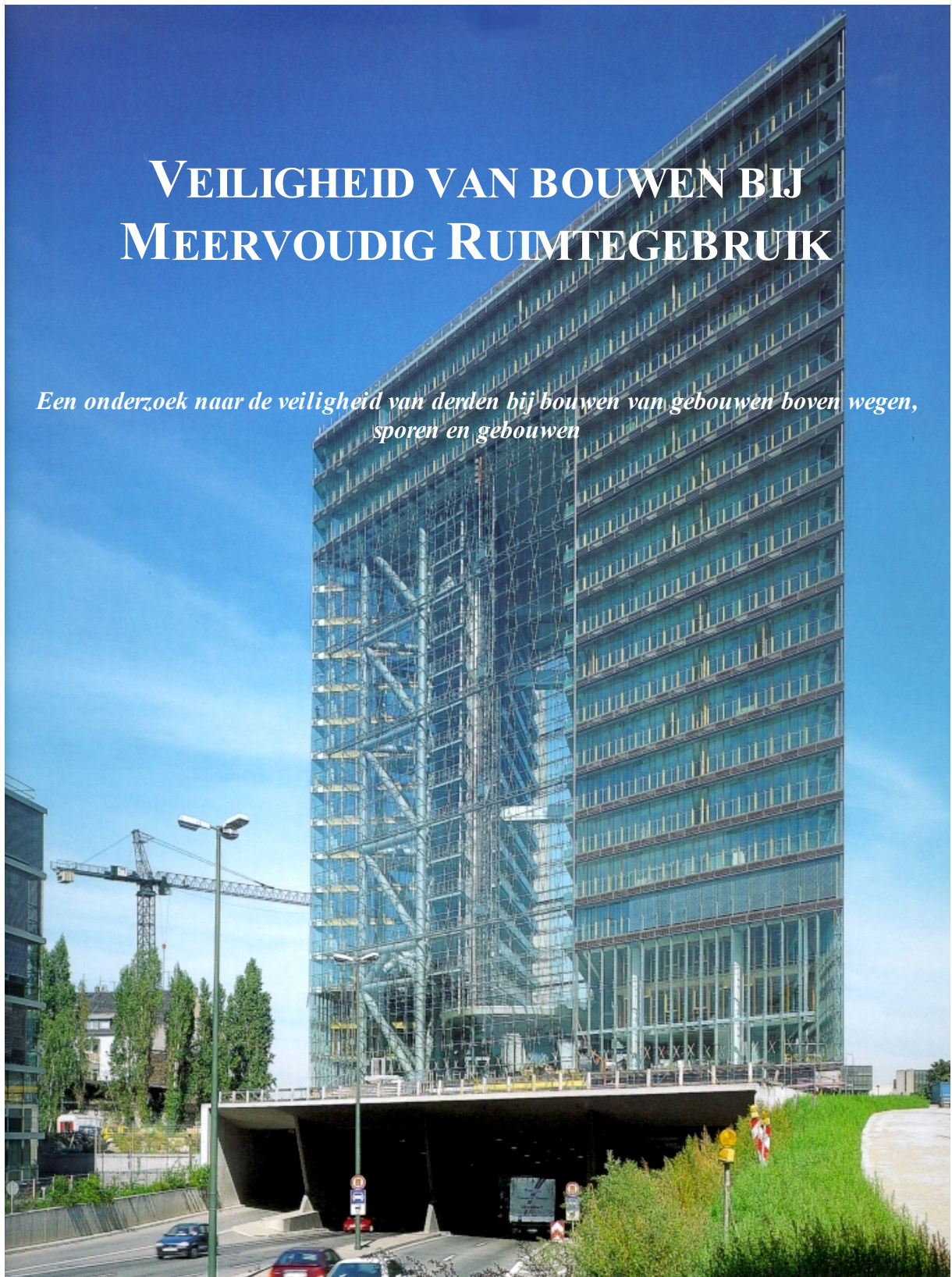


# VEILIGHEID VAN BOUWEN BIJ MEERVOUDIG RUIMTEGEBRUIK

*Een onderzoek naar de veiligheid van derden bij bouwen van gebouwen boven wegen,  
sporen en gebouwen*



**S.I. SUDDLE**



# **VEILIGHEID VAN BOUWEN BIJ MEERVOUDIG RUIMTEGEBRUIK**

*Een onderzoek naar de veiligheid van derden bij bouwen van gebouwen boven wegen,  
sporen en gebouwen*

# VEILIGHEID VAN BOUWEN BIJ MEERVOUDIG RUIMTEGEBRUIK

*Een onderzoek naar de veiligheid van derden bij bouwen van gebouwen boven wegen,  
sporen en gebouwen*

AFSTUDEERRAPPORT

April 2001

Naam: *SHAHID IQBAL SUDDLE*

Afstudeerdatum: 1 mei 2001 om 16.00u, Collegezaal G, Faculteit Civiele Techniek en  
Geowetenschappen, subfaculteit Civiele Techniek

Afstudeerrichting: Bouwtechniek & Bouwproces  
Sectie Gebouwen en Bouwtechniek

Afstudeercommissie: Prof.dipl.-ing. J.N.J.A. Vamberský  
Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder  
Dr.ir. P.H. Waarts  
Ir.drs. Th.S. de Wilde

*Aan mijn ouders...*



***De verstandige doet alle moeite alles goed te doen.  
De wijze doet alle moeite zo min mogelijk verkeerd te doen.***

*(Perzisch spreekwoord)*

# V O O R W O O R D

Dit is de vrucht van het onderzoek *Veiligheid van bouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik*. Het onderzoek vormt een fundament bij de beoordeling van het veiligheidsaspect van passanten tijdens de uitvoering van het bouwproces bij het bouwen boven wegen, sporen en gebouwen (in dit rapport aangeduid als bouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik). De studie is verricht in het kader van de afstudeerfase aan de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft. De afstudeerrichting is Bouwtechniek & Bouwproces, sectie Gebouwen en Bouwtechniek.

Het speerpunt in deze studie is het veiligheidsaspect van derden, dat wil zeggen, de veiligheid van personen die niet expliciet in het bouwproces betrokken zijn, zoals weggebruikers van de autowegen waarboven gebouwd. Hierbij is het veiligheidsaspect zowel in maatschappelijke zin als in economische zin ontplooid. Als gevolg van de schaars wordende ruimte in binnensteden, is de laatste jaren in West-Europa de stimulering van dergelijke projecten in zwang geraakt. Beheersing van de veiligheid is één van de aspecten die een cruciale rol spelen bij het geven van groen licht teneinde projecten met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik te bewerkstelligen. Het fenomeen Meervoudig Ruimtegebruik geassocieerd met het veiligheidsaspect behoort daarmee tot de actuele uitdagingen voor civiel-technici.

In dit rapport is op wetenschappelijke wijze het veiligheidsaspect benaderd met behulp van een risico-analyse welke middels Bayesiaanse Netwerken in kaart is gebracht, waarna het veiligheidsaspect is geoptimaliseerd. Getracht wordt de lezer inzicht te geven in de scenario's en fenomenen van het veiligheidsaspect van derden gedurende de uitvoeringsfase van het bouwproces, waarbij het begrip Meervoudig Grondgebruik centraal staat. Het allesomvattende van zulk een aspect is penibel te visualiseren, doch desalniettemin heb ik getracht de meest obligatoire dimensies van deze te schetsen.

Ik ben veel dank verschuldigd aan verscheidene mensen. Volledigheidshalve ben ik genooddaakt al deze personen bij name te vermelden en te onderscheiden. Allicht gaat mijn dankbetuiging allereerst uit naar de leden van de afstudeercommissie:



Prof.dipl.-ing. J.N.J.A. Vamberský	- voorzitter commissie (TU-Delft, Corsmit)
Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder	- begeleider (TU-Delft, TNO)
Dr.ir. P.H. Waarts	- dagelijks begeleider (TNO)
Ir.drs. Th.S. de Wilde	- dagelijks begeleider (TU-Delft, HR)

Zonder hun waardevolle adviezen was dit afstudeerwerk waardeloos en niet mogelijk geweest. Zij hebben mij met veel enthousiasme en op zeer effectieve manier begeleid wat ik zeer op prijs stel. Verder gaat mijn dank uit naar ir. M.S. de Wit van TNO, die een belangrijke bijdrage heeft geleverd bij het opstellen van Bayesiaanse Netwerken. Verder dank ik alle instanties die mee hebben gewerkt aan allerlei adviezen.

Als laatste, doch niet het minste, gaat mijn dank uit naar mijn ouders die mij op velerlei wijzen en altijd gesteund hebben tijdens mijn studiecarière en mijn afstudeersessie. Immers, zij zijn de kern van mijn succes. Arifa Tunveer, Kashifa en Fozia Tunveer behoren ook tot die personen die een onderscheiding verdienen voor hun bijdrage in steun. Kashifa wil ik bedanken voor haar rol in het herlezen en verbeteren van het rapport.

Delft, april 2001

*SHAHID IQBAL SUDDLE*



# S A M E N V A T T I N G

Ten gevolge van schaars wordende ruimte (in binnensteden), is de laatste jaren in West-Europa de stimulatie van projecten waarbij het fenomeen Meervoudig Ruimtegebruik centraal staat in zwang geraakt. Meervoudig Ruimtegebruik - in deze studie begrensd door het bouwen van gebouwen over wegen, spoorwegen en bestaande gebouwen - biedt de oplossing voor de desiderata met betrekking tot de indeling van de ruimte in het nieuwe millennium. Beheersing van de veiligheid is één der aspecten dat een cruciale rol spelen bij het geven van groen licht teneinde projecten met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik te bewerkstelligen. Het speerpunt in deze studie vormt het veiligheidsaspect van derden, dat wil zeggen, de veiligheid van personen die niet expliciet in het bouwproces betrokken zijn, zoals weggebruikers van de autowegen waarboven gebouwd wordt.

Doel van het onderzoek is het onderzoeken van de aspecten waarvan de veiligheid van bouwen van gebouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik afhangt. Deze aspecten zullen geoptimaliseerd worden, opdat de veiligheid van derden tijdens het bouwproces wordt gemaximaliseerd. Hierbij dienen de maatschappelijke acceptatienormen, te verdelen in groepsrisico en individuele risico, niet te worden overschreden.

Allereerst is literatuuronderzoek verricht over de begrippen inzake veiligheid, de wettelijke kaders en het bouwproces. Ook zijn casestudies verricht om een beeld te verkrijgen hoe met het veiligheidsaspect omgegaan is bij desbetreffende projecten. Het karakter van het begrip veiligheid is geassocieerd met de mate van het lopen van risico. Risico, simpelweg de (faal)kans maal het gevolg, kan uitgedrukt worden in materiële schade, monetaire eenheden en slachtoffers. Het wettelijke kader levert geen uitdrukkelijke voorschriften voor de veiligheid van derden. Casestudies - gebouwen over de Utrechtse Baan - hebben aangetoond dat in een zo vroeg mogelijk stadium van het bouwproces het zo gedetailleerd mogelijk vastleggen van de eisen ten aanzien van hinder en veiligheid, de problemen sterk kan reduceren. Helderheid tussen degenen die (bij de verschillende partijen) verantwoordelijk zijn voor het treffen en bewaken van de veiligheidsaspecten is eveneens een hot-item tijdens dergelijke projecten. Bovendien is een adequate en een effectieve inrichting van de bouwplaats vereist.

Teneinde inzicht te krijgen in het veiligheidsaspect van derden is allereerst een analyse gemaakt van de aspecten waar de veiligheid van afhangt bij projecten met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik. Deze aspecten zijn op een gerangschikte wijze gepresenteerd middels een model met vier hoofdaspecten die het veiligheidsaspect van derden in kaart brengt. Allereerst zijn het *de voorschriften* die een handboek vormen voor de procesgang tijdens het project; deze dienen onder andere om het veiligheidsaspect tijdens de bouw te beheersen. Maar ook tijdens het ontwerpen dienen zij als een fundering voor de constructieberekeningen, etc. Het wettelijke kader kan eveneens gezien worden als een onderdeel van het aspect voorschriften. Naast de voorschriften vormen de *externe randvoorwaarden* een belangrijke hoofdaspect voor de veiligheid van derden. Deze randvoorwaarden, opgelegd door de omgeving, verwoorden typisch een aspect dat niet of nauwelijks te veranderen is. Een ander hoofdaspect is *het ontwerp*. Deze is te nuanceren in aspecten, zoals de dimensies van het gebouw, de architectuur, de constructie, de functie en de technologie; deze zijn tijdens het ontwerp vrijwel allemaal beheersbaar. Tenslotte kan het hoofdaspect *uitvoering* aangemerkt worden. In de uitvoeringsfase van het project zijn de aspecten die benoemd zijn in de ontwerpfase moeilijk te veranderen. Integendeel, deze fouten komen in de uitvoeringsfase aan het licht. De subaspecten van de uitvoeringsfase zijn de betrokkenen, de organisatie, de beheersaspecten en de preventieve maatregelen.

Teneinde het veiligheidsaspect verder te ontplooiën is onderzocht hoe deze aspecten in relatie staan tot het begrip risico middels een risico-analyse. In beginsel is deze analyse kwalitatief uitgevoerd middels de zogenaamde FMEA-techniek. Deze is toegespitst op de bouw van een gebouw over weg-infrastructuur. Uit deze FMEA is een belangrijk gegeven gefilterd, namelijk dat de problematiek van veiligheid en hinder bij de uitvoering van bouwprojecten waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik zich vooral blijkt toe te spitsen op de beheersing van het risico van vallende elementen, die het gevaar vormen voor derden bij dergelijke projecten. Het vals scenario is derhalve met diepgang onder de loep genomen.

Hiertoe is een overstap gemaakt naar de kwantitatieve risico-analyse, dat met behulp van Bayesiaanse Netwerken teweeg gebracht voor een modelgebouw gesitueerd over een 2x2-baansweg, bestaande uit 10 verdiepingen, waarbij de overspanningslengte respectievelijk de overbouwingslengte gelijk is aan 20 m en 50 m. Gekeken is naar twee topgebeurtenissen, te weten extra kosten en letsel. Hiervoor zijn alle mogelijk kwantificeerbare aspecten - de onderliggende situatie, (ontwerp)fouten, de plaats waar het voorwerp valt, het al dan niet bezwijken van de hoofd draagconstructie, het gewicht van het vallende voorwerp, de hoogte van het vallende voorwerp, het al dan niet vallen van een voorwerp van een bepaalde gewichtsklasse, meegenomen in het Bayesiaans Netwerk. Zulk een netwerk is eveneens opgesteld voor het bouwen over wegen, sporen en gebouwen.

Uit de resultaten van de kwantitatieve risico-analyse volgt dat uit maatschappelijk oogpunt het bouwen over weg-infrastructuur, gevolgd door het bouwen over rail-infrastructuur, de meest onveilige vorm van overbouwen is (voor derden) en het bouwen over bestaande gebouwen de meest veilige vorm van overbouwen. Uit economisch oogpunt is het bouwen over rail-infrastructuur en het bouwen over weg-infrastructuur significant niet verschillend van elkaar, de meest ongunstige vorm van overbouwen. Wederom is het bouwen over bestaande gebouwen gunstig ten opzichte van de andere vormen.

Worden de drie vormen van overbouwen getoetst aan de maatschappelijke risico-acceptatienormen - onder te verdelen in groeps- en individuele risico -, dan blijkt dat hieraan niet wordt voldaan. Het bouwen boven een weg is verder uitgewerkt, teneinde een toestand te creëren waarbij wel voldaan wordt aan de risico-acceptatienormen.

De optimalisatie is van start gegaan met het nagaan van de aspecten die dominant zijn in het Bayesiaans Netwerk, middels een gevoeligheidsanalyse. De dominante aspecten zijn: het aantal handelingen per project, de plaats van vallende elementen, de onderliggende situatie, en tenslotte het gewicht van elementen. Geconcludeerd wordt dat de risico-zones van het gebouw, de gevels waar het gebouw de weg kruist, een belangrijke nexus vormen voor het veiligheidsaspect voor derden. Met het oog op de gevoeligheidsanalyse zijn er een aantal maatregelen opgesteld voor de optimalisatie. Per maatregel zijn de totale kosten, bestaande uit de investeringskosten en risico, en het verwachte aantal doden bepaald. Dit aantal blijkt te kunnen worden gereduceerd tot nul-komma-nul indien er gekozen wordt voor de maatregel om de weg af te sluiten tijdens het project of om het project 's nachts uit te voeren. Controversieel is echter dat de (investerings)kosten relatief hoog uitvallen. Deze zijn laag bij de maatregel (het pompen van beton in combinatie met) een betonnen opvangvloer in de risicozone. Hiermee wordt het verwachte aantal doden gereduceerd met een factor drie ten opzichte van de nulsituatie (modelgebouw), waarbij geen opvangvloer aanwezig is en gebruik wordt gemaakt van kanaalplaatvloeren. Niettemin stelt deze veranderingen niet substantiële progressie voor ten opzichte van de nulsituatie. Gesteld kan worden dat de optimalisatie hiermee ook is gedaan voor het bouwen boven sporen, want het risico voor het bouwen over een weg is nagenoeg hetzelfde als die van het bouwen boven sporen.

De besluitvormer, meestal de gemeente, verkeert op dit punt in een dilemma: in de afweging tussen de te kiezen maatregelen moet een preferentie aangegeven worden, die hetzij de economische schade minimaliseert, hetzij het aantal (dodelijke) slachtoffers doet terugnemen. Uiteindelijk komt het er op neer dat naast de gangbare definitie van risico, te weten kans maal gevolg, de controversiële, psychologische benadering van risico, te weten een gebrek aan veronderstelde beheersbaarheid, meegenomen. Hierdoor wordt niet altijd beslist op economische grondslagen, maar wordt de mens, in dit geval een derde, vooropgesteld in een beslissingsvraagstuk. Zo wordt in zijn algemeenheid toch gekozen voor een opvangvloer, hoewel deze een geringe verbetering tot gevolg heeft.

Voor het in praktijk brengen van de opgestelde maatregelen is een advies voorgelegd voor het gemeentelijk bestuur en de ontwerper. Het wordt aangeraden het concept van risico-acceptatie te hanteren in de plaats van risico-uitsluiting. De ontwerper kan aan de hand van de maatregelen een verantwoorde architectonische inkleuring geven aan zijn ontwerp. Enerzijds kan hij de afbouwconstructie of de vorm van het gebouw zodanig vormgeven, dat de situatie tijdens de bouw veilig(er) wordt en anderzijds kan hij een additionele functie toewijzen aan de opvangvloer, waardoor een synergetisch effect optreedt.



# I N H O U D

VOORWOORD.....	I
----------------	---

SAMENVATTING .....	III
--------------------	-----

## ***DEEL I: INLEIDING***

<b>1</b> INLEIDING .....	<b>1</b>
1.1 INLEIDING .....	1
1.2 PROBLEEMSIGNALERING .....	2
1.3 ONDERZOEKSVRAGEN.....	3
1.4 BEPERKINGEN.....	4
1.5 DE OPBOUW.....	6

## ***DEEL II: LITERATUURSTUDIE***

<b>2</b> MEERVOUDIG RUIMTEGEBRUIK.....	<b>7</b>
2.1 INLEIDING .....	7
2.2 GESCHIEDENIS VAN MEERVOUDIG RUIMTEGEBRUIK .....	8
2.3 TOEKOMST VAN MEERVOUDIG RUIMTEGEBRUIK .....	9
2.3.1 <i>Het Nederlands Paviljoen, EXPO 2000</i> .....	9
2.3.2 <i>Stuttgart 21 Hauptbahnhof, Duitsland</i> .....	9
2.3.3 <i>De Zuidas Amsterdam</i> .....	11
2.3.4 <i>Stadsducten Nederland</i> .....	12
2.4 RESUMÉ MEERVOUDIG RUIMTEGEBRUIK.....	15

<b>3</b>	<b>VEILIGHEIDSFILOSOFIE.....</b>	<b>17</b>
3.1	INLEIDING .....	17
3.2	HET BEGRIIP RISICO.....	19
3.3	RISICO-ANALYSE .....	21
3.4	STAPPEN IN EEN RISICO-ANALYSE .....	21
3.5	KORTE TOELICHTING OP HET STAPPENPLAN.....	23
	3.5.1 <i>Beschrijving van het proces of object als een systeem .....</i>	23
	3.5.2 <i>Inventarisatie van de mogelijke ongewenste gebeurtenissen, effecten en gevolgen.....</i>	23
	3.5.3 <i>Kansdeel van het risico.....</i>	24
	3.5.4 <i>Vaststellen en evalueren van het risico.....</i>	25
	3.5.5 <i>Besluitvorming op basis van risico-analyse.....</i>	25
3.6	BESLISSEN ONDER ONZEKERHEDEN.....	25
3.7	REFERENTIEKADER MET BETREKKING TOT VEILIGHEID.....	27
	3.7.1 <i>Problematiek.....</i>	27
	3.7.2 <i>Type randvoorwaarden.....</i>	28
	3.7.3 <i>Huidige veiligheidsnormen.....</i>	29
	3.7.4 <i>Algemeen toepasbare veiligheidsnormen.....</i>	31
<b>4</b>	<b>WETTELIJKE KADERS.....</b>	<b>33</b>
4.1	INLEIDING .....	33
4.2	BOUWPROCESBESLUIT ARBEIDSOMSTANDIGHEDENWET.....	34
4.3	GEMEENTELIJKE BOUWVERORDENING .....	36
4.4	OPBREEKVERGUNNING.....	37
4.5	HANDBOEK BOUWVEILIGHEID.....	38
4.6	NOTA BOUWPUTTEN .....	38
4.7	GEMEENTELIJKE AANSPRAKELIJKHEID .....	39
4.8	CONCLUSIE.....	40
<b>5</b>	<b>HET BOUWPROCES.....</b>	<b>41</b>
5.1	INLEIDING .....	41
5.2	HET BOUWPROCES ALGEMEEN .....	41
5.3	SECTOREN IN DE BOUW.....	42
5.4	DE PROJECTAANPAK.....	44
	5.4.1 <i>Faseren.....</i>	44
	5.4.2 <i>Beslissen.....</i>	46
	5.4.3 <i>Beheersen.....</i>	47
5.5	PROJECTBEHEERSING EN BEÏNVLOEDING PROCES .....	49
5.6	DE PARTNERS IN HET BOUWPROCES.....	50
	5.6.1 <i>De voorbereidingsfase.....</i>	50
	5.6.2 <i>De realisatiefase.....</i>	51

<b>6</b>	<b>CASESTUDIES; GEREALISEERDE BOUWPROJECTEN.....</b>	<b>53</b>
6.1	INLEIDING .....	53
6.2	MALIETOREN (VNO-GEBOUW) .....	54
	6.2.1 <i>Inleiding</i> .....	54
	6.2.2 <i>Bouwveiligheid en bouwhinder</i> .....	55
	6.2.4 <i>Verkeersimplicaties</i> .....	57
	6.2.5 <i>Conclusie</i> .....	58
6.3	HET NEDERLANDS CONGRESCENTRUM.....	58
	6.3.1 <i>Inleiding</i> .....	58
	6.3.2 <i>Bouwveiligheid en bouwhinder</i> .....	59
	6.3.3 <i>Verkeersimplicaties</i> .....	61
	6.3.4 <i>Constateringen van betrokkenen</i> .....	61
	6.3.5 <i>Conclusie</i> .....	62
6.4	BRUGGEBOUW WEST.....	63
	6.4.1 <i>Inleiding</i> .....	63
	6.4.2 <i>Bouwveiligheid en bouwhinder</i> .....	66
	6.4.3 <i>Verkeersimplicaties</i> .....	66
	6.4.4 <i>Conclusie</i> .....	67
6.5	BRUGGEBOUW OOST.....	67
	6.5.1 <i>Inleiding</i> .....	67
	6.5.2 <i>Bouwveiligheid en bouwhinder</i> .....	69
	6.5.3 <i>Conclusie</i> .....	69
6.6	EQUINOX.....	69
	6.6.1 <i>Inleiding</i> .....	69
	6.6.2 <i>Bouwveiligheid en bouwhinder</i> .....	70
	6.6.3 <i>Verkeersimplicaties</i> .....	71
	6.6.4 <i>Conclusie</i> .....	72
6.7	NIEUWE PROJECTEN UTRECHTSE BAAN.....	72
6.8	VERGELIJKBARE PROJECT ROTTERDAM.....	74
6.9	CONCLUSIE.....	75
6.10	OVERIGE PROJECTEN.....	76
	6.10.1 <i>De Haagse Poort</i> .....	76
	6.10.2 <i>NewMetropolis Amsterdam</i> .....	80

## DEEL III: RISICO-ANALYSE

<b>7</b>	<b>ANALYSE ASPECTEN INZAKE DE VEILIGHEID.....</b>	<b>83</b>
7.1	INLEIDING .....	83
7.2	VEILIGHEID VERSUS RISICO.....	84
7.3	MODEL BENADERING BOUWVEILIGHEID .....	85
7.4	EXTERNE RANDVOORWAARDEN.....	86
	7.4.1 <i>Inleiding</i> .....	86
	7.4.2 <i>De lokatie</i> .....	87
	7.4.3 <i>De onderliggende situatie</i> .....	87
	7.4.4 <i>Infrastructuur</i> .....	87
	7.4.5 <i>Gebouw</i> .....	91
7.5	VOORSCHRIFTEN.....	92
7.6	HET ONTWERP .....	92
	7.6.1 <i>Inleiding</i> .....	92
	7.6.2 <i>Voorschriften</i> .....	93
	7.6.3 <i>De architectuur</i> .....	93
	7.6.4 <i>Geometrie</i> .....	94
	7.6.5 <i>Functie</i> .....	97
	7.6.6 <i>Constructie</i> .....	97
	7.6.7 <i>Technologie</i> .....	99
7.7	DE UITVOERING .....	99
	7.7.1 <i>Inleiding</i> .....	99
	7.7.2 <i>Voorschriften</i> .....	100
	7.7.3 <i>Betrokkenen</i> .....	100
	7.7.4 <i>Organisatie</i> .....	102
	7.7.5 <i>Beheersaspecten</i> .....	103
	7.7.6 <i>Preventieve maatregelen</i> .....	105
7.8	CONCLUSIE.....	105
<b>8</b>	<b>KWALITATIEVE RISICO-ANALYSE.....</b>	<b>107</b>
8.1	INLEIDING .....	107
8.2	FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS .....	107
8.3	DECOMPOSITIE BOUWPROJECT EN OMGEVING.....	109
	8.3.1 <i>Onderdelen bouwproject en relatie met de omgeving</i> .....	109
	8.3.2 <i>Onderdelen van het bouwproces</i> .....	109
8.4	FAALWIJZEN EN GEVOLGEN.....	110
	8.4.1 <i>Falen van het bouwproces</i> .....	110
	8.4.2 <i>Falen van gebouwde gebouwdelen</i> .....	111
8.5	UITWERKING FMEA .....	111
8.6	AFBAKENING .....	112
8.7	RESUMÉ KWALITATIEVE RISICO-ANALYSE .....	113



<b>9</b>	<b>KWANTIFICERING BAYESIAANSE NETWERKEN.....</b>	<b>115</b>
9.1	INLEIDING .....	115
9.2	FOUTENBOMEN EN BAYESIAANSE NETWERKEN.....	115
9.3	MODELGEBOUW.....	118
9.4	STRUCTUUR NETWERKEN.....	120
	9.4.1 <i>Inleiding</i> .....	120
	9.4.2 <i>De bouwstenen van het Bayesiaans Netwerk</i> .....	121
	9.4.3 <i>Model Bayesiaans Netwerk; bouwen boven weg-infra</i> .....	123
9.5	KLASSIFICATIE VAN DE BOUWSTENEN.....	124
	9.5.1 <i>Inleiding</i> .....	124
	9.5.2 <i>Het gewicht</i> .....	124
	9.5.3 <i>De hoogte</i> .....	125
	9.5.4 <i>Letsel</i> .....	125
	9.5.5 <i>Extra kosten</i> .....	126
9.6	BEPALING KANSEN PER NODE.....	126
	9.6.1 <i>Inleiding</i> .....	126
	9.6.2 <i>Waar</i> .....	127
	9.6.3 <i>De onderliggende situatie</i> .....	128
	9.6.4 <i>De (ontwerp)fouten</i> .....	128
	9.6.5 <i>De hoofddraagconstructie</i> .....	128
	9.6.6 <i>De hoogte</i> .....	130
	9.6.7 <i>Het gewicht</i> .....	130
	9.6.8 <i>Vallen</i> .....	133
	9.6.9 <i>Letsel</i> .....	135
	9.6.10 <i>Extra kosten</i> .....	136
<b>10</b>	<b>RESULTATEN RISICO-ANALYSE.....</b>	<b>137</b>
10.1	INLEIDING .....	137
10.2	BOUWEN OVER WEG-INFRASTRUCTUUR.....	138
10.3	BOUWEN OVER RAIL-INFRASTRUCTUUR.....	139
	10.3.1 <i>Inleiding</i> .....	139
	10.3.2 <i>Uitwerking</i> .....	143
10.4	BOUWEN OVEREEN GEBOUW.....	144
	10.4.1 <i>Inleiding</i> .....	144
	10.4.1 <i>Uitwerking</i> .....	145
10.5	EVALUATIE.....	146
	10.5.1 <i>Resumé resultaten</i> .....	146
	10.5.2 <i>Persoonlijke risico-acceptatie</i> .....	147
	10.5.3 <i>Maatschappelijke risico-acceptatie</i> .....	149
	10.5.4 <i>Positie projecten Meervoudig Ruimtegebruik</i> .....	151

## DEEL IV: OPTIMALISATIE

<b>11</b>	<b>OPTIMALISATIE.....</b>	<b>153</b>
11.1	INLEIDING .....	153
11.2	VEILIGHEIDSNIVEAU'S .....	154
11.3	GEVOELIGHEIDSANALYSE .....	155
11.4	OPSTELLEN MAATREGELLEN .....	157
11.5	UITWERKING EN KWANTIFICERING MAATREGELLEN .....	157
	11.5.1 <i>Bepaling kosten-parameters.....</i>	157
	11.5.2 <i>Veranderingen in het Bayesiaans Netwerk .....</i>	159
11.6	RESUMÉ RESULTATEN .....	160
	11.6.1 <i>Economische resutlaten .....</i>	160
	11.6.2 <i>Maatschappelijke resutlaten.....</i>	160
11.7	BESLUITVORMING OP BASIS VAN OPTIMALISATIE .....	161
	11.7.1 <i>Inleiding.....</i>	161
	11.7.2 <i>Toetsing risico-acceptatie normen.....</i>	161
	11.7.3 <i>Economische optim altsatie vs maatschappelijke criteria ...</i>	161
<b>12</b>	<b>PRAKTISCHE AANBEVELINGEN.....</b>	<b>169</b>
12.1	INLEIDING .....	169
12.2	PSYCHOLOGISCHE BENADERING VOOR OPTIMALISATIE .....	170
	12.2.1 <i>Inleiding.....</i>	170
	12.2.2 <i>Het begrip risico in de psychologische besliskunde.....</i>	170
	12.2.3 <i>Beslissen op statistische gronden.....</i>	170
	12.2.4 <i>Psychologisch beslissen van de gemeente.....</i>	171
12.3	DE ROL VAN EN ADVIES AAN DE GEMEENTE .....	171
	12.3.1 <i>Inleiding.....</i>	171
	12.3.2 <i>De rol van de gemeente.....</i>	172
12.4	ARCHITECTONISCHE INTEGRATIE VAN MAATREGELLEN .....	174
	12.4.1 <i>Inleiding.....</i>	174
	12.4.2 <i>Structuurbepalende uitgangspunten.....</i>	174
	12.4.3 <i>Structuurbepalende elementen.....</i>	175
	12.4.4 <i>Alternatieven mbt maatregelen.....</i>	176
<b>13</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....</b>	<b>187</b>
13.1	INLEIDING .....	187
13.2	CONCLUSIES .....	187
13.3	AANBEVELINGEN .....	189
	<b>LITERATUUR.....</b>	<b>191</b>

<b>BIJLAGEN</b> .....	<b>195</b>
BIJLAGE I: UITWERKING FMEA.....	197
BIJLAGE II: HET VALGEDRAG.....	207
BIJLAGE III: RESULTATEN EXPERT-ONDERZOEK.....	209
BIJLAGE IV: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN BOUWEN OVER WEG.....	215
BIJLAGE V: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN BOUWEN OVER RAIL.....	247
BIJLAGE VI: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN BOUWEN OVER GEBOUW...	267
BIJLAGE VII: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN MAATREGEL 1.....	275
BIJLAGE VIII: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN MAATREGEL 2.....	279
BIJLAGE IX: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN MAATREGEL 3.....	283
BIJLAGE X: BEREKENING KOSTEN EN RISICO'S PER MAATREGEL.....	287
BIJLAGE XI: BAYESIAN BELIEF NETWORK.....	297



# H O O F D S T U K 1

## 1

### INLEIDING

---

#### 1.1 Inleiding

Economisch gezien leidt schaarser wordende ruimte tot intensivering van ruimtegebruik. Dit is dikwijls het geval in grote steden, waar bouwprojecten verrijzen die het economische vraagstuk op de voorgrond plaatsen en zodoende leiden tot een toenemende verwevenheid van stedelijke functies. Herbezinning van het ruimtegebruik is noodzakelijk geworden. Dat betekent niet meer op de oude wijze bouwen, waarbij een stuk grond maar één functie krijgt, maar juist meervoudig gebruik. De laatste decennia is door groei van binnensteden en dus door ruimtegebrek een nieuwe trend ontstaan die andere eisen stelt aan de indeling van de ruimte. Waar het hier om draait is het fenomeen *Meervoudig Ruimtegebruik* [Del2000]:

*Meervoudig Ruimtegebruik* is het combineren van ecologische en sociaal-culturele functies met economische "drivers" op één plaats en in de tijd (functiemenging) door middel van Ruimtelijke Ordening en economische maatregelen op basis van ruimtelijk-economische doelen. Het zuinig omgaan met schaarse ruimte en het duurzaam gebruik van de ruimte zijn de belangrijkste doelen van Meervoudig Ruimtegebruik.

Het bouwen van gebouwen over bestaande infrastructuur (de Utrechtse Baan in Den Haag en de Zuidas in Amsterdam) en het bouwen van gebouwen over bestaande gebouwen heen zijn sterke voorbeelden van Meervoudig Ruimtegebruik. Zulke grootschalige (lees: complexe) projecten zijn onontbeerlijk in het nieuwe millennium teneinde te voldoen aan de eisen van duurzaamheid omtrent het ruimtegebruik.

Echter, voor verdere uitbreiding en realisatie van zulke projecten dienen een aantal obstakels overwonnen te worden. De drie belangrijkste obstakels zijn veiligheid, financiën en durf/toekomstvisie. Veiligheid overtreft in ruime mate de overige twee hindernissen. Immers, uit onderzoek [Mei2000] is gebleken dat zich bij de uitvoering van zulke projecten complicaties voordoen, die te maken hebben met al dan niet bevredigende bouwveiligheid. Het gaat hierbij om veiligheid van de zogenaamde passanten.

Deze complicaties kunnen als systemen worden beschreven. De gevaren die uit het falen van deze systemen voortvloeien zijn zowel maatschappelijk als economisch van aard: Een hamer die van tien meter hoog op de voorruit van een auto valt, kan uiterst nare gevolgen hebben voor de daaronderrijdende weggebruikers, doch vallen in het niet wanneer men een situatie bekijkt waarbij een betonnen balk van twintig ton naar beneden buitelt.

Dergelijke scenario's zijn tot op heden onvoldoende in kaart gebracht, alhoewel dit essentieel is teneinde een uitspraak te doen omtrent de veiligheid van bouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik. Dit was de aanleiding om een onderzoek te verrichten naar veiligheid van bouwen van gebouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik in het kader van de afstudeerfase van de opleiding Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Dit onderzoek is een beginsel van het fundament omtrent de veiligheid tijdens de realisatie van een project met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik.

## 1.2 Probleemsignalering

De bouwuitvoering komt in de praktijk aan de orde wanneer de ontwerpfase ten einde is gebracht. Als er in dat stadium problemen worden gesignaleerd, zou dat veelal tot hoge extra kosten leiden bij het uitvoerend bouwbedrijf (bouw stilleggen, voorzieningen treffen) en/of de gemeente (verkeersaders tijdelijk afsluiten) en/of particulieren (schadeclaims van vervoerbedrijven, winkeliers e.d.).

De situatie is bevredigender indien aan het bouwproces een aantal voorwaarden en spelregels worden verbonden die een zo veilig en niet-storend mogelijke uitvoering garanderen [Mei2000]. Aandachtspunten hierbij zijn de aan- en afvoer van materialen, het beperken van opslag op of bij de bouw, het vermijden of beperken van hijsen/takelwerkzaamheden boven de weg of boven gebouwen, en het beperken van geluids- en trillingshinder, maar ook als tijdens de ontwerpfase rekening wordt gehouden met de veiligheidsaspecten (wat tot heden onbekend is).

De belanghebbende partijen komen tijdens de bouw niet voor verrassingen te staan, als de bouwer zich aan deze spelregels en voorwaarden houdt en als de ontwerper rekening heeft gehouden met de veiligheidsaspecten. De bouwer en ontwerper kunnen louter en alleen aan de voorwaarden voldoen, wanneer hij op de hoogte is en kennis heeft van bouwveiligheid tijdens de uitvoeringfase.

De *probleemstelling* die hieruit is af te leiden is als volgt:

*Veiligheid van derden bij het bouwproces is van fundamenteel belang, vooral bij complexe projecten met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik. Er is onvoldoende wetenschappelijke kennis hieromtrent. Onveiligheid tijdens de realisatie van een project met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik kan ernstige consequenties hebben, die zowel economisch als maatschappelijk van aard kunnen zijn.*

De daaraan gerelateerde *doelstelling* is als volgt te definiëren:

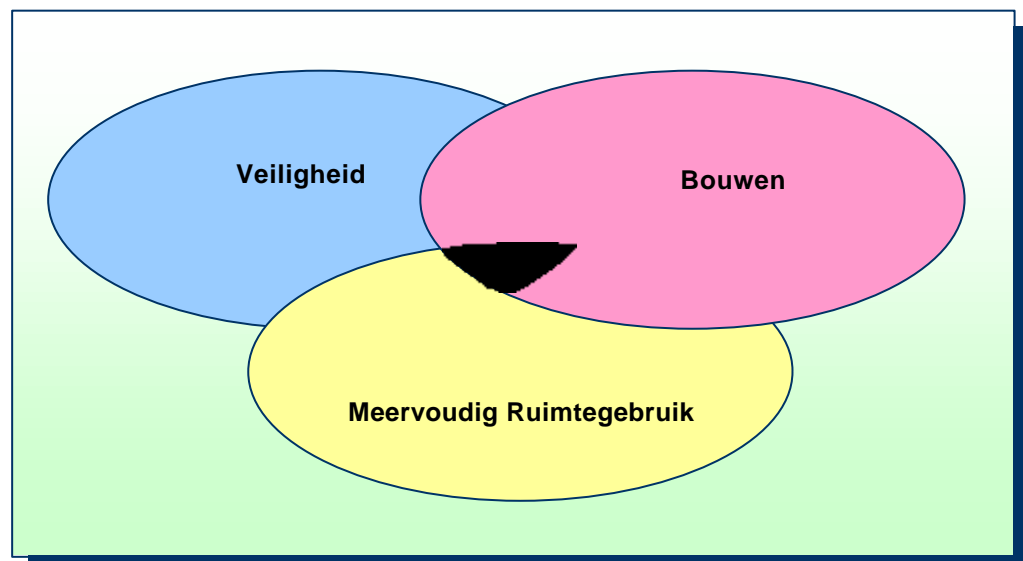
*Het doel van dit onderzoek is het onderzoeken van de aspecten waarvan de veiligheid van bouwen van gebouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik afhangt. Deze aspecten zullen geoptimaliseerd worden, opdat de veiligheid van derden tijdens het bouwproces wordt gemaximaliseerd. Hierbij dienen de maatschappelijke acceptatienormen, te verdelen in groepsrisico en individuele risico, niet te worden overschreden.*

### 1.3 Onderzoeksvragen

De titel van het onderzoek is *Veiligheid van bouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik*. Als we onze blik richten op de sleutelwoorden van deze titel dan resteren er drie belangrijke woorden, namelijk:

- ✓ Veiligheid;
- ✓ Bouwen;
- ✓ Meervoudig Ruimtegebruik.

Deze begrippen zijn zeer ruim qua begripsvorming. Getracht wordt het onderzoek zo breed mogelijk te houden. Echter, dit zal niet mogelijk zijn gezien de korte tijd en de bijna grenzeloze omvang van deze begrippen. De benadering van deze sleutelwoorden is in figuur 1.1 weergegeven:



Figuur 1.1: De doorsnede van de sleutelbegrippen.

## 1.4 Beperkingen

In deze paragraaf worden de te onderzoeken onderwerpen toegelicht aan de hand van deze begrippen.

### □ Het begrip *Veiligheid*

Het begrip veiligheid kan op verschillende manieren worden gecategoriseerd. Er kan gekeken worden naar de veiligheid tijdens het bouwproces en de veiligheid in de exploitatiefase van een gebouw. Een andere indeling van het begrip veiligheid is de veiligheid van werknemers en veiligheid van derden. De veiligheid in de exploitatiefase houdt de veiligheid van derden in tijdens een activiteit die zich afspeelt in het gebouw. Denk hierbij aan een vloer die bezwijkt, waardoor een constructie deel valt op een daaronderrijdende bestuurder. Of de daaronderrijdende vrachtwagen ontploft waardoor de gebruikers van het gebouw schade ondervinden.

Gezien het feit dat er onderzoek wordt verricht naar *de veiligheid van bouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik*, valt de categorie de "veiligheid tijdens de exploitatiefase van een gebouw" af. Immers, in de exploitatiefase wordt er in het algemeen niet gebouwd, tenzij er gebouwd wordt over een bestaand gebouw. In dit onderzoek zal de aandacht vooral uitgaan naar de veiligheid van derden. Uiteraard is deze ook afhankelijk van de veiligheid op de bouwplaats.

### □ Het begrip *Bouwen*

Het begrip bouwen is afkomstig uit het bouwproces. De uitvoering van het bouwproces is één van de fasen van het proces. Dit onderzoek wijdt zich aan de uitvoeringsfase van het bouwproces.

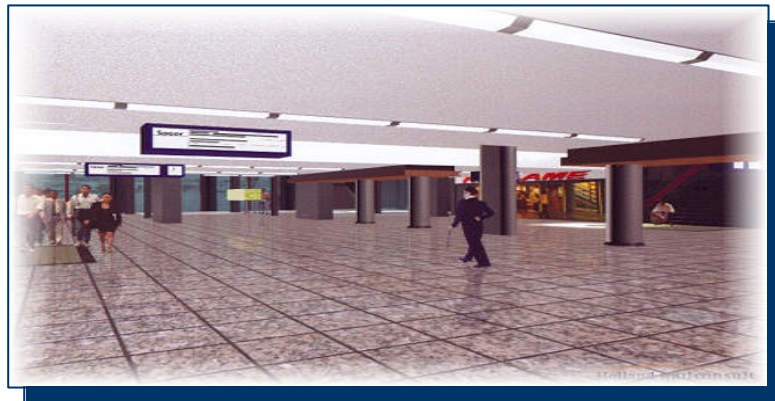
### □ Het begrip *Meervoudig Ruimtegebruik*

Meervoudig Ruimtegebruik is wellicht het meest uiteenlopende begrip van de drie sleutelwoorden. Er zijn verschillende opvattingen hierover. Eén van die opvattingen is het bouwen onder bestaande infrastructuur. Zoals de verbreding van de Westtunnel in Amsterdam Centraal Station.

Bouwen onder infrastructuur, ondergronds bouwen, valt buiten het kader van dit onderzoek, want de scope zal zich richten op het bouwen van gebouwen bovengronds. Een andere opvatting van het begrip Meervoudig Ruimtegebruik is het bouwen van gebouwen over infrastructuur. Infrastructuur kan onderverdeeld worden in:

- Droge infrastructuur
- Natte infrastructuur





Figuur 1.2: Impressie van de Westtunnel, ondergronds bouwen.

Onder droge infra wordt verstaan:

- ✓ Weg-infrastructuur;
- ✓ Rail-infrastructuur;

Onder natte infrastructuur wordt verstaan:

- ✓ Rivier/kanaal.

De droge infrastructuur betreft de meest complexe soort, met de grootste risico's tijdens de uitvoeringsfase. Een gebouw bouwen over een rivier/kanaal heeft andere consequenties en bouw mogelijkheden. De voorzorgsmaatregelen zijn lichter dan bij het bouwen van een gebouw over infrastructuur. Bovendien wordt er normelitaair geen gebouw gebouwd over een kanaal. Derhalve zal de veiligheid van bouwen bij natte infrastructuur achterwege worden gelaten.

De bouwveiligheid bij weg-infrastructuur is in veel opzichten verschillend van de bouwveiligheid bij rail-infrastructuur. Deze zal aandacht krijgen in het onderzoek. Mogelijk zijn er obstakels en is op enkele plaats vereenvoudigen benodigd om te voldoen aan de doelstellingen van het onderzoek. Desalniettemin zal getracht worden om zo veel mogelijk scenario's te schetsen in het onderzoek.

De drie sleutelbegrippen van de titel zullen uitgebreid aan bod komen elders in deze (literatuur)studie.

Het doel van dit rapport is het presenteren van resultaten van het onderhavige onderzoek: *veiligheid van bouwen van gebouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik*. Hierbij zal rekening gehouden worden met het feit om zoveel mogelijk scenario's in kaart te brengen met betrekking tot de bouwveiligheid bij projecten waarbij Meervoudig Ruimtegebruik centraal staat.

## 1.5 De opbouw

De opbouw van dit rapport is als volgt: In *hoofdstuk 2* wordt het begrip Meervoudig Ruimtegebruik kaleidoscopisch verduidelijkt. Dit wordt gevolgd door *hoofdstuk 3* waarin wordt ingegaan op het begrip veiligheid. De filosofie omtrent dit begrip zal enerzijds bestaan uit het begrip veiligheid en risico(-analyse), anderzijds zal de aanvaardbaarheid van risico's op de proef gesteld worden. *Hoofdstuk 4* is een onmisbaar hoofdstuk in onderhavig onderzoek, in dit hoofdstuk zal een blik geworpen worden op het wettelijke kader van het problemen. Gezien het feit dat de nadruk ligt op het bouwen, is het onontbeerlijk iets te redigeren omtrent het bouwproces. Dit is derhalve opgenomen in *hoofdstuk 5*. In *hoofdstuk 6* zijn vervolgens een aantal casestudies behandeld. Zo is uitgebreid ingegaan op de projecten op de Utrechtse Baan. Hiermee wordt de eerste fase van dit onderzoek afgesloten.

De tweede fase van het onderzoek wordt begonnen met *hoofdstuk 7*, hierin worden de aspecten geanalyseerd waar de veiligheid van en tijdens het bouwen afhangt. Vervolgens zal in *hoofdstuk 8* de kwalitatieve risico-analyse de aandacht krijgen, gevolgd door de kwantitatieve risico-analyse die in *hoofdstuk 9* aan bod komt, waarin ook de veiligheidsaspecten worden meegenomen. *Hoofdstuk 10* geeft de resultaten van de risico-analyse weer voor het bouwen over wegen, sporen en bestaande gebouwen.

Met dit resultaat wordt de optimalisatiefase ingegaan - middels het opstellen van maatregelen - in *hoofdstuk 11* voor het bouwen over wegen. De optimalisatie geeft een aantal alternatieven (maatregelen) waaruit gekozen kan worden. De keuze wordt overgelaten aan besluitvormers. Aan de gemeente en de ontwerper worden in het laatste deel enige praktische aanbevelingen voorgelegd in *hoofdstuk 12*, uiteraard zijn de opgelegde maatregelen hierin verwerkt. Tenslotte wordt het onderzoek afgesloten met conclusies en aanbevelingen in *hoofdstuk 13*.

# H O O F D S T U K 2

## 2

## MEERVOUDIG RUIMTEGEBRUIK

---

### 2.1 Inleiding

Omdat we in Nederland een schaarste aan ruimte hebben en tegelijk steeds meer belang hechten aan de kwaliteit van die ruimte, is het nodig ons land anders in te richten. Eén van de manieren om aan de noodzaak tot een duurzame verbetering van de ruimtelijk kwaliteit, mobiliteit en economie tegemoet te komen, is Meervoudig Ruimtegebruik. Ruimtegebruik is meervoudig als de bestaande ruimte intensiever wordt ingericht, als er meer menging van functies plaatsvindt en als meer ruimte wordt gecreëerd op hetzelfde oppervlak (derde dimensie) en/of in de tijd duurzamer wordt ingericht (vierde dimensie).

In dit hoofdstuk wordt getracht een beeld te geven van de mogelijkheden van Meervoudig Ruimtegebruik. Gezien het feit dat dit hoofdstuk de beginselen van Meervoudig Ruimtegebruik behandelt, zal niet worden ingegaan op de technische aspecten van deze projecten. De gerealiseerde projecten terug te vinden in *hoofdstuk 6*. In de volgende *paragraaf (2.2)* zal de geschiedenis van Meervoudig Ruimtegebruik aan bod komen. Vervolgens zal het toekomstige beeld van Meervoudig Ruimtegebruik in *paragraaf 2.3* kaleidoscopisch getoond worden. Hierin wordt de ontwikkeling van het begrip in breder perspectief weergegeven. Toekomstige plannen m.b.t. Meervoudig Ruimtegebruik zullen hier de aandacht krijgen. Vervolgens wordt dit hoofdstuk afgesloten met een samenvatting van het begrip (*paragraaf 2.4*).

Voor dit hoofdstuk is er informatie gebruikt uit de publicatie *Het Gelaagde Landschap, Meervoudig Ruimtegebruik in perspectief*, van E. Jansen en I. Südmeier, EMR, Gouda, augustus 1999.

## 2.2 Geschiedenis van Meervoudig Ruimtegebruik

Voorbeelden van Meervoudig Ruimtegebruik zijn te vinden in de geschiedenis van de bouwkunst. In deze paragraaf zal een blik geworpen worden op de geschiedenis [Bee1997] van Meervoudig Ruimtegebruik. Overbouwen komt overeen met Meervoudig Grondgebruik. Paalwoningen zijn één van de eerste voorlopers van overbouwen. De oudst bekende paalwoning stamt uit Egypte (1650 v. Chr.). De tweede soort voorloper van overbouwen is de bebouwde brug. In de historie zijn de meeste voorbeelden eigenlijk meer bruggen dan anderszins. Er zijn aanwijzingen voor hele oude overbouwingen, maar de oudst dateerbare bebouwde brug is die van Tell el-Amarna. Deze overbouwing dateert uit de 18<sup>de</sup> Dynastie, circa 1372-1350 v. Chr.

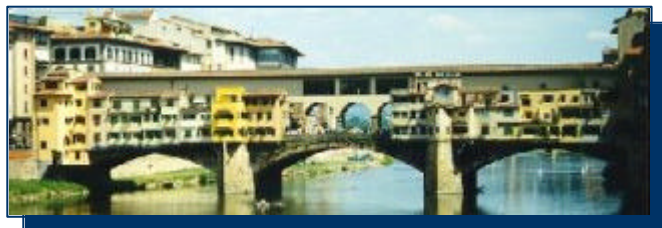


Figuur 2.1: Pont d'Avignon [11].

De bebouwde brug had vaak een duidelijke taak. Een vroeg voorbeeld hiervan is het bebouwen van een brug ter hoogte van de pilaar met een kapel. Een mooi voorbeeld hiervan is de brug [11] met de kapel in Avignon van ca. 1188 n. Chr. (zie figuur 2.1).

De brug werd gecombineerd met een verdedigingspoort (denk de ophaalrug). In de veertiende eeuw kwamen er een aantal functies bij zoals: tolhuizen, gevangenissen en raadhuizen. Hierna volgden er gauw de bedrijven en woningen.

De Ponte Vecchio [11] 1335-1245 n. Chr. (figuur 2.2) is een nog steeds bestaand voorbeeld van een winkelgalerij met woningen. De eerste bedrijven waren de slaggers en slachthuizen.



Figuur 2.2: Ponte Vecchio [11].

Deze bedrijven kozen deze opmerkelijke plaats opdat het slachtafval rechtstreeks in de rivier kon worden gedumpt.

Zo zijn er andere voorbeelden aan te halen waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik. In de volgende paragrafen zal de visionaire aandacht omtrent het begrip Meervoudig Ruimtegebruik gaan naar de huidige gedachtegangen.

## 2.3 Toekomst van Meervoudig Ruimtegebruik

### 2.3.1 Het Nederlands Paviljoen, EXPO 2000

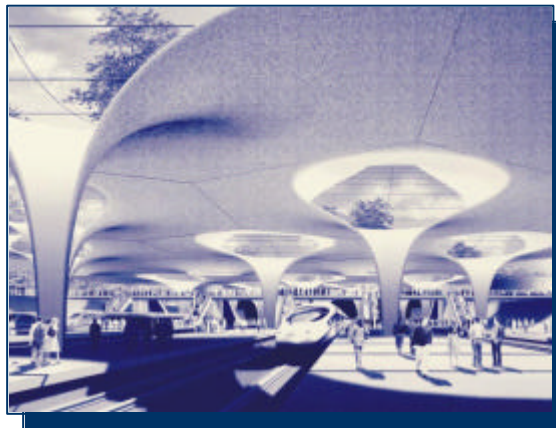
Het meest recente voorbeeld is te vinden van het Nederlands paviljoen tijdens EXPO 2000 in Hannover figuur 2.3 [11]. Hierin is de stad niet horizontaal, doch verticaal gebouwd. Als de definitie van Meervoudig Ruimtegebruik in het achterhoofd wordt gehouden, is te zien dat deze grotendeels in overeenstemming is met de expositie. Het begrip compacte stad is in dit voorbeeld zeer sterk terug te vinden.



Figuur 2.3: Het Nederlands Paviljoen, EXPO 2000 [11].

### 2.3.2 Stuttgart 21 Hauptbahnhof, Duitsland

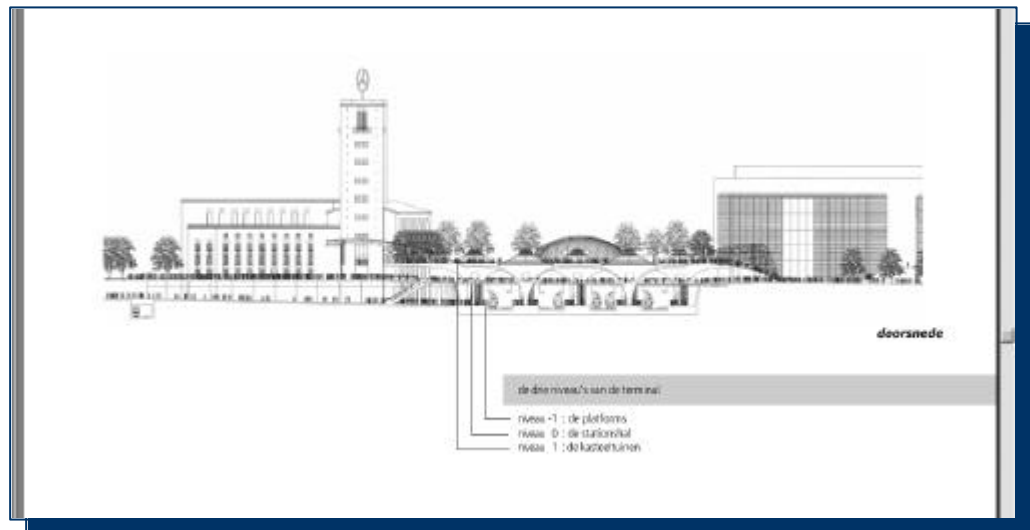
Het project Stuttgart 21 [Jan1999] vormt een belangrijk fundament voor de verdere ontwikkeling van de stad en mede door de komst van de ICE-treinen wordt de stad gedwongen om een stationsterminal m.b.t. Meervoudig Ruimtegebruik te vervaardigen. Daarnaast probeert men de strategische ligging van de emplacements uit te buiten door 7000 woningen, 24.000 arbeidsplaatsen en een aantal grootschalige groenvoorzieningen aan te leggen.



Figuur 2.4: Hauptbahnhof.

Om met de aanleg van de nieuwe stationsterminal een vergelijkbaar gebaar neer te leggen, besluiten de architecten om het station zo te ontwerpen dat ze kan uitgroeien tot het hart van het 21 ste eeuwse Stuttgart. Door de nieuwe terminal in de ondergrond te laten verzinken sluiten de architecten het station direct aan op het ondergrondse tunneltracé en herstellen ze de verbinding van het oude stadscentrum met de rivier de Neckar.

Gelijktijdig transformeren ze het huidige kopstation tot een multifunctioneel stedelijk centrum en voegen ze een belangrijke uitbreiding aan de Kasteeltuinen toe. Door de terminal op drie niveaus te organiseren voegt het nieuwe station zich optimaal in de bestaande context en wordt het oude kopstation direct onderdeel van het nieuwe multifunctionele stationscomplex, dit is goed te zien op de impressies (figuur 2.5 en 2.6).



Figuur 2.5: Impressie van het Stuttgart 21 project (doorsnede).

Zo bevinden zich op -1 de 470 meter lange platformen, verplaatsen de reizigers zich op het bestaande maaiveldniveau en vindt op +1 de uitbreiding van de Kasteeltuinen plaats. Daarnaast wordt in het ontwerp op een bijzondere wijze aandacht geschonken aan het wel bevinden van de ruim 120.000 reizigers en bezoekers die het station per dag zullen aandoen. Zo kan direct vanuit de nieuwe passagiersterminal via reusachtige "kattoggen" een blik geworpen worden op 14 meter hoger gelegen Kasteeltuinen en kan onder alle weersomstandigheden in de vertrekhal een krantje worden gelezen. Daarnaast zorgen deze lichtoggen en de ruime opzet van de terminal ervoor dat eventuele negatieve gevoelens die met de aanleg van de verzonken terminal zouden kunnen ontstaan tot een minimum gereduceerd worden.



Figuur 2.6: Impressie van het Stuttgart project.

Door de overgebleven sporen in tunnels onder te brengen, de nieuwe stationsterminal te verzinken en de afgedankte rangeerterreinen te vervangen door woningbouw, laat Stuttgart 21 op een overtuigende wijze zien dat toepassing van Meervoudig Ruimtegebruik kan leiden tot een multifunctioneel en intensief gebruikt landschap. Een uniek landschap waarin een verzonken station is uitgroeit tot een scharnier tussen het oude en nieuwe Stuttgart, en de oude littekens in het weefsel binnen afzienbare tijd transformeren in essentiële stedenbouwkundige schakels.

### 2.3.3 De Zuidas Amsterdam

Tussen Amsterdam-Zuidoost en Schiphol loopt één van de drukste verkeersaders van Nederland: de Zuidas [Jan1999]. Door het centrale deel van deze as ter hoogte van het World Trade Center over een lengte van 2 kilometer te overkluizen, ontstaat de mogelijkheid om de huidige lappendeken van kantoorontwikkelingen aaneen te smeden. Versterkt door een optimaal openbaar vervoersklimaat, onder andere gevoed door het toekomstige eindpunt van de HSL, zal de Zuidas in afzienbare tijd transformeren tot een kantorenpark van internationale allure. Belangrijk hierbij is het slechten van de barrièrewerking van de infrastructuur door haar onder te brengen in een halfverzonken tunnel en de toevoeging van een serie samenhangende en afwisselende stedelijke ruimten. Door deze stedelijke ruimten van een hoogwaardig kwaliteitsniveau te voorzien ontstaat diversiteit in het kantorenlandschap en is het handelsmerk van de Zuidas geboren. De ambiance die via deze stedelijke ruimten zal ontstaan wordt door de bedenkers als cruciaal beschouwd om het beoogde kwaliteitsniveau te realiseren en de toon te zetten voor een eveneens hoogwaardige architectuur.



Figuur 2.7: De Zuidas Amsterdam.

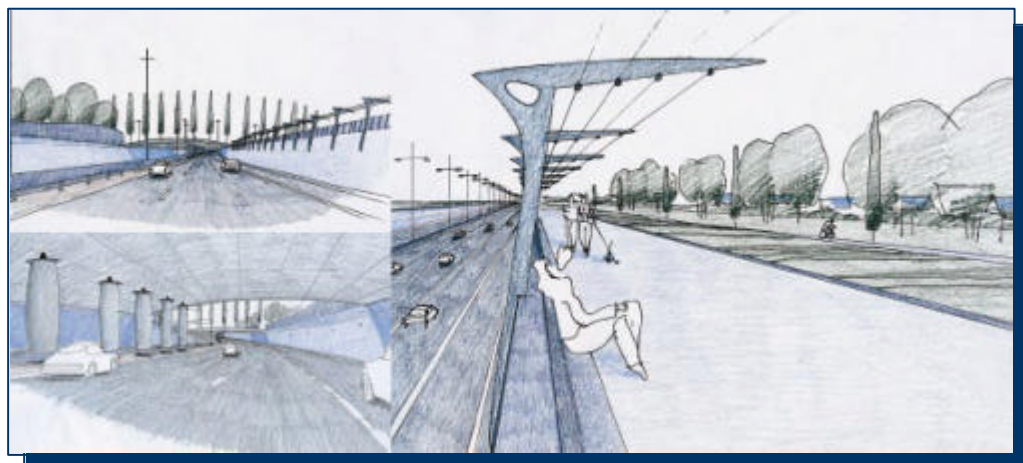
Zo zullen naast bovengenoemde doelstellingen als het opheffen van de infrastructurele barrière, het creëren van hoogwaardige stedelijke ruimten en het aaneensmeden van de aangrenzende wijken, het realiseren van een groot bouwvolume en het stimuleren van meervoudigheid centraal staan.

### 2.3.4 Stadsducten Nederland

Tot voor kort probeerde men de overlast van snelwegen door middel van geluidswerende constructies, verdiepte tracés en de aanleg van buffers in te perken. Uit de vier onderstaande voorbeelden zal blijken dat deze traditionele benaderingen om infrastructuur "in te passen" verleden tijd zijn. De voortgaande groei van infrastructuur en de vraag naar beschikbare ruimte voor stedelijke uitbreiding leidt namelijk tot een zoektocht naar nieuwe benaderingswijzen, waarbij sprake is van intensief ruimtegebruik en verhoging van de ruimtelijke kwaliteit. Om tot een betere inpassing van infrastructuur binnen het stedelijk weefsel te komen en de breuken in het stedelijk weefsel te herstellen hebben tal van Nederlandse steden de ambitie opgepakt om de komende jaren de infrastructuur met de stedelijke groei te verknopen. De komende periode zal daarom gebruikt worden om te onderzoeken op welke wijze de ruimten naast, onder en boven infrastructuur bundels intensiever, hoogwaardiger en multifunctioneel gebruikt kunnen worden. De onderstaande voorbeelden illustreren elk op een eigen wijze de relatie waarop deze verknoping tussen stad en snelweg tot stand zal komen. Hieronder volgen een aantal voorbeelden over de stadsducten.

#### □ *Breda A16 Breda, Nederland*

Met de aanleg van de HSL en de verbreding van de A16 zal de bundel infrastructuur ten westen van Breda de komende jaren drastisch wijzigen en grote dimensies aannemen. Om versnijding van deze infrastructuurbundel tussen Breda en Prinsenbeek tegen te gaan, zijn in het ontwerp stadium twee sterk verbrede overgangen geïntroduceerd: de Stadsducten. In het ontwerp van MTD Buys & van der Vliet worden ruimtelijke en architectonische aanbevelingen gedaan om deze stadsducten in te passen en wordt aan deze overgangen een attractief beeld mee gegeven. Het doel van de opdracht was tweeledig. Enerzijds moest een schetsontwerp gemaakt worden voor een park dat zich aan beiden van de vernieuwde infrastructuurbundel A16/HSL-Zuid en over de beide stadsducten heen uitstrekt. Anderzijds moest uit dit ontwerp afgeleid kunnen worden welke constructieve eisen aan het bouwkundig ontwerp van de tunnelbak en de stadsducten gesteld moeten worden.



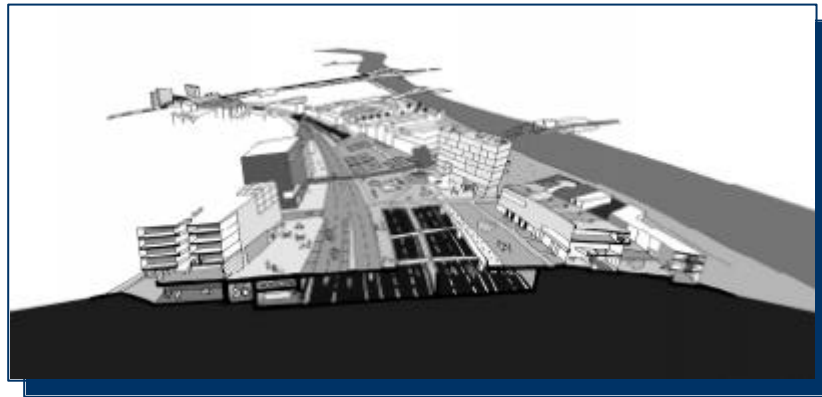
Figuur 2.8: Stadsduct Breda A16.



Doordat de infrastructuurbundel in het gehele traject meerdere malen met behulp van viaducten doorkruist wordt, streven de architecten naar eenheid, eenduidigheid en een helder architectonisch karakter van de viaducten. Beide stadsduchten, in principe 100 meter breed, liggen op korte afstand van elkaar. Door ze beide in dezelfde beweging vorm te geven ontstaat een ruimer perspectief vanaf de A16 en wordt de herkenbaarheid van de stadsduchten vergroot.

□ *A2 Leidsche Rijn Utrecht, Nederland*

Op basis van het masterplan Leidsche Rijn wordt de komende decennia een gebied van 2.560 hectare ten westen Utrecht ontwikkeld tot een multifunctioneel stedelijk centrum met de keuze voor deze locatie ontstaat een structureel ruimtelijk probleem. Direct ten westen van Utrecht ligt namelijk een bundel van twee belangrijke transportassen: het Amsterdamse-Rijnkanaal en de A2. Om de barrière-werking te slechten, is ervoor gekozen om de A2 binnen de stedelijke structuur te integreren.



*Figuur 2.9: A2 Leidsche Rijn.*

Door de A2 gedeeltelijk af te dekken en een beroep te doen op de ruimte boven de bestaande infrastructuur creëren de architecten de mogelijkheid om de barrièrewerking op te lossen. Zo ontstaan in directe relatie met de oost-west verbindingen tussen Leidsche Rijn en Utrecht vier overdekkingen, die qua ligging en uitwerking inspelen op de verschillende karakters binnen het nieuwe stedelijke landschap.

Om binnen de beperkte speelruimte van deze overdekkingen van een bepaalde functionele diversiteit te voorzien, brengen de architecten de benodigde gebouwen in directe nabijheid van de tunnelbak en wordt het dek ingenomen door openbare ruimte die behoort bij de aangrenzende voorzieningen. Naast deze overdekkingen wordt de barrièrewerking van de taluds opgelost door de bovengrondsgelegen snelweg over grote lengte in te richten als een kunstmatig duinlandschap.



*Figuur 2.10: Cartoon tekeningen van de ontwikkeling van de A2 Leidsche Rijn.*

De cartoonachtige tekeningen van het architectenbureau Max tonen op een overtuigende wijze de manier waarop de inpassing van de A2 tot de verbeelding spreekt.

Met de realisatie van de verhoogde overdekkingen wordt niet alleen de barrièrewerking van de A2 opgelost, maar ontstaat gelijktijdig een voor Nederland onbekende vorm van stedelijkheid. Een stedelijkheid waarin de snelweg niet langer wordt weggestopt maar optimaal integreert met de nieuwe stedelijke context.

## 2.4 Resumé Meervoudig Ruimtegebruik

In de bovenstaande paragrafen is getracht een beeld te vormen van het begrip Meervoudig Ruimtegebruik. Het begrip kan in verschillende vormen worden beschreven. Over het volgende is men het over eens dat:

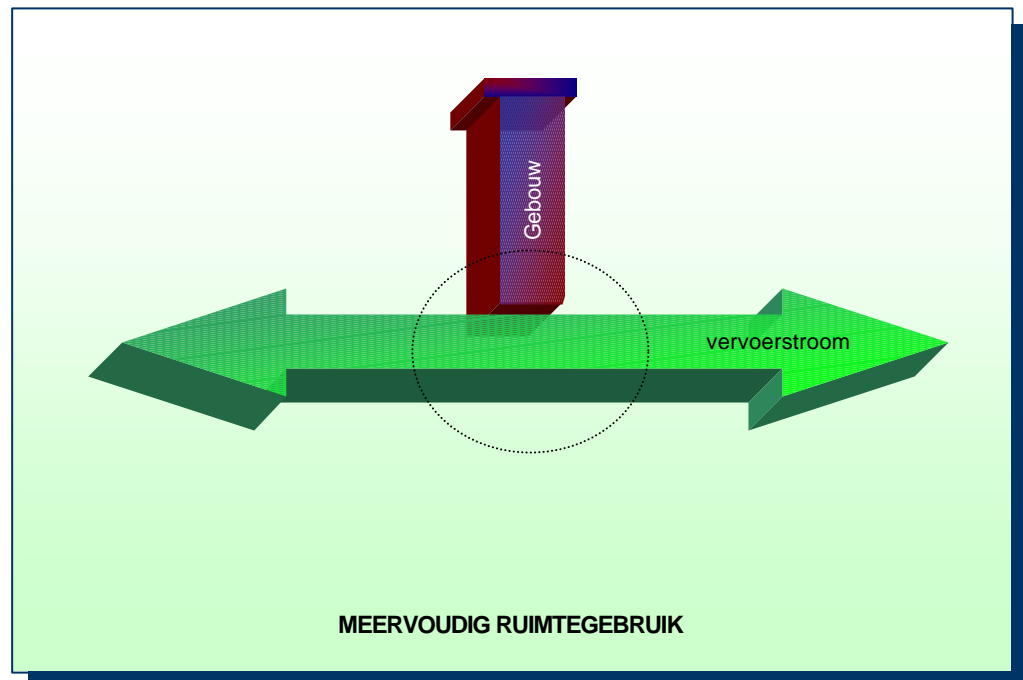
Onder invloed van de toenemende druk op de beschikbare ruimte en de verschijning van het meteropolitane landschap wordt de leefbaarheid van het Hollandse landschap vaker op de proef gesteld. Om de karakteristieke kwaliteiten van Nederland in de nabije toekomst te kunnen behouden, wordt door bestuurlijk en onderwerpend Nederland naarstig gezocht naar een "nieuw" verstedelijkingsmodel. De komende jaren zullen deze "inrichters van Nederland" een afgewogen balans moeten vinden tussen de voor ogen staande economische groei van de dichtslibbende meteropol Nederland en de betovering van de picturale kwaliteit van het Hollandse Deltalandschap. Met als resultaat ruimtelijke ordening die economische ontwikkeling en mobiliteit accommodeert door gelijktijdig een duurzame en hoogwaardige leefkwaliteit te realiseren.

