniveau. Dit geldt ook voor de parameter brandveiligheid. Vanuit de binnen- en buitenomgeving worden eisen gesteld aan het productiegebouw ten aanzien van de brandveiligheid. Ze „ontmoeten elkaar” op het grensvlak, waardoor ze beide voor het productiegebouw gelden. De twee parameters brandveiligheid zijn dus ook samengenomen tot één parameter brandveiligheid.

Verder zijn de volgende relaties geanalyseerd:

- *3D-configuratie* → *brandveiligheid*: de parameter 3D-configuratie heeft zodanig met de parameter brandveiligheid te maken, dat de hoogte van het productiegebouw een rol speelt. Indien een productiegebouw bijvoorbeeld hoger dan vijf meter gediimensioneerd wordt, dan heeft dit consequenties voor eisen van brandveiligheid. Hier dient echter opgemerkt te worden dat

deze dimensionering reeds is opgenomen in de classificatie van de brandveiligheid.

- *Complexiteit* → *afwerkingsniveau*: indien bijvoorbeeld de complexiteit van het productiegebouw groot is, betekent dit dat veel verschillende ongelijksoortige ruimtedelen in de productiegebouw aanwezig zijn, die elk een verschillende afwerkingsniveau vereisen.
- *Complexiteit* → *esthetica*: indien bijvoorbeeld de complexiteit van het productiegebouw groot is, betekent dit dat de vorm van het gebouw zodanig van de standaard vorm afwijkt dat de constructiekosten hoger zijn.
- *Afwerkingsniveau* → *HVAC*: indien een keuze is gemaakt voor een bepaald afwerkingsniveau heeft dit automatisch consequenties voor de HVAC. Om voor te zorgen dat een ruimte aan de eisen van een ruimte van bijvoorbeeld niveau 3 voldoet, betekent dit bijvoorbeeld dat er een hoogwaardige HVAC geïnstalleerd dient te worden.
- *Geluidsniveau* → *esthetica*: indien rekening gehouden moet worden met een scheidend vermogen van bijvoorbeeld 30 dB(A) dient hier de esthetica (lees elementen die de buitenste schil van het productiegebouw vormen) op aangepast worden.
- *Geluidsniveau* → *afwerkingsniveau*: indien rekening gehouden moet worden met een scheidend vermogen van bijvoorbeeld 30 dB(A) dient hier het afwerkingsniveau (lees elementen die de binnenste schil van het productiegebouw vormen) op aangepast worden.
- *Bodemgesteldheid* → *gewicht procesapparatuur*: de bodemgesteldheid heeft invloed op het gewicht van de procesapparatuur, daar bijvoorbeeld zware procesapparatuur bepaalde constructieve eisen stelt indien een slechte draagkrachtige bodem aanwezig is.

De *bouwbaarheid* is ten slotte een aparte parameter. Deze heeft namelijk invloed op het productiegebouw in z'n geheel en zodoende op elke andere parameter. Indien maximale bebouwing rondom het productiegebouw aanwezig is, betekent dit bijvoorbeeld dat de 3D-configuratie hierop aangepast moet worden. Ten gevolge hiervan kan dit ook consequenties hebben op de complexiteit van het pro-



ductiegebouw. Daarnaast kan bijvoorbeeld door het uiterlijk van de al aanwezige bebouwing een speciale esthetica vereist worden. Kortom, het moge duidelijk zijn dat deze parameter op alle andere parameters invloed heeft.

Uit bovenstaande valt af te leiden dat de parameters complexiteit, geluidsniveau, bodemgesteldheid en bouwbaarheid in principe factoren zijn, aangezien zij een directe invloed hebben op de desbetreffende parameter. Het afwerkingniveau en de 3D-configuratie zijn geen factoren, aangezien zij, naast de directe invloed op respectievelijk de brandveiligheid en HVAC, ook een directe invloed op de gebouwkosten. Een ander argument is dat de relaties 3D-configuratie – brandveiligheid en afwerkingniveau – HVAC in principe omkeerbaar zijn. Indien namelijk voor een bepaald brandveiligheidsniveau gekozen wordt, heeft dit consequenties voor de 3D-configuratie. De keuze voor een bepaalde HVAC heeft ook consequenties voor het afwerkingniveau. Deze omkeerbaarheid geldt niet voor de andere relaties.

Figuur 3.7 geeft ter afsluiting een overzicht van alle parameters en factoren. Het overzicht van de parameters en factoren met bijbehorende classificatie en samenhang dient ter input voor de uiteindelijke kostenfunctie, die de gebouwkosten van een nieuw productiegebouw in de programmafase raamt. Het volgende hoofdstuk gaat in op de kostenfunctie.

Parameters	Factoren
3D-configuratie gewicht proces- apparatuur afwerkingniveau HVAC esthetica brandveiligheid	complexiteit geluidsniveau  bouwbaarheid bodemgesteldheid

*Figuur 3.7. Overzicht van parameters en factoren voor food/pharmaceutische productiegebouwen.*

## 4. Kostenfunctie

### 4.1. Inleiding

Nu de parameters, factoren en samenhang tussen deze bekend zijn, is het belang deze te toetsen aan de praktijk. Hierbij is het nodig een

kostenfunctie te ontwikkelen, waarmee uiteindelijk in de case-studies de berekende kosten vergeleken kunnen worden met de werkelijke kosten. Paragraaf 4.2 gaat verder in op de structuur van de kostenfunctie. Deze kostenfunctie dient om de gebouwkosten van een nieuwe productiegebouw te ramen. Ten eerste is de opbouw van de functie uiteengezet aan de hand van de geanalyseerde parameters, factoren en samenhang. Vervolgens zijn de kengetallen, die de parameters kwantificeren, en waarden voor factoren behandeld. Laatste punt in deze paragraaf betreft de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van de kostenfunctie. Ten slotte sluit paragraaf 4.3 dit hoofdstuk af met de kengetallen, benodigd om de parameters en factoren te kwantificeren.

#### *4.2. Structuur kostenfunctie*

De analyse van de parameters dient als basis voor het opstellen van een kostenfunctie. Deze kostenfunctie dient de gebouwkosten van een nieuw productiegebouw betrouwbaar te ramen met een minimale nauwkeurigheid van -10% en +40%. Uit de literatuur is naar voren gekomen dat de kengetallenraming een geschikte methodiek is om de gebouwkosten in de programmafase van een bouwobject betrouwbaar te ramen. Deze kostenraming werkt als volgt:

**Gebouwkosten = (hoeveelheid ruimtelijke eenheid) \* (prijs betreffende ruimtelijke hoeveelheid) = hoeveelheid \* prijs**

Hierbij is de prijs van de ruimtelijke eenheid het kostenkengetal. Feitelijk doet de prijs een uitspraak over de kwaliteit van de ruimtelijke eenheid, de hoeveelheid doet een uitspraak over de grootte van ruimtelijke eenheid.

Ook is naar voren gekomen dat parametrisch ramen een te hanteren kostenramingsmethodiek is, weliswaar in de procesindustrie. Parametrisch ramen bestaat uit een functie, die de kosten raamt aan de hand van één of meer parameters. De parameters, die gehanteerd worden, bepalen de kosten door middel van het aangeven van de kwaliteit (prijzen op basis van historische kostendata) en de hoeveelheden. Hier komt naar voren dat de principes van parametrisch ramen gestoeld zijn op die van de kengetallenraming.

Parametrisch ramen biedt in dit onderzoek uitkomst voor een kostenfunctie. Een kostenfunctie is dan een optelsom van alle parameters, die invloed hebben op de gebouwkosten, zodanig dat de parameters, die de hoeveelheid sturen, vermenigvuldigd worden met de parameters, die de prijs sturen. Dit ziet er dan als volgt uit:

$$\text{Gebouwkosten} = \Sigma (\text{parameters}_{\text{hoeveelheid}} * \text{parameters}_{\text{prijs}})$$

In hoofdstuk 3 is de samenhang tussen alle parameters geanalyseerd. Hier is naar voren gekomen dat sommige parameters factoren blijken te zijn, aangezien zij een directe invloed hebben op de parameter en dus een indirecte invloed op de gebouwkosten. Deze factoren dienen uiteraard in de kostenfunctie meegenomen te worden. Factoren zijn in dit geval vermenigvuldigd met de parameter.

De kostenfunctie dient ingevuld te worden met de parameters en factoren, die een rol spelen. In figuur 3.7 is een overzicht gegeven van de parameters en factoren, die in de farmaceutische/food industrie een rol spelen. De parameter, die de hoeveelheid stuurt, is:

- 3D-configuratie.

De parameters, die de prijs sturen, zijn:

- gewicht procesapparatuur;
- afwerkingsniveau;
- HVAC;
- brandveiligheid;
- esthetica.