Eén van de manieren om tot zulk een duurzame verbetering van de ruimtelijke kwaliteit, mobiliteit en economie te komen is Meervoudig Ruimtegebruik. Ontstaan vanuit de verstedelijkingsdiscussie rondom het begrip "Compacte stad" staat Meervoudig Ruimtegebruik voor een trendbreuk binnen de huidige ruimtelijke programma's en stuurt ze aan op het efficiënt en innovatief inrichten van de beschikbare ruimte. Dit gebeurt enerzijds door inrichtingsconcepten te ontwikkelen, die meer oog hebben voor het verwerven en intensiveren dan voor het scheiden en spreiden van de ruimtelijke programma's, en anderzijds door nieuwe vergezichten te openen.

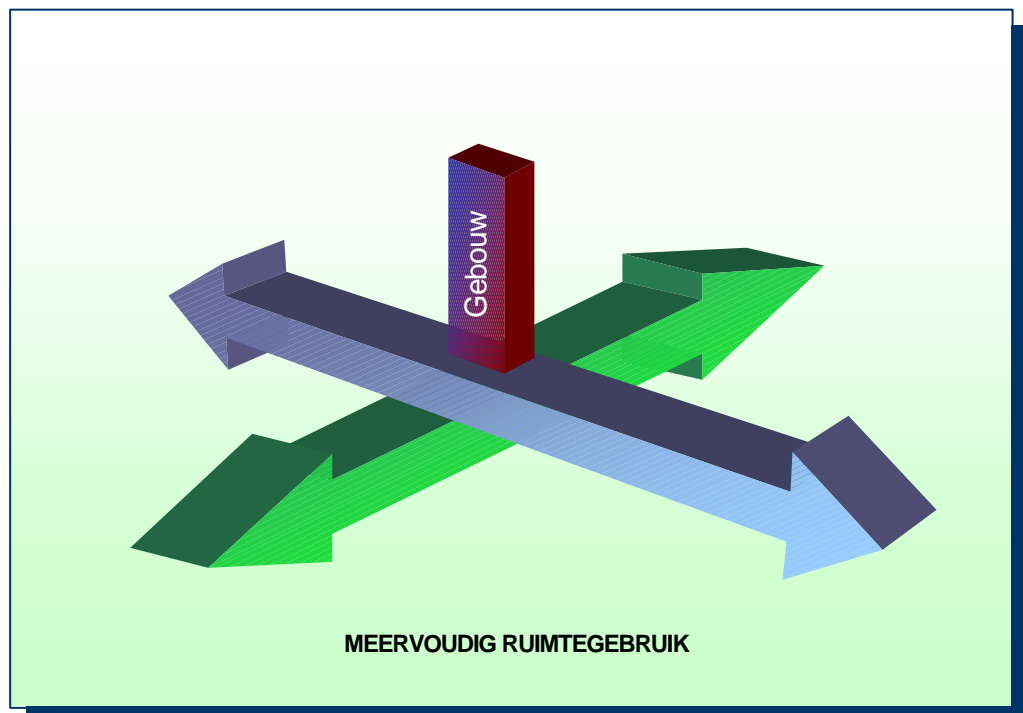
Wat opvalt in de voorgaande paragrafen is dat het begrip Meervoudig Ruimtegebruik is te schematiseren als in figuur 2.11 en 2.12. In deze figuren stellen de blokpijlen de vervoersstromen voor in verschillende lagen. De vervoersstromen kunnen bestaan uit: een weg, een spoor of een rivier/kanaal. Een combinatie van deze infrastructuren is uiteraard ook mogelijk. Waar het om gaat is dat er op die bestaande vervoerstroombaan een andere functie wordt gesitueerd, meestal een gebouw. Het eenvoudige oppervlak dat door (deze) twee functies wordt omsloten wordt Meervoudig Ruimtegebruik genoemd.

In dit onderzoek zal vooral het accent liggen op Meervoudig Ruimtegebruik in de vorm van een gebouw dat gebouwd zal worden boven een weg en/of een spoorweg. Volledigheidshalve wordt de notie geplaatst over het bouwen van gebouwen over de vervoerstroombaan "rivier/kanaal". Echter, deze zal verder achterwege gelaten worden. Immers, de veiligheid van bouwen bij zulk een project is beduidend groter dan bij bouwen over bestaande infrastructuur. Ook zal er enige aandacht worden besteed aan het bouwen van gebouwen over bestaande gebouwen.

Om tot realisatie van zulke complexe projecten over te gaan, dient het aspect veiligheid nader geëxploreerd te worden. Het volgende hoofdstuk is aan dit aspect toegewijd.



Figuur 2.11: Schematisch weergave van het begrip Meervoudig Ruimtegebruik, bij één vervoersstroom.



Figuur 2.12: Schematisch weergave van het begrip Meervoudig Ruimtegebruik, bij kruisende vervoersstromen.

# H O O F D S T U K 3

## 3

### VEILIGHEIDSFILOSOFIE

---

#### 3.1 Inleiding

Als we bouwen aan de gebouwde omgeving van de mens dan is één van de aspecten daarvan het aspect van veiligheid [Dic1974]. In één van de boeken van Mozes komen we het veiligheidsaspect in het bouwen al tegen, namelijk in Deuteronomium 22:8: "Wanneer gij een nieuw huis bouwt, dan zult gij aan uw dak een borstwering maken, opdat gij geen bloedschuld over uw huis brengt, als er iemand afvalt".

Datgene wat en hoe wij bouwen moet bestand zijn en blijven tegen de erop werkende krachten. Op een gebouw werken krachten zoals de zwaartekracht op alles, op, in en aan het gebouw, dat massa heeft, windkrachten veroorzaakt door luchtdrukverschillen, sneeuwbelasting, gronddruk, waterdruk, massakrachten door machines enz. maar soms ook zeer bijzondere krachten: aanrijdingen, explosies binnen of buiten, extreme belastingen door tijdelijke of permanente bestemmingsveranderingen, aardbevingen enz. Het gebouw moet via de draagconstructie weerstand kunnen bieden aan alle normale belastingen en voldoende incasseringsvermogen hebben om bijzondere belastingen het hoofd te kunnen bieden. De draagconstructie leidt alle krachten af, via normaalkrachten, buigende momenten, dwarskrachten en wringende momenten naar de fundering. Deze moet zodanig zijn geconstrueerd dat dit zonder hinderlijke vervormingen en scheurvorming geschiedt en dat daarbij nog voldoende reserve aanwezig is voor eventuele bijzondere aanslagen.

De draagconstructie doet dit door zijn vormgeving, detaillering en materiaaleigenschappen. In de loop der jaren kunnen die materiaaleigenschappen achteruitgaan door ouderdom, chemische of mechanische aantasting, maar ook plotseling door sterke verhitting bij een brand.

In de bouwnijverheid gebeuren jaarlijks maar liefst ruim 21.000 ongevallen, die letsel tot gevolg hebben. Dit blijkt uit cijfers, die de Stichting Sociaal Fonds Bouwnijverheid elk jaar verzamelt [2]. Op grond van landelijke gegevens kan men stellen, dat het bouwbedrijf een van de meest onveilige bedrijfstakken is, zowel intern als extern [Buu2000]. Bij een onderzoek naar de oorzaken blijkt dat een groot deel van de ongevallen veroorzaakt wordt door menselijk falen. Maatregelen ter verbetering van de veiligheid zullen zich dus zeker ook moeten richten op het voorkomen van dat menselijk falen. Ook al is de techniek uit veiligheidsoogpunt nog zo goed in orde, als er geen rekening wordt gehouden met de zwakke schakel "mens", dan blijven de statistieken even somber als ze nu zijn. Het gedrag van de mens in zijn werk is geen op zichzelf staand gegeven. Zijn veilig of onveilig gedrag evenmin.

Omtrent de veiligheid van mensen die niets met een activiteit, in dit geval de uitvoering van projecten waarbij Meervoudig Ruimtegebruik centraal staat, te maken hebben, ook wel aangeduid als derden of passanten, is tot op heden nauwelijks iets bekend [Mei2000]. Hierbij wordt gedoeld op het overbouwen van bijvoorbeeld wegen, spoorwegen en gebouwen. Het veiligheidsaspect van derden die onvrijwillig en onbewust participeren aan de uitvoeringsfase van dergelijke projecten is een belangrijk fenomeen en zal in deze studie aan bod komen. Beheersing van het veiligheidsaspect (van derden) is één der aspecten dat een cruciale rol speelt bij het geven van groen licht teneinde meer projecten m.b.t Meervoudig Ruimtegebruik met innovatieve karakter te bewerkstelligen. Helaas zijn er geen ongevallen statistiek beschikbaar waarbij derden de slachtoffer werden van de bouwactiviteiten.

Ondanks dat we tegenwoordig beschikken over allerlei, vaak zeer geavanceerde onderzoekstechnieken is het niet goed mogelijk een volledig bevredigende oplossing te vinden voor het veiligheidsvraagstuk. Toch is het onontbeerlijk te weten welke processen de veiligheid van uitvoering van complexe projecten beïnvloeden. Die kennis is nodig om een betere oplossing van het probleem te vinden. En derhalve is dit hoofdstuk ingewijd aan de veiligheidsfilosofie.

De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt: In *paragraaf 3.2* en *3.3* zal respectievelijk het begrip risico en risico-analyse behandeld worden. Vervolgens komen de stappen in deze analyse aan bod in *paragraaf 3.4*. De toelichting hierop geschiedt in *paragraaf 3.5*. *Paragraaf 3.6* behandelt de beslissingstheorie. Maatschappelijke acceptatie en normen komen in *paragraaf 3.7* aan bod.

De informatie voor dit hoofdstuk is grotendeels verkregen uit *Kansen in de civiele techniek, Deel 1: Probabilistisch ontwerpen in de theorie*, CUR-rapport 190 van J.K. Vrijling en A.C.W.M. Vrouwenvelder e.a., CUR, Gouda, maart 1997 (hoofdstuk 3 en 4).

### 3.2 Het begrip risico

Veiligheid is een subjectief begrip, omdat het immers te maken heeft met "zich veilig voelen". Een huiseigenaar bijvoorbeeld kan zich in zijn eigen huis al niet veilig voelen door een bericht in de krant over een inbraak, die niet eens in de directe omgeving plaatsvond. Maar een ander ziet geen enkele aanleiding tot extra veiligheidsmaatregelen, al wordt er met de regelmaat van de klok ingebroken in zijn straat. Objectief gezien loopt de tweede persoon meer risico en is er voor hem of haar meer aanleiding passende veiligheidsmaatregelen te nemen. Toch zal het in de praktijk eerder zo zijn dat juist de eerste bewoner maatregelen neemt - zoals extra sloten - om zo zijn veiligheidsgevoel te verbeteren [Abe1998].

Uit dit voorbeeld blijkt dat het niet mogelijk is op basis van een subjectief gevoel een bevredigend veiligheidsconcept te ontwikkelen. Er bestaat daarom behoefte aan een meer *objectieve beoordeling*. Daarbij speelt het begrip onveiligheid een rol.



Figuur 3.1: Een (on)veilig gevoel.

*Onveiligheid is synoniem met het lopen van risico.*

Dit risico bestaat uit *schade* in de vorm van persoonlijk leed (slachtoffers) en/of materiële schade. Wanneer we in staat zijn dit risico te kwantificeren en vervolgens te toetsen aan een algemeen geaccepteerde norm, is er sprake van een (min of meer) objectief *risico-concept*, en mogelijke formulering van risico luidt als volgt:

$$R = P \cdot S < A$$

Hierin is:

- R het risico;
- P de kans op een ongewenste gebeurtenis, dat is de kans op falen of bezwijken;
- S de (gekapitaliseerde) schade;
- A de acceptatie-norm (het aanvaardbare risico).

Volgens de Dikke van Dale is risico:

*Gevaar voor schade of verlies, de gevaarlijke of kwade kans of kansen die zich bij iets voordoen.*

In de definitie worden een kans en een gevolg (schade of verlies) genoemd. Het accent ligt echter op de kans. Het kwantificeren en vergelijken van risico's op basis van alleen de kans is echter niet reëel, immers bij de kans van 50% op het verlies van 100 gulden is het risico anders dan bij de kans van 50% op het verlies van 1000 gulden. Ook in kringen van risico-analisten bestaat over de definitie van risico geen eensluidendheid. Er zijn meer definities [Vro1996] van het begrip risico gangbaar, die een kwantitatieve analyse mogelijk maken, vier van deze definities zijn:

1. *Risico is de kans op een ongewenste gebeurtenis bij een proces of object;*
2. *Risico is het gevolg van een ongewenste gebeurtenis;*
3. *Risico is kans x gevolg;*
4. *Risico is de functie van de kans en het gevolg.*

De eerste twee definities zijn voor het algemene geval niet goed bruikbaar. De risico's die betrekking hebben op kleine kansen met zeer grote gevolgen of grote kansen met kleine gevolgen, zullen bij gebruik van de eerste respectievelijk de tweede definitie niet goed tot uitdrukking komen. De derde definitie geeft een betere basis voor vergelijking van risico's. In feite wordt een verwachtingswaarde van het gevolg van een proces bepaald. In sommige gevallen komt dit overeen met het verlies dat deterministisch op de lange termijn optreedt. De kans op een ongewenste gebeurtenis en het gevolg van deze gebeurtenis spelen een even belangrijke rol in deze definitie. Omdat de kans dimensieloos is, is de dimensie van het risico volgens deze definitie gelijk aan die van het gevolg. De definitie lijkt eenvoudig, maar de gevolgen van een ongewenste gebeurtenis zijn vaak meerdimensionaal (materiële schade, gewonden, doden, menselijk leed enz.) en daardoor zal het risico niet zonder meer uit te drukken zijn in één getal.

De laatste definitie van het risico is de meest algemene van de vier genoemde. In feite zijn de eerste drie definities bijzondere vormen van de vierde. Met deze definitie is het mogelijk om aan het gevolg van een ongewenste gebeurtenis een gewicht toe te kennen, dat afhankelijk is van de ernst van het gevolg. Dit is vooral van belang bij kleine kansen en grote gevolgen, waarbij een definitie van een deterministisch verlies over een lange termijn niet opgaat. Ook kunnen hiermee zaken zoals risico-aversie in rekening worden gebracht bij de beoordeling van het risico. Het gevolg van een ongewenste gebeurtenis kan zowel deterministisch als stochastisch zijn. Als sprake is van een stochastisch gevolg, kan voor het risico een kansdichtheidsfunctie worden gedefinieerd, waarvan de verwachtingswaarde is te bepalen.

*In dit onderzoek zal de derde definitie gehanteerd worden.*



### 3.3 Risico-analyse

Een risico-analyse kan voor velerlei doelen worden gebruikt. Bijvoorbeeld voor het toetsen van de veiligheid aan een norm of het economisch optimaliseren van processen en objecten.

*Een algemeen doel van de risico-analyse is het leveren van een basis voor het rationeel nemen van beslissingen.*

Voorbeelden hiervan zijn het (economisch) optimaliseren van maatregelen, het analyseren van veiligheidsproblemen enzovoorts. Afhankelijk van de doelstellingen moeten normen worden gesteld, waaraan de resultaten van de analyse moeten voldoen. Wanneer het gaat om veiligheidsvraagstukken, speelt het nationale veiligheidsbeleid een belangrijke rol. Dit beleid is vastgelegd in door de overheid gestelde normen. Processen en specificaties van objecten moeten indien nodig worden bijgesteld, zodat aan dergelijke normen wordt voldaan. Bij een economische optimalisatie spelen kosten van het proces of object in samenhang met het risico een belangrijke rol. Het risico moet dan echter wel uit te drukken zijn in een monetaire eenheid. Doorgaans gaat het bij een dergelijke analyse om het minimaliseren van de som van de kosten van realisatie en in stand houden van het proces of object en het risico. De grenswaarde voor het risico ligt in een dergelijke analyse niet op voorhand vast.

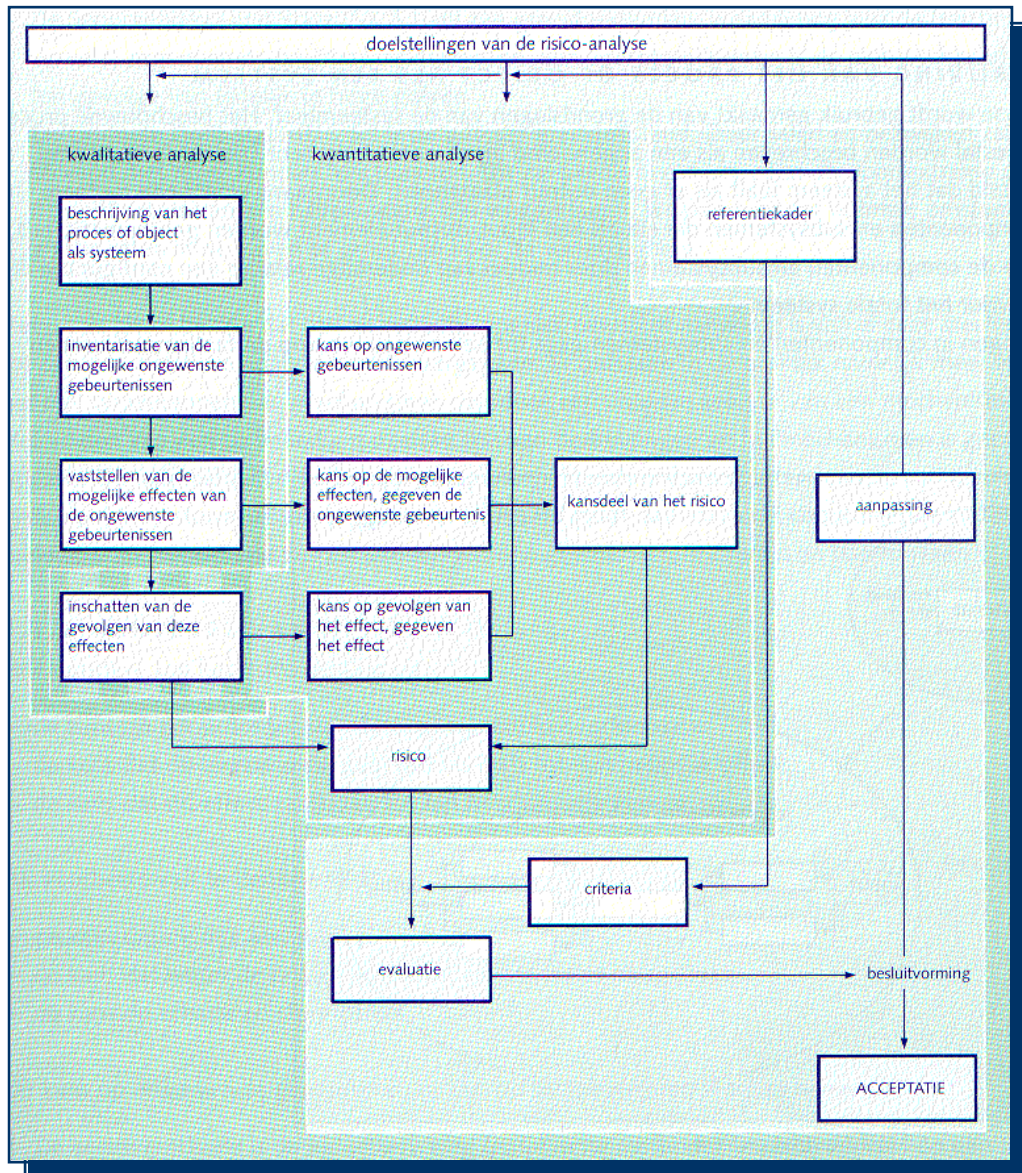
### 3.4 Stappen in een risico-analyse

In de inleiding van dit hoofdstuk is duidelijk gemaakt dat risico een functie is van kansen en gevolgen. De risico-analyse bestaat derhalve uit een analyse van kansen en gevolgen. Daarnaast kan afhankelijk van de doelstellingen van de analyse ook het vaststellen van normen en criteria, waaraan het risico moet voldoen, onderdeel uitmaken van de analyse. In figuur 3.2 zijn elementen van een risico-analyse schematisch weergegeven. Bij de risico-analyse kan onderscheid worden gemaakt in:

1. Een kwalitatieve analyse, bestaande uit de analyse van de functies en onderdelen van het systeem, de inventarisatie van bedreigingen, faalmechanismen, gevolgen en het vastleggen van de onderlinge samenhang
2. Een kwantitatieve analyse, bestaande uit de berekening van de faalkans, kwantificering van gevolgen, berekening van risico's en beoordeling van het resultaat door toetsing aan normen;
3. Besluitvorming en toetsing van het risico.

De kwantitatieve analyse is niet altijd mogelijk of wenselijk. In een dergelijk geval kan alleen een kwalitatieve risico-analyse worden uitgevoerd om te komen tot een globale beoordeling van de risico's en verbetering van processen of objecten.

De in figuur 3.2 genoemde elementen kunnen worden gebruikt als stappen in de analyse. De pijlen geven de logische volgorde aan. De getoonde werkwijze is een handreiking voor een mogelijke uitvoering van een risico-analyse en moet niet als dwingend worden gezien. Soms worden er stukken aan de analyse toegevoegd, omdat die relevant zijn waar het gaat om de besluitvorming. Soms worden er stukken weggelaten, omdat deze technisch (nog) niet kunnen of te veel kosten met zich meebrengen, maar de relevantie niet aantasten.

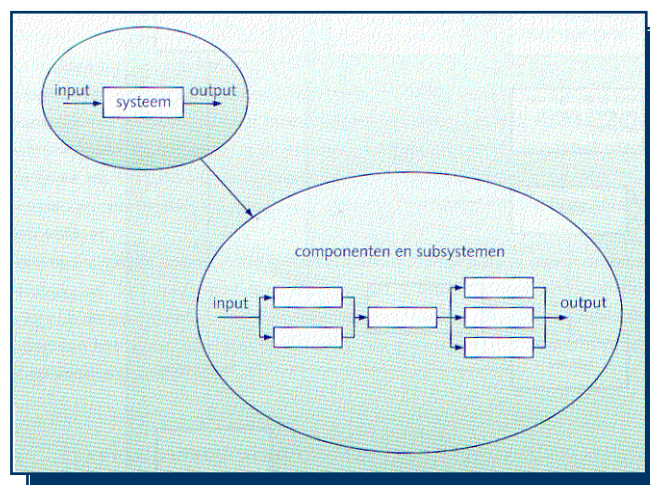


Figuur 3.2: Onderdelen in een risico-analyse.

### 3.5 Korte toelichting op het stappenplan

#### 3.5.1 Beschrijving van het proces of object als een systeem

In de risico-analyse [Vro1996] wordt gebruik gemaakt van de grondslagen van de systeemleer. Het beschouwde proces of object kan meestal worden beschreven als een zogenaamd input-output element (zie figuur 3.3). Hierbij wordt verondersteld dat het systeem faalt als er geen output plaatsheeft. Doorgaans wordt een systeem opgedeeld in componenten en subsystemen die elk als een input-output element worden geschematiseerd. Tezamen vormen de componenten en subsystemen door middel van onderlinge relaties een configuratie die representatief is voor het totale systeem. De onderverdelingen in componenten en subsystemen gaat tot een niveau waarop de faalkansen kunnen worden bepaald.



Figuur 3.3: Input-output systeem.

#### 3.5.2 Inventarisatie van mogelijke ongewenste gebeurtenissen, effecten en gevolgen

In deze fase wordt geprobeerd een zo volledig mogelijk inzicht te verkrijgen in alle mogelijke ongewenste gebeurtenissen en de gevolgen daarvan. Als een systeem of een onderdeel daarvan één of meer gewenste functies niet meer vervult, wordt gesproken van falen. De toestand falen kan langs verschillende wegen worden bereikt. Zo'n weg, die leidt tot falen, wordt een faalmechanisme genoemd. De toestand, waarbij nog juist geen falen optreedt, heet een grenstoestand. In de praktijk worden twee soorten grenstoestanden onderscheiden, één waarbij overschrijding ervan leidt tot tijdelijk en/of gedeeltelijk falen en één waarbij langdurig en/of volledig falen optreedt. In de literatuur zijn deze gevallen bekend als:

- De Serviceability Limit State (S.L.S.); dit zijn grenstoestanden, waarbij nog juist de functies kunnen worden vervuld, zogenoemde bruikbaarheidsgrenzen. Een voorbeeld hiervan is de niet-werkbaarheid op de bouwplaat ten gevolge van zeer slecht weer;

- De Ultimate Limit State (U.L.S.) is de uiterste grenstoestand. Door falen en bezwijken zal een object blijvend niet meer kunnen functioneren. Dit zal bijvoorbeeld optreden als door extreme omstandigheden een noodviaduct onder een gebouw bezwijkt, waardoor de daaronderliggende weg bezwijkt en voor een bepaalde tijd moet worden afgesloten.

Het is van groot belang dat een zo volledig mogelijk overzicht aanwezig is van al deze mechanismen, alvorens tot een kwantitatieve analyse wordt overgegaan. Er ontstaan in de praktijk namelijk meer ongelukken door het niet onderkennen van mechanismen dan door een onjuiste analyse van een mechanisme.

### 3.5.3 Kansdeel van het risico

Het kansdeel van het risico bestaat uit:

- De kans op het optreden van de ongewenste gebeurtenissen;
- De kans dat de ongewenste gebeurtenis leidt tot een mogelijk effect;
- De kans dat dit effect zal leiden tot het beschouwde gevolg.

Als voorbeeld valt te denken aan:

- De kans dat een bepaalde element valt;
- De kans dat het element een persoon raakt;
- De kans op schade en slachtoffers.

De kans op ongewenste gebeurtenissen kan op twee manieren worden benaderd:

1. De eerste methode is de inductieve weg (empirische methode), waarbij de kans op een bepaalde gebeurtenis wordt bepaald door gebruik te maken van statistieken (database). Een voordeel van deze methode is dat, bij identieke processen en systemen, geen belangrijke bezwijkmechanismen over het hoofd worden gezien. Nadelig is echter dat deze werkwijze over het algemeen niet veel inzicht geeft in de werking van de mechanismen, waardoor minder doelmatig kan worden gewerkt aan het voorkomen van faalmechanismen. Als de kans op ongewenste gebeurtenissen langs inductieve weg wordt bepaald, is het van groot belang dat het systeem en de randvoorwaarden niet veranderen in de tijd.
2. De tweede methode is die langs deductieve weg. Bij deze methode worden alle faalmechanismen in beschouwing genomen. Het voordeel van deze methode is dat inzicht wordt verkregen in de verschillende faalmechanismen, zodat gerichte maatregelen kunnen worden getroffen om de kans op ongewenste gebeurtenissen te verkleinen.

De kans op mogelijke effecten en de kans op gevolgen van mogelijke effecten kunnen op gelijke wijze worden bepaald als de kans op een ongewenste gebeurtenis. Het gaat hier om voorwaardelijke kansen. Het totale kansdeel van het risico bedraagt:

$$P(E_1)P(E_2|E_1)P(G|E_1 \cap E_2)$$

Hierin is:

- $E_1$  is de ongewenste gebeurtenis (bijvoorbeeld "vallen element")  
 $E_2$  is het effect (bijvoorbeeld "raken persoon")  
 $G$  is het gevolg (bijvoorbeeld "aantal doden")

De kans  $P(E_1)P(E_2|E_1)$  is doorgaans de faalkans  $P_f$ . De kans  $P(G|E_1 \cap E_2)$  kan alleen worden bepaald als het gevolg deterministisch is of als het gevolg een discontinue stochastische variabele is met een gegeven. Als het gevolg een continue stochastische variabele is, moet de kansverdelingsfunctie in rekening worden gebracht.

### 3.5.4 Vaststellen en evalueren van het risico

Na het vaststellen van de gevolgen en bijbehorende kansen, kan het risico worden bepaald en kan een evaluatie plaatshebben. Doorgaans gebeurt dit door het toetsen van het risico aan vooraf gestelde normen. Als de risico-analyse wordt gebruikt in het ontwerp van processen en objecten, worden de stappen vaak verschillende malen met aangepaste systeemspecificaties doorgelopen om te komen tot een optimaal ontwerp. Bij een economische optimalisatie worden per iteratieslag de kosten van het proces of object en het risico berekend. Het ontwerp is optimaal als de kosten minimaal zijn.

### 3.5.5 Besluitvorming op basis van risico-analyse

De risico-analyse is vaak een ondersteuning voor het nemen van beslissingen. Doewel een risico-analyse in principe na de evaluatie is afgerond, wordt hier tot slot nog de rationele besluitvorming op basis van een risico-analyse genoemd.

## 3.6 Beslissen onder onzekerheden.

Beslissen is in feite een keuze uit alternatieven. De basis voor de moderne beslissingstheorie is het klassieke "Homo Economicus" model. De Homo Economicus [Vro1996]:

- Heeft complete informatie over de beslissituatie;
- Kent alle alternatieven;
- Kent de bestaande situatie;
- Weet welke voordelen en nadelen ieder alternatief hem oplevert, zij het in de vorm van stochastische variabelen;
- Streeft naar maximalisering van dat voordeel.

De beslispraktijk ziet er dikwijls anders uit. Dat heeft voor veel praktijkgevallen geleid tot een uitbreiding van het model. Beslissituaties worden gekarakteriseerd door meerdere beslissers, met meerdere doelen en een aantal beslisfasen. Dit geeft geen aanleiding tot een fundamentele aanpassing van het principe van het klassieke model. Eind jaren vijftig kwam het klassieke model onder vuur te liggen.

De beslisser:

- Kent niet alle alternatieven;
- Kent niet alle effecten van de alternatieven;
- Weet niet wat effect welk alternatief heeft.

March en Simon introduceerden de "Bounded Rationality" bij het beslissen, dat wordt gekarakteriseerd door:

- Het feit dat alternatieven niet beschikbaar zijn, maar moeten worden ontdekt en verder moeten worden ontwikkeld;
- Het feit dat optimale beslissingen niet kunnen worden genomen en dat de beslisser tevreden moet zijn met bevredigende oplossingen.

Het model van Simon kan uitkomst bieden bij beleidsbeslissing en ontwerpprocessen, Dit zijn situaties waarin oplossing nog moeten worden gevonden of ontwikkeld.

Als het aantal acties, waaruit gekozen moet worden, ongelimiteerd is kan de Bayesiaanse beslissingstheorie een oplossing bieden. Hiertoe wordt het risico gekapitaliseerd en vergeleken met de investeringen die nodig zijn om een bepaald faalkansniveau te kunnen garanderen. Het risico moet worden beschouwd over een bepaalde periode, namelijk de periode waarin de activiteit heeft plaatsgevonden of de tijdsduur over een systeem wordt ontworpen. De investeringen in een bepaalde activiteiten kunnen bestaan uit stichtingskosten en onderhoudskosten en kunnen verspreid over een periode plaatshebben. In verband met de tijdsafhankelijkheid van de investeringen en het risico is het uit economisch oogpunt belangrijk dat het verloop van de kosten in de tijd in beschouwing wordt genomen. Door de contante waarde van de verschillende kosten te berekenen, met in acht name van rente en inflatie, kunnen de kosten worden gesommeerd op een vast tijdstip. (De contante waarde berekening).

De totale kosten ( $C_t$ ) worden gedefinieerd als:

$$C_t = C_i + C_r$$

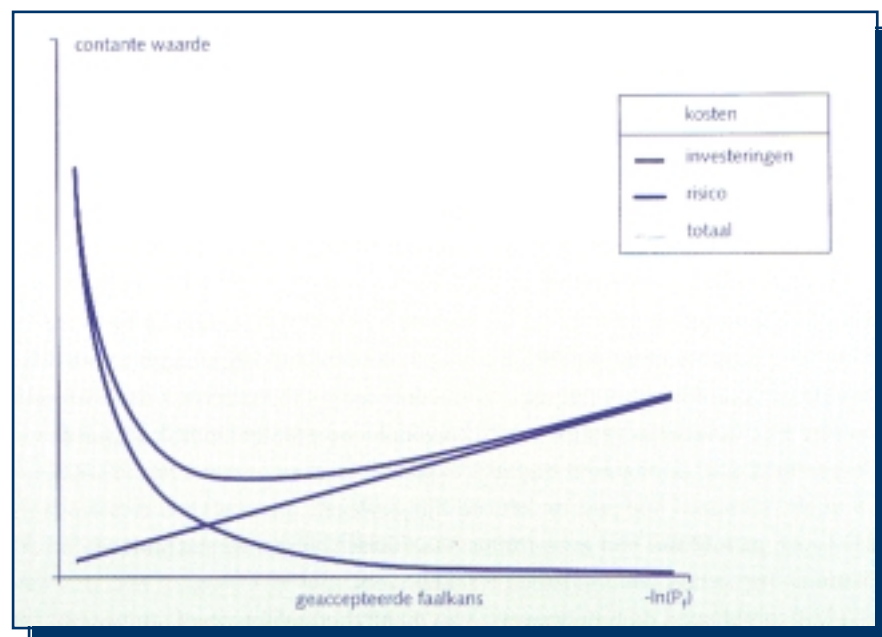
Waarin

- $C_i$  is de contante waarde van de investeringen, bestaande uit stichtingskosten en onderhoudskosten;
- $C_r$  is de contante waarde van het risico.

In figuur 3.4 is het mogelijk verloop van de kosten als functie van de geaccepteerde faalkans van een systeem weergegeven. Het economische optimum voor de geaccepteerde faalkans, waarbij de totale kosten minimaal zijn. Ter plaatse van dit minimum geldt:

$$\frac{dC_r}{dC_f} = 0$$

In de economische optimalisatie van het faalkansniveau moet de besluitvormer alle verliezen uitdrukken in geld. Hierbij kan hij stuiten op problemen als het gaat om doden en gewonden.



Figuur 3.4: Kosten als functie van de geaccepteerde faalkans.

### 3.7 Referentiekader met betrekking tot veiligheid

#### 3.7.1 Problematiek

Veiligheid is een subjectief begrip, soms zelfs niet meer dan een gevoel. Voor het toetsen van risico's aan normen is een meer objectieve formulering van het begrip veiligheid noodzakelijk. Een grote veiligheid staat gelijk aan een klein risico en omgekeerd is een groot risico gelijk aan een kleine veiligheid. op grond hiervan is het aannemelijk om de veiligheid uit te drukken in termen van risico, zodat de mate van veiligheid is te kwantificeren. Een gewenste veiligheid resulteert dan in een acceptabel risico.

Het antwoord op de vraag "wat is een acceptabel risico" is niet eenvoudig en afhankelijk van een groot aantal factoren. Mede door de verschillende dimensies van het risico, zoals bijvoorbeeld economische schade, letsel en emotionele schade is het vergelijken en toetsen van risico's moeilijk of soms zelfs onmogelijk. De huidige veiligheidsnormen beperken zich tot het gevolg "overlijden", zodat gebruik kan worden gemaakt van de overlijdingsstatistieken. In het verleden zijn drie toetsingscriteria ontwikkeld, te weten:

- De individuele acceptatie van risico's;
- De maatschappelijke acceptatie van risico's;
- Economisch criterium.

De individuele acceptatie van een bepaald risico zal in sterke mate afhangen van het voordeel dat het individu behaalt uit de activiteit die het risico veroorzaakt. Bij volledige vrijwilligheid worden beslissingen doorgaans snel genomen met als achtergrond dat een keuze direct kan worden gewijzigd als blijkt dat het risico groter is dan aanvankelijk was aangenomen. Het individueel geaccepteerde risico-niveau is volgens DANTZIG gedefinieerd als de door een individu geaccepteerde frequentie van het oplopen van een bepaalde mate van letsel ten gevolge van een gebeurtenis. Hier is de beschouwde mate van letsel beperkt tot overlijden.

De maatschappelijke acceptatie heeft betrekking op risico's voor de totale bevolking. In het algemeen wordt bij veiligheidsproblemen de beschouwing van maatschappelijke gevolgen beperkt tot het aantal slachtoffers ten gevolge van een gebeurtenis. Het maatschappelijk geaccepteerde risico kan worden beschreven met een begrenzing van de kans op een aantal doden als gevolg van een activiteit. Onderkend wordt dat een beperkte beschouwing van de gevolgen in de vorm van het aantal slachtoffers of de economische schade niet voldoende is om de maatschappelijke beleving van het verlies te beschrijven, echter voorlopig is een betere modellering nog niet beschikbaar.

### 3.7.2 Randvoorwaarden

In een enkel geval zijn de gevolgen van falen exact bekend. Doorgaans is dit echter niet het geval. Het gevolg van falen is daarom het beste te beschrijven als stochastische variabele. De schade is afhankelijk van een groot aantal factoren. Het gevolg kan zowel een continue als discontinue stochastische variabele zijn. De beschrijving van de aanvaardbaarheid van het risico kan een functie zijn van het gevolg. Deze functie geeft dan voor alle mogelijke gevolgen een maximaal toelaatbare overschrijdingskans. Het individueel geaccepteerde risico, in de vorm van een maximaal toelaatbare overlijdingskans als gevolg van een activiteit, heeft één waarde als randvoorwaarde.



Er is dan dus sprake van een discontinue stochastische variabele met twee mogelijke waarden: "overlijden" en "niet overlijden". Als het gevolg van falen een continue variabele is, is het doorgaans niet voldoende om één grenswaarde te geven voor het risico. De risico-acceptatie hangt namelijk in veel gevallen af van de ernst van het gevolg van falen. Een alternatief is dan de gevolgen te wegen en het, risico te definiëren volgens definitie 4 paragraaf 3.2. Met name bij de maatschappelijke acceptatie van risico's, met een aantal doden als gevolg van falen, speelt dit een rol. In dergelijke gevallen kan een begrenzing worden gesteld aan de kansverdeling van het aantal doden in een jaar ten gevolge van een activiteit.

### 3.7.3 Huidige veiligheidsnormen

#### □ *Individueel acceptabel risico*

Onder het individueel acceptabel risico wordt verstaan: "de acceptabele kans dat een individu zijn leven verliest ten gevolge van een activiteit van een ander". Als basis voor het bepalen van het individueel acceptabel risico dient de levensverwachting van de Nederlandse bevolking. Uit een analyse van statistische gegevens is gebleken dat jonge mannen van 6 tot 20 jaar een kans op overlijden in een jaar hebben van  $10^{-4}$ . In deze analyse zijn alle mogelijke doodsoorzaken in beschouwing genomen en is er geen onderscheid gemaakt naar activiteiten.

Voor de acceptatie van een activiteit is gesteld dat de toename van de kans op overlijden niet meer dan 1% mag bedragen. De maximaal toegestane overlijdenskans bij een activiteit bedraagt dan  $10^{-6}$ . De faalkans of de kans op een ongeval ten gevolge van een activiteit is derhalve:

$$P_{fi} \leq \frac{10^{-6} / \text{jaar}}{P_{d|fi}}$$

waarin:

$P_{fi}$  is de kans op een ongeval in een jaar als gevolg van activiteit  $i$  (faalkans);  
 $P_{d|fi}$  is de kans op overlijden van een persoon na een ongeval.

Deze formulering houdt geen rekening met een mate van vrijwilligheid. Ook ontbreekt de invloed van de baten van de activiteit in de mate van risico-acceptatie. De methode die is beschreven in 3.7.4 voorziet hierin wel.

#### □ *Groepsrisico acceptatienorm*

Het door het ministerie van VROM gedefinieerde groepsrisico acceptatienorm heeft betrekking op de kansdichtheid van het aantal doden per jaar ten gevolge van een activiteit op één enkele locatie. Het groepsrisico van een activiteit wordt acceptabel geacht als de kansverdeling van het aantal doden per jaar op elke onafhankelijke locatie voldoet aan:

$$P(N_{dij} > n) = 1 - F_{N_{dij}}(n) \leq \frac{C_i}{n^2}$$

Voor alle n met

$$C_i = \left( \frac{\beta_i \cdot 100}{k \sqrt{N_a}} \right)^2$$

waarin

$F_{N_{dij}}(n)$  is de kansverdelingsfunctie van het aantal doden in een jaar ten gevolge van activiteit i op plaats j;

$n$  is de realisatie van  $N_{dij}$ ;

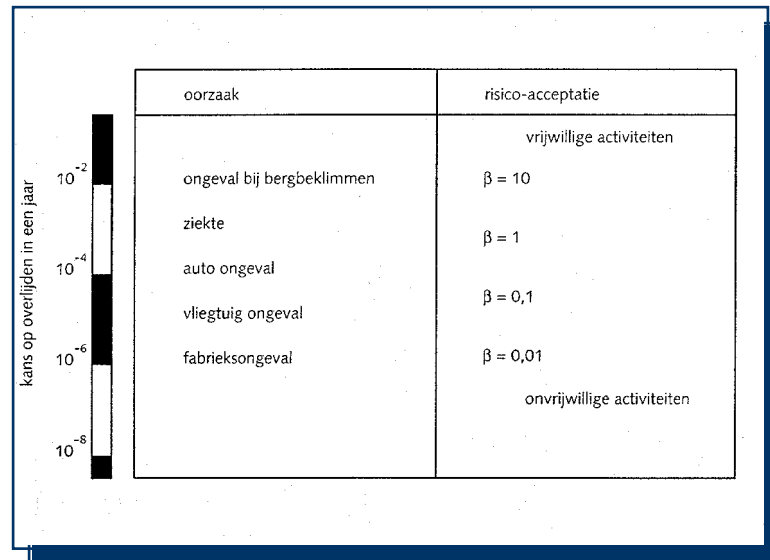
$N_{dij}$  is het aantal doden op plaats j ten gevolge van activiteit i.

Een kanttekening bij het gebruik van deze formule, bepaald door het ministerie van VROM, is dat deze formule eigenlijk toepasbaar is als er sprake is van een grote (nationale) ramp, waarbij  $n > 10$ . Bovendien is de formule geassocieerd met een theoretische kansdichtheidsfunctie en overschrijdingskromme van de gevolgen van een activiteit. Het gevolg van falen is het beste te beschrijven als stochastische variabele. Het individueel geaccepteerde risico, in de vorm van een maximaal toelaatbare overlijdingskans als gevolg van een activiteit, heeft één waarde als randvoorwaarde [Vro1996]. Als het gevolg van falen een continue variabele is, is het doorgaans niet voldoende om één grenswaarde te geven voor het risico.

### 3.7.4 Algemeen toepasbare veiligheidsnormen

□ *Individueel acceptabel risico*

Met behulp van de ongevallenstatistiek is voor verschillende activiteiten geïnventariseerd wat de kans op een dodelijk ongeval is (zie figuur 3.5).



Figuur 3.5: Ongevallenstatistiek.

Uit deze inventarisatie blijkt, zoals verwacht, dat de mate van vrijwilligheid van de activiteit een grote invloed heeft op het geaccepteerde risico. Een eenvoudige formulering van het geaccepteerde risico, die hiermee rekening houdt, is:

$$P_{fi} \leq \frac{\beta_i \cdot 10^{-4}}{P_{d|fi}}$$

waarin:

$P_{fi}$  is de kans op een ongeval ten gevolge van activiteit  $i$ ;

$P_{d|fi}$  is de kans op overlijden na een ongeval;

$\beta_i$  is de beleidsfactor die wordt bepaald op basis van de mate van vrijwilligheid en/of belang van het individu bij de activiteit, variërend van 10 tot 0,01.

Deze formule kan worden omschreven in:

$$\Delta P \leq \beta_i \cdot 10^{-4}$$

Hierin is  $\Delta P$  gelijk aan de toename van de kans op overlijden van één persoon.

De toepasbaarheid van deze vergelijking beperkt zich tot die gevallen, waarbij overlijden het belangrijkste gevolg is van het falen van een systeem of van een ongeval. Het materiële risico van een individu komt verder niet aan de orde.

□ *Groepsrisico acceptatienorm*

Met betrekking tot de groepsrisico acceptatienorm van risico's ligt het voor de hand de risico's van een activiteit op nationaal niveau in beschouwing te nemen. Bij het ontwerp en beheer van objecten of het uitoefenen van een bepaalde activiteit is men over het algemeen juist slechts geïnteresseerd in de te stellen; lokale veiligheidseisen. Als de risico's op lokaal niveau bekend zijn, is het risico op nationaal niveau bepaald door het aantal onafhankelijke locaties waar de activiteit plaatsheeft. De normstelling van de maatschappelijk toelaatbare risico's kan echter beter op nationaal niveau plaatshebben, om vervolgens het acceptabele risico op lokaal niveau vast te stellen.

Als model voor het groepsrisico acceptatienorm op nationaal niveau kan de kans op het overlijden van een persoon uit een groep mensen, ter grootte van de gemiddelde kennissenkring (100 personen), ten gevolge van een onvrijwillige activiteit, dienst doen. Deze kans bedraagt circa  $1,4 \cdot 10^{-3}$  in een jaar. Rekening houdend met de beleidsfactor  $\beta_i = 0,1$  (zie fig. 4.10) voor dergelijke activiteiten kan deze kans ook worden geschreven als  $1,4 \cdot 10^{-2} \cdot \beta_i$ . De kans op overlijden ten gevolge van een activiteit in een jaar op nationale schaal kan worden gedefinieerd als de verwachtingswaarde van het aantal doden in een jaar gedeeld door de totale populatie. De kans dat een persoon uit een groep van 100 personen als deelverzameling van de totale populatie in een jaar overlijdt ten gevolge van de beschouwde activiteit is:

$$\frac{E(N_{di})}{tot. populatie} 100$$

waarin

$E(N_{di})$  is de verwachtingswaarde van het aantal doden in een jaar ten gevolge van activiteit  $i$  op nationale schaal.

Met een totale populatie van circa 14 miljoen mensen resulteert dit in de eis:

$$\frac{E(N_{di})}{tot. populatie} 100 \leq \beta_i \cdot 1,4 \cdot 10^{-2}$$

# H O O F D S T U K 4

## 4 WETTELIJKE KADERS

---

### 4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft inzicht in de nationale en lokale regelgeving die van belang is voor de thema's bouwveiligheid en bouwhinder. Dit hoofdstuk is gebaseerd op de informatie uit het rapport *Bouwveiligheid en bouwhinder bij Meervoudig Stedelijk Ruimtegebruik*, door dr.ir.ing. H.J. Visscher en F. Meijer, Onderzoeksinstituut OTB, TU Delft, 10 mei 2000.

Op nationaal niveau is de Arbowetgeving (Bouwprocesbesluit Arbeidsomstandigheden) van belang. Deze richt zich in de eerste plaats op de veiligheid op de bouwplaats (*paragraaf 4.2*). Voor het beheersen van de veiligheid van derden ten gevolge van de uitvoering van bouwprojecten, biedt de gemeentelijke bouwverordening de basis (*paragraaf 4.3*). Op grond van die verordening kan van de opdrachtgever een bouw- of sloopveiligheidsplan worden vereist. Voorts worden de afsluitingen van de openbare weg en omleidingen geregeld via de opbrekvergunning (*paragraaf 4.4*). Als leidraad voor het gemeentelijk handelen inzake de bouwveiligheid wordt het handboek bouwveiligheid gebruikt (*paragraaf 4.5*). Voor de beheersing van mogelijke hinderlijke effecten voor de directe omgeving van de uitvoering van grote bouwprojecten is verder de gemeentelijke Nota Bouwputten van belang (*paragraaf 4.6*). Vervolgens is het van belang om vast te stellen welke verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid de gemeente heeft door haar handelen bij de beheersing van de bouwveiligheid (*paragraaf 4.7*).

## 4.2 Bouwprocesbesluit Arbeidsomstandighedenwet

De Arbeidsomstandighedenwet vormt het algemeen wettelijk kader en richt zich op veiligheid, gezondheid en welzijn in verband met arbeid. De wet bevat voorschriften die in meer algemene zin betrekking hebben op de verplichtingen van werkgever en werknemer, de wijze waarop beide partijen (plus eventuele deskundigen) moeten samenwerken en de wijze waarop het overheidstoezicht is geregeld.

In het Arbobesluit zijn vervolgens de materiële bepalingen opgenomen op het gebied van de arbeidsomstandigheden. Het Arbobesluit is in de plaats gekomen van de vele uitvoeringsbesluiten die de jaren daarvoor ontwikkeld zijn (zoals bijvoorbeeld het Asbestbesluit). Op basis van de Arbowet en het Arbobesluit kan de overheid onderdelen nader uitwerken met behulp van een ministeriële regeling. Dit is gebeurd in de Arbeidsomstandighedenregeling. Verder zijn er nog de Arbobeidsregels, waarin is vastgelegd hoe de arbeidsinspectie concreet moet omgaan met voorschriften en regels die in de Arbowet en het Arbobesluit globaal zijn omschreven.

Het Bouwprocesbesluit Arbeidsomstandighedenwet is een Algemene Maatregel van Bestuur (AMVB) die gebaseerd is op de Arbowet. Het is in augustus 1994 in werking getreden. Bouwprocesbesluit geeft uitvoering aan de EG-richtlijn inzake veiligheid en gezondheid op tijdelijke en mobiele bouwplaatsen waar bouwwerken of civieltechnische werken tot stand worden gebracht (95/190/EEG).

Volgens het Bouwprocesbesluit (ex art. 9) moet in de ontwerpfase de door de opdrachtgever aan te stellen coördinator (in de praktijk veelal de architect) bij bepaalde bouwwerken een zogenaamde Veiligheids- en Gezondheidsplan (V & G-plan) opstellen. In tegenstelling tot een bouwveiligheidsplan behoort een V & G-plan niet bij de bouwvergunning, maar bij het bestek. Een V & G-plan moet worden opgesteld, als:

- Er vóór aanvang van de werkzaamheden op de bouwplaats een kennisgeving aan de Inspectiedienst van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) door of namens de opdrachtgever moet worden verstuurd en;
- Er sprake is van risicovolle werkzaamheden.

Een kennisgeving moet (ex art. 4 Bouwprocesbesluit) vooraf aan de Inspectiedienst SZW worden gestuurd, als:

- De geraamde duur van het bouwwerk meer dan dertig werkdagen beslaat en op die bouwplaats meer dan twintig werknemers tegelijk zullen gaan werken of ;
- Meer dan 500 mandagen gemoeid zullen zijn met de voltooiing van het bouwproject.

Daarnaast is er een verplichting om een V & G-plan op te stellen bij risicovolle werkzaamheden. Het gaat hierbij onder andere om:

- Gebruikmaken van springstoffen;
- Montage van zware geprefabriceerde elementen;
- Werkzaamheden waarbij werknemers kunnen worden blootgesteld aan stoffen die schadelijk zijn voor de gezondheid of ioniserende straling;
- Werkzaamheden waarbij gevaar op bedelving, vastraken of *vallen* bestaat.

Het V & G-plan moet onderdeel uitmaken van het bestek voor het uit te voeren bouwproject (zie art. 9 onder e Bouwprocesbesluit). Artikel 5 van het Bouwprocesbesluit schrijft voor aan welke zaken het V & G-plan aandacht dient te schenken. Het belangrijkste is een inventarisatie en evaluatie van de risico's die de werknemers bij de uitvoering van het bouwwerk kunnen lopen. Het V & G-plan moet tevens gegevens bevatten over de bij de uitvoering betrokken partijen, de wijze van samenwerkingen het toezicht.

Door het Bouwprocesbesluit heeft de opdrachtgever<sup>1)</sup> een verantwoordelijkheid gekregen voor de arbeidsomstandigheden op de bouwplaats. Immers, de opdrachtgever dient voor de ontwerpfase te zorgen voor een coördinator die soms verplicht is het V & G-plan op te stellen.

#### □ *Technische eisen/richtlijnen*

Er zijn allerlei eisen/richtlijnen geformuleerd over bijvoorbeeld de afzetting van de bouwplaats, opslag op de bouwplaats, locatie van de bouwketen, de bekisting, bouwliften, steigers, kranen, het vlinderen van vloeren en dergelijke. Deze eisen zijn opgenomen in de A-publicaties, Arboinformatiebladen die worden uitgegeven door het Ministerie van SZW.

#### □ *Artikel 11 Arbeidsomstandighedenwet*

De Arbeidsomstandighedenwet bevat vooral bepalingen over de veiligheid van werknemers op de bouwplaats. Daarnaast is er een artikel opgenomen ter voorkoming van gevaar voor andere personen dan de werknemers: art. 11 Arbwet. Dit artikel verplicht de werkgever om passende maatregelen te nemen als door de bouwwerkzaamheden, verricht door de werknemers van de betreffende werkgever, gevaar kan ontstaan voor de veiligheid of de gezondheid van werknemers van andere bedrijven of *voorbijgangers*.

---

<sup>1)</sup> Uitgezonderd is de opdrachtgever-consument

□ *Bouwveiligheid in andere regelgeving*

Ex art. 44 Woningwet bestaat het limitatieve toetsingskader voor een bouwaanvraag naast de gemeentelijke bouwverordening ook uit onder meer het Bouwbesluit en het van toepassing zijnde bestemmingsplan. Het Bouwbesluit ziet enkel toe op technische voorschriften, niet op het waarborgen van de bouwveiligheid van derden. Het bestemmingsplan daarentegen kan wel voorschriften voor de bouw- en/of sloopveiligheid bevatten.

### 4.3 Gemeentelijke Bouwverordening

De gemeentelijke bouwverordeningen worden opgesteld naar het voorbeeld van de Modelbouwverordening (MBV) 1992 van de Vereniging van de Nederlandse Gemeenten (VNG). In deze verordening zijn in de artikelen 4.8 t/m 4.10 ex art. 8, tweede lid onder h Woningwet, veiligheidsvoorschriften geformuleerd met betrekking tot alle bouw- en sloopactiviteiten: dus zowel voor de vergunningplichtige als meldingsplichtige en vergunningsvrije bouw- en sloopactiviteiten.

In de bouwverordening zijn voorschriften opgenomen die betrekking hebben op bouwveiligheid. In sommige gevallen kan een bouwveiligheidsplan worden geëist. Ook zijn er technische veiligheidseisen geformuleerd. De inspecteurs kunnen het werk stilleggen, als er in strijd met de vergunning/verordening wordt gebouwd en als er gebouwd wordt in afwijking van het goedgekeurde bouwveiligheids- of sloopplan.

Bij vergunningplichtige bouwwerken kan geëist worden dat er een bouwveiligheidsplan wordt ingediend. Deze eis kan bij de aanvraag worden gesteld maar ook als de bouw (of sloop)werkzaamheden al aan de gang zijn. Aan de hand van een zogenaamd bouw- en sloopverslag (B&S-verslag) bepaalt de projectinspecteur of er een bouwveiligheidsplan moet worden ingediend. Het B&S-verslag geeft aan welke gegevens in het bouwveiligheidsplan moeten worden opgenomen, welke andere constructieve gegevens moeten worden overlegd, etc.. Vast onderdeel is in ieder geval ook de bouw- of sloopplaatsinrichting (bijv.: alle activiteiten moeten plaatsvinden binnen afgezet terrein, etc.). De melding/vergunningvrije bouwwerken worden steekproefsgewijs gecontroleerd (actief toezicht).

Voor de veiligheid van *derden* is vooral art. 4.8 van de gemeentelijke bouwverordening van belang. Volgens de toelichting (van de VNG) gaat het hier om de bescherming van *de veiligheid van voorbijgangers en belendingen*. Hieronder vallen bijvoorbeeld ook te treffen maatregelen bij het oprichten en strijken van een heistelling, de afdamming van bouwputten en het transport van bouwmaterialen boven de weg. Dit laatste kan eventueel uitmonden in een verbod om met een last te hijsen boven de in gebruik zijnde openbare weg of een in gebruik zijnde perceel.



Analoog aan het bouwveiligheidsplan kan, bij complexe sloopprojecten en/of een omgeving met een hoge bebouwingsdichtheid of een hoge verkeersintensiteit de externe veiligheid extra aandacht vragen. Wanneer de mogelijke bedreigingen zich uitstrekken tot boven gronden en bebouwingen die buiten de afgrenzing van het sloopterrein liggen, moet een sloopveiligheidsplan worden opgesteld. De maatregelen die de aanvrager van een sloopvergunning denkt te nemen, worden zo vooraf door de gemeente getoetst. Het sloopveiligheidsplan mag overigens alleen betrekking hebben op de weg, de in de weg gelegen werken, de weggebruikers, de naburige bouwwerken, open erven en terreinen en hun gebruikers.

#### 4.4 Opbreekvergunning

De opbreekvergunning is gebaseerd op de Algemene Politie Verordening (APV) en heeft tot doel de invloed van afsluitingen op de bereikbaarheid van de stad te reguleren. Als er in de stad een weg wordt opengeboken of afgesloten, is hiervoor een vergunning vereist. Er is nauw omschreven wat er aan bescheiden moet worden ingediend (tekeningen, etc.) en op basis van welke criteria (bereikbaarheid, veiligheid, etc.) over de vergunningverlening wordt besloten.

De praktijk is zo dat de aanvrager in een vooroverleg met een medewerker van de dienst het aanvraagformulier invult. Die gaat weer om advies met de wegbeheerder praten. Als er geen problemen zijn, wordt de vergunning officieel ingediend. Als het gaat om hoofdwegen, dan komt de aanvraag in het opbreekvergunningenoverleg. Dit overleg heeft een volledig ambtelijke samenstelling (Stadsbeheer, Stedelijke ontwikkeling, wegbeheerders en de hulpdiensten). Uitgangspunt bij de besluitvorming in het overleg is dat er zo min mogelijk hinder optreedt. Verder probeert men de kwaliteit van de maatregelen die worden genomen zo hoog mogelijk te maken. Een derde aandachtspunt in het overleg is de maatschappelijke acceptatie (worden de maatregelen nog wel door 'de gemeenschap' geaccepteerd). Verder wordt er naar gestreefd om de afsluitingen zoveel mogelijk synchroon te laten verlopen.

Concrete planningen worden voor de periode van een half jaar gemaakt. Voor de aansluitende periode van een jaar maakt men prognoses. Per afsluiting staat vermeld in welke nacht deze plaatsvindt en wordt aangegeven op welk tijdstip de weg wordt afgesloten en wanneer men deze weer openstelt. Verder is aangegeven welke rijstroken afgesloten worden en welk bedrijf welke werkzaamheden aan welk gebouw uitvoert. Tijdens de uitvoering moeten de afsluitingen minimaal zes weken van tevoren definitief worden aangemeld.

## 4.5 Handboek Bouwveiligheid

Het gemeentelijk handboek<sup>2)</sup> bouwveiligheid (Gemeente Den Haag, 1996) vormt een basis voor de werkwijze van de gemeente Den Haag voor het beheersen van veiligheid en hinder in het bouwproces [Mei2000]. Het is een soort interne richtlijn, die aangeeft op grond van welke wetgeving eisen gesteld kunnen worden (bijvoorbeeld Arboret, Bouwprocesbesluit). Een deel van de bestaande wetgeving is in het handboek vertaald in pragmatische richtlijnen. Het oorspronkelijke idee was om het handboek een dynamisch document te laten zijn, dat afhankelijk van de opgedane ervaring met grote projecten aangepast zou worden. Het document is na de eerste versie echter niet meer geactualiseerd. Voordat het handboek er was, zijn er diverse gesprekken gevoerd met andere gemeenten. De behoefte aan een dergelijk handboek bleek overal aanwezig, elke gemeente legt de verschillende zaken op een eigen manier vast. In Den Haag is het proces geformaliseerd door middel van de opbrekvergunning.

Het bouwveiligheidsplan werd tot op heden steeds gebaseerd opgesteld, dat wil zeggen per fase van het bouwproces een afzonderlijk veiligheidsplan. De vraag is of dit wel zo verstandig is en of al niet vanaf het begin de veiligheid gedurende het gehele proces in ogenschouw genomen moet worden.

Gedurende de projecten boven de Utrechtse Baan is er een procedure ontwikkeld om de bouwveiligheid gedurende het proces te bewaken. Allereerst worden er uitgangspunten voor de bouwveiligheid gedurende het proces geformuleerd door de constructeur of de aannemer. Deze uitgangspunten worden met de aanvraag voor de bouwvergunning ingediend. De gemeente eist vervolgens in de bouwvergunning dat deze uitgangspunten verder worden uitgewerkt in het bouwveiligheidsplan, waarin voor alle werkzaamheden de risico's en de te nemen maatregelen staan beschreven. De aannemer maakt deze uitwerking en legt het in delen voor aan de gemeente. Gedurende de uitvoering geeft de aannemer vervolgens per zes weken aan wat de planning van de werkzaamheden is.

## 4.6 Nota Bouwputten

Binnen de Nota Bouwputten wordt een bouwput gedefinieerd als "een groot gat in de grond ... met behulp van het aanbrengen van een verticale constructie rondom...". Grondwater en de grond zelf worden vervolgens verwijderd. Bouwputten kunnen zeer schadelijk zijn voor de omgeving. Ter voorkoming hiervan is in de Nota Bouwputten aandacht geschonken aan de volgende aspecten:

<sup>2)</sup> Deze paragraaf laat zien hoe Gemeente Den Haag omging met veiligheid, bij de zeer complexe projecten, zoals het bouwen van overkluizingen en bij de Utrechtse Baan.

- a) onttrekking van grondwater;
- b) trillingsoverlast;
- c) ondermetselen c.q. onderblokken van bestaande funderingen;
- d) geluidsoverlast
- e) afsluiten van de straat en
- f) gemeentelijke aansprakelijkheid.

#### 4.7 Gemeentelijke aansprakelijkheid

Behalve wanneer de wet gehele of gedeeltelijke schadevergoeding voorschrijft, bijvoorbeeld op grond van de Belemmeringenwet Privaatrecht, dient schadevergoeding ook onder omstandigheden te worden verleend (volgens jurisprudentie). Deze compensatie wordt dan verleend via zogenaamde bestuurscompensatieregelingen (is te beschouwen als pseudo-wetgeving). Het gaat dan om schade door de overheid in de rol van bouwer toegebracht, als behartigen van algemene belangen, en bijvoorbeeld bij wegeaanleg, bruggenbouw. Het gaat dan tevens om schade uit rechtmatig overheidshandelen. Schade uit onrechtmatig overheidshandelen wordt namelijk verhaald bij de burgerlijke rechter (het gaat hier om privaatrecht in plaats van bestuursrecht) ex art. 6:162 BW en dus niet via een bestuurscompensatieregeling. De teneur in de jurisprudentie over overheidsaansprakelijkheid ex art. 6:162 BW is een terughoudende houding van de rechter voor toekenning van de eis tot schadevergoeding. Er moet sprake zijn van "in ernstige mate tekort geschoten" uitoefening van de gemeentelijke taak.

Als er iets mis gaat bij de uitvoering van de bouw, kan de veiligheid in het gedrang komen. Het kan dan gaan om de veiligheid op de bouwplaats zelf, maar ook om de veiligheid van gebruikers van de openbare weg en gebruikers van aangrenzende percelen (de zogenaamde derden). Het gaat hier vooral om de laatstgenoemde veiligheid. Aantasting van de veiligheid van derden kan op verschillende manieren plaatsvinden. Te onderscheiden zijn:

- Direct levensbedreigende situaties (bijvoorbeeld wanneer zware elementen gehesen worden boven een drukke verkeersweg of kantoorgebouw);
- Situaties met een mogelijk geringer risico op lichamelijk letsel (er wordt gehesen boven bijvoorbeeld een rustige woonstraat);
- Situaties met alleen kans op materiële schade (er wordt gehesen, maar er is bijvoorbeeld sprake van afzetting van de verkeersweg).

Als zich één van deze drie situaties voordoet, in hoeverre is de gemeente dan hiervoor aansprakelijk te stellen? Op deze vraag zal hieronder nader worden ingegaan. Op de vraag in hoeverre de gemeente civielrechtelijk aansprakelijk is te stellen voor geleden schade van derden als gevolg van bouwactiviteiten dient er (Instituut voor Bouwrecht, 1996) onderscheid te worden gemaakt tussen twee verschillende vormen van aansprakelijkheid van de gemeente, namelijk:

1. gemeentelijke aansprakelijkheid voor een gebrekkig goedgekeurde bouwveiligheidsplan en
2. gemeentelijke aansprakelijkheid voor gebrekkig uitgeoefend bouw- en woningtoezicht.

Deze aansprakelijkheid kan gelden jegens derden, maar ook ten opzichte van de aannemer (zie Instituut voor Bouwrecht, 1996:4). Voor de aansprakelijkheid na de oplevering biedt de UAV<sup>3)</sup> uitkomst [Ber1995].

#### 4.8 Conclusie

De nationale en lokale regelgeving geeft de gemeente een brede basis voor het stellen van eisen om bij de bouw en sloop van bouwwerken maximale veiligheid en minimale hinder voor omwonenden en derden te garanderen.

Op nationaal niveau is er het Bouwprocesbesluit Arbeidsomstandighedenwet dat zich richt op de veiligheid op de bouwplaats. Voor projecten boven een bepaalde omvang of met bijzondere veiligheidsrisico's is het opstellen van een V & G-plan verplicht. Dit plan strekt ter beveiliging en bescherming van de werknemers die op het bouwterrein werkzaam zijn.

De gemeentelijke bouwverordening geeft de gemeente een instrument om bij de uitvoering van bouwprojecten de veiligheid te bewaken van derden. Op grond van die verordening kan van de opdrachtgever een bouw- of sloopveiligheidsplan worden vereist, waarin hij/zij vooraf aangeeft hoe bepaalde veiligheidsrisico's en -problemen worden vermeden. Eventueel daarbij noodzakelijk geachte afsluitingen van de openbare weg en omleidingen kunnen vervolgens geregeld worden via de opbrekvergunning (die gebaseerd is op de Algemene Politie Verordening). Met het Handboek Bouwveiligheid en de, inmiddels wat gedateerde, Nota Bouwputten geeft de gemeente een leidraad voor de wijze waarop zij met bouwveiligheid kan omgaan.

Naast het wettelijk kader is de vraag van belang wie er verantwoordelijkheid en aansprakelijk is, mocht het (ondanks het toepassen van eventuele veiligheidsplannen) toch misgaan. In veel gevallen zal bij ongelukken de aannemer/het bouwbedrijf aansprakelijk worden gesteld. De gemeente kan echter ook (volgens artikel 6.162 BW; onrechtmatige daad), mits het gaat om direct levensbedreigende situaties, aansprakelijk gesteld worden. Voor de aansprakelijkheid na de oplevering biedt het UAV uitkomst.

---

<sup>3)</sup> De hoofdregel hiervan staat vermeld in par. 12 lid 1 van de U.A.V. Zij luidt als volgt: "Na de dag, waarop het werk overeenkomstig het bepaalde in par. 10, eerste of tweede lid, als opgeleverd wordt beschouwd, is de aannemer niet meer aansprakelijk voor tekortkomingen aan het werk"

# H O O F D S T U K 5

## 5

### HET BOUWPROCES

---

#### 5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een beeld van het bouwproces. Het bouwproces is een complex productieproces met veel betrokkenen. Aangezien bij de uitvoering van zo een proces de grootste risico's te kijken komen, is het essentieel een volledige uiteenzetting te geven omtrent dit aspect. De informatie voor dit hoofdstuk is verkregen uit het dictaat *Organisatie van het bouwproces (CTbd2110)* Technische Universiteit Delft, januari 1998 van R.A.F. Smook.

Het bouwproces zal in *paragraaf 5.2* aan bod komen. Zeer belangrijk in het bouwproces is het projectaanpak (*paragraaf 5.3*). Sleutelbegrippen zijn hierbij: faseren, beheersen en beslissen. In *paragraaf 5.4* zal de beïnvloeding van het proces worden weergegeven. Dit hoofdstuk eindigt met de partners in het bouwproces (*paragraaf 5.5*).

#### 5.2 Het bouwproces algemeen

Onder het *bouwproces* wordt verstaan *het complex van activiteiten dat leidt tot de realisatie van een bouwkundig of een civiel technisch werk*. In deze zin is het een productieproces van grotere kapitaalgoederen. De grootte, aard en complexiteit van deze kapitaalgoederen zijn er debet aan dat de totstandkoming van het product al een ingewikkeld proces gekenschetst kan worden.

Bouwen is een vorm van produceren waarbij vastgesteld moet worden dat nooit slechts één autor-intellectualis voor het product tekent, maar dat het product in een bedrijfsorganisatie tot stand komt. Het bouwproces heeft derhalve te maken met het bedrijfsproces binnen en tussen organisaties die in het bouwproces een rol spelen. "Samenwerking" heeft in het bouwproces of het bouwproductieproces daarom een bijzondere betekenis.

In tal van opzichten gedraagt het bouwproces zich als een gewoon productieproces. Het bouwproces heeft te maken met het bouwen, en aangezien dit een activiteit is die zich wat betreft structuur en historie nogal sterk onderscheidt van andere economische activiteiten, zal "algemene wetenschap" betreffende productieprocessen en bedrijfsprocessen niet zondermeer van toepassing zijn op de sector bouw.

### 5.3 Sectoren in de bouw

De bouw omvat een aantal sectoren die gezamenlijk een grote verscheidenheid aan producten voortbrengen. In de bouwwereld zijn de volgende onderscheidingen van belang. Primair worden de *B&U sector* en de *GW sector* onderscheiden. Binnen de hoofdsector bouwkundige werken zijn te onderscheiden: burgerbouw en utiliteitsbouw. (B&U sector; dit is Burger- en Utiliteitsbouw sector)

Binnen de hoofdsector civiel technische werken zijn te onderscheiden: grondverzet, wegenbouw, droge waterbouw, natte waterbouw, baggerwerken en offshore-werken. (GW sector; dit is Grond, Weg en Waterbouw sector)

#### □ *Bouwkundige werken*

De producten van de genoemde sectoren vertonen onderling grote verschillen, zowel naar samenstelling als naar de wijze waarop ze tot stand komen. Wat betreft de hoofdsector bouwkundige werken gaat het om:

- a. een in zeer groot aantal veelsoortige materialen,
- b. een in zeer groot aantal betrokkenen, zowel bij de voorbereiding als bij de uitvoering van de werken,
- c. relatief nog steeds zeer hoge graad van arbeidsintensiviteit: het productieproces is zelfs nog deels ambachtelijk te noemen.

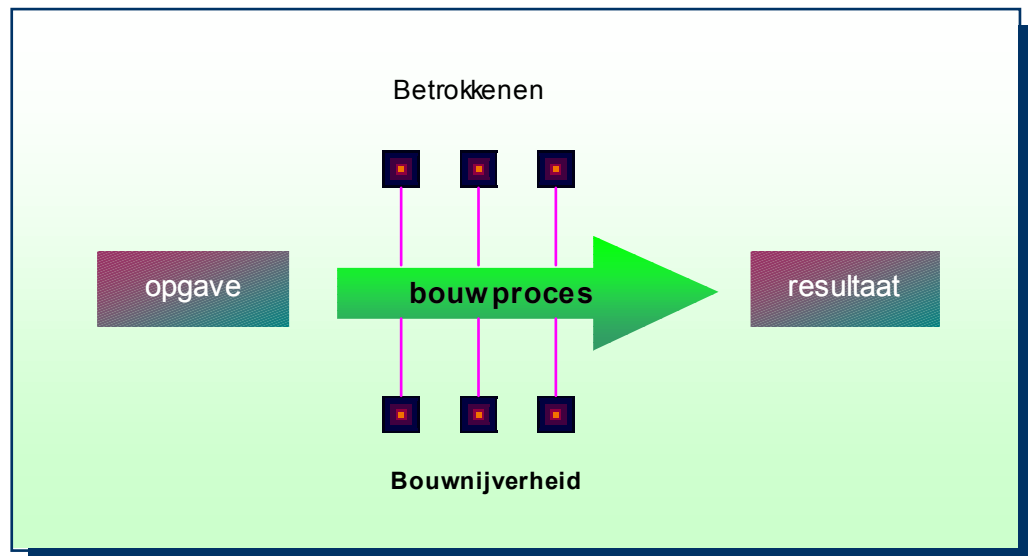
#### □ *Civiel technische werken*

In de sector civiel technisch werken gaat het in het algemeen om:

- a. weinig soorten materialen toch wel in grote hoeveelheden,
- b. relatief een minder groot aantal betrokkenen,
- c. veel groot materieel en dus een buitengewoon kapitaalintensieve sector.

Ook in de zin van wie de opdracht geeft tot het uitvoeren van het werk zijn kenmerkende verschillen te beschrijven. Zo kent men binnen de hoofdsector bouwkundige werken veel soorten opdrachtgevers. Bovendien zijn er doorgaans veel, vaak kleinere, adviseurs en adviesbureaus bij betrokken. Bij civiel technische werken treedt daarentegen de overheid vaak op als opdrachtgever. Het ontwerp wordt dan in eigen beheer gemaakt en het aantal adviseurs van buiten de overheidsfeer is beperkt en het betreft grotere gespecialiseerde ingenieursbureaus.

Projecten die betrekking hebben op het begrip Meervoudig Ruimtegebruik, kunnen zowel Bouwkundige- als Civiel Technische werken zijn.

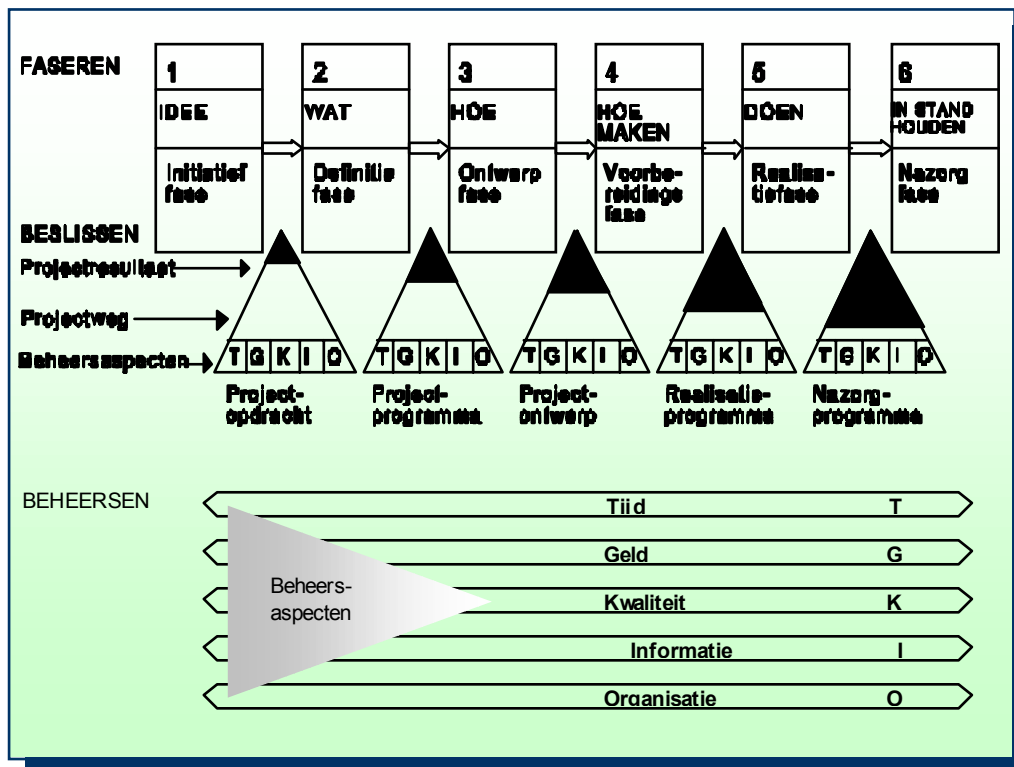


Figuur 5.1: Kennisschets van het bouwproces.

In bijgaande grafische verbeelding, figuur 5.1 wordt geprobeerd het bouwproces in beeld te brengen. Het is het complex van activiteiten dat wat van opgave tot resultaat leidt, en beïnvloed wordt door enerzijds de bij het proces betrokkenen opdrachtgevers, ontwerpers en dergelijke en anderzijds door de productiecapaciteit, hier weergegeven als de bouwnijverheid. De betrokkenen en de bouwnijverheid zijn hierbij niet zonder reden tegenover elkaar geplaatst. Vaak ontwikkelt zich het bouwproces in een zeker spanningsveld tussen beide groepen, waarbij wederzijds aan te gane verplichtingen, vooral betreffende financiën, een belangrijke rol spelen in deze antithese.

### 5.4 De projectaanpak

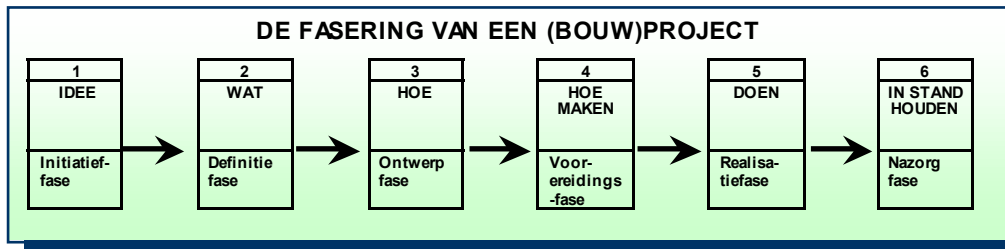
De drie pilaren c.q. principes waarop de projectaanpak, het hart van projectmatig werken, berust, zijn faseren, beslissen en beheersen. In figuur 5.2 is een overallschema gepresenteerd met deze aspecten.



Figuur 5.2: Overall-schema projectmanagement.

#### 5.4.1 Faseren

Cruciaal binnen een bouwproject is de fasering binnen het productieproces. In deze paragraaf zal in het kort worden stil gestaan bij dit belangrijke aspect van het bouwproces.



Figuur 5.3: De fasering binnen het productieproces.



- *Fase 1* is de *initiatiefase*, ook omschreven als de fase van het "idee".

In deze fase wordt bij de opdrachtgever concreet dat hij een bouwproject wil doen vervaardigen. Hij weet wat hij wil, maar weet tevens dat hij anderen moet inschakelen om zijn geformuleerde behoeften precies te omschrijven en te doen uitvoeren. Ook weet hij dat hij degene is die zal moeten betalen voor het verkrijgen van het goed.

- *Fase 2* wordt genoemd de *definitiefase* of aangeduid als "wat".

In deze fase nader moet worden bepaald aan welke eisen het bouwproject zal moeten voldoen om aan de ideeën van de opdrachtgever tegemoet te komen. In deze fase wordt derhalve de initiële vraag van de opdrachtgever geconcretiseerd.

- *Fase 3* is de *ontwerpfase*, de fase van het "hoe".

Hierin krijgt de opgave van de opdrachtgever nader gestalte krijgt en wordt op papier duidelijk wordt gemaakt hoe zijn initiële vraagstelling in een gebouw kan worden vormgegeven. In deze fase weet men dus pas wat voor soort gebouw gemaakt zal moeten worden, op welke plaats het staat en aan welke technische eisen het zal moeten voldoen. Waar hierbij gesproken wordt over bouwproject of gebouw kan ook gelezen worden als civiel technisch werk of infrastructuur voorziening.

- *Fase 4* is de fase van de *voorbereiding* van de realisatie.

Het gaat om de vraag "hoe maken" we het ontwerp. We zijn in deze fase al duidelijk met de realisatie bezig en geven ons rekenschap van de wijze waarop de ontworpen gebouwen in elkaar gestoken zouden kunnen worden.

- *Fase 5* is de *realisatiefase* ofwel de fase van het "doen".

Er is nu een ontwerp van het gebouw. We weten hoe we het in elkaar moeten steken. In deze fase is de productie van het gebouw voorzien.

- *Fase 6* tenslotte is de zogenaamde *nazorgfase* of de fase van het "in standhouden".

Het gebouw is geproduceerd, of liever gebouwd of gerealiseerd en in gebruik genomen. Het als een economisch goed te beschouwen gebouw wordt in deze fase geëxploiteerd.

Indien de voorafgaande fasen op een kwalitatief hoogstaande manier zijn doorlopen, kan in fase 6 een maximaal economisch rendement van de investering worden verkregen.

### 5.4.2 Beslissen

Faseren vraagt om beslissen en vooral om kiezen, want ook daar gaat het om in een project. De essentiële keuzen of beslissingen tijdens een projectgang zijn beperkt in aantal. In het hiervoor gegeven faseringsmodel zijn er vijf beslismomenten. In de loop van een project worden telkens gedetailleerde keuzen gemaakt en beslissingen genomen.

Figuur 5.2 geeft een overzicht van de beslismomenten en beslisdocumenten die normalerwijze in projectmanagement worden onderscheiden. Bij de keuze van het aantal beslismomenten dient men enerzijds te vermijden dat men te snel en te vaak op eerdere beslissingen terug moet komen en anderzijds moeten beslissingen aan het begin van een project de verdere marsroute niet onnodig beperken of reguleren.

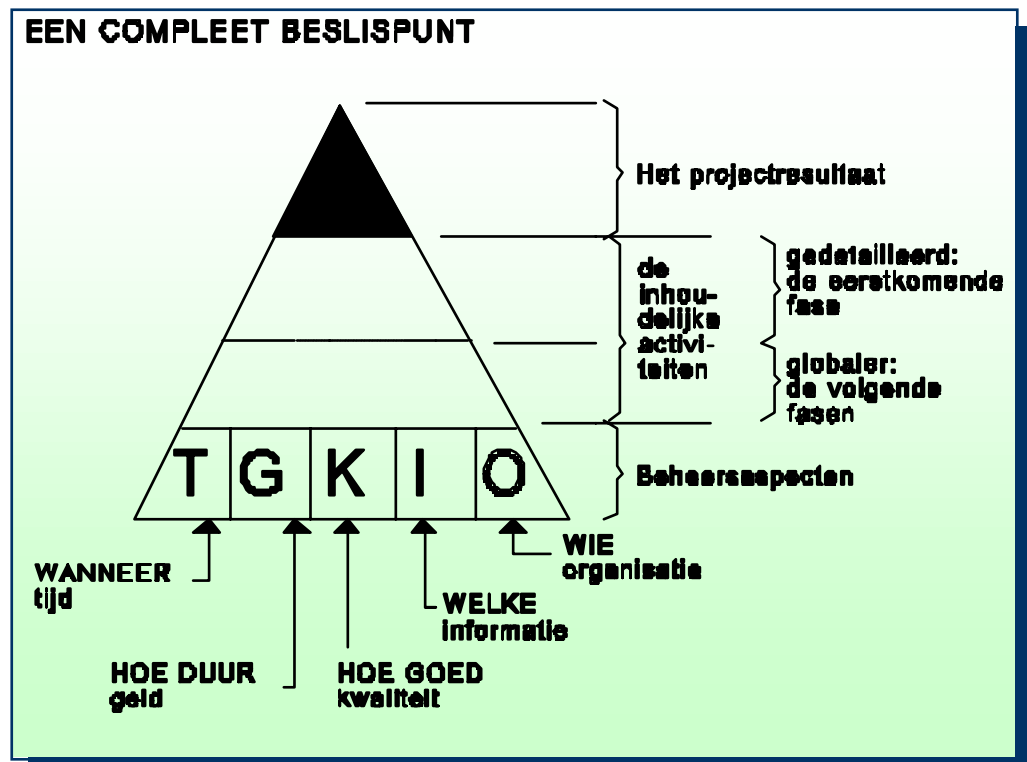
De bedoelde vijf beslismomenten zijn gericht op het kiezen van:

- Eén globaal projectresultaat als gewenst of geëist;
- Eén concreet pakket van eisen waaraan het projectresultaat moet voldoen;
- Eén realiseerbare oplossing;
- Eén realisatiewijze of methode en
- Eén manier van gebruiken en onderhouden.

De beslisdocumenten of -rapporten waarin de beslismomenten zijn "vastgelegd", vervullen een aantal functies. Zo vormen zij het formele eindpunt van de voorgaande fase. Ze zijn ook een beoordelingspunt van het werk dat tot zover is gedaan. Het rapport wordt vergeleken met eerder opgestelde documenten. Het is ook een startpunt voor de volgende fase (of juist het punt waarop het project beëindigd wordt). Het is in ieder geval een document dat op wijzigingen moet worden bijgehouden.

De vijf beslisdocumenten kennen allemaal een zelfde opbouw, waardoor deze verschillende documenten vergelijkbaar zijn.

De beslisdocumenten markeren in het proces de "stappen van vooruitgang". De documenten ontleen vooral hun waarde aan hun functie om op gezette tijden het project weer eens tussentijds te evalueren en te kijken of het uiteindelijke doel nog wel op de meest gewenste wijze zal kunnen worden bereikt. De introductie van voldoende "denktijd" tussen de fasen in is eveneens van belang.



Figuur 5.4: Een compleet beslispunt.

### 5.4.3 Beheersen

**B**eheersen omvat alle sturende en regelende activiteiten die erop gericht zijn de eerder bij fasen genoemde inhoudelijke werkzaamheden van een project planmatig te laten verlopen. In tegenstelling tot inhoudelijk werk (dat in een specifieke fase thuishoort) zijn beheersactiviteiten juist een continue activiteit. Er wordt bijvoorbeeld niet één keer een tijdplanning opgesteld, maar deze wordt regelmatig in ieder geval aan het eind van elke fase en verder zo vaak als nodig, gecontroleerd en bijgesteld. De zorg voor duidelijke afspraken over de vijf verschillende beheersaspecten en de voortdurende bewaking ervan, maken projectmatig werken tot een lastige maar boeiende opgave voor het management van een project: de projectleiding.

#### □ Tijdsbeheersing

Bij tijdsbeheersing gaat het erom het projectresultaat op de afgesproken datum gereed te hebben. Om dit mogelijk te maken moeten er afspraken gemaakt en bewaakt worden over welke capaciteiten (uit zowel de eigen organisatie als eventueel uit de organisatie van derden) wanneer nodig zijn, hoeveel uren ze aan het project mogen besteden en welke hulpmiddelen er wanneer nodig zijn.

□ *Geldbeheersing*

Geldbeheersing is het met een van tevoren afgesproken rendement realiseren van het resultaat. Het is ook de zorg voor het financieel verantwoord en doelmatig uitvoeren van de diverse werkzaamheden.

□ *Kwaliteitsbeheersing*

Kwaliteitsbeheersing in een project wijkt enigszins af van het gangbare begrip kwaliteit. In veel kwaliteitsprogramma's gaat het erom alles wat er vandaag wordt gedaan, morgen beter te doen. In een project is kwaliteit de mate waarin het resultaat voldoet aan de eraan gestelde eisen. Het beheersen van kwaliteit vraagt dan ook van tevoren vastgelegde eisen, met afspraken op welke wijze deze worden aangetoond of gemeten.

□ *Informatiebeheersing*

Informatiebeheersing is de zorg voor de laatstgeldende "waarheid" in het project. Datgene wat inhoudelijk (of technisch) bedacht of gerealiseerd wordt, dient ook gedocumenteerd en vastgelegd te worden. In projecten verandert er bovendien voortdurend wat en het is de taak van informatiebeheersing om die wijzigingen op een beheerste wijze te laten verlopen en te administreren. Bij informatiebeheersing staan vragen centraal als: wie mag wijzigen; wie mag goedkeuren; hoe wordt de informatie in het project vastgelegd en gedistribueerd; wie houdt het archief bij en dergelijke.

□ *Organisatiebeheersing*

Organisatiebeheersing richt zich op de interne en externe samenwerking en communicatie in en rondom het project. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de verdeling van taken, verantwoordelijkheden en bevoegdheden in het project. Het regelen van de wijze van besluitvorming en de vergaderfrequentie horen hierbij. Organisatiebeheersing heeft echter ook de zorg voor de relatie met de opdrachtgever, de gebruikers en (de) andere belanghebbenden; kortom met de actoren in de omgeving van het project.

□ *Cyclusbeheersing*

De beheersingsaspecten zijn niet eenmalig in het bouwproces. Bouwen kent vele cyclische processen. Het is daarom van belang het cyclische element in projectmatig werken goed te onderkennen en een plaats te geven. Toegegeven moet worden dat de bouwprocesindeling volgens Wijnen zich hiervoor niet bijzonder leent.

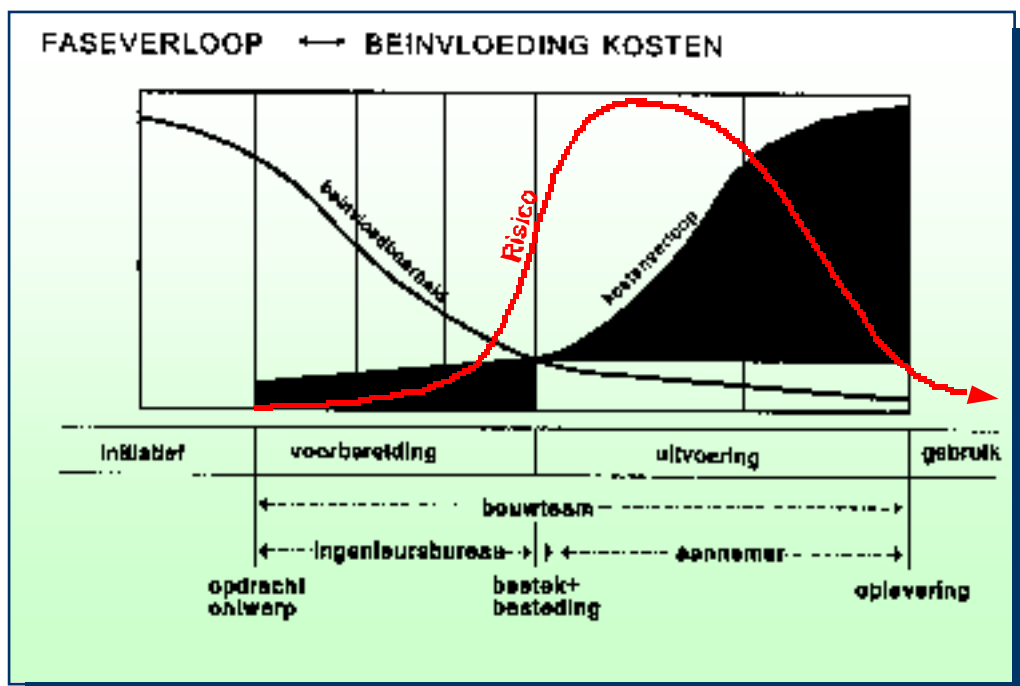
Het is voor discussievatbaar of het aspect veiligheid onder kwaliteitsbeheersing valt of als een apart beheersaspect kan worden beschouwd.

## 5.5 Projectbeheersing en beïnvloeding proces

Bij het doorlopen van de fasen in het bouwproces wordt de oplossing van het projectprobleem van groot naar klein benaderd. In het begin wordt de problematiek als het ware grof benaderd, naar het einde toe moet steeds meer in detail worden vastgelegd. Ook komt gaandeweg steeds meer van het project vast te liggen waardoor de beïnvloedbaarheid van het proces afneemt. In figuur 5.6 is dit in beeld gebracht en in relatie gebracht met het kostenaspect. Naar mate het bouwproces vordert neemt dus de mogelijkheid het proces te sturen af, terwijl de kosten van het project naar het einde toe sterk toenemen.

Als er gekeken wordt naar de risico's van de realisatie van het bouwproces, dan kan het volgende opgemerkt worden:

In de beginfasen van een project zijn er geen risico's aanwezig. Gaandeweg zullen deze toenemen. In de het begin van de uitvoeringsfase van het bouwproces zijn de risico's maximaal. Nadat de ruwbouwfase heeft plaatsgevonden zullen deze risico's afnemen tot een zekere waarde, het zogenaamde eindrisico's. De eindrisico houdt in dat tengevolge van een element van een bouwwerk een ongeval kan worden veroorzaakt. De rode lijn in figuur 5.5 geeft het risico-aspect voor derden weer.



Figuur 5.6: Faseverloop versus beïnvloeding kosten versus risico.

De figuur toont duidelijk het dilemma van het bouwproces: Waar de kosten van de bouwinvestering sterk toenemen, worden de mogelijkheden om het proces te sturen minder. De noodzaak van het goed plannen en voldoende aandacht schenken aan het werk in de eerste fasen van het bouwproces is daarmee voldoende aangetoond.

Dit geldt niet alleen voor de kosten die gemoeid zijn bij het veranderen van constructieve elementen etc., maar ook voor de risico-beheersing is het uitermate belangrijk dat deze wordt beheerst in de beginfase(n) van een project. Ook is het van belang om zoveel mogelijk disciplines in een vroeg stadium bij het project te betrekken. De volgende paragraaf geeft een beeld van de actoren van een bouwproces.

## 5.6 De partners in het bouwproces

De partners of de specialisaties in het bouwproces zijn in vijf hoofdgroepen onder te verdelen. De eerste hoofdgroep betreft die van de *opdrachtgever*. Deze treedt op in de fase 1 en 2 van het eerder beschreven bouwprocesschema. De tweede hoofdgroep wordt gevormd door de *architect, de vormgever of ingenieur* en is actief in de fase 2, 3 en 4. De derde hoofdgroep van *bouwpartners* wordt gevormd door de *bouwondernemer of aannemer*. Deze partners zijn actief in de fase 4 en 5. De vierde hoofdgroep is er een van de *toezichthouders* of liever regelgevers. Deze partners in het bouwproces werken eigenlijk in alle 6 onderscheiden fasen. De vijfde hoofdgroep wordt gevormd door de *beheerders*. Dit zijn de partners in het bouwproces die het uiteindelijke product van het proces beheren en economisch uitbaten. Zij zijn actief in de zesde en laatste fase van het bouwproces.

### 5.6.1 De voorbereidingsfase

De voorbereidingsfase begint met een goedgekeurd definitief ontwerp. De plannen moeten nu voor de uitvoering gereed worden gemaakt door het maken van een bestek, het kiezen van de vorm van aanbesteding en de voorbereiding van de aanbesteding.

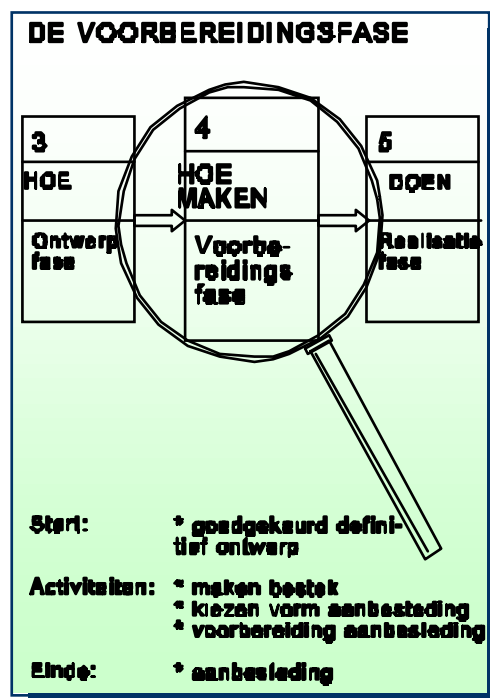
#### □ *De actoren in de voorbereidingsfase*

In de regel worden deze voorbereidende activiteiten uitgevoerd door de belangrijkste actor uit de vorige fase: de architect. Volgens zijn taakomschrijving is hij gehouden het project te doen aanbesteden.

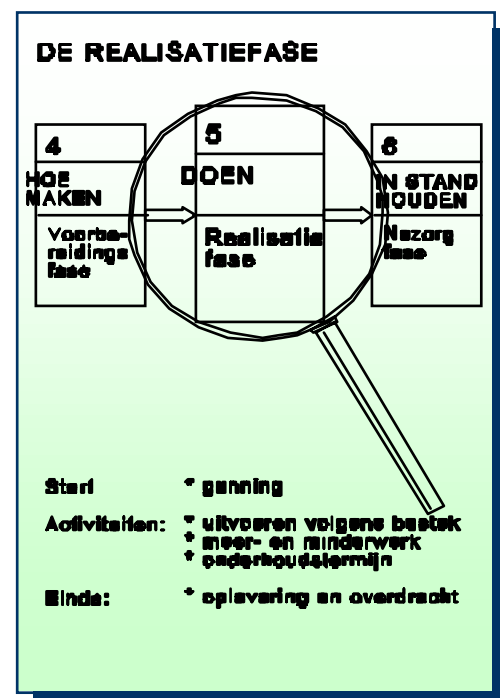
Bij grote projecten wordt echter voor werkzaamheden in deze fase ook wel gebruik gemaakt van bouwadviesbureaus of bouwmanagementbureaus. Vaak zijn deze adviseurs al vanaf het initiatief bij het bouwproces betrokken, waar de opdrachtgever "bijstand" ondervindt op het voor hem moeilijke pad van het bouwen. Het is de adviseur die eerder in het proces al is belast met het doen van haalbaarheidsstudies, het opzetten van een proces- of werkplan, het maken van het programma van eisen en dergelijke.

De adviseurs worden veelal op basis van een urenvergoeding maar soms ook op basis van een percentage van de bouwsom gehonoreerd en betrokken van gespecialiseerde ingenieursbureaus of specifieke bouwmanagement adviesbureaus. Deze laatste vorm van adviesbureau presenteert zich eigenlijk nog maar kort op de markt.

Dit is het gevolg van het feit dat de architect heel lang heeft kunnen volhouden de centrale vertrouwensman voor alle aspecten van het bouwen van de opdrachtgever te zijn. Toen bij het ingewikkelder worden van de bouwopgave de architect niet specifieke bekwaamheden op het gebied van programmering en bouwprocesbegeleiding ging ontwikkelen en zich meer ging terugtrekken op zijn "core-business", het ontwerpen, ontstonden vanuit de "klassieke" ingenieursbureaus de verschillende adviesbureaus op het terrein van bouwmanagement.



Figuur 5.6: De voorbereidingsfase.



Figuur 5.7: De realisatiefase.

### 5.6.2 De realisatiefase

De realisatiefase start na de gunning van het werk aan de aannemer die doorgaans als laagste aanbieder uit de bestedingsronde is gekomen. De activiteiten bestaan uit het opzetten van een productieproces met het opstellen van een uitvoeringsplan, een uitvoeringsplanning, het inrichten van een bouwplaats, het bestellen van materialen en producten, het mobiliseren van het bij de bouw noodzakelijke materieel en het mobiliseren of afroepen van uitvoeringspersoneel. De "productie-eenheid" wordt opgestart.

De uitvoering van het werk volgens het contract, neergelegd in bestek en tekeningen, is uiteraard het belangrijkste onderdeel van deze fase. Ieder werk is dusdanig verschillend dat het slechts mogelijk is het eigenlijke realisatieproces te beschrijven door helder de structuren waarbinnen het realisatieproces tot stand komt te schetsen.

Het "resultaat" van de realisatiefase is de oplevering van het gebouwde of gerealiseerde, waarbij bepaald wordt of aan alle contractuele verplichtingen is voldaan, waarna de overdracht van het werk kan volgen.

- *De actor in de realisatie fase*

In de realisatiefase is de aannemer de centrale figuur.



# H O O F D S T U K 6

## 6

### CASESTUDIES; GEREALISEERDE BOUWPROJECTEN

---

#### 6.1 Inleiding

In dit onderzoek zijn er aantal casestudies worden bestudeerd. In deze projecten hebben bouwveiligheid en bouwhinder een centrale rol gespeeld. Het ging bij de selectie van projecten om situaties waarbij voor een veilige uitvoering van het bouwwerk af en toe een deel van de openbare ruimte moest worden afgezet. Dit hoofdstuk (*paragraaf 6.2 t/m 6.7*) is gebaseerd op de informatie uit het rapport *Bouwveiligheid en bouwhinder bij Meervoudig Stedelijk Ruimtegebruik*, door dr.ir.ing H.J. Visscher en F. Meijer, Onderzoeksinstituut OTB, TU Delft, 10 mei 2000.

De onderzochte cases zijn: de Malietoren (VNO-gebouw), het Nederlands Congrescentrum, Bruggebouw West, Bruggebouw Oost en Equinox. Deze cases worden behandeld in de *paragrafen 6.2* tot en met *paragraaf 6.6*. Bij het Nederlands Congrescentrum was er sprake van de bouw van een hotel boven op het bestaande gebouw. Bouwveiligheid speelde hierbij een cruciale rol, omdat de exploitatie van het Congresgebouw zoveel mogelijk ongestoord doorgang moest kunnen vinden. De andere vier projecten zijn allen boven de Utrechtse Baan gerealiseerd. Dit leidde in verschillende mate tot afsluitingen van deze belangrijke verkeersader en/of de parallelwegen. De Haagse projecten zijn in volgorde van realisatie beschreven. Duidelijk wordt dat het onderwerp bouwveiligheid als aandachtspunt en "beslisfactor" aan belang heeft gewonnen. In *paragraaf 6.7* wordt kort op mogelijke nieuwe projecten in het Haagse centrum ingegaan.

In *paragraaf 6.8* gaan wordt kort ingegaan op de ervaringen van de afdelingbouw- en woningtoezicht van de gemeente Rotterdam met projecten met een vergelijkbare problematiek. In *paragraaf 6.9* worden de ontwikkelingen samengevat die de Haagse projecten hebben doorgemaakt.

Volledigheidshalve zijn in de laatste paragraaf een aantal projecten opgenomen, echter voor deze projecten waren geen verdere gegevens beschikbaar omtrent de veiligheid

## 6.2 Malietoren (VNO-gebouw)

### 6.2.1 Inleiding

De Malietoren is gebouwd over de Utrechtse Baan, tussen de viaducten van de Bezuidenhoutseweg en de Boslaan (zie figuur 6.1). Het zeventig meter hoge gebouw is ontworpen door Mels Crowel. Het gebouw biedt huisvesting aan de werkgeversorganisatie VNO-NCW. Verder zijn in het gebouw een restaurant met vergaderruimtes en inpandige parkeerfaciliteiten ondergebracht. In eerste instantie was er ook nog een hotelfunctie in het gebouw gepland, maar deze is later komen te vervallen. In juni 1994 is gestart met de bouw. In september 1996 namen de eerste personen het gebouw in gebruik, waarna het in december 1996 officieel geopend is.



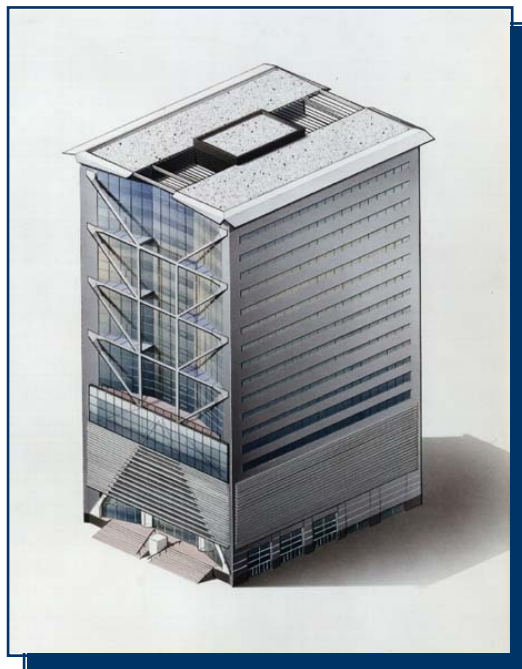
Figuur 6.1: Den Haag Centrum, Utrechtse Baan [7].

Het 20 verdiepingen hoog gebouw is gebouwd boven de autoweg zonder middenondersteuning. De 32 m grote overspanning is gemaakt met betonnen vakwerkconstructies bestaande uit geprefabriceerde voorgespannen onderregels in Hoge Sterkte Beton (B95), en in het werk gestorte diagonalen (B65). De stalen vakwerken in de gevels verzorgen de stabiliteit en dragen in de achtergevel de uitkragende hellingbaan van de parkeergarage.

Dit was het eerste gebouw waarbij uit het oogpunt van bouwveiligheid een groot aantal afsluitingen van de Utrechtse Baan nodig was. Bij de bouw is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van moderne bouwmethoden. De fundering naast de Utrechtse Baan bestaat uit negentig heipalen van ieder 24 meter lang. Op het fundament zijn vier balken over de Utrechtse Baan gelegd die een deel van het gebouw dragen. De draagconstructie aan de voor- en achtergevel ondersteunt het overige gedeelte van het gebouw. De stabiliteitsconstructie bevindt zich dus geheel aan de buitenkant van het gebouw.

## 6.2.2 Bouwveiligheid en bouw hinder

Het veiligheidsaspect in het bouwproces van de Malietoren (figuur 6.2) had niet alleen betrekking op de bouwplaats zelf, zoals bij de meeste bouwwerken, maar voornamelijk ook op de omgeving (Utrechtse Baan en parallelwegen). En derhalve is dit project uiterst relevant voor mijn onderzoek. Voor de gemeente was dit het eerste bouwproject (en bouwproces) waarbij de inspectie zich behalve op de bouwplaats ook heel specifiek op de omgeving moest richten. In eerste instantie was er een aparte veiligheidsinspecteur aangewezen om toezicht te houden op de veiligheid. Gedurende het proces is deze verantwoordelijkheid echter bij de stadsdeelinspecteur komen te liggen.



Figuur 6.2: De Malietoren [12].

In de bouwvergunning, die verleend is in april 1994, werd de aanvrager gewezen op een bouwveiligheidsplan, maar er werden verder geen eisen aan gesteld. De bouw begon dan ook in juni 1994 zonder dat er een bouwveiligheidsplan was.

Om de veiligheid te waarborgen en de overlast zoveel mogelijk te beperken, is rondom de te bouwen toren een groot werkkerrein gerealiseerd. Om dit bouwterrein te creëren zijn gedurende het gehele bouwproces, dat ongeveer twee jaar duurde, de twee parallelwegen langs de Utrechtse Baan afgesloten geweest. Tevens is boven de Utrechtse Baan een *noodviaduct* gerealiseerd om vallende lichte materialen op te kunnen opvangen. Voor het aanbrengen van de opvangconstructie moest de Utrechtse Baan worden afgesloten.

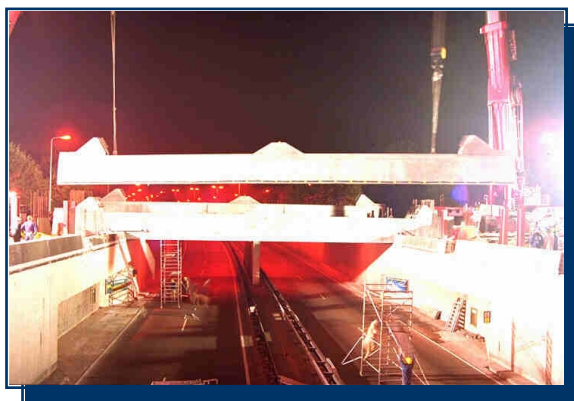
Gedurende de hele bouwperiode, moest als gevolg van het afsluiten van de parallelwegen het verkeer worden omgeleid, wat over het algemeen goed verliep. In het beginstadium (juli 1994), ontstond er ondanks het ruime werkkerrein toch nog overlast voor de omgeving en ontstonden soms onveilige situaties door de aanvoer van heipalen via de Bezuidenhoutseweg. Na beraad werd besloten dat de aanvoer voortaan via de Benoordenhoutseweg moest plaatsvinden en tevens werd er meer laad- en losruimte op de bouwplaats ingericht, zodat vrachtwagens niet op de openbare weg moesten wachten om te kunnen laden en lossen.

Behalve voor de verkeersafwikkeling, waren er ook maatregelen noodzakelijk om zware lasten boven de Utrechtse Baan te kunnen hijsen en monteren. Vooraf waren er hiervoor geen goede uitgangspunten en plannen geformuleerd, wat gedurende het proces nogal wat problemen teweeg heeft gebracht.

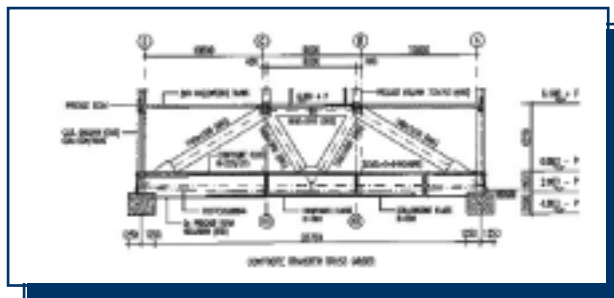
*Het plaatsen van een opvangconstructie boven de Utrechtse Baan kon de veiligheid bij het hijsen van materiaal niet garanderen. De gemeente was daarom van mening dat afsluiting van de Utrechtse Baan de enige mogelijkheid was.*

De aannemer vond dit in eerste instantie niet nodig, omdat al het materiaal en materieel waarmee gewerkt werd, gecertificeerd was. Er werd een adviseur van het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden (voorheen het Nederlands Veiligheidsinstituut) ingeschakeld. Uitgangspunt voor het NIA is dat er een scheiding dient te bestaan tussen het bouwterrein en de openbare ruimte en in het bijzonder dat er geen hijslasten over het openbare terrein worden gedraaid.

Voor de Malietoren betekende dit dat er niet gehesen kon worden boven de noord- en de zuidzijde van het gebouw. Het veiligheidsrisico van het bouwen is de uitkomst van de som "kans dat er iets fout gaat" maal "effect van die fout". Aangezien het effect in deze situatie bijzonder groot zou zijn (hijsen boven de openbare weg), moest de kans dat er iets mis zou kunnen gaan feitelijk tot "nul" gereduceerd worden. Het kwam er uiteindelijk op neer dat bij plaatsing van de meest risicovolle elementen, het verkeer in de Utrechtse Baan moest worden afgesloten. De mogelijkheden van extra veiligheidsvoorzieningen, die afsluitingen zouden kunnen voorkomen, zijn nog nader onderzocht, maar bleken niet voldoende te zijn om de veiligheid te kunnen waarborgen. Nadat er diverse vergaderingen omtrent de bouwveiligheid bij verdere werkzaamheden gehouden waren, besloot de gemeente in een later stadium alsnog uitgangspunten te formuleren waarbinnen de uitvoering moest plaatsvinden. Er is toen alsnog een bouwveiligheidsplan opgesteld.



Figuur 6.3: Afsluiting Utrechtse Baan [4].



Figuur 6.4 : Vakwerk Malietoren [4].

Ondanks het bouwveiligheidsplan zijn er door de aannemer enkele malen werkzaamheden uitgevoerd, zoals het monteren van zware constructiedelen aan de rand van het gebouw, waarvoor de Utrechtse Baan eigenlijk afgesloten had moeten worden, terwijl dit niet gebeurde.

De gemeente legde als reactie hierop de werkzaamheden stil. De gemeente heeft tevens ingegrepen, toen de aannemer prefab-kolommen wilde plaatsen waarvan de stabiliteit niet kon worden aangetoond.

De aannemer van zijn kant verweet de gemeente echter weer dat er niet altijd toestemming voor een afsluiting van de Utrechtse Baan werd gegeven, wat de continuïteit van het bouwproces in gevaar bracht. Naar aanleiding van deze onenigheid werd afgesproken dat de aannemer al het hijswerk aan de kopgevels zou melden aan de stadsdeelinspecteur. Wanneer het om lichte horizontale elementen zou gaan, waarvan de aannemer rekentechnisch kon aantonen dat de onderliggende beveiligingsconstructie voldoende sterk was, mocht er gehesen worden zonder wegafsluitingen. In een later stadium kreeg de aannemer van de gemeente ook toestemming om bepaalde delen aan de rand van het gebouw te monteren zonder wegafsluiting, mits er gebruik gemaakt zou worden van extra hijsbanden.

#### 6.2.4 Verkeersimplicaties

Eenig inzicht vooraf in de verkeersimplicaties van dit plan ontbrak. Stadsbeheer wist feitelijk niet waar het aan toe was. Dat maakte het plannen van omleidingen en afsluitingen erg moeilijk. Uiteindelijk is de keuze gevallen op het instellen van een omleidingsroute. Deze omleidingsroute was echter zodanig lang dat er een extra bus moest worden ingezet.



Figuur 6.5 : De Malietoren in gebruik [4].

Bijkomend probleem is dat de eisen tijdens het proces steeds meer zijn verscherpt. Eerst zou er een strook van drie meter van de rijbaan moeten worden afgesloten, dit werd uiteindelijk zes meter. Er zouden *veiligheidsnetten* worden opgehangen, maar dat bleek uiteindelijk toch te onveilig, etc. Het goed en tijdig plannen en uitwerken van omleidingen en afsluitingen werd daardoor een moeizame zaak.

Achteraf terugkijkend, is het grote pluspunt van het project dat men er wel heel veel van heeft geleerd. In ieder geval moet ernaar worden gestreefd om vroegtijdig in het planvormingsproces de eis te stellen van een optimale bereikbaarheid tijdens de bouw. Met de planning van afsluitingen en omleidingen kan dan vroegtijdig worden gestart. Een ander aspect is dat er veel meer gecommuniceerd moet worden met de betrokkenen. Niet alleen de direct betrokkenen (aannemer/opdrachtgever, en dergelijke) maar ook met de omwonenden. Leg vroegtijdig aan de bewoners uit wat er, wanneer gaat gebeuren en wat daarvan de consequenties zijn, dat kan eventuele problemen tijdens de bouw verminderen en zelfs voorkomen.

### 6.2.5 Conclusie

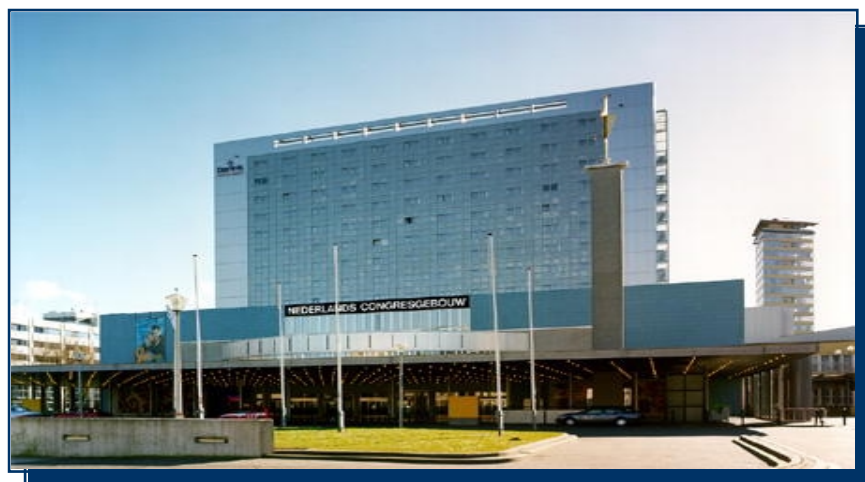
Gedurende het project is de veiligheidsinspectie van de veiligheidsinspecteur overgegaan naar de stadsdeelinspecteur. In eerste instantie was dit het gevolg van personeelwijzigingen, maar al snel werd geconcludeerd dat het erg nuttig was om het toezicht op de veiligheid door dezelfde persoon te laten uitvoeren, die gedurende het hele proces de algemene controle uitoefent: de stadsdeelinspecteur.

Een andere conclusie luidt dat een juiste inrichting van de bouwplaats belangrijk is voor het beperken van de overlast op de omgeving. Er dient voldoende ruimte gereserveerd te worden voor het laden en lossen van materiaal. Voor het beperken van de overlast is het tevens van belang dat het transport naar de bouwplaats goed begeleid wordt. De implicaties van de uitvoering hebben bij de keuze voor een constructie- en bouwmethode geen rol gespeeld. Dit project heeft duidelijk gemaakt dat de keuze voor constructiemethoden die minder hinder opleveren, de problematiek bij de uitvoering aanzienlijk kan beperken.

## 6.3 Het Nederlands Congrescentrum

### 6.3.1 Inleiding

Het project omvatte het bouwen van een hotel op het Nederlands Congresgebouw (NCG) met inbegrip van de daarbij behorende installaties en inrichtingen. De bouwlocatie is gesitueerd aan het Churchillplein 10 te Den Haag. De bouw ging medio december 1995 van start. Cruciaal voor het beheersen van de bouwveiligheid en bouw hinder was bij dit project dat gedurende de bouw de exploitatie van het NCG gewoon door moest gaan. De bouw tijd bedroeg achttien kalender maanden. Het NCG heeft een extern bureau ingeschakeld, Twijnstra Gudde Diepenhorst de Vos, om het hele bouwproces te begeleiden.



Figuur 6.6: Het Nederlandse Congresgebouw [3].

Het bouwproces is globaal op te splitsen in twee fasen:

- Aanpassing fundering, constructie en indeling van het bestaande gebouw ten behoeve van de realisatie van de entree en de ontsluiting (vluchtwegen en trappenhuizen) voor het te bouwen hotel.
- De bouw van het hotel op het dak van het bestaande gebouw.

### 6.3.2 Bouwveiligheid en bouw hinder

De bouwveiligheid bij dit project had betrekking op enerzijds de veiligheid op de bouwplaats zelf en anderzijds op *de veiligheid van de bezoekers* van het Congresgebouw. In mindere mate had de bouwveiligheid betrekking op de veiligheid van mensen op het terrein van derden. De werkzaamheden zijn bijna volledig op het eigen terrein uitgevoerd. Wanneer tijdelijk gebruik gemaakt moest worden van het terrein van derden werden daarvoor pragmatische oplossingen bedacht. Een voorbeeld hiervan was dat een bouwkraan werd voorzien van zwaailicht en sirene die zowel kraanmachinist als omstanders waarschuwden, wanneer de kraan buiten de toegestane draaicirkel boven het eigen terrein kwam.

Door de extern adviseur is in een vroeg stadium, zoals vereist in het Bouwprocesbesluit, een Veiligheid & Gezondheidsplan opgesteld. In dit plan is een inventarisatie gemaakt van de risico's en de noodzakelijke maatregelen en voorzieningen ten behoeve van de veiligheid voor de medewerkers op de bouwplaats. De risico's en maatregelen zijn onderscheiden in de volgende categorieën:

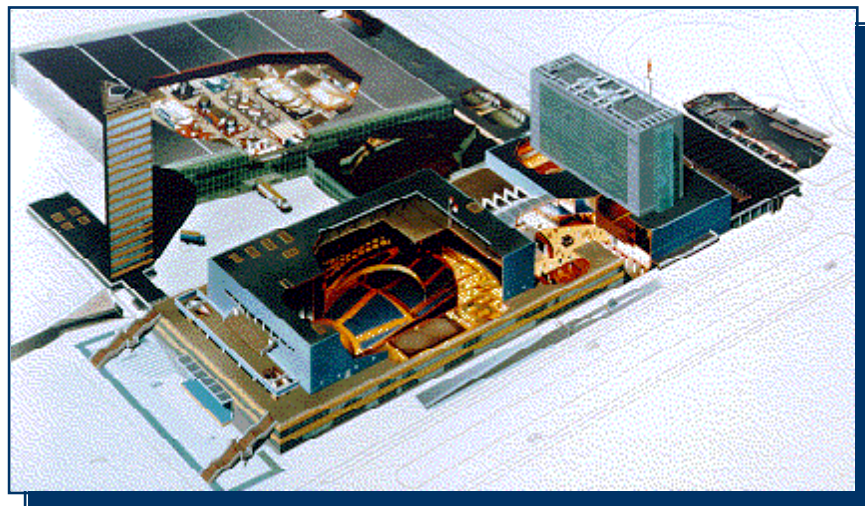
- Risico's en maatregelen voortvloeiend uit de locatie.
- Risico's en maatregelen voortvloeiend uit het ontwerp/het bestek.
- Risico's en maatregelen voortvloeiend uit de constructie.
- Risico's en maatregelen voortvloeiend uit de uitvoering.

Het V & G-plan was, zoals aangegeven, vooral gericht op de veiligheid op de bouwplaats en in beperkte mate op de veiligheid van bezoekers van het Nederlands Congresgebouw.

Voor de uitvoeringsfase is er ten behoeve van de veiligheid door de coördinator een draaiboek opgesteld, waarin per cluster van werkzaamheden werd beschreven welke delen van het gebouw *afgesloten* zouden moeten worden.

Aan de hand van het draaiboek is er wekelijks overleg gevoerd tussen aannemer, opdrachtgever, adviseur, brandweer en stadsdeelinspecteur. Tijdens het wekelijkse overleg werden de geplande activiteiten in het Congresgebouw en de geplande bouwactiviteiten voor de komende week op elkaar afgestemd. Hiertoe werden de uit te voeren werkzaamheden en de consequenties daarvan voor de veiligheid op een rij gezet. Vervolgens werd aan de hand van de richtlijnen van de gemeente besloten welke maatregelen in het kader van de veiligheid genomen moesten worden (vluchtwegen, installaties e.d.) om de geplande activiteiten in het Congresgebouw doorgang te laten vinden.

In de eerste fase, waarin het bestaande gebouw werd aangepast, ging het wat de veiligheidsaspecten betrof, met name om de brandveiligheid. Ondanks afsluitingen van delen van het gebouw, met gevolgen voor de vluchtroutes, of het buitenwerkingsstellen van bepaalde installaties, met gevolgen voor bijvoorbeeld de sprinklerinstallaties, moest de (brand)veiligheid gewaarborgd blijven. De meest ingrijpende maatregel was dat bezoekersstromen regelmatig omgeleid moesten worden.



Figuur 6.7: Flexibiliteit van het Nederlands Congresgebouw [3].

Dit werd overigens vergemakkelijkt door de gelukkige omstandigheid dat het Congresgebouw een zeer flexibel gebouw is met meerdere uitgangen en voldoende verkeersruimte. Wel moest altijd rekening gehouden worden met het feit dat men te maken had met bezoekers die de weg in het gebouw niet kenden. Het Congresgebouw heeft door het uitzetten van goed te volgen en herkenbare routes en de inzet van hostesses de veiligheid van de bezoekers gewaarborgd.

In de fase waarin het hotel op het dak van het NCG werd gebouwd, betrof de bouwveiligheid voornamelijk het risico van het *door het dak vallen van materiaal*, dat op het dak door een kraan omhoog gehesen moest worden. Door een constructiebureau is destijds uitgerekend of het mogelijk was een extra constructie op het dak aan te brengen (bijvoorbeeld damwandplaten) om doorvallen van materiaal te voorkomen.

De veiligheid van *een extra constructie* kon rekenkundig niet aangetoond worden, waarna besloten werd dat activiteiten in het Congresgebouw en het hijsen van materiaal op het dak niet gelijktijdig konden plaatsvinden. Vervolgens is gedurende zes weken 's nachts gewerkt om het skelet van het hotel met behulp van tunnelbekistingen te kunnen realiseren. In het begin van die fase was per dag bekend boven welk deel van het gebouw er mensen aan het werk waren en welk deel van het Congresgebouw dus niet veilig was. Nadat enkele verdiepingen waren gerealiseerd, werd er materiaal over de gerealiseerde verdiepingen gehesen, waarbij de verdiepingvloeren als *doorvalbeveiliging* dienst deden.



De aannemer die het werk had aangenomen op basis van de bestekken en het V&G-plan, had er in zijn begroting geen rekening mee gehouden dat als gevolg van de veiligheid er gedeeltelijk 's nachts gewerkt moest worden. De aannemer heeft hiervoor extra kosten (voornamelijk loonkosten) moeten maken, die voor zijn eigen rekening zijn gekomen.

Gedurende het hele traject hebben de verschillende partijen naar eigen zeggen op een prettige manier overleg gevoerd, en kon voor elk probleem een oplossing gevonden worden. De stadsdeelinspecteur kreeg naar zijn idee echter niet altijd de steun van hogerhand, waarop hij volgens hem zou moeten kunnen rekenen om zijn functie als toezichthouder naar behoren te kunnen vervullen. De verantwoordelijk wethouder was tevens commissaris van het Congresgebouw. Om eventuele misverstanden te voorkomen, is dit overigens een situatie die in de toekomst beter vermeden kan worden.

### 6.3.3 Verkeersimplicaties

Van verkeersimplicaties is bij dit project geen sprake geweest. Er werd op en boven eigen terrein gebouwd, waardoor het verkeer geen hinder heeft ondervonden.

### 6.3.4 Constateringen van betrokkenen

De betrokken stadsdeelinspecteur is, naar aanleiding van zijn ervaringen van mening, dat de grote en landelijk werkende aannemers veel beter geïnformeerd moeten worden over bouwveiligheidseisen. Met de eventuele consequenties kan dan in de aanneemsom rekening worden gehouden.

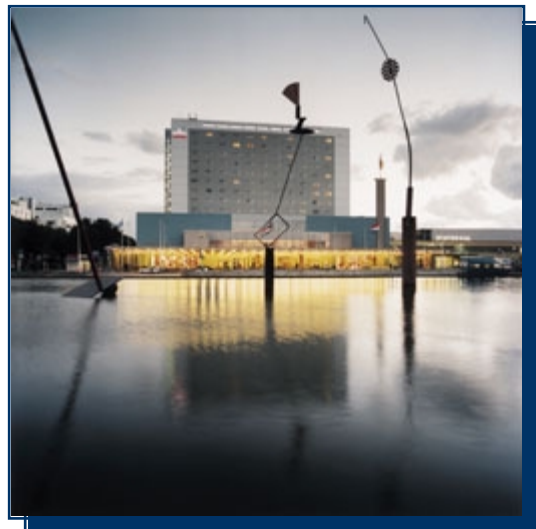
Op zich heeft de gemeente voldoende middelen om de bouwveiligheid en bouwhinder bij dergelijke projecten te beheersen. In de praktijk ervaart de betrokken stadsdeelinspecteur een gebrek aan steun van de *hogere ambtenaren*, die mogelijk vanuit andere (politieke) belangen anders willen handelen. Het in een beginstadium vastleggen van procedures, eisen en voorwaarden rond veiligheid (wat moet leiden tot een veiligheidstraject dat voor iedereen eenduidig is), kan deze eventuele problemen in de toekomst vermijden.

De externe adviseur die bij dit project was betrokken, ziet weinig in algemene regels van de overheid voor het waarborgen van veiligheid van gebruikers van de omgeving. Het effect van een gebeurtenis is namelijk in elke situatie anders. Wanneer door regelgeving het risico over de gehele linie beperkt moet worden, dan moet de kans gereduceerd worden tot nul. Dit betekent in de praktijk een volledige scheiding tussen de bouwwerkzaamheden en het gebruik van omgeving. In dit geval zouden veel projecten niet realiseerbaar zijn.

De "veiligheidsaandacht" van de gemeente was te veel gericht was op de bouwkraan en de mogelijkheid van vallende lasten en de consequenties daarvan. Volgens de adviseur zijn er ook andere risico's met misschien nog wel grotere gevolgen, waarop de kans zelfs nog groter is. Op basis van onafhankelijk en statistisch onderzoek zouden alle risico's in kaart moeten worden gebracht: *wat zijn de risico's, hoe groot zijn die, wat zijn de mogelijke gevolgen en hoe kunnen die worden geminimaliseerd of worden voorkomen*. Op basis van zulk een analyse kunnen richtlijnen en eisen worden geformuleerd. De risico-analyse geeft een eenduidige onderbouwing aan de richtlijnen en eisen, waardoor het draagvlak voor het stellen van eisen vergroot wordt. Er is dan immers geen partij die de noodzaak of objectiviteit van de veiligheidseisen kan betwisten. *Wanneer de risico-analyse met bijbehorende richtlijnen helder op papier staat, kan al in het ontwerpstadium ermee rekening worden gehouden en hoeven er later geen extra aanvullende eisen in het programma van eisen gesteld te worden.*

### 6.3.5 Conclusie

Ook bij dit project zijn de veiligheidsmaatregelen bij de uitvoering in een te laat stadium aan de orde gekomen. De extra kosten die hieruit voortvloeiden, zijn voor rekening gekomen van de aannemer die niet voldoende rekening had gehouden met de maatregelen die voortvloeiden uit de veiligheidseisen. Ook had wellicht de keuze voor het constructieprincipe de uitvoering kunnen vergemakkelijken.

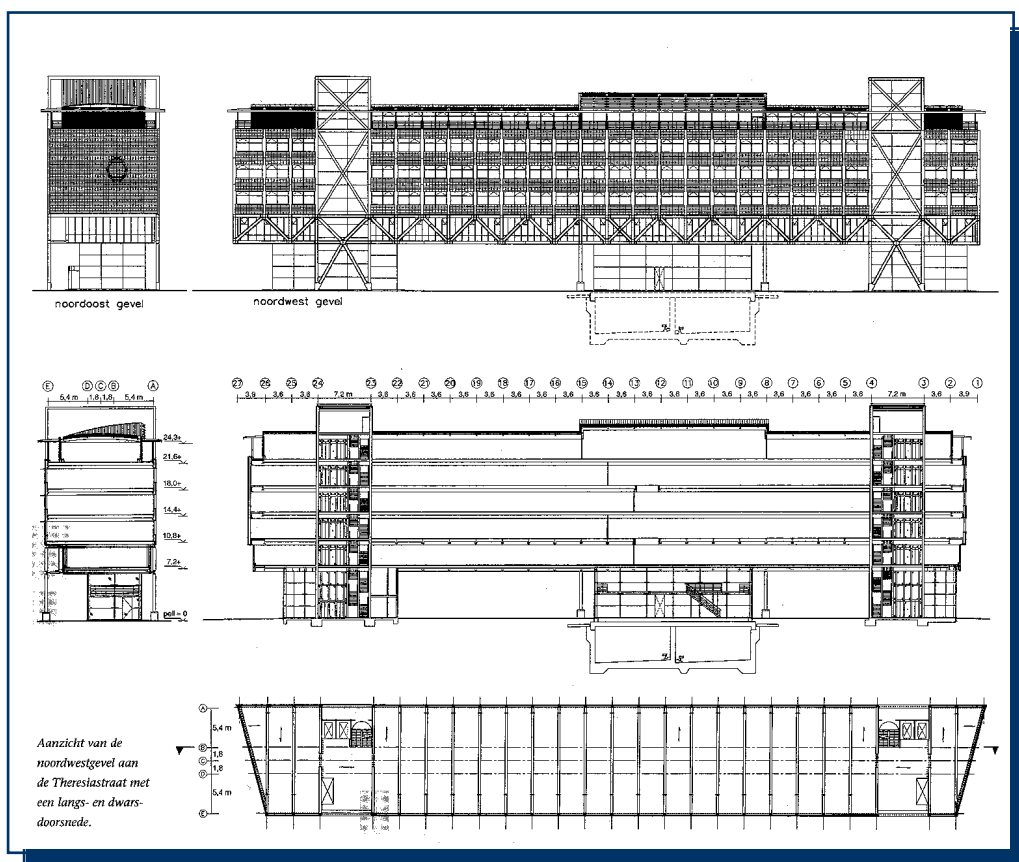


Figuur 6.8: Het NCG [3].

## 6.4 Bruggebouw West

### 6.4.1 Inleiding

Ter hoogte van de nieuwbouw van het Paleis van Justitie is het Bruggebouw West gerealiseerd. Het gebouw (figuur 6.9) overspant zowel de Utrechtse Baan als beide parallelwegen en is gedeeltelijk over het bestaande viaduct gebouwd. Het ontwerp is van het architectenbureau Moshé Zwartz en Rein Jansma. Het pand is verdeeld over zes verdiepingen en heeft een oppervlak van 6.300 m<sup>2</sup>. Het gebouw bestaat grotendeels uit kantoorruimten, onder het gebouw (op maaiveldniveau) is een showroom van Gispens kantoorinrichting gevestigd.



Figuur 6.9: Bruggebouw West; Aanzichttekeningen [Kra1993].

De bouw is gestart in mei 1996, in november 1997 werd het gebouw opgeleverd. De projectbeschrijving van Bruggebouw West is gebaseerd op interviews met de stadsdeelinspecteur, een vertegenwoordiger van het gemeentelijk ontwikkelingsbedrijf, de coördinator stedelijke bereikbaarheid en een verkeersdeskundige van de afdeling Stadsbeheer en de projectleider namens de opdrachtgever. De dossieranalyse is uitgevoerd aan de hand van het projectbegeleidingsoverzicht, de opbrekvergunning (15 mei 1996), de bouwvergunning (10 augustus 1995), een rectificatie op de bouwvergunning (20 september 1995) en drie bouwveiligheidsplannen.

Hieronder zijn wat impressies opgenomen van dit gebouw.



Figuur 6.10: Bruggegebouw West; Voorgeve [15].



Figuur 6.11: Bruggegebouw West; Achtergevel [15].



Figuur 6.12: Bruggebouw West; maquette [15].



Figuur 6.13: Bruggebouw West, bijzondere architectuur [15].

### 6.4.2 Bouwveiligheid en bouwhinder

Ook bij dit project had de bouwveiligheid niet alleen betrekking op de bouwplaats maar ook op de directe omgeving en dan met name op de Utrechtse Baan en de beide parallelwegen, waarboven het gebouw werd gebouwd. De gemeente was reeds in een vroeg stadium betrokken bij het project en vanaf het begin zijn er gesprekken gevoerd over de bouwveiligheid. De constructeur van het gebouw heeft een rapport Bouwfasering en uitgangspunten bouwveiligheid opgesteld.

Een van de maatregelen om de veiligheid te waarborgen was de aanleg van een *noodviaduct* over de Utrechtse Baan. Eventueel vallend materiaal zou daardoor kunnen worden opgevangen.



Figuur 6.14: De Utrechtse Baan, Den Haag [12].

### 6.4.3 Verkeersimplicaties

Om de veiligheid te kunnen waarborgen, moest het bouwterrein voldoende groot zijn. In eerste instantie had de aannemer het idee om het verkeer over de parallelweg door te laten gaan en steeds gedeeltelijk, afhankelijk van de werkzaamheden delen af te sluiten. Dit zou er in feite op neerkomen dat het verkeer continu over de bouwplaats zou rijden. De gemeente vond dit vanuit het oogpunt van de veiligheid niet acceptabel, en vond dat beide parallelwegen permanent moesten worden afgesloten, zodat deze volledig tot de bouwplaats zouden behoren. Een omleidingsroute werd hierdoor noodzakelijk, waarover intensief contact is geweest met de verkeersdeskundigen van de Dienst Stadsbeheer van de gemeente. De Theresiastraat die haaks over de Utrechtse Baan heen loopt, bleek te smal en zou diverse verkeersstromen niet goed kunnen verwerken.

Gedurende het bouwproces moest de Utrechtse Baan diverse malen worden afgesloten. Allereerst voor het aanbrengen van het *noodviaduct* en vervolgens voor het realiseren van de staalconstructie en de eerste verdiepingsvloeren. Nadat de eerste twee vloeren van het gebouw gereed waren, kon daarboven gehesen worden en hoefde de weg niet meer voor het aanbrengen van de verdiepingsvloeren afgesloten te worden. Bij het monteren van de *gevelementen* moest de weg nog wel worden afgesloten.

Voor de diverse wegafsluitingen was een opbrekvergunning vereist. De vergunning werd in mei 1995 verleend. In de vergunning werd voor de periode van mei 1996 tot en met september 1997 aangegeven wanneer en hoe vaak de Utrechtse Baan mocht worden afgesloten, hoe het laden en lossen moest plaatsvinden. De opbrekvergunning bevatte ook eisen ten aanzien van de toegankelijkheid van het bouwterrein.

Uiteindelijk is ook bij dit project de keuze gevallen op een permanente omleidingsroute en daarnaast was nog steeds een fors aantal afsluitingen van de Utrechtse Baan nodig. Mogelijk knelpunt van de gekozen route was de vraag of de capaciteit van de weg wel voldoende was om het omgeleide verkeer te kunnen opvangen. Besloten is toen voor een proefperiode van een week. Die proefperiode wees uit dat de capaciteit toereikend was. De omleidingsroute is volledig betaald door de aannemer.

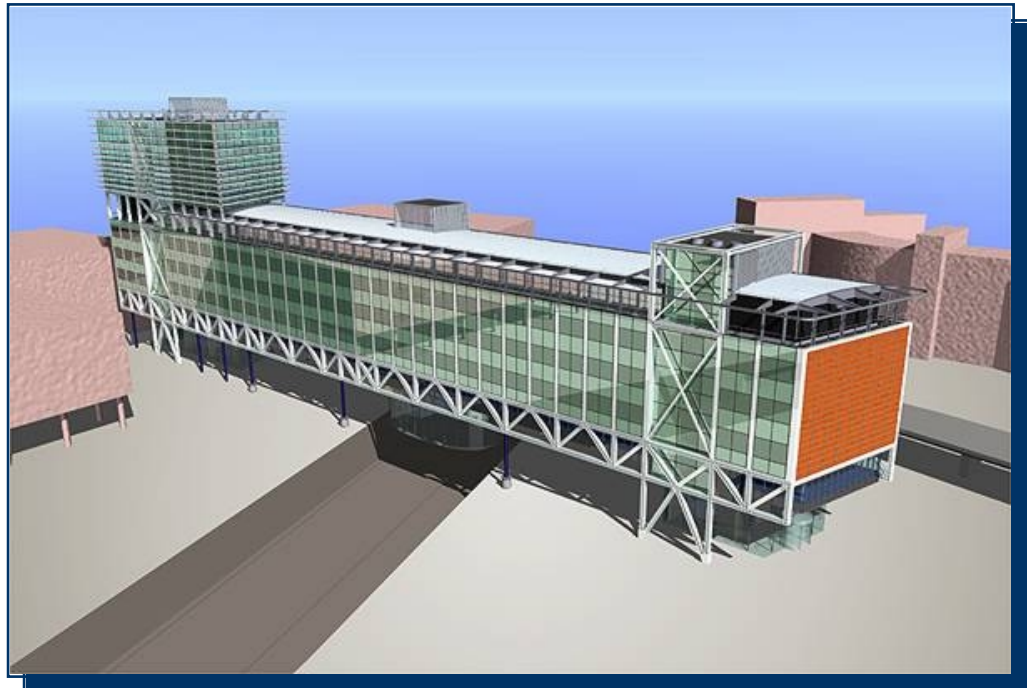
#### 6.4.4 Conclusie

Ook uit het verloop van dit project trekken betrokkenen de conclusie dat al in een heel vroeg stadium (architect) de bouwveiligheid meegenomen zou moeten worden. De constructie en materiaalkeuze zijn namelijk zeer bepalend. Wanneer de verschijningsvorm van een gebouw gekozen is, zou men vervolgens moeten nagaan welke methoden en materialen mogelijk zijn en wat de gevolgen van die keuzen zijn voor de bouwveiligheid. Terugkijkend zijn de betrokkenen van mening dat het veiligheidsplan goed heeft gefunctioneerd.

## 6.5 Bruggebouw Oost

### 6.5.1 Inleiding

Akansluitend op Bruggebouw West is in juni 1998 de eerste paal geslagen voor het tweede bruggebouw, ter hoogte van de Juliana van Stolberglaan. Qua vormgeving is het gebouw te vergelijken met Bruggebouw West. Het gebouw staat echter geheel boven de Utrechtse Baan en dus niet zoals bij West over een viaduct. Het gebouw is van dezelfde architect die Bruggebouw West heeft ontworpen, maar is door een andere aannemer gebouwd. Het gebouw bestaat uit 11.000 m<sup>2</sup> kantoorruimte en een parkeergarage met 93 parkeerplaatsen.



Figuur 6.15: Bruggegebouw Oost [15].



Figuur 6.16: Uitzicht Bruggegebouw Oost [15].



## 6.5.2 Bouwveiligheid en bouwhinder

De problematiek met betrekking tot de bouwveiligheid, was vergelijkbaar met die van Bruggebouw West. Vanaf het begin is er intensief overleg geweest tussen opdrachtgever en gemeente, waarbij het veiligheidsaspect regelmatig aan de orde kwam. Uit het bouwbegeleidingsverslag bleek er zelfs al in 1996 gesproken te zijn over de veiligheid. Net als bij Bruggebouw West is er met de aanvraag voor de bouwvergunning een rapport Bouwfasering en uitgangspunten Bouwveiligheid ingediend.

Voor het benodigde bouwterrein kon grotendeels gebruik gemaakt worden van het bouwterrein dat reeds voor het andere Bruggebouw aanwezig was. De beide parallelwegen bleven dan ook voor Bruggebouw Oost afgesloten. De omleidingsroute moest enigszins aangepast worden om een voldoende grote veiligheidszone te kunnen creëren. Tevens moest er een nieuw noodviaduct gerealiseerd worden en was er een stuk van het trottoir nodig voor het bouwterrein, waarvoor een extra voetgangerszone met een oversteek moest worden aangelegd. Ook moest de Juliana van Stolberglaan extra worden afgesloten. Verder zou voor diverse werkzaamheden (het hijsen en monteren van constructie-onderdelen en gevelementen) de Utrechtse Baan tijdelijk moeten worden afgesloten. Alle afsluitingen zijn aangevraagd door middel van de opbreekvergunning, die in juni 1998 is verleend. Vanuit politieke hoek werden er wel vraagtekens gesteld bij de noodzaak van het aantal reeds uitgevoerde en geplande afsluitingen van de Utrechtse Baan.