Vervolgens is het van belang de relevante relaties tussen de verschillende parameters en factoren in beschouwing te nemen (gebaseerd op figuur 3.6):

- complexiteit → afwerkingsniveau;
- complexiteit → esthetica;
- geluidsniveau → esthetica;
- geluidsniveau → afwerkingsniveau;
- bodemgesteldheid → gewicht procesapparatuur;
- bouwbaarheid → gewicht procesapparatuur, afwerkingsniveau, esthetica, brandveiligheid en HVAC.

Ten slotte kan de volledige kostenfunctie ingevuld worden. Zodoende ontstaat de volgende kostenfunctie voor de gebouwkosten van een productiegebouw in de farmaceutische/food industrie:

$$K_{\text{productiegebouw}} = F_a * \{ [F_b * ((H_a * P_a) + (H_b * P_a))] + [F_c * F_d * \Sigma_n (H_{a,n} * P_{b,n})] + \Sigma_n (H_{a,n} * P_{c,n}) + (H_a * P_d) + [F_c * F_d * (H_c * P_d)] \}$$

Hierin is:

- $F_a$  = waarde van de factor bouwbaarheid;
- $F_b$  = waarde van de factor bodemgesteldheid;
- $F_c$  = waarde van de factor complexiteit;
- $F_d$  = waarde van de factor geluidsniveau;

$H_a$  = hoeveelheid bruto vloeroppervlak;  
 $H_b$  = hoeveelheid gebouwtrek;  
 $H_c$  = hoeveelheid geveloppervlak;  
 $P_a$  = prijs van de parameter gewicht procesapparatuur;  
 $P_b$  = prijs van de parameter afwerkingniveau;  
 $P_c$  = prijs van de parameter HVAC;  
 $P_d$  = prijs van de parameter brandveiligheid;  
 $P_e$  = prijs van de parameter esthetica;  
 $\Sigma_n$  = sommatie van n ruimten met verschillende afwerkingniveaus.

Uit oogpunt van gebruiksvriendelijkheid leent de structuur achter deze kostenfunctie(s) zich voor een vertaling naar het computerprogramma Excel. In bijlage 7 is de Excel-sheet weergegeven, waarin slechts de waarden ingevuld of gekozen (de cellen die gekleurd zijn) moeten worden, waarna de kostenfunctie de totaalkosten van het productiegebouw berekent en weergeeft.

#### 4.3. Kengetallen

Om de kostenfunctie operationeel te maken, zijn de waarden van factoren en prijzen van parameters benodigd. Deze worden op basis van de praktijksituatie opgesteld. In dit geval is dit dus de situatie bij DSM-Gist BV, de food- en farmaceutische industrie. In de ontwikkelde kostenfunctie spelen voor de parameters kengetallen een rol. In hoofdstuk 2 is naar voren gekomen dat kengetallen verhoudingsgetallen zijn waarmee relaties tussen verschillende grootheden. Deze zijn te onderscheiden in:

1. programmatische kengetallen;
2. hoeveelheidkengetallen;
3. kostenkengetallen.

De tweede soort kengetallen speelt een rol bij de parameter 3D-configuratie. De hoeveelheidkengetallen geven de verhouding aan van een vast te stellen hoeveelheid (materie) ten opzichte van een bekend gegeven. Dit kan betreffen:

- aantallen;
- lengten;
- oppervlakten;
- inhouden.

Voor dit onderzoek zijn al de vier soorten van belang. De 3-D configuratie van de procesapparatuur legt namelijk de lengte en de oppervlakte vast, die de procesapparatuur inneemt. Daarnaast wordt

ook de hoogte vastgelegd. Automatisch leidt dit tot een bepaalde inhoud van de productiefaciliteit.

De kostenkengetallen spelen een rol bij de parameters, die de prijs sturen. Kostenkengetallen geven een indicatie van de kosten van gedefinieerde onderdelen of groepen van onderdelen van het project. In dit onderzoek zijn dit kostenkengetallen naar aanleiding van:

- Vierkante meters vloeroppervlak;
- Vierkante meters geveloppervlak;
- Lengte meters gebouwomtrek.

Alle kengetallen worden hoofdzakelijk door middel van het analyseren van gerealiseerde projecten verkregen. Hierbij dienen steeds de specifieke eigenschappen c.q. omstandigheden van die projecten te worden vermeld, zodat deze bij het toepassen van de kengetallen in ogenschouw kunnen worden genomen. Normaliter wordt bijvoorbeeld de prijs voor één vierkante meter vloeroppervlak verkregen door de nacalculatorische kosten te delen door het totale vloeroppervlak van alle bouwlagen. Echter, in dit onderzoek zijn de kostenkengetallen gebaseerd op de eenheidsprijzen voor productiegebouwen, die het DACE anderhalfjaarlijks publiceert in haar DACE-prijzenboekje [NAP-DACE, 2000]. Vanuit DSM-Gist is aangegeven dat deze als representatief voor haar farmaceutische en food productiegebouwen beschouwd mogen worden. De voornaamste reden hiervoor is dat geen historische kostendatabase aanwezig is, waar dit soort kengetallen zijn vastgelegd.

Wat betreft de hoeveelheidkengetallen kan gezegd worden dat deze per productiegebouw verschillen en per geval bekeken en ingevuld moeten worden. Figuur 4.1 geeft het resultaat weer van de waarden van de kostenkengetallen voor elke classificatie van de parameters. De opbouw van elk kostenkengetal is per parameter weergegeven in bijlage 8. De waarden voor de factoren zijn ook gegeven. Factoren zijn puur vermenigvuldigingsfactoren, die op basis van de bij DSM-Gist aanwezige ervaring en inzicht zijn vastgesteld.

**Y4140-54** Ramen van gebouwkosten in de procesindustrie

CLASSIFICATIE	KWANTIFICATIE (PRIJSPEIL = MEDIO 2002)
<b>Gewicht apparatuur:</b> 20 kN/m <sup>2</sup> 30 kN/m <sup>2</sup> 50 kN/m <sup>2</sup>	€ 150/m <sup>2</sup> vloeroppervlak + € 182/m gebouwomtrek € 200/m <sup>2</sup> vloeroppervlak + € 182/m gebouwomtrek € 280/m <sup>2</sup> vloeroppervlak + € 182/m gebouwomtrek
<b>Bodemgesteldheid:</b> Slecht draagkrachtig Weinig draagkrachtig Goed draagkrachtig	1,50 (maal gewicht apparatuur) 1,25 (maal gewicht apparatuur) 1,00 (maal gewicht apparatuur)
<b>Afwerkingniveau:</b> Zwart Grijs Wit	€ 155/m <sup>2</sup> vloeroppervlak € 295/m <sup>2</sup> vloeroppervlak € 410/m <sup>2</sup> vloeroppervlak
<b>Complexiteit:</b> Niet complex Redelijk complex Complex	1,0 (maal afwerkingniveau en maal esthetica) 2,0 (maal afwerkingniveau en maal esthetica) 3,0 (maal afwerkingniveau en maal esthetica)
<b>Geluidsniveau:</b> 30 dB(A) 50 dB(A) 80 dB(A)	1,00 (maal afwerkingniveau en maal esthetica) 1,25 (maal afwerkingniveau en maal esthetica) 1,50 (maal afwerkingniveau en maal esthetica)
<b>HVAC:</b> Basis Uitgebreid Hoogwaardig	€ 35/m <sup>2</sup> vloeroppervlak (fermentatie) € 60/m <sup>2</sup> vloeroppervlak (DSP) € 255/m <sup>2</sup> vloeroppervlak € 345/m <sup>2</sup> vloeroppervlak
<b>Brandveiligheid:</b> Brandgevaarlijk Weinig brandgevaarlijk Niet brandgevaarlijk	€ 150/m <sup>2</sup> vloeroppervlak € 75/m <sup>2</sup> vloeroppervlak € 25/m <sup>2</sup> vloeroppervlak
<b>Esthetica:</b> Low budget Medium budget High budget	€ 140/m <sup>2</sup> geveloppervlak € 185/m <sup>2</sup> geveloppervlak € 245/m <sup>2</sup> geveloppervlak
<b>Bouwbaarheid:</b> Groene weide Gemiddeld bebouwd Maximaal bebouwd	1,00 (maal afwerkingniveau, esthetica, brandveiligheid, HVAC en gewicht apparatuur) 1,10 (maal afwerkingniveau, esthetica, brandveiligheid, HVAC en gewicht apparatuur) 1,25 (maal afwerkingniveau, esthetica, brandveiligheid, HVAC en gewicht apparatuur)

Figuur 4.1. Kostenkengetallen en waarden voor respectievelijk parameters en factoren.