## 6.5.3 Conclusie

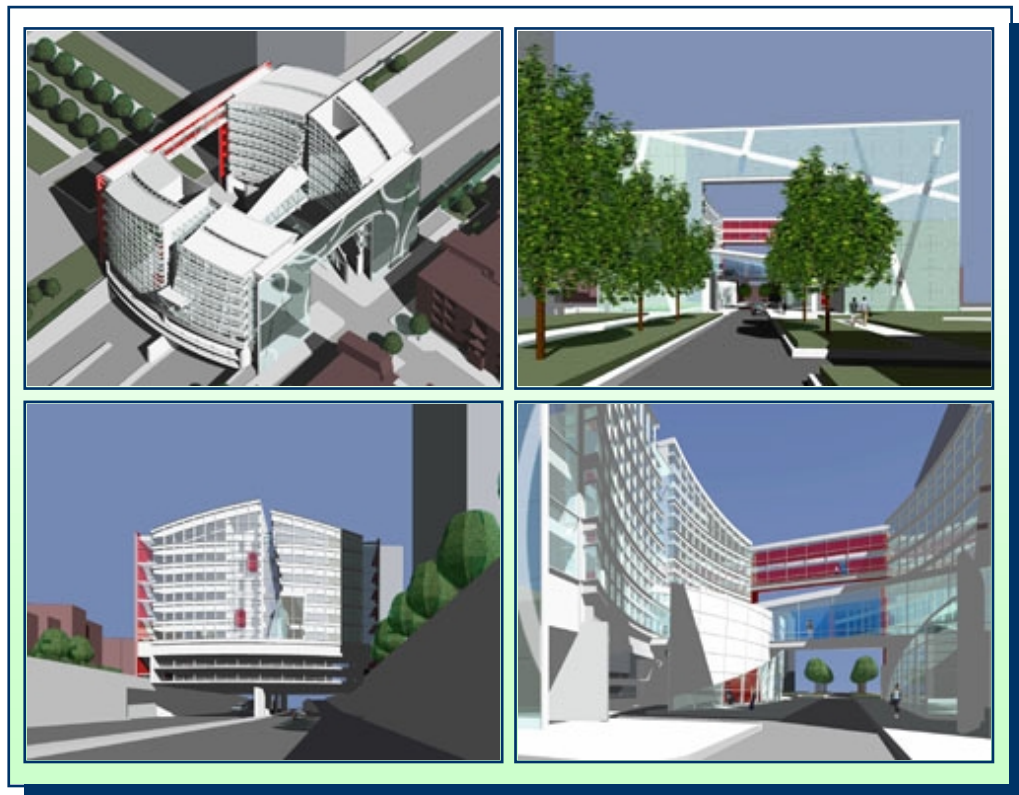
Het totstandkomingsproces van Bruggenbouw Oost is vergelijkbaar geweest met dat van Bruggebouw West. In dat opzicht hebben zich geen specifieke problemen voorgedaan. Wat wel door betrokkenen als een probleem wordt gesignaleerd, is dat er verschillende malen sprake is geweest van uitstel van de bouw. Door dit uitstel is *een heldere planning* (met name van belang bij het afsluiten van wegen) niet te maken.

## 6.6 Equinox

### 6.6.1 Inleiding

Op het punt waar de Utrechtsebaan en de J.P.Coenstraat elkaar kruisen, wordt het Equinox gebouw gebouwd. Het betreft een kantoorgebouw van 22 meter hoog met parkeergarages en een winkel. Het gebouw rust op vier poten en er kan op twee manieren on derdoor worden gereden, via de Utrechtsebaan en via het J.P. Coenviaduct naar de Bezuidenhoutseweg. Het gebouw is een ontwerp van Rietveld Architecten New York. Het project onderscheidt zich van de gebouwen die eerder over de Utrechtse Baan zijn gebouwd, omdat er in en onder de Utrechtse Baan gewerkt moet worden.

Tussen de rijbanen van de Utrechtse Baan wordt een wand gerealiseerd die het gebouw moet gaan dragen. In juni 1999 zijn de werkzaamheden gestart.



Figuur 6.17: Impressies van het Equinox[5].

### 6.6.2 Bouwveiligheid en bouwhinder

Dat er op de plek waar het project Equinox nu wordt gerealiseerd een gebouw zou komen, was in een structuurvisie voor de Utrechtse Baan al in een vroege fase gepland. De structuurvisie gaf aan dat er op die locatie een gebouw zou kunnen worden gerealiseerd met ongeveer die en die vorm.

Op een bepaald moment meldde zich een projectontwikkelaar met plannen voor de desbetreffende locatie. De gemeentelijke dienst DSO heeft al in deze eerste contacten gewezen op de mogelijk "problematische" kenmerken van de locatie (grond, leidingen, mogelijkheden voor fundering), waarmee rekening zou moeten worden gehouden bij de bouw van een project.



Figuur 6.18: Het Equinox gebouw [5].

Het Equinox-gebouw is complexer dan de reeds gerealiseerde gebouwen over de Utrechtse Baan. Grotendeels komt de complexiteit voort uit het feit dat het gebouw op de Utrechtse Baan wordt gefundeerd, in plaats van ernaast zoals bij voorgaande projecten<sup>4)</sup>.

Ook het voorbereidingsproces is anders verlopen dan bij de andere projecten. Vanaf het begin af aan zijn opdrachtgever, gemeente en aannemer als bouwpartner betrokken geweest. De kennis werd op deze manier al in een vroeg stadium gebundeld. Ook over de veiligheid werd vanaf het begin met elkaar nagedacht. De aannemer is door de gemeente uitvoerig geïnformeerd over de ervaring met vorige projecten over de Utrechtse Baan. Ook het bouwveiligheidsplan van Bruggebouw-West is ter kennisname aan de aannemer overgedragen. Met betrekking tot veiligheid is in de voorbereiding elk detail onder de loep genomen en elke vier weken was er overleg tussen de partijen over de stand van zaken. Op deze manier heeft de aannemer, met medewerking van de Arbo-dienst in fasen een veiligheidsplan opgesteld. De begroting is afgestemd op dit veiligheidsplan. Er ligt rondom het te bouwen gebouw een groot bouwterrein, waarvoor wederom een noodviaduct gerealiseerd moest worden. Een probleem bij dit project was dat er terrein van derden nodig was om de veiligheidszone voldoende groot te maken. Dit heeft enige onderhandelingen gevergd.

### 6.6.3 Verkeersimplicaties

Gedurende 1998 zijn er diverse besprekingen ter voorbereiding op de aanvraag van de opbrekvergunning geweest. Er bleken wederom afsluitingen van de Utrechtse Baan noodzakelijk te zijn. De Dienst Stadsbeheer twijfelde aan het feit of een dergelijk groot aantal, *maatschappelijk* nog wel *acceptabel* was. De dienst had het idee dat er door alle afsluitingen als gevolg van de bouw over de Utrechtse Baan een zeer negatief beeld van de bereikbaarheid van Den Haag ontstond.

In eerste instantie was er zelfs sprake van een afsluiting van de Utrechts Baan gedurende drie weken. Later is dat teruggebracht tot zeven volledige weekenden en daarnaast nog een groot aantal afsluitingen. Volgens DSO en de aannemer was derek eruit: dit is het plan en er is geen ruimte meer voor wijzigingen of er moet een heel nieuw plan worden gemaakt. Stadsbeheer heeft toen een second opinion gevraagd aan een extern bureau. Dit bureau onderzocht of de veiligheidseisen van de gemeente wel reëel waren en of het aantal afsluitingen niet beperkt kon worden door bijvoorbeeld de planning aan te passen.

Het extern bureau kwam niet met panklare oplossingen, maar heeft wel als een soort katalysator gewerkt om uit de dreigende impasse te komen. Uiteindelijk hebben de stadsdeelinspecteur en de aannemer de plannen nogmaals kritisch bekeken. Geconcludeerd werd dat de *effectieve werktijd* tijdens nachtafsluitingen van 23.00 uur tot 6.00 uur voor bepaalde werkzaamheden te kort was. Besloten is toen de week- en nachtafsluitingen te introduceren, waardoor per nacht een langere effectieve werktijd benut kan worden.

<sup>4)</sup> Inmiddels is gebleken (mei 2000) dat de keuze voor het fundren op de Utrechtse Baan niet zo'n een gelukkige is geweest. De eerste week van mei is de Utrechtse Baan dag en nacht afgesloten geweest, om scheuren in het wegdek te herstellen.

Voor de Dienst Stadsbeheer heeft dit proces tot de conclusie geleid dat de standpunten van de bouwer/aannemer (en DSO) kritisch tegen het licht moeten worden gehouden en versterkt het de mening dat alles vooraf heel goed geregeld en doorgepraat moet worden. In een vroegtijdig stadium van de planvorming moeten bereikbaarheid en verkeersmaatregelen in het oog worden gehouden.

Ondanks de omstandigheid dat alle afsluitingen in de opbrekvergunning goed geregeld waren, ontstond er al bij het plaatsen van de bouwketen een probleem. De bouwketen dienst bleken groter, dan waarop gerekend was. Hierdoor ontstond een *onveilige situatie* op de weg waarlangs de keten geplaatst waren, waarna de gemeente de weg alsnog heeft afgesloten.

Tegen alle afspraken in heeft de aannemer overigens besloten de bouwplaats in te richten op een vrijdag in plaats van de afgesproken maandag daarop. Dit heeft tot nogal wat verkeersoverlast geleid en heeft veel stof doen opwaaien in de lokale pers. Uit het oogpunt van (toekomstige) maatschappelijke acceptatie kunnen dit soort zaken beter vermeden worden!

#### 6.6.4 Conclusie

Het informeren van bewoners wordt steeds belangrijker, omdat er steeds meer beslag wordt gelegd op de openbare ruimte. De materiaal- en stabiliteitskeuze waren reeds gemaakt toen de gemeente bij het plan betrokken werd. De gemaakte keuzen zijn bepalend voor het bouwproces, waarop de gemeente weinig invloed had. De architect werkt vanuit een programma van eisen, waarin meestal niets over het proces en de impact op de omgeving is opgenomen. Volgens de gemeente is er een grote winst te boeken wanneer deze zaken wel in het programma van eisen opgenomen zouden worden, zodat er vanaf het begin rekening mee wordt gehouden.

### 6.7 Nieuwe projecten Utrechtse Baan

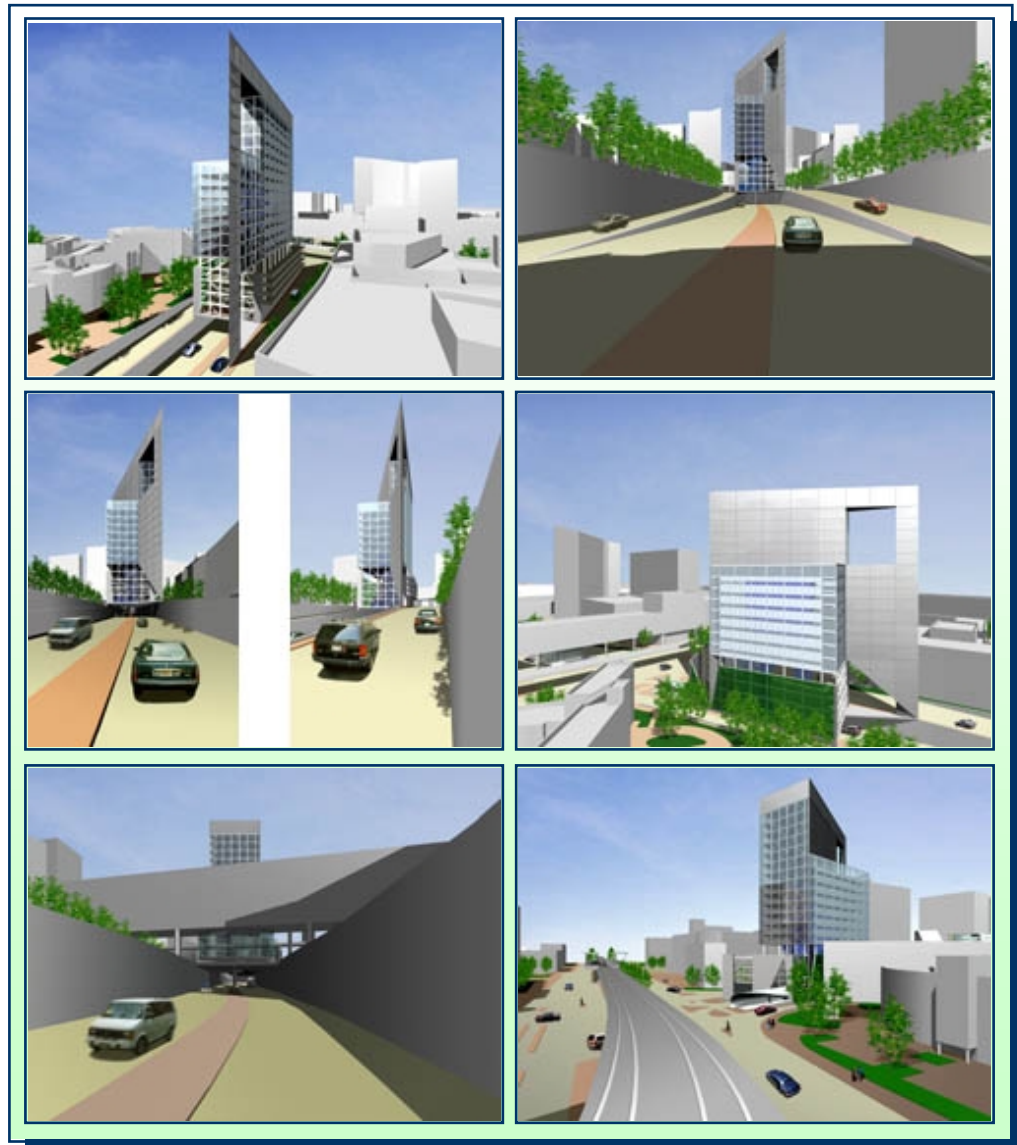
De komende jaren blijft er volop gebouwd worden in Den Haag: gebouwen op/over de Utrechtse Baan, het Wingsproject, de tunnelprojecten en dergelijke. De huidige problematiek met de tunnel onder de markt (sousterrain) leidt nu tot vertragingen.

Dergelijke ontwikkelingen hebben niet alleen effect op de planning van toekomstige projecten. Door het uitstel moet bijvoorbeeld aan de tijdelijke ingestelde omleidingsroutes niet vooraf gepland onderhoud worden gepleegd (tramrails worden vervangen, etc.). Dit leidt weer tot een slechtere bereikbaarheid van het centrum (voor onderhoud aan een tijdelijke omleidingsroute moet weer een omleidingsroute worden ingesteld).

De maatschappelijke acceptatie van de maatregelen zal een grotere rol gaan spelen. Wegen kunnen niet onbepaald worden afgesloten. Niet alles kan op een gegeven moment worden gerealiseerd. Het ligt voor de hand dat in de nabije toekomst de plannings van projecten "uit elkaar moeten worden getrokken".

Bij de ontwikkeling van het nieuwe plan de Office Tower, is de problematiek van de bouwhinder en bouwveiligheid vanaf de allereerste contacten met de projectontwikkelaar aan de orde gesteld. De gemeente heeft de ontwikkelaar gevraagd om aan te geven hoe met deze aspecten zal worden omgegaan. Er wordt ook direct gewezen op de consequenties van bepaalde keuzes.

Hieronder nog enkele impressies van de Office Tower, eveneens gepland over de Utrechtse Baan.



Figuur 6.19: Impressies HBG-Tower over de Utrechtse Baan [5].

## 6.8 Vergelijkbare project Rotterdam

Voor een vergelijking van de benadering van de problematiek van bouwveiligheid en bouwhinder in de gemeente Rotterdam, wordt in deze paragraaf de visie gepresenteerd hieromtrent.

Het gemeentelijk Bouw- en Woningtoezicht vindt de ordening van de verantwoordelijkheden voor het beheersen van de bouwveiligheid bij de uitvoering momenteel niet optimaal. De aannemer moet een V & G-plan opstellen. Ook dient de aannemer een veiligheidscoördinator aan te stellen. Door of namens de opdrachtgever moet voor de gemeente een bouwveiligheidsplan worden opgesteld. Namens de gemeente zijn de arbeidsinspectie en het BWT verantwoordelijk voor de bouwveiligheid. Gemeente Rotterdam kenmerkt zich door een zeer goede band met de aannemers. Er is veelvuldig overleg en men probeert altijd tot redelijke oplossingen te komen.

Een probleem voor het tijdig bespreken van bouwveiligheid bij de uitvoering is dat het pas zinvol wordt op het moment dat de aannemer bekend is. Dit betekent dat er voorbij wordt gegaan aan keuzemomenten in de ontwerpfase die ook bepalend kunnen zijn voor de implicaties bij de uitvoering. Investeren in extra veiligheid levert geen meerwaarde van het product op. Er is dus wat dat betreft geen belang bij aannemers en opdrachtgever.

Voor de projecten in de stedelijke situatie waar nauwelijks plaats is voor het afzetten van een bouwplaats, worden er horizontale en verticale transportkanalen opgezet. Het transport van de bouwmaterialen en bouwdelen wordt daarin geconcentreerd. Veelal wordt er ook gebruik gemaakt van vaste hijsgeleiders. Indien er bij het takelen iets mis mocht gaan, dan zorgt zo'n geleider ervoor dat de last recht naar beneden valt. Het is zaak om de "gevarenzone" zo klein mogelijk te maken. Zonder geleider is het mogelijk dat ook grote zware elementen door wind of door afketsen tegen een wand ver buiten de hijspiek terecht komen.



Figuur 6.20: WTC Rotterdam [12].

Typisch voor het Beurstraverseproject was de grote hoeveelheid steigers voor het metselwerk op hoogte. Men heeft ook *specifieke betonpompen* gebruikt. Het transport was strak georganiseerd. Sloopwerk werd met name op zondag verricht. De aanvoer vond meestal zeer vroeg in de ochtend plaats.

Een project waarbij bouwveiligheid een grote rol speelde was het World Trade Center gebouw (WTC). Dit bouwwerk is gebouwd boven op het beursgebouw. Men had hier te maken met een doorgang van het functioneren van het gebouw tijdens de uitvoering van het werk. Het project is goed verlopen, mede dankzij een goede samenwerking met de politie.

Bij het gebouw van Nationale Nederlanden is uitgebreid met de opdrachtgever gesproken over de veiligheidsmaatregelen. De opdrachtgever dacht goed mee, vermoedelijk ook doordat het hier een verzekeraar betrof.

Bij de bouw van de Weena Toren werd gewerkt met *tunnelbekistingen*. Bij het uitschuiven van de tunnel werd het publiek even op afstand gehouden. Er werden hierbij grote risico's genomen en er ging veel fout of bijna fout. Er zijn echter geen ongelukken gebeurd. Een veiligheidsadviseur kwam wel tot het oordeel er sprake was van een onaanvaardbaar risico. De bouw was al veel te ver gevorderd en eventuele maatregelen zouden 15 miljoen gulden kosten (in verband met openhouden van winkels). Er werden veel partijen (arbeidsinspectie, gemeente, Nederlandse Vereniging van Veiligheidskundigen) geraadpleegd en gevraagd wat men aanvaardbaar vond. Opvallend was dat velen de grote economische belangen zwaar lieten wegen en zeiden dat ze niet durfden te stellen dat men drastische maatregelen moest nemen.

## 6.9 Conclusie

De Malietoren was één van de eerste projecten over de Utrechtse Baan. Aldoende heeft men veel geleerd en ervaringen opgedaan ten aanzien van de processen en de (on)mogelijkheden van het stellen en bewaken van veiligheidseisen. Tijdens de rit is er indertijd nog een bouwveiligheidsplan opgesteld. Wat leverde de case Malietoren de gemeente aan inzichten op:

- Voortaan in een zo vroeg mogelijk stadium van het bouwproces en zo gedetailleerd mogelijk vastleggen wat de eisen zijn ten aanzien van hinder en veiligheid, zodat er in het ontwerp- en aanbestedingsstadium rekening mee kan worden gehouden.
- Helderheid verschaffen over degenen die (bij de verschillende partijen) verantwoordelijk zijn voor het treffen en bewaken van de veiligheidsaspecten.
- Goed nadenken over een adequate en effectieve inrichting van de bouwplaats. Dit kan veel potentieel gevaar en overlast beperken.

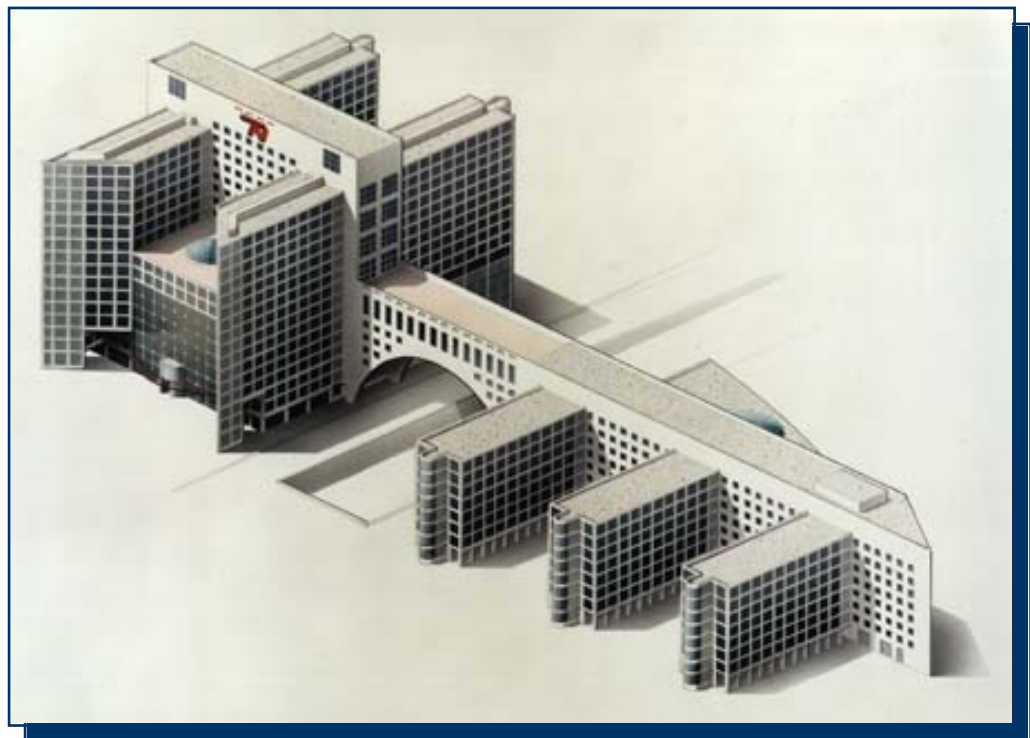
De twee laatstgenoemde aspecten zijn in de projecten/cases die daarna zijn gerealiseerd, redelijk uit de verf gekomen. Het eerste aspect niet. Ondanks de ontwikkeling van nieuw en bestaand instrumentarium (Handboek bouwveiligheid, opbrekvergunning, etc.) en de vroegtijdige contacten in het proces tussen de gemeente en de projectontwikkelaars blijven er problemen bestaan over het feit dat het ontwerp al klaar is. Communicatie en verantwoordelijkheid zijn hier sleutelwoorden: niet alleen tussen bouwer/projectontwikkelaar en de gemeentelijke diensten, maar ook binnen het gemeentelijk apparaat. Projectontwikkelaars, architecten, (grote) bouwbedrijven moeten veel meer op de hoogte worden gebracht van bouwveiligheidseisen en de daarmee samenhangende organisatorische en dus financiële consequenties (inclusief de kosten van omleidingen, het onderhoud aan die omleidingswegen, extra kosten openbaarvervoers-voorzieningen, etc.). De handboeken en instrumenten liggen er grotendeels al.

Tenminste drie projecten (VNO-gebouw en beide bruggebouwen) zijn gerealiseerd door middel van een PPS-constructie tussen een en dezelfde projectontwikkelaar en de (Dienst Stadsontwikkeling van de) gemeente. De gemeente stelt de grond beschikbaar en de ontwikkelaar realiseert het gebouw. Het idee achter PPS is dat door de inzet van know-how van beide partijen en door de manier van samenwerken voor beide partners er een beter resultaat ontstaat. Bij een dergelijke samenwerking is de betrokkenheid van beide partijen van groot belang. Aan de ene kant zou zo'n samenwerkingsvorm in beginsel goede kansen moeten bieden voor het realiseren van een optimale veiligheid tijdens het proces. Aan de andere kant kan het thema veiligheid in een PPSamenwerkingsvorm - mede door het ontbreken van een vast en eenduidig kader - ook makkelijk wisselgeld in de onderhandelingen worden en kan het de verhoudingen onder druk zetten.

## 6.10 Overige projecten

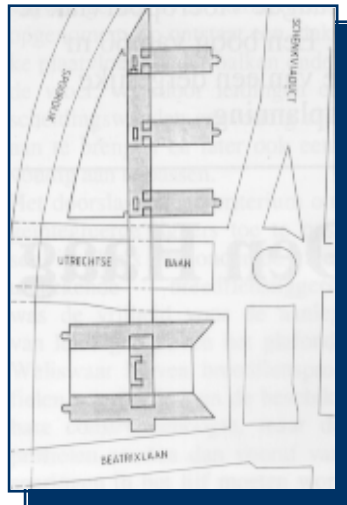
### 6.10.1 De Haagse Poort

Het verzekeringsconcern Nationale Nederlanden beschikte voor de nieuwe vestiging van kantoorruimte over een locatie langs de Utrechtse Baan [Gal1993].



Figuur 6.21: Impressie Haagse Poort [Gal1993].



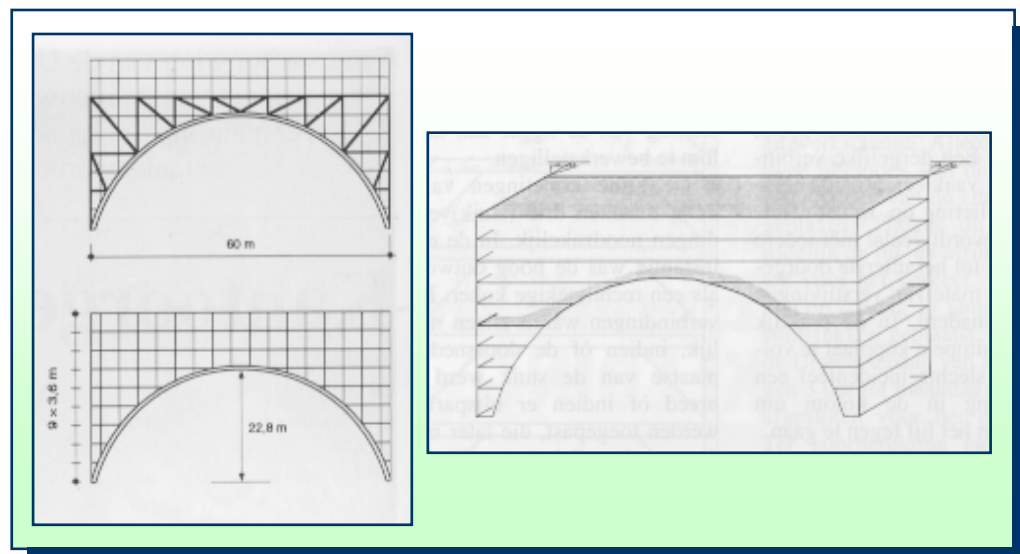


Figuur 6.22: Plattegrond Utrechtse Baan [Gal1993].

De locatie bestond uit een beperkt gebied waarbinnen maar tot een hoogte van 70 meter mocht worden gebouwd. Omdat het aantal vierkante meters kantoornruimte niet voldoende was moest het gebied vergroot worden. De enige mogelijkheid hiervoor was aan de andere kant van Utrechtse Baan. Het plattegrondje in figuur 6.22 verduidelijkt hoe de uitbreiding over de Utrechtse Baan heeft plaatsgevonden. Hieruit voormoetend is het ontwerp voor de Haagse Poort ontstaan. Deze beschrijving richt zich verder op het gedeelte over de Utrechtse Baan: het poortgebouw.

De hoofddragconstructie van het poortgebouw bestaat uit een stalen boogconstructie met betonnen kanaalplaatvloeren. De overspanning van de boog bedraagt 60 m. Zie figuur 6.23 voor een tekening van de boog. De maximale hoogte van de boog ligt op 28 m boven de

Utrechtse Baan. De boogspanten zijn gefundeerd op de funderingspoeren van de naastgelegen gebouwdelen. Door het gebruik van een boog ontstaan er spatkrachten bij de steunpunten. Deze worden opgenomen door geschoorde funderingspalen van de naastgelegen gebouwen. De brandwerendheid die voor de bogen vereist is bedraagt door de bebouwing boven de snelweg minimaal 120 minuten. Vandaar dat de constructie brandwerend bekleed is.



Figuur 6.23: De dimensies boogspant [Gal1993].

#### □ Montage

Een aantal zeer specifieke randvoorwaarden bepaalde de montage. Zo was er nauwelijks opslag voor materiaal en mocht alle datgene worden aangevoerd wat direct kon worden gemonteerd.

Daarnaast kon de tijdelijke brug aangebracht onder het poortgebouw ter bescherming van het verkeer - maar een beperkte belasting dragen en moest veel gebruik worden gemaakt van aluminium steigers in plaats van hoogwerkers. Tot slot mocht het verkeer alleen tijdens de montage van de beide bogen worden gestremd.



Figuur 6.24: De bouw van de Haagse Poort [Gal1993].

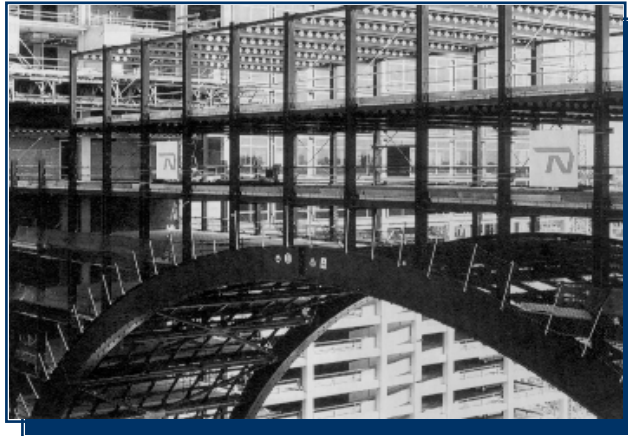
De montage van de boog geschiedde volgens een strak tijd en werkschema. Allereerst zijn, twee uiteinden van de bogen aan weerszijden van de Utrechtse Baan geplaatst. Tijdens dit werk zijn tijdelijk de op- en afritten afgesloten voor het verkeer.



Figuur 6.25: De montage van de boogspant [Gal1993].

Vervolgens zijn op zondag 17 januari 1993 de sluitstukken geplaatst. Hiervoor is de Utrechtse Baan van zondagmorgen 3 uur tot maandagavond 6 uur afgesloten voor het autoverkeer. Ter voorbereiding van dit werk zijn al op vrijdagavond zes trailers met elementen van de boog aangevoerd. Op zondag arriveerde in alle vroegte twee 400 tons kranen.

Na het lossen zijn de laatste twee boogsegmenten, met een totaal gewicht van 55 ton, midden op de Utrechtse Baan aan elkaar gebouwd, gekanteld en vervolgens gemonteerd tussen de al aanwezige eindsegmenten. Na het aanbrengen van een horizontaal koppeling tussen de bogen in de vorm van buizen, kon de weg op zondagavond 9.30 uur weer worden vrijgegeven.

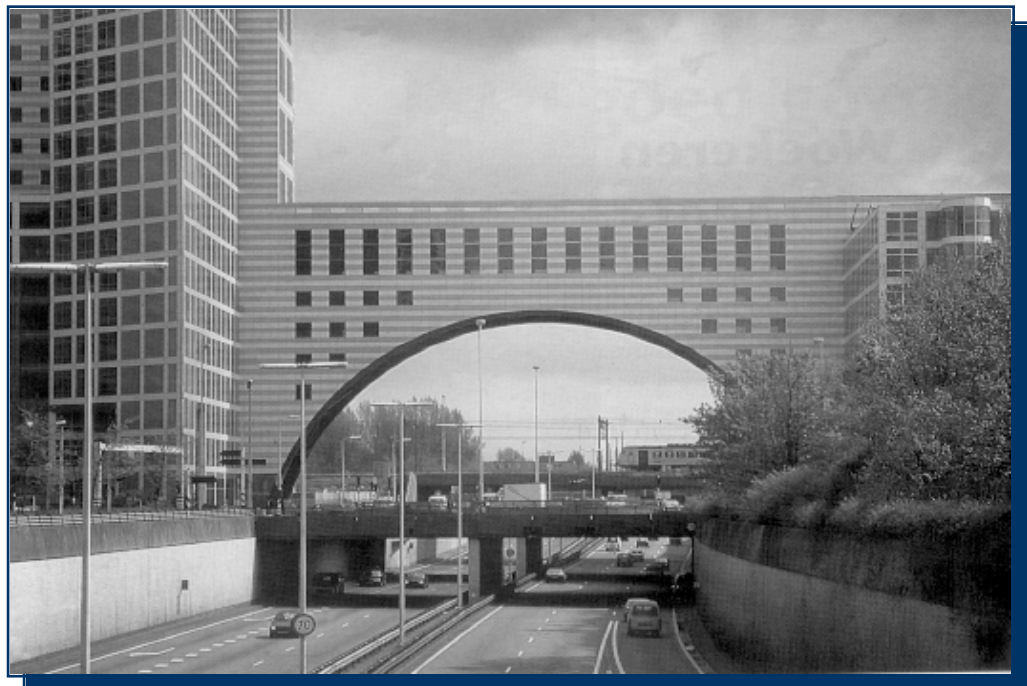


Figuur 6.26: Boogspant [Gal1993].

De stabiliteit van de staalconstructie tijdens de verdere opbouw vroeg eveneens speciale aandacht. Pas in de eindfase werden de vloeren als schijven voor de overdracht van de horizontale krachten naar de aangrenzende gebouwen.

Om het verkeer te beschermen gedurende de bouw is een tijdelijke brug aangebracht. Hierdoor kon er geen gebruik worden gemaakt van hoog-

werkers omdat de tijdelijke brug maar een beperkte belasting kon dragen. Verder is de Utrechtse Baan slechts één keer gestremd geweest om montage van de bogen mogelijk te maken. Het bouwen boven de snelweg was in dit geval noodzakelijk om de twee gebouwdelen met elkaar te verbinden om van het gehele gebouw toch één geheel te maken.



Figuur 6.27: De Haagse Poort in gebruik [Gal1993].

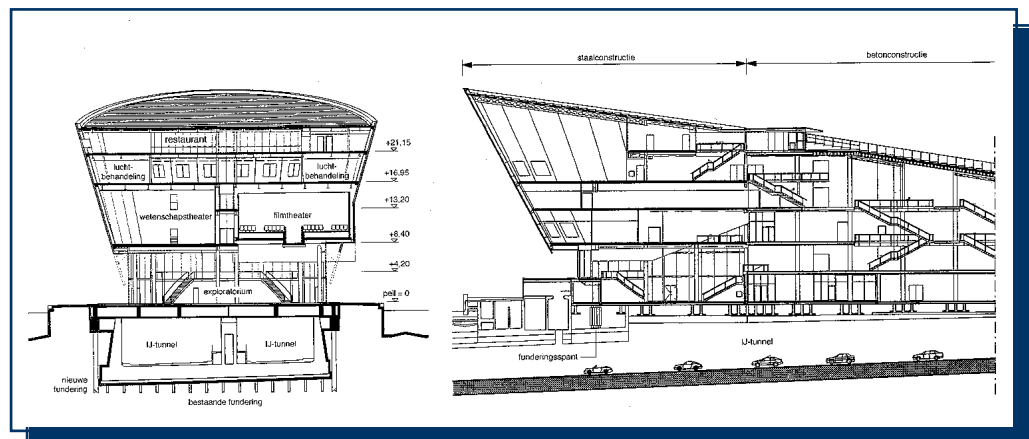
Verder is het gedeelte aan vierkante meters dat zich boven de snelweg bevindt klein t.o.v. het totale kantooroppervlakte. Het extra bedrag per vierkante meter om de poort te maken was aanvaardbaar in vergelijking tot het totale gebouw. De stalen boogliggers zijn op h.o.h. 14,4 m bevestigd.

### 6.10.2 NewMetropolis Amsterdam

In het Amsterdamse Oosterdok is enige jaren geleden het nieuwe Wetenschapsmuseum gerealiseerd [Kra1993]. Dit museum lijkt als een boeg van een schip uit het water te rijzen. Het gebouw is onder meer bijzonder door de directe locatie boven de IJ-tunnel. In de aanzichten, zoals getoond in figuur 6.28, is de directe locatie boven de tunnel goed te zien. Door deze locatie was een licht ontwerp gewenst. Vandaar dat voor het boeggedeelte van het 96 meter lange gebouw gekozen is voor staal.

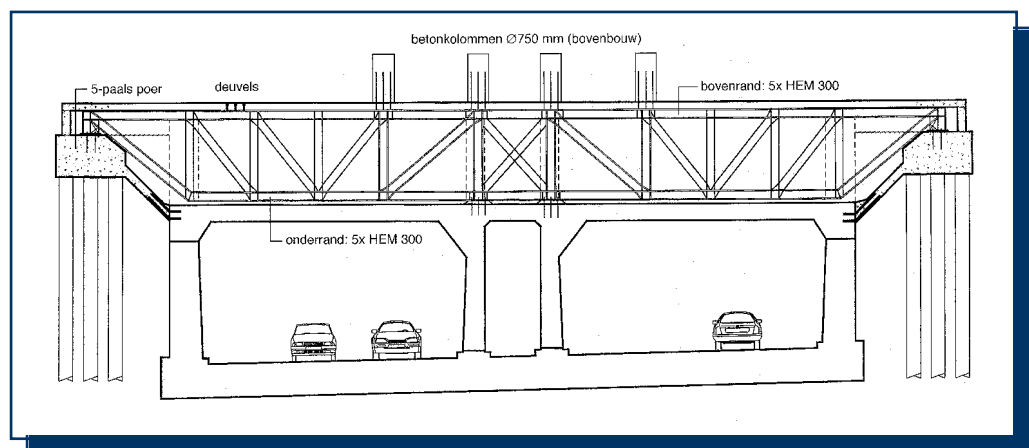


Figuur 6.28: Een bijzonder ontwerp van de beroemde architect Renzo Piano [9]



Figuur 6.29: Dwars- en langsdoorsneden NewMetropolis in Amsterdam, boven de IJ-tunnel [Kra1993].

Zoals reeds genoemd, wordt het gebouw deels op de IJ-tunnel gefundeerd. Ongeveer 70 procent van de gebouwbelasting kan afgedragen worden naar de tunnelconstructie. Voor de overige 30 procent zijn funderingspalen direct naast de tunnel geslagen.



Figuur 6.30: Aanzichtstekening vakwerkligger met de 4 kolommen [Kra1993].

Vier kolommen die de kop van de gevel dragen moeten hun belasting kwijt kunnen aan de fundering. Aangezien deze grote puntlasten niet direct op het tunneldak geplaatst konden worden moest een overspanningconstructie aangebracht worden. Gekozen is voor een stalen vakwerkliggers met een lengte van 25 m. In het midden is een tussensteunpunt aangebracht dat rust op de twee tussenwanden in de tunnel. Dit om de constructiehoogte te beperken. Figuur 6.30 toont de vakwerkligger die de vier puntlasten naar de fundering moet afdragen.



Figuur 6.31: Aanbrengen vakwerkligger [Kra1993].



Figuur 6.32: Tijdens en na de bouw [Kra1993].

# H O O F D S T U K 7

## 7

## ANALYSE ASPECTEN INZAKE DE VEILIGHEID

---

### 7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de aspecten waarvan de bouwveiligheid afhangt de revue passeren. Stapsgewijs zullen de aspecten geanalyseerd worden. Meervoudig Ruimtegebruik en de uitvoeringsfase van het bouwproces vormen uiteraard het uitgangspunt daarbij. De aspecten zullen in stroomschema's gerubriceerd worden.

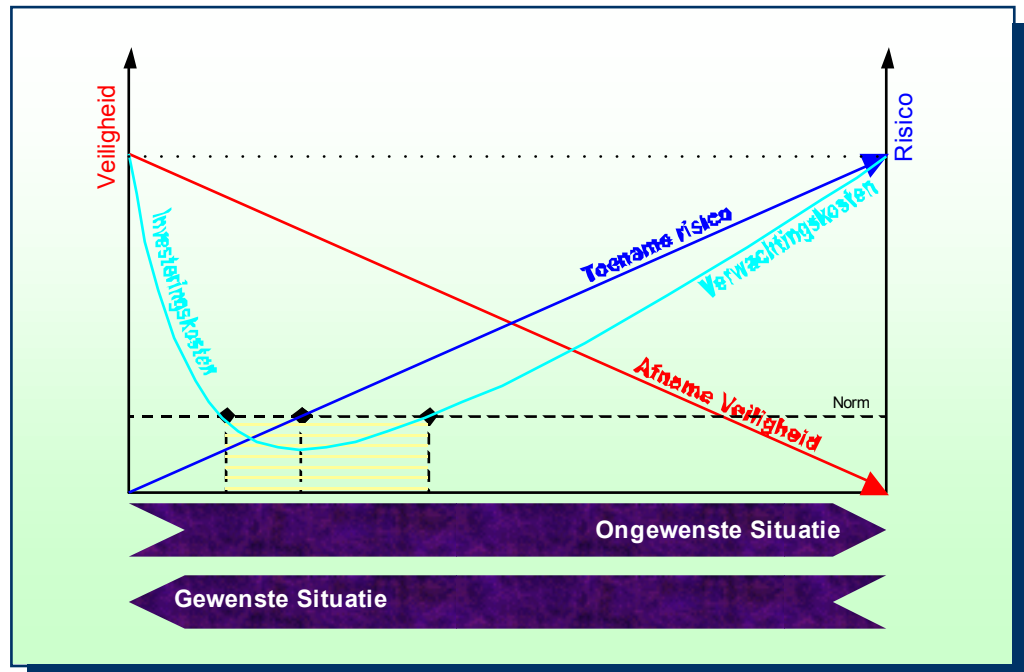
De problematiek van veiligheid en bouwhinder bij projecten, waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik, kan breed worden opgevat. Zelfs het verlagen van de grondwaterstand in en rondom de bouwput kan al leiden tot het zetten van grondin de omgeving met alle gevolgen van dien. Dit kan schade (aan gebouwen) als gevolg hebben. Zulk een problematiek valt zondermeer onder aspecten waar de veiligheid van afhangt. Echter, zulke problemen doen zich heel weinig voor; dit blijkt uit de literatuurstudie (zie hoofdstuk 6).

Zoals al eerder vermeld blijkt de problematiek van veiligheid en hinder bij de uitvoering van bouwprojecten waarbij sprake is van meervoudig ruimtegebruik, zich vooral toe te spitsen op de beheersing van het risico van vallende elementen boven de openbare weg. In dit hoofdstuk worden de aspecten nader uitgewerkt waar de veiligheid van afhangt. Dit associeert met het valgedrag en past in het kader van dit onderzoek.

De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt: Als eerste wordt het begrip veiligheid vergeleken met het begrip risico en de kosten (*paragraaf 7.2*). Vervolgens wordt in *paragraaf 7.3* een hoofdmodel opgesteld om de aspecten inzake de bouwveiligheid te analyseren. In de volgende paragrafen wordt hier uitgebreid op ingegaan. Zo zijn *paragrafen 7.4* tot en met *paragraaf 7.7* de vier hoofdaspecten van dat model dieper uitgewerkt, te weten; de externe randvoorwaarden, de voorschriften, het ontwerp en de uitvoering.

## 7.2 Veiligheid versus Risico

Allereerst wordt het begrip veiligheid vergeleken met het begrip risico. Deze betrekking is in de onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 7.1: Veiligheid versus Risico en Kosten

Dit model komt overeen met de definitie zoals gegeven in hoofdstuk 3, te weten: de onveiligheid is een synoniem voor het lopen van groot risico. Onder risico wordt verstaan de functie van de faalkans en het gevolg. De veiligheid van mensen is derhalve gerelateerd aan het begrip risico. Dit impliceert dat de aspecten - die afhankelijk zijn van de veiligheid - ook afhankelijk zijn van de functie van de faalkans en het gevolg.

Met andere woorden: Bij de analyse van aspecten waar de veiligheid van afhangt, dienen de faalkans en het gevolg nader te worden bestudeerd. Factoren die een relatie hebben met de faalkans van het systeem en het gevolg daarvan, zijn de aspecten die worden gespeurd.

Een tweetal kanttekeningen kunnen bij dit model geplaatst worden:

1. Veiligheid is een *subjectief* begrip (zie hoofdstuk 3). Een onveilige situatie kan door een persoon alsnog veilig ervaren worden en vice versa. Hiervoor zijn normen opgesteld (zie hoofdstuk 3). De overlijdingskans door een ongeval bedraagt  $10^{-4}$ . De acceptatie-norm is 1% hiervan, en komt de norm op  $10^{-6}$ .
2. Bij het bovenstaande model is het zeer belangrijk om de *economische haalbaarheid* te betrekken. In zijn algemeenheid geldt dat een absoluut veilige situatie (economisch) onhaalbaar is. Immers, het geïnvesteerde bedrag in het creëren van een zo veilig mogelijke situatie kan nauwelijks worden terugverdiend.



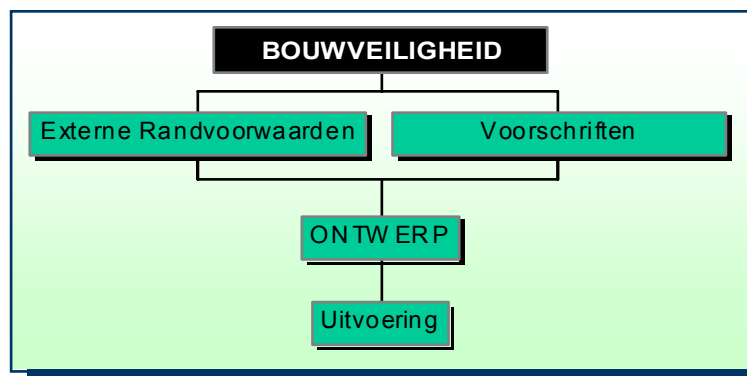
Het tweede aspect, de kostenfunctie, is eveneens in figuur 7.1 weergegeven. Hierin is te zien dat er ergens een economisch optimum bevindt. Als de norm conform de veiligheidstheorie van hoofdstuk 3 is bepaald, dan bevindt het economisch optimum zich exact op de norm. Nu zal dat in de praktijk niet het geval zijn.

Bij een absoluut veilige situatie (100%) zullen de kosten infinitief zijn. Dit zijn *geïnvesteerde kosten*. Bij een absoluut onveilige situatie zijn de *verwachte kosten* groot indien de gevolgschade groot is.

Voor het risico is het van belang dat er ontworpen wordt conform de acceptabele norm, hetzij de persoonlijke norm, hetzij de maatschappelijke norm. Men moet zich bevinden onder deze norm. Voor de kosten is dat anders; deze zullen zich in beginsel eveneens moeten bevinden onder de grens van de norm, maar bij het kostenaspect is er eigenlijk sprake van een boven- en een ondergrens. Deze is eveneens gerelateerd aan de gestelde norm. Voor de kosten is het van belang dat men uit gaat van het gele gearceerde deel in figuur 7.1.

### 7.3 Model benadering bouwveiligheid

Om een analyse te maken van de aspecten waar de bouwveiligheid van afhangt, is het inzichtelijk om de aspecten te benaderen uit een hogere schaalniveau. Deze kunnen dan vervolgens uitgebreid worden naar aspecten in lagere niveaus.



Figuur 7.2: Primaire niveau voor de bouwveiligheid.

De bovenstaande figuur laat zien dat de bouwveiligheid in beginsel afhangt van de volgende aspecten:

- De externe randvoorwaarden;
- De voorschriften.

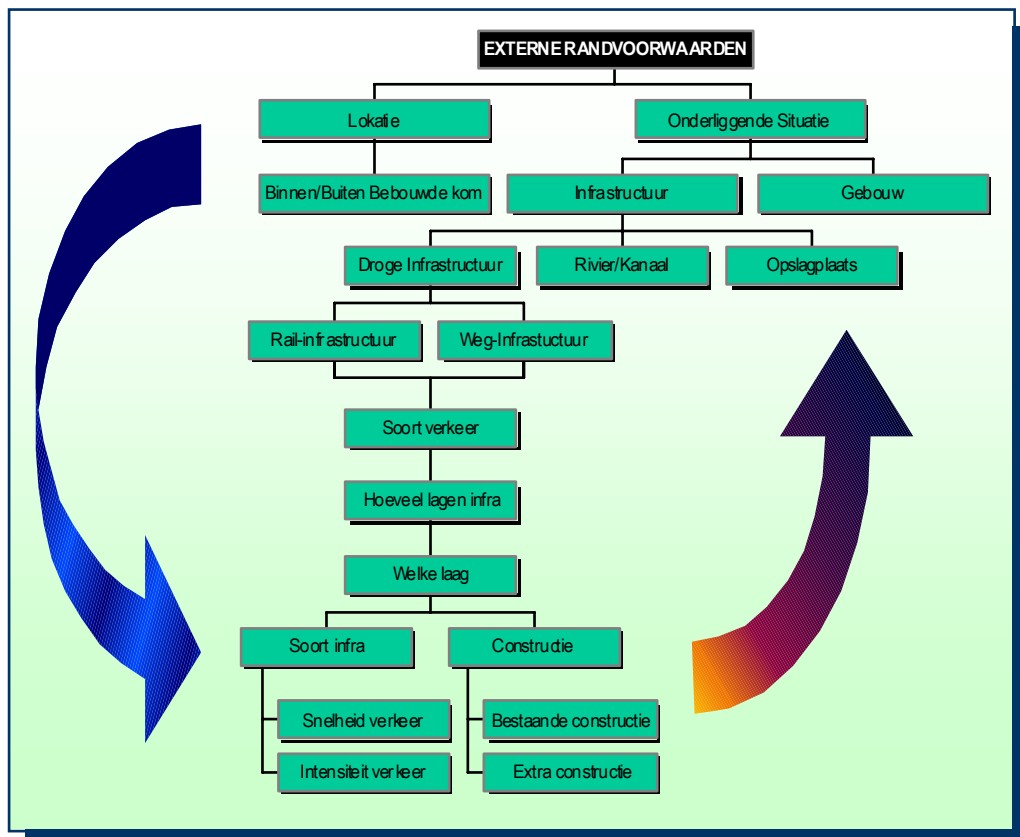
Deze twee *beginvoorwaarden* bepalen het ontwerp, maar ook het ontwerp van de uitvoering wordt hierdoor bepaald. Het ontwerp en de uitvoering zijn in feite aspecten die weer te nuanceren zijn in subaspecten. De beheersing van deze aspecten geschiedt in verschillende fasen van het bouwproces. In elke fase zijn andere (f)actoren betrokken die de aspecten "het ontwerp" en "de werkvoorbereiding" beheersen. De zogenoemde *beginvoorwaarden* zijn niet beheersbaar, dit zijn eigenlijk de begingegevens waarmee het project kleur gaat krijgen. In de volgende paragrafen zal het bovenstaande model in nuance de revue passeren.

## 7.4 Externe randvoorwaarden

### 7.4.1 Inleiding

Het model dat in de vorige paragraaf is samengesteld wordt nu stap voor stap nader genuanceerd. Als eerste zullen de externe randvoorwaarden onder de loep worden genomen. Deze zullen hieronder beschreven worden.

Zoals eerder vermeld is de veiligheid afhankelijk van een aantal factoren. Eén van die factoren is de externe randvoorwaarden: deze zijn in hun algemeenheid niet of nauwelijks te veranderen en derhalve niet te beheersen. De term externe randvoorwaarden is expliciet gekozen, omdat ze worden opgelegd van buiten af. In figuur 7.3 zijn deze in concreto gevisualiseerd in een schema. De pijlen in deze figuur stellen de nauwe samenhang tussen de aspecten voor.



Figuur 7.3: De Externe randvoorwaarden in lagere niveau's.

In figuur 7.3 is als eerste een onderscheid gemaakt tussen de lokatie en de onderliggende situatie. Dit zijn de eerste hoofdaspecten waar de veiligheid van afhangt. Deze aspecten zijn ook onderling gerelateerd. Immers, de situatie kan afhangen van de lokatie waar er gebouwd wordt en vice versa.

### 7.4.2 De lokatie

De lokatie houdt de plaats waar er gebouwd wordt in. Er is een fundamentele discrepantie tussen of er gebouwd wordt binnen of buiten de bebouwde kom. Vergelijk een snelweg met een woonerf. Er is verschil in de uitvoering van het bouwproces. Als er iets misgaat tijdens de uitvoering, dan zijn de consequenties (lees: gevolgschades) anders voor beide gevallen. En derhalve is er ook verschil in veiligheid van het bouwproces. Maar ook de lokatie op zich heeft hele andere eigenschappen voor binnen en buiten de bebouwde kom. Dit aspect kan ook veranderen naarmate het proces vordert.

### 7.4.3 De onderliggende situatie

De onderliggende situatie is ook een der aspecten die enorm belangrijk is voor de veiligheid tijdens het bouwproces. Bij de onderliggende situatie is een tweedeling te maken. De onderliggende situatie houdt in waarover er gebouwd wordt. Is het infrastructuur? Is het een gebouw? Dat is ook het onderscheid dat gemaakt is bij het kopje *onderliggende situatie*. In dit geval zijn de faalkans en de gevolgen variabel → dat komt er op neer dat dit aspect afhankelijk is van de veiligheid.

### 7.4.4 Infrastructuur

Wordt er gebouwd over infrastructuur, een vorm van Meervoudig Ruimtegebruik, dan kan er een onderscheid aangebracht worden in Rail-infrastructuur en weg-infrastructuur en wellicht ook wel een "natte" infrastructuur (wat buiten dit onderzoek valt).

#### □ Rail-infrastructuur

Rail-infrastructuur is onder te verdelen in tram, metro en trein. Bouwen over rail-infrastructuur is zeer gecompliceerd. Wellicht is de faalkans (kans op vallende voorwerpen tijdens het bouwproces) nagenoeg constant ten opzichte van het bouwen boven een weg, doch de gevolgschade is niet te vergelijken met die van het bouwen over een weg. In figuur 7.4 zijn deze twee vormen derhalve van elkaar gesepareerd. Immers, de schade bij een spoorafsluiting is economisch, en wellicht ook maatschappelijk anders van aard dan bij een wegafzetting. Dit komt mede door het feit dat de constructies en de functionele indeling van deze totaal verschillend zijn.

#### □ Weg-infrastructuur

Weg-infrastructuur is typisch een eigenschap die lokatie-afhankelijk is. Bij snelwegen is er soms een 2 x 6-baans weg. In een woonerf is er meestal sprake van een klein weggetje, waar het soms moeilijk is om met een auto doorheen te rijden. Uiteraard is het veiligheidsaspect waarbij een grote overspanning gemaakt moet worden belangrijker dan bij een klein steegje, indien men er dan overheen zou bouwen.

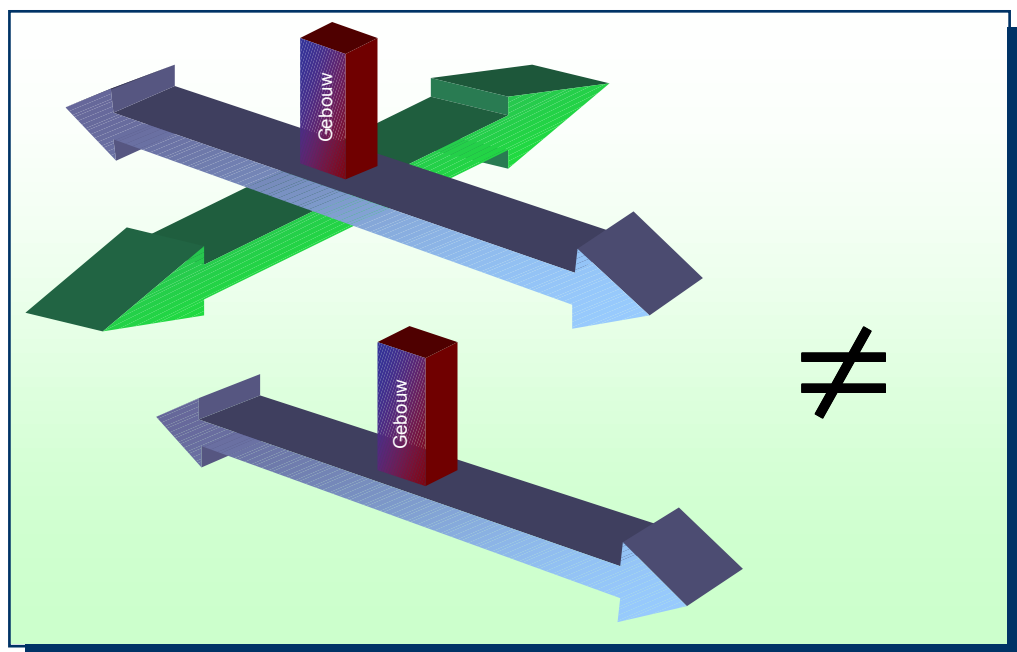
□ *Opslagplaats*

Dit type infrastructuur is volledigheidshalve opgenomen in het rijtje. Onder een opslagplaats wordt een ruimte bedoeld waar goederen opgeslagen worden. Tijdens werktijden zijn er flinke verplaatsingen van voertuigen die op- en afrijden om goederen op te slaan c.q. te verwijderen. De verwachting<sup>5)</sup> is dat men in de toekomst, mede door het ruimtegebrek, uit gaat kijken naar zulke onvoldoende lucratieve ruimtes. Zo wordt de deur voor het begrip Meervoudig Ruimtegebruik ruimer opengezet. Het veiligheidsaspect bij zulke projecten hangt in grote lijnen ook af van wat er opgeslagen wordt. Zo zal bij opslagplaats van vuurwerk dondersgoed het veiligheidsaspect (moeten) worden beheerst.

□ *Soort verkeer*

Het volgende wat bepaald moet worden is het verkeer wat zich verplaatst op de onderliggende infrastructuur. Het soort verkeer kan onderverdeeld worden in algemeen verkeer of het verkeer waarbij gevaarlijke stoffen worden vervoerd. De gevolgschade is voor beide anders, afhankelijk van de situatie. Dus kan het gezien worden als een veiligheidsaspect.

□ *Gelaagdheid infrastructuur*



Figuur 7.4: De veiligheid bij het bouwen over één laag infrastructuur is anders dan bij twee lagen..

Teneinde een onderscheid te maken in de veiligheid tijdens het bouwproces, dient er vervolgens gekeken te worden naar de *gelaagdheid van infrastructuur*.

<sup>5)</sup> Bron: Prof.dipl.-ing. J.N.J.A. Vamberský; mondelinge communicatie.

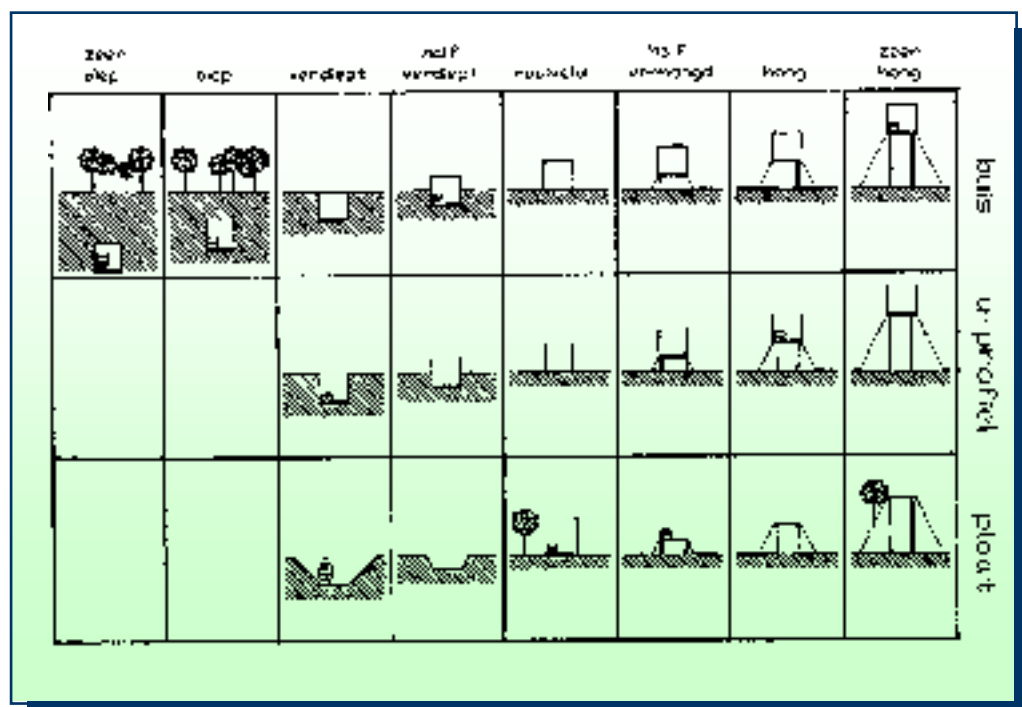
De veiligheid tijdens het bouwproces bij één laag infrastructuur is anders dan als er gebouwd wordt over twee lagen van vervoersstromen (figuur 7.4). Vergelijk het bouwen over station Zoetermeer met het bouwen over station Blaak. Bij station Blaak zijn er twee kruisende vervoersstromen (de metro en de trein).

Dit impliceert dat bij bouwen van gebouwen over meerdere vervoerstromen, meer en strengere veiligheidsmaatregelen moeten worden toegepast dan bij het bouwen boven één laag infrastructuur.

#### □ *Hoogteligging infrastructuur*

Nadat er gekeken is naar de gelaagdheid van de infrastructuur, dient er een analyse gemaakt te worden van het niveau waar de infrastructuur zich bevindt. Tevens dient een analyse van de laag waarop gebouwd zal worden. Dit aspect zal in de volgende paragraaf toegelicht worden. In figuur 7.5 wordt het aspect inzake de hoogteligging van de infrastructuur geïllustreerd. Ook hier geldt dat er een degelijk verschil is in de veiligheid van bouwen ten opzichte van de situeringslaag van de infrastructuur.

Infrastructuur die zich bevindt op een zeer grote diepte ten opzichte van het maaiveld, heeft een beperkte invloed op de veiligheidsaspecten tijdens het bouwen, dan infrastructuur die zich bevindt op +2 ten opzichte van het maaiveld. Ook de vorm (bedekt of onbedekt) van de onderliggende infrastructuur is van belang bij de veiligheid.



Figuur 7.5: Hoogteligging infrastructuur [Boe1997].

□ *Soort infra*

Bij een snelweg is de intensiteit van de voertuigen groter dan op een woonerf. Dit betekent dat de kans van een vallend voorwerp dat terecht komt op een auto bij een snelweg veel groter is dan bij een woonerf. Het gevolg zal mede dientengevolge groter zijn en derhalve ook het risico. De veiligheid zal hierdoor kleiner zijn bij het bouwen over een snelweg dan over een woonerf.

Bij het aspect "soort infra" moeten de volgende punten speciale aandacht krijgen:

- Aantal banen;
- Lengte voertuigen;
- Snelheid verkeer;
- Intensiteit verkeer;
- Dichtheid verkeer.

De laatste drie aspecten kunnen gemakkelijk onder één noemer worden genomen, middels een standaard-formule uit de verkeerskunde [Han1999]:

$$q = k \cdot u$$

Waarin:

q = intensiteit [vrtg·h<sup>-1</sup>]

k = dichtheid [vrtg·km<sup>-1</sup>]

u = snelheid [km·h<sup>-1</sup>]

Uiteraard zijn deze grootheden afhankelijk van het soort verkeer. Een trein komt met minimale tussenpozen van slechts 3 minuten, terwijl de tijdsduur tussen twee auto's op de snelweg minder dan een seconde kan zijn.

Bij treinverkeer kan er opgemerkt worden dat het veiligheidsaspect anders is bij intercity's dan bij goederenvervoer. Bij goederenvervoer worden geen personen vervoerd, en de gevolgschade indien er iets mis gaat tijdens het bouwen zal zich beperken tot schade van economisch van aard en geen schade waarbij er directe slachtoffers vallen. Indirect kan natuurlijk iets misgaan, waardoor de machinist omkomt, of de omgeving nare gevolgen ondervindt.

□ *Constructie*

De constructie is ook een aspect waar de veiligheid van afhangt. Er is onderscheidt gemaakt in de bestaande constructie en één die wellicht extra aanwezig is voor het opvangen van vallende voorwerpen tijdens de bouw.

Uit figuur 7.5 volgt dat de indeling voor de constructie is te maken in drie vormen, te weten:

- Buis;
- U-profiel;
- Plaat.

Een gebouw bouwen over een buis is dan veiliger voor de weggebruikers dan bij het bouwen over infrastructuur dat zich bevindt op een plaat. Het komt erop neer dat het aspect (bestaande en de vorm van de bestaande) constructie eveneens een aspect is dat betrekking heeft op de veiligheid tijdens een bouwproces.

#### □ *Extra constructie*

Onder extra constructie wordt verstaan de aanwezigheid van een constructie die niet behoort tot de constructie van het infrastructuur. Gedacht moet worden aan een kap die gebruikt kan worden als een opvangconstructie. Uiteraard is er verschil in de veiligheid bij de aanwezigheid van zulk een extra constructie.

### 7.4.5 Gebouw

Bij het bouwen van een gebouw over een bestaande gebouw is het veiligheidsaspect totaal anders dan bij het bouwen over infrastructuur. Dit volgt uit de literatuurstudie (zie hoofdstuk 6). Bij het bouwen over een gebouw kunnen de subwegen van de rail- en weg-infrastructuur wel bewandeld worden. Echter, men zal er een andere betekenis aan moeten hechten.

Bij gebouwen moet als eerste gekeken worden naar het bestaande gebouw. De volgende aspecten van het bestaande gebouw dienen een nauwkeurige inventarisatie onderworpen te worden:

- Dimensies;
- Aantal verdiepingen;
- Hoogteligging;
- Bestaande constructie, waarover gebouwd zal worden;
- Aantal mensen zich bevindt in dat gebouw.

Deze aspecten vallen eveneens onder het hoofdaspect *Externe randvoorwaarden* en lijken op de aspecten bij infrastructuur. Een mensenstroom kan gezien worden als een groep elementen die verplaatsen met een zekere snelheid, intensiteit, dichtheid en een richting. De veiligheid van deze mensen verlangt de grootste prioriteit tijdens de uitvoeringsfase, want als er een vallend voorwerp terecht komt op één van deze mensen (derden), dan is het menselijk leed groter dan de economische schade. Dit wil men voorkomen.

Dit betekent dat bij het bouwen van gebouwen over gebouwen het veiligheidsaspect een directere relatie heeft met mensen, dan bij het bouwen van gebouwen over infrastructuur.

## 7.5 Voorschriften

De belangrijkste voorschriften volgen uit de literatuurstudie. Deze zijn uitgebreid behandeld in hoofdstuk 4. Volledigheids- en duidelijkheidshalve zullen deze hier worden opgesomd.

Op nationaal niveau is de *Arbowetgeving* (Bouwprocesbesluit Arbeidsomstandigheden) van belang. Deze richt zich in de eerste plaats op de veiligheid op de bouwplaats. Voor het beheersen van de veiligheid van derden ten gevolge van de uitvoering van bouwprojecten, biedt de *gemeentelijke bouwverordening* de basis. Op grond van die verordening kan van de opdrachtgever een bouw- of sloopveiligheidsplan worden vereist. Voorts worden de afsluitingen van de openbare weg en omleidingen geregeld via de opbrekvergunning. Als leidraad voor het gemeentelijk handelen inzake de bouwveiligheid wordt het *handboek bouwveiligheid* gebruikt. Voor de beheersing van mogelijke hinderlijke effecten voor de directe omgeving van de uitvoering van grote bouwprojecten is verder de gemeentelijke *Nota Bouwputten* van belang.

## 7.6 Het ontwerp

### 7.6.1 Inleiding

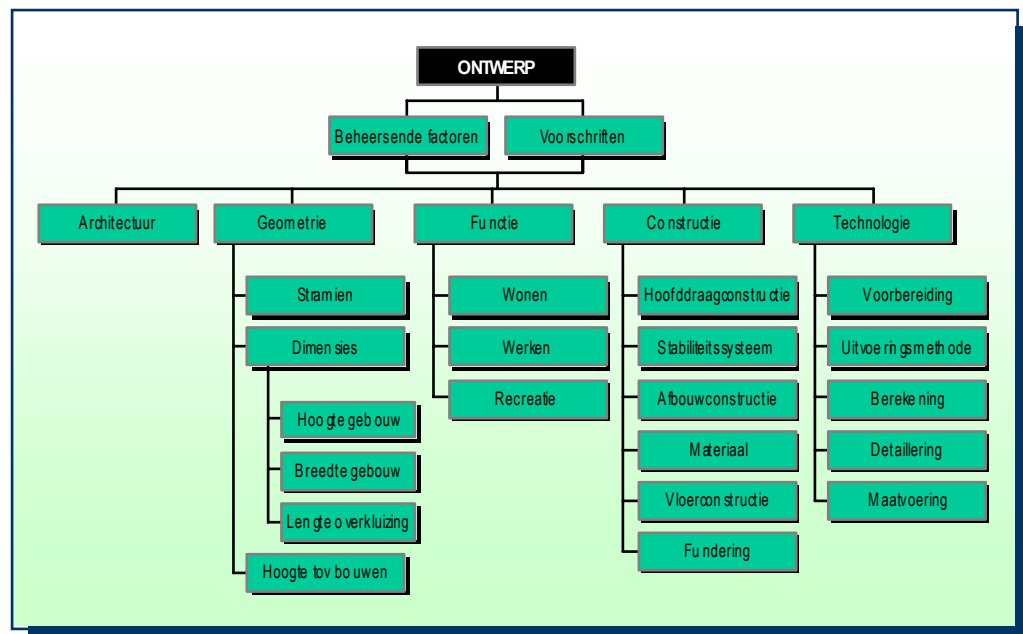
Zoals figuur 7.2 aangeeft brengen de externe randvoorwaarden en de voorschriften *het ontwerp* teweeg. Het ontwerp is typisch een hoofdaspect die beheersbaar is in de totale procesgang. Dit betekent dat de beheersing van het veiligheidsaspect in de ontwerpfase de vormgeving bepaald moet worden. Het ontwerpaspect zal in deze paragraaf verder geëxploreerd worden.