Alle waarden in figuur 4.1 zijn ook ingevuld in de Excel-sheet in bijlage 8 (Invulformat „Raming van de gebouwkosten). Opgemerkt dient te worden dat de kostenkengetallen omgerekend zijn van eind 2000 naar medio 2002 op basis van een inflatiepercentage van ongeveer 7,3 % [CBS, Basisjaar 1995]. Tevens gelden deze kostenkengetallen en waarden voor factoren voor een meerlaagse food- of farmaceutische productiegebouw met een staalskelet. De grote kostenpost liften is daardoor meegenomen in de totale kostenfunctie.

## **5. Toepassing kostenfunctie op DSM-Gist BV**

### *5.1. Inleiding*

Hoofdstuk 5 betreft de toepassing van de ontwikkelde kostenfunctie op de situatie van DSM-Gist BV. Doel is om de betrouwbaarheid te testen aan de hand van de projectinformatie van drie reeds gerealiseerde productiegebouwen. Paragraaf 5.2 behandelt deze 3 gebouwen. Vanwege de vertrouwelijkheid van de gegevens, zijn de namen van de productiegebouwen gefingeerd. Eerst is per productiegebouw een overzicht van de beschikbare en benodigde informatie weergegeven. Vervolgens is dit ingevuld in de Excel-sheet. Alle resultaten staan in de bijlagen weergegeven. Verder zijn in paragraaf 5.3 de resultaten geanalyseerd. Dit hoofdstuk is afgesloten met een discussie over de resultaten.

### *5.2. Productiegebouw X*

#### *5.2.1. Uitgangssituatie*

Het eerste productiegebouw betreft productiegebouw X. Dit productiegebouw is in 1991 op het terrein van DSM-Gist gerealiseerd. Het hoofdproces in dit gebouw is het farmaceutische proces. Met name het DSP wordt gehuisvest. De werkelijke gebouwkosten van dit productiegebouw bedragen € 1.686.853,-. Met een inhoud van 8511 kubieke meter, geeft dit een kubieke meter prijs van € 199,-. Op basis van een inflatiepercentage van ongeveer 34% [CBS, Basisjaar 1990], bedragen de kosten medio 2002 € 2.260.383,- en is de kubieke meter prijs € 267,-.

Productiegebouw X is opgebouwd uit drie verdiepingen. Verder bevindt zich op het dak een soort uitsteeksel. Een vereenvoudigde 3D-tekening is gegeven in bijlage 9. In figuur 5.1 zijn de kerngegevens weergegeven, die verkregen zijn uit de bouwtekeningen. De waarden zijn afgerond tot twee decimalen achter de komma.

**Y4140-56** Ramen van gebouwkosten in de procesindustrie

Parameter		Aantal	Hoogte
<i>3D-configuratie</i>	Vloeroppervlak 1:	793,58 m <sup>2</sup>	4,30 m
	Vloeroppervlak 2:	626,00 m <sup>2</sup>	4,01 m
	Vloeroppervlak 3:	626,00 m <sup>2</sup>	4,14 m
	Bult:	113,95 m <sup>2</sup>	3,40 m
	Gebouwomtrek:	125 m	
	Geveloppervlak:	2387 m <sup>2</sup>	
<i>Afwerkingniveau</i>	Zwart:	1974 m <sup>2</sup>	
	Grijs:	18 m <sup>2</sup>	
	Wit:	54 m <sup>2</sup>	
Parameter	Keuze		
<i>Esthetica</i>	High budget		
<i>Brandveiligheid</i>	Brandgevaarlijk		
Factor	Keuze		
<i>Geluidsniveau</i>	30 dB(A)		
<i>Complexiteit</i>	Niet complex		
<i>Bodemgesteldheid</i>	Slecht draagkrachtig		
<i>Bouwbaarheid</i>	Gemiddeld bebouwd		

*Figuur 5.1. Bekende kerngegevens van productiegebouw X.*

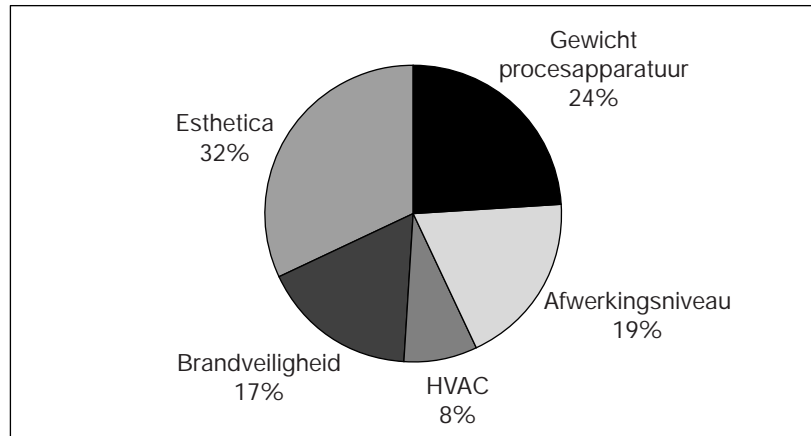
**5.2.2. Resultaten berekening gebouwkosten**

De (onafgeronde) gegevens uit figuur 5.1 zijn ingevuld in de Excel-sheet „Invulformat Raming van gebouwkosten”. Deze is te vinden in bijlage 10. Hier komen de volgende resultaten naar voren.

	Berekend	Werkelijk	Vershil in %
Totale gebouwkosten	€ 2.309.556,-	€ 2.260.383,-	+ 2,3%
Prijs per m <sup>3</sup>	€ 272,-	€ 266,-	+ 2,3%

*Figuur 5.2. Overzicht berekende kosten productiegebouw X.*





Figuur 5.3. Opbouw gebouwkosten  $X$  naar parameters.

### 5.2.3. Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd met als doel de gevoeligheid van de kostenfunctie per parameter te beoordelen. Het gaat hier vooral om de verbanden en trends, die te herkennen zijn. De factoren zijn integraal opgenomen per parameter. Deze behoeven niet gevarieerd te worden, aangezien deze geen direct verband houden met de kosten. Daartoe is per rekenstap de betreffende parameter in haar classificatie gevarieerd, terwijl de overige parameters standaard zijn gebleven. Daarbij is ten eerste gekeken welke parameter qua totale gebouwkosten de grootste afwijking geeft met de „standaardsituatie”. Daarbij is ook gekeken naar de opbouw van de totale gebouwkosten verdeeld naar parameters (in percentages).

Bovenstaande geldt voor de parameters gewicht van de apparatuur, brandveiligheid en esthetica. De parameters afwerkingniveau en HVAC zijn niet gevarieerd, aangezien deze niet gevarieerd kunnen worden in hun eigen classificatie. Als het proces bekend is, kan niet „zomaar” het niveau van de ruimte gewisseld voor een ander niveau. Deze situatie geldt ook voor de parameter HVAC.

Vervolgens is gekeken naar de parameter 3D-configuratie. Achtereenvolgens zijn de driemaal de lengte, driemaal de breedte en tweemaal de hoogte van het productiegebouw gevarieerd. In bijlage 11 zijn alle rekenresultaten weergegeven. De belangrijkste resultaten zijn besproken in volgende paragraaf.

#### *5.2.4. Resultaten gevoeligheidsanalyse*

Indien de drie parameters gewicht procesapparatuur, brandveiligheid en esthetica beschouwd worden, kan opgemerkt worden dat de parameter gewicht procesapparatuur het grootste invloed heeft op de totale gebouwkosten (en dus de kubieke meter prijs). De berekende gebouwkosten vertonen namelijk de grootste afwijking met de werkelijke gebouwkosten, indien de parameter gewicht gevarieerd wordt van 20 kN/m<sup>2</sup> tot 50 kN/m<sup>2</sup>.

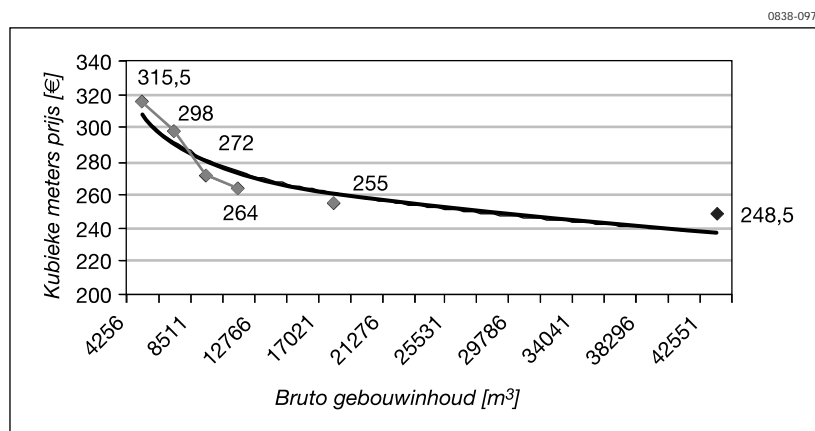
Daarna volgen tegelijk de parameters brandveiligheid en esthetica.

Indien een bepaalde parameter wordt gevarieerd in haar classificatie, is te zien dat deze parameter een relatief grote variatie qua percentage van de totale berekende gebouwkosten doorloopt. Dat wil zeggen dat, indien een „duurdere” klasse wordt gekozen, de parameter een groter aandeel in de totale gebouwkosten heeft. Tevens valt in deze situatie op, dat de andere parameters dan een relatief kleine tegenovergestelde variatie doormaken, dat wil zeggen een kleiner aandeel uitmaken in de totale gebouwkosten. Daarbij is ook op te merken dat, deze variaties in percentages nagenoeg gelijk zijn bij elke gevarieerde parameter.

De parameter 3D-configuratie is ook gevarieerd. Eerst is de inhoud een half keer verkleint, daarna is de inhoud twee keer en vervolgens vijf keer vergroot. De vergroting is gebaseerd op achtereenvolgens de lengte, de breedte en de hoogte te variëren. Bij de resultaten van deze volumeveranderingen is te zien dat de parameter esthetica de grootste variatie toont in haar percentage van de totaal berekende gebouwkosten. Daarna volgt de parameter gewicht van de procesapparatuur. Nauwelijks variatie tonen de overige drie parameters, afwerkingniveau, HVAC en brandveiligheid.

Twee opmerkingen dienen hierbij nog vermeld te worden. De eerste is dat, indien het volume van het productiegebouw vergroot wordt tot vijf maal ten opzichte van tweemaal de grootte van de werkelijke grootte de vijf parameters geen variatie vertonen in de percentages van de totaal berekende gebouwkosten. Ten tweede valt op dat, als het volume groter wordt, de parameter esthetica als enige parameter qua percentage van de totaal berekende gebouwkosten afneemt, terwijl de andere parameters afwerkingniveau, HVAC, brandveiligheid en gewicht procesapparatuur toenemen. Indien de inhoud verkleint wordt, is de situatie in dezelfde verhoudingen tegengesteld.

Ten slotte is in figuur 5.4 een mogelijk verband (door een trendlijn te tekenen) weergegeven tussen de kubieke meter prijs en de bruto gebouw inhoud. Per vergroting of verkleining van de gebouwinhoud zijn de waarden van de kubieke meter prijs bij een variatie in de breedte en een variatie in de lengte gemiddeld. Verder is de vergroting en verkleining van het volume middels het variëren van de hoogte ook verwerkt. In de figuur is te zien dat de kubieke meter prijs daalt, indien de gebouwinhoud groter wordt.



Figuur 5.4. Mogelijk verband tussen kubieke meter prijs en bruto gebouwinhoud productie gebouw X.

### 5.3. Productiegebouw Y

#### 5.3.1. Uitgangssituatie

Het tweede productiegebouw betreft productiegebouw Y. Dit productiegebouw is in 1991 op het terrein van DSM-Gist gerealiseerd. Het hoofdproces in dit gebouw is het food proces. Met name het DSP wordt gehuisvest. De werkelijke gebouwkosten van dit productiegebouw bedragen € 1.787.942.-. Met een inhoud van 6327 kubieke meter, geeft dit een kubieke meter prijs van € 283.-. Omgekeerd naar medio 2002 (op basis van een inflatiepercentage van 34% [CBS, Basisjaar 1990]) bedragen de kosten € 2.395.842.- en is de kubieke meter prijs van € 380.-.

Productiegebouw Y is opgebouwd uit drie verdiepingen. Een vereenvoudigde 3D-tekening is gegeven in bijlage 12. In figuur 5.5 zijn de kerngegevens weergegeven, die verkregen zijn uit de bouwtekeningen van productiegebouw Y.

**Y4140-60** Ramen van gebouwkosten in de procesindustrie

Parameter		Aantal	Hoogte
<i>3D-configuratie</i>	Vloeroppervlak 1:	582,5 m <sup>2</sup>	4,04 m
	Vloeroppervlak 2:	545 m <sup>2</sup>	6,08 m
	Vloeroppervlak 3:	170 m <sup>2</sup>	3,88 m
	Gebouwomtrek:	100 m	
	Geveloppervlak:	1757,5 m <sup>2</sup>	
<i>Afwerkingniveau</i>	Zwart:	1129,12 m <sup>2</sup>	
	Grijs:	167,91 m <sup>2</sup>	
	Wit:	0 m <sup>2</sup>	
Parameter	Keuze		
<i>Esthetica</i>	Lowbudget		
<i>Brandveiligheid</i>	Brandgevaarlijk		
Factor	Keuze		
<i>Geluidsniveau</i>	30 dB(A)		
<i>Complexiteit</i>	Wel complex		
<i>Bodemgesteldheid</i>	Slecht draagkrachtig		
<i>Bouwbaarheid</i>	Gemiddeld bebouwd		

Figuur 5.5. Bekende kerngegevens van productiegebouw Y.

**5.3.2. Resultaten berekening gebouwkosten**

Deze gegevens zijn ingevuld in de Excel-sheet „Invulformat Raming van gebouwkosten”. Deze is te vinden in bijlage 13. Hier komen de volgende resultaten naar voren.

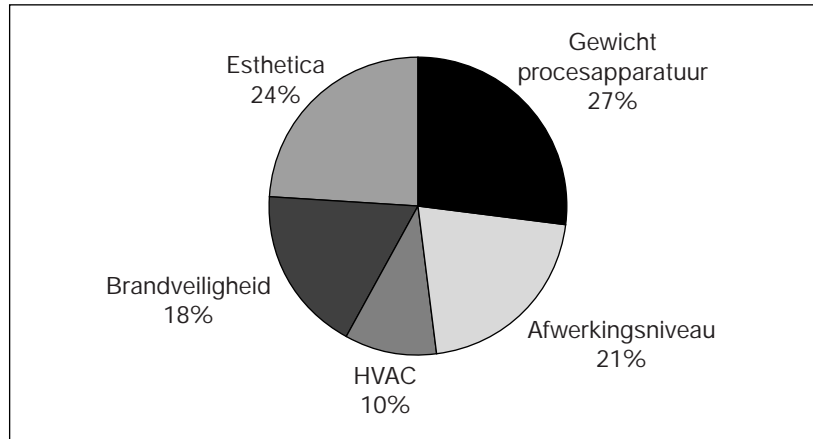
	Berekend	Werkelijk	Vershil in %
Totale gebouwkosten	€ 2.448.808,-	€ 2.395.842,-	+ 2,1%
Prijs per m <sup>3</sup>	€ 388,-	€ 380,-	+ 2,1%

Figuur 5.6. Overzicht berekende kosten productiegebouw Y

**5.3.3. Resultaten gevoeligheidsanalyse**

Dezelfde gevoeligheidsanalyse, als in paragraaf 5.2.3, is uitgevoerd met betrekking tot de resultaten van productiegebouw Y. In bijlage 13 zijn alle rekenresultaten weergegeven. De belangrijkste resultaten zijn als volgt.

Indien de drie parameters gewicht procesapparatuur, brandveiligheid en esthetica beschouwd worden, kan opgemerkt worden dat de parameter esthetica het grootste invloed heeft op de totale gebouw-



*Figuur 5.7. Opbouw gebouwkosten Y naar parameters.*

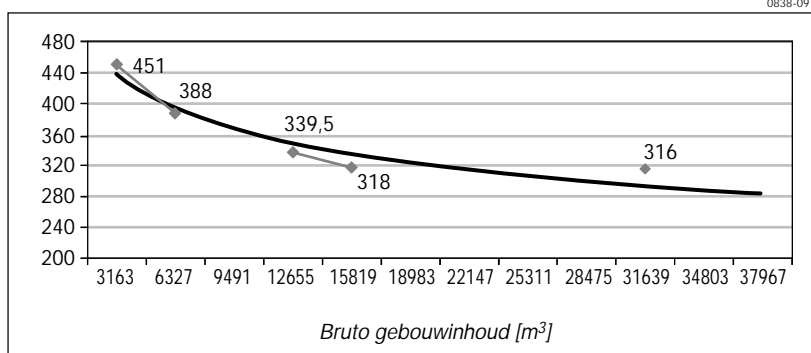
kosten (en dus de kubieke meter prijs). Indien de parameter esthetica gevarieerd wordt wat betreft haar classificatie, veroorzaakt deze parameter namelijk de grootste afwijkingen van de berekende gebouwkosten met de werkelijke gebouwkosten. Daarna volgen respectievelijk de parameter gewicht van procesapparatuur en de parameter brandveiligheid.