Op de volgende pagina is een schema gemaakt van de hoofdaspect *het ontwerp*. Deze is te vergelijken met die van de externe randvoorwaarden. Het ontwerp is primair te beheersen aan de hand van de volgende vijf subaspecten:

- Architectuur;
- Geometrie;
- Functie;
- Constructie;
- Technologie.

Deze vijf punten en hun onderverdeling is weergegeven in figuur 7.6. In deze paragraaf zullen deze punten verder genuanceerd worden. Overigens kan bij deze aspecten het begrip duurzaamheid worden toegevoegd. Immers, de keuze van een constructie of een bepaald materiaal heeft relaties met duurzaam bouwen. Sterker nog: Meervoudig Ruimtegebruik kan zelfs worden opgevat als duurzame indeling van de ruimte. Echter, aangezien dit buiten de grenzen van het onderzoek valt, zal het begrip duurzaamheid achterwege gelaten worden.





Figuur 7.6: Een hoofdaspect van de veiligheid: Het ontwerp.

Bij het ontwerp moet als eerste gedacht worden aan wat er wordt ontworpen. In het kader van dit onderzoek is dat een gebouw, hetzij een fabriekshal, hetzij een wolkenkrabber, hetzij een stadion over een (bestaande) weg (Amsterdam ArenA). Nu is het zo dat er geen (lelijke) fabriekshal over de Utrechtse Baan gebouwd zal worden. Desalniettemin is dit één van de factoren waar het ontwerp van afhangt, en derhalve hebben deze ook een niet onbelangrijke link met de veiligheid tijdens de uitvoeringsfase van het project. Zoals eerder is opgemerkt zijn ontwerpparameters in handen van de ontwerpers en opdrachtgevers.

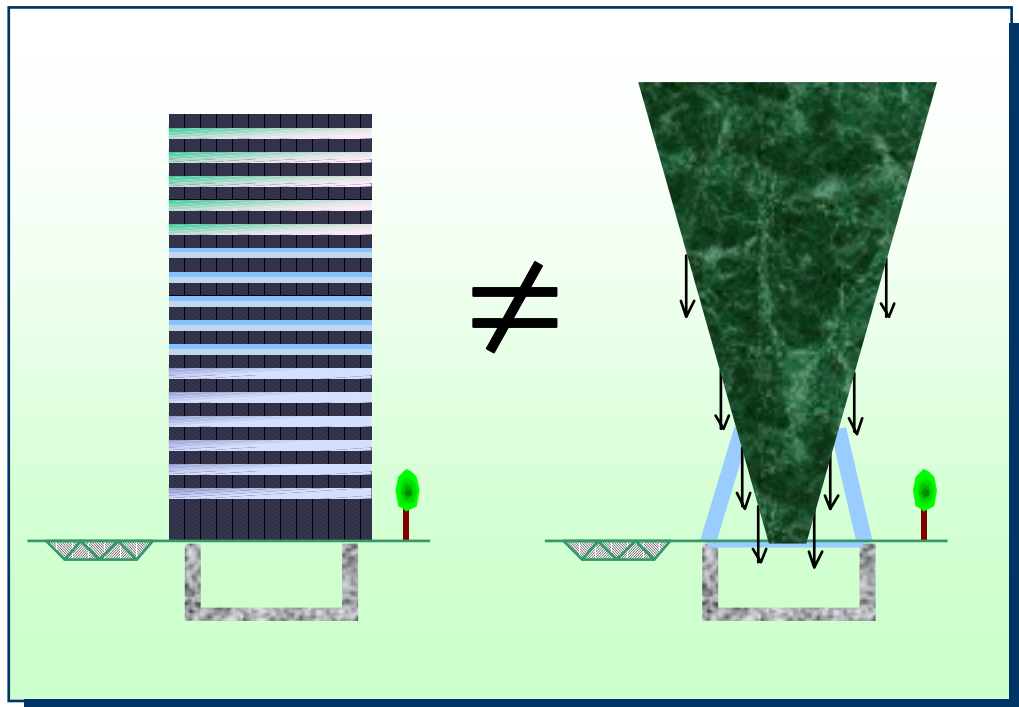
### 7.6.2 Voorschriften

Wanneer er een begin gemaakt wordt aan een ontwerp, komen in beginsel de voorschriften aan de orde. De voorschriften is het eerste hulpmiddel van een ingenieur de voorschriften. De Nederlandse voorschriften zijn opgenomen in de TGB en de NEN-normen. Het eigenaardige van deze voorschriften is dat er niet kan worden afgeweken. Zij vormen de basistools voor een ontwerper.

Dit betekent dat deze niet beheersbaar zijn en derhalve zal niet hierop worden ingegaan. Niettemin dienen zij als fundament om het veiligheidsaspect te beheersen. Bovendien gelden de wettelijke kaders die beschreven staan in paragraaf 7.5.

### 7.6.3 De architectuur

De architectuur van een gebouw is het aspect dat vormgegeven wordt bepaald wordt door de architect die al in het beginstadium van het project betrokken is. De architectuur, sterk afhankelijk van de dimensies en de functie van het gebouw, wordt bepaald in de ontwerpfase van het totale project. In sommige gevallen is de vorm van het gebouw al bepaald voordat het ontwerp wordt vervaardigd.



Figuur 7.7: De vorm architectuur van een gebouw is ook een variabele van het veiligheidsaspect.

In deze context wordt onder architectuur de bijzondere vorm van het gebouw verstaan. De vorm van het gebouw is een belangrijk aspect waar de veiligheid van afhangt. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van het voorbeeld van figuur 7.9.

De keuze van een niet-gangbare architectonische vorm van het gebouw kan al leiden tot een zeer gecompliceerd ontwerp, diens gevolg kan de uitvoering eveneens zeer moeilijk zijn. In latere stadia van het ontwerp zal niet zo snel de totale vorm van het gebouw veranderd worden.

Uit de tekening van figuur 7.7 volgt dat de vorm van het gebouw de kans bepaald op vallende voorwerpen. Bij het rechthoekig voorbeeld is de kans van vallende voorwerpen per onderliggende oppervlakte groter dan het linkervoorbeeld. Hieruit volgt dat de vorm en dus ook de architectuur variabelen zijn voor de veiligheidsaspect tijdens het bouwen. Bovendien is het vanuit de optiek van de architect interessanter om een gebouw te maken dat afwijkend is met standaard gebouwen, de zgn. schoenendozen.

#### 7.6.4 Geometrie

Onder de geometrie van een gebouw wordt de vorm van een gebouw verstaan. Deze is zeer afhankelijk van de architectuur van het gekozen gebouw. Dit zijn basiseigenschappen van een gebouw die in de beginfase van het ontwerp vorm gaan krijgen. De geometrische eigenschappen van een gebouw zijn onder te verdelen in:

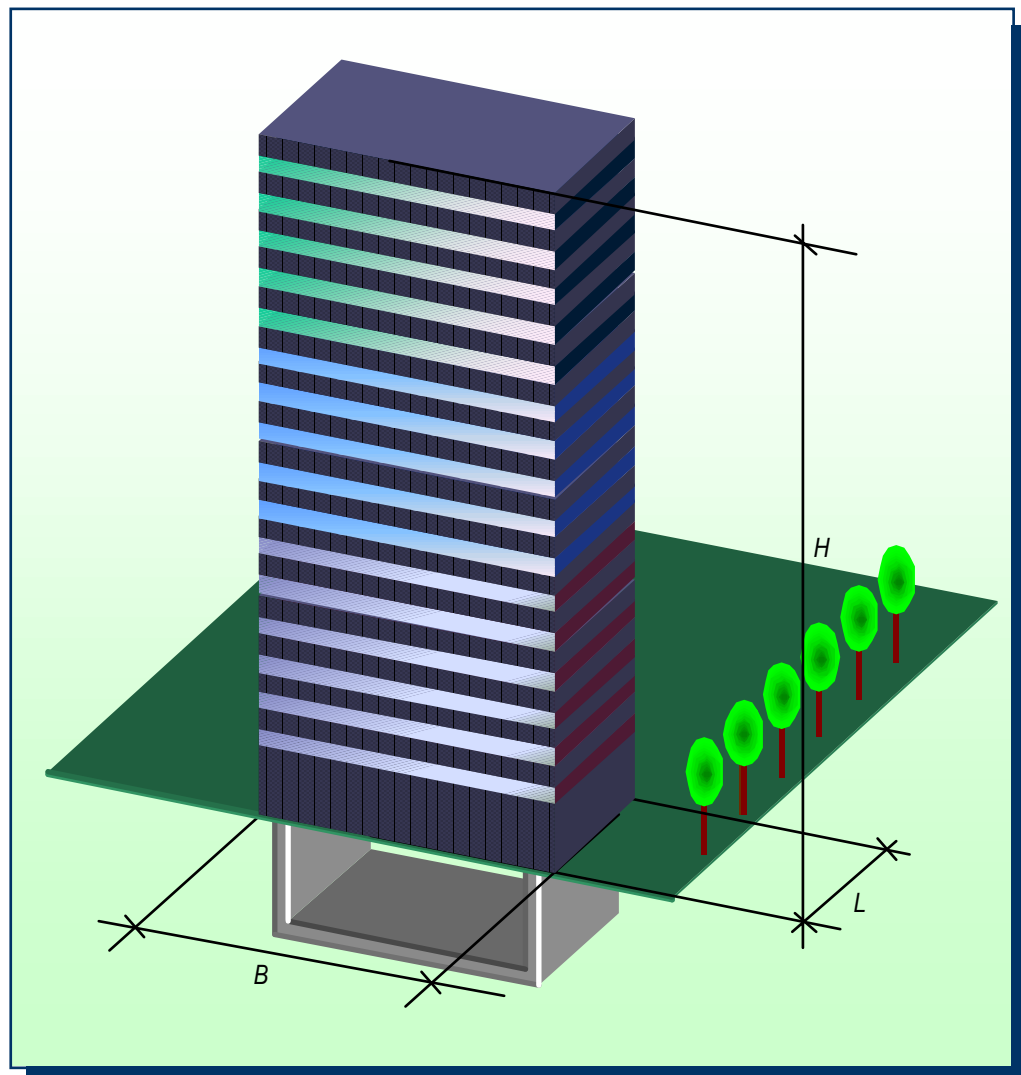
- Het gekozen stramienplan;
- De dimensies van het gebouw;
- Het laagste punt van bouwen ten opzichte van de onderliggende infra/gebouw.

□ *Het gekozen stramienplan*

Het gekozen stramienplan is sterk lokatie-afhankelijk. Als het gebouw gebouwd wordt over een fietspad, dan is de overspanning maar een paar meter en doet het er niet toe waar de kolommen geplaatst zullen worden. Wordt het gebouw gebouwd over een spoorbaan, dan is het onontbeerlijk om het stramienplan aan de ruimtes die vrij zijn. De overspanning in het laatste geval zal groter worden.

□ *De dimensies van het gebouw*

Deze drie grootheden zijn geïllustreerd in onderstaande figuur.



Figuur 7.8: De dimensies van een gebouw.

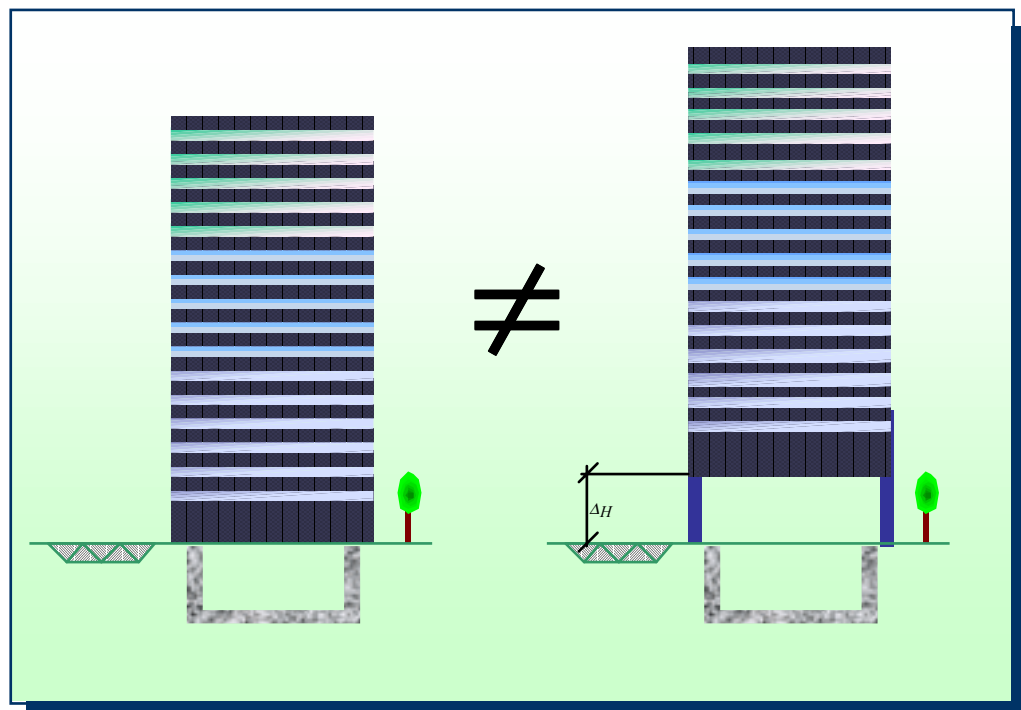
De dimensies van het gebouw vallen eveneens onder het kopje geometrie. De dimensies van het gebouw zijn onder te verdelen in:

- Breedte van de overspanning ( $B$ );
- Lengte van de overkluizing ( $L$ );
- Hoogte van de top van het gebouw ten opzichte van het maaiveld ( $H$ ).

Het veiligheidsaspect is tijdens het bouwen altijd anders als deze drie grootheden gevarieerd worden. Bij een hoog gebouw zal een vallend voorwerp harder op de grond terecht komen dan een lage gebouw. Dat houdt in dat de gevolgschade groter zal zijn. Dit heeft weer effect op de risico en derhalve ook op de veiligheid.

- *Het laagste punt van bouwen ten opzichte van de onderliggende infra/gebouw.*

Het laagste punt van bouwen ten opzichte van de onderliggende infra/gebouw ook een belangrijk aspect is waar de bouwveiligheid van afhangt. Vergelijk de Haagse poort met de Malietoren; twee totaal verschillende concepten met verschillende laagste punten van overbouwen. Immers bij toename van de hoogte van de laagste verdieping met  $\Delta H$ , wordt er een extra valhoogte gecreëerd, waardoor de impuls van het vallend voorwerp ook toeneemt. Figuur 7.9 geeft een helder beeld hierover.



Figuur 7.9: De onderste laag is ook een variabele voor de bouwveiligheid.

### 7.6.5 Functie

De functie van een gebouw is eveneens een aspect waar de bouwveiligheid van afhankelijk is. Wordt er een voetbalstadion over infrastructuur gebouwd, dan zijn de eisen van geluidshinder en veiligheid anders dan bij het bouwen van een wolkenkrabber over die infrastructuur. Bij het bouwen van een fabriekshal zullen die eisen weer anders zijn. Ook voor de omgeving zijn de consequenties anders bij verschillende soorten projecten. Dit hangt samen met de functie van het nieuwe gebouw dat gebouwd zal worden.

In figuur 7.6 is er een onderscheid gemaakt in:

- Wonen;
- Werken;
- Recreatie.

Deze drie activiteiten (lees: functies) stellen andere eisen voor de veiligheid voor bouwen en uit dien hoofde is deze onderscheiding aangebracht.

### 7.6.6 Constructie

Een heel belangrijk beheersbare factor is de constructieve invulling van het gebouw. Bij constructieve elementen zijn de volgende aspecten te onderscheiden:

- Hoofddraagconstructie;
- Stabiliteitssysteem;
- Afbouwconstructie;
- Materiaal;
- Vloerconstructie;
- Fundering.

Deze aspecten zijn totaal in handen van ontwerpers/ingenieurs. Bij de keuze van één der aspecten verandert het totale concept, hetgeen betekent dat de kans op fouten met betrekking tot de keuze van die aspecten toeneemt.

Keuze van de bovengenoemde aspecten heeft uitwerkingen op de bouwveiligheid. Dit zal geïllustreerd worden aan de hand van een aantal voorbeelden.

#### □ *Hoofddraagconstructie, Stabiliteitssysteem*

Voordat een gebouw ontworpen wordt, worden er een aantal alternatieven gegenereerd. Deze hebben te maken met de hoofddraagconstructie en het stabiliteitssysteem. Wordt er gekozen voor een externe stabiliteit van het gebouw, dan zullen constructieve elementen zichtbaar zijn in de gevel (Malietoren). Bij ontleening van stabiliteit die intern wordt verzorgd, zullen geen constructieve elementen in de buitengevel bevinden. Dit betekent dat de plaatsing van dergelijke elementen de kans van vallen van betreffende elementen bepalen.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat het stabiliteitssysteem van het gebouw een variabele is voor de veiligheid tijdens het bouwen. Voor de hoofdconstructie, deels afhankelijk van het stabiliteitssysteem, kan een soortgelijke redenering opgesteld worden.

#### □ *Materiaal*

Het materiaal dat gekozen wordt voor de constructieve elementen van het gebouw, is een belangrijke parameter voor de veiligheid van bouwen. Eerder is al aangetoond dat het gevolg afhangt van de impuls, deze is op zich weer afhankelijk van de massa en de snelheid van het vallend voorwerp. Dit betekent dat lichte en zware materialen naar verwachting weinig respectievelijk veel schade zullen veroorzaken.

Vergelijk een betonnen elementen met een stalen elementen. Betonnen elementen zijn massiever van aard teneinde de drukkrachten op te nemen dan stalen elementen. Dientengevolge zullen zware elementen meer schade verrichten dan lichte elementen. De keuze van het materiaal is volledig beheersbaar.

#### □ *Afbouwconstructie*

De keuze van de afbouwconstructie is eveneens een aspect waar de bouwveiligheid van afhangt. Er is een substantieel verschil tussen het metselen van stenen en het plaatsen van prefab panelen voor de afbouw; de kans van het vallen van een metselwerksteen zal naar verwachting groter zijn dan bij het plaatsen van panelen, die misschien wel vier verdiepingen in één keer overspannen. Nu is het zo dat niet alleen de kans op vallen anders is. Ook het gevolg is bij elke keuze anders.

#### □ *Vloerconstructie*

De vloerconstructie is ook een onderdeel van het gebouw. De plaatsing van de vloerconstructie is ook een aspect van de bouwveiligheid. Er is een wezenlijk verschil tussen het gebruik gemaakt wordt van een staalplaat-betonvloer, waarbij het beton van beneden naar boven gepompt wordt, en het gebruik van kanaalplaten, die gehesen moeten worden. De (plaatsing van de) vloerconstructie beïnvloedt zowel de kans op vallen als het gevolg. Hieruit kan worden geconcludeerd dat dit aspect de veiligheid tijdens het bouwen beïnvloedt.

#### □ *Fundering*

Uit de literatuurstudie volgt dat de keuze voor de fundering belangrijke logistieke gevolgen heeft voor de uitvoering. Het Equinox-gebouw werd op de Utrechtse Baan gefundeerd. Hierbij is de bouwveiligheid anders dan overige gebouwen die apart gefundeerd zijn. Maar ook is van belang hoe er gefundeerd wordt: als er palen geslagen worden naast de bestaande infrastructuur kunnen er hinderlijke effecten optreden voor de omgeving, terwijl bij het boren van palen in de grond normaliter nauwelijks hinder ondervonden wordt.

### 7.6.7 Technologie

Technologie is de werkvoorbereiding van het vervaardigde ontwerp. Hierin worden methodes bepaald teneinde het ontwerp fysiek te bewerkstelligen. In figuur 7.8 is bij dit hoofdaspect van waar de bouwveiligheid afhangt, een onderscheid gemaakt in een zestal nevenaspecten, te weten:

- Voorbereiding (werkvoorbereiding);
- Uitvoeringsmethode;
- Berekening;
- Detaillering;
- Voorbereiding (bouwrijp maken van de werkplaats);
- Maatvoering.

Sommige van de bovenstaande nevenaspecten horen echter niet thuis bij het kopje *technologie*, zoals berekening. Desalniettemin zijn zij hieronder gerubriceerd, want de kans op menselijke fouten is bij de bepaling van de berekening van de constructie, de uitvoering en de werkvoorbereiding, het grootst. Beter gezegd: de grootste kans van fouten vindt plaats bij de bovenstaande nevenaspecten. Hiermee is al enige onzekerheid omtrent het begrip veiligheid geïntroduceerd.

De nevenaspecten zijn niet van elkaar weg te denken. De methodes, hetzij berekeningsmethodes, hetzij uitvoeringsmethodes, bepalen hoe of met wat er gebouwd zal worden, hetgeen betekent dat er relaties zijn met het begrip bouwveiligheid.

## 7.7 De uitvoering

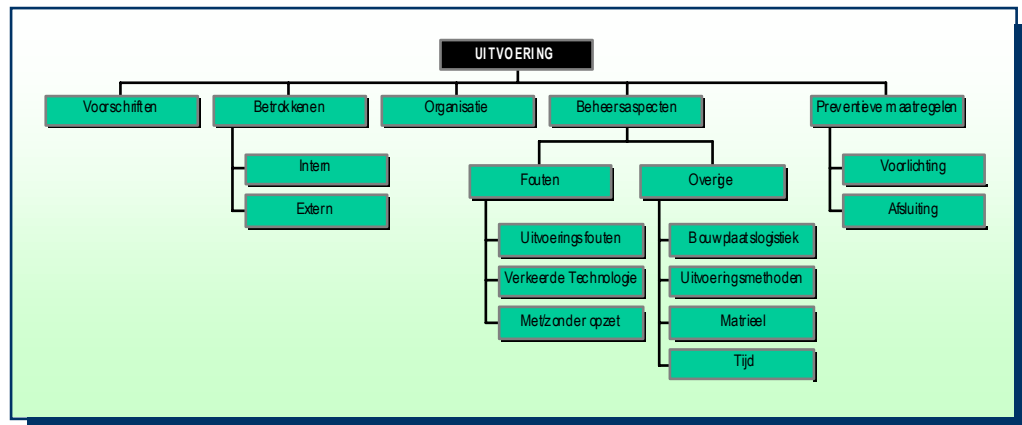
### 7.7.1 Inleiding

Uit de voorgaande paragrafen volgt dat de aspecten waar de veiligheid van afhangt, voornamelijk te beheersen zijn in de ontwerpfase van een project. Desalniettemin is er een en ander aan aspecten te bestempelen die in de uitvoeringsfase van het project boven water komen. Deze paragraaf zal die aspecten behandelen.

In figuur 7.10 zijn de aspecten van de uitvoering met betrekking tot het begrip veiligheid onderverdeeld in een vijftal subaspecten, te noemen:

- Voorschriften;
- Betrokkenen;
- Organisatie;
- Beheersaspecten;
- Preventieve maatregelen.

Deze subaspecten zullen in deze paragraaf bediscussieerd worden.



Figuur 7.10: Aspecten waar de bouwveiligheid van afhangt tijdens de uitvoeringsfase.

### 7.7.2 Voorschriften

De voorschriften, die eerder behandeld zijn in paragraaf 7.5, zijn in de uitvoeringsfase van toepassing. Dit betekent dat alle partijen die betrokken zijn bij het project te werk (moeten) gaan conform deze voorschriften. De voorschriften, die organisatorisch van aard zijn, zijn:

- Arbowetgeving (Bouwprocesbesluit Arbeidsomstandigheden);
- Gemeentelijke bouwverordening;
- Handboek bouwveiligheid;
- Nota Bouwputten.

In deze fase komen de UAV (Uniforme Administratieve Voorwaarden) ook een kijkje om de hoek nemen. De UAV biedt een inzicht in de rechtsverhouding tussen de opdrachtgever en de aannemer.

### 7.7.3 Betrokkenen

De betrokkenen partijen kunnen degelijk invloed uitoefenen op het veiligheidsaspect. Zo heeft elk betrokken partij zijn eigen invloed op het totale project. In de uitvoeringsfase zijn een aantal partijen die directe inspraak hebben op het veiligheidsaspect. Deze zijn onder te verdelen in:

- Interne betrokkenen;
- Externe betrokkenen.

Het is niet precies te zeggen of zij de veiligheid vergroten dan wel verkleinen, dit is situatie-afhankelijk.



### □ *Interne betrokkenen*

De *interne betrokkenen* zijn meestal degenen die actief zijn in het bouwproces. De lijst van participanten is als volgt:

- Opdrachtgever;
- Aannemer(s);
- Onderaannemer(s);
- Directievoering;
- Leveranciers;

De *opdrachtgever* kan invloed uitoefenen op het ontwerp. Hij kan ook een bepaalde methodiek vereisen van de aannemer, waar veel risico aan verbonden is. Ook tijdens de uitvoering kan de opdrachtgever voor verrassingen zorgen middels gedeeltes van het ontwerp te veranderen. Hierdoor kan uitvoeringsmethode veranderen, met andere risico's van dien. Denk aan de Haagse tramtunnel.

Bij *onderaannemers* komt het fenomeen "onnauwkeurig werken" veel voor. Bij de onderaannemer kunnen zich, omdat hij veel klussen moet doen binnen een bepaalde tijd, grote nalatigheden voordoen. Zo kan hij een werk uitvoeren (bijvoorbeeld de montage van een afbouwelement) niet conform het bestek, waaraan grote risico's verbonden zijn. Ook kan onwetendheid en/of slechte communicatie ten laste komen van de veiligheid.

De *directie* kan op zijn beurt weer een belangrijke invloed uitoefenen op de wijze van uitvoeren. De directievoerende partij kan ingrijpen als de situatie te onveilig wordt. Beter gezegd: de directie is een zeer sterk orgaan tijdens de uitvoering met betrekking tot de beheersing en het bewaking van de veiligheid.

De *leveranciers* zijn volledigheidshalve ook in het rijtje opgenomen, Dat deze tot de interne betrokkenen worden gerekend wordt blijkt uit het volgende: zij een situatie waarbij er zijn 40 prefab kolommen besteld van de kwaliteit B95. In plaats van B95 kolommen worden er B15 kolommen geleverd. Zonder te controleren worden die B15 kolommen gemonteerd. Na een paar weken stort dat het gebouw in en komt terecht op een drukke verkeersader van een stad, waarbij de gevolgen enorm zijn. Met dit voorbeeld is duidelijk gemaakt dat de leveranciers wel degelijk invloed uitoefenen op het veiligheidsaspect.

### □ *Externe betrokkenen*

De *externe betrokkenen* zijn meestal degenen die aan de zijlijn van het project staan. Deze hebben geen directe invloed op de uitvoering van het bouwproces. Zij kunnen het proces beoordelen - en zelfs sommige stopzetten - uit de optiek van enerzijds derden, en anderzijds belangstellende/ -en hebbende. De lijst van deze participanten is als volgt:

- De gemeente;
- Arbo-dienst;
- Keuringsinspectie;
- Omwonenden;
- Derden.

De *gemeente* kan zijn invloed uitoefenen op de uitvoering van het bouwproces. Een zeer gevaarlijke methode kan door de gemeente als onveilig verklaard worden, waardoor de procesgang stop kan worden gezet, totdat de aannemer met een beter voorstel komt, waarbij de veiligheid gegarandeerd wordt.

De *Arbo-dienst* en de *Keuringsdienst* behoren tot de externe betrokkenen, welke de veiligheidsaspecten in de zin van de wetgeving kunnen beïnvloeden.

De *omwonenden* kunnen overlast ondervinden van de uitvoering, hetzij geluidshinder, hetzij hinder van toegangswegen tot hun huis. Deze kunnen in verregaande gevallen een kort geding aanspannen tegen de uitvoering en deze een halt toeroepen.

Onder *derden* vallen de weggebruikers die het slachtoffer kunnen worden van neervallende voorwerpen. De weggebruikers zullen door een afsluiting een andere route moeten nemen teneinde plaats van bestemming te kunnen bereiken. Dit kan extra reistijd met zich meebrengen, hetgeen betekent dat de automobilisten meer geld aan benzine kwijt zijn.

#### 7.7.4 Organisatie

De organisatie waarin gewerkt wordt is eveneens een variabele voor het veiligheidsaspect tijdens de uitvoering. Men kan zich voorstellen dat het werk uitgevoerd wordt door twee aannemers, met ieder zijn eigen specialisatie. De een vindt uitvoeringsmethode A veel beter, de ander vindt uitvoeringsmethode B veel beter. Hierdoor ontstaat een meningsverschil. Vervolgens kan worden gekozen voor een uitvoeringsmethode die grote risico's met zich meebrengt, doch financieel aantrekkelijk(er) is. Dit houdt in dat er voldoende inspraak is op de beheersing van de veiligheid door de organisatie waarin gewerkt wordt.

Bij de rubricering organisatie kan ook gedacht worden aan de rang van medezeggenschap in het totale project. Misschien heeft een participerende partij meer grip op het proces dan een andere partij. Hierdoor kan deze wellicht verkeerde beslissingen nemen inzake de veiligheid.

### 7.7.5 Beheersaspecten

De beheersaspecten kunnen verdeeld worden in twee groepen, namelijk:

- Fouten;
- Overige beheersaspecten.

In deze context worden de beheersaspecten omschreven als de fouten die voorkomen worden in de uitvoeringsfase. Nu is het niet zodat de fouten die gemaakt zijn in de ontwerpfase in de uitvoeringsfase niet meer voorkomen. Sterker nog: de fouten van de ontwerpfase gaan in de uitvoeringsfase pas hun (nadelige) effecten uitoefenen.

#### □ *Fouten*

De uitvoeringsfase kent veel actoren die op zijn minst van elkaar verschillen in opzicht van aard. Neem bijvoorbeeld een aannemer; hij heeft tal van mensen in huis, variërend van een metselaar tot een projectmanager en van een betonvlechter tot een uitvoerder. Echter, al deze mensen hebben één aspect gemeen: *zij maken allemaal fouten*. Soms kunnen die fouten zo groot zijn dat er fatale gevolgen aan verbonden zijn.

Wat zijn dat voor fouten die een onbevredigende situatie kunnen bewerkstelligen? Deze zijn als volgt onderverdeeld (figuur 7.13):

- Uitvoeringsfouten;
- Verkeerde technologie;
- Al dan niet opzettelijke fouten.

De *uitvoeringsfouten* kunnen niet worden voorzien. Hiermee wordt nauwelijks rekening gehouden in de ontwerpfase. Men gaat er van uit dat deze fouten niet zullen optreden. Derhalve zijn deze niet te voorkomen.

Een *verkeerde technologie*, gekozen in de ontwerpfase, kan leiden tot ernstige fouten. Dientengevolge kan de bouwveiligheid in gevaar komen. In subparagraaf 7.6.7 is de technologie uitgebreid behandeld. Onder technologie worden de volgende aspecten verstaan:

- Voorbereiding (werkvoorbereiding);
- Uitvoeringsmethode;
- Berekening;
- Detaillering;
- Voorbereiding (bouwrijp maken van de werkplaats);
- Maatvoering.

Immers, voor deze aspecten is al aangetoond dat zij hun invloed uitoefenden op de bouwveiligheid. In de uitvoeringsfase komen de gemaakte fouten tot uiting.

Als laatste onderscheid bij het kopje fouten kan er iets gezegd worden over de *opzet* van die fouten. Men kan zich voorstellen dat niet alle fouten "toevallig" plaatsvinden, opzettelijkheid speelt hierbij ook een belangrijk rol. Met opzet wordt het volgende bedoeld: iemand staat op de hoogste verdieping van het gebouw, dat gebouwd is boven een drukke snelweg. Tijdens de bouw begint hij, op een gegeven moment, voorwerpen naar beneden te gooien. De gevolgen kunnen hiervan niet worden overzien.

Men kan stuiten op *situaties* die veroorzaakt worden door onvoldoende kennis tijdens de bouw. Gedacht moet worden aan het voorbeeld vanuit de literatuurstudie; Men had scheuren in het wegdek, door het funderen van het Equinox gebouw op de Utrechtse Baan, nooit voorzien. Door die scheuren kan een auto-ongeluk plaatsvinden, waardoor er naast economische schade ook levens worden opgeëist.

#### □ Overige beheersaspecten

De overige beheersaspecten zijn aspecten die heel goed te voorkomen c.q. te beheersen zijn tijdens en voor de uitvoeringsfase. Hierbij is het volgende onderscheid ingemaakt:

- Bouwplaatslogistiek;
- Uitvoeringsmethoden;
- Materieelinzet;
- Toevalligheden;
- Tijd.

Een verkeerde *bouwplaatslogistiek* kan een negatieve bijdrage leveren aan de veiligheid van de bouw. Het is voor de aannemer zeer belangrijk dat hij weet waar de kranen geplaatst worden en dat hij weet hoe de af- en toevoer van materialen moet plaatsvinden. Een correcte indeling van de bouwplaats is een vereiste bij projecten waarbij er zeer weinig ruimte vrij is voor opslag van materiaal en materieel, wat het geval is bij projecten met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik.

De *uitvoeringsmethoden* zijn wellicht de belangrijkste factoren die een variabele zijn voor het veiligheidsaspect tijdens het bouwen. Complexiteit in bepaalde uitvoeringen (bijvoorbeeld het monteren van verbindingen) kunnen al nare gevolgen hebben. De keuze wordt grotendeels in de voorfase bepaald, desalniettemin kunnen er onvolkomenheden over het hoofd gezien zijn. Ook is het belangrijk of er gebruik gemaakt wordt van een *noodviaduct of vangnetten* teneinde de vallende materialen op te kunnen vangen. Deze vallen allemaal onder de rubriek uitvoeringsmethoden.

Het *materieel* dat ingezet wordt door de aannemer is ook te beheersen. Gedacht kan worden aan de kwaliteit van kranen, de kwaliteit van een bobkit etc. Dit soort aspecten kunnen de kans van vallende voorwerpen beïnvloeden en dus ook de veiligheid.

De *tijd* is eveneens een belangrijk aspect voor de veiligheid. Er is een groot verschil tussen het bouwen van een gebouw over infrastructuur, tijdens spitsuren of om 2.00u 's nachts. De intensiteit van de auto's is anders voor beide gevallen en hierdoor ook de kans dat de vallende voorwerpen op een auto terecht komen.

Bij het aspect tijd kan eveneens gedacht worden aan de vertraging in de kritieke paden, waardoor er uitvoeringsaspecten fout kunnen gaan.

### 7.7.6 Preventieve maatregelen

Preventieve maatregelen zijn de voorzorgsmaatregelen die een participerende partij kan nemen, teneinde de veiligheid van derden te waarborgen. Zo kan de gemeente de omwonenden voorlichten over het feit dat er een project gaande is. Een betere (verplichte) maatregel is dat de gemeente de straat afsluit waar het project gaande is.

## 7.8 Conclusie

In dit hoofdstuk is getracht een beeld te geven omtrent de aspecten waar de Bouwveiligheid van afhangt met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik. Het model dat gebruikt is voor de benadering van de bouwveiligheid is in paragraaf 7.3 behandeld. Dit model berust zich op enerzijds de belangrijkste chronologische rubricering van het project, anderzijds wordt de rubricering gebaseerd op de beheersbaarheid van het veiligheidsaspect.

In de meeste projecten kan onderscheid aangebracht worden in de volgende aspecten:

- De voorschriften;
- De externe randvoorwaarden;
- Het ontwerp;
- De uitvoering.

Deze aspecten blijken de veiligheid tijdens het bouwen te beïnvloeden. Echter, hoe verder men in het project vordert, hoe minder men grip heeft op het veiligheidsaspect tijdens het bouwen.

De voorschriften zijn een handboek; deze dienen onder andere om het veiligheidsaspect tijdens de bouw te beheersen. Maar ook tijdens het ontwerpen dienen zij als een fundering voor de constructie-berekeningen, etc.

De externe randvoorwaarden verwoorden typisch een aspect dat niet of nauwelijks te veranderen is. Deze voorwaarden worden opgelegd door de omgeving.

Tijdens het ontwerp zijn vrijwel alle aspecten beheersbaar, zoals de dimensies van het gebouw, de architectuur, de constructie, de functie en de technologie.

Aangekomen bij de uitvoeringsfase van het project, zijn de aspecten die benoemd zijn in de ontwerpfase moeilijk te veranderen. De fouten die gemaakt zijn in de ontwerpfase komen in de uitvoeringsfase aan het licht. Dientengevolge wordt het veiligheidsaspect in gevaar gebracht.



# H O O F D S T U K 8

## 8

### KWALITATIEVE RISICO-ANALYSE

---

#### 8.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk zijn de aspecten waar de bouwveiligheid expliciet van afhankelijk uitgebreid behandeld. In dit hoofdstuk zullen de ongewenste gebeurtenissen en afwijkingen behandeld worden. Dit resulteert in een zogenaamde kwalitatieve risico-analyse.

Een van de meest gebruikte methoden teneinde een kwalitatieve risico-analyse te bewerkstelligen, is de FMEA, deze wordt in *paragraaf 8.2* toegelicht. Om de FMEA uit te kunnen werken is een decompositie van het bouwproces vereiste: dit wordt gedaan in *paragraaf 8.3*. *Paragraaf 8.4* geeft het falen van het bouwproces en het falen van gebouwde delen aan. Vervolgens wordt de FMEA uitgewerkt in *paragraaf 8.5*. Uit de FMEA blijkt dat het probleem tamelijk groot is en derhalve wordt deze afgebakend in *paragraaf 8.6*. Uit de afbakening blijkt dat het valgedrag de grote boosdoener is bij projecten waarbij er sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik. En tenslotte wordt in *paragraaf 8.7* een resumé gegeven van de kwalitatieve risico-analyse.

#### 8.2 Failure Mode and Effect Analysis

Als aanzet tot het opstellen van een gebeurtenissen- en foutenboom is een Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) uitgevoerd voor de bouw van een gebouw over infrastructuur. Het doel van de FMEA is een zo volledig mogelijk beeld geven van ongewenste gebeurtenissen en gevolgen bij de bouw van een gebouw volgens Meervoudig Ruimtegebruik. Via een analyse van oorzaken en gevolgen kan in een later stadium bepaald worden welke acties nodig zijn om de faalkans te verkleinen. De FMEA is eigenlijk de kwalitatieve risico-analyse, deze zal toegepast worden op een gebouw dat in aanbouw is en waarbij er sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik.

Een andere toepassing van de risicoanalyse kan zijn dat voordat de definitieve werkwijze en locatie wordt vastgesteld verschillende alternatieven worden met elkaar vergeleken middels een faalkans-analyse.

Het inventariseren van mogelijk ongewenste gebeurtenissen en afwijkingen kan voor een belangrijk deel worden ontleend aan de ervaringen opgedaan bij diverse reeds uitgevoerde projecten. Voor een ander deel wordt een beroep gedaan op de verbeeldingskracht van deskundigen.

Voor een zo volledig mogelijke inventarisatie van de risico's tijdens de bouwfase van een gebouw is een systematische aanpak vereist. De verschillende activiteiten die plaatsvinden, dienen aan de hand van een analyseschema op systematische wijze op oorzaken en gevolgen te worden nagelopen ten behoeve van de FMEA Bouwfase Gebouw. Een dergelijke schema van activiteiten bouwfase van een project waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik is in *tabel 8.1* afgebeeld.

Voor elk activiteit dienen de input, de sturing en de output systematisch te worden nagelopen. Dit kan door elk aspect te confronteren met eventuele oorzaken van falen en de gevolgen van daarvan te bepalen. Dit volgt uit de literatuurstudie (hoofdstuk 3).

Ten aanzien van de oorzaken van een risico valt te denken aan:

- Ontwerpfout;
- Materiaalfout;
- Menselijke fout (bediening apparatuur);
- Sterkte kleiner dan toelaatbare belasting.

Ten aanzien van de gevolgen zijn de belangrijkste categorieën:

- Kostenverhoging;      K
- Vertraging;            T
- Kwaliteitsverlies;    Q
- Milieuschade;        M
- Slachtoffer(s).        S

De genoemde gevolgen kunnen betrekking hebben op het bouwproject als zodanig, maar ook op de omgeving. De volgende verschijningsvormen van beïnvloeding van de omgeving worden onderscheiden:

- Overlast door trillingen en/of geluid;
- (Sterke) vervormingen van de bodem of daarin aanwezige objecten;
- Verandering van de bereikbaarheid;
- Verontreiniging van grond of grondwater.

De beïnvloeding van de omgeving kan uiteraard het gevolg zijn van het bouwproject, maar kan daarnaast ook plaatsvinden zonder dat het bouwproject faalt. Trillings- of geluidshinder bijvoorbeeld kan leiden tot ontoelaatbare situaties in de omgeving, terwijl dit de bouw van het gebouw zelf op geen enkele wijze verstoort.



Om de risico's te bedwingen dient er een terugkoppeling uitgevoerd te worden nadat er voor een bepaald project een FMEA is uitgevoerd. In deze terugkoppeling worden de bestaande risicobeheersmaatregelen beschouwd en worden aanvullende beheersmaatregelen voorgesteld om zo tot een aanvaardbaar risiconiveau te komen.

## 8.3 Decompositie bouwproject en omgeving

### 8.3.1 Onderdelen bouwproject en relatie met de omgeving

Het bouwen van een gebouw boven infrastructuur of een bestaande gebouw bestaat niet alleen uit het vervaardigen van dat gebouw. Het gebouw stuit op een aantal plaatsen op overige onderdelen van het bouwproject, zoals:

- Het aanbrengen van een noodviaduct bij een infrastructuur;
- Het verlagen van de grondwaterstand;
- Het aanbrengen van damwanden aan beide zijden van de weg.

Daarnaast is het bouwproces als geheel onderdeel van een grotere omgeving. Invloeden vanuit die omgeving kunnen het bouwproces verstoren. Vaak kruisen er vervoerstromen. Een aanrijding van een vrachtwagen, gevuld met benzine, kan leiden tot gewijzigde randvoorwaarden en belastingen op het in aanbouw zijnde gebouw, hetgeen kan leiden tot falen.

### 8.3.2 Onderdelen van het bouwproces

Het bouwproces is beschreven in hoofdstuk 5. Diverse configuraties zijn mogelijk omtrent de fasering van het bouwproject. Voor de FMEA is het efficiënt om het werkelijke bouwproces in drie fasen te splitsen. Het bouwproces met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik worden onderverdeeld in de volgende drie fasen met de volgende hoofdactiviteiten:

Fase 1: Voorbereiding

Fase 2: Feitelijke bouwproces met als hoofdactiviteiten:

- Nevenwerkzaamheden;
- Funderen;
- Ruwbouw;
- Afbouw;
- Beëindigen bouwwerkzaamheden.

Fase 3: Beheer

Deze hoofdactiviteiten kunnen genuanceerd worden in deelactiviteiten, deze zijn in tabelvorm gegoten als volgt weer te geven:

	VOORBEREIDEN (A)	- Financieren - Bodemonderzoek - Ontwerpen - Verzekeren - Aanbieden - Aanbesteden - Vergunnen - Plannen
<b>BOUW PROCES</b>	Nevenwerkzaamheden (B)	- Verlagen grondwaterstand - Grondwerk - Werkerrein inrichten - Fabricage elementen
	Funderen (C)	- Verrichten grondwerk - Heien palen - Betonwerk - Staalwerk
	Starten Ruwbouw (D)	- Betonwerk - Staalwerk - Hulpconstructies - Aanbrengen vloerconstructie
	Starten Afbouw (E)	- Aanbrengen afbouwelementen - Aanbrengen niet-constructieve elementen
	Beëindigen Bouwwerkzaamheden (F)	- Verwijderen noodviaduct - Inrichten en afwerken - Oplevering gebouw
	BEHEER (G)	- Nazorg en onderhoud - Sloop

Tabel 8.1: Activiteitschema bouwproces.

## 8.4 Faalwijzen en gevolgen

### 8.4.1 Falen van het bouwproces

Bij de FMEA van het bouwproces worden alle deelprocessen geanalyseerd op mogelijke afwijkingen, die vervolgens kunnen worden geanalyseerd op mogelijke oorzaken en gevolgen. Mogelijke ongewenste gevolgen in dit verband zijn:

- Calamiteiten (brand, explosies);
- Instorten;
- Ontwerpfouten;
- Defecten en storingen;
- Materialen of afmetingen die niet aan de gestelde kwaliteitseisen voldoen.

### 8.4.2 Falen van gebouwde gebouwdelen

Naast het bouwproces als zodanig kan ook het in bouw zijnde gebouw bezwijken of anderszins falen. De volgende optredende belastingen kunnen van belang zijn:

- Eigen gewicht;
- Grond- en grondwaterdrukken;
- Gewicht van hulpconstructies;
- Stootbelastingen;
- Wind;
- Veranderlijk.

### 8.5 Uitwerking FMEA

De uitwerking van de FMEA van het bouwproces is terug te vinden in de bijlage 1. Er is onderscheid gemaakt tussen ongewenste gebeurtenissen (afwijkingen) die betrekking hebben op de hoofdactiviteiten A tot en met G zoals eerder weergegeven in tabel 8.1 [Vro1996].

Per hoofdactiviteit wordt weer aandacht geschonken aan ieder van de in de tabel 8.1 genoemde activiteiten. Per "activiteit" worden respectievelijk mogelijke afwijkingen, mogelijke oorzaken en mogelijke gevolgen aangegeven. Daarbij wordt per activiteit gekeken naar wat achtereenvolgens mis kan gaan met de input, de in te zetten apparatuur, de uit te voeren handelingen, de bouwcondities, de externe omstandigheden en de output, overeenkomstig de systematiek zoals die is aangegeven in hoofdstuk 3.

Sommige afwijkingen komen meerdere malen in de FMEA voor omdat ze het gevolg of de oorzaak zijn van een andere afwijking. Voor een aantal failure modes wordt aan het einde van de tabellen een korte toelichting gegeven. In bijlage 1 zijn alle faalmechanismen weergegeven die tijdens het project voorkomen. De gevolgen van de faalmechanismen kunnen financieel, tijdsvertragend, kwaliteitsverminderend, slachtoffereisend of milieuschadend zijn. Echter, niet alle faalmechanismen hebben betrekking op het veiligheidsaspect. Hieruit worden de aspecten gefiltreerd die betrekking hebben op het valgedrag van voorwerpen in de uitvoeringsfase (zie volgende paragraaf).

Uit de FMEA volgt dat vallende voorwerpen een van de faalmechanismen is van het bouwproject. Het valgedrag van elementen wordt voornamelijk veroorzaakt tijdens het hijsen en de montage van elementen.

## 8.6 Afbakening

De FMEA geeft een helder beeld omtrent de faalmechanismen in het totale project, echter de omvang van deze failure modes is enorm. Het grootste deel van de faalmechanismen valt buiten het kader van het onderhavig onderzoek. Teneinde een glasheldere kwantitatieve risico-analyse te kunnen bewerkstelligen is een afbakening van de omvang een vereiste, opdat een smaller perspectief gegenereerd wordt. De afbakening geschiedt als volgt:

De doelstelling van het onderhavig onderzoek is (nog steeds): *het onderzoeken van de aspecten waarvan de veiligheid van bouwen van gebouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik afhangt. Deze aspecten zullen geoptimaliseerd worden, opdat de veiligheid van derden tijdens het bouwproces wordt gemaximaliseerd. Hierbij dienen de maatschappelijke acceptatienormen, te verdelen in groepsrisico en individuele risico, niet te worden overschreden.*

Als de FMEA in zijn totaliteit bekeken wordt, dan valt op dat de activiteiten gerubriceerd zijn in drie fasen, te weten:

- Voorbereiden;
- Bouwproces;
- Beheer.

Indien de doelstelling geverifieerd wordt met de fasen van de FMEA dan vallen de fasen Voorbereiden en Beheer buiten het kader van het onderzoek. Bij het bouwproces is ook een en ander af te bakenen. Het kernwoord van de doelstelling is veiligheidsen wel de veiligheid van derden in sociologisch en financiële zin. In de FMEA zijn een tal van gevolgen die niet hiermee geassocieerd zijn. Met andere woorden de risicodimensies *K (kostenverhoging)* en *S (slachtoffers)* worden gezien als topgebeurtenissen in de kwantitatieve risico-analyse.

## 8.7 Resumé kwalitatieve risico-analyse

Zoals al eerder vermeld blijkt de problematiek van veiligheid en hinder bij de uitvoering van bouwprojecten waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik, zich vooral toe te spitsen op de beheersing van het risico van vallende elementen boven het object waarop gebouwd wordt. Het valgedrag uit de FMEA gefilterd. Nuancering van het valgedrag van elementen zal in het volgende hoofdstuk de revue passeren. Om met succes de strijd met ongevallen bij derden in de bouw aan te kunnen binden, is kennis van de aard en de oorzaak een eerste vereiste. De activiteiten die vallen veroorzaken tijdens de bouw zijn in bijlage 2 opgenomen [Buu2000]. De mogelijke gevolgen binnen het kader van het onderzoek die kunnen optreden als gevolg van vallende voorwerpen zijn in tabel 8.2 weergegeven. Er is onderscheid gemaakt in de situaties:

- Het bouwen over weg- en rail-infrastructuur;
- Het bouwen over gebouwen.

Weg- en rail-infrastructuur	Gebouwen
Lichte materiele schade aan infrastructuur	Lichte materiele schade aan gebouw
Lichte materiele schade aan voertuigen	Zware materiele schade aan gebouw
Zware materiele schade aan infrastructuur	Letstel aan derden
Zware materiele schade aan voertuigen	Financiële schade door afsluitingen
Financiële schade door afsluitingen	
Letstel aan derden	

Tabel 8.2: Mogelijke gevolgen.

Wellicht zijn de gevolgen in kwantitatieve zin anders indien er gebouwd wordt over weg-infrastructuur ofwel over rail-infrastructuur<sup>6)</sup> of over gebouwen. Kwalitatief gezien hebben zij echter allen dezelfde vorm. Het volgende hoofdstuk zal dieper ingaan op de kwantitatieve risico-analyse waarbij het valgedrag van elementen centraal staat.

<sup>6)</sup> Bij rail-infrastructuur kan er schade optreden aan de elektriciteitleidingen.



# H O O F D S T U K 9

## 9

## KWANTIFICERING BAYESIAANSE NETWERKEN

---

### 9.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een beeld omtrent de kwantificering van de kwalitatieve risico-analyse die in het vorig hoofdstuk is behandeld. Bij de kwantificering zullen eveneens de aspecten waar de bouwveiligheid expliciet van afhangt uitgebreid betrokken worden. De kwantificering geschiedt in Bayesiaanse Netwerken. Een makkelijk hulpmiddel bij het opstellen van zulke netwerken is het software-programma *Hugin Lite*. Met dit programma kunnen de aspecten waar de bouwveiligheid van afhangt gemakkelijk geïntegreerd worden en overzichtelijk worden weergegeven in een model. De uitwerking van de risico-analyse komt in hoofdstuk 10 aan orde.

Allereerst zal in *paragraaf 9.2* de theorie omtrent de foutenbomen en Bayesiaanse Netwerken aan bod komen. Vervolgens wordt in *paragraaf 9.3* een modelgebouw vervaardigd om een referentie-vlak te creëren voor de kwantitatieve risico-analyse. In *paragraaf 9.4* wordt een Bayesiaans netwerk opgesteld voor het bouwen van dat modelgebouw over een 2x2-baansweg. Teneinde de risico-analyse verder te bewerkstelligen is het onontbeerlijk dat de bouwstenen van dat netwerk worden geklassificeerd en er kansen aan worden toegekend. Dit geschiedt respectievelijk in *paragraaf 9.5* en *paragraaf 9.6*. Aan de hand van deze ingrediënten kan de kwantitatieve risico-analyse voltooid worden (zie hoofdstuk 10).

### 9.2 Foutenbomen en Bayesiaanse netwerken

De foutenboom [Vro1996] is het middel bij uitstek om de gevolgen van een bepaalde afwijking in combinatie met de gevolgen van een afwijking in andere processen te onderkennen. Vaak zijn het juist combinaties van afwijkingen die grote ongewenste gebeurtenissen genereren. In het kader van dit onderzoek zijn dat de gevolgen voor derden.

Bij de foutenboom wordt, uitgaande van een ongewenste topgebeurtenis, systematisch geïnventariseerd welke combinaties van aanleidinggevende ongewenste gebeurtenissen aanzet zijn voor deze topgebeurtenis. Vervolgens wordt dit proces herhaald voor de gevonden aanleidinggevende gebeurtenissen, net zolang tot verdere uitsplitsing niet meer zinvol geacht wordt. Dit kan zijn omdat het betreffende deelproces niet verder uitgesplitst kan worden of omdat de faalkans van het deelproces uit ervaring bekend is of berekend kan worden. Deze gebeurtenissen, op het "laagste" niveau, worden basisgebeurtenissen genoemd. Ongewenste topgebeurtenissen op het hoogste niveau hebben te maken met begrippen als extra kosten en verlies aan mensenlevens. Deze worden geïnitieerd door zowel organisatorische onvolkomenheden als door technische gebeurtenissen.

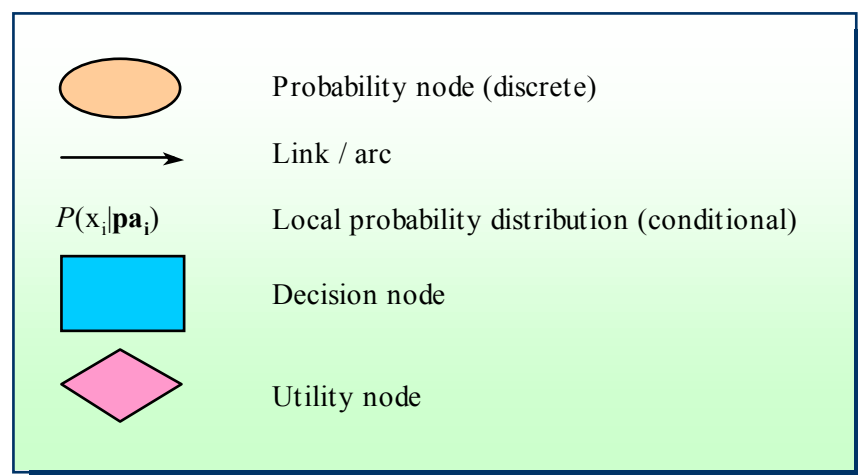
Het opstellen van de foutenboom is nauw gekoppeld aan het uitvoeren van de FMEA zoals besproken in hoofdstuk 8. Een gereedschap om de gebeurtenissen weer te geven is het vervaardigen van Bayesiaanse netwerken. De Bayesiaanse netwerken [TUD1999] vormen een (grafisch) hulpmiddel om de relaties van de gebeurtenissen met de aspecten (waar de veiligheid van afhangt) vast te stellen en in het vervolgtraject te kwantificeren in kansen. Een Bayesiaanse netwerk bestaat uit drie basiselementen, te weten:

- Nodes (knopen);
- Links (relaties);
- Conditional probability matrix (waarschijnlijkheidstabellen).

Bayesiaans Netwerken geven inzicht in de causaliteit in relaties. De elementen van deze netwerken voor een set van variabelen  $\mathbf{X} = \{X_1, \dots, X_n\}$  bestaan uit:

1. Een netwerkstructuur  $S$  dat een set van conditionele (on)afhankelijkheid weerspiegelt de variabelen van  $\mathbf{X}$ .
2. Een set  $\mathbf{P}$  van locale, conditionele waarschijnlijkheidskansen die geassocieerd zijn met de variabelen in  $\mathbf{X}$ .

In figuur 9.1 is te zien welke iconen worden gebruikt in bij een Bayesiaans netwerk:




Figuur 9.1: Description nodes [TUD1999].



De voordelen van Bayesiaanse netwerken zijn:

- Kennis van oorzaken van het systeem resulteert in het totale model;
- Makkelijk om verder uit te breiden;
- Combinatie van foutenboom en gebeurtenissenboom;
- Identificatie van de relaties wordt vergemakkelijkt;
- De verificering van het totale systeem is eenvoudig.

De Bayesiaanse netwerken zijn gefundeerd op de al eerder behandelde *regel van Bayes* [TUD1999], namelijk:



**Regel van Bayes**

$$P(\theta | D, \xi) = \frac{P(\theta | \xi)P(D | \theta, \xi)}{P(D | \xi)}$$

waarin

$$P(D | \xi) = \int P(D | \theta, \xi)P(\theta | \xi)d\theta$$

Thomas Bayes 1702-1761

Figuur 9.2: Regel van Bayes [6].

Hierin is:

$P(\theta   D, \xi)$	De kans dat gebeurtenis $\theta$ optreedt, gegeven dat $D$ en $\xi$ optreden;
$P(\theta   \xi)$	De kans dat gebeurtenis $\theta$ optreedt, gegeven dat $\xi$ optreedt;
$P(D   \theta, \xi)$	De kans dat gebeurtenis $D$ optreedt, gegeven dat $\theta$ en $\xi$ optreden;
$P(D   \xi)$	De kans dat gebeurtenis $D$ optreedt, gegeven dat $\xi$ optreedt (Ook wel bekend onder de regel van de totale waarschijnlijkheid).

Met deze regel zijn alle kansen van activiteiten te bepalen mits de conditionele kansen gegeven zijn. Voor het opstellen van deze netwerken is het gemakkelijk om een conditionele waarschijnlijkheidstabel op te stellen voor verschillende nodes. Dit zal geschieden in de volgende paragraaf. In het vorige hoofdstuk zijn de gevolgen c.q. oorzaken van het valgedrag behandeld. Echter, voor het opstellen van Bayesiaans Netwerken zijn een aantal aanpassingen nodig.

Zoals eerder aangegeven zullen de fouten- en gebeurtenissenboom vervangen worden door Bayesiaanse netwerken.

Voor nadere uitleg over de Bayesiaanse Netwerken wordt verwezen naar bijlage 11 [8].

### 9.3 Modelgebouw

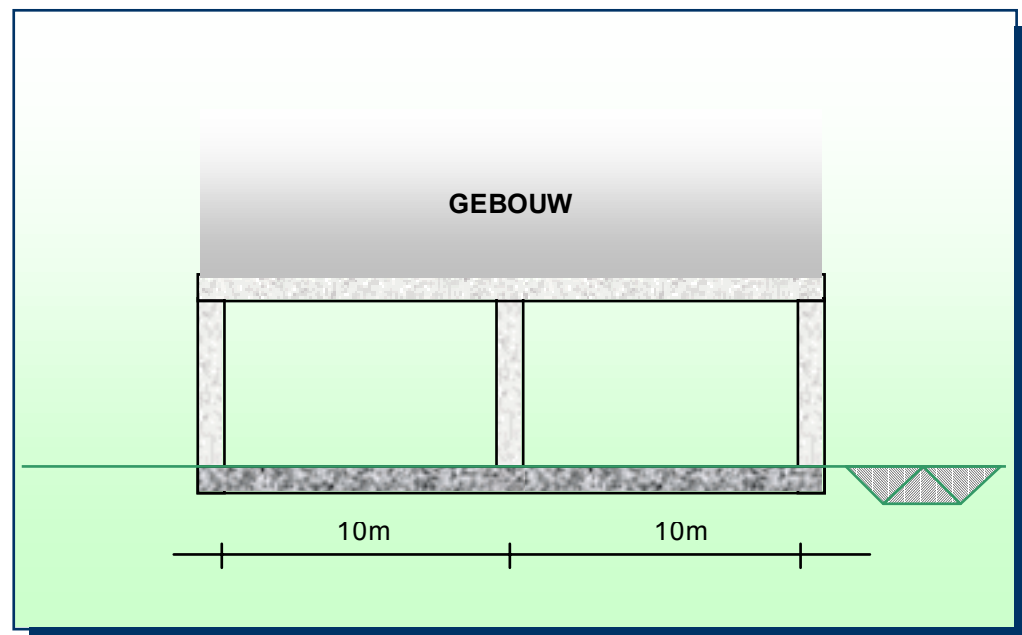
Teneinde succesvolle Bayesiaans Netwerken op te stellen, is het noodzakelijk een modelgebouw te vervaardigen, welke zal dienen als referentie. De veiligheidsaspecten zullen hiermee geverifieerd worden. In dit geval zou dat een gebouw kunnen zijn dat bijvoorbeeld een 2x2-baans weg zou kunnen overspannen.

Stel dat de weg, gesitueerd op het maaiveldniveau, 20 meter breed is. Dan wordt de breedte van het modelgebouw ook 20 meter aangenomen. De aannamen omtrent de afmetingen zijn als volgt:

$$\begin{aligned} B_{\text{gebouw}} &= 20 \text{ m}; \\ L_{\text{gebouw}} &= 50 \text{ m}; \\ H_{\text{gebouw}} &= 50 \text{ m}. \end{aligned}$$

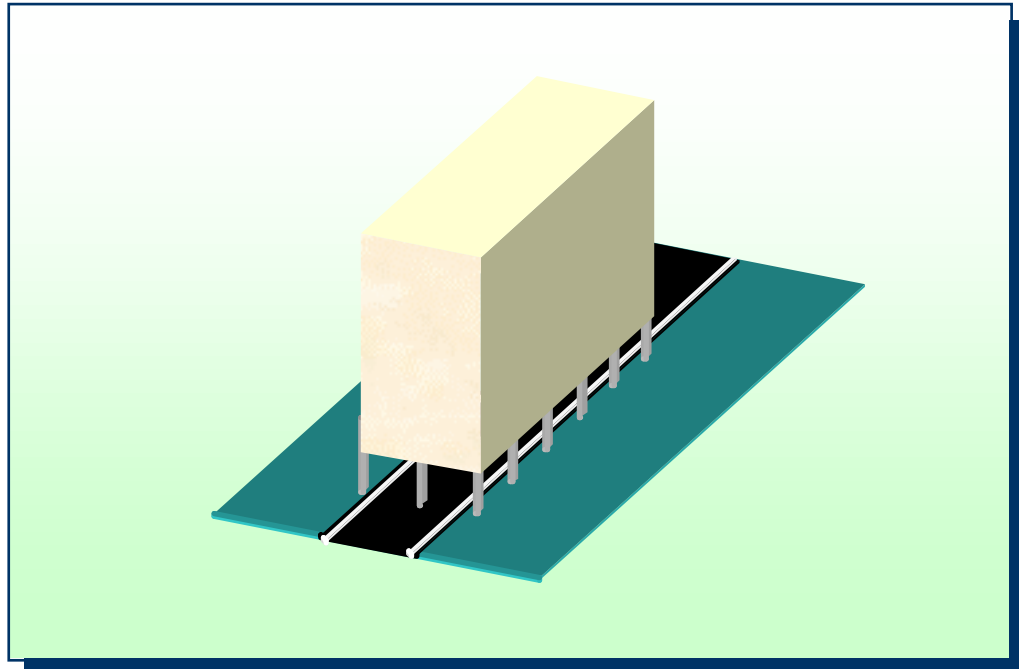
De keuze om in de lengte richting van de weg te bouwen berust op het feit dat de risico-analyse wordt gedaan voor derden, die zich op de weg bevinden. Teneinde een zo nauwkeurig mogelijk analyse te bewerkstelligen, is gekozen om een gebouw te modelleren over de weg.

De doorsnede zou er als volgt uit kunnen zien:



Figuur 9.3: Doorsnede weg-constructie.

Het gebouw kan als volgt worden gevisualiseerd:



*Figuur 9.4: Modelgebouw.*

Het gebouw zelf bevindt zich op niveau +1 en is vervaardigd uit prefab elementen die eenvoudig kunnen worden aangebracht.

Een aantal aannames worden gedaan omtrent de uitvoering van het gebouw:

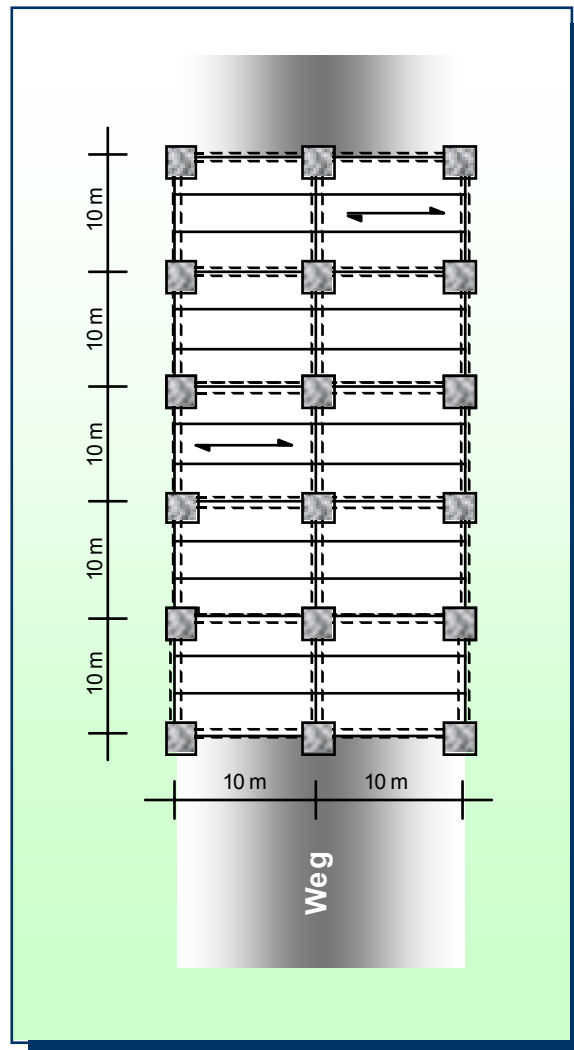
- De bouwtijd van het project is één jaar, hiermee kunnen de kansen per jaar berekend worden;
- Er is geen opvangconstructie aanwezig;
- Het gebouw bestaat uit prefab-elementen.

Verder geldt dat het gebouw bestaat uit 10 verdiepingen. Dit betekent dat per jaar een oppervlakte van 10.000 m<sup>2</sup> gebouwd wordt, wat een redelijke aanname is.

Gemakshalve wordt de schematische plattegrond van figuur 9.5 per verdieping aangenomen<sup>7)</sup>. Verder wordt het gebouw gebouwd van beneden naar boven. Als eerste zal de eerste verdieping gebouwd worden, waardoor als het ware een vloer gecreëerd wordt. Vervolgens zal het gebouw verder gebouwd worden.

In het vervolg wordt hieruit de verdeling van de elementen bepaald.

<sup>7)</sup> In de tekening zijn geen stabiliteitswanden, liftschachten en trappenhuizen getekend, hetgeen niet erop wijst dat deze daadwerkelijk niet aanwezig zijn. In de verdeling van de kwantitatieve risico-analyse worden deze vanzelfsprekend meegenomen. Het gaat hier om een principe-schets.

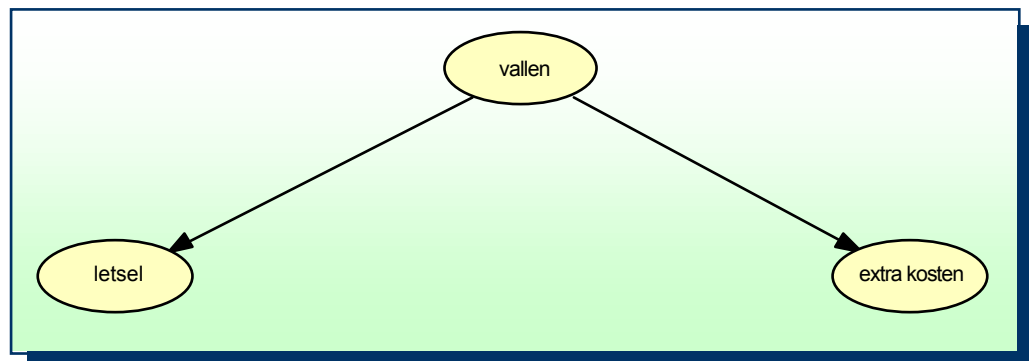


Figuur 9.5: Plattegrond verdieping.

## 9.4 Structuur Netwerken

### 9.4.1 Inleiding

De hoofdstructuur van het Bayesiaans netwerk is gegeven in figuur 9.3. De al eerder besproken topgebeurtenis in dit onderzoek is het vallen van objecten, dat zowel maatschappelijk als economische schade met zich mee kan brengen. De meest simpele vorm van het netwerk kan als volgt worden weergegeven:



Figuur 9.6: Hoofdstructuur Bayesiaans Netwerk.

Twee belangrijke gevolgen van het vallen zijn<sup>8)</sup>:

- *Extra kosten*; impliceert in dit model de economische schade aan derden (en niet aan het gebouw zelf). Bijvoorbeeld schade aan de weg-infrastructuur;
- *Letsel*; is de node voor de maatschappelijke schade aan derden. Bijvoorbeeld voor automobilisten die onder de bouwplaats rijden.

Uiteraard zijn de kosten en het letsel afhankelijk van de aspecten waar de bouwveiligheid van afhangt (zie hoofdstuk 7). Deze paragraaf zal de bovenstaande hoofdstructuur verder nuanceren. In beginsel zal er alleen aandacht worden besteed aan het bouwen van gebouwen boven weg-infrastructuur, daarna zal de aandacht uitgaan naar het bouwen over rail-infrastructuur en het bouwen over gebouwen.

#### 9.4.2 De bouwstenen van het Bayesiaans Netwerk

Teneinde een model van het Bayesiaans Netwerk te vervaardigen dient in eerste instantie gekeken te worden naar de aspecten waarvan het valgedrag afhangt. Deze aspecten zijn uitgebreid behandeld in hoofdstuk 7. In hoofdstuk 7 en 8 zijn de aspecten gerubriceerd volgens de verschillende fasen van het bouwproject. Voor de kwantitatieve risico-analyse is het voor de hand liggend dat al deze aspecten onder één noemer worden genomen, en wel die aspecten, die beheersbaar zijn tijdens de ontwerp- en de uitvoeringsfase van het project. Hierdoor veranderen de aspecten van gedaante: aspecten kunnen opgemerkt worden als variabelen. Overigens is het van belang dat deze variabelen gerelateerd zijn aan het valgedrag, de extra kosten en letsel van derden. Tevens is het de bedoeling dat het aantal variabelen geminimaliseerd wordt, opdat er een helder netwerk ontstaat.

Uit *de externe randvoorwaarden* kan de volgende variabele<sup>9)</sup> worden gezeefd, die mee wordt genomen in het Bayesiaans Netwerk:

- De onderliggende situatie, namelijk de intensiteit van het verkeer.