Indien een bepaalde parameter wordt gevarieerd in haar classificatie, is te zien dat deze parameter een relatief grote variatie qua percentage van de totale berekende gebouwkosten doorloopt. Dat wil zeggen dat, indien een „duurdere” klasse wordt gekozen, de parameter een groter aandeel in de totale gebouwkosten heeft. Tevens valt in deze situatie op, dat de andere parameters dan een relatief kleine tegenovergestelde variatie doormaken, dat wil zeggen een kleiner aandeel uitmaken in de totale gebouwkosten. Daarbij is ook op te merken dat, deze variaties in percentages nagenoeg gelijk zijn, bij elke gevarieerde parameter.

De parameter 3D-configuratie is ook gevarieerd. Eerst is de inhoud een half keer verkleint, daarna is de inhoud twee keer en vervolgens vijf keer vergroot. De vergroting is gebaseerd op achtereenvolgens de lengte, de breedte en de hoogte te variëren. Bij de resultaten van deze volumeveranderingen is te zien dat de parameter esthetica de grootste variatie toont in haar percentage van de totaal berekende gebouwkosten. Daarna volgen de drie parameters gewicht van de procesapparatuur, brandveiligheid en afwerkingniveau. Nauwelijks variatie toont de overige parameter HVAC.

Twee opmerkingen dienen hierbij nog vermeld te worden. De eerste is dat, indien het volume van het productiegebouw vergroot wordt tot vijf maal ten opzichte van tweemaal de grootte van de werkelijke grootte de vijf parameters nauwelijks variatie vertonen in de percentages van de totaal berekende gebouwkosten. Ten tweede valt op dat, als het volume groter wordt, de parameter esthetica als enige parameter qua percentage van de totaal berekende gebouwkosten afneemt, terwijl de andere parameters afwerkingniveau, HVAC, brandveiligheid en gewicht procesapparatuur toenemen. Indien de inhoud verkleind wordt, is de situatie in dezelfde verhoudingen tegengesteld.

Ten slotte is in figuur 5.8 een mogelijk verband middels een trendlijn weergegeven tussen de kubieke meter prijs en de bruto gebouw inhoud. Per vergroting of verkleining van de gebouwinhoud zijn de waarden van de kubieke meter prijs bij een variatie in de breedte en een variatie in de lengte gemiddeld. In de figuur is te zien dat de kubieke meter prijs daalt, indien de gebouwinhoud groter wordt.



*Figuur 5.8. Mogelijk verband tussen kubieke meter prijs en bruto gebouwinhoud productiegebouw Y.*

#### 5.4. Productiegebouw Z

##### 5.4.1. Uitgangssituatie

Het derde productiegebouw betreft productiegebouw Z. Dit productiegebouw is in 1998 op het terrein van DSM-Gist gerealiseerd. Het hoofdproces in dit gebouw is het farmaceutische proces. Met name de fermentatieprocessen, het DSP en de kantoorwerkzaamheden worden gehuisvest. Aangezien de nacalculatorische kosten recent zijn afgerond, bedragen de kosten (medio 2002) € 12.929.090,- en is de kubieke meter prijs van € 320,-.

Productiegebouw Z is opgebouwd uit vijf verdiepingen. Een vereenvoudigde 3D-tekening is gegeven in bijlage 10. In figuur 5.9 zijn de kerngegevens weergegeven, die uit de bouwtekeningen van productiegebouw Z zijn verkregen.

Parameter	Aantal	Hoogte	
<i>3D-configuratie</i>	Vloeroppervlak 1:	1805 m <sup>2</sup>	7 m
	Vloeroppervlak 2:	1805 m <sup>2</sup>	6 m
	Vloeroppervlak 3:	1734 m <sup>2</sup>	5 m
	Vloeroppervlak 4a:	1538 m <sup>2</sup>	4,7 m
	Vloeroppervlak 4b:	117 m <sup>2</sup>	3,3 m
	Gebouwomtrek:	228 m	
<i>Afwerkingniveau</i>	Geveloppervlak:	6848 m <sup>2</sup>	
	Zwart:	5122 m <sup>2</sup>	
	Grijs:	257 m <sup>2</sup>	
	Wit:	82 m <sup>2</sup>	
Parameter	Keuze		
<i>Esthetica</i>	Highbudget		
<i>Brandveiligheid</i>	Niet brandgevaarlijk		
Factor	Keuze		
<i>Geluidsniveau</i>	30 dB(A)		
<i>Complexiteit</i>	Wel complex		
<i>Bodemgesteldheid</i>	Slecht draagkrachtig		
<i>Bouwbaarheid</i>	maximaal bebouwd		

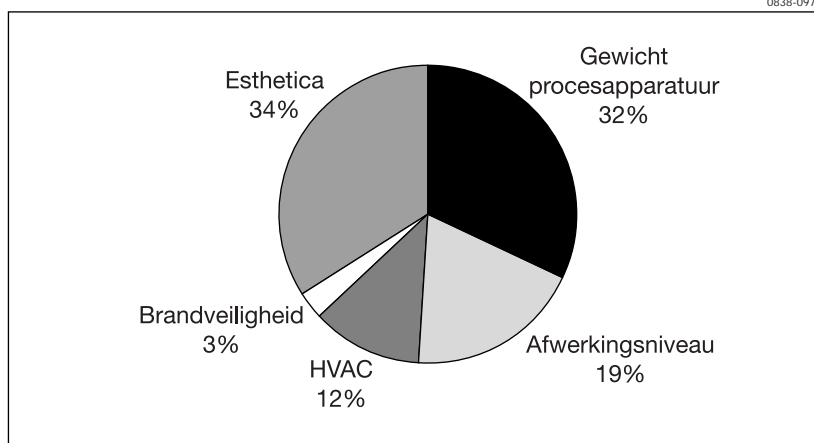
Figuur 5.9. Bekende kerngegevens van productiegebouw Z

#### 5.4.2. Resultaten berekening gebouwkosten

Deze (onafgeronde) gegevens zijn ingevuld in de Excel-sheet „In-vulformat Raming van gebouwkosten”. Deze is te vinden in bijlage 15. Hier komen de volgende resultaten naar voren.

	Berekend	Werkelijk	Vershil in %
Totale gebouwkosten	€ 13.644.800,-	€ 12.292.090,-	+ 5,6%
Prijs per m <sup>3</sup>	€ 338,-	€ 320,-	+ 5,6%

Figuur 5.10. Overzicht berekende kosten productiegebouw Z



Figuur 5.11. Opbouw totale gebouwkosten Z naar parameters.

#### 5.4.3. Resultaten gevoeligheidsanalyse

Dezelfde gevoeligheidsanalyse, als in paragraaf 5.2.3, is uitgevoerd met betrekking tot de resultaten van productiegebouw Z. In bijlage 15 zijn alle rekenresultaten weergegeven. De belangrijkste resultaten zijn als volgt.

Indien de drie parameters gewicht procesapparatuur, brandveiligheid en esthetica beschouwd worden, kan opgemerkt worden dat de parameter esthetica het grootste invloed heeft op de totale gebouwkosten (en dus de kubieke meter prijs). Indien de parameter esthetica gevarieerd wordt wat betreft classificatie, veroorzaakt deze parameter namelijk de grootste afwijkingen van de berekende gebouwkosten met de werkelijke gebouwkosten. Daarna volgen respectievelijk de parameter brandveiligheid en de parameter gewicht van procesapparatuur.

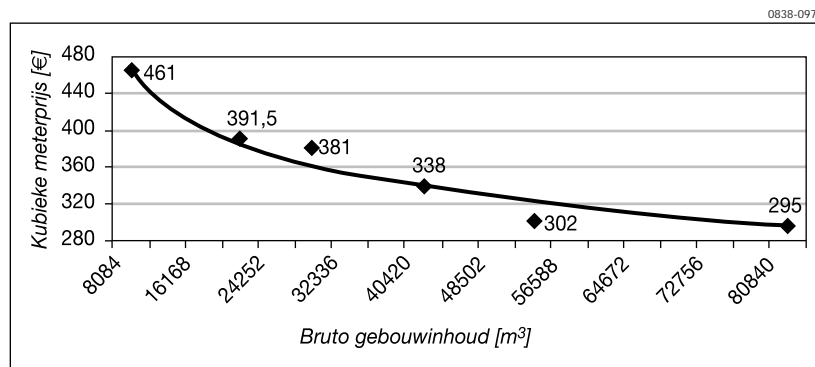
Indien een bepaalde parameter wordt gevarieerd in haar classificatie, is te zien dat deze parameter een relatief grote variatie qua percentage van de totale berekende gebouwkosten doorloopt. Dat wil zeggen dat, indien een „duurdere” klasse wordt gekozen, de parameter een groter aandeel in de totale gebouwkosten heeft. Tevens valt in deze situatie op, dat de andere parameters dan een relatief kleine tegenovergestelde variatie doormaken, dat wil zeggen een kleiner aandeel uitmaken in de totale gebouwkosten. Daarbij is ook op te merken dat, deze variaties in percentages nagenoeg gelijk zijn, bij elke gevarieerde parameter.