<sup>8)</sup> Uiteraard zijn er andere gevolgen zoals: (mogelijke) vertraging, kwaliteitsverlies en milieuschade. Echter deze vallen niet in het kader van het onderhavig onderzoek.

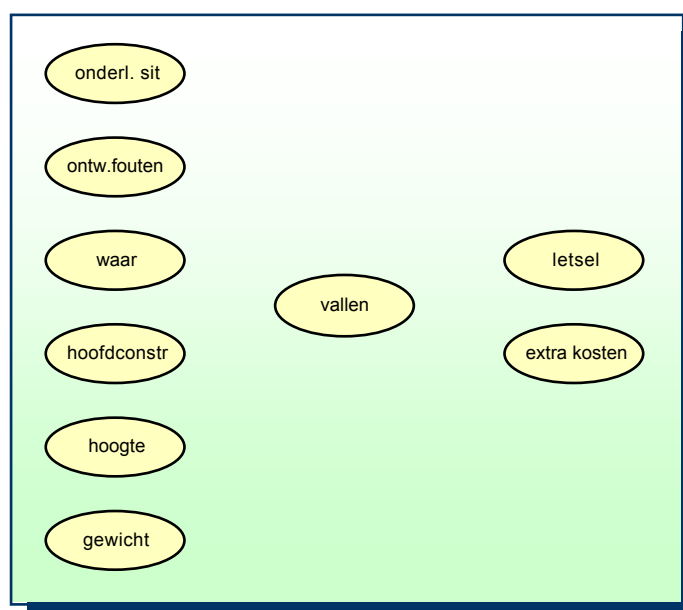
<sup>9)</sup> Het aspect onderliggende situatie, onderverdeeld in infrastructuur en gebouw, wordt apart behandeld. Een aparte Bayesiaans Netwerk zal opgesteld worden voor de drie gevallen. In dit geval zal gekeken worden bij het bouwen van een gebouw over weg-infrastructuur en waarbij er geen extra constructie aanwezig is.

Binnen het hoofdaspect *het ontwerp* zijn de volgende variabelen van belang:

- De constructie; het materiaal;
- De geometrie; dimensies, vooral de hoogte van het gebouw;
- De technologie; voorbereiding;
- Ontwerpfouten.

Het hoofdaspect *de uitvoering* geeft de volgende variabelen:

- De uitvoeringsmethoden;
- De bouwplaatslogistiek;
- De fouten.



Deze variabelen kunnen in nodes vastgelegd worden die gebruikt worden bij het vervaardigen van het Bayesiaans Netwerk. De nodes (knopen) van dat netwerk zijn hiernaast weergegeven.

Figuur 9.7: Hoofdnodes van het Bayesiaans Netwerk.

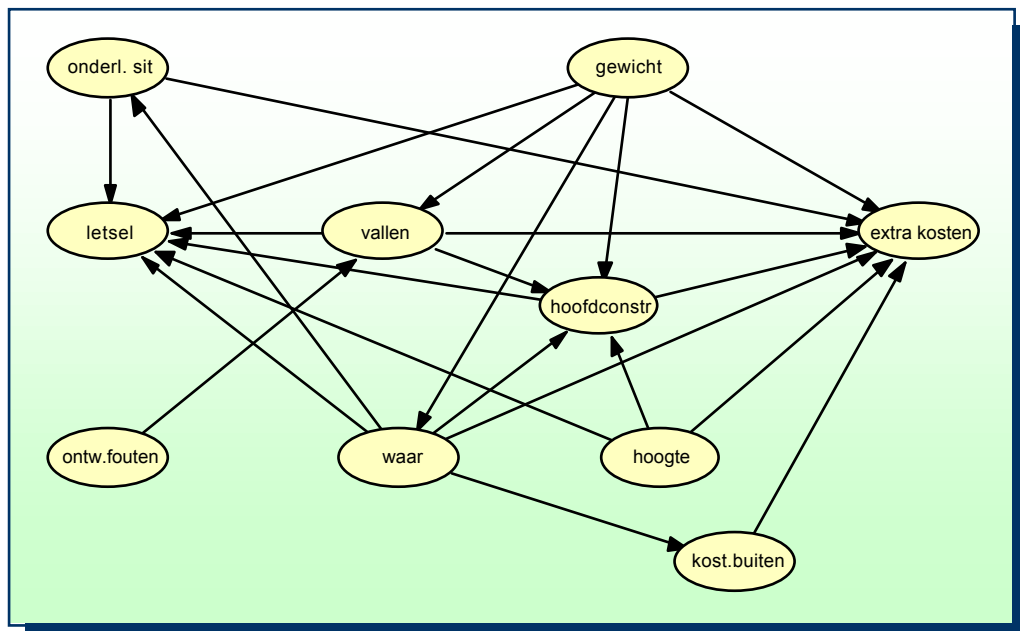
#### □ Verklaring nodes

- De eerste node *onderliggende situatie* houdt de elementen in die zich onder het vallend voorwerp bevinden. Bij het bouwen over weg-infrastructuur is dat de onderliggende wegconstructie of de daaronder rijdende auto's.
- *(Ontwerp)fouten* zijn de fouten die gemaakt worden tijdens het ontwerp of de uitvoering. Materiaalafwijkingen, productiefouten, maatvoeringen etc. behoren allen tot deze node, hierbij zal geen onderscheid worden gemaakt.
- *Waar* houdt in of het vallend object binnen c.q. buiten valt.
- De node *hoofddraagconstructie* houdt in of deze al dan niet bezwijkt door het vallend voorwerp.

- De *hoogte* is het verschil tussen het punt gemeten van de bovenkant van de weg-constructie en het punt vanwaar het voorwerp valt.
- Het *gewicht* van het vallend voorwerp is een van de belangrijkste nodes in dit model. Met deze node worden de handelingen verdeeld over verschillende gewichtsklassen.
- *Vallen* van het object spreekt voor zich.
- De gevolgen *letsel* en *extra kosten* aan derden zijn reeds behandeld.

### 9.4.3 Model Bayesiaans Netwerk; bouwen boven weg-infra

Aan de hand van de bouwstenen kan het model Bayesiaans Netwerk opgesteld worden. Deze ziet er als volgt uit:



Figuur 9.8: Bayesiaans Netwerk voor het bouwen boven weg-infrastructuur.

In dit netwerk is te zien welke relaties die bouwstenen met elkaar hebben. Zo is het *vallen* van voorwerpen afhankelijk van het *gewicht* van het voorwerp en de mogelijke (*ontwerp*)fouten. Het vallen van voorwerpen kan *extra kosten* en *letsel* (aan derden) met zich meebrengen, afhankelijk van *waar* (binnen of buiten) het object valt. Tevens kan het vallen van voorwerpen bepalend zijn voor het al dan niet bezwijken van de *hoofddraagconstructie* van dat gebouw.

*Letsel* en *extra kosten* zijn de belangrijkste gevolgen die veroorzaakt worden door vallende objecten. *Letsel* en *extra kosten* zijn afhankelijk van veel nodes van het netwerk, te weten:

- Het al dan niet vallen van het voorwerp;
- De onderliggende situatie;
- Het gewicht van het vallend voorwerp;
- De plaats waar het voorwerp valt;
- Het al dan niet bezwijken van de hoofdraagconstructie;
- De hoogte van waar het voorwerp valt;

In de volgende paragraaf zullen allereerst de nodes verder ontplooid c.q. geklassificeerd worden en vervolgens zullen kansen aan deze variabelen worden toegekend.

## 9.5 Klassificatie van de bouwstenen

### 9.5.1 Inleiding

Nu de bouwstenen (nodes) van het Bayesiaans Netwerk bekend zijn, is het de intentie om deze te klassificeren middels het toekennen van states. De bedoeling is het zodanig opzetten van states voor elke node, dat een kwantitatieve risico-analyse eenvoudig bewerkstelligd kan worden. Voor deze transformatie is een andere rubricering van activiteiten noodzakelijk. Vooral de nodes gewicht, hoogte, letsel en extra kosten vragen om een genuanceerde indeling.

### 9.5.2 Het gewicht

Indien er gekeken wordt naar het gewicht van het vallend object, hetzij een vallende hamer, hetzij een vallende schroevendraaier, is het niet interessant om per voorwerp een Bayesiaans Netwerk te vervaardigen. Des te meer is het wetenswaardig te kijken naar de klasse gewicht van het vallend voorwerp.

De volgende states kunnen aan het gewicht worden toegekend:

1. < 5 kg;
2. 5 - 100 kg;
3. 100 - 1000 kg;
4. 1000 - 10000 kg;
5. > 10000 kg.

Ad 1 Voorwerpen kleiner dan 5 kilo zijn boutjes, moertjes, flessen, kleine spuitbussen, zeer licht gereedschap, kleine stukken afval, betonresten. Onder licht gereedschap wordt een schroevendraaier, een hamer etc. verstaan.

Ad 2 Onder deze klasse valt al het lichte materieel, zoals een drillboor of lichte machines. Ook lichte constructieve elementen zoals wapening, verbindingen vallen in deze klassen, isolatieplaten. Vallende bouwvallers vallen eveneens in deze klasse.



- Ad 3 Dit is een middelmatige klasse waar vooral steigers, bekisting en panelen onder vallen.
- Ad 4 Hier zijn het vooral constructieve elementen die worden meegenomen, zoals kanaalplaten, vloerplaten, damwanden, kolommen etc.
- Ad 5 Dit zijn zware elementen van het gebouw zoals een stabiliteitsvakwerk (zie case Malietoren). In deze klasse valt ook het hele gebouw en stabiliteitselementen, zoals een kern van het gebouw.

Deze voorwerpen volgen uit de FMEA van hoofdstuk 8.

### 9.5.3 De hoogte

De hoogte is het punt waar vandaan het object naar beneden valt, gemeten vanaf het wegdek niveau. Gekozen is voor drie verschillende hoogten.

1. < 5 meter;
2. 5 - 10 meter;
3. > 10 meter.

Duidelijkheidshalve is er een keuze gemaakt voor drie hoogtes. De keuze voor zulk een indeling ligt in het feit dat er gekeken is naar de aard van de gevolgschades. Aangenomen wordt dat, alles wat valt onder de 5 meter is het minimale wat zich kan voordoen bij het valgedrag. Immers, 4.6 meter is de minimale profiel van vrije ruimte voor een auto(snel)weg.

Verder wordt er aangenomen dat alles wat tussen de 5 en de 10 meter valt een gevolg heeft waarbij de materiële schade bijna gelijk is. Van alles wat boven de 10 meter valt kunnen de gevolgen fataal zijn, zowel op economisch als maatschappelijk gebied.

### 9.5.4 Letsel

De node *letsel* kent de volgende klassen:

1. geen;
2. gewonden;
3. dood.

Dit betekent dat een vallend voorwerp letsel kan veroorzaken. In ernstige gevallen kan een vallend voorwerp een gewonde of zelfs een dode tot gevolg hebben.

### 9.5.5 Extra kosten

De knoop *Extra kosten* kan als volgt worden geklassificeerd:

1. geen;
2. < € 10.000;
3. € 10.000 - € 100.000;
4. € 100.000 - €1.000.000;
5. > € 1.000.000.

- Ad 2 Hierbij valt te denken aan beperkte schade aan motorvoertuigen.
- Ad 3 Deze klasse is typerend indien door het ongeval een auto total loss verklaard wordt.
- Ad 4 Dure auto's die total loss verklaard worden vallen in deze klasse evenals schade aan de wegconstructie valt hieronder.
- Ad 5 In de meest erge (on)gevallen kan de weg afgesloten worden voor een bepaalde tijd. Tevens kan er sprake zijn van een ernstige beschadiging aan de onderliggende (weg)constructie. Economische schade ten gevolge van afsluiting van de weg en omleiding van het verkeer valt eveneens onder deze klasse.

## 9.6 Bepaling kansen per node

### 9.6.1 Inleiding

De meeste kansen worden bepaald op basis van engineering judgement [Vro1996]. Daarbij hanteert men vaak termen als "groot" "medium" "klein", met hooguit een globale interval-indicatie welke met deze termen wordt aangeduid. In deze studie wordt daarom met vijf "kansklassen" gewerkt:

Klasse	Omschrijving	Orde
1	Goed voorstelbaar	$10^{-1}$
2	Komt wel eens voor	$10^{-2}$
3	Kleine kans	$10^{-3}$
4	Zeer kleine kans	$10^{-4}$
5	Vrijwel verwaarloosbaar	$10^{-5}$

Tabel 9.1: kansen en klassen van kansen.

Waar mogelijk zal de klasse x zoveel mogelijk worden geassocieerd met een kans van  $10^{-x}$ . Vervolgens zullen deze kansen toegekend worden aan de klassen van de nodes.

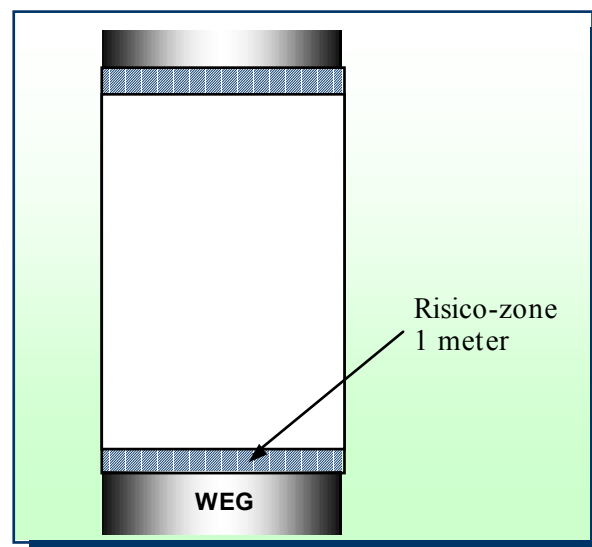
Voor het bepalen van sommige kansen zijn experts geïnterviewd. Hierbij ging het voornamelijk om aannemers en deskundigen die betrokken zijn bij complexe projecten waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik en deskundigen op het gebied van risico-analyse.

### 9.6.2 Waar

Voor de verhouding tussen de plaats waar het element valt is de volgende berekening gemaakt:

Het oppervlakte van een verdiepingsvloer is gelijk aan  $1000 \text{ m}^2$ . Aannemende dat de vallende elementen 1 meter binnen de geveleppervlakte die aan de kopgevels van het gebouw risicodragende zijn, is de verhouding hieruit af te leiden van waar het element zal vallen.

Hiermee is het begrip risico-zone geïntroduceerd. De risico-zone, afhankelijk van de onderliggende situatie, kenmerkt zich door dat het betreffende gedeelte van het gebouw een hogere risico vormt voor derden. In dit geval kan dat 1 meter vanaf de gevel zijn.



Figuur 9.9: Risico-zone.

De binnenoppervlak is  $48 \cdot 20 = 960 \text{ m}^2$ . Hieruit volgt de verhouding van de elementen die zich buiten kunnen vallen, namelijk:  $(1000 - 960)/1000 = 0,04$ . Approximatief is dat 4% van de elementen die zich in de gevarezone bevinden, deze kunnen naar binnen of naar buiten vallen. De kans dat een element naar binnen valt is gelijk aan de kans dat een element naar buiten valt, in dit geval is dat dus gelijk aan 0,5. Hieruit volgt de kans dat een element naar buiten valt gelijk is aan  $0,5 \cdot 4\% = 2\%$  voor het gros van de elementen.

Echter, voor de elementen die aan de gevel bevestigd moeten worden, voornamelijk afbouwelementen, die vallen in de gewichtsklasse 100 – 1000 kg, wordt aangenomen dat ze relatief risico-voller zijn. Dit betekent dat voor deze gewichtsklasse tijdens de montage de kans dat het element naar buiten valt, gegeven het element valt, gelijk is aan 0,5.

### 9.6.3 De onderliggende situatie

De onderliggende situatie kan als een variabele gezien worden. Tijdens file kan er gesteld worden dat de kans dat het object op een auto c.q. de weg terecht komt, gegeven dat er een object naar beneden valt, gelijk is aan  $\frac{1}{2}$ . Indien de weg afgesloten is voor verkeer, dan is de verhouding van de kans dat het voorwerp op de weg of auto terecht komt 1:0. In formulevorm komt dat beter tot uitdrukking:

$$P(\text{auto}|\text{el.valt}) = 1 - P(\text{weg}|\text{el.valt})$$

$$\text{Waarin } 0,5 \leq P(\text{weg}|\text{el.valt}) \leq 1$$

In het voorbeeld wordt aangenomen dat er niet wordt gebouwd tijdens de file. Dit betekent dat de  $P(\text{auto}|\text{el.valt}) = 0,2$ , en  $P(\text{weg}|\text{el.valt}) = 0,8$ , indien het object binnen de oppervlakte van het gebouw zou vallen. Indien het object buiten het gebouw valt is deze verhouding geldig, echter de oppervlakte van de gevarezone is anders. Dit betekent dat er een correctie moet worden toegepast voor de verhouding 0,2 en 0,8 voor de in 9.6.2 besproken risico-zone. Indien er een object valt en er een ongeluk plaatsvindt dan zijn er opdat moment 15 auto's aanwezig in onder het gebouw. ( $0,2 \cdot 1000 = 200 \text{ m}^2$ . De oppervlakte per auto is  $13 \text{ m}^2$ . Hieruit volgt 15 auto's onder het gebouw.)

### 9.6.4 De (ontwerp)fouten

Fouten kunnen de kans op het valgedrag van voorwerpen vergroten. In het opgestelde Bayesiaans Netwerk wordt aangenomen dat het wel eens voorkomt dat er een fout gemaakt wordt. Deze kans valt in klasse 2, orde  $10^{-2}$ .

### 9.6.5 De hoofddraagconstructie

Het toekennen van kansen voor het al dan niet bezwijken van de hoofddraagconstructie is als volgt geschied: Het bezwijken van de hoofddraagconstructie kan alleen plaatsvinden indien er sprake is van een voldoende zwaar element dat vanaf een voldoende hoogte valt. Bovendien geldt dat het vallende element binnen het gebouw moet vallen. Indien het object buiten het gebouw valt, dan kan de constructie nooit bezwijken. Zodoende zal een zwaarder element gegeven dat het element binnen valt, leiden tot het toenemen van de bezwijkkans van de constructie.

Als voorbeeld wordt een gedeelte van de waarschijnlijkheidstabel getoond. De volledige tabel is terug te vinden in bijlage IV. Collapse betekent dat het gebouw bezwijkt en de state "beperkt" dat er (mogelijk) schade aan het gebouw ondervonden is, doch geen schade is voor derden.

Bij het toekennen van de kansen is gebruik gemaakt van de vijf al eerder besproken kansklassen. Indien het element buiten het gebouw valt is de tabel ingevuld met 0 en 1-en.

*Kans op collapse*

De kans op collapse neemt toe indien het gewicht en/of de hoogte van het vallend object toeneemt. Immers, uit de fysica zijn de volgende formules van toepassing:

De impulsbalans:

$$p = m \cdot v \quad (\text{formule I})$$

Waarin:

p = impuls van het vallend voorwerp;  
 m = massa van het vallend voorwerp;  
 v = de snelheid van het vallend voorwerp.

Voor de snelheid:

$$v = \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)} \quad (\text{formule II})$$

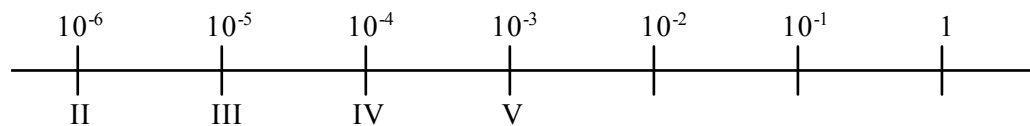
Waarin:

g = de valversnelling;  
 h = de valhoogte van het vallend voorwerp;

Substitutie van II in I geeft:

$$p = m \cdot \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)}$$

De gevolgschade is tot op zekere hoogte afhankelijk van de impuls van het vallend voorwerp. Dit impliceert dat de gevolgschade is afhankelijk van de grootheden in de formule  $p = m \cdot \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)}$ . Hieruit volgt dat de impulsbalans afhankelijk is van de massa en de hoogte van het vallend element. Uiteraard is de kans op collapse van de hoofddraagconstructie groter indien de impuls van het vallend object groter is. In de onderstaande (logaritmisch) getallenlijn is de kans op collapse weergegeven bij verschillende gewichtsklassen.



De gewichtsklassen zijn in dit voorbeeld:

5 - 100 kg (Klasse II);  
 100 - 1000 kg (Klasse III);  
 1000 - 10000 kg (Klasse IV);  
 > 10000 kg (Klasse V).

Aangenomen wordt dat er per verdieping gebouwd. Verder is aangenomen dat per verdiepingshoogte alle gebeurtenissen de val < 5 meter te weeg kan brengen binnen het gebouw. Dit impliceert dat voor alle verdiepingen dezelfde kansen zijn toegekend

Logisch is dat het begin van de gewichtsklasse telkens opschuift naar rechts. Dit betekent dat de kans op collapse (logaritmisch) toeneemt indien de hoogte en het gewicht toeneemt (zie bovenstaande getallenlijn).

### 9.6.6 De hoogte

De hoogte vanwaar het vallend voorwerp valt, een invoerparameter, is in het Netwerk als volgt geprogrammeerd:

De verhouding tussen de klassen van de node hoogte geeft de hoogte van het gebouw c.q. de hoogte vanwaar het object valt weer. Zo kan een gebouw van 50 meter als volgt worden ingevoerd:

De hoogte	Verhouding
≤ 5 meter	0,1
5 - 10 meter	0,1
≥ 10 meter	0,8
<i>Totaal</i>	<i>1</i>

Tabel 9.2: Verhoudingen van hoogten

Zodoende is elke hoogte in te voeren.

### 9.6.7 Het gewicht

Voor de node *gewicht*, die de verdeling van het aantal elementen van de gewichtsklassen van het gebouw impliceert, is als volgt met behulp van de plattegrond van *figuur 9.5* bepaald: Uit deze figuur is de verdeling en dus ook de verhouding tussen het *aantal elementen* naar de gewichtsklasse af te leiden. In de plattegrond zijn een aantal elementen weergegeven;

- Kanaalplaten met een overspanning van 10 meter;
- Kolommen;
- Balken met een overspanning van 10 meter.

Per verdieping is de oppervlakte gelijk aan  $50 \cdot 20 = 1000 \text{ m}^2$ .

Voor een kanaalplaat die 10 meter overspant en 1,2 meter breed is, kan de IVP200 kanaalplaat voor worden gebruikt. Het gewicht van die kanaalplaat is  $1,2 \cdot 10 \cdot 3,12 = 37 \cdot 10^3 \text{ kN}$ . Dit komt overeen met een gewicht van 3700 kg. Deze vallen in de *gewichtsklasse 1000 – 10000 kg*. Het totaal aantal kanaalplaten dat gebruikt wordt per verdieping is  $2 \cdot (50/1,2) \cong 84$ .

Het aantal kolommen per verdieping is makkelijk uit de tekening af te leiden; deze is 18. Ook deze vallen in de *gewichtsklasse 1000 – 10000 kg*. Immers, stel dat er kolommen worden gebruikt van  $400 \cdot 400 \text{ mm}^2$ , dan is het gewicht per kolom gelijk aan  $0,4 \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 24 = 19,2 \text{ kN}$ , overeenkomend met een gewicht van 1920 kg.

Het aantal liggers dat gebruikt wordt per verdieping is gelijk aan 27. De maximale overspanning van deze liggers is eveneens 10 meter. Voor deze liggers kunnen we de zgn. G-ligger gebruiken met een doorsnede-oppervlakte van  $87,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ . Het totale gewicht van een dergelijk ligger is  $87,2 \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 10 = 20,9 \text{ kN}$ , dit komt overeen met een gewicht van 2090 kg. Deze vallen eveneens in de *gewichtsklasse 1000 – 10000 kg*.

Voor de stabiliteitsconstructie wordt aangenomen dat deze verzorgd wordt door een betonnen kern. De afmetingen van een stabiliteitswand zijn 5 meter lang en 0,2 meter dik. Hiermee kan het gewicht berekend worden per verdieping. Deze is namelijk  $5 \cdot 5 \cdot 0,2 \cdot 24 = 120 \text{ kN}$ , in kilogrammen uitgedrukt is dat 12000, dat in de *gewichtsklasse >10000 kg* valt. Verder wordt aangenomen dat er drie elementen per verdieping worden gebruikt.

Voor de afbouwconstructie wordt aangenomen dat de elementen van  $1 \cdot 1 \text{ m}^2$  aan de gevel bevestigd worden. Per verdieping zijn dat dus  $2 \cdot (5 \cdot 20) + 2 \cdot (5 \cdot 50) = 700$  elementen. Aangenomen wordt dat deze vallen onder de *gewichtsklasse 100 – 1000 kg*.

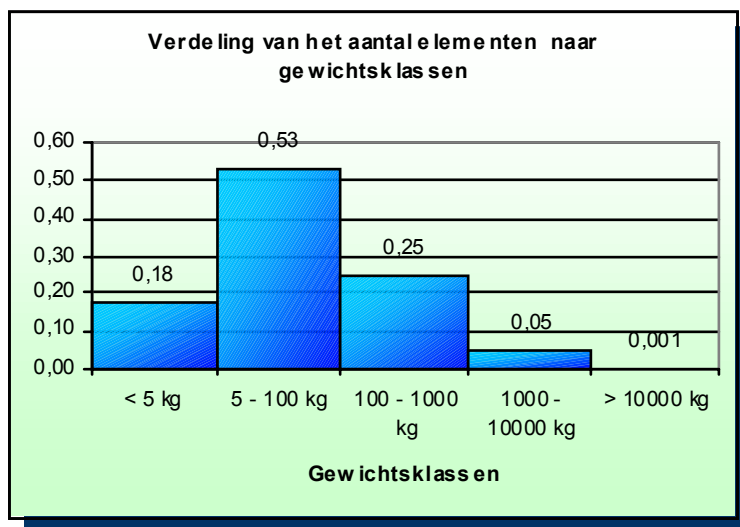
Plafond-elementen, installaties, klein materieel en spouwbladen en wanden vallen allen onder de *gewichtsklasse 5 – 100 kg*. Aangenomen wordt dat per vierkante meter gemiddeld 0,1 element aanwezig is dat bovendien ook kan vallen. Dat betekent dat het aantal elementen per verdieping  $0,1 \cdot 20 \cdot 50 = 100$  elementen is. Bij deze *gewichtsklasse* komen de delen van steigers erbij. Stel dat er per vierkante meter 10 zijn (aan de geveloppervlak). Dit betekent  $10 \cdot (2 \cdot 5 \cdot 1 + 2 \cdot 20 \cdot 1) = 1420$  per verdieping.

Tenslotte is er een aanname gedaan aangaande de elementen van de *gewichtsklasse < 5 kg*. Hierbij gaat het voornamelijk om licht materieel, boutjes, moertjes, betonresten, etc. aangenomen is dat per vierkante meter 0,5 elementen<sup>10)</sup> voorkomt. Vertaald naar per verdieping zijn dat  $1000 \cdot 0,5 = 500$  elementen. Tot slot kunnen de bovenstaande gegevens in een tabel en een staafdiagram gepresenteerd worden:

Gewichtsklasse	Risicodragende Elementen per verdieping	Totaal aantal elementen	Verdeling elementen
< 5 kg	500	5000	0,18
5 - 100 kg	1520	15200	0,53
100 - 1000 kg	700	7000	0,25
1000 - 10000 kg	129	1290	0,05
> 10000 kg	3	30	0,001

Tabel 9.3: Verdeling van de elementen naar gewichtsklasse.

<sup>10)</sup> Bron: Strukton Betonbouw, Utrecht.



Figuur 9.10: Verdeling van het aantal elementen ingedeeld naar gewichtsklassen.

De in te voeren gegevens dienen gebaseerd te zijn op de kans per handeling. Hetgeen erop neerkomt dat de uitvoer van het programma de kans op een bepaalde gebeurtenis *per handeling* zal geven. Teneinde het aantal slachtoffers c.q. de kosten te bepalen is het essentieel om een blik te richten op het totaal aantal handelingen (per element). Immers, het zijn de handelingen die het vallen veroorzaken, ook spelen factoren zoals de wind een rol.

De aantal handelingen per element van een gewichtsklasse is als volgt verdeeld:

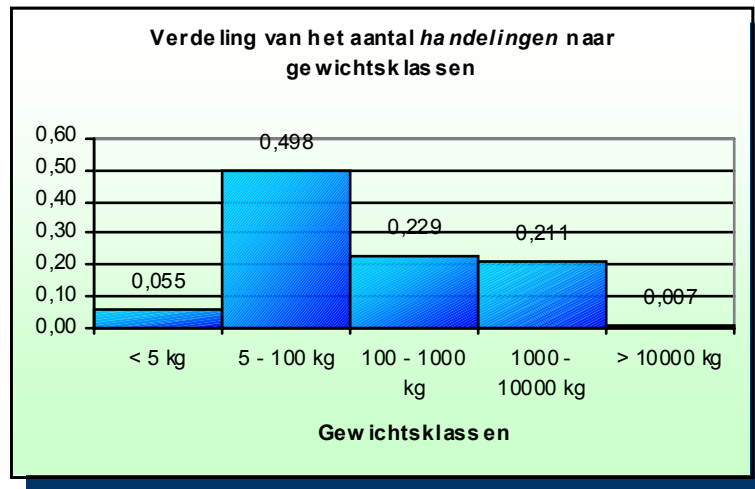
Gewichtsklasse	Risicodragende Elementen per verdieping	Totaal aantal elementen	Verdeling van de elementen	Handelingen per element	Totaal aantal handelingen
< 5 kg	500	5000	0,1753	1	5000
5 - 100 kg	1520	15200	0,5330	3	45600
100 - 1000 kg	700	7000	0,2454	3	21000
1000 - 10000 kg	129	1290	0,0452	15	19350
> 10000 kg	3	30	0,0011	20	600

Tabel 9.4: De verdeling van het aantal handelingen per gewichtsklasse.

Hierbij gaat het om het gemiddeld aantal handelingen per element. Bijv. een betonrest heeft amper een handeling nodig en het kan vallen, terwijl bij een schroevendraaier meer handelingen benodigd zijn teneinde het voorwerp te laten vallen. Aangezien er meer betonresten per verdieping zullen zijn dan aantal schroevendraaiers, is het gemiddelde gereduceerd naar 1. En wellicht is het wel zo dat bij sommige elementen van de gewichtsklasse < 5kg geen handelingen worden verricht.



In een histogram komt de relatieve verdeling van het aantal handelingen beter uiting:



Figuur 9.11: De verdeling naar het aantal handelingen, ingedeeld naar gewichtsklassen.

In tabel 9.4 is te zien dat het product van het aantal elementen en de handelingen per element resulteren in de totaal aantal handelingen. Dientengevolge dient de verkregen kans uit het programma vermenigvuldigd te worden met het totaal aantal handelingen.

### 9.6.8 Vallen

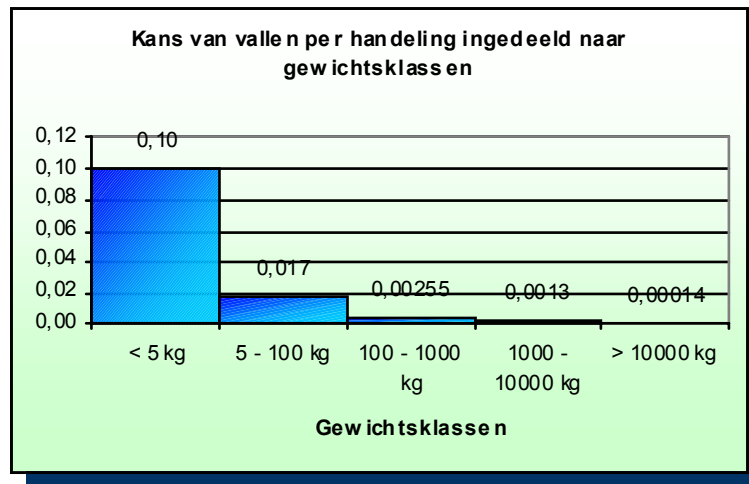
Voor het toekennen van kansen aan de states van de node van het valgedrag met betrekking tot het gewicht is een expert-onderzoek gedaan naar de kans van vallen per handeling verdeeld over de gewichtsklassen, waarna het gemiddelde is bepaald van het resultaat van de geïnterviewden. Het expert-onderzoek toonde een gecorreleerde kans op vallen. Zodoende was in het algemeen iedereen het erover eens dat van elementen van de klasse  $< 5$  kg het goed voorstelbaar is (per handeling) dat deze elementen vallen. En derhalve werd een kans van 0,10 aan toegekend. De spreiding was zeer klein tussen de toekenning van kansen in verschillende gewichtsklassen. Dientengevolge kan er gesteld worden dat het expert-onderzoek representatief is. De resultaten van het expert-onderzoek zijn opgenomen in bijlage 3.

Verder werd er voor gezorgd dat de deelnemers van het onderzoek mensen waren die hedendaags nauw betrokken zijn bij uitvoering van complexe projecten, zoals die in de literatuurstudie zijn behandeld. Ook is gekeken naar de mening van mensen die deskundige theoretische achtergrond hebben. De resultaten van het expert-onderzoek zijn in tabel 9.5 en figuur 9.12 weergegeven.

De gemiddelde kans op vallen van elementen per gewichtsklasse is:

Gewicht	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	0,10	0,90
5 – 100 kg	0,017	0,983
100 - 1000 kg	0,0026	0,9974
1000 - 10000 kg	0,0013	0,9987
> 10000 kg	0,00014	0,99986

Tabel 9.5: De kans dat een element valt per handeling.



Figuur 9.12: Histogram van de kans dat een element valt per handeling.

Het gaat hierbij om de kansen per handeling. Echter, in een project zoals die van het modelgebouw zijn veel handelingen benodigd teneinde de bouwdelen in elkaar te monteren. De filosofie hieromtrent zal in de volgende paragraaf aan bod komen.

De kans op vallen van elementen wordt enigszins beïnvloedt als gevolg van eventuele fouten, hetzij uitvoeringstechnisch, hetzij materiaalfouten, hetzij ontwerpfouten. Al deze fouten hebben met elkaar gemeen dat ze de kans op vallen van elementen doen toenemen. Echter de kansen nemen niet significant toe. Dit is te illustreren met het volgend voorbeeld:

*Intermezzo*

De kans dat een element valt met de regel van de totale waarschijnlijkheid als volgt te berekenen:

$$\begin{aligned}
 P(\text{el.valt}) &= P(\text{vallen}|\text{geen fout}) \cdot P(\text{geen fout}) + P(\text{vallen}|\text{wel fout}) \cdot P(\text{wel fout}) \\
 P(\text{el.valt}) &= 0.001 \cdot 0.99 + 0.0015 \cdot 0.01 \\
 P(\text{el.valt}) &= 0.00099 + 0.000015 = 0.001005
 \end{aligned}$$

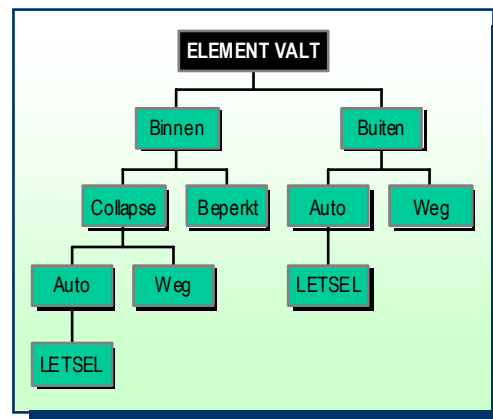
De laatste term,  $P(\text{vallen}|\text{wel fout}) \cdot P(\text{wel fout})$ , is te verwaarlozen ten opzichte van de eerste term. Niettemin zal de node ontwerpfouten worden meegenomen in de berekening van het Bayesiaans Netwerk. Derhalve is deze opgenomen in het model (zie figuur 9.8).

### 9.6.9 Letsel

De kansen aan de node *letsel* zijn eveneens bepaald middels engineering judgement. Als eerste is gekeken of het voorwerp überhaupt wel valt (zie 9.6.8). Indien het valt, vervolgens waar hij valt (9.6.2).

Bij het vallen van het voorwerp binnen het gebouw kan er alleen letsel optreden indien er een collapse optreedt en het gebouw neerstort op een daaronderrijdende auto.

Ook kan er letsel optreden als het voorwerp buiten het gebouw valt en het bovendien op een auto terecht komt. Dit fenomeen komt duidelijker naar voren in onderstaande figuur.



Figuur 9.13: Situaties waarbij letsel optreedt.

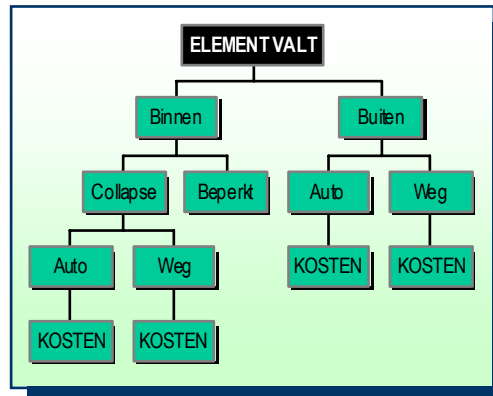
Verder is aangenomen dat als het gebouw bezwijkt en terechtkomt op een auto, altijd één of meer (dode) slachtoffer het resultaat hiervan is. Indien het voorwerp buiten het gebouw valt is het afhankelijk van het gewicht en de hoogte in welke mate de ernst van de letsel is. Ook hier geldt voor de bepaling van slachtoffers de risico-zone.

Bij een klein voorwerp, bijvoorbeeld een boutje, is de kans klein dat deze letsel veroorzaakt. Indien er letsel optreedt is de kans groter dat er iemand gewondraakt dan dat er iemand dood gaat.

Net als bij de bepaling van de kansen van de node *hoofddraagconstructie* is bij toename van het gewicht en hoogte de kans op letsel groter. Zodoende is de waarschijnlijkheidstabel ingevuld. Voor de uitgebreid overzicht in de kansverdeling wordt verwezen naar bijlage IV.

### 9.6.10 Extra kosten

De node *extra kosten* (voor derden) is op een gelijke wijze bepaald als de node *letsel*. De activiteiten die kunnen leiden tot extra kosten (aan derden) zijn hieronder weergegeven.



Figuur 9.14: Situaties waarbij kosten optreden,

De kosten, veroorzaakt door vallende elementen, kunnen verdeeld worden in de kosten aan auto's en de kosten aan de weg en mogelijke afsluitingen. Deze zijn afhankelijk van het gewicht van het voorwerp en de hoogte van waar het voorwerp valt. De kans op grotere schade neemt toe, naarmate de hoogte van het vallen en het gewicht van het voorwerp toenemen.

Voor de kans dat er schade optreedt aan een auto kan het volgende worden gezegd: Indien het object binnen het gebouw valt plus nog het gebouw doet bezwijken en bovendien nog op een auto terecht komt, dan kan er gezegd worden, dat naast dat er een dodelijke afloop, de staat van de auto total loss verklaard kan worden. Hieruit is de verhouding van de verschillende auto's die zich bevinden op de weg af te leiden. Gekozen is voor de volgende indeling:

Prijsklasse	Verhouding
geen	0
< € 10.000	0,75
€ 10.000 - € 100.000	0,249
€ 100.000 - € 1.000.000	0,001
> € 1.000.000	0

Tabel 9.6: Verdeling van de prijsklasse voor motorvoertuigen.

Verder dient er een reductie te worden toegepast, indien het voorwerp naar *buiten* valt en schade veroorzaakt, want het voorwerp valt in de risico-zone. De oppervlakte van de risico-zone is veel kleiner dan het oppervlakte onder het gebouw zelf. Desalniettemin zijn kosten voor de risico-zone deels dezelfde als de kosten, wanneer het gebouw zou bezwijken, denk aan afsluiting van een weg of bezwijken van een weg waardoor de weg voor een bepaalde tijd moet worden afgesloten. Een soort-gelijke reductie is eveneens toegepast voor de node *letsel*.

# H O O F D S T U K 1 0

## 10 RESULTATEN RISICO-ANALYSE

---

### 10.1 Inleiding

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten de kwalitatieve risico-analyse die in het vorige hoofdstuk is behandeld. Bij de uitwerking ervan zijn alle vormen van overbouwen, in het kader van dit onderzoek, apart behandeld.

Bij de uitwerking van Bayesiaanse Netwerken wordt een onderscheid gemaakt in:

- Het bouwen van een gebouw boven weg-infrastructuur;
- Het bouwen van een gebouw boven rail-infrastructuur;
- Het bouwen van een gebouw boven een bestaand gebouw.

Wellicht zijn de netwerken bij de eerste twee vormen van overbouwen enigszins van dezelfde vorm. Toch zullen deze apart behandeld worden, want deze hebben een andere kansverdeling en gevolgschaden.

De gegevens die in tot nu toe in het vorig hoofdstuk zijn behandeld zijn ingevoerd in het software programma *Hugin Lite*. De ingevoerde gegevens zijn gebaseerd op de kans per handeling. Hetgeen erop neerkomt dat de uitvoer van het programma de kans op een bepaalde gebeurtenis *per handeling* weergeeft.

Allereerst zullen in *paragraaf 10.2* de resultaten gepresenteerd worden voor het bouwen boven weg-infrastructuur, gevolgd door *paragraaf 10.3* en *10.4* waarin respectievelijk de resultaten voor het bouwen boven rail-infrastructuur en het bouwen over gebouwen gepresenteerd worden. Tenslotte wordt dit hoofdstuk afgesloten (*paragraaf 10.5*) met een evaluatie, waarin de resultaten worden samengevat en getoetst aan de persoonlijke acceptatie-norm.

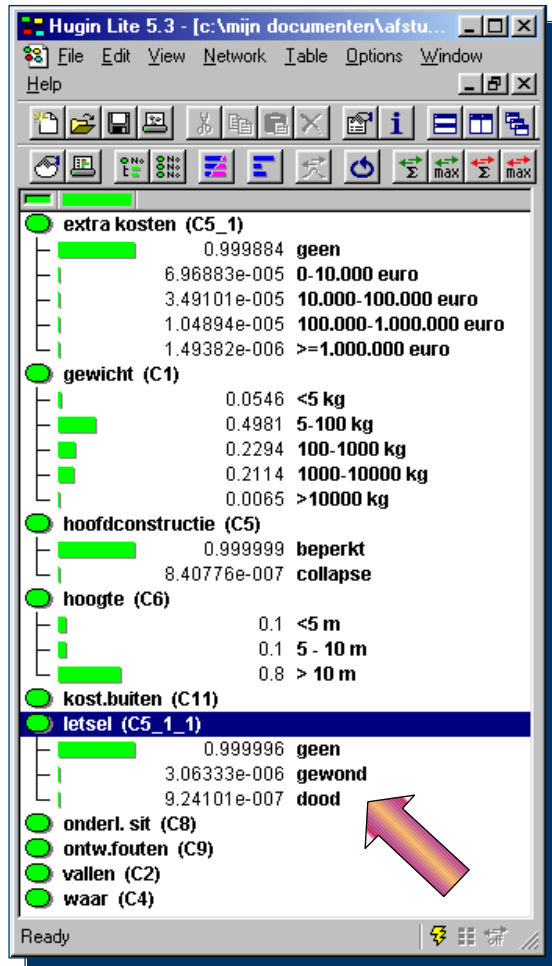
## 10.2 Bouwen over Weg-infrastructuur

Als eerste worden de gegevens gepresenteerd voor het model dat besproken is in paragraaf 9.4.3, namelijk het bouwen over weg-infrastructuur. Voor de uitvoer van het programma is hieronder een screenshot weergegeven. In beginsel is aangenomen dat gegeven dat een element valt, de kans 0,2 en 0,8 is dat deze een auto respectievelijk de weg raakt. De verwachtingswaarde voor het aantal doden is te berekenen met de formule:

$$E(\text{dood}) = \{P(\text{dood per handeling})\} \cdot \{\text{aantal personen per auto}\} \cdot \{\text{aantal handelingen}\} \cdot \{\text{aantal auto's wat onder het gebouw bevindt tijdens het ongeluk}\}$$

Hierin is P(dood per handeling) de waarde verkregen uit Hugin Lite. Het verwachte aantal gewonden op dezelfde manier berekend worden. De formule hiervoor is:

$$E(\text{gewond}) = \{P(\text{gewond per handeling})\} \cdot \{\text{aantal personen per auto}\} \cdot \{\text{aantal handelingen}\} \cdot \{\text{aantal auto's wat onder het gebouw bevindt tijdens het ongeluk}\}$$



Hiernaast (zie pijl) is af te lezen dat de kans dat er een dode (derden) valt per handeling per auto, voor dit project,  $9,24 \cdot 10^{-7}$  is (per handeling).

Het totaal aantal handelingen is 91550. Gemiddeld zitten 1,3 personen per auto<sup>11)</sup>, en bevinden zich 15 auto's onder het gebouw, tijdens het ongeval.

Met behulp van deze gegevens kan de verwachtingswaarde voor het aantal dode(n) voor dit project berekend worden middels de bovenstaande formule, deze bedraagt namelijk:  $9,24 \cdot 10^{-7} \cdot 1,3 \cdot 91550 \cdot 15 = 1,65$  slachtoffers met dodelijke afloop per project, dus per jaar.

Zodoende kan het aantal gewonden eveneens berekend worden; deze bedraagt 5,46.

Figuur 10.1: Uitvoer, bouwen boven weg-infrastructuur.

<sup>11)</sup> Bron: ir.P.Wiggenraad, TUDelft, Faculteit Civiele Techniek, docent verkeerskunde; mondelinge communicatie.

Het aantal slachtoffers kan flink oplopen indien er sprake is van file tijdens het bouwproces. Verder in deze studie zullen de aspecten geoptimaliseerd worden.

In het programma is een gemakkelijk hulpmiddel ingebouwd, waarmee een bepaalde invoerparameter gelijk aan 100% gesteld kan worden. Hiermee kan de invloed van die parameter gemaximaliseerd worden en vervolgens kunnen de kansen worden afgelezen. Hierdoor is zeer snel te bepalen welke parameter in welke mate bijdraagt aan de kans van falen en ook het gevolg. Indien het gebouw alleen zou bestaan uit elementen van < 5 kg, dan zou het dodenaantal oplopen tot 2,48. De filosofie omtrent de gevoeligheid zal elders aan bod komen (paragraaf 11.3).

Verder zijn de verwachte kosten voor derden te bepalen uit de uitkomst van het programma. De risico is dan voor het project in de onderstaand tabel weergegeven.

Kosten	Kans per handeling	Klassemiddelen	Risico per handeling
geen;	0,999884	0	0
< € 10.000	$6,97 \cdot 10^{-5}$	5000	0,35
€ 10.000 - € 100.000	$3,49 \cdot 10^{-5}$	50000	1,75
€ 100.000 - € 1.000.000	$1,05 \cdot 10^{-5}$	500000	5,25
> € 1.000.000	$1,49 \cdot 10^{-6}$	2000000	2,98

Tabel 10.1: De verwachte kosten voor het bouwen boven weg-infrastructuur.

De som van het risico vermenigvuldigd met het aantal handelingen (91550) geeft de totale risico van het project, deze is bij benadering € 945.000,=.

Deze gegevens zijn gebaseerd op het feit dat er geen opvangvloer aanwezig is bij het modelgebouw.

## 10.3 Bouwen over Rail-infrastructuur

### 10.3.1 Inleiding

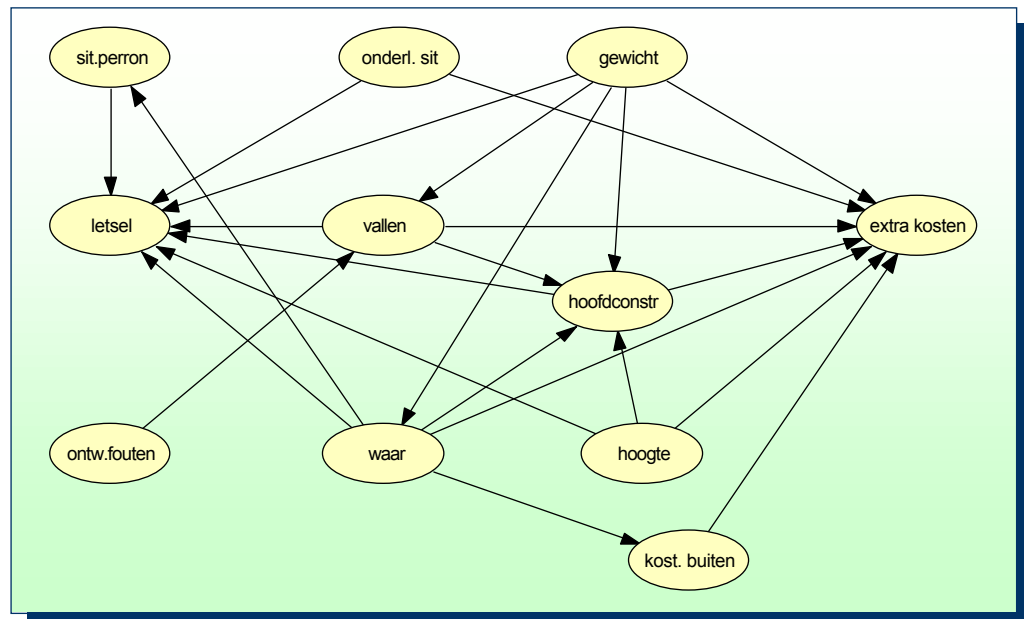
Het bouwen over rail-infrastructuur is in veel opzichten anders dan het bouwen over weg-infrastructuur. De gevolgschades en letsels zijn daar het grote voorbeeld van. Ook voor dit deel van de studie wordt hetzelfde modelgebouw gebruikt als voorheen. En derhalve zal het Bayesiaans Netwerk in grote lijnen overeenkomen met het netwerk van het bouwen over weg-infrastructuur. Echter, de kansverdeling zal in sommige opzichten anders zijn dan bij het netwerk van het bouwen over weg-infrastructuur. Om hieraan te voldoen zijn enige aanpassingen benodigd.

Uit economisch oogpunt zal er eerder een gebouw gebouwd worden over een station dan over een emplacement. Tevens is het mogelijk en economisch aantrekkelijk een gebouw te bouwen vlak voor of vlak naast een station. Een gebouw bouwen over het spoor in een weiland is (economisch) oninteressant. Derhalve is het interessant om te kijken naar het bouwen over een (bestaand) station.

Als eerste worden in deze subparagraaf de verschillen in kwantitatieve zin behandeld met weg-infrastructuur. Verder is het verschil dat de node onderliggende situatie drie states kent, te weten:

- Perron;
- Trein;
- Rail.

Bovendien is er een node bijgekomen, namelijk *situatie perron*. Deze geeft aan of het vallend voorwerp op het perron of een persoon terecht komt. Het Bayesiaans Netwerk ziet er als volgt uit:



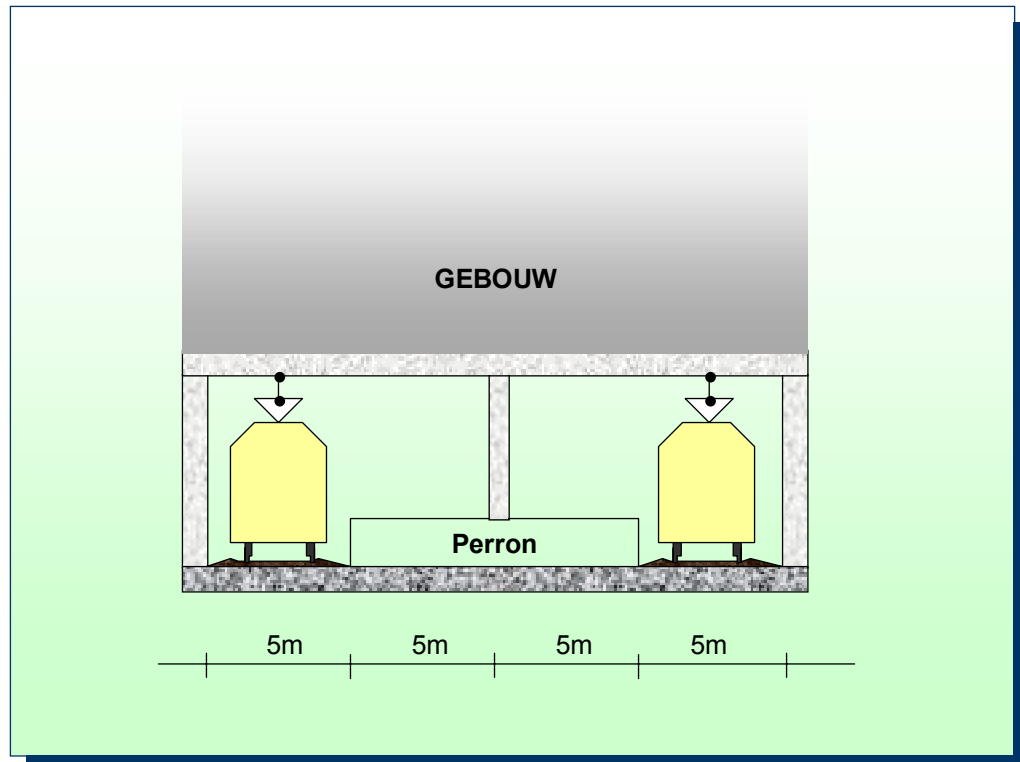
Figuur 10.2: Bayesiaans Netwerk voor het bouwen boven rail-infrastructuur.

In figuur 10.3 is te herkennen dat het zich aan weerszijden van het spoor bevindt, deze sporen worden verbonden met het perron in het midden. Aangenomen wordt dat het dwarsprofiel conform figuur 10.3 eruit ziet. Hieruit kan de kansverdeling worden bepaald voor de onderliggende situatie:

□ *De onderliggende situatie*

De eerste afwijking met het model van weg-infrastructuur is de onderliggende situatie. Bij het bouwen over weg-infrastructuur is er sprake van een continue stroom van auto's met korte tussenpozen, terwijl bij rail-infrastructuur de trein om de 3 minuten rijdt en een stoptijd heeft van 1 minuut. Hieruit is de kans voor de onderliggende situatie afleidbaar, gegeven dat het voorwerp valt. De afleiding geschiedt als volgt:





Figuur 10.3: Dwarsprofiel station.

$P(\text{perron}|\text{el. valt}) = 0,5$  (lees: de kans dat het element op het perron terechtkomt, gegeven dat het element valt is gelijk aan  $\frac{1}{2}$ );  
 $P(\text{spoor}^{12}) \text{ of } \text{trein}|\text{el. valt}) = 0,5$ .

$P(\text{trein}|\text{spoor}) = 0,25$   
 $P(\text{rail}|\text{spoor}) = 0,75$

$P(\text{één van de twee treinen}|\text{spoor}) = P(\text{trein}(1) \cup \text{trein}(2)) - P(\text{trein}(1) \cap \text{trein}(2)) = 0,25 + 0,25 - (0,25 \cdot 0,25) = 0,4375$ .

Hieruit is de kans te bepalen dat een element op een trein c.q. rail terechtkomt, gegeven dat het element valt:

$P(\text{trein}|\text{el. valt}) = 0,5 \cdot 0,4375 = 0,21875$   
 $P(\text{rail}|\text{el. valt}) = 0,5 \cdot 0,5625 = 0,28125$   
 $P(\text{perron}|\text{el. valt}) = 0,5$

Samen zijn de kansen gelijk aan 1.

<sup>12)</sup> Spoor in deze context is het gedeelte van het station waar treinen rijden. Met Rail wordt in deze context de spoorconstructie bedoeld (zie bijlage 5).

□ *Letsel*

Verder is het letsel dat optreedt anders dan bij weg-infrastructuur. Bij het bouwen over het spoor zijn de passagiers de slachtoffers, hetzij passagiers die zich in de trein bevinden, hetzij mensen die op het perron staan. Indien de trein een intercity is dan, kan de totale lengte van de trein wel oplopen tot 300 meter, welke bestaat uit 10 treinstellen met elk gemiddeld 100 passagiers per stel.

Er wordt aangenomen dat, indien er een ongeluk plaatsvindt, er zich twee treinwagens bevinden onder het gebouw. Dit betekent 200 passagiers in de trein. Voor het aantal passagiers die zich op het perron onder het gebouw bevinden, wordt aangenomen dat per vierkante meter 0,1 persoon aanwezig is. Dit betekent 50 personen op het perron. Tijdens het ongeluk kunnen  $200+50 = 250$  personen aanwezig zijn, waarvan 20% op het perron en 80% in de trein.

Voor het toekennen van kansen is gelet of die personen op het perron of in de trein aanwezig zijn. Mensen in de trein zijn veiliger opgesteld ten opzichte van mensen die zich op het perron bevinden, die bloot staan aan alle gevaren tijdens het bouwproces. De kans dat er een dodelijke slachtoffer opgeëist wordt (gegeven dat het voorwerp op die persoon valt) is bij de mensen op het perron groter, dan de personen die zich in de trein bevinden. Indien een voorwerp valt op een persoon die op het perron staat, is er een grotere kans op dodelijke afloop dan de kans dat deze gewond raakt. Dit kan alleen plaatsvinden indien het gebouw bezwijkt of indien de persoon zich in de risico-zone bevindt. Voor de totale kansverdeling wordt verwezen naar bijlage 5.

Indien het voorwerp op het perron valt dan is de grote vraag: wat is de kans dat het voorwerp een persoon raakt, gegeven dat het voorwerp op het perron valt. Deze is als volgt te bepalen. Op het perron lopen 150 personen rond. Oppervlakte van een persoon<sup>13)</sup> is  $0,32 \cdot 0,65 = 0,21 \text{ m}^2$  (van boven gezien), het oppervlakte van het perron is  $500 \text{ m}^2$ . Hieruit volgt dat de gevraagde kans,  $50 \cdot 0,21 / 500 = 0,021$  bedraagt. Voor de risico-zone is de kans verhoudingsgewijs kleiner, namelijk  $0,021 \cdot 0,02 = 4,2 \cdot 10^{-4}$ , waarbij 0,02 het deel van het oppervlakte is van de risico-zone gedeeld door het totale oppervlakte van het perron (Indien het voorwerp buiten het gebouw zou vallen, dan zouden er alleen in de gevarenzone letsel en extra kosten de gevolgen zijn. Echter, de oppervlakte is daar  $1 \cdot 10 \cdot 2 = 20 \text{ m}^2$ ;  $20/1000 = 0,2$ ).

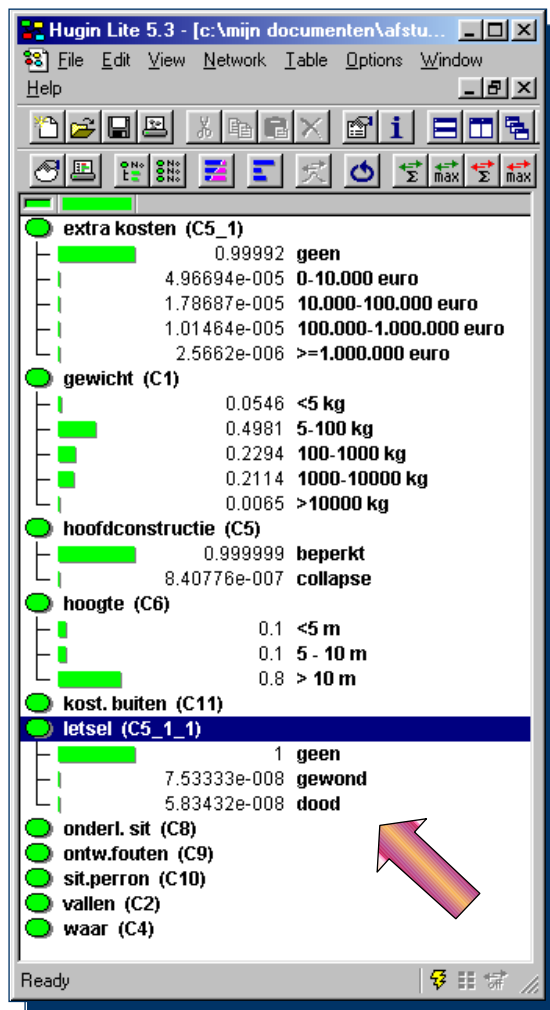
□ *Kosten*

Voor de kosten worden dezelfde states gebruikt. Opvallend is het feit dat er voldoende gewicht moet zijn van het vallend voorwerp, wil de spoorconstructie bezwijken. Als deze daadwerkelijk bezwijkt, zijn de gevolgen enorm. Immers, het aanleggen van één kilometer spoor kost ca. € 10 miljoen, inclusief de bovenleiding en de seinnetwerken. Voor het stuk met een lengte van 50 meter komt dat uit op ongeveer € 1 miljoen, inclusief seinwerking, bovenleiding etc.

<sup>13)</sup> Bron: Hansen, I., *Collegedictaat Ctvk3040 Verkeer Deel B*, Technische Universiteit Delft, januari 1999.

Indien een treinstel volledig total loss verklaard zou worden, zijn de kosten per treinwagon ongeveer € 1,75 miljoen<sup>14)</sup>. Hierbij komen de kosten van de vertraging en mogelijke afzetting van het spoor. Dit betekent dat bij een collapse de grootste kosten kunnen optreden. Ook in dit geval wordt een reductie toegepast voor de eerder genoemde risico-zone.

### 10.3.2 Uitwerking



Hiernaast is de uitvoer weergegeven voor het bouwen boven rail-infrastructuur van het programma Hugin Lite. Ook hier zijn zowel de kans op letsel als de kans op extra kosten voor derden te zien.

De kans dat een reiziger een letsel oploopt van dodelijke aard is gelijk aan  $5,83 \cdot 10^{-8}$ . Op het station bevinden zich 250 mensen. Middels deze gegevens kan met dezelfde formule van paragraaf 10.2 de verwachtingswaarde voor een dode worden bepaald, namelijk:

$5,83 \cdot 10^{-8} \cdot 250 \cdot 91550 = 1,33$ . Het aantal gewonden kan op een soortgelijke manier worden bepaald, deze bedraagt 1,72.

Figuur 10.4: Uitvoer; bouwen boven rail-infrastructuur..

<sup>14)</sup> Bron: NedTrain, Utrecht; mondelinge communicatie.

Uit de uitvoer kunnen eveneens de verwachte kosten bepaald worden:

Kosten	Kans per handeling	Klassemidden	Risico per handeling
geen	0,99992	0	0
≤ € 10.000	$4,97 \cdot 10^{-5}$	5000	0,25
€ 10.000 - € 100.000	$1,79 \cdot 10^{-5}$	50000	0,90
€ 100.000 - € 1.000.000	$1,01 \cdot 10^{-5}$	500000	5,05
≥ € 1.000.000	$2,57 \cdot 10^{-6}$	2000000	5,12

Tabel 10.2: De verwachte kosten voor het bouwen boven rail-infrastructuur.

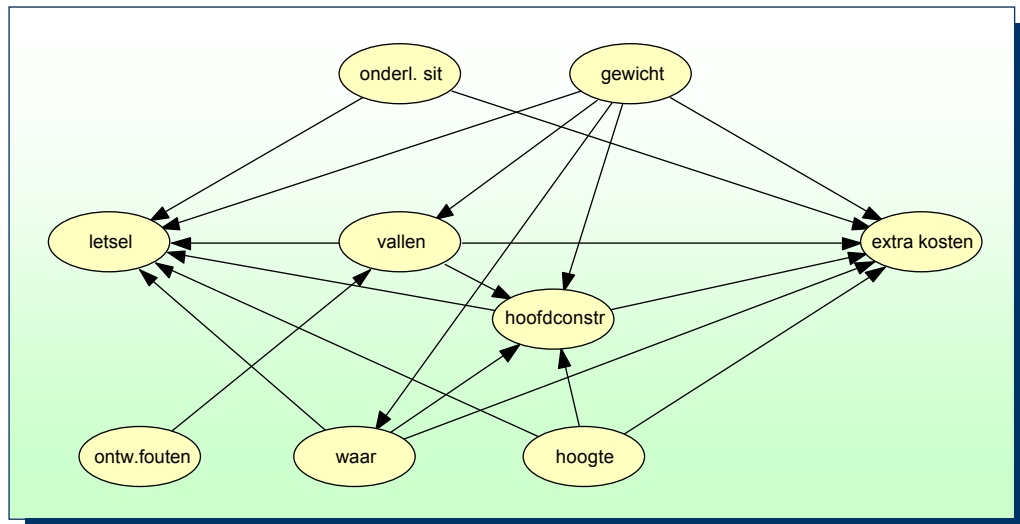
Het totale risico vermenigvuldigd met het aantal handelingen (91550) geeft de totale risico van het project, deze is approximatief € 1.035.750,=.

## 10.4 Bouwen over een gebouw

### 10.4.1 Inleiding

Voor het bouwen over een gebouw geldt er een andere situatie dan voor het bouwen over weg- en rail-infrastructuur. In dit deel van de studie wordt aangenomen dat hetzelfde gebouw gebouwd wordt over een hal, met afmetingen even groot als het oppervlakte van één verdiepingsvloer van het te bouwen gebouw (20·50m<sup>2</sup> en 5 meter hoog).

In dit geval is het volgende Bayesiaans Netwerk van toepassing:



Figuur 10.5: Bayesiaans Netwerk voor het bouwen boven gebouwen.

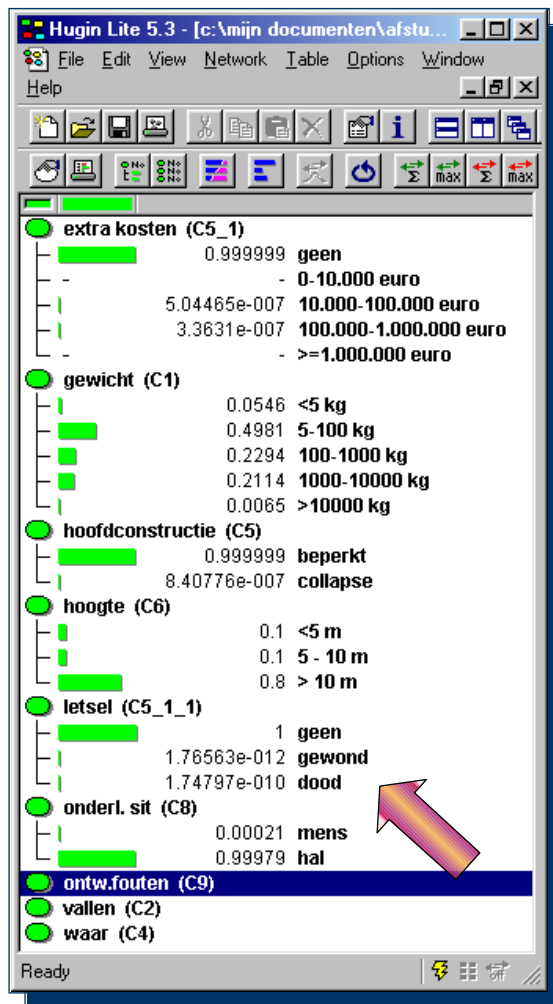
Het grote verschil met de voorafgaande modellen is de onderliggende situatie, deze is van gesimplificeerde vorm in vergelijking tot de andere twee. Schade en letsel aan derden kan enkel optreden indien het voorwerp binnen zou vallen en vervolgens de hoofdconstructie van het (nieuwe) gebouw doet bezwijken.

Als dit ongeval plaats zou vinden, dan zou dat ernstige gevolgen hebben voor de mensen die zich bevinden in die hal. In de meeste gevallen leidt zulk een ongeval tot dodelijk letsel en schade.

Aangenomen wordt dat in de hal 50 personen werkzaam zijn (0,025 persoon per vierkante meter). Uit dit gegeven is de verdeling te bepalen van de onderliggende situatie, dit geschiedt op dezelfde manier als bij het bouwen over weg- en rail-infrastructuur.

Verder zijn dezelfde nodes gehanteerd als bij het bouwen over weg- en rail-infrastructuur.

### 10.4.2 Uitwerking



Figuur 10.6: Uitvoer voor het bouwen boven een gebouw.

Hiernaast is de uitvoer van het programma Hugin Lite weergegeven voor het bouwen boven het gebouw. Ook hier zijn zowel de kans op letsel als de kans op extra kosten voor derden af te lezen.

De kans dat een persoon letsel oploopt van dodelijke aard is gelijk aan  $1,75 \cdot 10^{-10}$  (per handeling). In het gebouw bevinden zich 50 mensen. Middels deze gegevens kan middels de formule van paragraaf 10.2 de verwachtingswaarde voor een dode worden bepaald, namelijk:

$1,75 \cdot 10^{-10} \cdot 50 \cdot 91550 = 8,0 \cdot 10^{-4}$ . Het aantal gewonden kan op een soortgelijke manier worden bepaald, deze bedraagt:  $8,0 \cdot 10^{-6}$ . Dit is zeer laag in vergelijking met de andere twee vormen van overbouwen. Eigenlijk is dat logisch, want er lopen heel weinig mensen rond in dat gebouw. De onderliggende situatie is in dit geval veel gunstiger voor de veiligheid.

De verwachte kosten kunnen als volgt worden bepaald:

Kosten	Kans per handeling	Klassemidden	Risico per handeling
geen	0,999999	0	0,00
≤ € 10.000	0	5000	0,00
€ 10.000 - € 100.000	$5,04 \cdot 10^{-7}$	50000	0,03
€ 100.000 - € 1.000.000	$3,36 \cdot 10^{-7}$	500000	0,17
≥ € 1.000.000	0	2000000	0,00

Tabel 10.3: De verwachte kosten voor het bouwen boven het gebouw.

Het totale risico vermenigvuldigd met het aantal handelingen (91550) geeft de totale risico van het project, deze is approximatief € 17.700,=.

## 10.5 Evaluatie

### 10.5.1 Resumé resultaten

Gesteld kan worden dat de kwantitatieve risico-analyse in de breedterichting in kaart is gebracht. Als laatste is het praktisch om een blik te werpen op en te bepalen of de uitgerolde waarden maatschappelijk acceptabel zijn.

Het volgende tabel geeft een korte samenvatting van de resultaten van de risico-analyse:

Vorm van overbouwen	Weg	Rail	Gebouw
Verwachte doden	1,65	1,33	$8,01 \cdot 10^{-4}$
Verwachte gewonden	5,46	1,72	$8,10 \cdot 10^{-6}$
Verwachte kosten	€ 945.000	€ 1.035.750	€ 17.700

Tabel 10.4: Risico-analyse samengevat.

Uit deze tabel kan geconcludeerd worden dat het bouwen over een gebouw de meest veilige vorm van bouwen is. Eigenlijk is dit fenomeen vanzelfsprekend, gezien het geringe aantal mensen en de geringe kans op bezwijken van het in bouw zijnde gebouw. De meest onveilige vorm van overbouwen is het bouwen boven bestaande weg-infrastructuur, dit is vooral te wijten aan vallende voorwerpen die buiten het gebouw vallen.

Opvallend is dat het bouwen over de weg meer dodelijk letsel met zich meebrengt dan het bouwen over het spoor. Dit heeft te maken met het feit dat bij het bouwen over weg-infrastructuur de verhouding van auto en weg (0,2-0,8) veel hoger is dan de verhouding persoon en perron (0,021-0,079). Ten tweede biedt de trein een grote bescherming voor een groot aantal mensen.

Echter een vallend voorwerp op een auto leidt niet altijd tot de dood van de inzittenden. De auto en ook de trein vormen een beschermingslaag voor de personen. Derhalve is de verhouding van de verwachte doden en gewonden bij weg-infrastructuur kleiner dan bij rail-infrastructuur. De mensen die zich op het perron bevinden bij het bouwen over rail-infrastructuur zijn kwetsbaar, daarom is de verwachting voor het aantal doden en gewonden nagenoeg in dezelfde orde grootte. Een voorwerp dat valt op een persoon die zich op het perron bevindt, zal eerder tot de dood leiden.

De verwachte kosten (risico) voor het bouwen boven het spoor zijn iets hoger dan bij het bouwen over wegen.

### 10.5.2 Individuele risico-acceptatie

Nu er uitspraken gedaan zijn omtrent de tot nu toe bereikte resultaten, kunnen de risico's getoetst worden aan de acceptatie-normen die reeds behandeld zijn in de literatuurstudie. Zoals beschreven in de literatuurstudie (paragraaf 3.7.4) is de individuele risico-acceptatie met de volgende formule te toetsen

$$\Delta P \leq \beta_r \cdot 10^{-4}$$

Hierin is  $\Delta P$  gelijk aan de toename van de kans op overlijden van één persoon per jaar.

$\Delta P$  is als volgt te bepalen:

$$\Delta P = t_{\text{per keer}} \cdot \{\text{aantal passages per jaar}\} \cdot \{P(\text{dodelijke slachtoffer per handeling})\} \cdot \{\text{aantal handelingen per jaar}\} / \text{tijd}.$$

Hierin is

$t_{\text{per keer}}$	de tijdsduur per keer van een bepaalde persoon die zich op de plaats van het ongeluk bevindt [s].
tijd	de tijdsduur van één jaar [s]

De  $\Delta P$  is maatgevend voor de deelnemers die de desbetreffende plaats het meest passeren per jaar. Dit zijn de regelmatige deelnemers, die elke dag naar hun werk gaan.

#### □ *Bouwen over Weg-infrastructuur*

Bij dit onderzoek wordt gesteld dat  $\beta = 0,01$ , in verband met een onvrijwillig activiteit. Als voorbeeld wordt de verkeerssituatie van de Utrechtse Baan aangenomen ter hoogte van de Malie-toren<sup>15)</sup>. Door de week en in het weekend rijden er respectievelijk 75.000 en 50.000 auto's per dag.

<sup>15)</sup> Bron: Gemeente Den Haag, Afdeling Economie en Verkeer, Dienst Stedelijke Ontwikkeling; mondelinge communicatie.

Voor de regelmatige deelnemers wordt aangenomen dat deze 2 keer per dag 45 werkweken per jaar de weg passeren. Bij de invoer van het Bayesiaans Netwerk is de verhouding weg:auto aangehouden als 0,2:0,8. Nu wordt aangenomen dat de snelheid van een auto  $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  is. De afgelegde weg (onder het gebouw) is gelijk aan de som van de lengte van het gebouw, de lengte van de auto en de lengte van de risico-zones:  $50+5+2= 57 \text{ m}$ . Verder wordt aangenomen dat er per jaar 50 weken gewerkt wordt. Hieruit is de tijdsduur te bepalen van het eenmaal passeren van het gebouw door een bepaalde persoon:

$$t_{\text{per keer}} = 57/(40/3,6) = 5 \text{ seconde.}$$

$$\text{Aantal passages per jaar} = \{\text{werkweken}\} \cdot \{\text{werkdagen per week}\} \cdot \{\text{aantal passages per dag}\} = 45 \cdot 5 \cdot 2 = 450.$$

Deze gegevens kunnen ingevuld worden in de formule:

$$\Delta P = \frac{1}{2} t_{\text{per keer}} \cdot \{\text{aantal passages per jaar}\} \cdot \{P(\text{dodelijke slachtoffer per handeling})\} \cdot \{\text{aantal handelingen per jaar}\} / \text{tijd.}$$

De factor  $\frac{1}{2}$  is ingevoerd in verband met het aantal ingangen (twee richtingsverkeer) waardoor de auto het gebouw binnen kan gaan.

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 450 \cdot 9,24 \cdot 10^{-7} \cdot 91550 / (365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \leq 0,01 \cdot 10^{-4}$$

$$3,0 \cdot 10^{-6} \leq 1,0 \cdot 10^{-6} \quad \text{VOLDOET NIET!}$$

Hiermee kan gesteld worden dat het individuele acceptatie-norm enigszins wordt overschreden.

#### □ *Bouwen over Rail-infrastructuur*

Voor rail-infrastructuur wordt dezelfde berekening toegepast.

$$t_{\text{per keer}} = 4 \cdot 60 = 240 \text{ seconde.}$$

Aantal passages per persoon per jaar is in dit geval eveneens gelijk aan 450.

Deze gegevens kunnen ingevuld worden in de formule:

$$\Delta P = t_{\text{per keer}} \cdot \{\text{aantal passages per jaar}\} \cdot \{P(\text{dodelijke slachtoffer per handeling})\} \cdot \{\text{aantal handelingen per jaar}\} / \text{jaar.}$$

$$\Delta P = 240 \cdot 450 \cdot 5,83 \cdot 10^{-8} \cdot 91550 / (365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \leq 0,01 \cdot 10^{-4}$$

$$1,8 \cdot 10^{-5} \leq 1,0 \cdot 10^{-6} \quad \text{VOLDOET NIET!}$$



Wederom kan er gesteld kan worden dat het aantal doden bij een dergelijk project individueel niet acceptabel is. In dit geval is er een zware overschrijding van de norm.

#### □ *Bouwen over Gebouwen*

Voor het Bouwen over gebouwen kan dezelfde berekening worden toegepast. Het verschil met de vorige vormen van overbouwen is dat bij het bouwen over een gebouw mensen aanwezig zijn in het gebouw (hal), namelijk 8 uur per dag. Hierdoor zal de gebruikte formule voor de toename van de kans op letsel enigszins aangepast worden.

$$t_{\text{per keer}} = 8 \cdot 60 \cdot 60 = 28800 \text{ seconde.}$$

Aantal passages per jaar is in dit geval eveneens gelijk aan 450.

Deze gegevens kunnen ingevuld worden in de formule:

$$\Delta P = t_{\text{per keer}} \cdot \{\text{aantal passages per jaar}\} \cdot \{P(\text{dodelijke slachtoffer per handeling})\} \cdot \{\text{aantal handelingen}\} / \text{jaar.}$$

$$\Delta P = 28800 \cdot 450 \cdot 1,75 \cdot 10^{-10} \cdot 91550 / (365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \leq 0,01 \cdot 10^{-4}$$

$$6,6 \cdot 10^{-6} \leq 1,0 \cdot 10^{-6} \quad \text{VOLDOET NIET!}$$

Wederom kan er gesteld kan worden dat het aantal doden bij zulk een project persoonlijk niet acceptabel is.

### 10.5.3 Groepsrisico acceptatienorm

Tenslotte wordt de groepsrisico acceptatienorm behandeld. De groepsrisico acceptatienorm kan middels de formule voor de acceptabele kans dat iemand overlijdt berekend worden (zie paragraaf 3.7.3):

$$P(N_{dij} > n) = 1 - F_{N_{dij}}(n) \leq \frac{C_i}{n^2}$$

Voor alle n met

$$C_i = \left( \frac{\beta_i \cdot 100}{k \sqrt{N_a}} \right)^2$$

Een kanttekening bij het gebruik van deze formule, is dat deze formule eigenlijk toepasbaar is als er sprake is van een grote (nationale) ramp, waarbij  $n > 10$ . Bovendien is de formule geassocieerd met een theoretische kansdichtheidsfunctie en overschrijdingskromme van de gevolgen van een activiteit. Gesteld kan worden dat de gevolgen van falen niet exact bekend geval zijn. Om enige inzicht te verkrijgen in de acceptatie van het groepsrisico wordt deze formule toch toegepast. Als benadering wordt aangenomen dat  $n \cong E(n)$ .

In dit onderzoek is

$$\begin{aligned}\beta_i &= 0,01. \\ k &= 3. \\ N_a &= 1.\end{aligned}$$

Hiermee is  $C_i$  te berekenen:

$$C_i = \left( \frac{0,01 \cdot 100}{3\sqrt{1}} \right)^2 = 0,111$$

□ *Bouwen over Weg-infrastructuur*

De acceptabele kans dat iemand in een bepaald jaar overlijdt door het onvrijwillig deelnemen aan de activiteit waarbij er gebouwd over weg-infrastructuur bedraagt:

$$P(N_{dij} > n) = 1 - F_{N_{dij}}(1,65) \leq \frac{0,111}{1,65^2} = 0,041$$

De kans dat er een dode valt (zie figuur 10.1), verkregen uit Hugin Lite, is als volgt te bepalen:

$$P(\text{dood}) = \{P(\text{dood per handeling})\} \cdot \{\text{aantal handelingen}\} = 9,24 \cdot 10^{-7} \cdot 91550 = 0,085.$$

$$0,085 \leq 0,041 \quad \text{VOLDOET NIET!}$$

Hiermee kan gesteld worden dat het bouwen over weg-infrastructuur maatschappelijk niet acceptabel is.

□ *Bouwen over Rail-infrastructuur*

Voor het bouwen over rail-infrastructuur wordt dezelfde berekeningswijze toegepast. De acceptabele kans dat iemand in een bepaald jaar overlijdt door het onvrijwillig deelnemen aan een activiteit waarbij gebouwd wordt over rail-infrastructuur bedraagt:

$$P(N_{dij} > n) = 1 - F_{N_{dij}}(1,65) \leq \frac{0,111}{1,33^2} = 0,063$$

De kans dat er een dode valt (zie figuur 10.2), verkregen uit Hugin Lite, is in dit geval:

$$P(\text{dood}) = \{P(\text{dood per handeling})\} \cdot \{\text{aantal handelingen}\} = 5,83 \cdot 10^{-8} \cdot 91550 = 5,34 \cdot 10^{-3}$$

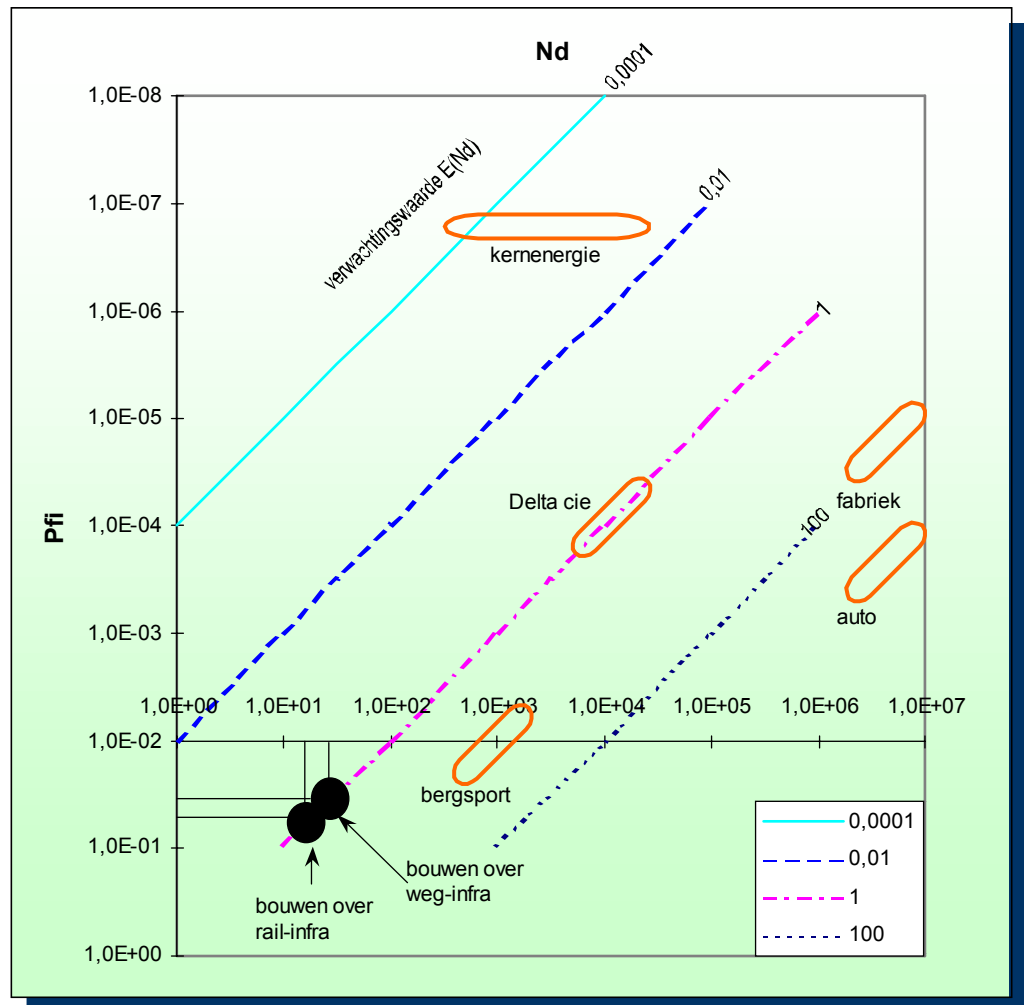
$$5,34 \cdot 10^{-3} \leq 0,063 \quad \text{VOLDOET!}$$

Hiermee kan gesteld worden dat het bouwen over rail-infrastructuur maatschappelijk acceptabel is.

Voor het bouwen over bestaande gebouwen is deze toets zinloos, want de noemer van de formule is heel klein, waardoor de acceptabele kans zeer groot zal worden.

#### 10.5.4 Positie projecten Meervoudig Ruimtegebruik

Om een algemeen beeld te geven omtrent de positie van projecten waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik in vergelijking met overige activiteiten in Nederland is de volgende figuur 10.7 van toepassing. Op de verticale as staat de kans op een ongeval per systeem en op de horizontale as het aantal doden dat valt als de kans op een ongeval 1,0 is [Vri1997].



Figuur 10.7: De positie van de activiteiten.

Hiermee komt een eind aan de (kwantitatieve) risico-analyse. Gezien het bouwen over de weg individueel en maatschappelijk niet acceptabel is, is het de bedoeling dat hieraan iets gedaan wordt. Getracht wordt aan deze eisen te voldoen middels de optimalisatie. Met behulp van deze gegevens kan de optimalisatie-fase worden ingegaan. Dit zal in het volgend hoofdstuk daadwerkelijk gebeuren.

# H O O F D S T U K 1 1

## 11 OPTIMALISATIE

---

### 11.1 Inleiding

Met dit hoofdstuk wordt de laatste fase ingegaan van het onderzoek, te weten de optimalisatie. De doelstelling van dit onderzoek was voor een deel toegewijd aan economische optimalisatie waarbij de maatschappelijke grenzen niet overschreden mogen worden. De optimalisatie zal zich toespitsen op het bouwen boven bestaande wegen. In het eerste gedeelte van dit hoofdstuk worden een aantal maatregelen opgesteld die voldoen aan de doelstelling.

Maatregelen zijn hulpmiddelen om (grote) risico's te verkleinen, waardoor de bouwveiligheid toeneemt. In het kader van dit onderzoek zijn de gevolgen: slachtoffers en economische schade. De maatregelen die opgesteld worden, hebben te maken met deze twee topgebeurtenissen. Vervolgens zullen deze maatregelen getoetst worden en tenslotte zal naar het effect bekeken worden. Hierbij zal eveneens het al eerder gebruikte software-programma *Hugin Lite* aan bod komen.

De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt: Allereerst wordt de algemene gang van zaken behandeld (*paragraaf 11.2*) omtrent de veiligheidsniveau's in de veiligheidskunde. Deze wordt gevolgd door de gevoeligheidsanalyse voor de desbetreffende variabelen (*paragraaf 11.3*). Vervolgens worden er maatregelen opgesteld in kwantitatieve zin (*paragraaf 11.4*). In *paragraaf 11.5* worden deze maatregelen uitgewerkt c.q. gekwantificeerd. Vervolgens worden de resultaten van de optimalisatie gepresenteerd in *paragraaf 11.6*. Tenslotte zullen in *paragraaf 11.7* de oplossingen aangedragen worden vanuit de optiek van een besluitvormer.

## 11.2 Veiligheidsniveau's

De problematiek van veiligheid en hinder bij de uitvoering van bouwprojecten waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik, blijkt zich vooral toe te spitsen op de beheersing van het risico van vallende elementen boven de openbare weg.

Het vakgebied van de veiligheidskunde [Mei2000] bekijkt het "valscenario" vanuit een andere optiek. Binnen de veiligheidskunde worden vier niveaus van maatregelen onderscheiden.

*0<sup>e</sup>-orde: Het totaal elimineren van het (maatschappelijk) gevolg.*

Dit komt neer op het volledig afsluiten van de weg tijdens hijswerkzaamheden.

*1<sup>e</sup>-orde: Het rechtstreeks beveiligen van de oorzaak van de kans.*

Dit zijn zogenaamde toegevoegde maatregelen bij het hijsen zoals het versterken en toevoegen van hijsogen in de elementen, het versterken van kabels, het certificeren van de kraan etc.

*2<sup>e</sup>-orde: Het nemen van indirecte veiligheidsmaatregelen.*

Bij deze maatregelen wordt geaccepteerd dat er een kans bestaat dat er iets valt. De maatregelen zijn gericht op de bescherming tegen de gevolgen van het vallen van elementen. Hiertoe behoort onder meer een opvangconstructie.

*3<sup>e</sup>-orde: Maatregelen ter bescherming van de gevolgen van een calamiteit.*

Er valt iets en er gebeurt een ongeluk. Er staat alvast een ambulance klaar voor de eventuele slachtoffers.

Niet alle genoemde niveaus van maatregelen zijn toepasbaar bij dit onderzoek. Teneinde te voldoen aan de 0<sup>e</sup>-orde maatregel is een en ander nodig tijdens de bouw en het ontwerp. In dit onderzoek zullen de maatregelen zich vooral toespitsen op de 0<sup>e</sup>, 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup>-orde maatregelen; 3<sup>e</sup>-orde maatregelen zijn niet van toepassing in het kader van dit onderzoek. De maatregelen die worden opgesteld zijn in de eerste plaats veranderingen in de aspecten waar de bouwveiligheid van afhangt. Deze zijn uitgebreid behandeld in hoofdstuk 6. In paragraaf 9.4.2 zijn deze aspecten zodanig opgezet dat deze de bouwstenen van het Bayesiaans Netwerk vormen. Bij het opstellen van maatregelen zullen de states van die bouwstenen betrokken worden.

De maatregelen die vervolgens kunnen worden opgesteld zijn als volgt op te sommen:

1. Configuratie van variabelen c.q. nodes van het Bayesiaans Netwerk;
2. Maatregelen met betrekking tot de uitvoeringsmethode;
3. Maatregelen met betrekking tot de beheersbaarheid van de onderliggende situatie tijdens de uitvoering.

De variabelen van de Bayesiaanse Netwerken van maatregelen 1 zijn voor een groot deel terug te vinden in maatregel 2 en 3. Deze maatregelen worden in de volgende paragrafen toegelicht, waarna deze in het vervolg geoptimaliseerd worden.

### 11.3 Gevoeligheidsanalyse

Voordat de maatregelen opgesteld c.q. uitgewerkt worden, dient gekeken te worden naar de dominante variabelen. Hierbij dient onder andere gekeken te worden naar de klassen behorende bij die variabelen. Hierdoor wordt als het ware een gevoeligheidsanalyse toegepast op de variabelen.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de meest belangrijke variabelen zijn:

Het aantal *handelingen bij de gewichtsklasse < 5 kg* zou gereduceerd moeten worden. Er blijkt dat indien het gebouw alleen zou bestaan uit elementen van < 5 kg de kans op een dode per handeling sterk toeneemt. In dit geval bedraagt deze  $1,38 \cdot 10^{-6}$  per handeling. In de onderstaande tabel is de kans op een dode weergegeven, indien het gebouw bestaat uit één bepaalde gewichtsklasse.

Aanvankelijk was deze kans  $9,2 \cdot 10^{-7}$ .

Element uit gewichtsklasse	Kans op een dode per handeling
< 5 kg	$1,38 \cdot 10^{-6}$
5 - 100 kg	$4,58 \cdot 10^{-7}$
100 - 1000 kg	$1,93 \cdot 10^{-6}$
1000 - 10000 kg	$3,35 \cdot 10^{-8}$
>10000 kg	$2,47 \cdot 10^{-5}$

Tabel 11.1: Kans op een dode per handeling indien een gebouw bestaat uit elementen van één bepaalde gewichtsklasse.

Uit deze tabel blijkt dat de kans op een dode sterk toeneemt indien het gebouw uit elementen bestaat uit de gewichtsklasse  $> 10000$  kg. Hieruit kan geconcludeerd worden dat elementen van de gewichtsklasse  $> 10000$  kg vermeden moeten worden. Met andere woorden: tijdens het hijsen van elementen van deze klasse is het verstandig dat het verkeer wordt omgeleid en de weg afgesloten. Elementen van de gewichtsklasse 100 - 1000 kg zijn eveneens elementen die het risico verhogen. Eigenlijk is dat logisch, omdat deze elementen zich in de risico-zone van het gebouw bevinden; het zijn afbouwelementen. De allerkleinste elementen, in de gewichtsklasse  $< 5$  kg, doen eveneens de kans op een dode te verhogen, omdat deze in grote getale aanwezig zijn.

Het al dan niet *bezwijken van de hoofddraagconstructie* levert nauwelijks een bijdrage aan de kans op een slachtoffer met dodelijke afloop. Indien de hoofddraagconstructie niet bezwijkt wordt de kans op een dode gelijk aan  $7,6 \cdot 10^{-7}$ ; significant is dat niet verschillend met de vorige situatie ( $9,2 \cdot 10^{-7}$ ).

Afname van de *hoogte van het gebouw* betekent sowieso minder handelingen, wat gunstig is voor de kans op een slachtoffer met dodelijke afloop. Echter, dit is een vast gegeven bepaald door de architect en kan zodoende niet geoptimaliseerd worden.

Zodoende zijn de *geometrie* en *de dimensies van het gebouw* aspecten die vergroot c.q. verkleind kunnen worden, maar deze zijn in de ontwerpfase gefixeerd. Het vergroten van de breedte en de lengte van overbouwen werkt negatief op het verwachte aantal slachtoffers. Het verkleinen van het overbouingsoppervlak resulteert in afname van het aantal handelingen, afname in het aantal auto's die onder het gebouw rijden tijdens een ongeluk en ook dus een afname in de faalkans. Echter dit is geen maatregel en kan dus niet worden geoptimaliseerd. Nogmaals: het ontwerp staat grotendeels vast in de ontwerpfase.

We bekijken de optie om de weg af te sluiten. Hierdoor verandert de *onderliggende situatie* zodanig dat er geen slachtoffers vallen bij het vallen van elementen. Indien er zich geen autoverkeer onder het in aanbouw zijnde gebouw bevindt, dan is de verhouding auto:weg = 0:1. De kans op een dode is uiteraard 0. Tijdens een file kan deze verhouding veranderen tot 0,4:0,6. De kans op een dode neemt toe, want de kans dat het vallend element een auto raakt, neemt toe. Bovendien bevinden zich tijdens het ongeluk meer 2 keer zoveel auto's, dus meer 2 keer zo veel mensen onder het gebouw tijdens een ongeluk. Hierdoor neemt het verwachte aantal doden tijdens een ongeluk toe. Het verwachte aantal doden tijdens een ongeluk tijdens een file kan oplopen tot 6,6. Dit is absoluut onverdraaglijk volgens de maatschappelijke en individuele acceptatienormen. Bij het opstellen van de maatregelen is de onderliggende situatie een belangrijke parameter die beheerst kan worden. Men zal er voor zorgen zo min mogelijk auto's zich onder de oppervlakte van het gebouw bevinden.

De node *ontwerpfouten* doet de kans op een slachtoffer met dodelijke afloop significant nauwelijks veranderen. Derhalve zal in het vervolg dit aspect achterwege worden gelaten. Indien er geen ontwerpfouten worden gemaakt, dan blijkt de kans op een dode slechts te veranderen in  $9,0 \cdot 10^{-7}$ . Dit is eveneens niet het aspect waar gezocht naar moet worden in de optimalisatie.

Tevens is het interessant om een blik te werpen op de situatie waarbij vallende elementen getolereerd worden, echter de *plaats van de vallende elementen* kan eveneens bepalend zijn voor de kans op een slachtoffer met dodelijke afloop. Indien het voorwerp binnen zou vallen, dan wordt het aantal slachtoffers gereduceerd. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt eveneens dat vallende elementen in de risico-zones de grootste invloed uitoefenen op de uitkomst van het verwachte aantal doden en de verwachte kosten. Indien alle voorwerpen binnen respectievelijk buiten het gebouw zouden vallen dan zou de kans op een dode gelijk zijn aan  $3,87 \cdot 10^{-7}$  respectievelijk  $1,16 \cdot 10^{-5}$ . Dit betekent dat elementen die buiten vallen (vooral in de risico-zones), de veiligheid van derden in gevaar brengen. Elementen die binnen het gebouw vallen kunnen alleen de derden bereiken indien de hoofdconstructie zou bezwijken.

Voor het opstellen van maatregelen worden de eigenschappen van de gevoeligheidsanalyse meegenomen.



## 11.4 Opstellen maatregelen

De drie hoofdmaatregelen komen in deze paragraaf aan bod. De nadruk zal liggen op de 2<sup>e</sup> en de 3<sup>e</sup> maatregel, namelijk maatregelen m.b.t. de uitvoeringsmethoden en de beheersbaarheid van de onderliggende situatie tijdens de uitvoering. In dit stuk kan bekeken worden of er voordelen te behalen zijn voor het veiligheidsaspect, zodanig dat de verwachte schade geminimaliseerd kan worden indien er een andere methode van bouwen wordt toegepast. Uitgebreid krijgt het aantal handelingen de prioriteit, maar ook de volgorde van bouwen zal aan bod komen. De situatie bouwen over weg-infrastructuur zal uitgewerkt worden.

Waar mogelijk zal altijd geprobeerd worden om de opvangvloer te integreren in de constructie. Het verwijderen van een dergelijk vloer neemt kosten met zich mee. De volgende maatregelen worden verder uitgewerkt:

1. Een zware betonvloer onder het totale oppervlakte van het gebouw;
2. Een zware betonvloer alleen in de risico-zone;
3. Een lichte plaatvloer alleen in de risico-zone;
4. Het uitvoeren van het project in de nacht (in plaats van overdag);
5. De afsluiten van de weg en het omleiden van het verkeer tijdens het project;
6. Het pompen van beton voor vloeren (in plaats van kanaalplaatvloeren);
7. COMBI maatregel 2 & 6.

De maatregelen zijn opgesteld in overleg met deskundigen op het gebied van de uitvoering. Hierbij zijn onder andere gesprekken gevoerd met ing. P. Kauffman (veiligheidsadviseur Equinox-gebouw, DVP) en ing. H. Zuidwijk (hoofdconstructeur Equinox-gebouw, D3BN). Getracht is om enige gradiënt aan te brengen bij het opstellen van de maatregelen.

Overigens dient er te worden opgemerkt dat maatregel 4 (uitvoeren project in de nacht) en maatregel 5 (afsluiten weg en omleiden verkeer) geen constructieve maatregelen zijn, doch maatregelen van organisatorische aard.

## 11.5 Uitwerking en kwantificering maatregelen

### 11.5.1 Bepaling kosten-parameters

De uitwerking van de maatregelen geschiedt als volgt: Per maatregel wordt een korte toelichting gegeven op de aanpassingen in het Bayesiaans Netwerk. Vervolgens worden de investeringskosten die de uitvoering van die maatregel mogelijk maken, berekend. Aangezien de doelstelling het optimaliseren van maatschappelijke en economische schade is, worden deze twee aspecten apart uitgewerkt. Overigens hoeft er geen rekening gehouden worden met Netto Contante Waarden, want de duur van het project is één jaar.

De maatregelen die in de vorige paragraaf zijn opgesteld worden gemodelleerd in Hugin Lite. Hieruit is de faalkans af te lezen.

In zijn algemeenheid worden de investeringskosten bepaald op basis van:

- Arbeid;
- Materiaal;
- Materieel;
- Overige kosten (afsluitingen, omleidingen etc.).

Deze kosten worden berekend op basis van het aanbrengen c.q. verwijderen van permanente en tijdelijke hulpconstructies. Per constructie wordt bekeken hoeveel arbeidskrachten, materiaal en materieel benodigd is om deze aan te brengen.

Her en der zijn aanpassingen noodzakelijk op het gebied van risico-bepaling, teneinde de optimalisatie te voltooien. Eén van die aanpassingen is dat het verwachte aantal gewonden geconverteerd moet worden in geld (€). Berekend kan worden hoeveel werktijd iemand gemiddeld verliest door het ziekteverzuim. Hiervoor is aangenomen dat dit approximatief<sup>16)</sup> € 5.000,= per persoon bedraagt. Het verwachte aantal doden is (ethisch) niet altijd omzetbaar in een geldbedrag. Immers, wat is de waarde van een mensenleven?

Voor het arbeidsloon<sup>17)</sup> van een bouwvakker wordt € 35,= per uur gehanteerd (overdag) en in de nacht zijn de arbeidskosten 2 keer zo hoog.

Voor de afsluitingskosten<sup>18)</sup> wordt per nacht een bedrag van € 5.000,= in rekening gebracht voor de gemeente.

Het risico (verwachte kosten) is te berekenen middels de uitvoer van Hugin Lite. De verwachte kosten, verkregen uit Hugin Lite, en de verwachte gewonden geconverteerd in geld leveren de totale kosten van die maatregel. Als eerste wordt de nulsituatie (maatregel 0) meegenomen in de afwegingsfactor in de optimalisatie.

Het totale kostenplaatje per maatregel is in bijlage 10 opgenomen.

In deze paragraaf, en ook in het kader van dit onderzoek, is het niet de bedoeling dat er gekeken wordt naar de constructieve uitwerking, doch de kosten verdienen hier de prioriteit. De kosten zijn grotendeels bepaald op basis van de prijzenlijst van D3BN [D3B2001].

---

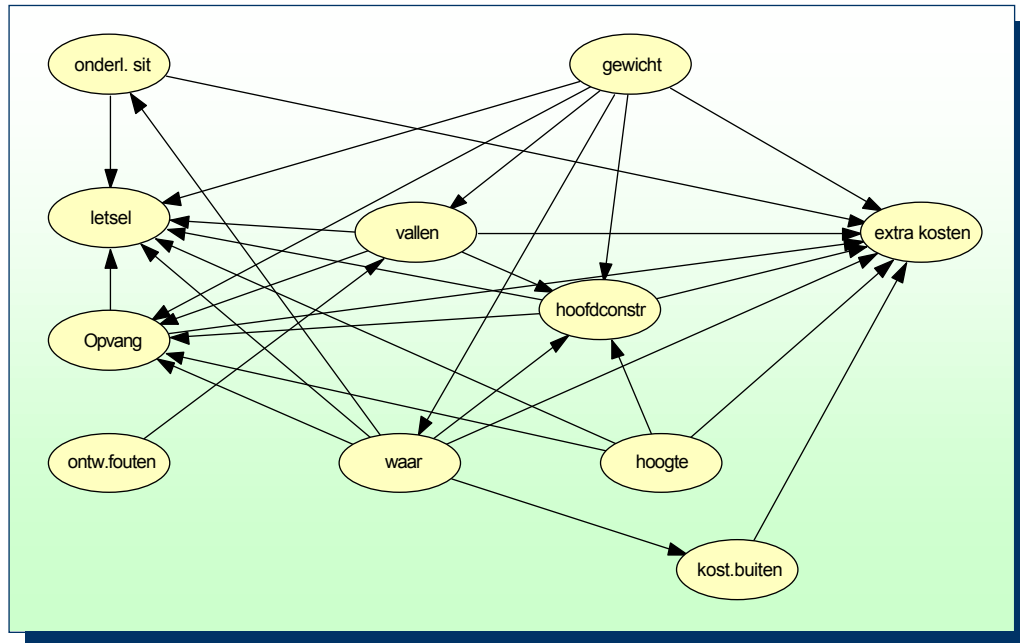
<sup>16)</sup> Bron: Dr.ir.P.H.Waarts, TNO-bouw; mondelinge communicatie.

<sup>17)</sup> Bron: Economisch Instituut Bouwnijverheid; mondelinge communicatie.

<sup>18)</sup> Bron: ing. P.V. Kauffman, DVP; mondelinge communicatie.

### 11.5.2 Veranderingen in het Bayesiaans Netwerk

De opgestelde maatregelen hebben betrekking op het aanbrengen van een Opvangvloer/noodviaduct. Deze wordt met de node *opvang* in het Bayesiaans Netwerk geïntegreerd. In dit geval ziet het Bayesiaans Netwerk er als volgt uit:



Figuur 11.1: Bayesiaans Netwerk indien een opvangvloer wordt toegepast.

Zoals te zien is de node *opvang* eveneens afhankelijk van een aantal andere nodes, te weten:

- Hoogte;
- Gewicht;
- Vallen;
- Hoofddraagconstructie;
- Waar.

Uiteraard heeft deze node (*opvang*) invloed op de nodes *kosten* en *letsel*.

De node *opvang* kent twee klassen, te weten:

1. Erop;
2. Door (erdoorheen).

Ad 1 Hierbij blijft het vallend voorwerp op de opvangvloer liggen.

Ad 2 Hierbij valt het voorwerp erdoorheen, waardoor hij op de weg of de daaronderrijdende auto's, afhankelijk van de situatie, terecht kan komen.

De opvangvloer bevindt zich op 5 meter hoogte ten opzichte van het maaiveld; dit gegeven is in Hugin Lite gemodelleerd. Dit is tevens de onderkant van het gebouw. Vallende elementen van de gewichtsklasse > 10.000 kg gaan pertinent door de opvangvloer, ongeacht van welke hoogte ze vallen (in ieder geval > 5 meter, in verband met de hoogteligging van de opvangvloer). Voor de volledige waarschijnlijkheidstabellen per maatregel wordt verwezen naar de bijlagen 7 t/m 9.

## 11.6 Resumé resultaten

### 11.6.1 Economische resultaten

Gesteld kan worden dat de optimalisatie in kaart is gebracht. Teneinde inzicht te verkrijgen in het verschil in uitkomsten per maatregel en vervolgens de optimalisatie te voltooien, wordt in deze paragraaf het resultaat van alle maatregelen in één diagram gegeven. Voor de volledige resultaat wordt verwezen naar bijlage 10. Allereerst de financiële resultaten:

Maatregel	Investeringskosten	Risico	Totale kosten
0: Nulsituatie	-	€ 972.430	€ 972.430
1: Een zware betonvloer onder gebouw	€ 329.860	€ 767.097	€ 1.096.957
2: Een zware betonvloer in risico-zone	€ 111.450	€ 772.504	<b>€ 883.954</b>
3: Een lichte plaat in risico-zone	€ 78.450	€ 846.242	€ 924.692
4: Uitvoeren project in de nacht	€ 1.750.000	€ 952.524	€ 2.702.524
5: Afsluiten weg en omleiden verkeer	€ 4.093.750	€ 951.159	€ 5.044.909
6: Pompen beton	€ 100.000	€ 892.741	€ 992.741
7: COMBI 2&6	€ 211.450	€ 695.431	€ 906.881

Tabel 11.2: De totale kosten per maatregel.

### 11.6.2 Maatschappelijke resultaten

Het verwachte aantal dodelijke slachtoffers per maatregel per bouw is in de onderstaande tabel weergegeven.

Maatregel	E(N <sub>d</sub> )
0: Nulsituatie	1,65
1: Een zware betonvloer onder gebouw	0,69
2: Een zware betonvloer in risico-zone	0,72
3: Een lichte plaat in risico-zone	0,77
4: Uitvoeren project in de nacht	0,01
5: Afsluiten weg en omleiden verkeer	<b>0</b>
6: Pompen beton	1,63
7: COMBI 2&6	0,67

Tabel 11.3: Verwachte dodelijke slachtoffers per maatregel (per bouw).

## 11.7 Besluitvorming op basis van optimalisatie

### 11.7.1 Inleiding

Zoals beschreven in de literatuurstudie, berust de economische optimalisatie op het minimum van de totale kosten. In dit geval is de functie van (totale) kosten discreet. Niettemin zijn de maatregelen enigszins in gradiënt opgesteld, waardoor de functie van de kosten een continue verloop aanhoudt. Qua kosten is het voor de hand liggend dat maatregel 2 de meest optimale is. De investeringskosten en het risico bedragen voor deze maatregel respectievelijk € 111.450,= en € 772.504,=.

Voor de maatschappelijke optimalisatie is het van belang om te kijken naar de minimumwaarde van het verwachte aantal dodelijke slachtoffers. Logischerwijs is dit het geval indien de weg wordt afgesloten en het verkeer wordt omgeleid (maatregel 5), want hier is geen sprake van derden die (onvrijwillig) aan het project deelnemen, hoewel de investeringskosten van deze organisatorische maatregel zeer hoog zijn. Bij de niet organisatorische maatregelen, is uit de optiek van maatschappelijke optimalisatie maatregel 7 de meest optimale.

### 11.7.2 Toetsing risico-acceptatie normen

Allereerst moet worden gekeken of het bouwen over weg-infrastructuur maatschappelijk acceptabel is met de maatregelen die niet organisatorisch van aard zijn, in het bijzonder maatregel 7. De al eerder gebruikte formule geldt nog steeds.

#### □ *Individuele risico-acceptatie*

Zoals eerder beschreven (zie paragraaf 10.5.2), is de individuele risico-acceptatie met de volgende formule te toetsen

$$\Delta P \leq \beta_i \cdot 10^{-4}$$

$\Delta P$  kan middels de volgende formule worden berekend:

$$\Delta P = \frac{1}{2} t_{\text{per keer}} \cdot \{\text{aantal passages per jaar}\} \cdot \{P(\text{dodelijke slachtoffer per handeling})\} \cdot \{\text{aantal handelingen per jaar}\} / \text{tijd.}$$

Ook in dit geval geldt:

$$t_{\text{per keer}} = 5 \text{ seconde.}$$

Het aantal passages per jaar is eveneens gelijk aan 450.

Ingevuld in de bovenstaande formule geeft het volgende resultaat:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 500 \cdot 4,38 \cdot 10^{-7} \cdot 78950 / (365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \leq 0,01 \cdot 10^{-4}$$

$$1,2 \cdot 10^{-6} \approx 1,0 \cdot 10^{-6} \quad \text{VOLDOET!!!}$$

Er kan gesteld worden dat maatregel 7, het plaatsen van een betonvloer in de risico-zone en het pompen van beton, voldoet aan de individuele risico-acceptatienorm. Dit is te danken aan de afname in het aantal handelingen. Bovendien is de kans op een dodelijke slachtoffer afgenomen. Overigens dient te worden opgemerkt dat er weinig speling is om te voldoen aan deze acceptatienorm. Immers, er hoeft maar een parameter (bijv. aantal kandelingsen) opgekrikt te worden of deze norm wordt overschreden.

De  $\Delta P$  was voor de nulsituatie was gelijk aan  $3,0 \cdot 10^{-6}$  (zie paragraaf 10.5.2). Middels de optimalisatie is deze veranderd in  $1,2 \cdot 10^{-6}$ ; dit is een verbetering van een factor drie. Desalniettemin is deze verbetering niet van voldoende grootte. Voor de risico-analysten is er pas dan sprake van een substantiële vooruitgang, indien er sprake is van een verschil van een factor  $\geq 10$ . De optimalisatie bij maatregel 7 blijkt dus nauwelijks tot verbetering van het resultaat te leiden, aangezien het verschil voor risico-analysten verwaarloosbaar klein is. Deze verbetering is gering ten opzichte van de nulsituatie, omdat het risico van het vallen van grote, zware elementen zwaarder weegt in de kans op een dodelijke slachtoffer per handeling dan het risico van het vallen van kleine, lichte objecten. Dit was tevens één van de resultaten van de gevoeligheidsanalyse (paragraaf 11.3). Tevens kan de marginale vooruitgang het resultaat zijn van de bepaling van de kansen (bijv. voor de node opvangvloer) door de risico-analyst. Bovendien wordt het psychologisch effect van de bestuurder op de weg weggenomen middels het toepassen van een opvangvloer.

#### □ Groepsrisico acceptatienorm

Teneinde de groepsrisico te toetsen aan de acceptatienormen kan de formule van paragraaf 10.5.3 gebruikt worden. Ook hier gelden dezelfde kanttekeningen als bij hoofdstuk 10.

$C_i$  is in dit geval ook gelijk aan 0,111.

De acceptabele kans dat iemand in een bepaald jaar overlijdt door het onvrijwillig deelnemen aan de activiteit waarbij er gebouwd over weg-infrastructuur bedraagt:

$$P(N_{dij} > n) = 1 - F_{N_{dij}}(0,67) \leq \frac{0,111}{0,67^2} = 0,25$$

De kans dat op een dodelijke slachtoffer per jaar is, verkregen uit Hugin Lite:

$$P(\text{dodelijke slachtoffer}) = \{P(\text{dodelijke slachtoffer per handeling})\} \cdot \{\text{aantal handelingen}\} = 4,38 \cdot 10^{-7} \cdot 78950 = 0,035.$$

$$0,035 \leq 0,25 \quad \text{VOLDOET!!!}$$

Gezien het feit dat deze maatregel voldoet aan de maatschappelijke acceptatienormen, onder te verdelen in de individuele- en groepsrisico, kan er gesteld worden dat deze maatregel aan te raden is bij het bouwen over weg-infrastructuur.

### 11.7.3 Economische optimalisatie vs maatschappelijke criteria

Nu stuiten we op een aantal dilemma's, te weten: economisch is het aantrekkelijk om maatregel 2 toe te passen, waarbij de verwachte doden en de totale kosten gelijk zijn aan respectievelijk 0,72 en € 883.954,=, tegenover de maatschappelijke attractiviteit waarbij men er naar streeft om maatregel 5 toe te passen waarbij de weg voor een jaar wordt afgesloten en het verkeer wordt omgeleid, waardoor er geen letsel aan derden wordt veroorzaakt tegenover de hoge totale kosten van bijna € 5 miljoen. Een ander onverwacht dilemma is dat de niet organisatorische, maar constructieve maatregel niet voldoet aan de individuele maatschappelijke norm.

- Naar welke maatregel zal de voorkeur uitgaan?
- Wie zal verantwoordelijk gehouden worden voor extra kosten bij het afsluiten van de weg en het omleiden van het verkeer?
- Is het niet interessanter om te kijken naar zo laag mogelijke investeringskosten?

Kortom:

Waar moeten we de accent op leggen bij het kiezen van een maatregel: op de economische of op de maatschappelijke optimalisatie?

Dit zijn vragen die nog reteren in het laatste deel van het onderzoek. Om deze vragen te kunnen beantwoorden is het handig om de resultaten van de economische en maatschappelijke optimalisatie in één tabel weer te geven:

Maatregel	Investeringskosten	Risico	Totale kosten	E(N <sub>d</sub> )
0: Nulsituatie	-	€ 972.430	€ 972.430	1,65
1: Een zware betonvloer onder gebouw	€ 329.860	€ 767.097	€ 1.096.957	0,69
2: Een zware betonvloer in risico-zone	€ 111.450	€ 772.504	€ 883.954	0,72
3: Een lichte plaat in risico-zone	€ 78.450	€ 846.242	€ 924.692	0,77
4: Uitvoeren project in de nacht	€ 1.750.000	€ 952.524	€ 2.702.524	0,01
5: Afsluiten weg en omleiden verkeer	€ 4.093.750	€ 951.159	€ 5.044.909	0
6: Pompen beton	€ 100.000	€ 892.741	€ 992.741	1,63
7: COMBI 2&6	€ 211.450	€ 695.431	€ 906.881	0,67

Tabel 11.4: Maatschappelijke en economische uitkomsten.

De bovenstaande tabel geeft het conflict tussen de economische en maatschappelijke resultaten goed weer. Bij het besluitvormingsproces zijn een groot aantal actoren betrokken, zoals beschreven staat in de literatuurstudie, hoofdstuk 5.

Uit de optiek van de opdrachtgever zal de keuze uitgaan naar die oplossing, waarbij er zo min mogelijk wordt geïnvesteerd, terwijl de gemeente zal streven om zo min mogelijk leed te brengen aan derden. Het afsluiten van de weg en het omleiden van het verkeer is de meest ideale oplossing in dit geval. Echter, het is nog maar de vraag of de gemeente prioriteit geeft aan deze maatregel, want het afsluiten van een dergelijk weg brengt wellicht bestuursrechtelijke procedures en onnodig files, met zich mee.

Bovendien kan de economische en functionele waarde van deze weg op den duur vervagen. Een andere kanttekening die dient te worden geplaatst bij deze maatregel: bij de berekening en de uitwerking van deze maatregel is aangenomen dat een omleiding mogelijk is. In sommige gevallen blijkt dat niet te kunnen, waardoor deze maatregel nooit kan worden toegepast. Deze maatregel is zeer situatie-afhankelijk.

De vraag omtrent de keuze van de maatregel staat alsnog overeind. Door een onderzoeker kan worden opgemerkt dat het streven van de gemeente inderdaad bewerkstelligd kan worden indien hiervoor voldoende geïnvesteerd wordt. Zo zal bij het afsluiten van de weg en het omleiden van het verkeer bijna € 2 miljoen opgehoest moeten worden door de gemeente. Indien men kiest voor de maatregel om het project in de nacht uit te voeren, wordt € 1,75 miljoen vereist van de opdrachtgever, die in zijn algemeenheid zo min mogelijk wil investeren. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de aannemer bereid en in staat moet zijn om arbeidskrachten te leveren in de nacht over het hele jaar gezien.

De keuze voor zowel maatregel 4 als 5, die allebei organisatorisch van aard zijn, lijken zeer onwaarschijnlijk in verband met de hoge investeringskosten, ongeacht hun maatschappelijke attractiviteit. Tevens is het risico (de verwachte kosten) bij het toepassen van deze maatregelen aan de hoge kant, lijkend op de nul-situatie, waarbij geen maatregelen zijn toegepast.

De overige vijf maatregelen resteren om geen keuze hieruit te kunnen maken, doch aan te geven welke van de maatregelen in praktijk gebracht zal worden. Indien maatregel 4 en 5 niet worden toegepast zal uit maatschappelijk oogpunt maatregel 7, het aanbrengen van een betonvloer in de risico-zone en het gebruik maken van het pompen van beton in plaats van het gebruikmaken van kanaalplaatvloeren voor de hand liggen. Deze constructieve maatregel heeft naast het kleine aantal verwachte dodelijke slachtoffers ook een klein risico. Bovendien zijn de investeringskosten rationeel. Indien er alleen beton in de risico-zone zou worden toegepast, dan is het verwachte doden hoger dan bij maatregel 7, in tegenstelling tot de investeringskosten, die bij maatregel 2 hoger zijn. Desalniettemin zal om veiligheidsredenen gestreefd worden om, indien mogelijk, maatregel 7 te kunnen toepassen<sup>19)</sup>.

Hoewel maatregel 7 nauwelijks tot verbetering leidt (paragraaf 11.7.2), wordt gestreefd om deze in overweging te brengen om toe te zullen passen. Dit heeft te maken met een aantal aspecten:

<sup>19)</sup> De Office Tower van de HBG over de Utrechtse Baan, Den Haag, is eveneens een combinatie van gepompt beton en een betonvloer in de risico-zones toegepast.



- De gunstigheid van deze maatregel ten opzichte van de andere maatregelen, die tot uiting komt tot een relatief lage verwachting voor het aantal doden,  $E(N_d)$ ;
- De eliminatie van het gevolg voor derden door het vallen van kleine, lichte elementen;
- De psychologische waarde van een opvangvloer; eventuele schrikeffecten worden weggenomen (bij derden) en een veiligheidsgevoel wordt opgeroepen;
- De minimalisatie van maatschappelijke schade vanuit de optiek van de besluitvormer uit politiek belang.

Uit het laatste aspect is een belangrijke conclusie af te leiden.

*Deze impliceert dat (de veiligheid van) de mens, in dit geval een derde, in het besluitvormingsproces voorop staat.*

Is het om de een of andere reden niet mogelijk om beton te kunnen pompen naar de verdiepingen, dan zal men in ieder geval het concept van het creëren van een opvangvloer van beton in de risico-zones van het gebouw, hanteren (maatregel 2). Deze maatregel is uit het oogpunt van een besluitvormer met een economische achtergrond, sowieso de meest ideale oplossing.

Het conflict tussen economie en maatschappelijke belangen is nog steeds merkbaar. Interessant is het om te kijken naar de investeringskosten indien men één mensenleven wil redden. Gebruikelijk in de risico-analyse<sup>20)</sup> is dat voor dit bedrag een waarde aangenomen wordt tussen de € 500.000,= en € 5.000.000,=. Zodoende wordt de maatschappelijke acceptatie enigszins geconverteerd in een economische acceptatie. De resultaten die hieruit volgen zijn als volgt:

Indien een bedrag van € 500.000,= wordt gemoeid om een mensenleven te redden, dan ziet de kostenvergelijking er als volgt uit:

Maatregel	Sub-totaal	Investeringskosten per dode	Totale kosten
0: Nulsituatie	€ 972.430	€ 824.774	€ 1.797.204
1: Een zware betonvloer onder gebouw	€ 1.096.957	€ 346.334	€ 1.443.291
2: Een zware betonvloer in risico-zone	€ 883.954	€ 361.508	€ 1.245.462
3: Een lichte plaat in risico-zone	€ 924.692	€ 382.931	€ 1.307.623
4: Uitvoeren project in de nacht	€ 2.702.524	€ 2.749	€ 2.705.274
5: Afsluiten weg en omleiden verkeer	€ 5.044.909	-	€ 5.044.909
6: Pompen beton	€ 992.741	€ 815.948	€ 1.808.689
7: COMBI 2&6	€ 906.881	€ 337.156	€ 1.244.037

Tabel 11.5: Economische beeld indien € 500.000,= per leven wordt geïnvesteerd om te voorkomen dat er een dodelijke slachtoffer valt.

<sup>20)</sup> Bron: Prof.ir.A.C.W.M.Vrouwenfelder; mondelinge communicatie.

Bij een bedrag van € 5.000.000,= teneinde een mensenleven te redden, zien de kosten als volgt eruit:

Maatregel	Sub-totaal	Investeringskosten per dode	Totale kosten
0: Nulsituatie	€ 972.430	€ 8.247.740	€ 9.220.170
1: Een zware betonvloer onder gebouw	€ 1.096.957	€ 3.463.337	€ 4.560.294
2: Een zware betonvloer in risico-zone	€ 883.954	€ 3.615.081	€ 4.499.034
3: Een lichte plaat in risico-zone	€ 924.692	€ 3.829.308	€ 4.754.000
4: Uitvoeren project in de nacht	€ 2.702.524	€ 27.492	<b>€ 2.730.017</b>
5: Afsluiten weg en omleiden verkeer	€ 5.044.909	-	€ 5.044.909
6: Pompen beton	€ 992.741	€ 8.159.483	€ 9.152.223
7: COMBI 2&6	€ 906.881	€ 3.371.560	€ 4.278.441

Tabel 11.6: Economische beeld indien € 5.000.000,= per leven wordt geïnvesteerd om te voorkomen dat er een dodelijke slachtoffer valt.

Uit deze analyse blijkt dat indien een bedrag van € 500.000,= wordt gekozen om een mensenleven te redden, dan is maatregel 7, het plaatsen van een betonvloer in de risico-zones, de meest optimale oplossing. Bij een bedrag van € 5.000.000,= is maatregel 4, het uitvoeren van het project in de nacht, de optimale oplossing. Wat hieruit eveneens blijkt, is dat maatregel 5, het afsluiten van de weg en het omleiden van verkeer, bij beide bedragen niet optimaal en rendabel. Hiermee kan gesteld worden dat deze maatregel waarschijnlijk niet toegepast zal worden.

Een investeringsbedrag van groter dan € 2.684.820,= om een mensenleven te redden, impliceert dat volgens de economische optimalisatie maatregel 4, het uitvoeren van het project in de nacht, de voorkeur krijgt boven maatregel 7.

Indien men een investeringsbedrag groter dan € 426.004.780,= hanteert om een mensenleven te redden, dan zal men overgaan tot maatregel 5, namelijk het afsluiten van de weg tijdens het project. Het is maar de vraag welke investeringsbedrag op de tafel gelegd wordt teneinde een mensenleven te redden, en derhalve wordt de keuze in het midden gelaten.

Uit het gegeven dat door het aanbrengen van een opvangvloer, hetzij een zware betonvloer onder het hele gebouw of slechts in de risico-zone, hetzij een lichte plaatvloer, is een stelling af te leiden die algemeen toepasbaar is bij het bouwen van gebouwen boven weg-infrastructuur, namelijk:

*De risico-zones van het gebouw zijn de brug voor het veiligheidsaspect voor derden, zowel uit economisch als maatschappelijk oogpunt.*

Want indien er onder het gehele oppervlakte van het gebouw een betonvloer wordt toegepast, dan blijkt dat het risico, qua kosten en qua verwachte doden, nauwelijks afneemt.

Middels deze stelling kan worden afgeleid dat bij het bouwen over weg-infrastructuur, de elementen die vallen in de risico-zones van het gebouw beheerst moeten worden, zodat de veiligheid van derden toeneemt en de (economische) schade aan derden afneemt. Het beheersen van die risico-zone geschiedt het beste door middel van een opvangvloer van beton in deze zone.

Interessant is om te kijken of de maatregelen voor de praktijk meerwaarde hebben. Het volgend hoofdstuk, tevens het laatste deel van dit onderzoek, zal hier aandacht aan schenken.

Teneinde de maatregelen in de praktijk te kunnen toepassen, dienen twee aspecten beter in kaart te worden gebracht:

- Hoe kan het gemeentelijk bestuur, de burgemeester of de wethouder, overtuigd worden van het feit dat dit concept psychologisch accepteerbaar is;
- Welke functionele inkleuring kan de architect (in de ontwerpfase) aan de maatregelen geven, waardoor de mate van (psychologisch-besliskundige) acceptatie toeneemt.

Het volgend hoofdstuk zal op deze vraagstukken antwoord op geven.



# H O O F D S T U K 1 2

## 12

## PRAKTISCHE AANBEVELINGEN

---

### 12.1 Inleiding

Nu de optimalisatie ten einde is gebracht, is het de intentie de resultaten van het Nonderhavig onderzoek ter aanbeveling aan te dragen aan de praktijk en als geheugensteun te gebruiken bij de ontwikkeling van projecten waarin het begrip Meervoudig Ruimtegebruik centraal staat. De praktische aanbevelingen zijn in hun algemeenheid tweeledig gericht, te weten:

1. Aan het gemeentelijk bestuur;
2. Aan de ontwerper.

Het gemeentelijk bestuur kan middels organisatorische maatregelen veel invloed uitoefenen op het veiligheidsaspect van derden (zie hoofdstuk 4 en 7). De ontwerper kan voor de gemeente hieraan een substantiële bijdrage leveren.

De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt: Allereerst volgt een korte toelichting op het psychologische aspect met betrekking tot het kiezen van een maatregel door de gemeente (*paragraaf 12.2*). In dit hoofdstuk zullen de praktische aanbevelingen de revue passeren, waarbij enerzijds de gemeente de hoofdrol speelt (*paragraaf 12.3*) en anderzijds de ontwerper de heerser is in het ontwerpproces (*paragraaf 12.4*).

## 12.2 Psychologische benadering voor optimalisatie

### 12.2.1 Inleiding

In deze paragraaf komt de psychologische acceptatie van risico's aan bod. Het Gemeentelijk bestuur van Den Haag is van mening dat de keuze voor een maatregel uit de optimalisatie nimmer op maatschappelijke en economische achtergronden kan geschieden. Volgens de gemeente is het van groot belang dat de resultaten geverifieerd worden met een psychologisch-besliskundige beschouwing. Derhalve is het voor de hand liggend er enige aandacht aan wordt geschonken.

### 12.2.2 Het begrip risico in de psychologische besliskunde

Door verschillen in de informatiebasis voor kansschattingen en in de aard van ongewenste gevolgen zijn risico's volgens een *kans maal effect*-definitie niet gemakkelijk te vergelijken. Men vergelijkt risico's wel volgens kans op (c.q. relatieve frequentie van) een gestandaardiseerd ongewenst gevolg (bijvoorbeeld overlijden of aantal doden) [Vle1990].

Psychologen hebben de werkzaamheid aangetoond van risicodimensies, zoals omvang van een mogelijk ongeval, beheersbaarheid van gevolgen en vrijwilligheid van blootstelling. Dit is uitgewerkt tot een tiental hoofdkenmerken van riskante activiteiten of (keuze)-situaties, die implicaties hebben voor de wijze van besluitvorming en risicobeheersing. Eveneens uit de psychologie stamt een definitie van risico als *gebrek aan veronderstelde beheersbaarheid*. Past de *kans maal effect*-definitie in een gokvisie, de vorige definitie past in een beheersvisie op risico nemen.

Trefwoorden in een beheersvisie zijn: toezicht en controle, voorkomen of vermijden, tijdig onderkennen en adequaat interveniëren met betrekking tot (dreigende) ongevalsituaties. Risicovergelijkingen worden als volgt gemaakt:

1. Op geaggregeerd niveau, om verschillende activiteitendomeinen (bijvoorbeeld bedrijfstakken) op hun veiligheid te vergelijken;
2. Om het risico van een gegeven activiteit te toetsen aan gestelde risiconormen;
3. Om te kunnen kiezen tussen activiteiten met vergelijkbare voordelen (bijvoorbeeld energiebronnen, of wijzen van transport).

Vooraf op psychologische gronden is behoedzaamheid bij het maken van risicovergelijkingen geboden.

### 12.2.3 Beslissen op statistische gronden

Beslissingen over riskante activiteiten kunnen zijn gebaseerd op statistische gronden, op een expliciete risicobeoordeling en op een vergelijkende beoordeling van verschillende opties.

Twee formele benaderingen zijn hiervoor relevant:

1. Satisficing-modellen;
2. Maximizing-modellen;

Ad 1 Deze modellen zijn gericht op het kiezen van aanvaardbare handelwijzen

Ad 2 Deze modellen zijn gericht op het maken van optimale keuzes.

Satisficing kan meer of minder omvattend zijn, variërend van kosten-effectiviteitsanalyse tot toetsing aan normen voor ongevalsrisico's.

Speciaal beschouwd wordt toetsing aan risico(als kans maal effect-)normen; deze benadering wordt gekenschetst als elastisch, eenzijdig en suboptimaal.

Rationele beslissingsanalyse is een goed uitgewerkte, stapsgewijze methodiek voor maximizing-beslissingen, die vergelijkend van opzet is en daardoor veeleisender in het praktisch gebruik.

#### 12.2.4 Psychologisch beslissen van de gemeente

De bovenstaande theorie is uiteraard grotendeels van toepassing op het gemeentelijk niveau. Indien een ramp zich voordoet, dan heeft dat grote consequenties voor de gemeente en wellicht ook voor de politiek; Enschede en Volendam zijn recente voorbeelden hiervan. De gemeente wordt tijdens het ontwerp- en uitvoeringsproces in zekere mate geconfronteerd met het veiligheidsaspect van derden. Dit is een lastige kwestie waarvoor een aantal leden van de gemeente Den Haag geïnterviewd worden, om de visie en de rol van de gemeente beter in kaart te krijgen. Eerder is dat in kaart gebracht in de literatuurstudie, in hoofdstuk 4, waarin de aansprakelijkheid van de gemeente werd behandeld.

### 12.3 De rol van en advies aan de gemeente

#### 12.3.1 Inleiding

Zoals eerder is vermeld, speelt de gemeente een substantiële rol tijdens de ontwerpfase en vooral in de uitvoeringsfase als het gaat om het veiligheidsaspect van passanten die onvrijwillig deelnemen aan complexe projecten waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik. Inzicht hierin is een vereiste, teneinde het gemeentelijk bestuur over de acceptatie van risico's toe te lichten uit de optiek van een risico-analist. Hiervoor zijn twee experts geïnterviewd, te weten ing. M. Roeleveld, hoofd afdeling bouwconstructies en ir. C. Schoenmakers, afdeling beleidszaken. Het gaat hierbij om experts die betrokken zijn geweest bij de uitvoering van projecten inzake de Utrechtse Baan in Den Haag.

Het vervolg van deze paragraaf is gebaseerd op deze interviews, waarbij de maatregelen aan deze experts zijn voorgelegd.

### 12.3.2 De rol van de gemeente

De rol van de gemeente met betrekking tot het veiligheidsaspect van derden is in één hoofdpunt samen te vatten:

*De gemeente zorgt voor een belangrijk deel voor de veiligheid van mensen die gebruik maken van wegen waarover gebouwd wordt.*

Zoals in de literatuurstudie besproken, is veiligheid een subjectief begrip. Veiligheid is te koppelen aan het begrip risico, dat gedefinieerd is als *kans maal gevolg*, in tegenstelling tot psychologische benadering, die risico omschrijft als *gebrek aan beheersbaarheid*. Het gemeentelijk bestuur laat zich op de hoogte stellen van beide varianten van het begrip risico. Echter, de keuze voor een bepaalde maatregel wordt bepaald door verschillende participanten die bij het project betrokken zijn (zie hoofdstuk 7). Tevens kan middels afspraken de veiligheid van derden organisatorisch geregeld worden.

Bij het veiligheidsaspect van derden is het niet de bedoeling om alleen te kijken naar de *kans maal gevolg* definitie, waarbij aan het risico een numerieke waarde toegevoegd wordt, maar ook het psychologische effect van bijvoorbeeld een bestuurder die op zo een weg rijdt en bemerkt dat de situatie onveilig is, waardoor schrik-effecten kunnen worden veroorzaakt met alle gevolgen van dien. Het is onmogelijk om deze effecten in een risico-analyse mee te nemen.

Aan de andere kant spelen andere zaken een belangrijke rol. Indien zich een ongeluk voordoet op de Utrechtse Baan waarbij een zeer zwaar element tijdens het hijsen valt op de daaronderrijdende auto's, waarbij dodelijke slachtoffers kunnen vallen, heeft dit grote (juridische) consequenties voor de gemeente. Het gemeentelijk bestuur kan absoluut niet permitteren en tolereren dat er ongelukken plaatsvinden door een bouwactiviteit, hierdoor wordt haar positie geschaad.

De gemeente geeft aan dat het probleem lijkt op een ethische kwestie. Als controlerende partij in het bouwproces kan zij nauwelijks informatie achter de schermen houden en ook kan de gemeente niet toelaten dat tijdens de uitvoering een gevaarlijke situatie ontstaat. Als toezichthouders van de gemeente bij de uitvoering (psychologisch) constateren dat zelfs lichte elementen wankelen tijdens het hijsen, dan kan dat een reden zijn om de weg af te sluiten. Immers, de gemeente en de technici zijn op de hoogte dat er een kans bestaat dat het (zware) element kan vallen, hoe klein die ook mag zijn. Dit komt erop neer dat hoe irrationeel het ook klinkt, de weg dient te worden afgesloten indien zeer zware elementen gehesen worden middels een opbrekvergunning, hetzij voor een nacht, hetzij voor een weekend, hetzij voor een kwartier middels motoragenten. De investeringskosten worden voor het afsluiten van de weg geaccepteerd. Het gaat voornamelijk om het benaderen van het begrip risico uit een maatschappelijk en psychologisch oogpunt. De eventuele economische schade speelt hierbij een ondergeschikte rol. Met andere woorden: er wordt niet geaccepteerd door de gemeente dat er een ongeluk zou plaatsvinden met een dodelijk afloop.



De gemeente staat achter het feit dat projecten met betrekking tot Meervoudig Ruimtegebruik gestimuleerd en uitgevoerd moeten worden, want het economisch belang van een stad gaat erop vooruit. Het punt is dat aan de uitvoering van dergelijke projecten grote economische en maatschappelijke risico's verbonden zijn.

De maatregelen die opgesteld zijn in het vorig hoofdstuk zijn aan de experts voorgelegd. Zij streven in ieder geval ernaar om de maatschappelijke optimalisatie voorrang te verlenen boven de economische optimalisatie. Echter, het afsluiten van de Utrechtse Baan (maatregel 7) voor een jaar lang is absoluut onhaalbaar; "dit is in zijn algemeenheid niet voor te stellen", aldus de gemeente. De bereikbaarheid, de verkeersafwikkeling en wellicht ook de kwaliteit van de stad zouden in sterk gevaar komen. In zijn algemeenheid zijn dergelijke wegen waarover gebouwd wordt, zoals de Utrechtse Baan, belangrijke toegangspoorten voor de stad. Bovendien is de gemeente niet bereid om de investeringskosten voor die maatregel op te hoesten.

De gemeente is wel een voorstander van het pompen van beton in plaats van het inhijzen van gebouwdelen en het plaatsen van een opvangvloer. De opvangvloer dient niet alleen voor het opvangen van eventueel vallende objecten, doch tevens voor het wegnemen van de schrik (psychologisch effect) van automobilisten. Indien er een element uit de *gewichtsklasse > 10.000 kg* dien te worden gehesen, dan is dat alleen mogelijk als er geen verkeer aanwezig is, het afsluiten van de weg is een vereiste.

De gemeente is het eens over de voorlopige conclusies van het onderhavig onderzoek:

- Het aantal hijsbewegingen boven de weg te minimaliseren;
- Noodzaak van een opvangvloer;
- Nevenfunctie van een opvangvloer: het wegnemen van schrikeffecten bij automobilisten;
- Uitvoeringswijze aanpassen zodanig dat er zo min mogelijk risico bestaat voor derden;
- Gebruik maken van lichte bouw-elementen;

Verder is de gemeente geattendeerd op het feit dat niet gedacht moet worden aan oplossingen waarbij het risico nul gesteld wordt, maar aan acceptatie van risico's. De gemeente heeft met dit voorstel ingestemd.

De bovengenoemde punten (maatregelen) worden geïntegreerd in een aantal principeschetsen. De volgende paragraaf worden deze in het kort behandeld, uit het oogpunt van de ontwerper.

## 12.4 De architectonische integratie van maatregelen

### 12.4.1 Inleiding

Teneinde de ontwerpende partij, meestal de architect, architectonische adviezen aan te dragen die te combineren zijn met de opgestelde maatregelen, is het onontbeerlijk om een en ander te beschrijven omtrent de architectuur. Een centraal begrip in de architectuur is het begrip structuur [Sch1998].

Het begrip "structuur" kan op vele manieren uitgelegd worden en is daarom nauwelijks te definiëren. Structuur is datgene waardoor zowel het geheel alsook de delen zodanig op elkaar zijn afgestemd dat zij daardoor deel uitmaken van een entiteit met een eigen identiteit.

Onder de structuur van een gebouw kan men verstaan:

*Het geheel van vorm, maat, schaal, functie, ruimte en materialisering dat leidt tot een specifiek gebouw.*

Uit de definitie volgt dat een groot aantal aspecten van het gebouw op elkaar moeten worden afgestemd. Het is aan de ontwerper om uit te maken welk aspect ten principale structuurbepalend dient te zijn. In het ene geval zal de functie het belangrijkste worden geacht, in het andere geval de vorm. In de tabel hierna wordt een overzicht gegeven - niet limitatief - van een aantal factoren welke in meerdere of mindere mate structuurbepalend kunnen zijn. Uit het vorenstaande volgt dat aan een gebouw ook meerdere structuren ten grondslag kunnen liggen, waarbij het uiteindelijk totaal toch weer een "geheel" zal zijn.

### 12.4.2 Structuurbepalende uitgangspunten

Bij het ontwerpen van gebouwen moet rekening gehouden worden met talloze disciplines, eisen, voorschriften en dergelijke. Elk van deze aspecten zou, afhankelijk van de toegekende waarde (uitgangspunt) medebepalend of van invloed kunnen zijn op de structuur. Onderstaande opsomming, die zeker niet volledig is, geeft een illustratie van mogelijke structuurbepalende uitgangspunten:

Overheid	streekplan
	bestemmingsplan
	landschap
	bebouwde omgeving
	welstandseisen milieueisen
	arbeidsomstandigheden
	brandveiligheid
	eisen statica en bouwfysica

Opdrachtgever	programma van eisen bruikbaarheid kosten onderhoudskosten flexibiliteit uitstraling
Gebruiker	werkklimaat energiekosten reiniging en onderhoud
Ontwerper	stedelijke ruimte/context beeldvorming ruimtelijkheid perceptie
Adviseurs	constructie bodemgesteldheid installaties verlichting
Consument	affiniteit

Bij het bouwen van een gebouw over een weg is het voor de opdrachtgever van belang dat het gebouw een bijzondere uitstraling heeft. De ontwerper zal bij een dergelijk gebouw trachten de beeldvorming en stedelijke inpassing tot een goede einde te brengen. Zodoende heeft elke discipline zijn invloed op de vorm, het uiterlijk en de structuur van het gebouw [Vam1998].

### 12.4.3 Structuurbepalende elementen

Voor zowel de ontwerper van een gebouw - die in feite met "niets" begint - alsook de adviseur, zijn een aantal elementen van belang voor de structuur van het gebouw. De structuurbepalende elementen van een gebouw zijn:

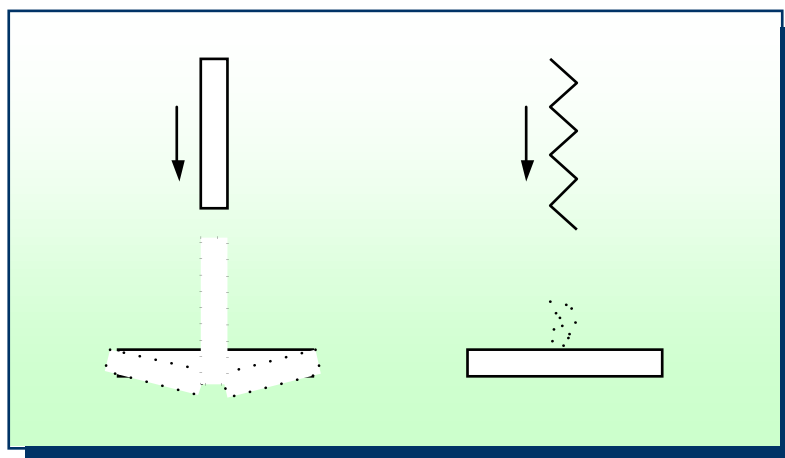
- Vorm;
- Materiaal;
- Maat;
- Schaal;
- Richting;
- Plaats.