De parameter 3D-configuratie is ook gevarieerd. Eerst is de inhoud een half keer verkleint, daarna is de inhoud twee keer en vervolgens vijf keer vergroot. De vergroting is gebaseerd op achtereenvolgens de lengte, de breedte en de hoogte te variëren. Bij de resultaten van deze volumeveranderingen is te zien dat de parameter esthetica de grootste variatie toont in haar percentage van de totaal berekende gebouwkosten. Daarna volgen de drie parameters gewicht van de procesapparatuur, brandveiligheid en afwerkingniveau. Nauwelijks variatie toont de overige parameter HVAC.

Twee opmerkingen dienen hierbij nog vermeld te worden. De eerste is dat, indien het volume van het productiegebouw vergroot wordt tot vijf maal ten opzichte van tweemaal de grootte van de werkelijke grootte de vijf parameters nauwelijks variatie vertonen in de percentages van de totaal berekende gebouwkosten. Ten tweede valt op dat, als het volume groter wordt, de parameter esthetica als enige parameter qua percentage van de totaal berekende gebouwkosten afneemt, terwijl de andere parameters afwerkingniveau, HVAC, brandveiligheid en gewicht procesapparatuur toenemen. Indien de inhoud verkleind wordt, is de situatie in dezelfde verhoudingen tegengesteld.

Ten slotte is in figuur 5.12 een mogelijk verband middels een trendlijn weergegeven tussen de kubieke meter prijs en de bruto gebouw inhoud. Per vergroting of verkleining van de gebouwinhoud zijn de waarden van de kubieke meter prijs bij een variatie in de breedte en een variatie in de lengte gemiddeld. In de figuur is te zien dat de kubieke meter prijs daalt, indien de gebouwinhoud groter wordt.



Figuur 5.12. Mogelijk verband tussen kubieke meter prijs en bruto gebouwinhoud productiegebouw Z.

### 5.5. *Discussie van de resultaten*

#### 5.5.1. *Resultaten berekening gebouwkosten*

Het eerste discussiepunt betreft de afwijkingen tussen de berekende gebouwkosten en de werkelijke gebouwkosten van de drie productiegebouwen. De volgende afwijkingen zijn gevonden:

- Productiegebouw X: + 2,3%;
- Productiegebouw Y: + 2,1%;
- Productiegebouw Z: + 5,6%.

Ten eerste valt op dat de berekende gebouwkosten van de drie productiegebouwen alle drie hoger uitvallen dan de werkelijke gebouwkosten; echter, ze vallen binnen de nauwkeurigheidsmarges van het beoogde type kostenraming (namelijk die van de programmafase met een maximale afwijkingmarge van - 10%/+ 40%).

Ten tweede valt op dat de afwijkingen van productiegebouwen X en Y beide ongeveer dezelfde afwijking hebben. Dat deze productiegebouwen bijna dezelfde afwijking hebben in vergelijking tot productiegebouw Z kan liggen aan de volumes van de productiegebouwen. De volumes van productiegebouw X (8511 m<sup>3</sup>) en productiegebouw Y (6327 m<sup>3</sup>) komen namelijk vrijwel overeen in vergelijking met productiegebouw Z (40422 m<sup>3</sup>).

Daarentegen dient opgemerkt te worden dat de klassen van de parameters brandveiligheid en esthetica van productiegebouwen X en Y niet overeenkomen. Overigens komen de klassen van productiegebouw Z ook niet overeen met productiegebouw X dan wel productiegebouw Y. Hetzelfde geldt voor de parameter afwerkingniveau. De percentages 97% (productiegebouw X), 87% (productiegebouw Y) en 94% (productiegebouw Z) komen namelijk niet overeen.

*Ook* is er geen verband bij de factoren te vinden. Op de factor complexiteit na, zijn de klassen van de factoren van de drie productiegebouwen gelijk. Wat betreft de complexiteit zijn productiegebouwen Y en Z beide complex; productiegebouw X is niet complex.

#### 5.5.2. *Resultaten gevoeligheidsanalyses*

Als tweede discussiepunt komen de resultaten uit de gevoeligheidsanalyses aan bod. *Ten eerste* dient opgemerkt te worden, dat in de opbouw van de totaal berekende gebouwkosten het percentage van dezelfde parameter bij elk productiegebouw niet overeenkomt. Dat

ligt op het eerste gezicht voor de hand, aangezien in de vorige paragraaf al naar voren gekomen is dat de klassen van de parameters niet overeenkomen. Om deze reden worden de waargenomen trends bij de drie productiegebouwen in deze paragraaf in verhouding tot elkaar vergeleken en beschreven.

Ook is bij de drie productiegebouwen te zien, dat, indien een bepaalde parameter in haar klasse gevarieerd wordt, deze parameter zelf qua percentage van de totale berekende gebouwkosten een grote variatie doormaakt, terwijl de percentages van de overige parameters vrijwel een relatief kleine tegenovergestelde variatie doormaken. Deze geconstateerde variaties in percentages van de totale berekende gebouwkosten zijn bij de drie productiegebouwen vrijwel gelijk.

Verder is gekeken naar de gevoeligheid van de kostenfunctie per parameter. Wat betreft de parameter *gewicht van procesapparatuur* kan gezegd worden dat deze als percentage van de totale berekende gebouwkosten sterker stijgt dan percentages van de andere parameters bij een volumevergroting van de productiegebouwen. Ook veroorzaakt deze parameter bij productiegebouw X de grootste afwijking in totale berekende gebouwkosten van de totale werkelijke gebouwkosten, wanneer deze parameter gevarieerd wordt in haar klasse. Bij productiegebouwen Y en Z is deze afwijking minder in vergelijking met de parameter *esthetica*.

De parameter *brandveiligheid* toont nauwelijks variatie in de percentage van de totale berekende gebouwkosten, indien er volumevergroting optreedt bij de drie productiegebouwen. Wel stijgt dit percentage bij volumevergroting. Deze parameter veroorzaakt ook de kleinste afwijking in totale berekende gebouwkosten van de totale werkelijke gebouwkosten van de drie productiegebouwen, wanneer deze parameter gevarieerd wordt in haar klasse.

De parameter *esthetica* gedraagt zich tegenovergesteld aan de parameters *brandveiligheid* en *gewicht van procesapparatuur*, in geval van volumevergroting bij de drie volumevergrotingen. Deze parameter neemt namelijk in percentage van de totale berekende gebouwkosten af. Deze afname is ook behoorlijk groot in vergelijking met de toenames van de andere parameters. Tevens veroorzaakt de parameter *esthetica* de grootste afwijking tussen de totale berekende gebouwkosten en totale werkelijke gebouwkosten bij de productiegebouwen Y en Z.

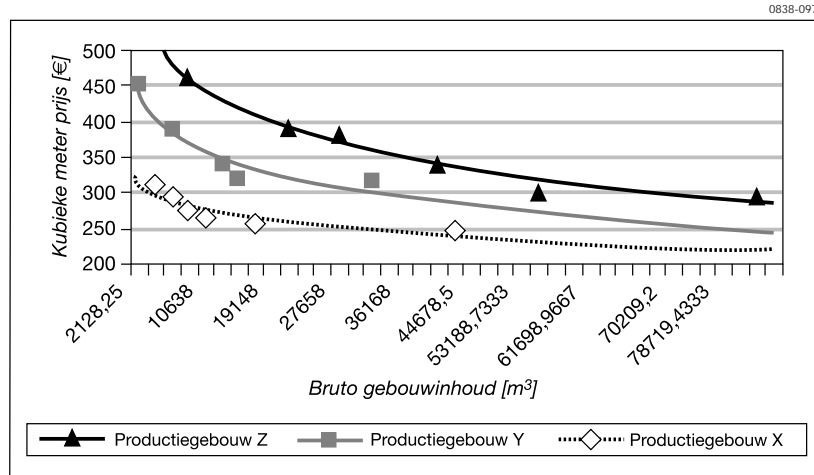
De parameter *afwerkingniveau* en *HVAC* zijn, zoals eerder aangegeven niet gevarieerd in hun klassen. Echter, bij volumevergrotingen zijn deze parameters in verhouding tot het aantal kubieke meters vloeroppervlak wel gevarieerd. De parameters *afwerkingniveau* en *HVAC* tonen in dat geval bij al de drie productiegebouwen een geringe toename, waarbij de parameter *afwerkingniveau* een grotere toename heeft dan de parameter *HVAC*.

Als laatste punt komt de parameter *3D-configuratie* aan bod. Nogmaals dient opgemerkt te worden dat met betrekking tot de andere parameters bij al de drie productiegebouwen te zien is, dat:

- naarmate de inhoud van de productiegebouw vergroot wordt, de kosten van de parameter *esthetica* daalt als percentage van de totale berekende gebouwkosten, terwijl de kosten van de andere parameters daarentegen stijgen, weliswaar in mindere mate;
- naarmate de inhoud van de productiegebouw verkleind wordt, de kosten van de parameter *esthetica* stijgt als percentage van de totale berekende gebouwkosten, terwijl de kosten van de andere parameters daarentegen dalen.

Tevens zijn in figuur 5.13 de verbanden tussen de *kubieke meter* prijzen van productiegebouwen X, Y en Z bij volumeverandering weergegeven (trendlijnen). Hierin is te zien dat de kubieke meter prijzen van productiegebouw Z bij vergelijking van dezelfde volumes hoger liggen dan de kubieke meter prijzen van productiegebouwen X en Y. De kubieke meter prijzen van productiegebouwen liggen het laagste van de drie productiegebouwen. Voor de hand ligt dat deze kubieke meter prijzen verschillen, aangezien de klassen van de drie productiegebouwen onderling verschillen.

Bij de drie trendlijnen is echter duidelijk te zien dat de kubieke meter prijzen bij al de drie productiegebouwen dalen bij een toename van het volume. Daarbij kan gezegd worden dat hoe kleiner het volume is, hoe sneller de kubieke meter prijs sterk stijgt bij een volumeverandering. Daarentegen stijgt de kubieke meter prijs minder snel bij grote volumes.



Figuur 5.13. Vergelijking verbanden tussen kubieke meter prijs en bruto gebouwinhoud drie productiegebouwen.

## 6. Conclusies & aanbevelingen

### 6.1. Conclusies

Dit onderzoek heeft getracht inzicht te geven in de parameters, factoren en randvoorwaarden, die in de programmafase een rol spelen bij het opstellen van een betrouwbare methode om de gebouwkosten van een productiegebouw (zonder procesgebonden installaties) met een minimale nauwkeurigheid van  $-10\%$  en  $+40\%$  te ramen.

Aangezien in de literatuur weinig is geschreven over de verschillende parameters en randvoorwaarden, die van invloed zijn op de gebouwkosten van productiegebouwen, is het theoretische *model van Charité* ontwikkeld. Dit model:

- is geschikt voor parameters en factoren die van invloed zijn op *meerlaagse productiegebouwen* (met stalen skelet) in de food/pharmaceutische industrie in Nederland;
- is geschikt om parameters en factoren *functioneel* te achterhalen in de *programmafase*;
- heeft de volgende *parameters* opgeleverd (die directe invloed hebben op de gebouwkosten): gewicht van procesapparatuur, brandveiligheid, esthetica, afwerkingniveau, HVAC en 3D-configuratie van de procesapparatuur;
- heeft de volgende *factoren* opgeleverd (die directe invloed hebben op de parameters): complexiteit, bodemgesteldheid, geluidsniveau en bouwbaarheid.

Om de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid te toetsen, is een *kostenfunctie* op basis van de (samenhang tussen deze) parameters en factoren ontwikkeld. Deze kostenfunctie is geschikt:

- om alternatieven te vergelijken in de programmafase. Het rekenmodel ondersteunt beslissingen door verschillende alternatieven qua financiële consequenties snel, makkelijk en eenvoudig naast elkaar te leggen;
- als een goed multidisciplinair communicatiemiddel;
- om vooraf een bepaald budget voor het ontwerp vast te stellen, zonder dat de ontwerpende partij hoeft in te boeten voor creativiteit.

De resultaten van berekeningen met deze kostenfunctie hebben aangetoond, dat:

- de kostenfunctie de *grootste gevoeligheid* toont bij de parameter 3D-configuratie. Daarna volgen respectievelijk de parameters esthetica en gewicht van de procesapparatuur;
- de kostenfunctie de *kleinste gevoeligheid* toont bij de parameter *brandveiligheid*;
- de *kubieke meter prijs* van een productiegebouw waarschijnlijk logaritmisch of exponentieel afneemt, indien een productiegebouw vergroot wordt;
- de *invloed* van de parameter esthetica op de totale gebouwkosten sterk afneemt in geval van volumevergroting, terwijl de invloed van de andere parameters (met name gewicht van de procesapparatuur) toenemen.

De beperkingen aan deze kostenfunctie zijn, dat:

- deze kostenfunctie qua gebruik inzicht vereist;
- de waarden van de factoren en de kostenkengetallen van de parameters onderhevig aan inflatie, waardoor de prijsindex meegenomen dient te worden;
- de parameters tijd, escalatie, recente marktontwikkelingen, die in de praktijk zeker een rol kunnen spelen, niet zijn meegenomen;
- de gevoeligheid van deze kostenfunctie met betrekking tot de parameters afwerkingniveau en HVAC ten dele onderzocht is bij de parameter 3D-configuratie;
- de waarden, die aan de factor complexiteit zijn toegekend, grof geschat zijn en niet voor 100% zekerheid aangenomen mogen worden.
- de betrouwbaarheid niet statistisch aangetoond is, vanwege een te kleine populatie;

Echter, er zijn wel degelijk signalen van *betrouwbaarheid* van deze kostenfunctie aanwezig, aangezien:

- de berekende gebouwkosten van drie reeds gerealiseerde productiegebouwen van DSM-Gist met respectievelijk + 2.1%, + 2.3% en + 5.6% ruimschoots binnen de nauwkeurigheidsmarges vallen van - 10%/+ 40%;
- deze drie productiegebouwen *representatief* zijn voor productiegebouwen in de Nederlandse food- en farmaceutische industrie;
- de, op elke productiegebouw toegepaste, gevoeligheidsanalyses met betrekking tot de parameters dezelfde resultaten (trends) aangetoond hebben.

### 6.2. Aanbevelingen

Het verdient de aanbeveling onderzoek te doen of het *model van Charité* ook geldt voor:

- een productiegebouw op een andere locatie dan een industrieterrein (bijv. een woonwijk);
- andere soorten utiliteitsbouwobjecten, zoals ziekenhuizen;
- een industrieterrein bestaande uit meerdere productiegebouwen; dat wil zeggen of alle (systeem-) eigenschappen ook van toepassing zijn op het industrieterrein in z'n geheel.

Daarnaast kan verder onderzoek gedaan worden naar:

- het verschil tussen het *pharmaceutische* en het *food proces*, zodanig dat gekeken wordt of er significante verschillen zijn qua gebouwkosten, wanneer deze twee processen niet als gelijksoortige en gelijkwaardige processen beschouwd worden;
- de vraag of de in dit onderzoek voor farmaceutische food processen geanalyseerde parameters en factoren voor *andersoortige processen* hetzelfde zijn als.

De derde aanbeveling is op het gebied van de *kostenkengetallen* en waarden van factoren. Het verdient ter aanbeveling om:

- alle projectkosteninformatie van eerder gerealiseerde gelijksoortige productiegebouwen te verzamelen en zorgvuldig te documenteren in de vorm van een (historische) kostendatabase;
- vervolgens deze database up-to-date gehouden worden;
- na een aantal jaren van verzameling en documentatie, met behulp van een statistische analyse meer betrouwbare kostenkengetallen op te stellen.

Op het gebied van de *kostenfunctie*, wordt aanbevolen:

- om de waarden van de factor complexiteit nader te onderzoeken;
- om de rol van de parameters tijd, escalatie en recente marktontwikkelingen nader te onderzoeken, met name te kijken of en hoe deze opgenomen kunnen worden in een kostenfunctie;
- om ten slotte de betrouwbaarheid van de kostenfunctie met behulp van meer cases en de statistiek te onderzoeken.

Afsluitend verdient het zeer ter aanbeveling om de bedrijfstak bouw te interesseren voor het gedachtegoed van *cost engineering*.

### **Bronvermelding**

- AACE International**, *Certification Study Guide*, Second edition, Morgantown, USA, 1998.
- AACE International**, *Skills & Knowledge of Cost Engineering*, 4<sup>th</sup> edition, Morgantown, USA, 1999.
- AACE International**, *1995 Transactions*, Morgantown, USA, 1995.
- AACE International**, *1996 Transactions*, Morgantown, USA, 1996.
- AACE International**, *1997 Transactions*, Morgantown, USA, 1997.
- AACE International**, *1998 Transactions*, Morgantown, USA, 1998.
- AACE International**, *1999 Transactions*, Morgantown, USA, 1999.
- Abeelen, H.P.M. van**, *Basis Constructieleer*, St. Kennisoverdracht SG, Rotterdam, Nederland, 1998.
- Adriaansen, W.L.M.**, et al., *(Over)spannend staal, deel 1 basisboek*, St. Kennisoverdracht SG, Rotterdam, Nederland, 1996.
- Bergeyk, K. van, A.J. Liedekerken**, *Procestehnologie, deel 1*, Educaboek bv, Culemborg, Nederland, 1968.
- Bonebakker, M., e.a.**, *Hogere Bouwkunde Jellema*, Waltman, Leiden, Nederland, 1998.
- Bootsma, H.**, *Kosten begroten en kosten beheersen bij investeringen*, Kluwer Technische Boeken BV, Deventer, Nederland, 1985.
- Brandon, P.S., et al.**, *Cost planning of buildings*, 7<sup>th</sup> edition, Blackwell Science, 1999.
- Brook, M.**, *Estimating and tendering for construction work*, second edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, Great Britain, 1998.
- Breunissen, H.A.**, *Een standaardsystematiek voor kostenramingen in het ontwerpproces van GWW-projecten*, Afstudeerrapport Civiele Technologie & Management, Universiteit Twente, Enschede, 1997.



- Clark, F.D., A.B. Lorenzoni**, *Applied Cost Engineering*, Third edition, Marcel Dekker Inc., New York, USA, 1997.
- CBS**, *Consumentenprijsindexcijfers, Basisjaren 1990 en 1995*, Divisie macro-economische statistieken en publicaties, Heerlen, Nederland.
- DSM**, *Publieksmilieujaarsverslag 2000*, mei 2001, Delft, Nederland.
- Dutch Association of Cost Engineers**, *Handboek Cost Engineers*, Samson, Alphen a/d Rijn, Nederland, 1989.
- Engelsman, C.G.**, *Algemene bouwkunde*, achtste druk, Waltman, Delft, Nederland, 1988.
- Geerligts, H.J.**, *Normalisatie: Een kwestie van goede afspraken...*, Den Haag, Nederland, 2000.
- Gerrard, A.M.**, *Guide to Capital Cost Estimating*, Fourth edition, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire, UK, 2000.
- Groote, G.P., P. Slikker, C.J. Hugenholtz-Sasse, e.a.**, *Projecten leiden*, achtste druk, Het Spectrum, Utrecht, Nederland, 1997.
- De Grote Oosthoek**, Encyclopedie en woordenboek, deel 8, Oosthoek's Uitgeversmaatschappij BV, Utrecht, Nederland, 1976.
- Haar, E. ter**, *Gebouwkostenkennis, een analyse van de instrumenten voor de vroege planfasen*, Delftse Universitaire Pers, Delft, Nederland, 1991.
- Interview met F.P. Charité** (DSM-Gist BV), over cost engineering en utiliteitsbouw in de procesindustrie, te Delft, 9 januari 2002, 5 en 18 april 2002, 16 mei 2002.
- Interview met A.W. Dekker** (Horizon College), over kostenramingen in de bouw, te Heerhugowaard, 22 november 2001.
- Interview met H. Kalenkamp** (Grolsche Bierbrouwerij BV), over kostenramingen bij bierbrouwerijen, te Enschede, 23 januari 2002
- Interview met R. Kamperveen** (DSM-Gist BV), over de discipline Process Design en Mechanical Engineering, te Delft, 22 januari 2002.
- Interview met J.F.M. Strik** (Brink Groep), over kostenramingen in de utiliteitsbouw en de parameters die daarbij een rol spelen, te Leidschendam, 8 januari 2002.
- Interview met A. Vlug** (DSM-Gist BV), over (kostenramingen in) de discipline Mechanical Engineering, te Delft, 19 februari 2002.
- Interview met J. Weber** (Brink Groep), over het softwareprogramma Ibis-Calc en andersoortige kostenramingsmethodes, te Leidschendam, 2002.
- Kharbanda, O.P., E.A. Stallworthy, L.F. Williams**, *Project Cost Control in Action*, second edition, Gower Technical Press Limited, Aldershot (Hampshire), England, 1987.

- Kooiker, E.**, *Collegedictaat bouweconomie en -management*, Universiteit Twente, Enschede, Nederland, 1993.
- Koopman, B.F.**, *Bedrijfskunde 3, Utiliteitsbouw*, eerste druk, Stam Techniek, Houten, Nederland, 1995.
- Kranendonk, P.F.**, *Bouwkostenmanagement*, Berenschot Osborne, derde druk, Elsevier, Doetinchem, Nederland, 1999.
- Kroon, H.**, *Reader begroten, budgettering, kosten beheersen*, Universiteit Twente, Enschede, Nederland, 1999.
- Lewis, B.T.**, *Management handbook for Plant Engineers*, McGraw-Hill, Englewood Cliffs, USA, 1977.
- Michaels, J.V., W.P. Wood**, *Design to cost*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1989.
- NAP-DACE**, *15<sup>th</sup> International Cost Engineering Congress. Transactions volume I*, Nederland, 1998
- NAP-DACE**, *15<sup>th</sup> International Cost Engineering Congress. Transactions volume II*, Nederland, 1998.
- NAP-DACE**, *PrijXboekje, 21<sup>e</sup> editie*, Elsevier bedrijfsinformatie, Drukkerij Weevers, Vorden, Nederland, december 2000.
- Navarrete, P.F.**, *Planning, estimating and control of chemical construction projects*, Marcel Dekker Inc., New York, USA, 1995.
- Neil, J.M.**, *Construction cost estimating for project control*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA, 1982, p. 312-319.
- Nederlands Normalisatie-instituut**, *NEN 2631, Investeringskosten van gebouwen, Begripsomschrijvingen en indeling*, Delft, Nederland, 1979.
- Nederlands Normalisatie-instituut**, *NEN 2632, Exploitatiekosten van gebouwen, Begripsomschrijvingen en indeling*, Delft, Nederland, 1979.
- Nederlands Normalisatie-instituut**, *NEN 2634, Begrotingen van bouwkosten, Termen definities en regels voor het overdragen van gegevens over kosten en bijbehorende kwaliteit*, Delft, Nederland, 1979.
- Ostwald, P.F.**, *Construction cost analysis and estimating*, University of Colorado at Boulder, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2001.
- Peters, J.**, *Functioneel begroten functioneel? Een onderzoek in het kader van de doctoraalopdracht van Technische Bedrijfskunde*, Universiteit Twente, Enschede, Nederland, 1997.
- Poortema, K.**, *Dictaat Statistiek 1*, Universiteit Twente, Enschede, Nederland, 1998.
- Potts, K.**, *Major Construction Works, contractual and financial management*, Longman Group Limited, England, 1995.

- Smook, R.A.F.**, *Organisatie van het bouwen*, Collegedictaat CTbd211, TU Delft, Delft, Nederland, 1995.
- Stewart, R.D.**, *Cost Estimating*, second edition, John Wiley & Sons Inc., New York, USA, 1991.
- Verschuren, P., H. Doorewaard**, *Het ontwerpen van een onderzoek*, Lemma bv, Utrecht, Nederland, 1995.
- Vrijland, M.S.A.**, *Dictaat Proceseconomie & Cost Engineering*, Universiteit Twente, Enschede, Nederland, 1999.
- Westney, R.E.**, *The Engineer's Cost Handbook*, Marcel Dekker Inc., New York, USA, 1997.
- Whittaker, R.**, *Project Management in the process industries*, John Wiley & Sons, Chichester, England, 1995.
- Wildt, R. de**, *Bouwkwaliteit en bouwkosten: architect en bouwkostenkunde*, Nieuwsbrief N.V.B.K. mei 1992, Nederlandse Vereniging van Bouwkostendeskundigen, Nederland, 1992.
- Woude, D.H.J. van der**, *Kostenbeheersing in de bouw*, Waltman, Delft, Nederland, 1992.

## **Bijlagen**

1. Onderzoeksmodel
2. Voorbeeld Elementenmethode
3. Voorbeeld Aannemersbegroting
4. Uitgewerkte kostenramingsmethodieken procesindustrie
5. Uitgewerkte functieboom
6. Model van Charité voor farmaceutische en food productiegebouwen
7. Excel-sheet „Format Raming van de gebouwkosten”
8. Onderbouwing kostenkengetallen
9. Vereenvoudigde 3D-tekeningen van de drie productiegebouwen
10. Excel-sheet „productiegebouw X”
11. Gevoeligheidsanalyse productiegebouw X
12. Excel-sheet „productiegebouw Y”
13. Gevoeligheidsanalyse productiegebouw Y
14. Excel-sheet „productiegebouw Z”
15. Gevoeligheidsanalyse productiegebouw Z