Bij het aandragen van maatregelen komen we op de structuurbepalende uitgangspunten en structuurbepalende elementen terug.

#### 12.4.4 Alternatieven mbt maatregelen

##### □ *Afbouwelementen*

Allereerst wordt de aandacht gericht op de tot nu toe behaalde resultaten in dit Onderzoek. Zoals vermeldt in hoofdstuk 11, vormen de elementen in de risicozone van het gebouw de dominante factor voor het veiligheidsaspect voor derden. De elementen van de afbouwconstructie zouden licht en vervormbaar moeten zijn. Het gevolg hiervan is dat de kans op vallen van een element toeneemt, maar indien deze lichte elementen vallen dan kunnen zij niet door de opvangvloer heen gaan. De afbouwelementen kunnen worden voorzien van deformatiecapaciteit. Hiermee wordt ook voorkomen dat elementen door de opvangvloer heen vallen.



Figuur 12.1: Element met en zonder deformatiecapaciteit.

Het nadeel van te lichte elementen (kleiner dan  $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ), meestal gebruikt bij gevels van fabriekshallen, is, indien ze van een grote hoogte vallen, dat ze kunnen afzwaaien, en verder dan 10 meter, die voor de opvangvloer gebruikt wordt, vallen<sup>21)</sup>. In zijn algemeenheid moet men ook voorkomen dat er betonnen borstweringselementen worden gebruikt voor de gevel. Het nadeel van deze relatief zware elementen is geïllustreerd in figuur 12.1. Hierin is te zien dat indien het element zwaar is en bovendien niet in staat is kapot te gaan bij het contact met de opvangvloer, dat dan het element dwars door de opvangvloer kan gaan; dit is het geval bij betonnen borstweringselementen.

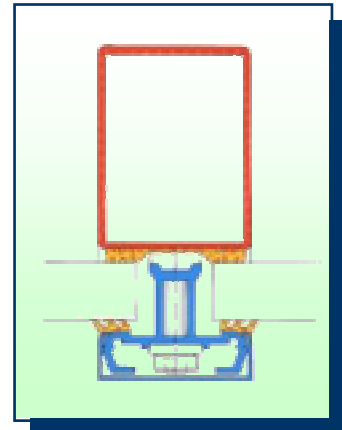
Tevens is het van belang dat de afbouwconstructie van binnen uit wordt gemonteerd. Hierbij valt te denken aan elementen van één verdieping op een bepaalde plaats worden ingehesen, waarna de elementen van binnen uit worden gemonteerd. Hierdoor worden de hijsbewegingen minder (dus ook het aantal handelingen) ten opzichte van de normale situatie, waarbij elementen van buitenaf worden gemonteerd (meestal bij betonnen borstweringen).

Een aantal aandachtspunten worden opgesomd die in aanmerking komen bij het ontwerpen van de gevel:

<sup>21)</sup> Bron: ir. H. de Boer, TU-Delft; docent afbouwconstructies; mondelinge communicatie. .

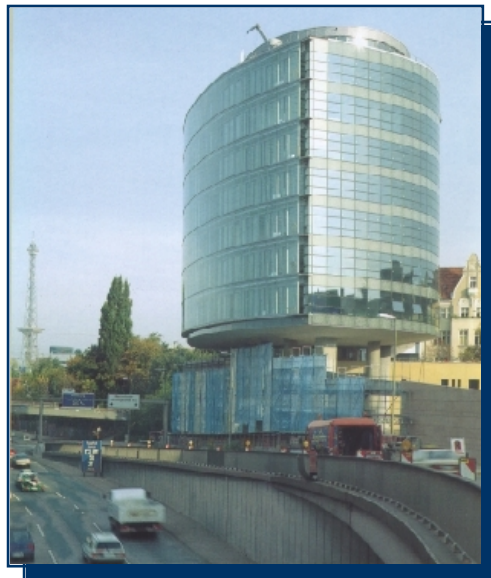
1. Gebruik maken van aluminium gevels (regels en stijlen);
2. Lichte stalen panelen;
3. Elementen verdiepingshoog;
4. Elementen dienen gemonteerd te worden van binnen uit;
5. Elementen dienen vervormingscapaciteit te bezitten (zie figuur 12.1);
6. Het eigen gewicht van de elementen dient in de orde grote van  $50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  en niet kleiner dan  $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  te zijn, ivm het afzwaaien door het aërodynamisch gedrag van het element veroorzaakt door luchtwrijving.

Ad 1 De gevelframes [9] worden als prefab gevelelementen in de bouw gemonteerd. Tegen het framework worden de ruiten, de panelen en de raamkozijnen bevestigd met behulp van aluminium sponningprofielen, rubber beglazingsprofielen en kunststof systeemonderdelen. De aluminium sponningprofielen worden afgedekt met aluminium klikprofielen die het aanzicht van de gevel vormen. Het rubber en de kunststof systeemonderdelen vormen de thermische onderbreking en maken geringe onderlinge beweging van aluminium en staal mogelijk.



Figuur 12.2: Doorsnede Al-profiel.

Ad 6 Borstweringselementen hebben als nadeel dat indien zij vallen, zij door de opvangvloer heen kunnen gaan in verband met het grote gewicht van het element.



Figuur 12.3: Vlakke gevel, gebouw in Berlijn [Jos1997].

De alternatieven omtrent de configuratie van afbouwelementen hebben betrekking op de structuurbepalende elementen van de soort vorm en materiaal. Hieronder volgen een aantal illustraties betreffende de gevels die volgen uit de bovenstaande aandachtspunten.

De figuren 13.3 t/m 13.10 zijn overgenomen uit het jaarlijks kalender (1997 & 1998) van JOSEF GARTNER & Co, Duitsland.

Strakke en vlakke gevels vallen op bij gebouwen die naast of boven een weg zijn gebouwd. In figuur 12.3 t/m 12.5 komt dit fenomeen duidelijk naar voren.



*Figuur 12.4: Vlakke gevels van het Technologiecentrum en Telecom Center, Mauritius [Jos1997].*

Het Kornzernzentrale RWE, in Duitsland, is voorzien van verdiepingshoge elementen. In onderstaande figuren is duidelijk te zien wat het effect van dergelijke afbouwconstructie is op het interieur en exterieur van het gebouw.



*Figuur 12.5: Aanbrengen van de gevel van buiten uit en het interieur, in het Kornzernzentrale RWE [Jos1997].*



Figuur 12.6: Verdiepingshoge elementen in Konzernzentrale RWE [Jos1997].

Hieronder nog een aantal voorbeelden van de afbouwconstructie, maar ook de vorm van het gebouw is een aspect waarmee gespeeld kan worden door de architect.



Figuur 12.7: Konzernzentrale RWE, Essen in Duitsland [Jos1997].



Figuur 12.8: Strakke gevels van het Mercedes-gebouw [Jos1997].



Figuur 12.9: Atrium van Das Düsseldorf Stadttor [Jos1997].

Een ander bijzonder gebouw is het Das Düsseldorf Stadttor, eveneens in Duitsland. Het betreft een gebouw dat gebouwd is over een weg, vergelijkbaar met de gebouwen over de Utrechtse Baan. Bij dit gebouw is gebruik gemaakt van een atrium in de middelste stramien van het gebouw, in tegenstelling tot de eenvoudig aan te brengen gevels.

Dergelijke oplossingen zijn niet onmogelijk, echter vragen extra veiligheidsmaatregelen, dat kosten verhogend werkt.



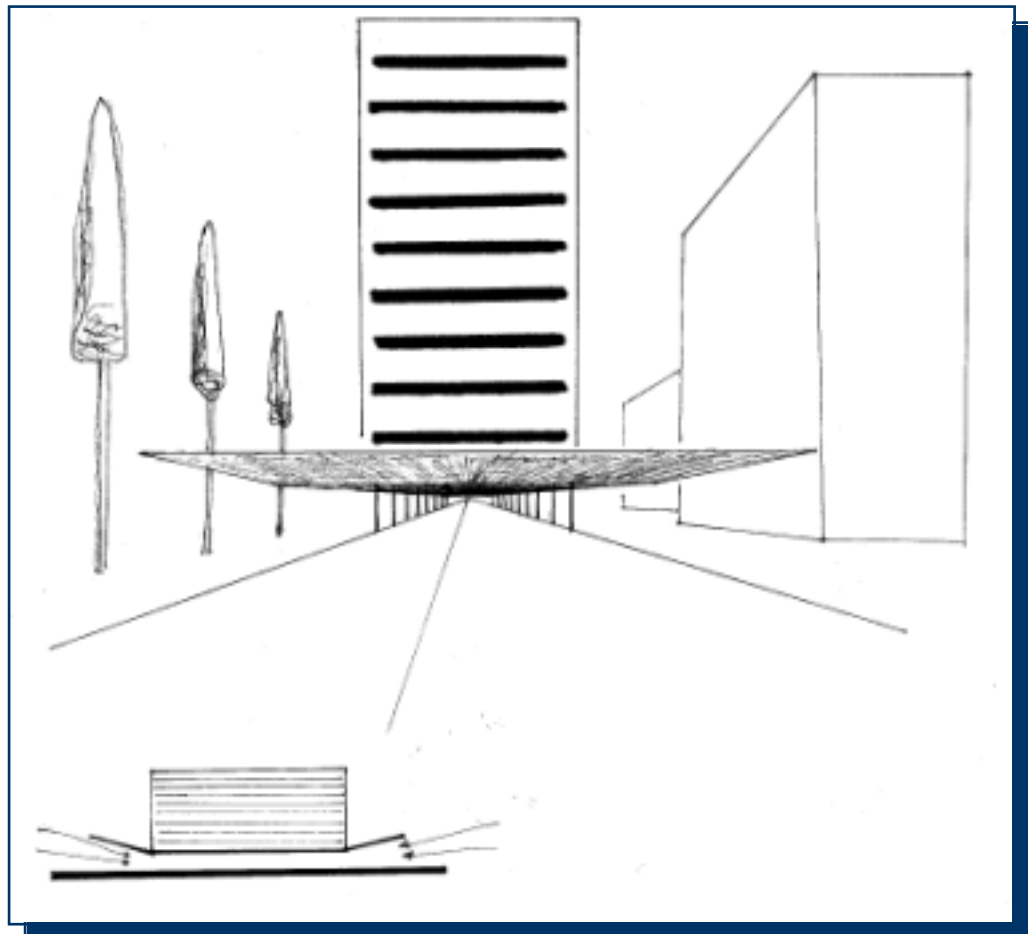


Figuur 12.10: Das Düsselorfer Stadttor [Jos1997].

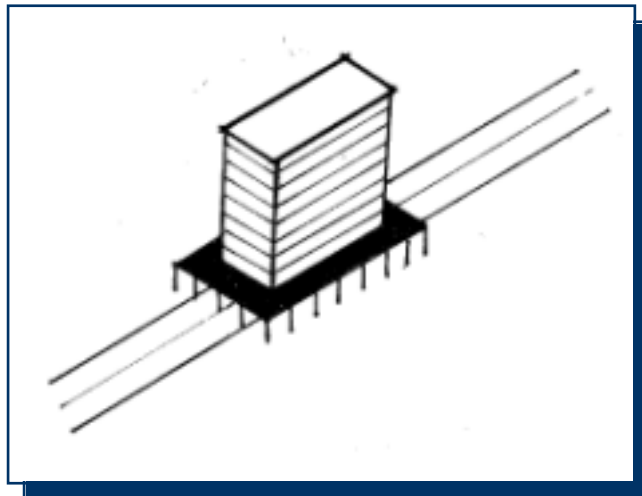
□ *Architectonische integratie van de maatregelen*

Zoals eerder vermeld wil men in zijn algemeenheid een bijzonder gebouw over een weg heen bouwen, waarmee het beeld van de stad herkend wordt. Tal van configuraties zijn mogelijk als het gaat om de vorm van het gebouw. In dit gedeelte zal een blik op de maatregelen geworpen worden die in het vorige hoofdstuk zijn opgesteld. Deze worden geïntegreerd in de aanbevelingen voor de ontwerper. Het betreffen hier principe-schetsen, de architect kan zelf verder het aanbevolen ontwerp aanvullen met zijn ideeën. Bij het vervaardigen van de schetsen zijn in het achterhoofd de structuurbepalende uitgangspunten en structuurbepalende elementen gehouden.

Een van de maatregelen was het vervaardigen van een opvangvloer. In figuur 13.11 is een optie gegeven om de opvangvloer onder een hoek te plaatsen, waardoor de bestuurder het gevoel heeft dat hij geleidelijk onder het gebouw door gaat. Uit de optiek van de gebruiker van de weg, die in dit geval het structuurbepalende uitgangspunt is, is het plaatsen van de opvangvloer onder een hoek een ideale oplossing.

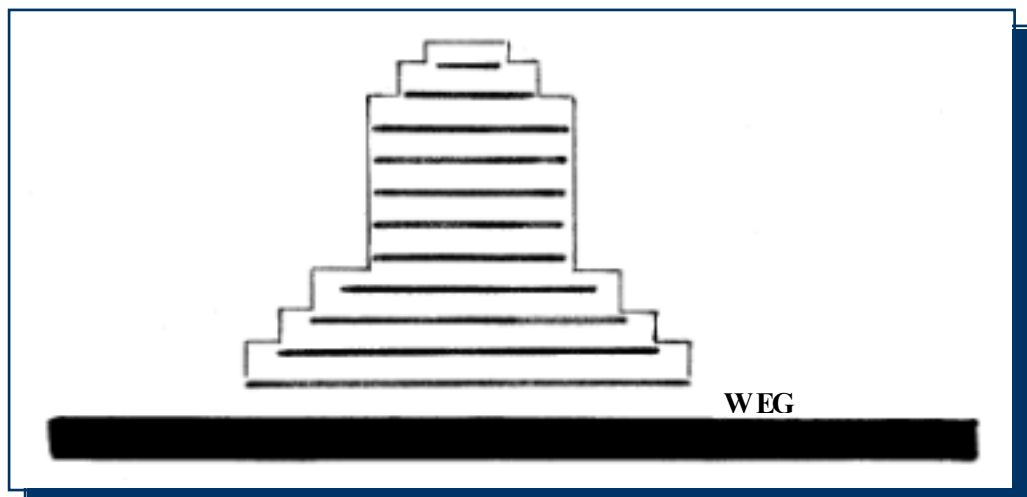


Figuur 12.11: Vorm opvangvloer onder een hoek.



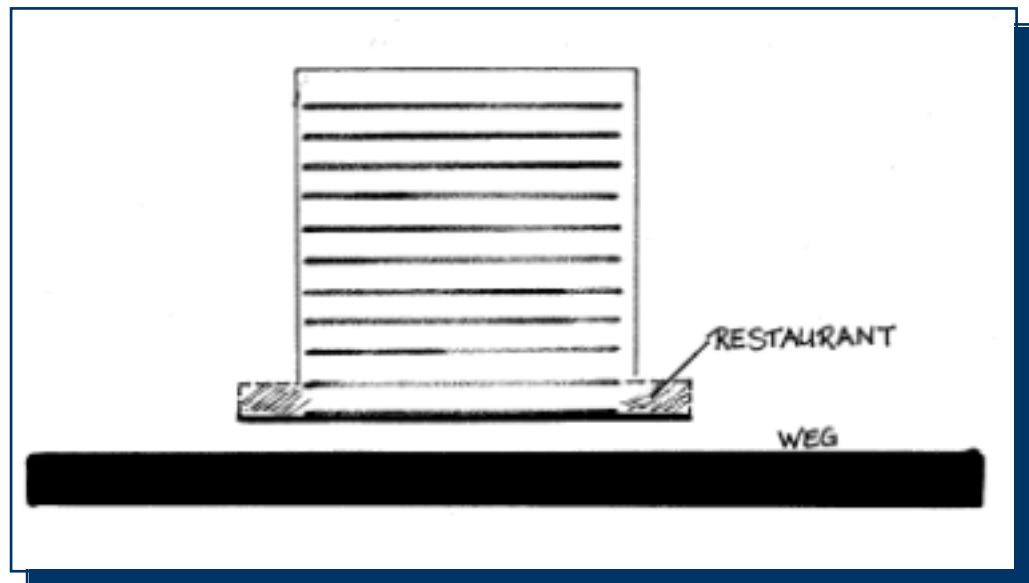
Figuur 12.12: Een grasveld als opvangvloer.

Bij dit voorbeeld is een grasvloer gecreëerd. Tijdens de bouw kan de deze vloer dienen als opvangvloer, terwijl na de bouwfase deze dienst kan doen als een grasveld, waardoor het begrip Meervoudig Ruimtegebruik versterkt wordt. Door het vergroten van het grasveld, wordt het concept van een stadsvloer gecreëerd. Als voorbeeld wordt verwezen naar paragraaf 2.3.2.



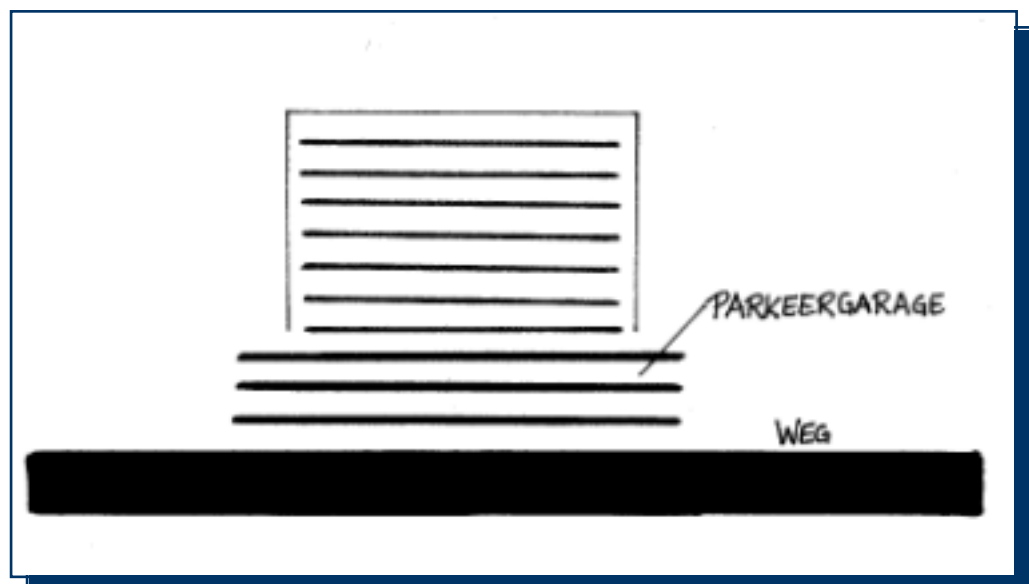
Figuur 12.13: Langsdoorsnede gebouw; trapvorm.

Bij dit concept is het juist de vorm van het gebouw die de structuurbepalende element is. De vorm die getekend is in figuur 12.13 is met het oog op het veiligheidsaspect voor derden een veel veiliger vorm, dan een gebouw met een V-vorm (zie figuur 7.7). De bovenstaande gebouw ontleend zijn extra veiligheidsaspect door het feit dat er als het ware meer dan één opvangvloeren worden gecreëerd. Hierdoor wordt de risico kleiner voor derden. Het plaatsen van de (risicovolle) afbouwelementen bij dit concept is veiliger en kan geschieden van buiten uit, want als een element naar beneden valt, kan deze opgevangen worden door de daaronderliggende opvangvloer, terwijl bij het concept van figuur 7.7 het plaatsen van die afbouwelement van binnen uit ook alleen probleem is. Dit concept is ook ideaal want de windhinder als gevolg van opstuwung van wind wordt hiermee ook voorkomen (er wordt een "podium" gecreëerd).



Figuur 12.14: Een restaurant over een bestaande weg.

Bij het concept van figuur 12.14, waarbij een restaurant over een bestaande weg bebouwd wordt, is een ander optie en een ander functie voor de opvangvloer. De opvangvloer hoeft bij dit concept niet verwijderd te worden na de bouw. Integendeel, deze vloer wordt geïntegreerd met het gebouw, waardoor het gebouw een uitstraling krijgt. Tevens is de plaats van de opvangvloer (niveau +1) een aantrekkelijke locatie voor gebruikers van het gebouw. Teneinde dit gevoel te versterken is het van belang om aan dit niveau een atrium of een ander functionele indeling te geven.



Figuur 12.15: Een parkeergarage voor de onderste lagen van het gebouw.

Een ander voorbeeld (figuur 12.15) is het vervaardigen van een parkeergarage voor de onderste lagen van een gebouw. Hierdoor worden er meerdere opvangvloeren gecreëerd. Het voordeel van dit concept is dat de meerdere opvangvloeren de impuls van het vallend voorwerp kunnen verkleinen, waardoor de kans dat het vallend voorwerp alsnog op de weg terecht zou komen, sterk afneemt.

Zo zijn er tal van oplossingen bedenikbaar waarbij de maatregelen die opgesteld zijn in hoofdstuk 11 geïntegreerd kunnen worden in functionele en constructieve ontwerpen. Het is aan de ontwerper van het gebouw, hoe hij met zijn ontwerp omgaat tijdens de ontwerpfase.



# H O O F D S T U K 1 3

## 13 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

---

### 13.1 Inleiding

De veiligheidsaspect van derden, hier gedefinieerd als de veiligheid van personen die niet expliciet in het bouwproces betrokken zijn in het bouwproces waarbij sprake is van het bouwen over weg-infrastructuur, rail-infrastructuur en over gebouwen, in dit onderzoek ook aangeduid als projecten waarbij sprake is van Meervoudig Ruimtegebruik, is in dit onderzoek in kaart gebracht. Tevens is getracht om methodes aan te reiken waardoor het veiligheidsvraagstuk van derden kan worden bepaald. In dit hoofdstuk worden de conclusies van het afstudeeronderzoek gepresenteerd. Tevens worden aanbevelingen gedaan en wordt aangegeven in welke richting verder onderzoek gedaan zou moeten worden.

### 13.2 Conclusies

Het doel van dit onderzoek is *het onderzoeken van de aspecten waarvan de veiligheid van bouwen van gebouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik afhangt. Deze aspecten zullen geoptimaliseerd worden, opdat de veiligheid van derden tijdens het bouwproces wordt gemaximaliseerd. Hierbij dienen de maatschappelijke acceptatienormen, te verdelen in groepsrisico en individuele risico, niet te worden overschreden.*

De aspecten waar de bouwveiligheid voor derden van afhangt is onder te verdelen de volgende vier hoofdaspecten:

- *De voorschriften* zijn een handboek en dienen onder andere om het veiligheidsaspect tijdens de bouw te beheersen. Maar ook tijdens het ontwerpen dienen zij als een fundering voor de constructie-berekeningen, etc;

- *De externe randvoorwaarden* verwoorden is typisch een aspect dat niet of nauwelijks te veranderen is; deze voorwaarden worden opgelegd door de omgeving;
- Tijdens *het ontwerp* zijn vrijwel alle aspecten beheersbaar, zoals de dimensies van het gebouw, de architectuur, de constructie, de functie en de technologie.
- In *de uitvoeringsfase* van het project kunnen de volgende subaspecten onderscheiden worden, namelijk: de betrokkenen, de organisatie, de beheersaspecten, de preventieve maatregelen.

Verdere conclusies (alleen voor het modelgebouw):

- Uit de kwalitatieve risico-analyse blijkt dat vallende voorwerpen de veiligheid van derden, in zowel maatschappelijke als economische zin, in gevaar brengen bij projecten waarbij gebouwd wordt over weg-infrastructuur, rail-infrastructuur of over bestaande gebouwen.

Uit de kwantitatieve risico-analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Uit maatschappelijk oogpunt blijkt dat het bouwen over weg-infrastructuur, gevolgd door het bouwen over rail-infrastructuur, de meest onveilige vorm van overbouwen is (voor derden) en het bouwen over bestaande gebouwen de meest veilige vorm van overbouwen is;
- Uit economisch oogpunt is het bouwen over rail-infrastructuur en over weg-infrastructuur, significant niet van elkaar verschillend, de meest ongunstige vorm van overbouwen. Wederom is het bouwen over bestaande gebouwen gunstig ten opzichte van de andere vormen.

Uit de optimalisatie kunnen de volgende fundamentele conclusies worden getrokken:

- De risico-zones van het gebouw, de gevels waar het gebouw de weg kruist, vormen een belangrijke brug voor de veiligheid van derden;
- Het aantal handelingen is omgekeerd evenredig met de veiligheid van derden; hoe groter het aantal handelingen des te onveiliger de situatie voor derden, door de afname van de dimensies van het gebouw - vooral de hoogte van het gebouw - wordt het aantal handelingen gereduceerd, hetgeen leidt tot toename van de veiligheid voor derden.
- Door het aanbrengen van een opvangvloer, voor vallende elementen in de risico-zones van het gebouw, kan er geen verbetering worden aangebracht in het risiconiveau;
- Door het aanbrengen van een opvangvloer, voor vallende elementen van een lichte gewichtsklasse in de risico-zones van het gebouw, kan het risico geëlimineerd worden;
- Door het aanbrengen van een opvangvloer kan het psychologische effect weggenomen worden bij een derde;
- Voor zware elementen geldt dat een opvangvloer nauwelijks nut heeft; bouwen met zware elementen moeten vermeden worden bij dergelijke projecten of indien er toch gekozen is voor zware elementen, dan dient men het verkeer af te sluiten;



- Voor het bouwen boven rail-infrastructuur is de optimalisatie globaal in kaart gebracht;
- Het nemen van beslissingen wordt niet altijd gebaseerd op economische grondslagen maar men hanteert de psychologische benadering. Hierdoor staat de veiligheid van de mens, in dit geval een derde, in het besluitvormingsproces voorop.

Overigens dient er worden opgemerkt dat conclusies vanaf de kwantitatieve risico-analyse een fout in zich hebben, deze wordt veroorzaakt door de risico-analist/onderzoeker.

### 13.3 Aanbevelingen

Teneinde projecten te realiseren waarbij Meervoudig Ruimtegebruik centraal staat, verdient het aanbeveling de volgende maatregelen te treffen:

- De gegevens in de bouw betreffende het aantal keren dat een element valt dienen geregistreerd te worden, hierdoor is de onnauwkeurigheid van een risico-analyse kleiner;
- Onderzocht moet worden wat het effect van de output is die door de bandbreedte van de risico-analist geïntroduceerd is in onderhavig onderzoek;
- De optimalisatie dient in kaart gebracht te worden tijdens de ontwerpfase voor alle andere situaties;
- Bij de groepsrisico-acceptatienormen dient onderzocht te worden hoe de kansverdelingsfunctie eruit ziet; hierdoor kan de benadering die in dit onderzoek is toegepast verfijnd worden;
- De maatregelen die zijn opgesteld zijn meer uitvoeringstechnisch van aard; onderzocht dient te worden wat het effect kan zijn, indien men gebruikmaakt van simpele organisatorische maatregelen, zoals de afspraken tussen de verschillende disciplines of een afspraak die iets omtrent de bewegingsrichting van de kraan impliceert;
- Een onderzoek (naar het gedrag van) opvangconstructies voor uit verschillende klassen vallende elementen van verschillende hoogtes is aanbevolen;
- Onderzocht moet worden wat de meerwaarde is van een maatregel met meerdere opvangvloeren.



# L I T E R A T U U R

## Afstudeerverslagen

- [Alp1999] Alphen, R. van, *Amsterdam Zuidas*, Technische Universiteit Delft, augustus 1999.
- [Bee1997] Beek, D, *Bovenweegs bouwen*, Technische Universiteit Delft, juni 1997.
- [Val2000] Valkenhoef, C.A.H., *Alternatievenstudie HBG kantoortoren Den Haag*, Technische Universiteit Delft, februari 2000.

## Artikelen

- [Gal1993] Galjaard, J. en D. Markwat, *Kantoorgebouw Haagse Poort, Den Haag*, Bouwen met Staal 113, juli/augustus 1993.
- [Kra1993] Kraus, J.G., *Woekeren met vierkante meters, Dubbel grondgebruik*, Bouwen met Staal 138, september 1993.
- [Kra1993] Kraus, J.G., P.E.M. van de Wall, *Boegbeeld van staal, Wetenschapsmuseum newMetropolis Amsterdam*, Bouwen met Staal 138, september 1993.

## Boeken

- [Ber1995] Bercken, F.H van den, *Uniforme Administratieve Voorwaarden*, Sdu Uitgevers, 1995.
- [Abe1998] Abeelen, H.P.M. van, *Basis Constructieleer*, St. Kennisoverdracht SG, Amsterdam, 1998.

### Collegedictaten

- [Boe1997] Boer, E., *Collegedictaat CTip1070 Infrastructuurplanning*, Technische Universiteit Delft, januari 1997.
- [Han1999] Hansen, I., *Collegedictaat CTvk3040 Verkeer Deel B*, Technische Universiteit Delft, januari 1999.
- [Smo1998] Smook, R.A.F., *Collegedictaat CTbd211 Organisatie van het bouwen*, Technische Universiteit Delft, januari 1998.
- [Sch1998] Scheers, P.M.C., *Collegedictaat CTbb3210 Structuur*, Technische Universiteit Delft, maart 1998.
- [Vam1998] Vamberský, J.N.J.A., *Collegedictaat CTbb3210 Draagconstructies*, Technische Universiteit Delft, maart 1998.
- [Vri1997] Vrijling, J.K., en A.C.W.M. Vrouwenvelder, *Collegedictaat CTow4130 Probabilistisch ontwerpen*, Technische Universiteit Delft, 1997.

### Overigen

- [D3B2001] *Eenheidsprijzen van D3BN voor diverse werken*, D3BN, Den Haag, januari 2001.
- [HBG2000] *Bouwlogistiek, kantoorgebouw hoek Utrechtse Baan/Juliana van Slotberglaan (Office Tower)*, HBG Bouw en Vastgoed bv, september 2000.
- [Jos1997] *Jaarlijks kalender (1997 & 1998) van JOSEF GARTNER & Co*, Duitsland

### Publicaties

- [Buu2000] Buur, A.P. en E.Lourens, *Veiligheid in de bouw*, Aboma+Keboma, Amsterdam, april 2000.
- [Del2000] Delft, H. van, P. Nijkamp, en R. Vreeker, *Electronische Interactieve Consultatie EMR: Een gezelschapsdiscussie over het begrip Meervoudig Ruimtegebruik*, Vrije Universiteit Amsterdam, mei 2000.
- [Dic1974] Dicke, D. e.a, *Veiligheid*, CUR-rapport 16, CUR, januari 1974.
- [Jan1999] Jansen, E. en I.Südmeier, *Het gelaagde landschap, Meervoudig Ruimtegebruik in perspectief*, EMR, Gouda, augustus 1999.

- [Mei2000] Meijer, F. en H.J. Visscher, *Bouwveiligheid en bouwhinder bij Meervoudig Ruimtegebruik.*, Onderzoeksinstituut OTB, TU Delft, 10 mei 2000.
- [EMR1999] *Plan van aanpak.*, EMR, Gouda, augustus 1999.
- [Vle1990] Vlek, C.A.J., *Beslissen over risico-acceptatie; een psychologisch-besliskundige beschouwing over risicodefinities, risicovergelijking en beslissingsregels voor het beoordelen van de aanvaardbaarheid van riskante activiteiten*, Rijksuniversiteit Groningen, 's-Gravenhage : Gezondheidsraad, 1990.
- [Vri1997] Vrijling, J.K., A.C.W.M. Vrouwenfelder e.a., *Kansen in de civiele techniek, Deel 1: Probabilistisch ontwerpen in de theorie*, CUR-rapport 190, CUR, Gouda, maart 1997.

### Rapporten

- [Vro1996] Vrouwenfelder, A.C.W.M., e.a., *Risico-analyse bouwfase boortunnel*, CUR/COB Uitvoeringscommissie N510, tussenrapportage, TNO-Bouw, Delft, 25 november 1996.
- [TUD1999] *Structural and Stochastic Load Modeling*, Lyngby, Department of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark, August 9-20, 1999.

### Web-pagina's

- [@1] <http://www.bouwweb.nl/wmr/>
- [@2] <http://www.bouwenhoutbondfnv.nl/>
- [@3] <http://www.congresscentre.nl/indexn.html>
- [@4] <http://www.corsmit.nl/index.htm>
- [@5] <http://www.gaafdesign.com>
- [@6] <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Bayes.html>
- [@7] <http://www.habiforum.nl/>
- [@8] <http://www.hugin.com/bayesiannetworks.html>
- [@9] <http://www.keers.nl/>
- [@10] <http://www.nirov.nl/>
- [@11] <http://www.reisomdewereld.nl/>
- [@12] <http://www.rijksgebouwendienst.nl/>
- [@13] <http://www.sev.nl/stir/startpag.htm>
- [@14] [http://www.vakanfiets.demon.nl/tocht\\_almere-avignon\\_foto98.htm](http://www.vakanfiets.demon.nl/tocht_almere-avignon_foto98.htm)
- [@15] <http://www.zwarts.jansma.nl/Projects/061b/index.html>



# BIJLAGEN

BIJLAGE I: UITWERKING FMEA .....	197
BIJLAGE II: HET VALGEDRAG .....	207
BIJLAGE III: RESULTATEN EXPERT-ONDERZOEK .....	209
BIJLAGE IV: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN BOUWEN OVER WEG .....	215
BIJLAGE V: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN BOUWEN OVER RAIL .....	247
BIJLAGE VI: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN BOUWEN OVER GEBOUW .....	267
BIJLAGE VII: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN MAATREGEL 1 .....	275
BIJLAGE VIII: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN MAATREGEL 2 .....	279
BIJLAGE IX: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN MAATREGEL 3 .....	283
BIJLAGE X: BEREKENING KOSTEN EN RISICO'S PER MAATREGEL .....	287
BIJLAGE XI: BAYESIAN BELIEF NETWORK .....	297





# BIJLAGE 1

## BIJLAGE 1: UITWERKING FMEA

### Fase 1: Voorbereiden

Activiteit: Financien (A1)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
A1.1	voor project geen financiers te vinden	- risico's te groot	T (project gaat niet door)
A1.2	financier gaat tijdens bouwfase failliet	- economisch slechte tijd	T (nieuwe financier zoeken)
Activiteit: Bodemonderzoek (A2)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
A2.1	ontbreken van overzicht aanwezige informatie en onderzoeken	- slechte projectleiding	K, T (grondonderzoek dubbel uitgevoerd)
A2.2	geen toestemming voor betreden te onderzoeken terrein	- vergunningprocedure loopt achter - landeigenaar ligt dwars	T
A2.3	onvoldoende inzicht in de te onderzoeken parameters	- te weinig ervaring met gebouwen	K, T (aanbidders willen meer grondonderzoek)
A2.4	boringen en sonderingen op verkeerde plaats	- geen goede lokatiekaart - lokalisatiesysteem faalt	Q (resultaten behoren niet bij lokatie)
A2.5	onderzoeklokatie onbereikbaar	- geen terreinverkenning uitgevoerd vooraf	K, T
A2.6	afwijking aan apparatuur	- bedieningsfout - apparaat deugt niet	K, T, Q (interpretatiefout)
A2.7	obstakel	- onvoldoende voorbereidend onderzoek	
A2.7a	leiding	- onvoldoende onderzoek	K (omleggen en repareren) T (omleggen en repareren) M (schadelijke stoffen in milieu) S (ontploffing gasleiding)
A2.7b	kabels	- onvoldoende onderzoek	K, T
A2.7e	funderingsresten	- onvoldoende (archief) onderzoek	K, T
A2.9	obstakel niet opgemerkt	- techniek niet voldoende ontwikkeld	K, T, S (gevaar bij bouwen)
A2.10	grondgegevens voor meer dan één uitleg vatbaar	- niet eenduidig	Q (interpretatie fout leidt tot ontwerpfout)
A2.11	te weinig bodemonderzoek	- variatie bodem niet goed ingeschat	K, T (problemen tijdens het bouwen)
A3.12	te veel bodem onderzoek	- variatie bodem niet goed ingeschat	K

Tabel 1.1a: FMEA voorbereiden.

De informatie voor deze bijlage is verkregen van [Vro1996].

Activiteit: Ontwerpen (A3)		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
A3.1 onvoldoende gegevens beschikbaar	- te weinig vooronderzoek	T, Q
A3.2 opdrachtgever onvoldoende betrokken, ontwerp voldoet niet aan eisen	- slechte communicatie	T
A3.3 aannemer blijft in gebreke	- te weinig kennis in huis	T,
A3.4 maatgevende belastingcombinatie over het hoofd gezien	- te weinig ervaring - gebrek aan relevante kennis	K, T, S (calamiteit tijdens het bouwen)
A3.5 rekenkundige modellen stroken te weinig met werkelijkheid	- modelfout	K, T, Q (problemen tijdens het bouwen)
A3.6 kwaliteitscontrole tijdens ontwerpfase onvoldoende	- ontwerpfout	K, T, Q (fout tijdens uitvoering)
A3.7 te late vaststelling eisen brandwerendheid en andere voorschriften	- gebrek aan relevante kennis	T
A3.8 ontwerp te laat klaar	- aanvullende richtlijnen - ontwerptijd te kort	T
Activiteit: Verzekeren(A4)		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
A4.1 (bijna) niet te verzekeren project	- risico's te groot	K
Activiteit: Aanbieden (A5)		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
A5.1 onvoldoende gegevens voor aanbidding volgens aannemer	- risico te groot met aangeboden onderzoek - niet de juiste parameters bepaald - onvoldoende ervaring	K, T
A5.2 geen bidders te vinden	- risico te groot	K, T

Tabel 1.1b: FMEA voorbereiden.

Activiteit: Aanbesteden (A6)		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
A6.1 aannemers vinden informatie onvoldoende	- opdrachtgever onvoldoende voorbereid	T
A6.2 bouwaanbidding onvoldoende	- calculatiefout	K
A6.3 beperkte concurrentie tussen aanbidders	- eisen opdrachtgever te hoog	K
A6.4 onvoldoende inzicht bij opdrachtgever in criteria aannemer	- geen ervaring	Q (niet de beste aanbidding gekozen)
A6.5 aannemer niet in staat aan te vangen op afgesproken datum	- voorbereiding niet gereed - aannemer niet gereed	K, T
A6.7 aannemer gaat failliet	- onvoldoende reserves	K, T (opnieuw aanbesteden)
Activiteit: Vergunnen (A7)		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
A7.1 wijziging bestemmingsplan	- externe oorzaak	T
A7.2 wijziging in ontwerp leidt tot nieuwe benodigde vergunningen	- ontwerpwijziging	T
A7.3 verfraging vergunning aanvragen als gevolg van onvoorziene bezwaarschriften	- bezwaarschriften (onvoldoende vooroverleg)	T
A7.4 onteigeningsprocedure vertraagd	- externe oorzaak	T
A7.5 ambtelijke fout in vergunningsverwerking	- externe oorzaak	T
A7.6 geen afgifte schone grond verklaring	- onvoldoende milieukundig onderzoek	T
A7.7 nodige vergunningen niet tijdig aanwezig	- te lange doorlooptijd vergunning verlenende instantie - te laat aangevraagd - vergunning niet aangevraagd (over het hoofd gezien) - fout bij aanvraag (onvoldoende vooroverleg)	T

Tabel 1.1c: FMEA voorbereiden.

A7.8	tussentijdse wijziging van eisen in vergunningen	- nieuwe richtlijnen bevoegd gezag	T
A7.9	overschrijden van geldigheidstermijn van vergunningen	- vertragingen in de voorbereidingen - vertragingen in de bouw - aangevraagde doorlooptijd te kort	T
<b>Activiteit: Plannen project (A8)</b>			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
A8.1	geen maatschappelijk draagvlak	- slechte communicatie	T
A8.2	onteigeningsprocedure loopt uit	- onderhandelingen verlopen stroef	T
A8.3	fouten in projectplanning	- juiste werkwijze onvoldoende bekend	T
A8.4	besluitvorming loopt uit	- politieke aangelegenheid	T

Tabel 1.1d: FMEA voorbereiden.

- Ad A2.9           Obstakel niet opgemerkt;  
Als dit niet gebeurt dan zal dit pas worden opgemerkt tijdens de uitvoering.
- Ad A6.4           Onvoldoende inzicht bij opdrachtgever in criteria aannemer;  
De opdrachtgever heeft onvoldoende kennis en ervaring in huis (gehaald) om te kunnen oordelen welke van de aannemers (combinaties) de voor het project aanbieding doet.
- Ad A7             Vergunnen  
Zowel voorafgaand aan, tijdens het bouwproject zijn tal van vergunningen benodigd. Het is van belang om tijdig een goed inzicht te krijgen van:
- ✓ alle benodigde vergunningen;
  - ✓ het bevoegd gezag;
  - ✓ de procedures (termijnen, inspraak etc.);
  - ✓ vergunningvoorwaarden;
  - ✓ geldigheidstermijn.

## Fase 2: Bouwproces; nevenwerkzaamheden

### □ Fase 2: Bouwproces; nevenwerkzaamheden

Activiteit: Verlagen van de grondwaterstand (B1)		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
B1.1 benodigde vergunningen te laat	- planningsfout	T
B1.2 logistiek probleem	- slechte bereikbaarheid	T
B1.3 benodigd materieel niet beschikbaar	- onjuiste planning	T
B1.4 verlaging niet gehaald	- geohydrologische parameters onjuist - capaciteit installatie te laag - lekkage	K (extra materieel vereist)
B1.5 Bedieningsfout apparatuur	- uitvoeringsfout	T
B1.6 storing apparatuur	- electriciteit valt uit - brandstof op - apparaat defect	T, S (opbarsten bouwput)
B1.7 verlaging niet gehaald	- geohydrologische parameters onjuist	K (extra materieel vereist), T capaciteit installatie onvoldoende lekkage
B1.8 debiet waarvoor vergunning is verleend wordt overschreden	- onjuiste inschatting parameters	T (werk wordt stilgelegd)
B1.9 extreme en langdurige koudeperiode	- ongunstige planning	K, T
B1.10 grondwater ernstiger vervuild dan gedacht	- onvoldoende onderzoek	K, T (aanvullende analyses & aanpassingen aan verleende vergunningen vereist)
B1.11 zettingen a.g.v. grondwaterstandsfalling overschrijden berekend maximum	- onjuiste inschatting parameters	K, T (beschadiging ondergrondse infrastructuur)
B1.12 extern probleem	- externe oorzaak	K, T, Q, S
Activiteit: Grondwerk (B2)		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
B2.1 te verbeteren lokaties niet bekend	- slechte communicatie	T
B2.2 logistiek probleem	- slechte bereikbaarheid	T
B2.3 benodigd materieel niet beschikbaar	- onjuiste planning	T
B2.4 niet op juiste plaats	- lokatie systeem faalt	T, Q
B2.5 obstakel geraakt	- onvoldoende onderzoek	K, T (leiding beschadigt of kapot) S (ontploffing)
B2.6 plaats voor apparaat niet bereikbaar	- onjuiste fasering	T
B2.7 storing apparatuur	- onvoldoende brandstof	T
B2.8 bedieningsfoutapparatuur	- uitvoeringsfout	T
B2.9 zetting/opheffing van grond	- te hoge injectiedruk	K (schade belendingen en ondergrondse infrastructuur)
B2.10 waterdichtheid voldoet niet	- geen goede samenstelling - geologie wijkt af van (afw. A2.9)	T, Q
B2.11 sterkte voldoet niet	- geen goede samenstelling	T, Q
B2.12 extern probleem	- externe oorzaak	K, T, Q, S

Tabel 1.2a: FMEA bouwproces; Nevenwerkzaamheden.

Activiteit: Werkterrein inrichten (B3)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
B3.1	benodigde vergunningen te laat	- planningsfout	T
B3.2	werkterrein niet beschikbaar	- geen toestemming (afw. A2.2)	T
B3.3	logistiek probleem	- slechte bereikbaarheid	T
B3.4	benodigd materieel niet beschikbaar	- onjuiste planning (afw. A8)	T
B3.5	beschadiging ondergrondse infrastructuur	- onvoldoende onderzoek	K, T, S
B3.6	onverwachte obstakels	- onvoldoende onderzoek	T, S (ontploffing)
B3.7	onverwachte bodemvervuiling aangegeven	- onvoldoende onderzoek	T
B3.8	weer zit tegen	- ongunstige planning	T
Activiteit: Fabricage elementen (B4)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
B4.1	niet de juiste bouwstoffen voorhanden	- staking	T
B4.2	apparatuurdefect	- storing	T
B4.3	bedieningsfoutapparatuur	- uitvoeringsfout	T
B4.4	extern probleem	- externe oorzaak	K, T

Tabel 1.2b: FMEA bouwproces; Nevenwerkzaamheden.

□ Fase 2: *Bouwproces; funderen*

Activiteit: Verrichten grondwerk (C1)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
C1.1	geen tijdige toestemming begin werkzaamheden	- vergunning te laat aangevraagd	T
C1.2	logistiek probleem	- planning - staking	T
C1.3	juiste materieel niet tijdig beschikbaar	- planning	T
C1.4	aantreffen obstakel	- onvoldoende onderzoek	T, S (ontploffing)
C1.5	Beschadiging ondergrondse infrastructuur	- onvoldoende onderzoek - onjuiste gegevens	K (schade aan omgeving) M
C1.6	defect apparatuur	- technische storing	T
C1.7	bedieningsfoutapparatuur	- uitvoeringsfout	K (schade aan omgeving), T
C1.8	schade aan omgeving	- grondwerk veroorzaakt vervormingen in ondergrond en aangrenzende gebouwen	K, T
C1.9	tegenkomen van verontreinigde grond	- onvoldoende onderzoek	K, T, M, S
C1.10	extern probleem	- externe oorzaak	K, T, Q, S
Activiteit: Heien (C2)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
<i>Heien palen</i>			
C2.1	Vorbereiding niet op tijd klaar	- problemen bij werk	T
C2.2	logistiek probleem	- planning	T
C2.3	juiste materieel niet tijdig beschikbaar	- planning	T
C2.4	elementen voldoen niet aan tolerantie-	- fabricage-fout	K, T (nieuwe of aangepaste funderingselementen nodig)
C2.5	obstakel	- onvoldoende onderzoek - onverwacht obstakel	K, T S (ontploffing, schade aan materiaal)
C2.6	berekend funderingsniveau blijkt niet reëel	- ontwerpfout	K, T (nieuwe of aangepaste funderingselementen nodig)
C2.7	apparatuur defect	- technische storing	T
C2.8	bedieningsfoutapparatuur	- uitvoeringsfout	T
C2.9	schade aan omgeving	- zwaar heiwerk	T (trillingshinder)
C2.10	hijsen heipalen	- vallen heipaal	K, T, S
C2.11	extern probleem	- externe oorzaak	K, T, Q, S

Tabel 1.2c: FMEA bouwproces; Funderen.

<i>Heien damwandpalen</i>			
C2.12	grote vervormingen tijdens heien damwandplanken	- planken onvoldoende stijf	K, T (planken niet op diepte; extra maatregelen nodig)
C2.13	spleten tussen planken	- planken lopen uit slot - te grote vervormingen	K, T (niet zand- en waterdicht, zettingen, lekkage)
C2.14	niet heibaar	- grondgesteldheid - obstakels - slechte maatvoering - onjuist materieel	K, T
C2.15	hijsen damwanden	- vallen heipaal	K, T, S
Activiteit: Betonwerk (C3)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
Maken onderwaterbeton			
C3.1	logistiek probleem	- planning	T
C3.2	juiste materiaal niet tijdig beschikbaar	- planning	T
C3.3	beton niet de juiste samenstelling	- productiefout	T
C3.4	geen basismateriaal te krijgen	- planning	T
C3.5	onderwaterbeton sluit niet goed aan op dam/combi/diepwand	- constructiefout - te hoge spanningen	K, T, S
C3.6	vloer barst op	- evenwichtsberekeningfout (bv. trekpaalberekening)	K, T, S
Maken beton			
C3.7	scheurvorming	- temperatuur - samenstelling - zettingen - krimp - kruip	K, T, G (lekkage te weinig sterkte)
C3.8	onvoldoende sterkte	- samenstelling beton - wapening - verdichting	K, T, M, S (bezwijken, scheurvorming)
C3.9	betonmolen bezwijkt	- nat beton valt	K, T, S
Maken diepwanden			
C3.10	Instabiliteit sleuf	- grondbelastingen te hoog - bentonietniveau te laag - bentoniet samenstelling niet goed - grondgesteldheid slechter dan verwacht - onzorgvuldige uitvoering	K, T, M (lokale zettingen te groot, schade aan wegen, kabels en leidingen)
C3.11	onvoldoende waterdichtheid	- betonsamenstelling niet goed - verdichting onvoldoende - maaswijdte wapening te groot - voegen tussen panelen niet goed - slechte aansluiting op vloer	K, T (waterbezwaar te groot)
C3.12	onregelmatigheden aan oppervlak	- betonsamenstelling niet goed - grondsamenstelling leidt tot problemen - onzorgvuldige uitvoering	K, T, Q (wanddikte betonwanden onvoldoende)
C3.13	Materieeldefect	- onvoldoende onderhoud	K, T, Q
C3.14	Extern probleem	- externe oorzaak	T
Activiteit: Staalwerk (C4)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
C4.1	logistiek probleem	- planning	T
C4.2	juiste materieel & materiaal niet beschikbaar	- planning	T
C4.3	bedieningsfoutapparatuur	- uitvoeringsfout	K, T, S
C4.4	onvoldoende sterkte stempelraam	- afwijkingen grondparameters grondwaterstanden	K, T, S
C4.5	te grote vervormingen stempelraam	- afwijkingen grondparameters grondwaterstanden	K, T, Q
C4.6	onvolkomenheden in maatvoering	- onjuiste dimensies	K, T (vervormingen, zettingen in omgeving en eventueel bezwijken)
C4.8	hijsen element	- vallen element	K, T, S
C4.7	extern probleem	- externe oorzaak	T

Tabel 1.2d: FMEA bouwproces; Funderen.

- Ad C1.4 Aantreffen obstakels;  
 Obstakels of afwijkingen in het grondprofiel die kunnen voorkomen zijn:
- Peilfilters, oude pompputten;
  - Oude leidingen, rioleringen;
  - Zand-,grindkolommen;
  - Verstoord bodemprofiel a.g.v. vroegere graaf- of baggeractiviteiten;
  - Groutankers;
  - Damwanden;
  - Heipalen;
  - Resten oude funderingen, archeologische vindplaatsen;
  - Oerbos, boomstammen;
- t.a.v. explosiegevaar:
- Blindgangers WO-I;
  - Bodemgas;

□ Fase 2: *Bouwproces; starten ruwbouw*

Activiteit: Betonwerk (D1)		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
<i>Maken beton voor schachten en vloeren</i>		
D1.1	logistiek probleem	- planning T
D1.2	juiste materiaal niet tijdig beschikbaar	- planning T
D1.3	beton niet de juiste samenstelling	- productiefout T
D1.4	geen basismateriaal te krijgen	- planning T
<i>Maken beton</i>		
D1.5	scheurvorming	- temperatuur - samenstelling - zettingen - krimp - kruip K, T, Q (lekkage te weinig sterkte)
D1.6	onvoldoende sterkte	- samenstelling beton - wapening - verdichting K, T, M, S (bezijken, scheurvorming)
D1.7	onvoldoende waterdichtheid	- onvoldoende verdicht - ontmenging bij storten - onvoldoende wapening K, T, Q (lekkage, te weinig sterkte)
D1.8	betonmolen bezwijkt	- nat beton valt K, T, S
<i>Storten beton</i>		
D1.9	beton sluit niet aan op stabiliteitsconstructie	- kwaliteit beton is van slechte kwaliteit - wapening niet goed aangebracht K, T, Q, S (instortingsgevaar)
D1.10	aanbrengen bekisting	- bekisting bezwijkt - beton valt K, T, Q, S (beton komt terecht op derden of bouwvakkers)
<i>Aanbrengen prefab elementen</i>		
D1.11	aanbrengen/hijsen beton-element	- element valt K, T, S (komt terecht op derden)
D1.12	beton-element in gevel	- element valt K, T, S (komt terecht op derden)
D1.13	extern probleem	- externe oorzaak T

Tabel 1.2e: FMEA bouwproces; starten ruwbouw.

Activiteit: Staalwerk (D2)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
D2.1	logistiek probleem	- planning	T
D2.2	juiste materieel & materiaal niet beschikbaar	- planning	T
D2.3	onvoldoende sterkte element	- ontwerpfout	K, T, S
D2.4	te grote vervormingen element	- ontwerpfout	K, T, Q, S
D2.5	onvolkomenheden in maatvoering	- onjuiste dimensies	K, T, S (vervormingen, zettingen in omgeving en eventueel bezwijken)
D2.6	aanbrengen/hijzen stalen element	- element valt	K, T, S (komt terecht op derden)
D2.7	element in constructie	- element bezwijkt - element valt	K, T, S (komt terecht op derden, instortingsgevaar)
D2.8	extern probleem	- externe oorzaak	T
Activiteit: (D3) Aanbrengen hulpconstructies			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
D3.1	logistiek probleem	- planning	T
D3.2	juiste materieel & materiaal niet beschikbaar	- planning	T
D3.3	onvoldoende sterkte element hulpconstructie	- ontwerpfout	K, T, S (bezwijken hulpconstructie)
D3.4	hulpconstructie te weinig geschoord	- uitvoeringsfout - bezwijken van hulpconstructie - bouwvakker valt - materieel valt	K, T, S (bezwijken hulpconstructie)
Activiteit: (D4) Aanbrengen vloerconstructie			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
D3.1	logistiek probleem	- planning	T
D3.2	juiste materieel & materiaal niet beschikbaar	- planning	T
D3.3	onvoldoende sterkte element	- ontwerpfout	K, T, S (bezwijken)
D3.4	hijzen element	- vallen element	K, T, Q (schade aan derden)
D3.5	element valt na het aanbrengen	- element bezwijkt - verbinding breekt - bouwvakker valt	K, T, Q
D3.6	extern probleem	- externe oorzaak	T

Tabel 1.2f: FMEA bouwproces; starten ruwbouw.

□ Fase 2: Bouwproces; starten afbouw

Activiteit: Aanbrengen afbouw-elementen(E1)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
E1.1	beschadigingen tijdens transport	- calamiteit - onzorgvuldigheid tijdens transport	T (onderdelen herstellen, onderdelen vervangen)
E1.2	delen arriveren te laat	- calamiteit	T
E1.3	delen passen niet op elkaar	- constructiefout	T (aanpassen onderdelen, vervangen onderdelen)
E1.4	hulpconstructie voor inbrengen faalt	- defect - overbelast	K, T, S
E1.5	extern probleem	- externe oorzaak	K, T, Q, S
Activiteit: Aanbrengen niet constructieve elementen(E2)			
	Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
E2.1	beschadigingen tijdens transport	- calamiteit - onzorgvuldigheid tijdens transport	T (onderdelen herstellen, onderdelen vervangen)
E2.2	delen arriveren te laat	- calamiteit	T
E2.3	delen passen niet op elkaar	- constructiefout	T (aanpassen onderdelen, vervangen onderdelen)
E2.4	hulpconstructie voor inbrengen faalt	- defect - overbelast	T, S
E2.5	element niet geschikt	- ontwerpfout	T
E2.6	extern probleem	- externe oorzaak	K, T, Q, S

Tabel 1.2g: FMEA bouwproces; starten afbouw.



Ad E2 Niet constructieve elementen kunnen ook elementen installaties zijn.

□ *Fase 2: Bouwproces; beëindigen werkzaamheden*

Activiteit: (F1) Verwijderen hulpconstructies		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
D1.1 logistiek probleem	- planning	T
D1.2 juiste materieel & materiaal niet tijdig afgevoerd	- planning	T
D1.3 verwijderen hulpconstructie	- delen hulpconstructie vallen	K, T, S (bezwijken hulpconstructie bij weghalen)
D1.4 extern probleem	- externe oorzaak	K, T, Q, S
Activiteit: (F2) Inrichten en afwerken		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
F2.1 Inrichting voldoet niet	- ontwerpfout	T
F2.2 extern probleem	- externe oorzaak	K, T, Q, S

Tabel 1.2h: FMEA bouwproces; beëindigen werkzaamheden.

### Fase 3: Beheer

Activiteit: (G1) Nazorg en onderhoud		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
G1.1 beton-element in gevel	- element valt	K, T, S (komt terecht op derden)
G1.2 Ondeugdelijk ontwerp t.a.v. onderhoud	- ontwerpfout	K
G1.3 extern probleem	- externe oorzaak	K, T, Q, S
Activiteit: (G2) Sloop		
Mogelijke afwijking	Mogelijke oorzaak	Mogelijk gevolg
G2.1 Ondeugdelijk ontwerp t.a.v. sloop	- ontwerpfout	K

Tabel 1.3: FMEA beheer.



# BIJLAGE 2

## BIJLAGE 2: HET VALGEDRAG

---

### Aard van het vallen

De activiteiten die vallen veroorzaken tijdens de bouw zijn als volgt op te sommen [Buu2000]:

1. Vallen van bouwvakker;
2. (Om)vallen of bezwijken van grote bouwdelen of constructies;
3. (Om)vallen of bezwijken van kleine bouwdelen of constructies;
4. (Om)vallen van groot materieel;
5. (Om)vallen van licht materieel;
6. Omvallen (wand)bekisting, steiger en ander hulpmaterieel;
7. Vallen van gestort beton;
8. Vallen van niet bouwgerelateerde elementen;
9. Bezwijken van het hele gebouw;
10. Aanrijding of ander ongeval met rijdend materieel;
11. Explosie, kortsluiting, brand, uitstromend gas.

Ad 1 Het vallen van een bouwvakker kan leiden tot beïnvloeding van veiligheid van derden. De aard van het ongeval waardoor de bouwvakker kan vallen, ligt vaak in de volgende zaken:

- Val van verdieping, balkon of gevel;
- Val van sparing, trapgat of liftschacht;
- Val bij (de)montage bekisting;
- Val van steiger;
- Val van ladder of trap;
- Val van dak of uit goot;
- Val van hulpconstructie, ligger of balk;
- Val van rijdend materieel of lift;
- Struikelen of vallen;
- Val (overig).

Ad 5 Onder licht materieel verstaan we:

- Hamer;
- Schroevendraaier;
- Boormachine;
- Bouten, moeren;
- Spijkers;

Ad 6 Zwaar materieel kan zijn:

- Trap;
- Vlindermachine;
- Bobkit.

Ad 7/8 Aanrijden behoort niet tot het valgedrag, desalniettemin is het essentieel om deze mee te nemen, want deze beïnvloedt de veiligheid van derden.

### Oorzaken van het vallen

De oorzaken die leiden tot deze activiteiten kunnen als volgt worden opgesomd [Buu2000]:

1. Bedieningsfout materieel of materieel verkeerd gebruikt;
2. Materieel niet goed opgesteld;
3. Te zware hijslast of kantelmoment;
4. Last niet goed aangeslagen of niet goed geborgd;
5. Materieelgebrek;
6. Verkeerde werkmethode, fouten in of bij werk;
7. Onvoorzichtigheid;
8. Onoplettendheid;
9. Roekeloos gedrag;
10. Mankementen aan of onjuist gebruik van gereedschap;
11. Materiaal of bouwelement niet of onvoldoende geschoord;
12. Wand- of tafelbekisting niet of onvoldoende geschoord;
13. Onvoldoende borging materieel of bouwdeel;
14. Stempels (te vroeg) verwijderd;
15. Steiger niet goed opgebouwd of overbelast;
16. Verkeerde ladderopstelling of ladder niet geschikt;
17. Geen of ondeugdelijk leuningwerk of valbeveiliging;
18. Sparing niet, niet meer, niet tijdig of niet goed afgedekt;
19. Geen of geen goede veiligheidsvoorziening (overige);
20. Verkeersfout;
21. Constructiefout;
22. Kabel of leiding kapot getrokken of beschadigd;
23. Anders, bouwgerelateerd;
24. Anders, niet bouwgerelateerd.

# BIJLAGE 3

## BIJLAGE 3: RESULTATEN EXPERT-ONDERZOEK

De resultaten van het expert-onderzoek zijn in deze bijlage weergegeven. Per expert wordt beschreven wat zijn opinie was omtrent de kansverdeling van het valgedrag. Ook is vermeld bij welke instantie deze persoon werkzaam is.

Expert 1: Ing. P.V.Kauffman  
DVP,

Betrokken bij de begeleiding van de uitvoering van het Equinox-gebouw Utrechtse Baan, Den Haag.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	I	0,1	0,9
5 - 100 kg	III	0,001	0,999
100 - 1000 kg	IV	0,0001	0,9999
1000 - 10000 kg	IV	0,0001	0,9999
> 10000 kg	V	0,00001	0,99999

Expert 2: Ing. Van Beek  
Heijmans

Projectmanager Equinox-gebouw Utrechtse Baan, Den Haag.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	I	0,1	0,9
5 - 100 kg	III	0,001	0,999
100 - 1000 kg	IV	0,0001	0,9999
1000 - 10000 kg	V	0,00001	0,99999
> 10000 kg	V	0,00001	0,99999

Expert 3: De Knecht

Strukton Bouwprojecten

Hoofduitvoerder Pharos-project, Hoofddorp; een gebouw vlak naast een drukke verkeersweg.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	I	0,1	0,9
5 - 100 kg	II	0,01	0,99
100 - 1000 kg	IV	0,0001	0,9999
1000 - 10000 kg	V	0,00001	0,99999
> 10000 kg	V	0,00001	0,99999

Expert 4: J.J.A.Hermans

BAM Planadvies Utiliteitsbouw,

Uitvoerder bij het project NewMetropolis Amsterdam.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	I	0,1	0,9
5 - 100 kg	II	0,01	0,99
100 - 1000 kg	IV	0,0001	0,9999
1000 - 10000 kg	IV	0,0001	0,9999
> 10000 kg	IV	0,0001	0,9999

Expert 5: Ing.R.Stevens

Nelissen van Egteren Utiliteitsbouw

Werkvoorbereiding, Mecc Congrescentrum, Maastricht.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	I	0,1	0,9
5 - 100 kg	II	0,01	0,99
100 - 1000 kg	III	0,001	0,999
1000 - 10000 kg	IV	0,0001	0,9999
> 10000 kg	V	0,00001	0,99999

Expert 6: Ir.Galjaard MBA

Arcadis Bouw/Infra, Den Haag,

projectleider van Haagse Poort, Bruggebouwen over Utrechtse Baan en Bruggebouw Helicon Rijswijk.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	I	0,1	0,9
5 - 100 kg	III	0,001	0,999
100 - 1000 kg	III-IV	0,00055	0,99945
1000 - 10000 kg	IV	0,0001	0,9999
> 10000 kg	IV	0,00001	0,99999

Expert 7: Prof.dipl.-ing. J.N.J.A. Vamberský,  
 Corsmit Raadgevend ingenieursbureau, tevens hoogleraar constructies van gebouwen  
 aan de TU-Delft, hoofdconstructor Malie-toren, Utrechtse Baan, Den Haag.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	I	0,1	0,9
5 - 100 kg	I	0,1	0,9
100 - 1000 kg	II	0,01	0,99
1000 - 10000 kg	II	0,01	0,99
> 10000 kg	III	0,001	0,999

Expert 8: Dr.ir. P.H. Waarts  
 TNO  
 Adviseur op het gebied van dynamica en betrouwbaarheidsanalyses.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	I	0,1	0,9
5 - 100 kg	II	0,01	0,99
100 - 1000 kg	II	0,01	0,99
1000 - 10000 kg	III	0,001	0,999
> 10000 kg	IV	0,0001	0,9999

Expert 9: Drs.Kramer  
 Ballast Nedam Regio Zuid-Oost,  
 bouwplaatsmanager GUO-project Eindhoven, gebouw naast een verkeersader.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	I	0,1	0,9
5 - 100 kg	II	0,01	0,99
100 - 1000 kg	III	0,001	0,999
1000 - 10000 kg	V	0,00001	0,99999
> 10000 kg	V	0,00001	0,99999

Expert 10: Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder  
TNO

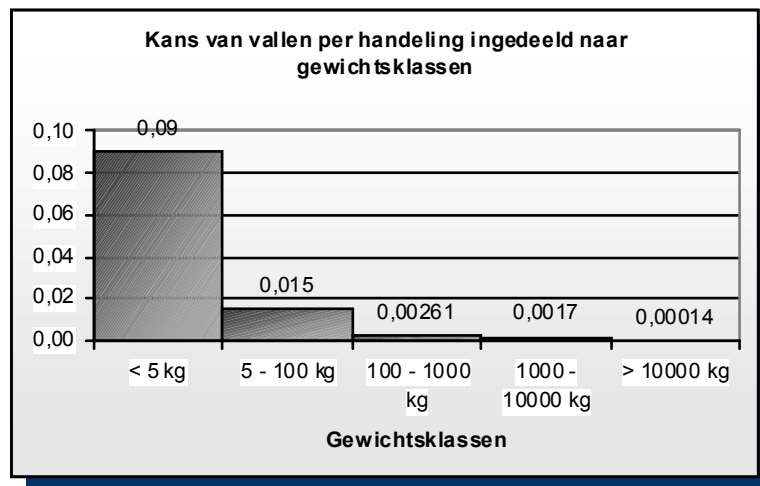
Adviseur op het gebied van dynamica en betrouwbaarheidsanalyses, tevens hoogleraar Dynamica aan de TU-Delft.

Gewicht	klasse	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	III	1,00E-03	0,999
5 - 100 kg		1,60E-03	0,9984
100 - 1000 kg		3,10E-03	0,9969
1000 - 10000 kg		5,50E-03	0,9945
> 10000 kg	IV	1,00E-04	0,9999

Het resultaat van de experts is hieronder weergegeven. Opvallend is dat door expert 10, de waarden voor gewichtsklasse < 5 kg en 5 - 100 kg lager worden.

Gewicht	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	0,09	0,91
5 - 100 kg	0,015	0,985
100 - 1000 kg	0,0026	0,9974
1000 - 10000 kg	0,0017	0,9983
> 10000 kg	0,00014	0,99986

Het daarbijbehorende histogram:



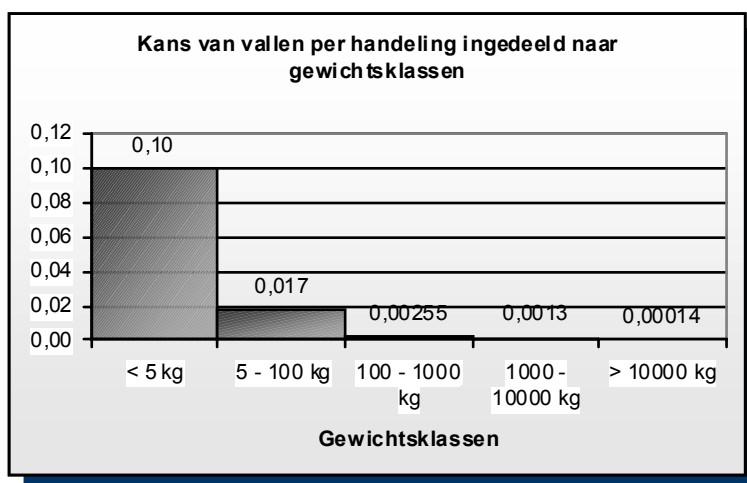


Expert 10, Prof.ir.A.C.W.M.Vrouwenvelder, gaf te optimistische waarden aan de valkansen. Nadat er een vergelijking is gemaakt tussen de waarden van andere experts, is hij benaderd. Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder gaf toe te optimistisch zijn geweest en besloot zich terug te trekken.

Hierdoor is het resultaat van die waarden van de experts gecorrigeerd, waardoor er gezegd kan worden dat het expert-onderzoek geslaagd is. Het gemiddelde resultaat van het gecorrigeerde expert-onderzoek is:

Gewicht	P(el.valt)	P(el.valt niet)
< 5 kg	0,10	0,90
5 - 100 kg	0,017	0,983
100 - 1000 kg	0,0026	0,9974
1000 - 10000 kg	0,0013	0,9987
> 10000 kg	0,00014	0,99986

Het bijbehorende histogram:





# BIJLAGE 4

## BIJLAGE 4: WAARSCHIJNLIJKHEIDSTABELLEN BOUWEN OVER WEG

Overzichtelijkheidshalve zijn in deze bijlage een aantal (niet nuttige) waarschijnlijkheidstabellen weggelaten. Hierbij ging het voornamelijk om tabellen die gevuld waren met 1-en en 0-en. De volgende situaties in die waarschijnlijkheidstabellen zijn niet in deze bijlage opgenomen:

1. De kansverdeling voor de node *letsel* indien het element niet valt;
2. De kansverdeling voor de node *kosten* indien het element niet valt;
3. De kansverdeling voor de node *letsel* en *kosten* indien het element buiten het gebouw valt en een collapse veroorzaakt (deze situatie is niet mogelijk, dus geen letsel en extra kosten).

Ad 1 Indien het element niet valt, kan het geen letsel veroorzaken, ongeacht een andere conditie (node) die opgegeven wordt aan het vallen van het element (bijv. waar, hoofddraagconstructie, hoogte, gewicht, onderliggende situatie). De kansverdeling in dat geval ziet er als volgt uit:

	Vallen	Niet
Waar		-
Hoofddraagconstructie		-
Hoogte		-
Gewicht		-
Onderliggende st.		-
Geen	1	1
Gewond	0	0
Dood	0	0

Ad 2 Zie ad 1. (geen kosten indien het voorwerp niet valt).

De kans verdeling in dat geval ziet er als volgt uit:

	Vallen	Niet
Waar		-
Hoofddraagconstructie		-
Hoogte		-
Gewicht		-
Onderliggende st.		-
Kost.buiten		-
geen	1	1
< € 10.000	0	0
€ 10.000 - € 100.000	0	0
€ 100.000 - € 1.000.000	0	0
> € 1.000.000	0	0

Ter verduidelijking van de verschillende states van de node *onderliggende situatie* is het onderstaand figuur opgenomen:

