



rivm

Report 620801002/2009
WORM-metamorfose consortium

Kwantitatieve risicoanalyse voor arbeidsveiligheid

De ontwikkeling van een risicomodel en
software

RIVM-rapport 620801002/2009

Kwantitatieve risicoanalyse voor arbeidsveiligheid

De ontwikkeling van een risicomodel en software

WORM-metamorfose consortium

Contact:
C.M. van Luijk
Centrum voor Externe Veiligheid
cev@rivm.nl



HCRM Limited



Dit onderzoek werd verricht in opdracht van ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, in het kader van Programma Versterking Arbeidsveiligheid

Auteurs

Dr. O. Aneziris	NCSR Demokritos, Griekenland
E. de Baedts LLM	EDBC BV, Nederland
Ir. J. Baksteen	Rondas Safety Consultancy, Nederland
Dr. L.J. Bellamy	White Queen BV, Nederland
Ir. A. Bloemhoff	Stichting Consument en Veiligheid, Nederland
Drs. M. Damen	RIGO, Nederland
Ir. V. van Eijk	Stichting Consument en Veiligheid, Nederland
Dr. J.I. Kuiper	Stichting Consument en Veiligheid, Nederland
Dr. K. Leidelmeijer	RIGO, Nederland
Ir. M. Mud	RPS Advies B.V., Nederland
Dr. ir. S. Mulder	Stichting Consument en Veiligheid, Nederland
Ing. J.I.H. Oh	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Nederland
Dr. I.A. Papazoglou	NCSR Demokritos, Griekenland
Dr. J.G. Post	NIFV, Nederland
Dr. V.M. Sol	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Nederland
Dr. P.A.M. Uijt de Haag	RIVM, Nederland
R. Whitehouse MA	HCRM Ltd., Verenigd Koninkrijk

© RIVM 2009

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Kwantitatieve risicoanalyse voor arbeidsveiligheid

De ontwikkeling van een risicomodel en software

Er is een model ontwikkeld om arbeidsrisico's tijdens het werk in Nederland te berekenen. Per activiteit, baan, bedrijf of industrietak kan het risico op ongevallen of overlijden worden berekend. Werkgevers kunnen vervolgens maatregelen kiezen die het risico hierop beperken. Ook kunnen de kosten van deze maatregelen en de behaalde risicobeperking met het model worden berekend. Hiermee is een optimale afweging mogelijk van de kosten en de baten van maatregelen die risico's verminderen. Het model is ontwikkeld in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW). Het RIVM gaf leiding aan het internationale onderzoeksconsortium.

Voor het onderzoek is een groot aantal arbeidsongevallen geanalyseerd, op basis van de ongevalrapporten van de Arbeidsinspectie. Deze gegevens zijn in een database gezet, waarbij de arbeidsongevallen werden verdeeld naar 36 typen ongevalsscenario's. De ongevalsscenario's werden gebruikt om zogenoemde 'vlinderdasmodellen', *bow ties*, te construeren. Aan de ene kant van dit model staan de onderliggende oorzaken van een ongeval vermeld en aan de andere kant de gevolgen ervan (gewond raken of dodelijk letsel). In een bow tie worden de maatregelen genoemd die een ongeval helpen voorkomen, dan wel helpen om de gevolgen te beperken. De bow ties geven eveneens getalsmatig aan hoe vaak dergelijke maatregelen kunnen falen.

Vervolgens is een analyse gemaakt van de activiteiten en arbeidsomstandigheden van de gemiddelde werknemer. Daarmee is bepaald in welke mate werkende personen aan risicovolle activiteiten blootstaan en hoe goed de risicobeperkende maatregelen op de werkplek zijn.

Trefwoorden:

kwantitatieve risicoanalyse, arbeidsveiligheid, veiligheidsbeheer, risicomodel, arbeidsongevallen

Abstract

The quantification of occupational risk

The development of a risk assessment model and software

The Dutch Ministry of Social Affairs and Employment (SZW) commissioned the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) to develop a model for calculating occupational risk in the Netherlands. This model is to provide employers with a choice of measures – or combination of measures – aimed at reducing the risk of employees suffering injury or death as a consequence of job-related incidents. The model can also be used to calculate the cost of these measures and the extent to which the risk has been reduced. As such, the model can be used to work out an optimal balance between the costs and the benefits of implementing risk-reducing measures.

The model is based on extensive research that involved the analysis of a large number of job-related incidents documented in incident reports of the Labour Inspectorate. The results of the analysis were stored in a database, and the job-related incidents were subsequently classified into 36 different incident scenarios, such as Falling from heights. The incident scenarios were used to construct so-called bow ties, which describe the causes of an incident (which event led to its occurrence?) and its consequences (injury or fatality?). Possible measures that may help prevent an incident or mitigate its consequences are also mentioned in the bow ties. The bow ties also set a value that indicates the failure rate of these measures.

Job-related activities and workplace conditions of the average Dutch employee were then analysed in terms of the extent to which employees are exposed to potentially risky situations or activities. The quality of the risk-reducing measures implemented at the workplace was also assessed. Given the large amount of data used to develop the model, it can be applied to calculate the risk of incidents on an activity, job, company or whole industry basis.

Key words:

quantified risk assessment, occupational safety, safety management, risk model, occupational incidents

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Programma versterking arbeidsveiligheid	9
1.2 Doelgroepen van het risicomodel voor arbeidsveiligheid	9
1.3 Reikwijdte	10
1.4 Leidraad bij de verwerking en lezing	10
2 Logica en de ontwikkeling van het risicomodel voor arbeidsveiligheid	13
2.1 Het concept van gekwantificeerde risicoanalyse voor arbeidsveiligheid	13
2.2 Model voor één gevaar	13
2.3 Bow tie	14
2.4 Opbouw van het bow-tiemodel voor één gevaar	15
2.5 Kwantificering van het logische model	16
2.6 Factoren die van invloed zijn op de waarschijnlijkheid (PIE's)	17
2.7 Risicoreducerende maatregelen	19
2.8 Model voor meerdere gevaren: bedrijfsmodel	19
2.9 Vergelijking van verschillende risiconiveaus: efficiencygrens	21
2.10 Risicobeheer: optimalisatie	22
2.11 Softwareontwikkeling voor het model	23
3 Gegevensverzameling en -analyse	25
3.1 Ongevallengegevens: gevaren, oorzaken, gevolgen en beperking van de gevolgen	25
3.2 Analyse van de blootstelling aan gevaren en arbeidsveiligheidsomstandigheden	29
3.2.1 Blootstelling aan gevaren: het missieonderzoek	30
3.2.2 Arbeidsveiligheidsenquête	32
3.3 Maatregelen	34
3.3.1 Benodigde gegevens om het risico te beïnvloeden	34
3.3.2 Maatregelen: definitie en verzameling	34
3.3.3 Effect van de maatregelen: risicobeïnvloeding van PIE tot barrière	35
3.3.4 Effectiviteit	35
3.3.5 Kosten	37
3.4 Beroepen, activiteiten en gevaren	38
4 Belangrijkste resultaten	41
4.1 Gekwantificeerde risicoanalyse voor arbeidsveiligheid	41
4.2 Software: programma voor het beheer van beroepsrisico's	47
4.2.1 Beschrijving van de software	47
4.3 Gegevensverzamelingen over de Nederlandse beroepsbevolking	54
4.3.1 Ongevallen: feiten en cijfers	54
4.3.2 Blootstelling aan gevaren	61
4.3.3 Veiligheidsenquête	63
4.3.4 Maatregelen	63
4.3.5 Koppeling functie, activiteit, gevaar	66
5 Afgeleide producten	71
5.1 Storybuilder	71

5.2	Storyfilter	72
5.3	Bowtiebuilder	74
5.4	Databank van maatregelen	77
5.5	Mogelijke uitbreiding naar de analyse van effecten op gezondheidsrisico's	78
5.5.1	Vereisten voor het HIA-model	79
5.5.2	Concept van het HIA-model	79
5.5.3	Vereisten voor gegevens en beschikbaarheid	80
5.5.4	Vervolgacties in verband met HIA	81
6	Conclusies en aanbevelingen	83
6.1	Belangrijke conclusies van het project	83
6.2	Betrokkenheid van gebruikers bij verdere ontwikkelingen	84
6.3	Marketing	85
6.4	Beschikbaarheid van gegevens	85
6.5	Onderhoud en ontwikkeling van het model en de gegevens	86
6.5.1	Verdere analyse	86
6.5.2	Validatie	87
6.5.3	Bijwerken van gegevensverzamelingen	88
6.5.4	Internationaal gebruik	88
6.6	Gekwantificeerde analyse van effecten op de gezondheid gerelateerd aan arbeid	88
	Literatuur	95
	Bijlage 1 Woordenlijst	95
	Bijlage 2 Overzicht van storybuilds en bow ties	103
	Bijlage 3 Gekwantificeerde arbeidsrisico's	107
	Bijlage 4 Figuren en tabellen	113
	Bijlage 5 Technische rapporten	117

Samenvatting

Ontwikkelingen in het Nederlandse arbeidsveiligheidsbeleid hebben geleid tot het initiatief om een gekwantificeerd model voor arbeidsveiligheid op te stellen. Het gekwantificeerde risicomodel moet bedrijven en werknemers in staat stellen arbeidsongevallen te reduceren. Het model dient als ondersteuning bij de risicobeperking, toegesneden op de specifieke behoeften van een bedrijf of beroep.

Het risicomodel voor arbeidsveiligheid is gebaseerd op een gedetailleerde analyse van 9.000 ongevalrapporten van de Nederlandse Arbeidsinspectie, waarin de gevolgen van arbeidsongevallen staan vermeld (tijdelijk, blijvend of dodelijk letsel). Met behulp van nieuw ontwikkelde software (*Storybuilder*) zijn deze arbeidsongevallen, die plaatsvonden tussen 1998 en 2004, verdeeld naar 36 typen ongevalsscenario's. Deze 9.000 ongevallen zijn genomen uit een geheel van 12.000 onderzochte incidenten in die periode. De scenario's (*storybuilds*) en de gegevens over ongevallen en blootstelling zijn vervolgens gebruikt voor de ontwikkeling en kwantificering van 64 logische modellen (*bow ties*) met behulp van het programma *Bowtiebuilder*. De blootstellinggegevens van activiteiten en specifieke arbeidsveiligheidsomstandigheden dateren van 2006 en 2007 en hebben betrekking op de Nederlandse beroepsbevolking van ongeveer 7 miljoen personen. Uit deze blootstellinggegevens kan het Nederlandse nationale gemiddelde worden afgeleid voor duizenden arbeidsveiligheidsgerelateerde omstandigheden die van invloed zijn op de kwaliteit van veiligheidsbarrières. Voor de identificatie van beroepsspecifieke gevaren is daarnaast een half miljoen Deense arbeidsongevallen gebruikt.

Op basis van deze bow ties en gegevens is een computermodel van arbeidsveiligheid gebouwd voor de risicoanalyse per activiteit, beroep, bedrijf of industrietak. Er zijn gegevens verzameld over een groot aantal maatregelen, dat van invloed is op de kwaliteit van veiligheidsbarrières. De kosten van de maatregelen zijn berekend en er is een schatting gemaakt van de behaalde resultaten. De gegevens over maatregelen en kosten zijn gecombineerd met de risicoberekeningen om hieruit de meest rendabele risicoreducerende verzameling maatregelen af te leiden. De resultaten worden weergegeven in een grafiek.

Dit rapport beschrijft de hoofdlijnen van het project, met inbegrip van het model, de gebruikerssoftware, de gegevens en de belangrijkste inzichten over arbeidsveiligheid.

Het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) dankt dr. K. Jørgensen van de Deense Technische Universiteit in Lyngby en dr T. Maddison van de Britse Health and Safety Executive voor hun deelname aan het project en de belangrijke bijdrage die deze organisaties hebben geleverd met de gegevens van de Britse en Deense databanken over arbeidsongevallen.

1 Inleiding

1.1 Programma versterking arbeidsveiligheid

In 2002 vonden ongeveer 103.000 ongevallen plaats met als gevolg letsel of arbeidsverzuim. 3.500 ongevallen leidden tot ziekenhuisopname en 91 mensen stierven door een arbeidsongeval (Venema en Bloemhoff, 2004). In 2003 is het Nederlandse ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) begonnen met het beleidsprogramma Versterking Arbeidsveiligheid. Dit programma omvat twee onderdelen:

1. Veiligheidsverbetertrajecten van bedrijven, gericht op gedragsverandering van werknemers.
2. Een project waarmee prioriteiten kunnen worden gesteld voor arbeidsveiligheid en waarmee organisaties en individuele werknemers de meest rendabele verzameling maatregelen kunnen identificeren ter verbetering van hun prestaties op het gebied van veiligheid.

Voor het tweede onderdeel was een kwantitatief risicomodel voor arbeidsveiligheid vereist, waarmee de waarschijnlijkheid van een arbeidsongeval en de gevolgen kunnen worden bepaald, gegeven een specifieke activiteit en arbeidsveiligheidsomstandigheden. Voor de ontwikkeling van een dergelijk model, het ORM (Occupational Risk Model), werd een onderzoeksproject gestart. Doel van het project was om software te ontwikkelen waarmee beleidsmakers, bedrijven en werknemers de risico's voor arbeidsveiligheid kunnen analyseren en reduceren door de meest rendabele maatregelen te kiezen.

De risicogeoriënteerde aanpak zou tegelijkertijd een bijdrage kunnen leveren aan een coherent arbeidsveiligheidsbeleid dat aansluit op het kwantitatieve risicobeleid van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) en het ministerie van Verkeer en Waterstaat (VenW).

Het WORM-onderzoeksteam (Workgroup Occupational Risk Model) heeft het oorspronkelijke risicomodel en een prototype van de ORM-software ontwikkeld in juni 2006 (Ale, 2006). Het WORM-metamorfosesteam (WORM-M), opgericht in de tweede helft van 2006, heeft het model van gegevens voorzien en de software ontwikkeld tot werkmodel.

Het risicomodel voor arbeidsveiligheid is het onderwerp van dit rapport.

1.2 Doelgroepen van het risicomodel voor arbeidsveiligheid

Het risicomodel voor arbeidsveiligheid richt zich op de volgende doelgroepen:

- beleidsmakers, die het model kunnen gebruiken om prioriteiten te stellen, de arbeidsveiligheid te beoordelen en vragen van het parlement en de maatschappij te beantwoorden;
- de Arbeidsinspectie, als richtlijn bij de te volgen strategie voor inspecties;
- bedrijven, werknemers, ondernemingsraden, vakbonden en brancheorganisaties, als hulpmiddel bij risicobeoordelingen en kosten-batenanalyses voor optimale risicobeperking;

- verzekeringsmaatschappijen, die daarmee hun klanten kunnen beïnvloeden om preventieve maatregelen te nemen;
- veiligheidsadviseurs en andere veiligheidsondersteunende diensten (zoals arbodiensten), als trainingsmateriaal en hulpmiddel voor de risicoanalyse bij organisaties;
- onderwijsinstellingen, als stimulans voor bewustmaking over beroepsrisico's onder jonge werknemers.

1.3 Reikwijdte

De gegevens in het risicomodel voor arbeidsveiligheid zijn gebaseerd op de beroepsbevolking in Nederland. De gegevens over ongevallen en blootstelling aan risico's hebben betrekking op de actieve Nederlandse beroepsbevolking. De gebruikte ongevallen betreffen arbeidsongevallen die zijn onderzocht door de Arbeidsinspectie van het ministerie van SZW. Alleen ernstige ongevallen waarvoor meldingsplicht geldt volgens de Nederlandse wetgeving, zijn in de gegevens opgenomen.

Sommige sectoren of activiteiten zijn niet onderzocht door de Arbeidsinspectie:

- werkgevers en zelfstandigen, tenzij dezen werken onder het gezag van iemand anders;
- cabinepersoneel in de luchtvaartsector;
- scheepsbemanning in de zee- en riviervaart;
- werknemers in de mijnbouw en ontginning;
- Nederlandse bedrijven die in het buitenland actief zijn (de Arbeidsinspectie richt zich uitsluitend op Nederlands grondgebied; buitenlandse werknemers die in Nederland werkzaam zijn, zijn hierbij dus wel inbegrepen);
- forenzen van en naar het werk. Werknemers die in het kader van hun werk reizen (bijvoorbeeld chauffeurs), zijn in theorie wel bestudeerd, maar in de praktijk worden deze ongevallen door de politie onderzocht.

De onderzochte gegevens over ongevallen hebben betrekking op de periode van januari 1998 tot en met februari 2004 (een periode van ruim 6 jaar). De onderzoeken naar *blootstelling* aan activiteiten in relatie tot ongevalsrisico's en de condities van geïdentificeerde *veiligheidsbarrières*¹ die bijdragen aan de feitelijke totstandkoming van risico's, dateren van 2006 en 2007.

Het model is gebaseerd op gebeurtenissen waarbij sprake was van acute blootstelling resulterend in ongevallen met als gevolg letsel of de dood. Het gaat hier om gevallen van eenmalige, schadelijke blootstelling. Het model omvat geen chronische blootstelling die ziekte en/of kwalen veroorzaakt. Blootstelling gedurende lange perioden of herhaalde blootstelling resulterend in schade aan de gezondheid, zoals longziekten, zijn dus niet in het model opgenomen. Ongevallen thuis volgen vaak dezelfde scenario's, maar zijn evenmin opgenomen in dit risicomodel, en dit geldt ook voor risico's voor het publiek. Het model heeft uitsluitend betrekking op ongevalpreventie op het werk.

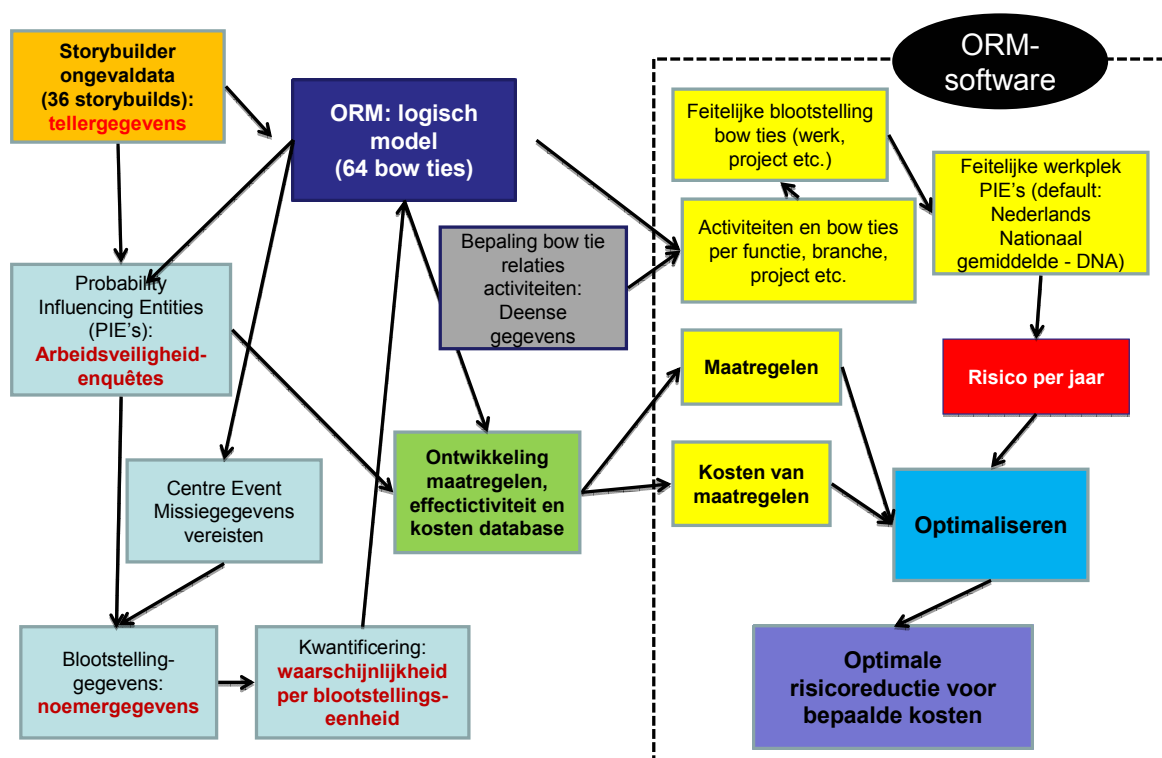
1.4 Leidraad bij de verwerking en lezing

Het projectteam WORM-M bestond uit deskundigen afkomstig uit Nederland, Griekenland, Denemarken en Verenigd Koninkrijk. In het technische rapport 1 vindt u meer informatie over de

¹ Termen zoals blootstelling, gevaar en veiligheidsbarrière zijn gedefinieerd in de woordenlijst in Bijlage 1.

organisatie. Het technische rapport 2 gaat nader in op de methodiek voor de ontwikkeling van de software voor de kwantitatieve risicoanalyse.

In Figuur 1.1 ziet u met welke componenten het gekwantificeerde risicomodel is ontwikkeld. Deze componenten worden in dit rapport nader omschreven. De belangrijkste termen die in dit rapport worden gebruikt, zijn te vinden in de woordenlijst in Bijlage 1.



Figuur 1.1 Componenten van het gekwantificeerde risicomodel voor arbeidsveiligheid.

De centrale component van ORM is het logische bow-tiemodel. Het logische model is het equivalent van een boomstructuur van gebeurtenissen. Dit is een bekend model in de veiligheidswetenschap, dat het raamwerk biedt voor kwantificering. Het model, in de vorm van een vlinderdas (*bow tie*) en hier verder 'bow tie' genoemd, omvat zowel de oorzaken die tot een ongeval kunnen leiden, als de factoren die de gevolgen van de gebeurtenissen kunnen beperken nadat een ongeval (*loss of control event; LCE*) is gebeurd. Dit model wordt beschreven in hoofdstuk 2.

De analyse van ongevallen met behulp van de Storybuildersoftware vormt de basis van de gegevensverzameling, zoals omschreven in hoofdstuk 3, paragraaf 3.1. De pijl tussen de ongevalgegevens van Storybuilder en het logische ORM in Figuur 1.1 geeft de relatie aan tussen de 36 storybuildstructuren en de 64 logische bow ties die de kern van het model uitmaken. Bijlage 2 bevat een overzicht van de risico's die zijn begrepen in de storybuilds en bow ties.

Voor de aldus verkregen bow ties waren vervolgens gegevens over blootstelling nodig, bestaande uit de volgende twee onderdelen:

1. activiteiten in relatie tot de in de bow ties opgenomen gevaren (zie Bijlage 2), zoals het klimmen op een ladder of het werken met een machine; en
2. blootstelling aan arbeidsomstandigheden in relatie tot de veiligheidsbarrières, zoals de aanwezigheid van een machinebeveiliging, het gebruik van een geschikte ladder en de bekwaamheid van de persoon om de werkzaamheden te verrichten.

Deze twee typen blootstelling zijn:

1. onderzoek van *missie*gegevens; en
2. onderzoek naar *veiligheidsbarrières* oftewel de *Probability Influencing Entities (PIE's)*: de factoren die van invloed zijn op de kans op het falen van een barrière.

De PIE's worden beschreven in hoofdstuk 2, paragraaf 2.6, en de onderzoeken naar missies en PIE's in hoofdstuk 3, paragraaf 3.2.1 en 3.2.2.

De combinatie van tellergegevens (ongevallen) en noemergegevens (blootstelling) vormt de basis voor de kwantificering van de bow ties: de kans op gebeurtenissen en resultaten voor een bepaalde blootstelling, of het *risico*.

Voor het model waren verder gegevens nodig over risicoreducerende maatregelen, teneinde advies te kunnen geven over follow-upstrategieën van de risicoanalyse. Het gaat hierbij om maatregelen waarmee de PIE's met een bepaalde hoeveelheid en tegen bepaalde kosten worden verbeterd. Hiertoe is een databank opgezet over maatregelen, doeltreffendheid en kosten. Meer informatie vindt u in hoofdstuk 2, paragraaf 2.7 en hoofdstuk 3, paragraaf 3.3. Ten slotte moest ook de relatie worden bepaald tussen de in de bow ties beschreven gevaren en bedrijfstakken, beroepen en activiteiten. Hiertoe werden ongeveer 500.000 Deense arbeidsongevallen gebruikt, op basis waarvan de relatie tussen de risico's zoals omschreven in de bow ties en beroepen kon worden geautomatiseerd. De ongevallen in deze 'RAW' (Register Accidents at Work) databank, werden elk gekoppeld aan een bow tie van het ORM (zie Bijlage 2), waarmee de relatie kon worden gelegd tussen de ongevalgegevens per activiteit, beroep, bedrijfstak en het gevaarlijke agens – dit alles volgens de definities zoals vastgelegd in Europese classificaties. Meer informatie over het bow-tieschema gerelateerd aan beroepen en activiteiten is te vinden in hoofdstuk 2, paragraaf 2.8 en hoofdstuk 3, paragraaf 3.4.

Al deze componenten worden met de ORM-software gebruikt voor een risicobeoordeling en kosten-batenanalyse voor optimale risicobeperking. De componenten van de software zijn weergegeven binnen de stippellijnen in Figuur 1.1. Meer informatie over de software vindt u in hoofdstuk 2, paragraaf 2.11 en over de toepassing ervan in hoofdstuk 4, paragraaf 4.2.

De resultaten afgeleid van de ORM-software en de afzonderlijke componenten in Figuur 1.1, worden beschreven in hoofdstuk 4.

Tijdens de ontwikkeling van de verschillende componenten van het model zijn er tevens afgeleide gegevensverzamelingen en analysehulpmiddelen geproduceerd, die meer in detail worden beschreven in hoofdstuk 5.

Hoofdstuk 6 bevat de conclusies en aanbevelingen voor toekomstig gebruik en verdere ontwikkeling.

Meer gedetailleerde informatie over de componenten van het risicomodel voor arbeidsveiligheid is te vinden in afzonderlijke technische rapporten (zie overzicht in Bijlage 5).

2 Logica en de ontwikkeling van het risicomodel voor arbeidsveiligheid

In deze paragraaf worden de basisbeginselen en kenmerken van het risicomodel voor arbeidsveiligheid (ORM) uiteengezet.

2.1 Het concept van gekwantificeerde risicoanalyse voor arbeidsveiligheid

Arbeidsongevallen kunnen leiden tot schade aan de gezondheid op verschillende niveaus. In dit model worden drie niveaus onderscheiden:

- tijdelijk letsel;
- blijvend letsel;
- dodelijke afloop.

Deze onderverdeling komt overeen met de vereisten van de Arbeidsinspectie voor meldingen over arbeidsongevallen met dodelijke afloop, blijvend letsel of ziekenhuisopname als gevolg. Er bestaat in Nederland geen meldingsplicht voor ongevallen resulterend in arbeidsverzuim (verloren arbeidstijd). Daarnaast is het van belang om te werken met schadecategorieën die gerelateerd kunnen worden aan het gehanteerde dosis-effectmodel van het ORM.

Een kwantitatieve risicoanalyse van arbeidsveiligheid is mogelijk als bekend is wat de ernst van de mogelijke schade aan de gezondheid is en ook de kans dat deze schade optreedt. Telkens als een werknemer een werkgerelateerde activiteit verricht en wordt blootgesteld aan een of meer specifieke risico's, is er kans op een ongeval dat leidt tot een van bovengenoemde gevolgen. Een dergelijk gevolg hoeft niet altijd het resultaat van een ongeval te zijn, maar kan soms voorkomen onder de beroepsbevolking en tijdens het leven van werknemers. Het bijbehorende risico kan worden gekwantificeerd als de kans dat elk van deze mogelijke gevolgen gedurende een specifieke periode voorkomt, bekend is.

2.2 Model voor één gevaar

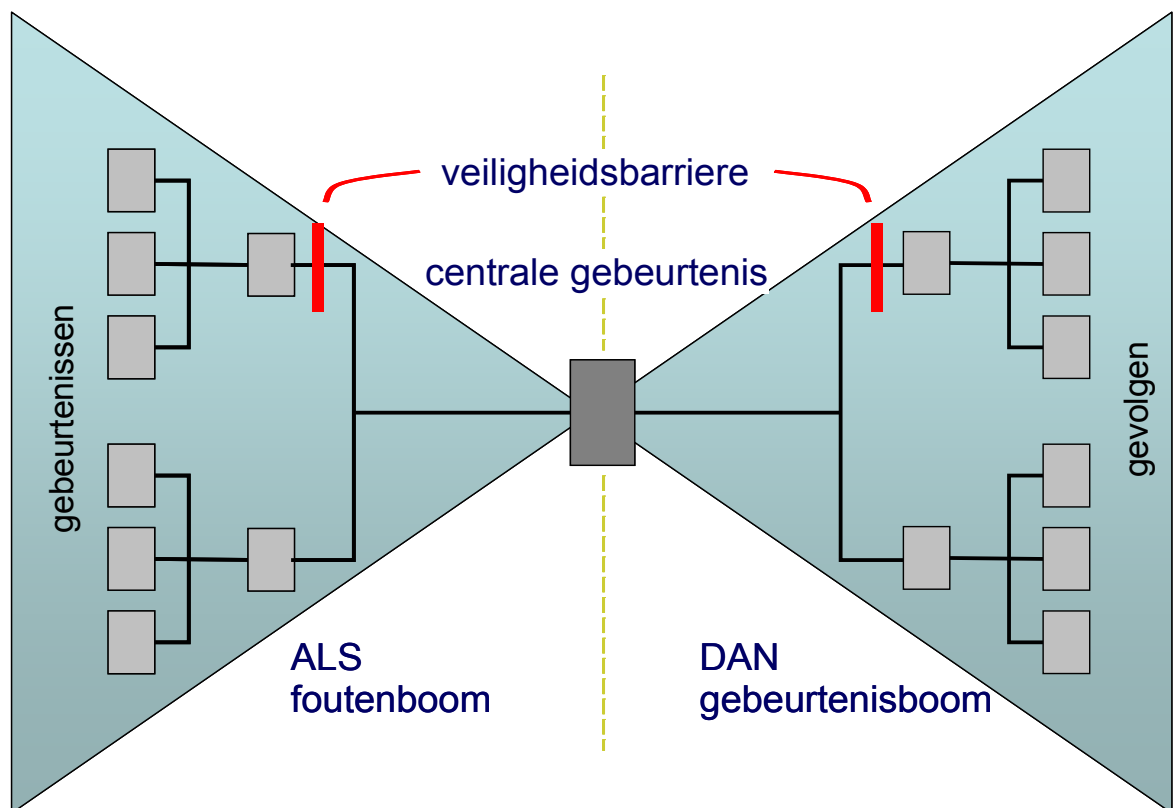
Het ORM is gebaseerd op een model voor één gevaar. Het model biedt een kader waarin per type ongeval (bijvoorbeeld *Vallen van hoogte*) een gekwantificeerd verband wordt gelegd tussen blootstelling aan verschillende factoren van oorzaken en effecten en de bijbehorende gevolgen.

Het model voor één gevaar voorziet in feite in een aantal combinaties van gebeurtenissen. Elke combinatie vertegenwoordigt een verzameling gebeurtenissen die, als ze alle plaatsvinden, resulteren in een ongeval met een specifiek gevolg. Deze combinaties van gebeurtenissen kunnen worden beschouwd als reeksen gebeurtenissen. De reeks kan worden opgevat als een chronologisch verband of als een verband van oorzaak en gevolg. Uit ervaring is gebleken dat een dergelijk concept van gebeurtenissen die plaatsvinden in een bepaalde chronologische volgorde of door een causaal verband, bijdraagt aan zowel de vaststelling van dergelijke reeksen gebeurtenissen als aan de informatievoorziening hierover.

2.3 Bow tie

Het model voor één gevaar van het ORM wordt, in overeenstemming met het hiervoor genoemde, daarom ook wel *bow tie* genoemd² (zie Figuur 2.1). Deze naam is afgeleid van de schematische vorm van de diagrammen waarmee de logische relaties van de verschillende gebeurtenissen worden weergegeven. Het bow-tieconcept is gebaseerd op de definitie van een belangrijke gebeurtenis waarmee het belangrijkste kenmerk van een ongeval wordt beschreven. Het kan hierbij bijvoorbeeld gaan om een gebeurtenis als *Vallen van hoogte* of *Contact van een lichaamsdeel met een bewegend deel van een machine*. Deze gebeurtenis wordt dan ook de *centrale gebeurtenis* genoemd. In het model kunnen dan twee delen worden onderscheiden:

- links van de centrale gebeurtenis oftewel het conditiegedeelte of ALS-deel; en
- rechts van de centrale gebeurtenis oftewel het conclusiegedeelte of DAN-deel.



Figuur 2.1 Het bow-tiemodel.

In het linkerdeel (ALS) van het model worden de oorzaken weergegeven die tot de centrale gebeurtenis hebben geleid. Dit gedeelte van het model bevat de zogenaamde *foutenboom* en het ongeval ontwikkelt zich van links naar rechts in de tijd.

In deze richting worden twee of meer gebeurtenissen op hetzelfde niveau gecombineerd in één samengestelde gebeurtenis op het volgende niveau.

² Belangrijke termen die bepalend zijn voor het ORM worden toegelicht in de woordenlijst in Bijlage 1.

Nadat de centrale gebeurtenis is voorgevallen, gaan de ontwikkelingen van het bow-tiemodel verder aan de rechterkant. Hier worden alle mogelijke vervolgebeurtenissen weergegeven die leiden tot het uiteindelijke gevolg³. In principe bevat de linkerkant (ALS) van de bow tie alle elementen van de ongevalreeksen die overeenkomen met ‘preventieve’ maatregelen: alle bestaande middelen die als doel hebben te voorkomen dat de centrale gebeurtenis zich voordoet. Op dezelfde manier bevat de rechterkant (DAN) van een bow tie alle elementen die van invloed zijn op het eindgevolg nadat de centrale gebeurtenis al heeft plaatsgevonden. Het DAN-deel bevat dus alle *gevolgbeperkende* aspecten van het ongeval.

Een fundamenteel concept van het bow-tiemodel is het concept van een *veiligheidsbarrière*. Een veiligheidsbarrière is een fysiek object, of een technisch, materieel, procedureel of organisatorisch element in de werkomgeving waarmee wordt beoogd te voorkomen dat er zich een gebeurtenis voordoet (bijvoorbeeld de centrale gebeurtenis) of de gevolgen te beperken van iets dat al is voorgevallen. Sommige van deze gebeurtenissen of barrières staan in deterministisch logisch verband met de daaropvolgende gebeurtenis of de gebeurtenis waarvan ze de oorzaak zijn. Voorbeeld: de combinatie *iemand verliest zijn evenwicht tijdens het werken op een hoog platform en vangrail aan zijkant ontbreekt of is defect* resulteert in een val vanaf een hoger niveau (zie Bijlage 1, Woordenlijst: *primaire veiligheidsbarrière*).

Een tweede categorie gebeurtenissen in het model bepaalt anderzijds niet zozeer de uitkomst van complexere gebeurtenissen als wel de relatieve waarschijnlijkheid dat andere gebeurtenissen plaatsvinden. Zo hoeft *werk buiten in een winderige omgeving* niet noodzakelijkerwijs te resulteren in *werknemer verliest zijn evenwicht* maar het verhoogt wel de waarschijnlijkheid dat een dergelijk voorval plaatsvindt (zie Bijlage 1, Woordenlijst: *ondersteunende veiligheidsbarrière*).

Het bow-tiemodel voor één gevaar biedt dus een methodiek om verschillende gebeurtenissen te organiseren vanaf een basisoorzaak via de centrale gebeurtenis tot rapporteerbare schade aan de gezondheid van een werknemer. Een ongevalreeks kan grafisch worden weergegeven als een pad in de bow tie dat vanaf links door de verschillende gebeurtenissen in het ALS-deel loopt en vervolgens via de centrale gebeurtenis en de verschillende gebeurtenissen van het DAN-deel eindigt met een eindgevolg aan de rechterkant van de bow tie (zie Figuur 2.1).

Een dergelijk model kan op twee manieren worden gebruikt, namelijk om een ongevalreeks op te zetten, dat wil zeggen de reeks van gebeurtenissen die van een basisoorzaak of grondreden tot een eindgevolg leidt, en om het risico te kwantificeren.

2.4 Opbouw van het bow-tiemodel voor één gevaar

Een logisch model (of bow-tiemodel) voor één gevaar wordt opgebouwd op basis van de bestaande kenmerken van de werkomgeving, de fundamentele wetten van de fysica en de technologie en de eigenschappen van het menselijke gedrag. Het model en de daarin opgenomen kwantificering zijn gebaseerd op geobserveerde, historische ongevalgegevens. Deze gegevens komen voort uit de rapporten over ongevallen van de Arbeidsinspectie die zijn opgenomen in de GISAI-databank (Geïntegreerd InformatieSysteem ArbeidsInspectie). Deze gegevens zijn geanalyseerd en systematisch geordend volgens de logica van het ORM. In het bijzonder is er een methodiek en het bijbehorende

³ Het toepasselijke model voor dergelijke reeksen gebeurtenissen is de *gevolgstructuur* of *gebeurtenisstructuur*.

computerprogramma *Storybuilder* ontwikkeld (Bellamy et al., 2006; 2007; 2008). Deze methodiek en het model worden beschreven in paragraaf 3.1 en nog uitgebreider in het technische rapport 3.

In feite worden met het Storybuildermodel de ongevalreeksen of scenario's ontwikkeld van ongevallen die hebben plaatsgevonden met behulp van een reeks regels waarmee de veiligheidsbarrières kunnen worden gedefinieerd, evenals de verschillende manieren waardoor deze barrières falen en de factoren die van invloed zijn hierop. Deze gegevens hebben betrekking op zowel de preventieve als de beperkende aspecten van de ongevalsscenario's en zijn georganiseerd in de vorm van een bow tie. Het feit dat er 36 storybuilds (zie Bijlage 2) bestaan, is het gevolg van de methodiek die is gekozen voor de indeling van de gegevens. Deze keuze is mede gemaakt op basis van een gevarenlijst van 2002 die door de Arbeidsinspectie intern werd gebruikt als risicoanalysemodel (AIRA) voor arbeidsomstandigheden. Op deze gevarenlijst kwamen onder andere voor: botsingen, bewegende delen, rondvliegende delen, vallende delen, koude en hete oppervlakken en beklemming, verbrijzeling en snijden. Deze lijst is als startpunt gebruikt voor de indeling in categorieën of groepen ongevallen. Voor nadere analyse werden de grotere ongevalcategorieën vervolgens uitgesplitst in kleinere groepen, wat uiteindelijk resulteerde in de 36 storybuilds (zie Bijlage 2).

Alle structurele informatie zoals veiligheidsbarrières, de BFM (Barrier Failure Mode), de verschillende manieren van falen, en de combinaties van falen die leiden tot de centrale gebeurtenis en van daaruit via andere potentieel beperkende gebeurtenissen naar het eindgevolg, zijn opgenomen in de storybuilds. De storybuilds zijn ontwikkeld op basis van de ongevallen die verband houden met een bepaald gevaar (bijvoorbeeld botsing met een bewegend voertuig). Deze informatie vormt de basis van het logische model of de bow tie. In bepaalde gevallen moesten de storybuilds van het logische model worden uitgesplitst in kleinere groepen. Het vallen van een ladder werd bijvoorbeeld onderverdeeld al naargelang de verschillende typen ladders, en aanraking met bewegende machinedelen werd onderscheiden naar activiteit zoals het werken met of deblokkeren van een machine. Deze onderverdeling gaf aanleiding tot de ontwikkeling van de 64 bow ties (zie Bijlage 2). De bow tie of het logische model voor één gevaar is een model met de algemene kenmerken van het bow-tieconcept zoals beschreven in het vorige hoofdstuk, maar met de mogelijkheid om meer geavanceerde kenmerken te gebruiken zoals gebeurtenissen met meerdere resultaten (zoals dodelijke afloop of tijdelijk letsel) en invloeden van de waarschijnlijkheidsberekening. De details van dit model vindt u in het technische rapport 4. Om de ontwikkeling van deze modellen, die lijken op invloedsdiagrammen, te vereenvoudigen is er een instrument ontwikkeld, de *Bowtiebuilder*. Dit instrument wordt nader beschreven in paragraaf 5.3 en in het technische rapport 12.

2.5 Kwantificering van het logische model

Met het risicomodel voor arbeidsveiligheid kunnen risicoberekeningen worden gemaakt op basis van gekwantificeerde gegevens. Deze gegevens bestaan uit:

1. de waarschijnlijkheid van (basis)gebeurtenissen; en
2. de blootstelling van werknemers aan één gevaar en gegevens over de arbeidsveiligheidsomstandigheden.

De waarschijnlijkheid is gekwantificeerd als een verhouding, met een teller en noemer:

1. de teller is het aantal maal dat een bepaald resultaat van een gebeurtenis is geobserveerd; en
2. de noemer is het totaal aantal maal dat de gebeurtenis is geobserveerd of de totale tijdsduur waarin (het voorkomen van) de gebeurtenis is geobserveerd (de gevallen). De noemer van de vergelijking wordt over het algemeen de *blootstelling* genoemd.

Bij het gebruik van steigers wordt als teller bijvoorbeeld het aantal ongevallen genomen (uitgesplitst naar resultaat: blijvend, tijdelijk letsel of dodelijk letsel) en als noemer de totale tijdsduur van het uitgevoerde werk op steigers in de periode waarin de ongevallen zijn geregistreerd. Het aantal gevallen wordt opgehaald uit de GISAI-databank met behulp van het Storybuilderprogramma. De totale werktijd op steigers gedurende de periode waarin de ongevallen zijn geobserveerd, is bepaald door middel van onderzoek onder de Nederlandse beroepsbevolking. Meer informatie hierover vindt u in paragraaf 3.2.1, ‘missieonderzoek’. Aanvullende informatie over de arbeidsomstandigheden waaronder de ongevallen plaatsvonden (bijvoorbeeld of de steigers waren voorzien van een vangrail aan de zijkant), is verkregen door aanvullend onderzoek onder de Nederlandse beroepsbevolking, zoals beschreven in paragraaf 3.2.2, ‘arbeidsomstandigheden’. Deze informatie is in het logische model geïntegreerd via het concept van de Probability Influencing Entities (PIE’s, zie volgende paragraaf).

2.6 Factoren die van invloed zijn op de waarschijnlijkheid (PIE’s)

Het onderzoek naar de arbeidsomstandigheden in Nederland voor wat betreft de kwaliteit van veiligheidsbarrières is gebaseerd op vragen over de waarschijnlijkheid van invloedsfactoren, of ‘PIE’s’.

In bepaalde gevallen zijn de basisgebeurtenissen van de bow-tiemodellen eenvoudig genoeg om direct te kunnen worden gekoppeld aan goed voor te stellen arbeidsomstandigheden, zoals bij de gebeurtenis ‘Beveiliging van de steiger tegen passerende voertuigen’. Het aantal gevallen dat steigers zijn beveiligd tegen passerende voertuigen in de werkomgeving is duidelijk te vast te stellen, omdat de betekenis van beveiliging hier eenvoudig te begrijpen is.

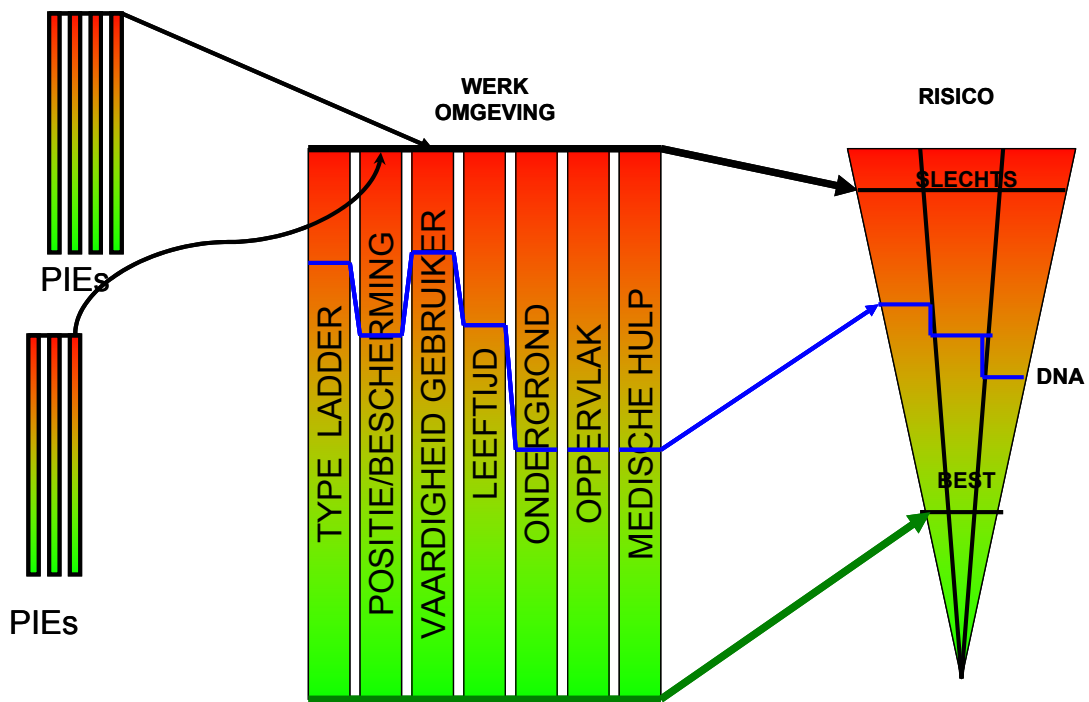
In andere gevallen is dit onmogelijk. Voor de gebeurtenis *Staat van de steigervloer* bijvoorbeeld, moeten de concrete factoren, die van belang zijn voor de toestand, nader worden geanalyseerd. Bijvoorbeeld factoren als: (i) rommel op de steigervloer; (ii) gaten in de vloer van meer dan 3 cm en (iii) overlappende planken. Een dergelijke ontleding op een dieper niveau zou echter resulteren in grote modellen met de nodige rekenproblemen. Dit probleem kan worden ondervangen met behulp van het concept van de ‘barrièrekwaliteit’. Volgens dit concept hangt de kwaliteit van een barrière af van de kwaliteit van de factoren. Elke factor kent twee niveaus: *adequaat* of *niet adequaat*. De kwaliteit van een factor wordt dan gelijkgesteld aan de frequentie waarmee deze factor op adequaat niveau voorkomt op de werkplek. De kwaliteit van de barrière wordt bepaald door een gewogen som van de kwaliteit van factoren. Het gewicht geeft het relatieve belang van elke factor aan en wordt door de analist geëvalueerd aan de hand van het inzicht van deskundigen.⁴ Op deze manier wordt de waarschijnlijkheid dat een basisgebeurtenis voorkomt in een van de mogelijke condities bepaald door de gewogen som van de frequentie van factoren.

Deze factoren worden ‘Probability Influencing Entities’ of PIE’s genoemd (factoren die van invloed zijn op de waarschijnlijkheid). Voor elk van de 63 ongevalstypen⁵ en hun gerelateerde logische modellen (bow ties) is een set PIE’s opgesteld die overeenkomt met concrete, specifieke en gedetailleerde factoren met betrekking tot installaties, omstandigheden van installaties, gedrag patronen en procedurele en organisatorische factoren. Deze PIE’s zijn afgeleid van de gegevens van de storybuildmodellen.

⁴ Als het relatieve belang niet bekend is, wordt nu een gelijk gewicht toegekend.

⁵ Er zijn 64 bow ties (zie Bijlage 2), maar de touwladder is hierbij niet meegenomen vanwege een gebrek aan gegevens.

Elke basisgebeurtenis van het logische model is gekoppeld aan een deelverzameling van PIE's, oftewel de factoren die de werkomgeving bepalen. Kennis van de relatieve frequentie waarmee de verschillende PIE's voorkomen op werkplekken, bepaalt de frequentie van de bijbehorende basisgebeurtenissen van de bow tie, oftewel de invoer voor het logische model. Dit model levert op zijn beurt het gekwantificeerde risico dat aan een bepaald gevaar is gekoppeld. Figuur 2.2 is een schematische weergave van de relatie tussen PIE's, veiligheidsbarrières (of blokkades) en bow ties.



Figuur 2.2 Relatie tussen PIE's, veiligheidsbarrières en bow ties. PIE's zijn de factoren die van invloed zijn op de waarschijnlijkheid dat de veiligheidsbarrière in een goede conditie verkeert. De frequentie waarmee de PIE's voorkomen op de werkplek, wordt in het bow-tiemodel ingevoerd.

In deze figuur wordt de werksituatie beschreven met termen als 'type ladder', 'leeftijd', 'vaardigheid van de gebruiker' enzovoort. De kwaliteit van elk van deze blokken wordt gemeten aan de hand van de waarschijnlijkheid dat deze in een slechte staat verkeren. Dit wordt aangegeven door een balk, waar het bovenste deel (in rood) de slechtste conditie voorstelt en het onderste deel (in groen) de beste. Wanneer alle blokken rood zijn, is het risico het hoogst. Wanneer alles groen is (beste conditie), is het risico in de organisatie het laagst. In het midden bevindt zich het gemiddelde, oftewel het Nederlandse nationale gemiddelde voor het risico. Dezelfde concepten worden ook toegepast op het PIE-concept. De meest voorkomende frequenties van deze conditionerende factoren op Nederlandse werkplekken zijn vastgesteld aan de hand van onderzoek zoals beschreven in hoofdstuk 3, paragraaf 3.2.2. U vindt meer informatie over het concept van PIE's in het technische rapport 4.

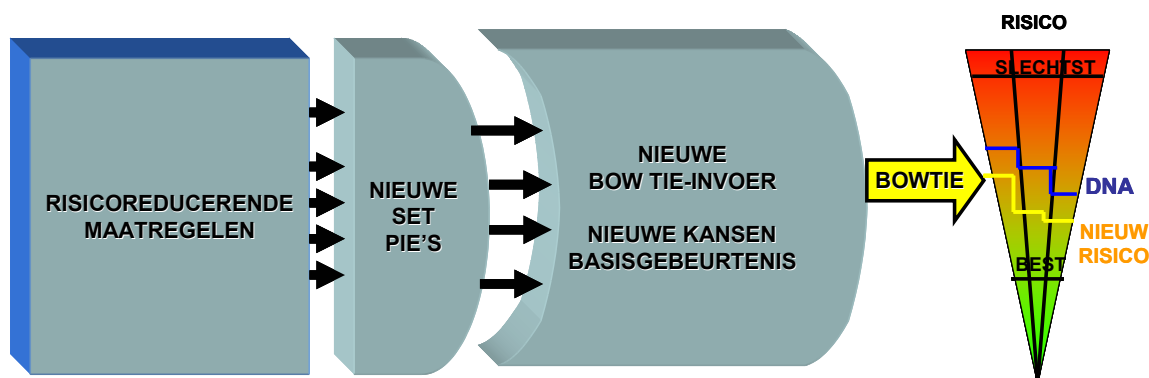
2.7 Risicoreducerende maatregelen

We beschikken nu over het basisgereedschap voor risicobeheer:

- Het logische model bevat de reeksen gebeurtenissen die een scenario voor een ongeval vormen.
- Kennis van de waarschijnlijkheid van basisgebeurtenissen waarmee de kans op de gevolgen (tijdelijk, blijvend, dodelijk letsel) van een ongeval kunnen worden berekend.
- De waarschijnlijkheid van basisgebeurtenissen, berekend als waarschijnlijkheid van de PIE's (zoals eerder beschreven).

Het risico kan worden beïnvloed door het nemen van maatregelen waarmee de toestand van de PIE's wordt gewijzigd. Een maatregel is nu gedefinieerd als een verzameling specifieke acties die resulteren in een gewijzigde waarschijnlijkheid van PIE's. Deze veranderingen worden vervolgens omgezet in een overeenkomstige wijziging van de kwaliteit van de veiligheidsbarrière en die weer in de waarschijnlijkheid van basisgebeurtenissen. Dit resulteert in een wijziging van de kans op het gevolg en dus ook in een meetbare wijziging van het risico. Dit proces wordt schematisch weergegeven in Figuur 2.3.

In het in de vorige paragraaf genoemde voorbeeld bestaan de maatregelen uit (1) schoonmaken van de steigervloer, (2) het goed aaneen laten sluiten van de planken van de steigervloer en (3) erop letten dat planken elkaar niet overlappen. Hiermee worden de condities van de PIE's beïnvloed: (i) rommel op de steigervloer; (ii) gaten van meer dan 3 cm en (iii) overlappende planken. Dit beïnvloedt uiteindelijk de kwaliteit van de barrière ('Staat van de steigervloer').



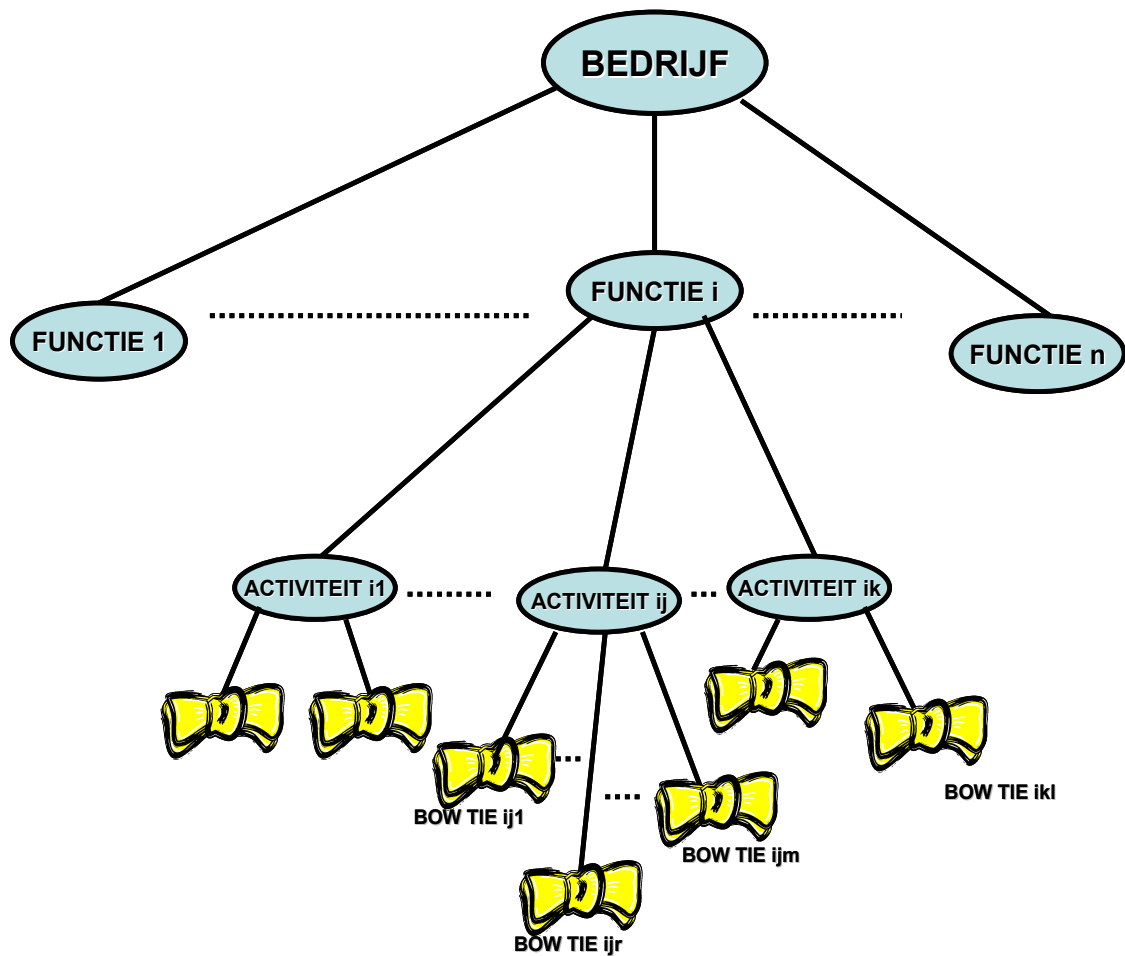
Figuur 2.3 De invloed van maatregelen op het risico. Door het effect van de maatregelen op de PIE's voor de veiligheidsbarrières (bow-tieblokkades) wordt het risico per bow tie beïnvloed en daarmee ook het risico voor de organisatie.

Nadere informatie over de definitie van risicobeperkende maatregelen en de bijbehorende kenmerken vindt u in hoofdstuk 3, paragraaf 3.3. Deze paragraaf bevat ook informatie over de kosten en de doeltreffendheid van een bepaalde maatregel.

2.8 Model voor meerdere gevaren: bedrijfsmodel

In de praktijk is een werknemer zelden aan slechts één gevaar blootgesteld. Bij de meeste dagelijkse werksituaties worden complexe taken verricht in veeleisende werkomgevingen waarbij een werknemer

aan meerdere gevaren tegelijk wordt blootgesteld. Daarom omvat ORM ook een model voor meerdere gevaren waarbij rekening kan worden gehouden met verschillende gevaren die tegelijk of na elkaar voorkomen gedurende de verschillende fasen of intervallen van het werk. Dit model kan ook worden gebruikt voor meerdere werknemers. Het risico wordt dan op verschillende niveaus gekwantificeerd. Het complexe model is dus zowel geschikt voor één persoon die verschillende taken uitvoert als voor een klein bedrijf met meerdere werknemers of een grotere organisatie. Het ORM voor meerdere risico's wordt ontwikkeld met behulp van een boomstructuur zoals weergegeven in Figuur 2.4.



Figuur 2.4 Structuur van het complexe ORM voor meerdere gevaren.

De structuur omvat de volgende niveaus:

- Het bovenste niveau komt overeen met de organisatie die wordt geanalyseerd.
- Het tweede niveau bevat een specifiek type functie of beroep in het bedrijf, met het aantal personen per functie.
- Het derde niveau beschrijft het aantal activiteiten per functie dat is vereist om het werk uit te oefenen, met de respectievelijke frequenties.

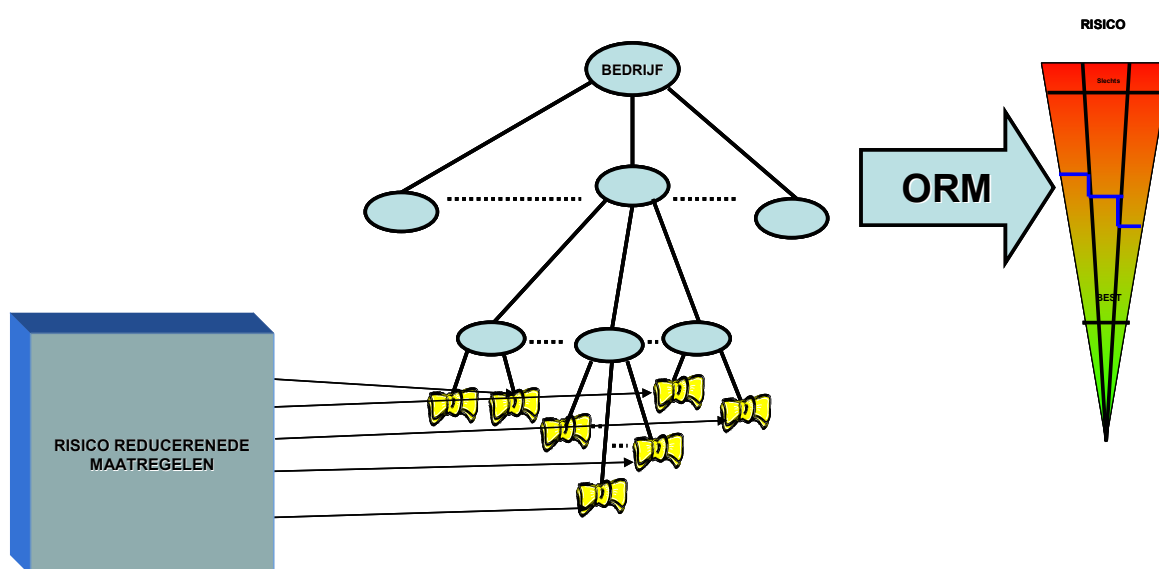
Dit houdt in dat een bepaald beroep wordt beschreven aan de hand van het aantal activiteiten, dat elk een aantal keren wordt verricht gedurende een bepaalde periode (bijvoorbeeld vier maal per maand).

Ten slotte wordt het verrichten van een specifieke activiteit gekoppeld aan een aantal afzonderlijke gevaren (één van de 64) en een overeenkomstige blootstellingduur aan elk van deze gevaren.

In tegenstelling tot het model voor één gevaar heeft het model voor meerdere gevaren geen vaste structuur. Alleen de architectuur van het model is vastgelegd in de vermelde boomstructuur. Met behulp van deze structuur en de basisbibliotheek van 64 afzonderlijke gevaren kan een groot aantal modellen voor meerdere gevaren worden ontwikkeld voor bijna elk denkbaar praktijkgeval.

2.9 Vergelijking van verschillende risiconiveaus: efficiencygrens

Aan de hand van de ontwikkelde modellen voor de kwantificering van risico's (als beschreven in paragraaf 2.8) kan worden beoordeeld hoe een bepaald gevaar wordt beïnvloed door een bepaalde reeks maatregelen. Dit wordt weergegeven in Figuur 2.5. Andere reeksen maatregelen resulteren in een andere gekwantificeerde analyse van arbeidsrisico's.



Figuur 2.5 Weergave van de berekeningsstroom in ORM.

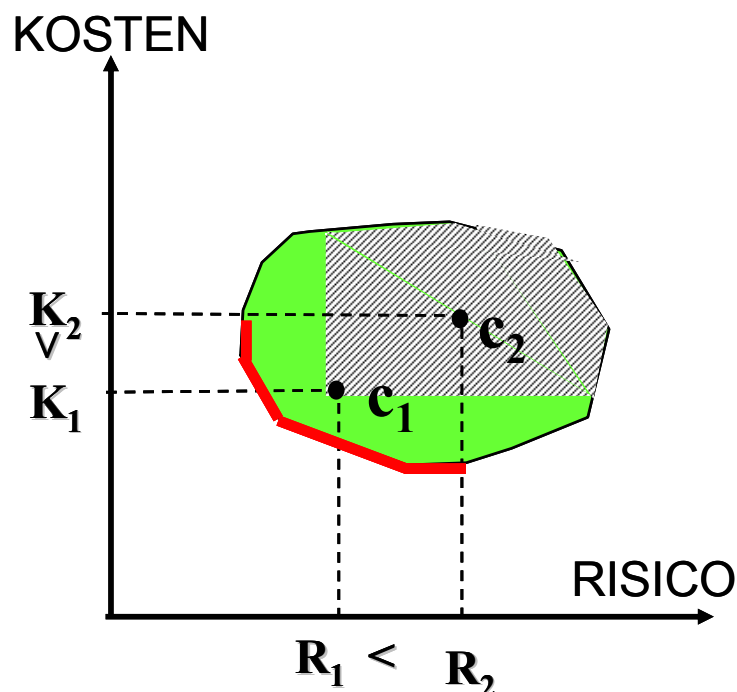
Bovendien kan elke reeks maatregelen worden gekoppeld aan een ander kostenniveau en bijbehorend risico, zoals is weergegeven in Figuur 2.6, punten c_1 en c_2 . Deze twee alternatieven kunnen eenvoudig worden vergeleken omdat c_1 betere resultaten geeft voor beide criteria (kleiner risico en lagere kosten). In feite is c_1 het beste alternatief van alle mogelijkheden die overeenkomen met punten van het grijs gearceerde gebied in Figuur 2.6. De vergelijking van punten aan de linkeronderrand van dit gebied, de rode lijn, geeft echter minder duidelijke resultaten. Voor elke combinatie van twee punten in deze verzameling geldt dat een van beide punten hogere kosten maar een lager risico heeft dan het andere. Het risico vermindert van rechts naar links langs deze lijn. Van links naar rechts dalen de kosten. De

punten op deze lijn vormen de meest efficiënte combinaties van risico's en kosten. Gezamenlijk worden ze de efficiencygrens genoemd. Welk punt van alle mogelijke combinaties op deze efficiencygrens de voorkeur heeft, hangt af van een waardeoordeel.

Dit concept is bruikbaar in meerdere dimensies. In ORM worden alternatieve strategieën voor risicoreductie beoordeeld op basis van vier criteria:

1. kosten;
2. risico van rapporteerbaar tijdelijk letsel;
3. risico van rapporteerbaar blijvend letsel;
4. risico van dodelijk letsel.

Kennis van de efficiency van alternatieve strategieën voor risicoreductie levert een uitstekende richtlijn voor het nemen van beslissingen in verschillende situaties, zoals bij de definitie van grenswaarden voor specifieke gevaren of bij budgettaire beperkingen.



Figuur 2.6 Vergelijking in meerdere dimensies: het concept van de efficiencygrens. Maatregelenstrategie C₁ kost minder en geeft een lager risico dan C₂ die ook duurder is. De punten op de rode lijn zijn de efficiëntste risico-kostencombinaties.

2.10 Risicobeheer: optimalisatie

In de ORM-context is risicobeheer gelijk te stellen aan het genereren van de verzameling efficiënte strategieën voor risicoreductie, gekozen uit alle mogelijke strategieën. In de praktijk is dit een erg grote verzameling. Directe beoordeling van alle mogelijke oplossingen voor het bepalen van de efficiëntste risico-kostencombinatie door rechtstreekse vergelijking is niet praktisch of zelfs onuitvoerbaar. In dergelijke situaties kan beroep worden gedaan op methoden van wiskundige programmering om zo goed en snel mogelijk te bepalen welke combinatie het best is. In ORM wordt een optimalisatiemethode, het 'genetische algoritme', gebruikt waarmee op basis van meerdere criteria

wordt bepaald wat de verzameling efficiënte strategieën is onder de beschikbare risicoreducerende maatregelen die van invloed zijn op specifieke factoren in de werkomgeving. De resultaten worden zowel grafisch als in analytische vorm weergegeven voor elke door de gebruiker gedefinieerde oplossing. Meer informatie over het type resultaten vindt u in paragraaf 4.2.

2.11 Softwareontwikkeling voor het model

Op basis van de gegevens over het Nederlandse nationale gemiddelde is er software ontwikkeld die 63 bow ties van het logische model, de PIE's, maatregelen en een optimalisatieprogramma omvat. De gebruiker kan zelf interactieve, specifieke modellen maken voor risicoberekening:

1. Aan de hand van een uitgebreide databank van typen gevaren per beroepsmatige activiteit, afgeleid uit werkelijke ongevallen, kan de gebruiker de risico's bepalen die zijn verbonden aan een beroep (zie paragraaf 3.4 voor meer informatie).
2. De gebruiker kan de waarden van de PIE's aanpassen aan specifieke arbeidsomstandigheden.
3. Er is een bibliotheek van risicoreducerende maatregelen voorzien, die kan worden uitgebreid met door de gebruiker gedefinieerde maatregelen (zie paragraaf 3.3 voor meer informatie). De gebruiker kan een strategie kiezen op basis van de efficiencygrens.

De software bestaat uit twee delen, namelijk de 'motor' voor de berekeningen en de gebruikersinterface. Belanghebbenden zijn in beperkte mate betrokken geweest bij het opzetten van de vereisten voor de in- en uitvoer van de software. Beleidsmakers, grote ondernemingen, onderzoekers en adviseurs verschaften de nodige informatie voor verdere ontwikkeling vanuit verschillende invalshoeken. Zie paragraaf 4.2 voor een meer gedetailleerde beschrijving van de software.

3 Gegevensverzameling en -analyse

Er zijn vier verschillende gegevensverzamelingen:

- gegevens over ongevallen met de oorzaken en onderliggende oorzaken, gevolgen en beperking van de gevolgen;
- gegevens over blootstelling aan gevaren en arbeidsomstandigheden;
- maatregelen, doeltreffendheid en kosten;
- relaties tussen sector, beroepen, activiteiten en gevaren.

3.1 Ongevallengegevens: gevaren, oorzaken, gevolgen en beperking van de gevolgen

De structuur van het logische model is gebaseerd op de systematische analyse van ongevallen via gemodelleerde scenario's. De ongevallenanalyse kon plaatsvinden dankzij de gedetailleerde onderzoeksrapporten van de GISAI-databank van de Arbeidsinspectie en het speciaal hiervoor ontwikkelde programma Storybuilder.

In de periode 2004-2006 is er een team opgezet dat de taak had om de onderzoeksrapporten over arbeidsongevallen te analyseren. In deze periode werd ook de Storybuildersoftware geleidelijk verder ontwikkeld als ondersteuning voor het team *storybuilders* (Bellamy et al., 2006; 2007; 2008). Er is een analyse gemaakt van de onderzoeken naar rapporteerbare ongevallen en er zijn bow-tiestructuren of storybuilds ontwikkeld volgens duidelijk omschreven regels⁶. Er werd een raamwerk opgezet waarmee individuele ongevallen (de zogenaamde 'vreselijke verhalen') konden worden omgezet in scenario's (reeksen gebeurtenissen) langs de paden van een bow-tiestructuur. Daarmee konden de belangrijkste paden worden geïdentificeerd.

Het was essentieel om gegevens te vinden die genoeg details bevatten over de ongevallen. De belangrijke ongevallen zijn die waarbij door falende veiligheidsbarrières schade veroorzaakt kan worden en het effect op slachtoffers verminderd kan worden. Voor het ongevallenscenario waren niet alleen de directe, maar ook de onderliggende oorzaken van belang. Als onderliggende oorzaken worden beheersfactoren (of *aanleversystemen*) aangemerkt die bijdragen aan het feit of er een barrière is en of deze intact blijft.

Een voorbeeld van een storybuild is weergegeven in Figuur 3.1. Het toont het verloop van ongevallen binnen de structuur. Het aantal paden voor de gebeurtenissen in de scenario's werd geteld en dit vormde de basis voor de kwantificering in de logische bow-tiemodellen. Elke lijn in het diagram loopt van links naar rechts door de verschillende vakken van de gebeurtenis en vertegenwoordigt één afzonderlijk ongeval. In het midden staat de centrale gebeurtenis. Links zijn de basisoorzaken en gevallen van falende veiligheidsbarrières tegen gevaren gegroepeerd. Rechts staan de gevolgen en beperkende barrières zoals maatregelen voor noodsituaties.

⁶ De regels van 'story building' omvatten de wijze waarop het verloop van de gebeurtenis wordt vastgelegd, altijd gegroepeerd rond een centrale gebeurtenis (het incident met een schadelijke chemische stof), het opzetten van veiligheidsbarrières en de omstandigheden waaronder deze falen, en afwijkende gebeurtenissen.

Zie technisch rapport 3.

Tot nu toe zijn er 9.142 gerapporteerde en onderzochte ongevallen geanalyseerd in Storybuilder⁷. Deze ongevallen zijn verdeeld over 36 storybuilds, grafische structuren in de Storybuildersoftware, waarbij elke storybuild een type arbeidsgevaar vertegenwoordigt, dat per geval wordt gekarakteriseerd en benoemd in de centrale gebeurtenis (de gebeurtenis met de schadelijke chemische stof) van een bow tie van oorzaken en effecten.

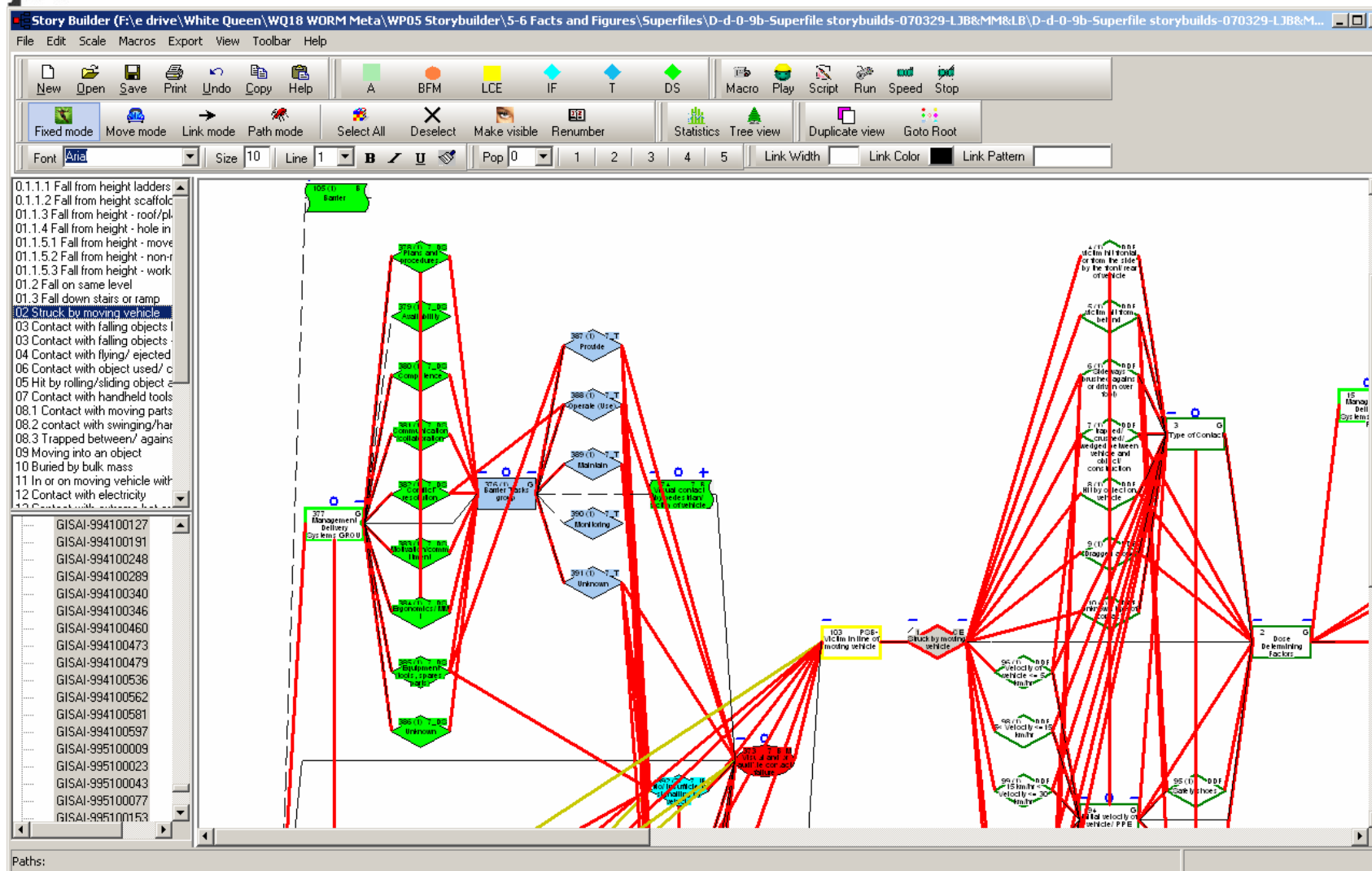
Deze 36 storybuilds dekken elk type arbeidsgevaar in de GISAI-databank. De 36 storybuilds zijn later verder onderverdeeld in 64 logische modellen, de bow ties. In Bijlage 2 vindt u de lijst van de 36 storybuilds en hun relatie met de 64 bow ties. Zie het technische rapport 3 voor een meer gedetailleerde beschrijving van het proces.

De gecodeerde vakken in het Storybuilderdiagram komen overeen met verschillende factoren. Aan de hand van codes van de vakken kan de gebruiker de verschillende typen gebeurtenissen onderscheiden. Vakken met dezelfde code hebben andere gemeenschappelijke kenmerken, zoals kleur en vorm, waardoor ze visueel gemakkelijker zijn te herkennen bij het 'lezen' van een storybuild. In het Storybuilderdiagram zijn de volgende factoren opgenomen in de volgorde van gebeurtenissen, met een chronologisch causaal verband van links naar rechts:

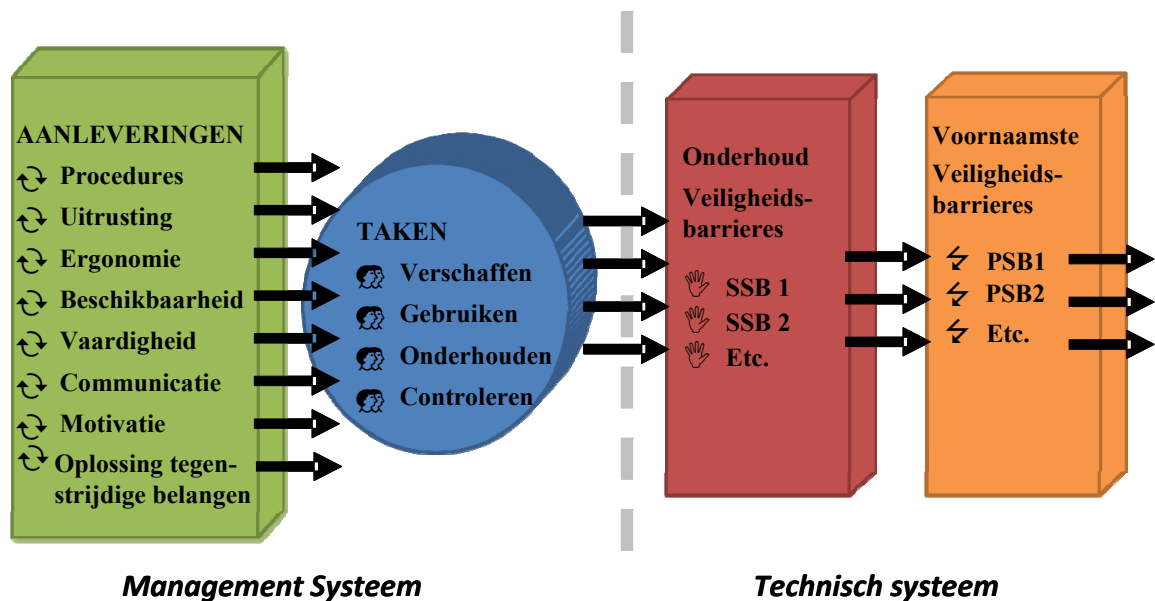
1. Begincondities:
 - A - activiteit ten tijde van het ongeval;
 - ET - type apparaat (equipment type);
2. Falen en niet-falen:
 - DS - falen van het beheersaanleversysteem (delivery system);
 - T - falen van de barrièretaak;
 - BFM - modaliteit voor falende barrière (barrier failure mode);
 - IF - bijkomende of beïnvloedende factoren (influencing factor);
 - LCE - afwijkende gebeurtenis (loss of control event);
 - REG - naleven van regelgeving;
3. CE - centrale gebeurtenis (centre event);
4. Effecten:
 - DDF - factoren die de ernst bepalen (dose determining factor);
 - INJP - getroffen lichaamsdeel (injured part of body);
 - INJT - type letsel (injury type);
 - HOSP – ziekenhuisopname;
5. Gevolgen:
 - FOD - dodelijke afloop (final outcome death);
 - FOI - vermoedelijk geen blijvend letsel (final outcome not permanently injured);
 - FOP - vermoedelijk blijvend letsel (final outcome permanently injured);
 - ABS – werkverzuim.

Gedetailleerde gegevens over betrokken typen installaties, verwonde lichaamsdelen en soorten letsel zijn vastgelegd volgens de hiervoor geldende Europese classificaties.

⁷ Hierbij moet niet worden vergeten dat niet alle ongevallen worden gemeld. Dit zou zelfs wel om 50% van de ongevallen kunnen gaan. Er wordt wel van uitgegaan dat alle ongevallen met dodelijke afloop zijn gerapporteerd. Verder is het zo dat de beschrijving van een ongeval altijd al een aantal stappen later gebeurt dan het ongeval zelf en al is geïnterpreteerd door de getuige of de inspecteur.



Figuur 3.1 De Storybuilderinterface met een voorbeeld van een storybuild. De lijnen door de structuur vertegenwoordigen de ongevalspaden. De diamant in het midden is de centrale gebeurtenis. Rechts staan de factoren die de ernst bepalen. Links wordt een LCE weergegeven en links van de ovaal een falende barrière. Deze is linksboven gekoppeld aan vier barrièretaken (plus een vak voor onbekend), dat wordt voorafgegaan door een blok van acht beheersaanleversystemen (plus een vak voor onbekend).



Figuur 3.2 Aanleversysteem en barriëretakstructuur in relatie tot veiligheidsbarrières.

Falende barrières zijn een belangrijk element bij de ontwikkeling van de logische bow-tiemodellen. In de storybuilds wordt elke BFM verbonden aan een beheerssysteem en de factoren, die de PIE's bepalen (zie paragraaf 2.6). In Figuur 3.2 worden de acht beheersaanleversystemen getoond die zijn verbonden aan de taken waarmee de ondersteunende veiligheidsbarrières worden onderhouden, die op hun beurt weer van invloed zijn op de primaire veiligheidsbarrières.

Een voorbeeld van een ondersteunende veiligheidsbarrière is het laden van een voertuig, waarmee de primaire veiligheidsbarrière van stabiliteit van het voertuig wordt beïnvloed in de bow tie 'In of op een voertuig met verlies van controle/aanrijding'. De aanleversystemen bieden de beheersmechanismen, criteria en hulpmiddelen voor het uitvoeren van de barriëretaken, in dit geval het veilig laden van het voertuig. Het model is opgesteld volgens de principes van het I-RISK-onderzoek naar de integratie van beheerssystemen en technische systemen (Bellamy et al., 1999; Oh et al., 1998; Papazoglou et al., 2003). De barriëretaken zijn: verschaffen, gebruiken, onderhouden en inspecteren, bijvoorbeeld het verschaffen van een maximale belasting en het handhaven (gebruiken) van deze maximale belasting. Er kan geen barrière worden gebruikt als deze niet eerst is verschaft, en de barrière moet worden onderhouden en worden geïnspecteerd om te controleren of de conditie in orde is.

Een ander voorbeeld van een falende barrière is het gebruik van niet adequaat materiaal voor het werk. In de organisatiestructuur van het schema wordt een falende barrière die te wijten is aan het niet-navolgen van de richtlijnen voor het gebruik van het juiste gereedschap voor het werk, aangegeven door de selectie van het aanleversysteem 'Procedures' en de taak 'Gebruiken' in de koppeling naar de falende barrière. Als het juiste gereedschap echter niet voorhanden was, wordt de falende barrière voor aangeduid als een falen van 'Materiaal' bij de taak 'Verschaffen'. Er zijn vele mogelijke combinaties van falende aanleversystemen en taken, maar meestal is er een aantal dominante combinaties van onderliggende redenen aan te wijzen voor een falende barrière. Op deze manier vormen de Storybuildermodellen de basis voor de berekening van de frequentie van gevallen waar zowel beheerssystemen als barrières falen. Dit is een primeur in de geschiedenis van de ongevalanalyse.

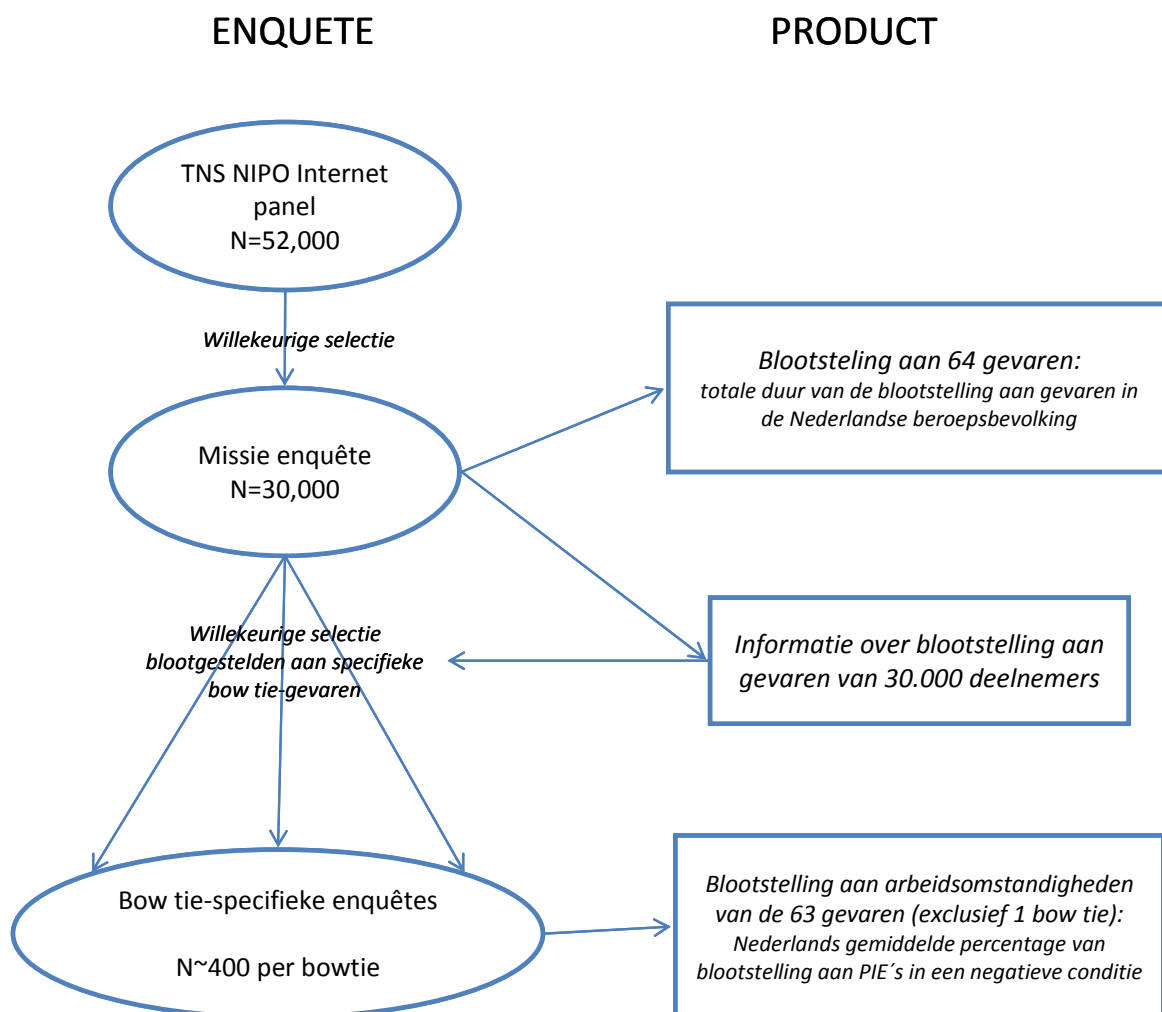
De aanlevertaakgegevens die betrekking hebben op beheersaanleversystemen zijn gedetailleerder dan de huidige logische risicomodellen van ORM.

Dankzij Storybuilder kan de gebruiker de structuren en gegevens interactief verkennen, zoals beschreven in paragraaf 5.1. De gebruiker beschikt over een groot aantal opties voor gegevensanalyse en door de integratie van nadere gegevens van GISAI kunnen specifieke perspectieven per bedrijfstak worden ontwikkeld voor het bepalen van inspectiestrategieën. Het hulpprogramma Storyfilter voor het filteren van specifieke perspectieven per bedrijfstak wordt beschreven in paragraaf 5.2. Meer informatie over een standaardverzameling van feiten en cijfers is te vinden in paragraaf 4.3.1 en in het technische rapport 3. Het technische rapport 11 bevat de gebruikershandleidingen voor Storybuilder en Storyfilter.

3.2 Analyse van de blootstelling aan gevaren en arbeidsveiligheidsomstandigheden

De gegevens over blootstelling die nodig waren voor de risicoberekeningen, zijn verzameld aan de hand van onderzoek via internet. In eerste instantie werd een uitgebreid onderzoek verricht, om gegevens te verkrijgen over de duur van blootstelling van werknemers aan de 64 gedefinieerde gevaren, het zogenaamde ‘missieonderzoek’ (zie Bijlage 2). Voor elk gevaar werd vervolgens een afzonderlijk onderzoek op internet uitgevoerd om gegevens te analyseren over de arbeidsveiligheidsomstandigheden van de werknemers die aan de gevaren waren blootgesteld.

Het onderzoek op internet werd uitgevoerd door TNS NIPO (Nederlands Instituut voor de Publieke Opinie en het Marktonderzoek) omdat dit instituut een groot, representatief panel heeft, gebaseerd op een nuttige bronpopulatie. In Figuur 3.3 wordt de samenhang getoond van de twee onderzoekstypen die zijn verricht om de gegevens over blootstelling voor ORM te analyseren. In deze figuur wordt aangegeven dat de blootstelling aan arbeidsomstandigheden is berekend voor 63 van de 64 bow ties. De gegevens over blootstelling van vijf bow ties zijn geanalyseerd in het kader van testonderzoeken in het WORM 1-project. Eén bow tie (de touwladder) is niet in de analyse meegenomen.



Figuur 3.3 Opzet van de onderzoeken naar blootstelling.

3.2.1 Blootstelling aan gevaren: het missieonderzoek

In het risicomodel voor arbeidsveiligheid wordt blootstelling in verband gebracht met die activiteiten of situaties gedurende welke een werknemer het risico loopt dat het ongeval plaatsvindt zoals beschreven in de centrale gebeurtenis van de bow tie. Deze activiteiten/situaties worden ook wel ‘missies’ genoemd. Voor kwantificering van de risico’s in ORM is de totale duur (aantal uren) van blootstelling aan deze missies onder de Nederlandse beroepsbevolking nodig. Tabel 3.1 geeft een voorbeelddefinitie van een missie.

Tabel 3.1 Voorbeelddefinitie van een missie.

Voorbeelddefinitie van het gevaar (missie) met betrekking tot bow tie 2 ‘botsing met een bewegend voertuig’
Het aantal uren dat werknemers zich als voetganger op werkplekken bevinden in aanwezigheid van bewegende voertuigen. Het kan hier gaan om werk in fabrieken, pakhuizen of op laadperrons, of langs de openbare snelweg, bijvoorbeeld in het geval van wegwerkers, vuilnislieden, pechhulpverleners of politieagenten. Reguliere verkeersactiviteiten als gebruiker van de openbare weg (inclusief forenzen en zakenreizen) zijn hierbij niet inbegrepen.

Gezien de beschikbare tijd, het budget en de vraag of de resultaten voldoende bruikbaar zouden zijn, leek een landelijk onderzoek via internet de meest aangewezen methodiek, vergeleken met andere methoden zoals observaties op locatie of de inzichten van deskundigen.

In het voorjaar van 2006 is een proefonderzoek gehouden onder de 2.000 leden van het internetpanel van TNS NIPO om de opzet van het missieonderzoek te testen. De testbevindingen zijn geëvalueerd tijdens een bijeenkomst van de technische commissie en de kwaliteitsadviseur. Als resultaat werden de procedures en wegingsfactoren aangepast, de vragenlijst verfijnd en de formulering van de missies aangescherpt. Dit was een belangrijke stap voor het model omdat hierdoor de definities voor de missies waarvoor de blootstelling werd gemeten, preciezer konden worden onderscheiden en vastgelegd. Dit had ook gevolgen voor de bow-tieonderzoeken. De methodologische implicaties van de onderzoeksprocedures waren ook relevant voor het model en de software.

In november 2006 werd het uiteindelijke missieonderzoek uitgevoerd onder een willekeurige netto steekproef van 30.000 leden van het internetpanel van TNS NIPO. De geënquêteerden gaven aan hoeveel uren zij waren blootgesteld aan gevaar in de week voorafgaande aan het onderzoek. Vervolgens werd deze wekelijkse blootstelling geëxtrapoleerd naar de jaarlijkse blootstelling, op basis van 42 feitelijke werkweken in een jaar.

Belangrijke afwijkingen van de onderzoekssteekproef onder bekende populatieverdelingen werden gecorrigeerd met een wegingsfactor om representatieve gegevens over blootstelling voor de Nederlandse beroepsbevolking (CBS, 2006; Bossche et al., 2006) te verkrijgen. Bij deze wegingprocedure werden de volgende aspecten van de populatieverdeling meegenomen: sector, soort functie, soort werk, opleidingsniveau, leeftijd en geslacht⁸. Door vermenigvuldiging werd het eindresultaat berekend (de totale som van de tijd van blootstelling aan specifieke gevaren voor alle werknemers in Nederland). Tabel 3.2 toont hiervan een voorbeeld.

Ten slotte werd voor alle (sub-)bow ties de som van de uren blootstelling – geëxtrapoleerd naar dezelfde periode als de geanalyseerde ongevalperiode – gebruikt voor de kwantificering van de risico's in het model.

⁸ Sommige van de aangegeven beroepsgroepen waren niet inbegrepen in de populatie van ongevallen in de GISAI-databank en zijn daarom niet opgenomen in de gegevens over de blootstelling. Hetzelfde geldt voor zelfstandigen die niet onder andermans gezag werken.

Tabel 3.2 Voorbeeld van de kenmerken van blootstelling resulterende uit het missieonderzoek: blootstelling onder de Nederlandse beroepsbevolking aan het gevaar (missie) met betrekking tot bow tie 2 'Botsing met een bewegend voertuig'.

Totale blootstelling (som van de uren blootstelling)	648.000.000	uren per jaar
Aantal blootgestelde personen (in de week van onderzoek)	1.280.000	werknemers in NL*
Mediaan van de blootstelling (alleen blootgestelde personen)	250	uren per jaar
Totale blootstelling in de periode van het ongeval**	4.000.000.000	uren

* Ter vergelijking: het totale aantal werknemers in Nederland was 7.815.009 (= gemiddelde populatie in 2000-2003, gebruikt als basis voor de extrapolatie van de onderzoeksresultaten naar de Nederlandse beroepsbevolking).

** Voor de kwantificering van ORM is de blootstelling geëxtrapoleerd naar de periode waarover ongevalgegevens (van GISAI) zijn opgenomen in het bow-tiemodel (6 jaar en twee maanden).

De geldigheid en betrouwbaarheid van de gegevens worden beïnvloed door de beperkingen die aan de tijd en de kosten voor het onderzoek werden gesteld. Het onderzoek levert toch een redelijk goede schatting van de blootstelling aan gevaren onder de Nederlandse beroepsbevolking omdat er was voorzien in een relatief grote steekproef, een representatief panel en ingebouwde kwaliteitscontroles van de vragenlijst en het onderzoek. De gegevens over blootstelling zijn representatief voor de kenmerken die bij de wegingprocedure zijn gebruikt. Er kunnen nog verschillen zijn voor andere kenmerken van de beroepsbevolking (bijvoorbeeld etnische afkomst). De gemeten periode van blootstelling (2006) is niet dezelfde als de periode die is gedekt door de ongevalgegevens (1998-2004). Het zou ideaal zijn als de gegevens over ongevallen en blootstelling dezelfde periode dekken, en hiermee moet rekening worden gehouden als de gegevens over ongevallen en blootstelling voor het model in de toekomst worden bijgewerkt.

3.2.2 Arbeidsveiligheidsenquêtes

Voor elk van de gevaren in ORM is er voor elke barrière en elke basisgebeurtenis een verzameling PIE's (*Probability Influencing Entities*) opgesteld die overeenkomen met concrete, specifieke en gedetailleerde factoren met betrekking tot gedragspatronen, installaties, regels enzovoort die van invloed zijn op de kwaliteit van de veiligheidsbarrières. Gegevens over de frequentie van gevallen waar deze PIE's op de werkplek voorkwamen, zijn geanalyseerd via de specifieke arbeidsveiligheidsenquêtes op internet.

Tabel 3.3 Voorbeeld van PIE's voor een barrière in bow tie 2 'Botsing met een bewegend voertuig'.

* Barrière = locatie/positie van de voetganger

* PIE's: 1) maatregelen om voetgangers te scheiden van het overige verkeer
2) gebruik van deze maatregelen
3) zich vlak bij, voor of achter een voertuig begeven

Er zijn proefonderzoeken uitgevoerd voor de gegevensverzameling van bow tie 1.1.1.1 'Vallen van hoogte – verplaatsbare ladder' en 1.1.2 'Vallen van steigers'⁹. De bevindingen van het proefonderzoek

⁹ Voor bow tie 1.1.1.1 werden de gegevens over blootstelling geanalyseerd via een schriftelijk onderzoek onder werknemers en door middel van inzichten van deskundigen (expert judgement).

werden als basis gebruikt voor de opzet van het hele kwantificeringsproces, met inbegrip van een standaardprotocol, procedures en hulpmiddelen. De gegevens over arbeidsomstandigheden werden geanalyseerd door middel van onderzoek op internet in samenwerking met TNS NIPO. Onder supervisie van de kwaliteitsadviseur en in samenwerking met de storybuildanalisten, de bow-tiebouwers van het logische model en de onderzoeksdeskundigen werden voor elke bow tie vragen ontwikkeld om het aantal gevallen met een negatieve conditie van de PIE's te analyseren.

De geënquêteerden voor elk van de arbeidsveiligheidsenquêtes werden willekeurig geselecteerd onder de leden van het internetpanel van TNS NIPO die volgens hun antwoorden in het missieonderzoek aan het aan deze bow tie gekoppelde risico waren blootgesteld. Het doel was om een representatieve netto steekproef van 300-400 geënquêteerden te maken waarmee resultaten met een aanvaardbare mate van precisie en betrouwbaarheid zouden kunnen worden gepresenteerd.

Aan de geënquêteerden werd gevraagd om op een schaal van 0-100% aan te geven hoe lang een bepaalde conditie (falende PIE) duurde, uitgedrukt als percentage van de blootstellingstijd: hoe hoger het percentage, hoe slechter de conditie van het PIE. Er was voor deze continue schaal gekozen om nauwkeurige statistieken te verkrijgen, wat vooral bij voorwaardelijke kansberekeningen de voorkeur geniet. De blootstellingperiode had betrekking op de laatste 12 maanden om seizoensvariëaties uit te sluiten.

NIPO Interview System : NIPOM

Actions View Help

OK Back

Vraag 1:

Toen u de afgelopen 12 maanden als voetganger tijdens uw werk op plaatsen kwam waar voertuigen rijden...

In hoeveel procent van de tijd waren de voertuigen slecht waarneembaar doordat ze bijvoorbeeld geen verlichting hadden, geen geluidsignalen gebruikten bij achteruitrijden, geen richtingaanwijzers gebruikten?

nooit de helft altijd

0% 25% 50% 75% 100%

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Figuur 3.4 Voorbeeld van de interface voor de onderzoeksvragen: de geënquêteerden moesten op de tijdschaal het relevante percentage blootstellingstijd aangeven.

Na een kwaliteitscontrole van de onderzoeksgegevens werd voor elke PIE het gemiddelde percentage berekend, met weging voor de missieblootstelling. Deze gemiddelde percentages zijn gebruikt voor de kwantificering van de bow-tiemodellen.

Al met al was het toch mogelijk om zeer gedetailleerde gegevens over de arbeidsveiligheidsomstandigheden te verzamelen.

Deze onderzoeken leverden een schat aan nauwkeurige informatie op over de blootstelling aan specifieke arbeidsveiligheidsomstandigheden onder de Nederlandse beroepsbevolking. Net als bij het missieonderzoek worden ook de geldigheid en betrouwbaarheid van de gegevens van de arbeidsveiligheidsenquêtes beïnvloed door de beperkingen die aan de tijd en de kosten voor het onderzoek waren gesteld. Het oorspronkelijke plan om deskundigen te raadplegen voor de validatie van de inhoud van de PIE-vragen kon niet worden verwezenlijkt. Aan het begin van het proces werd een

Voor bow tie 1.1.2 (inclusief de sub-bow-ties 1.1.2.1, 1.1.2.2 en 1.1.2.3) is een proefonderzoek op internet uitgevoerd door MWM2/Panelclix.

aantal vragenlijsten onder de geënkquêteerden getest en vervolgens verbeterd. Het was niet mogelijk om dergelijke proeftests uit te voeren voor alle vragenlijsten. Verder moet in gedachten worden gehouden dat de blootstellinggegevens uit de internetonderzoeken gebaseerd zijn op rapportage van de werknemers zelf; het is algemeen bekend dat het erg moeilijk is om blootstelling accuraat in te schatten. Verder was de periode van de gemeten blootstelling (2006-2007) niet dezelfde als de periode van de ongevalgegevens (1998-2004) en de arbeidsomstandigheden kunnen ondertussen zijn veranderd door wetgeving of nieuwe technologieën.

3.3 Maatregelen

3.3.1 Benodigde gegevens om het risico te beïnvloeden

De gebruiker van ORM kan interactief met het programma werken aan de hand van *maatregelen*. De gebruiker kan zelf maatregelen invoeren om de mogelijke mate van risicoreductie te bestuderen. Hiervoor zijn de volgende gegevens verzameld of geproduceerd:

- een verzameling van maatregelen waarmee de waarden van de PIE's in het model kunnen worden gewijzigd;
- gedetailleerde beschrijvingen van maatregelen, met onder andere verwijzingen naar normen en richtlijnen;
- de kosten van de maatregelen, berekend aan de hand van een selectie relevante factoren, ramingen van kostenfactoren op basis van een normale implementatie en gecombineerd in een algemene functie;
- een overzicht van de acties die een maatregel kan bewerkstelligen indien deze wordt toegepast (dit is de koppeling tussen de maatregelen en het model);
- een raming van de doeltreffendheid van een maatregel, oftewel de mate waarin een maatregel het risico kan reduceren door middel van de acties die met de maatregel worden bewerkstelligd.

In het model zijn zowel kosten en doeltreffendheid van maatregelen als de relaties tussen maatregelen en PIE's nodig om de beste oplossingen te berekenen voor risicoreductie per gevolg. Een oplossing is in feite een verzameling maatregelen tegen bepaalde kosten (zie paragraaf 2.9 voor de efficiencygrens).

De beschrijving van de maatregelen is nodig als richtlijn bij de implementatie. De relatie met de PIE's, in de vorm van zogenaamde *PIE-acties*, toont de gebruiker wat voor soort veranderingen hij in de praktijk zou kunnen doorvoeren. Dit is ook handig voor gebruikers die de ORM-software willen gebruiken om een eigen kostenraming te maken van een maatregel.

3.3.2 Maatregelen: definitie en verzameling

Het verzamelen van maatregelen was de laatste fase bij de ontwikkeling van de onderdelen van het ORM. De PIE's van het model vormen de basis voor de verzameling maatregelen, zoals beschreven in hoofdstuk 2, paragraaf 2.6. De maatregelen moeten relevant zijn voor deze PIE's. De maatregelen zijn alleen beschikbaar voor gevallen waar de PIE's zijn gekwantificeerd door onderzoek.

De verzameling bestond uit een mengeling van algemene en specifieke maatregelen voor de gegeven omstandigheden en gericht op versterking van de organisatorische, menselijke (gedragsgebonden) en technische aspecten van barrières. Tot de algemene maatregelen behoren onder andere trainingen, inspectie, fysieke barrières, detectie, signaleringen en waarschuwingen. De verzameling was bedoeld voor duidelijke, bewezen concepten. Er zijn geen nieuwe oplossingen. Belangrijke bronnen voor de

verzamelde reeks maatregelen zijn bekende controlelijsten, handleidingen over veiligheid, procedures, trainingsprogramma's, verplichte opleidingsniveaus en de Europese en Nederlandse normen en richtlijnen. Zie het technische rapport 9 voor meer informatie over de bronnen en beschrijvende velden.

3.3.3 Effect van de maatregelen: risicobeïnvloeding van PIE tot barrière

Welk type gegevens nodig is, hangt af van het model en de gemaakte keuzen bij het modelleringsproces. Met een maatregel worden de arbeidsomstandigheden beïnvloed in de richting van risicoreductie.

Tabel 3.4 Voorbeeld van de relatie tussen maatregelen en barrières – type: conditie van trapladder.

Bow tie:	1.1.1.3 Vallen van hoogte - ladder of trapje
Barrière:	Type of conditie van ladder of trapje
PIE:	Conditie van de oppervlakte van de treden
PIE-vraag:	Wat was het tijdspercentage dat de treden glad waren tijdens het werken op een ladder, bijvoorbeeld treden die zelf glad waren of vanwege verf, sneeuw en dergelijke?
PIE-actie:	Zorgen dat de treden van de ladder voldoende grip bieden
Maatregelen:	Antislipmateriaal gebruiken op ladders/trapladders/trappen Preventief onderhoudssysteem Visuele inspectie voordat het werk begint Periodiek onderhoud en inspectie

Een PIE-actie kan door meer dan één maatregel worden bewerkstelligd. De PIE-actie 'Bewustzijn van het gevaar bij achteruitlopen op een dak' kan worden bewerkstelligd door een of meer van de volgende maatregelen:

- Toolbox meeting
- Training
- Veiligheidsharnas
- Valbeveiliging rondom gaten

Omgekeerd wordt een maatregel gedefinieerd door een PIE-actie. De maatregel 'Toolbox meeting' is in de databank aan meerdere PIE-acties gekoppeld:

- Bewustzijn van het gevaar bij achteruitlopen op een dak.
- Kraan niet beladen met meer dan de maximale toegestane belasting.
- Bewustzijn van de gevaren bij het werken met voertuigen.

3.3.4 Effectiviteit

De effectiviteit van een maatregel geeft aan in hoeverre de maatregel van invloed is op de negatieve conditie van een PIE, vooral de mogelijkheid om te komen van de huidige conditie van de PIE naar een PIE met een negatieve conditie gedurende 0% van de tijd. Dit concept bleek moeilijk kwantificeerbaar met de bestaande bronnen. Uit literatuurstudie, de analyse van openbare bronnen en het advies van deskundigen bleek dat er niet genoeg gegevens voorhanden waren om de doeltreffendheid op te baseren.

Als alternatief werd er een voorspellingssysteem ontwikkeld voor de effectiviteit. Het systeem kent een mate van effectiviteit toe aan een maatregel op basis van de kenmerken van die maatregel. Het huidige systeem gaat uit van twee dimensies:

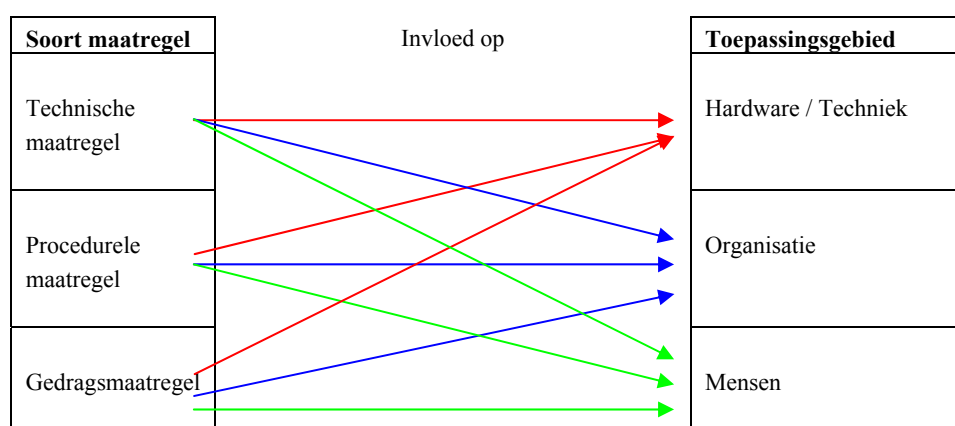
- het type maatregel (bron);
- de toepassing (waarop heeft de maatregel invloed).

In beide gevallen zijn er drie mogelijke waarden:

- technisch – technische maatregel, toepassing op de installatie (materiaal);
- organisatorisch – procedurele maatregel, toepassing op de organisatie;
- gedragsgebonden – gedragsmaatregel, toepassing op mensen.

Deze toepassingen zijn gedefinieerd in Bijlage 1, Woordenlijst (zie Maatregel).

De relaties tussen deze dimensies kunnen worden weergegeven als in Figuur 3.5.



Figuur 3.5 Categorisering van de maatregelen.

Voor elke categorie wordt de effectiviteit bepaald. Tabel 3.5 geeft de gebruikte percentages weer die als basis voor de effectiviteit worden gebruikt. De gebruiker kan deze aanpassen aan de eigen situatie.

Tabel 3.5 Percentage van de doeltreffendheid per categorie maatregelen.

	Toepassing:	Uitrusting	Organisatie	Mensen
Bron				
Technische maatregel		80%	70%	50%
Procedurele maatregel		60%	60%	50%
Gedragsgebonden maatregel		50%	50%	40%

Elke maatregel kan van invloed zijn op meer dan één PIE en elke PIE kan worden beïnvloed door meer dan één maatregel. De PIE's bepalen de kwaliteit van de barrière, en via de PIE's zijn de maatregelen dus van invloed op de conditie van de barrière. Elke maatregel heeft de mogelijkheid in zich om een perfectie conditie te bewerkstelligen. Dit is de *effectiviteit*. Als een PIE bijvoorbeeld gedurende 40% van de tijd in een negatieve conditie verkeert en de effectiviteit van een maatregel 75% is, wordt de negatieve conditie gereduceerd met $(40\% \times 0,75) = 30\%$. De nieuwe negatieve PIE-waarde is dan $(40\% - 30\%) = 10\%$. Indien de PIE 'Detectie van gevaarlijke gassen' bijvoorbeeld een waarde van 40% heeft, betekent dit dat er geen detectiesysteem aanwezig is gedurende 40% van de mogelijke blootstellingstijd

aan een gevaarlijk gas. Voor een perfecte conditie moet dus nog 40% worden overbrugd via adequate maatregelen. Als de effectiviteit van een maatregel in combinatie met de actie ‘Detectie van gevaarlijk gas’ geschat wordt op 75% (schatting gebaseerd bijvoorbeeld op het effect van het toepassen van gasdetectie-apparatuur) wordt de perfecte conditie bereikt voor 90% van de tijd. Met een volgende maatregel wordt geprobeerd de resterende 10% te dekken en zo verder. (Dit betekent dus dat de 100% nooit kan worden bereikt door de maatregel.) Dit wordt weergegeven in Figuur 3.6.



Figuur 3.6 Het effect dat het toepassen van een maatregel in het model heeft op een PIE die gedurende 40% van de tijd in een negatieve conditie verkeert (bijvoorbeeld de afwezigheid van een detectiesysteem gedurende 40% van de mogelijke blootstellingstijd aan een gevaarlijk gas). Wanneer een maatregel wordt toegepast met een geschatte effectiviteit van 75% op de conditie van de PIE, wordt een risicoreductie van 75% bereikt, wat resulteert in een negatieve conditie gedurende 10% van de tijd.

3.3.5 Kosten

De voornaamste uitdaging bij het verzamelen van de kosten van maatregelen is de geldigheid van de nominale waarde. De vele mogelijke uitvoeringen en de verschillen tussen (de grootte van) bedrijven en bedrijfsstrategieën maken het bijna onmogelijk om een kostenplaatje te presenteren dat voor iedere ORM-gebruiker geldig is. Daarom:

- zijn de meest gangbare uitvoeringen en de meest gebruikelijke bedrijfskenmerken (in een bepaalde bedrijfstak) als standaardwaarden gebruikt;
- zijn alleen de meest relevante directe kosten in beschouwing genomen.

De kosten van een maatregel bestaan uit een vaste component (eenmalige kostenpost bij inkoop) en een variabele component. De variabele component is gebaseerd op de verwachte levensduur van een maatregel. Beide componenten kunnen door de gebruiker worden gewijzigd. Menselijke arbeid is beschikbaar op drie loon-/tariefschalen. Er wordt geen rekening gehouden met alle soorten indirecte potentiële voordelen (zoals productievergroting) of minder verzuimtijd door letsel, en potentiële kosten (meer personeel nodig, extra opslagruimte).

De kosten worden gecontroleerd aan de hand van velerlei bronnen, zoals desk research en prijslijsten. Ook werd om offertes gevraagd, waarna de offertes van grote leveranciers op websites werden vergeleken. Voor bepaalde sectoren, zoals de bouw, werden de kostengegevens gecontroleerd door advies in te winnen van ter zake deskundigen.

3.4 Beroepen, activiteiten en gevaren

Veel mensen zijn zich niet bewust van alle mogelijke gevaren bij de uitoefening van hun beroep. Soms verrichten werknemers taken die geen deel uitmaken van hun normale werk. Er waren geen schema's beschikbaar die het mogelijk maken verbanden te leggen tussen beroepen of activiteiten en gevaren en dus moest een dergelijk schema worden gemaakt. Daartoe is gebruikgemaakt van een rijke gegevensbron, namelijk de Deense databank RAW over arbeidsongevallen.

Voordelen van de Deense databank waren:

1. de databank was groot genoeg om de mogelijke activiteiten en beroepen van gebruikers te dekken;
2. de ongevallen waren gecodeerd zodat deze systematisch en gezamenlijk konden worden geclassificeerd als bow ties zonder de details van de ongevallen te hoeven lezen behalve bij wijze van steekproef;
3. de internationale classificatieschema's waren toegepast op aandachtspunten per dimensie zoals beroep en bedrijfstak; en
4. er was één Europese classificatie voor de desbetreffende activiteiten en stoffen toegepast.

De Deense gegevens zijn afkomstig uit het RAW-register (database van ongevallen op het werk). Deze betreffen 480.000 gemelde ongevallen die in ten minste één dag arbeidsverzuim resulteerden, gerekend vanaf de dag van het ongeval, uit de periode 1993-2002. De gegevens zijn kwantitatief en omvatten alle risico's die in het risicomodel zijn gedefinieerd evenals alle mogelijke bedrijfstakken en soorten beroepen, activiteiten en agentia. De meeste gegevens in de Deense databank zijn geclassificeerd volgens de classificaties van de Europese Statistiek inzake Arbeidsongevallen ESAO (Europese Commissie, 2001). Het is niet precies bekend in hoeverre de Deense en Nederlandse situatie vergelijkbaar zijn, dus is ervan uitgegaan dat de Deense en Nederlandse beroepsbevolkingen over het algemeen dezelfde soort activiteiten uitvoeren met vergelijkbare risico's. Na vergelijking van de gegevensbronnen en de gemaakte hypothesen, is besloten om een databank te bouwen met informatie over de relatie tussen beroepen, bedrijfstakken, activiteiten, agentia en risico's op basis van de Deense gegevens.

Beroep

Een beroep is gedefinieerd als het werk van het slachtoffer van het ongeval. De beroepenlijst die is opgenomen in het model, is gebaseerd op de internationale classificatie ISCO-88-COM (Elias en Birch, 1994). Voor het model zijn een paar kleine wijzigingen aangebracht ten opzichte van de officiële classificaties. Er bestaat geen officiële Nederlandse vertaling van de ISCO-88-COM-classificatie, dus is er een ad-hocvertaling gemaakt om in het risicomodel te gebruiken.

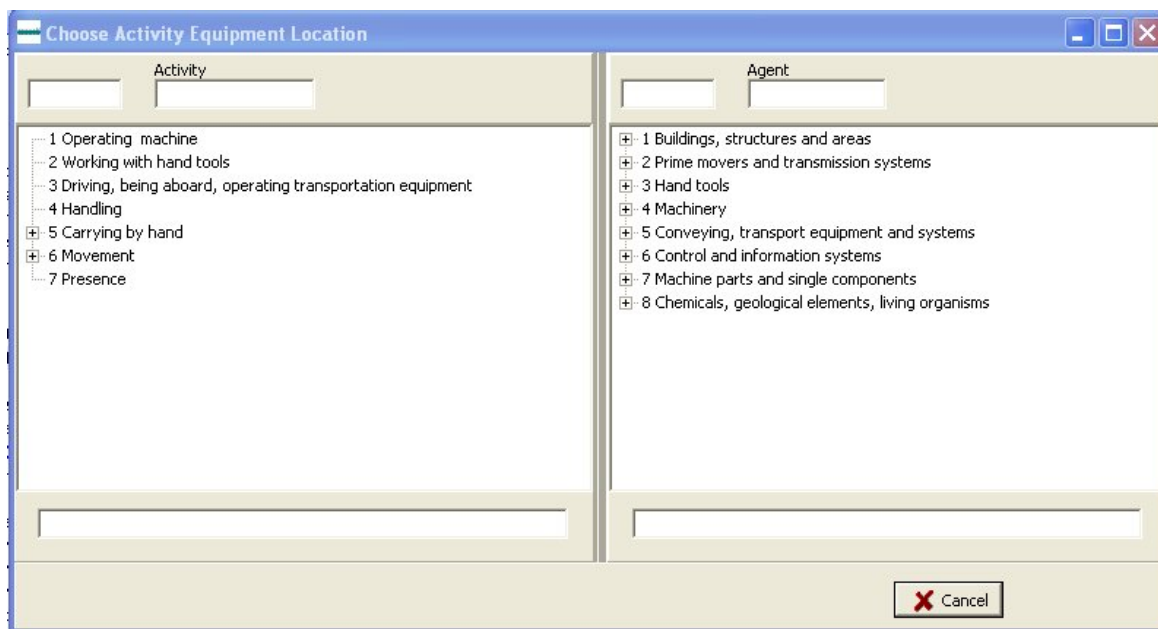
Bedrijfstak

De bedrijfstak is de economische activiteit van de werkgever. De lijst van bedrijfstakken die is opgenomen in het model, is de internationale NACE-classificatie (Europese Commissie, 2002).

Activiteiten en agentia

Activiteit is gedefinieerd als de specifieke fysieke activiteit van de werknemer die een risico loopt. Bij deze activiteit zijn werknemers blootgesteld aan een of meer gevaren die kunnen leiden tot een arbeidsongeval. Agens is gedefinieerd als het belangrijkste instrument, gereedschap of agens dat is gekoppeld aan de specifieke fysieke activiteit van de werkende persoon die aan het gevaar is blootgesteld. De lijsten met activiteiten en agentia die in ORM zijn opgenomen, zijn gebaseerd op de

classificaties van de ESAO. De activiteiten van werknemers en agentia waarmee ze werken, zijn gekoppeld en hiërarchisch gestructureerd aan de hand van de ESAO-codes.



Figuur 3.7 Schermafdruk van de combinatie van activiteiten en agentia die een gebruiker kan selecteren om de desbetreffende gevaren te vinden op basis van eerdere ongevallen.

Gevaren

Op basis van alle beschikbare informatie in de Deense gegevensverzameling zijn alle ongevallen geassocieerd aan de hand van de 64 bow ties, waarbij de ongevalgegevens zo nauwkeurig mogelijk aan een bow tie zijn gekoppeld op basis van de beschikbare details.

Databank met koppeling tussen beroep, bedrijfstak, activiteit, agens en bow tie

Op basis van de classificaties kan het risicomodel een lijst presenteren van groepen combinaties activiteit/agens/bow tie die voorkomen voor een bepaalde combinatie van beroep en bedrijfstak in de RAW-gegevens. Deze lijst is geordend op basis van de frequentie en de ernst van de gevolgen van de geobserveerde groepen activiteit/agens/gevaar voor dat bepaalde beroep in de bedrijfstak. De gebruiker kan vervolgens de leden uit de lijst selecteren die op zijn situatie van toepassing zijn. In Figuur 3.7 ziet u een voorbeeld dat van toepassing is op verpleegkundigen in ziekenhuizen. Dit is alleen bedoeld als hulpmiddel bij het selecteren van combinaties activiteiten/bow ties, maar het kan ook inzicht geven in aspecten waaraan tot nu toe nauwelijks aandacht is besteed bij de classificatieschema's van ongevallen.

Choose Hazards

Activity : Equipment / Location	Hazard
☐ Presence : Persons, patients, clients, children	
	☐ 06.1 Contact object carried or used by other person - handheld tool
	☐ 06.2 Contact object carried or used by other person - NOT handheld tool
	☐ 20.1 Human aggression
	☐ 25.1 Extreme muscular exertion - handling objects
	☐ 25.2 Extreme muscular exertion - moving around
☐ Lifting/lowering : Persons, patients, clients, children	
	☐ 01.2 Fall on same level
	☐ 20.1 Human aggression
	☐ 25.1 Extreme muscular exertion - handling objects
	☐ 25.2 Extreme muscular exertion - moving around
☐ Movement to other place : Floors and surfaces	
	☐ 01.2 Fall on same level
	☐ 02 Struck by moving Vehicle
	☐ 09 Moving into Object
	☐ 25.1 Extreme muscular exertion - handling objects
	☐ 25.2 Extreme muscular exertion - moving around

☒ Select All
 ☐ Clear All

Figuur 3.8 Voorbeeld van een deel van een advieslijst voor verplegers/verpleegsters: ziekenhuisactiviteiten.

4 Belangrijkste resultaten

Het ORM, de ongeval- en onderzoeksgegevens en de ontwikkelde software hebben de volgende resultaten geleverd:

1. hulpmiddelen voor een kwantitatieve risicoanalyse voor arbeidsveiligheid voor 63 typen arbeidsongevallen, waarmee praktisch alle typen ongevallen worden gedekt (zie Bijlage 2);¹⁰
2. het ORM-programma waarmee een risicoanalyse voor arbeidsveiligheid kan worden gemaakt en adviezen over kosten-baten kunnen worden opgesteld per bedrijf, beroep of activiteit;
3. uitgebreide gegevensverzamelingen die nieuwe inzichten bieden in:
 - a. ongevallenanalyse, oorzaken, effecten en gevolgen, voornamelijk wat betreft veiligheidsbarrières en falende barrières onder andere voor specifieke sectoren en activiteiten;
 - b. blootstelling aan gevaren en specifieke arbeidsomstandigheden;
 - c. risicoreducerende maatregelen, en de categorieën, effectiviteit en kosten daarvan;
 - d. koppeling tussen beroep, bedrijfstak, activiteiten, agentia en gevaar;
4. het logische model zelf dat de oplossing biedt voor het maken van berekeningen om de arbeidsrisico's te identificeren en risicoreductie te prioriteren;
5. aanvullende afgeleide producten, in de vorm van software en gegevens over arbeidsveiligheid.

4.1 Gekwantificeerde risicoanalyse voor arbeidsveiligheid

Er zijn 63 logische modellen gekwantificeerd waarmee een verband wordt gelegd tussen arbeidsomstandigheden en de kans op een ongeval. Voor elk van de 63 bow ties zijn 3 risicotypen berekend, die overeenkomen met de drie gevolgtypen (dodelijk, blijvend of tijdelijk letsel). De resultaten en meer uitleg vindt u in Tabel B3.1 van Bijlage 3.

In Tabel 4.1 ziet u welke rekenmethoden zijn gebruikt voor de risicoberekeningen. Met risicopercentages kunnen risico's worden berekend, aangepast aan specifieke personen of bedrijven in gevallen waar de duur van de blootstelling aan een bepaalde activiteit te zeer afwijkt van het gemiddelde van de beroepsbevolking. Voor verschillende soorten werk op verplaatsbare ladders zijn bijvoorbeeld verschillende werktijden vereist. Risico per jaar is een algemenere rekenmethode waarmee het risico wordt berekend waaraan een werkende persoon is blootgesteld gedurende een werkjaar; dit komt overeen met de jaarlijkse tijd van blootstelling van deze persoon aan het overeenkomstige risico. Het aantal ongevallen per jaar wordt gebruikt om de risicopercentages te berekenen.

De rangschikking van risico's hangt sterk af van de gebruikte rekenmethode voor risico's en deze wijkt sterk af van de rangschikking op basis van het aantal ongevallen per tijdseenheid (ongevallenpercentage). In de Figuren 4.1, 4.2 en 4.3 ziet u de rangschikking van verschillende risico's per jaar, voor respectievelijk dodelijk, blijvend en tijdelijk letsel. Er zijn relatieve waarden gebruikt zodat elke figuur drie verschillende typen risicoberekeningen weergeeft. De waarden van deze rekenmethoden voor risico's worden uitgedrukt als percentage van de maximale geobserveerde waarde. De absolute waarden worden weergegeven in Tabel B3.1 in Bijlage 3.

¹⁰ Van de 64 bow ties is het vallen van een touwladder buiten beschouwing gelaten omdat hierover onvoldoende gegevens beschikbaar waren.

Het grootste gevaar is ‘Contact met vallende voorwerpen – overige’ (bow tie 3.5), wat betreft het risico van een dodelijk ongeval gedurende een jaar gemiddelde blootstelling. Dit is het geval als een werkende persoon wordt geraakt door een voorwerp dat van een plank, stapel of verschillende andere ladingen valt die niet door de andere categorieën worden gedekt, namelijk: kranen of kraanlasten (bow tie 3.1), mechanisch hijsen (bow tie 3.2.), vallende voorwerpen van voertuigen (bow tie 3.3) of bij contact met vallend voorwerp – manuele hantering (bow tie 3.4). Bow tie 3.5 wordt ook gekenmerkt door het grootste aantal dodelijke ongevallen per jaar. ‘Botsing met een bewegend voertuig’ komt op de tweede plaats wat betreft de geobserveerde dodelijke ongevallen per jaar. Het risico van een dodelijk ongeval in een jaar is echter 20 maal kleiner (dat wil zeggen 5%) dan het maximale risico van ‘Contact met vallende voorwerpen – overige’.

Tabel 4.1 Rekenmethoden voor gekwantificeerde risicoanalyse van arbeidsveiligheid.

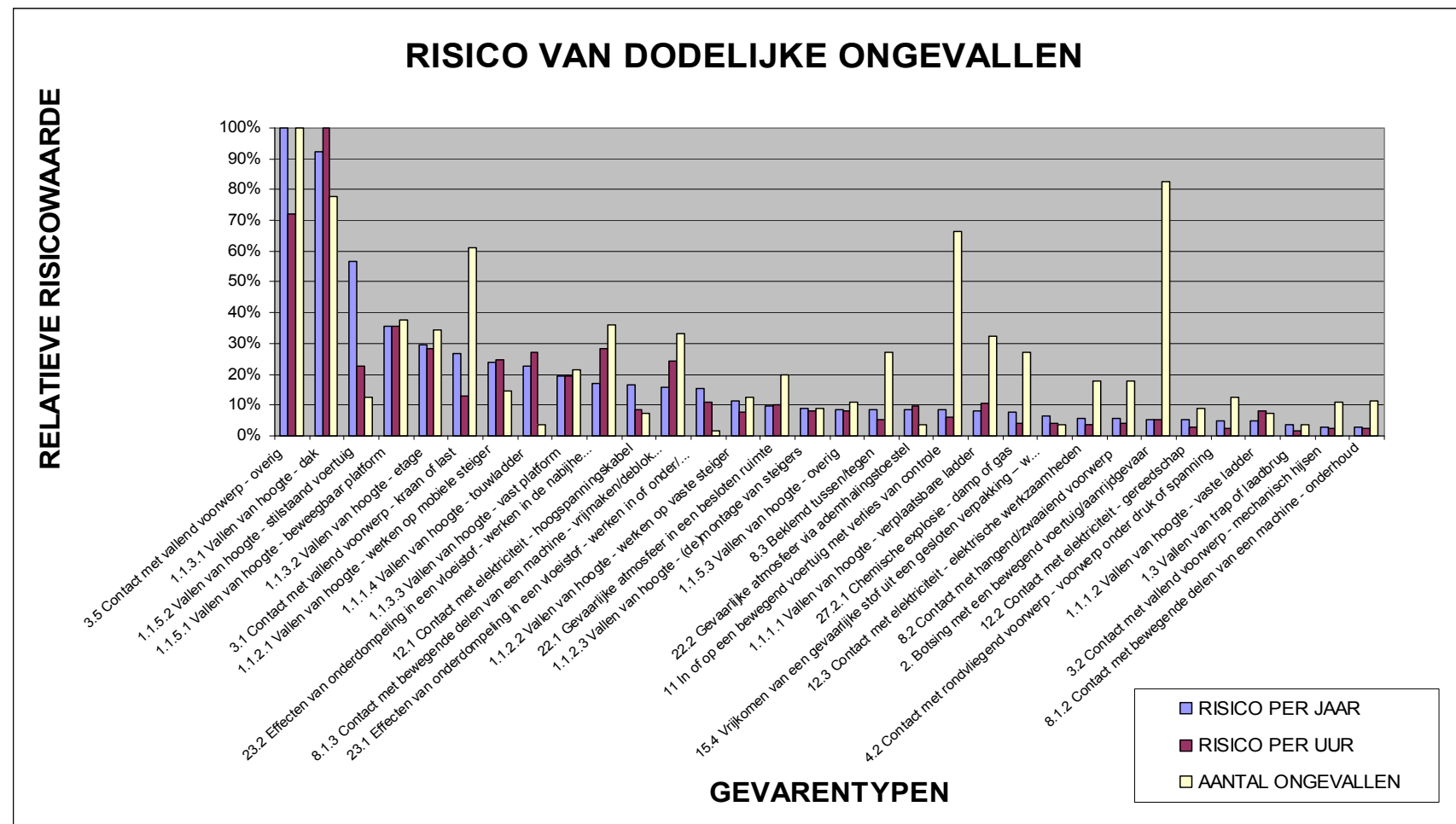
REKENMETHODE VOOR HET RISICO	DEFINITIE	GEBRUIK
Risicopercantage (één gevaar)	Waarschijnlijkheid van een ongeval met een bepaald gevolg per tijdseenheid van blootstelling aan het gevaar	Wordt gebruikt voor het compileren van schattingen voor meerdere risico's voor werknemers die aan verschillende gevaren zijn blootgesteld gedurende verschillende tijdsperioden
Risico per jaar (één gevaar)	Waarschijnlijkheid van een ongeval met een bepaald gevolg in een jaar gezien tegen de totale jaarlijkse blootstelling aan een bepaald gevaar	Wordt gebruikt voor het vergelijken van gevaartypen waarbij rekening wordt gehouden met de jaarlijkse blootstelling aan deze gevaren
Aantal geobserveerde ongevallen per tijdseenheid (één gevaar)		Wordt gebruikt om risicopercantages af te leiden
Aantal geobserveerde ongevallen per jaar en per werkende persoon	Aantal geobserveerde ongevallen gedurende een jaar, gedeeld door het aantal werknemers dat aan dit gevaar is blootgesteld gedurende een jaar	Is het equivalent van het risico per jaar

Risicocijfers zijn een betere basis voor beleidsbeslissingen dan het aantal ongevallen. Zowel op individueel – als bedrijfsniveau, per bedrijfstak of zelfs op nationaal niveau. Een persoon die op hoogte werkt, moet bijvoorbeeld beslissen of hiervoor een ladder of een rolsteiger wordt gebruikt en welk van beide minder risico's oplevert. Uit Tabel B3.1 (Bijlage 3) blijkt dat het aantal dodelijke ongevallen per jaar door het vallen van een ladder (bow tie 1.1.1.1) tweemaal hoger is dan het aantal dodelijke ongevallen door het vallen van een rolsteiger (bow tie 1.1.2.1). Het risico van een dodelijk ongeval per uur op een ladder is echter half zo groot als het risico per uur op een rolsteiger. Het is dus alleen veiliger een rolsteiger te gebruiken in plaats van een ladder als de vereiste tijd voor de werkzaamheden ten minste twee maal korter is bij het gebruik van een steiger dan bij gebruik van een ladder. Hieruit blijkt dat het misleidend kan zijn om beleidsbeslissingen uitsluitend te baseren op basis van de frequentie van ongevallen en niet op basis van de complete risicoafwegingen.

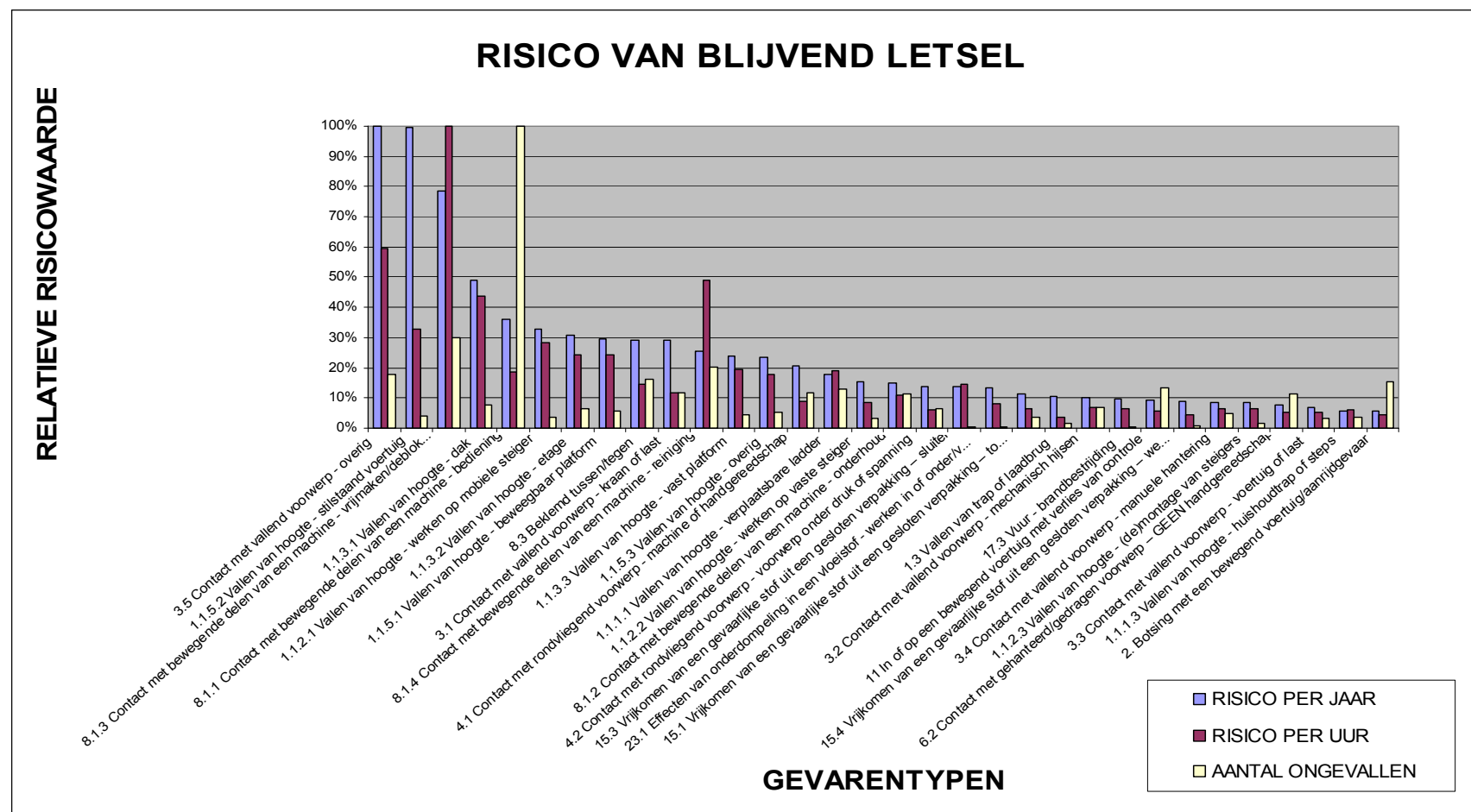
Anderzijds is risico per jaar een betere maat voor het vergelijken van arbeidsrisico's die zijn gekoppeld aan werk dat regelmatig wordt uitgevoerd maar telkens met een andere tijdsduur. Zo is bijvoorbeeld het risico van een dodelijk ongeval door vallen vanaf een stilstaand voertuig (bow tie 1.1.5.2) per op het voertuig doorgebrachte tijdseenheid groter (met een factor 2) dan het risico per uur van contact met een vallend voorwerp bij het werken op of in de omgeving van een kraan (3.1) (zie Figuur 4.1). Een persoon die op hoogte werkt op een stilstaand voertuig heeft desondanks een aanzienlijk lager risico per jaar (met een factor 4) dan iemand die bij of op een kraan werkt, aangezien de eerste (gemiddeld) minder tijd besteedt op een stilstaand voertuig dan de tweede op of rond de kraan per werkjaar.

Hierbij valt op te merken dat het aantal ongevallen per jaar per werkende persoon (of per 100.000 werknemers) rekenkundig equivalent is aan het risico per jaar. Deze statistiek kan daarom net zo goed worden gebruikt als het jaarlijkse risico ter ondersteuning bij het nemen van beslissingen inzake risicobeheer voor de gevallen waar het jaarlijkse risico een geschikte rekenmethode is. Dit geldt echter niet voor gevallen waar het effect van risicoreducerende strategieën moet worden gemeten.

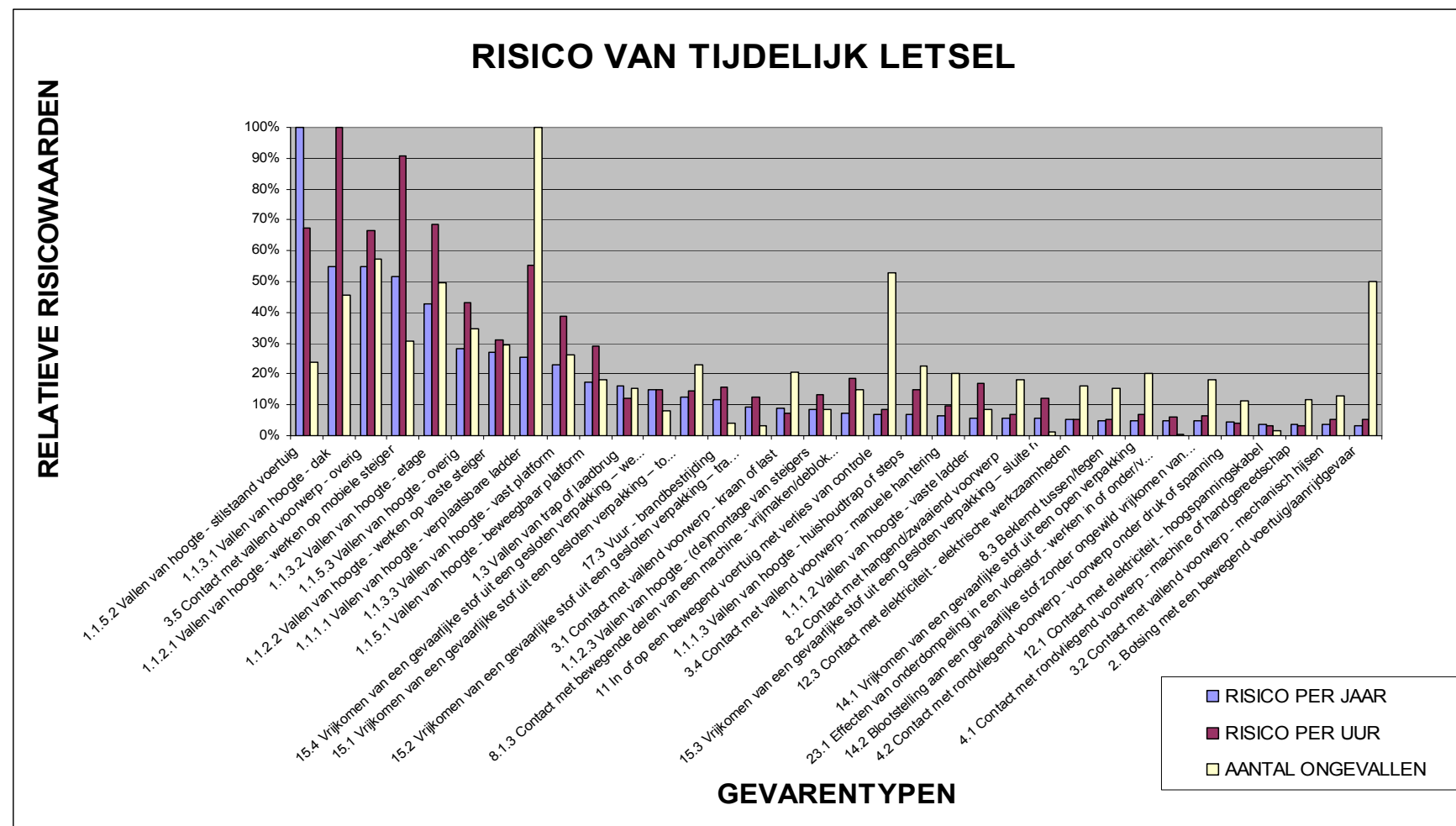
Het risico van een bepaald letseltype per werkende persoon of groep hangt voornamelijk af van de specifieke combinatie van activiteiten die worden verricht en de bijbehorende blootstelling aan specifieke gevaren voor bepaalde tijdsperioden. Voor een juiste berekening van het resulterende risico dienen de risicopercentsages te worden gebruikt zoals uiteengezet in paragraaf 4.2.



Figuur 4.1 Risico van dodelijke ongevallen. Rangschikking van de gevaren uitgedrukt als de waarschijnlijkheid van een dodelijk ongeval per jaar gemiddelde blootstelling. Gevaar met de hoogste waarschijnlijkheid van een dodelijk ongeval per jaar 'Contact met vallend voorwerp – overig'. Gevaar met de hoogste waarschijnlijkheid van een dodelijk ongeval per uur blootstelling: 'Vallen van dak'. Gevaar met het hoogste aantal geobserveerde ongevallen per jaar 'Contact met vallende voorwerpen – overige'.



Figuur 4.2 Risico van blijvend letsel. Rangschikking van de risico's uitgedrukt als de waarschijnlijkheid van een ongeval met blijvend letsel als gevolg per jaar gemiddelde blootstelling. Risico met de hoogste waarschijnlijkheid van blijvend letsel per jaar 'Contact met vallend voorwerp - overig'. Risico met de hoogste waarschijnlijkheid van blijvend letsel per uur blootstelling: 'Contact met bewegende delen van een machine bij het deblokkeren'. Risico met het hoogste aantal geobserveerde ongevallen met blijvend letsel als gevolg per jaar 'Contact met bewegende delen van een machine bij de bediening'.



Figuur 4.3 Risico van tijdelijk letsel. Rangschikking van de risico's uitgedrukt als de waarschijnlijkheid van een ongeval met tijdelijk letsel als gevolg per jaar gemiddelde blootstelling. Risico met de hoogste waarschijnlijkheid van tijdelijk letsel per jaar 'Vallen van hoogte – stilstaand voertuig'. Risico met de hoogste waarschijnlijkheid van tijdelijk letsel per uur blootstelling: 'Vallen van hoogte – dak'. Risico met het hoogste aantal geobserveerde ongevallen met tijdelijk letsel als gevolg per jaar 'Vallen van verplaatsbare ladder'.

4.2 Software: programma voor het beheer van beroepsrisico's

Als ongevalgegevens, blootstellingtijden en frequenties van werkomstandigheden in de ontwikkelde risicomodellen worden ingevoerd, zijn daarmee alle nodige elementen aanwezig voor de ontwikkeling van risicomodellen voor specifieke gevallen en de ondersteuning van beleidsbeslissingen inzake risico's. Deze algemene aanpak voor het opzetten van risicomodellen en beslissingsondersteuning is in het ORM-programma geïntegreerd. Een werkbaar prototype is beschikbaar dat kan worden gebruikt voor het volgende:

- prioriteiten stellen voor arbeidsrisico's voor personen of groepen;
- identificeren van de meest rendabele aanpak voor risicoreductie;
- vergemakkelijken van de keuze van risicoreducerende maatregelen door de kosten hierbij te betrekken;
- bieden van objectieve inzichten in de totale kans op een arbeidsongeval voor een werkende persoon;
- vergelijken van risico's voor verschillende werknemers en de risico's van verschillende activiteiten voor één persoon;
- stellen van risicogerichte vragen over de kwaliteit van veiligheidsbarrières op de werkplek, met inachtneming van alle werkgerelateerde gevaren en de percentages van het algemene Nederlandse nationale gemiddelde;
- bieden van risico-informatie per sector, geschikt voor benchmarking.

4.2.1 Beschrijving van de software

Een bedrijf kan de risico's in kaart brengen op verschillende niveaus, bijvoorbeeld voor het hele bedrijf of uitgesplitst per activiteit en werknemer. Ook kunnen adviezen worden verkregen over risicoreducerende maatregelen op basis van algemene risicoreductie en de bijbehorende kosten. In grote lijnen moet de gebruiker vier stappen doorlopen:

1. werkeenheid en blootstelling (exposure);
2. werkplek;
3. risicoberekeningen;
4. optimale berekening van de optimale risicoreducerende maatregelen.

4.2.1.1 Stap 1: definitie van de werkeenheid en de blootstelling (exposure)

Bij de eerste stap wordt de te analyseren werkeenheid gedefinieerd. In dit rapport wordt hiervoor kortweg de term *bedrijf* gebruikt. De software gaat uit van bedrijfsactiviteiten als startpunt om het de gebruiker gemakkelijk te maken. Deze stap omvat vier fasen, waarvan één optioneel is:

1. Definitie van beroepen en bedrijfstakken, de zogenaamde functie in het bedrijf (job/position).
2. Definitie van de relevante combinatie activiteit/agens (activity) voor deze functie (optioneel).
3. Definitie van de bijbehorende gevaren (hazard) uit de lijst van bow ties die zijn gerelateerd aan elke functie in het bedrijf.
4. Definitie van de blootstelling (exposure) aan elk gevaar.

De gebruiker kan beginnen met het invoeren van de bedrijfstak waarin de onderneming actief is en de beroepen die binnen het bedrijf worden uitgeoefend. De werknemers die deze beroepen uitoefenen, voeren activiteiten uit die ook moeten worden gedefinieerd.

De gebruiker moet alle werknemers van de organisatie definiëren (posities in het bedrijf) die bij de risicobeoordeling worden betrokken. Hiertoe moet de gebruiker iedere persoon met zijn of haar specifieke activiteiten invoeren, of groepen werknemers definiëren die dezelfde activiteiten verrichten, of een combinatie van beide. De gebruiker kan de combinatie(s) van activiteiten en agentia selecteren die moeten worden gekoppeld aan de gedefinieerde functies.

Vanwege de structuur van het risicomodel moeten voor elke positie één of meer gevaren worden geselecteerd. Het model biedt hierbij een stapsgewijs selectieproces als hulp voor de gebruiker. De gevaren kunnen worden weergegeven per type, per beroep of per activiteit. De gebruiker kan vervolgens aangeven hoe vaak en hoe lang een werknemer is blootgesteld aan de gevaren bij het verrichten van de activiteiten.

Job : Industry	Frequency	Activity : Equipment/Location	Duration	Hazard
Plumbers and pipe fitters : General construction of buildings and civil engineering works				
	Once per Week : 4.75 Hour	Operating machine : Fixed machines	Default	08.1.1 Contact Moving Parts Machine - Operating
	Once per Week : 4.75 Hour	Working with hand tools : Manual hand tools	Default	01.2 Fall on same level
			Default	03.4 Contact falling object - Manual Handling
			Default	04.1 Contact flying object - Machine or handheld tool
			Default	04.3 Contact flying object - Blown by wind
			Default	09 Moving into Object
			Default	25.2 Extreme muscular exertion - moving around
	Once per Week : 4.75 Hour	Working with hand tools : Mechanical hand tools	Default	01.1.1.1 Fall from height - Placement ladder
			Default	04.1 Contact flying object - Machine or handheld tool

Figuur 4.4 Invoer van de blootstelling aan gevaren.

Figuur 4.4 toont hoe een gebruiker de blootstelling van werknemers (in dit geval loodgieters, *plumbers*) moet invoeren, namelijk door op te geven hoeveel uren per week werknemers zijn blootgesteld aan de gevaren die horen bij hun activiteiten (bijvoorbeeld het werken met gereedschap, *working with hand tools*).

4.2.1.2 Stap 2: vragen met betrekking tot de werkplek

Het model gaat ervan uit dat de arbeidsomstandigheden van invloed zijn op het feit of een ongeval plaatsvindt, dat wil zeggen dat een gevaar daadwerkelijk een feit wordt. De gebruiker wordt gevraagd de eigen werksituatie te beoordelen op basis van de potentiële risico's zoals die in het bedrijf zijn

gedefinieerd voor zijn of haar activiteiten. Hierbij krijgt de gebruiker te maken met de gemiddelde Nederlandse blootstelling aan arbeidsomstandigheden (het Nederlandse nationale gemiddelde), zoals weergegeven in Figuur 4.5. De gebruiker kan de arbeidsomstandigheden van het eigen bedrijf opgeven als waarden en deze meteen vergelijken met het nationale gemiddelde (zie Figuur 4.6). De gebruiker kan dus kiezen om alle gemiddelde standaardwaarden over te nemen voor een analyse en een advies gebaseerd op gemiddelden te verkrijgen, of de werkelijke bedrijfssituatie in te voeren voor specifieke analyses en adviezen die zijn toegespitst op de eigen situatie.

The screenshot shows the 'Workplace Questions' tab in the RIVM software. The dropdown menu is set to 'Plumbers'. The tree view on the left lists tasks such as 'Plumbers and pipe fitters', 'Operating machine', and 'Physical Guarding'. The table on the right contains the following data:

Question	Percentage
What percentage of the time that you were operating one or more machines, was there physical guarding present, but ...	28%
What percentage of the time that you were operating one or more machines, had the physical safeguard been removed...	15%
What percentage of the time that you were operating one or more machines, was the physical safeguard out of order?	9%
What percentage of the time that you were operating one or more machines, did you bypass the physical safeguard? That is, you made an effort to avoid the safeguard (you went around, under, over it), for instance, to quickly grab somethin...	15%
What percentage of the time that you were operating one or more machines that had moving parts, did the moving parts not come equipped with a physical safeguard? Note: This is about machines that, upon purchase, were not equipped with a physical safeguard. So machines whereby the safeguard was removed at a later stage do not count. The term 'physic...	37%

At the bottom right, there is a 'Next >' button.

Figuur 4.5 Schermafdruck van de arbeidsomstandigheden volgens het Nederlandse nationale gemiddelde voor de PIE's van de veiligheidsbarrière *Fysieke beveiliging (physical guarding)* voor een van de gevaren die horen bij de activiteiten van een loodgieter (*plumber*) in de bouw. De activiteit *Machinebediening (operating machines)*: *vaste machine (fixed machines)* is gekoppeld aan de bow tie: *Contact met bewegende delen van een machine bij de bediening (contact moving parts machine – operating)*.

PIE Question

- ▼ Plumbers
 - ▼ Plumbers and pipe fitters : General construction of buildings and civil engineering works
 - ▼ Operating machine : Fixed machines
 - ▼ 08.1.1 Contact Moving Parts Machine - Operating
 - ▼ Physical Guarding

What percentage of the time that you were operating one or more machines, was there physical guarding present, but was this guarding insufficient?
Explanation: the term 'insufficient' means that contact with the moving parts could still occur.

Dutch national average 28

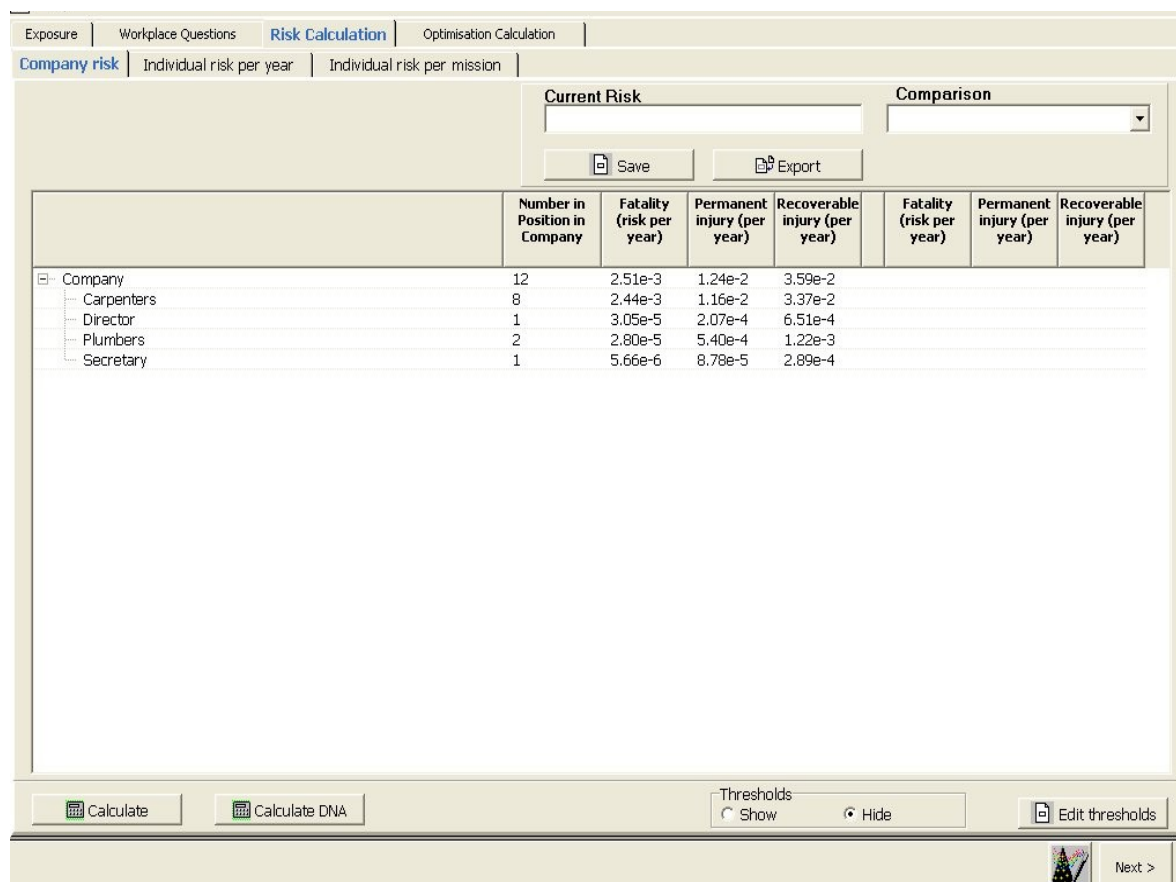
Answer 10

Restore DNA Cancel OK

Figuur 4.6 De gebruiker kan specifieke werksituaties invoeren door het Nederlandse nationale gemiddelde voor een PIE te vervangen door de eigen PIE-waarde. In dit geval was het nationale gemiddelde 28% en heeft de gebruiker 10% ingevoerd. De balk wordt groen omdat deze conditie beter is.

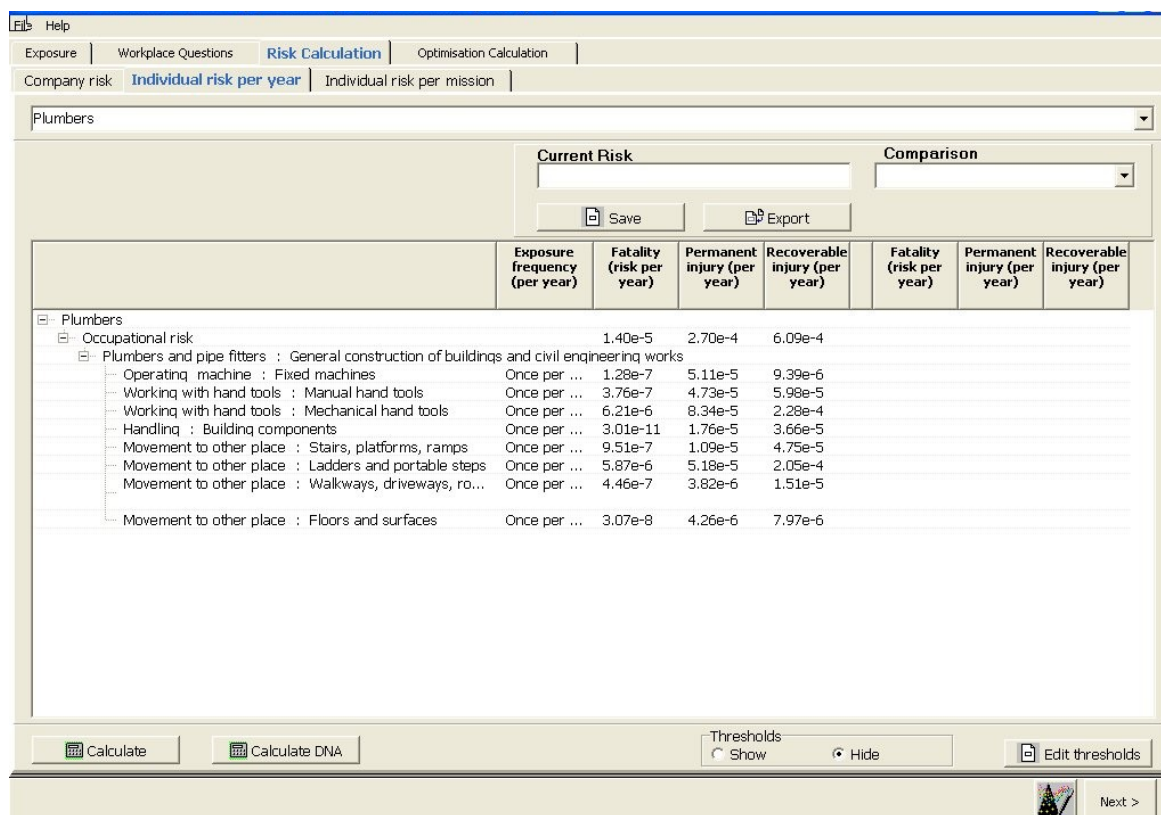
4.2.1.3 Stap 3: risicoberekening

Als de arbeidsomstandigheden zijn ingevuld, kan met een simpele klik op de knop het risicoprofiel van het bedrijf worden opgevraagd. Het risico wordt berekend en weergegeven voor alle niveaus: per bedrijf, per beroep, per type gevaar en per activiteit. Dit is de kwantitatieve risicoanalyse in vergelijking met het nationale gemiddelde.



Figuur 4.7 Risicoresultaten voor een klein bouwbedrijf, weergegeven op bedrijfsniveau en per functie.

Figuur 4.7 toont de risicoresultaten voor een klein bouwbedrijf met acht timmerlieden (*carpenters*), twee loodgieters (*plumbers*), een directeur (*director*) en een secretaresse (*secretary*), met arbeidsomstandigheden volgens het Nederlandse nationale gemiddelde. Als de gebruiker verder inzicht wil krijgen, kan deze detailgegevens per positie functie opvragen op het niveau van de activiteiten.



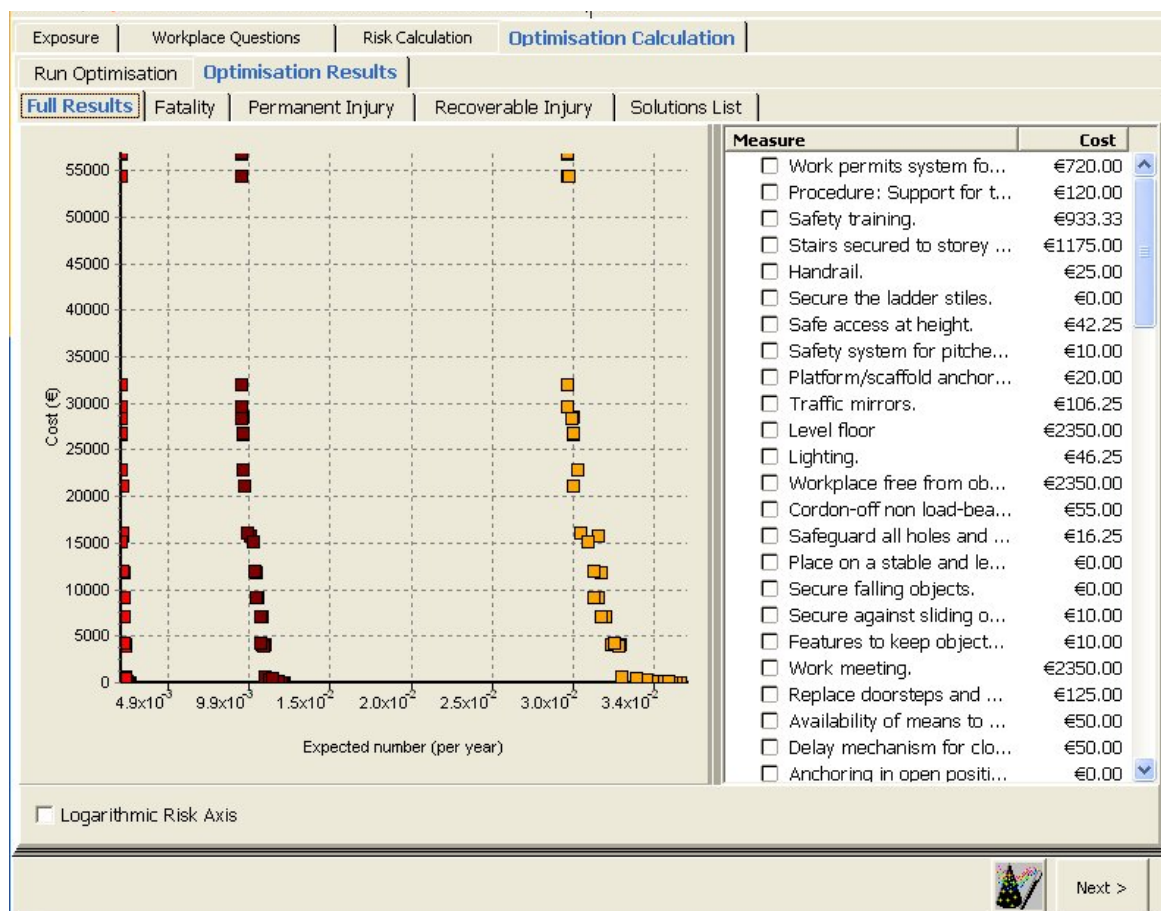
Figuur 4.8 Risico uitgesplitst naar activiteit per functie, in dit geval een loodgieter (*plumber*) in de bouw.

Figuur 4.8 toont de mate waarin loodgieters (*plumbers*) zijn blootgesteld aan het risico van een dodelijk ongeval en letsel bij de uitvoering van de verschillende activiteiten die horen bij hun beroep.

Deze resultaten bieden een gedetailleerde analyse van de huidige risicosituatie in dit specifieke bedrijf. De verschillende rekenmethoden kunnen worden vergeleken met interne of nationale normen of de normen per bedrijfstak, indien beschikbaar.

4.2.1.4 Stap 4: optimalisatieberekening

Indien gewenst, kan er worden gekozen uit een aantal risicoreducerende maatregelen. In het hier behandelde voorbeeld zijn er 120 maatregelen beschikbaar. Het zeer grote aantal combinaties van maatregelen komt overeen met een net zo groot aantal mogelijke risicoreducerende strategieën. Met ORM kunt u deze combinaties filteren op *doeltreffendheid*, dat wil zeggen combinaties met een maximale risicoreductie tegen bepaalde kosten op verschillende kostenniveaus. Figuur 4.9 geeft een overzicht van deze resultaten.



Figuur 4.9 Weergave van reeksen maatregelen (de afzonderlijke punten op de krommen) en de bijbehorende kosten voor een klein bouwbedrijf en voor de drie gevolgtypen.

Door een punt op de krommen te kiezen worden rechts op het scherm de bijbehorende maatregelen weergegeven. De gebruiker kan een kostenniveau selecteren en bekijken welke reeks maatregelen tot een maximale risicoreductie leidt. De gebruiker kan ook een risiconiveau instellen en zien met welke maatregelen dit risiconiveau tegen de minste kosten kan worden bereikt.

De resultaten zoals weergegeven in Figuur 4.9 bieden ook een goede basis om coherente en belangrijke keuzes te maken over de te nemen maatregelen voor verbeterde arbeidsveiligheid op verschillende bedrijfsniveaus. Maatregelen die resulteren in een significante risicoreductie tegen geringe kosten, kunnen onmiddellijk worden doorgevoerd, terwijl maatregelen die weinig risicoreductie opleveren en nogal veel geld kosten, kunnen worden afgewezen. De beste keuze voor een specifiek bedrijf kan dan worden beperkt tot een kleiner aantal risicoreducerende strategieën. Bij de beslissing kunnen ook andere, impliciete kenmerken meewegen die niet expliciet in het model zijn opgenomen.

4.3 Gegevensverzamelingen over de Nederlandse beroepsbevolking

De kwantificering van risicomodellen en de ondersteuning van risicobeheer door gekwantificeerde risicomaatregelen zijn de belangrijkste doelstellingen van de gegenereerde ongevalgegevens, blootstellingtijden en gegevens over arbeidsomstandigheden en mogelijke risicoreducerende maatregelen. De gegevensverzamelingen zijn op zich echter ook waardevolle informatiebronnen.

4.3.1 Ongevallen: feiten en cijfers

Er zijn 36 storybuilds ¹¹ (zie Bijlage 2) gemaakt in de vorm van grafische bow-tiestructuren waaraan ongevalsscenario's zijn toegewezen. De storybuilds dekken alle typen arbeidsongevallen op basis van de gerapporteerde ongevallen in Nederland over een periode van zes jaar. Hierdoor zijn nieuwe inzichten mogelijk in de oorzaken van ongevallen. Door structurele reconstructie van ongevalsscenario's kan unieke, kwalitatieve en kwantitatieve informatie worden verkregen over de directe en onderliggende (basis-)oorzaken van ongevallen, met inbegrip van informatie over falende beheersaanleversystemen en de mate waarin deze bijdragen aan het aanschaffen, gebruiken, onderhouden en inspecteren van barrières. Dit analyseniveau kan dienen als aanvullende basis voor onderzoek naar falende barrières.

Tabel 4.2 geeft de belangrijkste tien ongevallen weer, gerangschikt naar het aantal ongevallen per jaar. De belangstelling die de Arbeidsinspectie toonde voor de gegevensverzamelingen over ongevallen en oorzaken, gaf aanleiding tot een groot aantal vragen over gegevensanalyse als basis voor inspectieprogramma's en als hulpmiddel voor informatie over specifieke bedrijfstakken. Er werden gegevens verstrekt als directe ondersteuning voor inspectietaken en onderzoek naar incidenten. Naast het beantwoorden van specifieke vragen werd besloten om genormaliseerde verzamelingen 'Feiten & Cijfers' te produceren. Deze bestonden uit de meest markante feiten uit de 36 storybuilds, resulterende in een verzameling van drie pagina's met feiten en cijfers voor elk van de 36 ongevalstypen (zie het technische rapport 3).

¹¹ De 36 storybuilds zijn verder onderverdeeld in 64 logische modellen voor het ORM.

Tabel 4.2 Top 10 van ongevallen, gerangschikt per type ongeval per jaar¹².

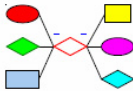
Rang-orde	Story-build-nummer	Storybuild-naam	Jaren 1998-feb 2004	Jaren 2002-2003	% van totaal per jaar	Totaal geanalyseerde ongevallen	Ongevallen per jaar
1	8.1	Contact met bewegende delen van een machine		x	20,96%	797	398,5
2	1.1.3	Vallen van hoogte – dak/platform/vloer	x		9,36%	1099	178
3	1.1.1	Vallen van hoogte – ladders	x		9,10%	1069	173
4	3.2	Contact met vallende voorwerpen – GEEN kranen		x	8,89%	337	169
5	2	Botsing met bewegend voertuig	x		4,68%	550	89
6	1.1.2	Vallen van hoogte – steigers	x		4,52%	530	86
7	11	In of op een bewegend voertuig met verlies van controle	x		4,47%	522	85
8	1.2	Vallen op dezelfde hoogte/struikelen/uitglijden	x		3,52%	416	67
9	4	Contact met rondvliegende/weggeslingerde voorwerpen	x		3,31%	390	63
10	3.1	Contact met vallende voorwerpen – kranen		x	2,68%	102	51

Tabel 4.3 geeft een voorbeeld van een dergelijk blad met betrekking tot het risicotype *Vallen van hoogte – dak, platform of vloer*. Eerst worden het aantal ongevallen en de gevolgen daarvan getoond.

Vervolgens ziet u welke activiteiten de slachtoffers uitvoerden ten tijde van het ongeval. Deze gegevens zijn relevant voor bewustzijnsverhoging bij zowel bedrijven als werknemers.

¹² Deze rangschikking is gebaseerd op het totale aantal ongevallen (ongeacht de ernst van de gevolgen) voor verschillende subtypen werk (bijvoorbeeld *contact met bewegende delen van machines* in alle vier fasen: bediening, onderhoud, opruimen, deblokkeren).

Tabel 4.3 Voorbeeld van een blad met feiten en cijfers: gevolgen van ongevallen en activiteiten van de slachtoffers ten tijde van het ongeval ('Vallen van hoogte – dak, platform of vloer').



01.1.3 Vallen van hoogte - dak, werkbordes of verdieping							
In deze beknopte analyse van arbeidsgerelateerde ongevallen, gaat het over ongevallen waarbij het slachtoffer tijdens het werk op daken komt, in de onmiddellijke nabijheid komen van al dan niet beveiligde randen van verdiepingvloeren balkons, of werkbordessen, loopvloeren of looppassages. We bedoelen hier geen steigers en steigervloeren, rolsteigers, (stilstaande) bouwliften, hoogwerkers, of magazijnstelling vloeren. De analyse is gebaseerd op een in het programma Storybuilder vastgelegd model. Het model is gebaseerd op de 1099 aan de Arbeidsinspectie in de periode 1998 – februari 2004 gemelde ongevallen, waarvoor er een inspectierapport (boete-, ongevalsrapport of proces verbaal) voorhanden was met de bevindingen van de inspecteur en de getuigenverslagen							
<i>Tabel 1 Ernst van het ongeval</i>							
STORYBUILD	GEMIDDELD AANTAL GISAI-ONGEVALLEN PER JAAR				RATIO'S		
	Overlijden	Blijvend letsel	Geen blijvend letsel	Onbekend letsel	Overlijden	Blijvend letsel	Geen blijvend letsel
1.1.3 Vallen van dak, werkbordes of verdieping	12	21	78	65	1	2	6

Tabel 2 Activiteit van slachtoffer tijdens ongeval				
Activiteit van slachtoffer	Omschrijving	% ongevallen	Aantal ongevallen 1998 - febr. 2004	Aantal ongevallen per jaar
Werken op dak/werkbordes/verdieping	Lopende bouw- of dakwerkzaamheden	35,6%	391	63
Staan op of oversteken van dak/verdieping/werkbordes		32,9%	362	59
Aanleggen van een dak/werkbordes/verdieping	Ook sloop/renovatie ter plaatse	23,5%	258	42
Activiteit onbekend ¹		3,4%	37	6
Weghalen/aanbrengen van randbescherming	Ook valbescherming	3,2%	35	6
Klimmen		1,5%	16	3

¹ 'Onbekend' betekent dat het ongevalsverslag onvoldoende gegevens bevatte om de werkzaamheden op het dak/platform of de verdieping te categoriseren.

Val van dak of verdieping - versie augustus 2007

Vervolgens worden de falende barrières (barrier failure modes) geanalyseerd en gerangschikt naar frequentie in aflopende volgorde. In dit geval komt voornamelijk gebrekkige randbeveiliging dominant voor. Daaruit kan worden afgeleid welke oorzaken het belangrijkste zijn en welke barrières moeten worden verbeterd.

Tabel 4.4 Voorbeeld van een blad met feiten en cijfers: falende barrières (niet noodzakelijkerwijs elkaar uitsluitend) met de belangrijkste oorzaken voor 'Vallen van hoogte – dak, platform of vloer'.

FALENDE BARRIÈRE	Omschrijving	% van valongevallen op dak	Aantal ongevallen 1998 – febr. 2004	Aantal per jaar
OORZAKEN VAN VAL				
Geen of gebrekkige randbeveiliging	(Probleem met (tijdelijke) leuningen, randbescherming is afwezig, onvoldoende of is weggehaald. NB: bedoeld wordt alle randbeveiliging langs randen en openingen, gaten, kokers, lichtkoepels en toegangen tot daken (bijv.: luiken). NB: een raam of deur naar buiten geldt als randbeveiliging bij een verdieping!)	45,1%	496	80
Gebrek aan vaardigheid werknemer	Probleem met bekwaamheid overleed te blijven - evenwicht - op dak/verdieping/werkbordes	27,8%	306	50
Dak/werkbordes/verdiepingvloer (of gedeelte daarvan) niet ingesteld op gewicht	Bijv. dakkoepels, dakgoten of isolatieopeningen die niet ontworpen zijn om gewichten te dragen.	22,6%	248	40
Slechte staat van (gedeelte van) dak/(verdieping)s-vloer	Structurele onvolkomenheid of (gedeelte van) vloer, daken of plafonds voldoen niet aan de eisen (bijv. slechte staat of instabiel)	13,9%	153	25
REACTIE OP NOODSITUATIE				
Probleem met valbescherming	Geen valbescherming of veiligheidsnetten (gebruikt). Met inbegrip van gevallen waarbij wel een harnas werd gedragen, maar niet met een veiligheidslijn werd gewerkt.	24,8%	273	44
Geen (passende) reactie op noodsituatie		1,8%	20	3

Door een verdere analyse van de onderliggende oorzaken worden de belangrijkste gevallen van falende barrièretaken en de beheersaanleveringen voor deze taken blootgelegd. Uit de tabel kan worden afgeleid dat het voorzien in randbeveiliging van het grootste belang is, maar uit 9% van de ongevallen blijkt dat het ook van belang is om er rekening mee te houden dat mensen hun evenwicht kunnen verliezen. De belangrijkste groepen oorzaken die bijdragen aan het falen bleken te zijn: gebrekkige procedures om te voorzien in randbeveiliging en falen bij de stimuleren van de bewustwording bij de medewerkers.

Tabel 4.5 Voorbeeld van een blad met feiten en cijfers: falende barrièretaken en beheersaanleveringen met de belangrijkste onderliggende oorzaken voor ‘Vallen van hoogte – dak, platform of vloer’.

Onderliggende fouten	Omschrijving	% ongevallen	Aantal ongevallen 1998 - febr. 2004	Aantal per jaar
Niet goed uitgevoerde taken	Omschrijving			
Randbescherming aanbrengen	Geen of onvoldoende randbescherming aangebracht (afwezig 22%, incompleet/onvoldoende 6%)	31,7%	348	56
Zorgen voor valbescherming	Passende valbescherming afwezig of onvoldoende (meestal afwezig)	14,8%	163	26
Zorgen voor sterkte van dak	Niet gezorgd voor sterkte van dak/vloer/werkbordes die voldoende is om gewicht te dragen	9,8%	108	18
Gebruiken van vaardigheid om evenwicht te bewaren	Slachtoffer bewaart evenwicht niet op de betreffende hoogte (4% als gevolg van uitglijden/struikelen, 1% als gevolg van externe kracht)	9,1%	100	16
Falende managementvoorzieningen (middelen, motieven)	Omschrijving (en % ongevallen per ondersteunende taak)			
Plannen en procedures voor randbeveiliging	Ongeschikte of geen plannen en procedures voor randbeveiliging: - voor randbeveiliging (11,5%), voor het gebruik van randbeveiliging (1,3%), voor het onderhoud van randbeveiliging (1%) en voor het toezicht op randbeveiliging (0,2%)	14,0%	154	25
Motivatatie om werknemers in staat te stellen hun evenwicht te bewaren	Onvoldoende motivatie of interesse voor de vraag of de werknemer in staat is zijn evenwicht te bewaren op het/de dak/verdieping/platform (5%), om ervoor te zorgen dat het bewaren van evenwicht mogelijk is (2%) of voor het onderhoud van de middelen die nodig zijn voor het bewaren van evenwicht (1%)	8,7%	96	16
Motivatatie/interesse voor randbeveiliging	Onvoldoende motivatie of interesse om ervoor te zorgen dat in passende randbeveiliging wordt voorzien (4%), dat deze wordt gebruikt (1,4%), onderhouden (1,4%) en dat er toezicht op wordt gehouden (0,2%)	7,0%	77	12
Plannen en procedures voor valbescherming	Ongeschikte of geen plannen en procedures voor het voorzien in (4,9%), gebruiken (1,3%) en onderhouden van (0,3%) of het toezicht houden op (0,3%) valbescherming	6,8%	75	12

Onderzoeken naar incidenten kunnen worden ondersteund door de informatie over falende barrières in het verleden, zoals uit deze bladen blijkt. De Arbeidsinspectie heeft de storybuild ‘Vallen van hoogte – steiger’ bijvoorbeeld gebruikt bij de analyse van het ongeval in de Amercentrale (Van Santen, 2007).

Een voorbeeld van een specifieke vraag van de Arbeidsinspectie over een bepaalde bedrijfstak was de aanvraag voor gegevens over de bouwsector als ondersteuning voor de identificatie van belangrijke inspectiepunten. Tabel 4.6 geeft een samengevat voorbeeld van een antwoord op een dergelijke vraag; de tabel bevat een lijst van de tien voornaamste inspectiepunten, zoals afgeleid van de gegevens over de frequentie van oorzaken van ongevallen in de bouwsector (code bedrijfstak 45).

Tabel 4.6 Belangrijkste tien inspectiepunten, afgeleid uit de analyse van falende barrières in de bouw.

De barrières in onderstaande punten zijn onderstreept

- Aanwezigheid van een deugdelijke randbeveiliging op daken, vloeren, platforms
- Plaatsing van ladders – of de omstandigheden geschikt zijn om ladders te plaatsen, of de ladders de juiste lengte hebben en of ze goed zijn vastgezet op een stabiele en vlakke ondergrond met een veilige hellingshoek
- Verschaffing en gebruik van valbeveiliging bij het werken op hoogte zonder randbeveiliging
- Aandacht voor en controle op de goede bevestiging van bouwelementen
- Geen toelating van onbevoegden tot gevarenczones, in het geval van hangende lasten of op plaatsen waar voorwerpen naar beneden kunnen vallen, bijvoorbeeld bij de installatie van een voorwerp op hoogte.
- Goede bevestiging van lasten
- Aanwezigheid van een deugdelijke randbeveiliging op steigers en controle van de beheersmaatregelen voor de handhaving en het goede onderhoud van de randbeveiliging
- Deugdelijke constructie van steigers (in het bijzonder de steunelementen en verankeringen) en de staat van looppaden rond steigers (bijvoorbeeld de verbinding met het gebouw)
- Aanwezigheid van deugdelijke afscherming bij machines en voldoende competenties voor de controle op de vaardigheden van machinebedieners om de machines veilig te bedienen.
- Controle op de aanwezigheid van elektrisch geladen onderdelen tijdens het werk, met inbegrip van maatregelen om het onbedoelde inschakelen of onder spanning brengen te verhinderen (lock-out).

Bovenstaande tien punten betreffen de helft van de ongevallen in de bouwsector.

De onderliggende oorzaken van falende barrières in de bouwsector werden ook geïdentificeerd. Tabel 4.7 toont de meest frequente oorzaken voor falen, namelijk falen bij de motivatie voor en het handhaven van de procedures, met name wat betreft de verschaffing en het gebruik van barrières.

Tabel 4.7 Onderliggende oorzaken van falende barrières in de bouwsector.

Analyse van de onderliggende oorzaken van ongevallen in de bouw levert de volgende statistieken:

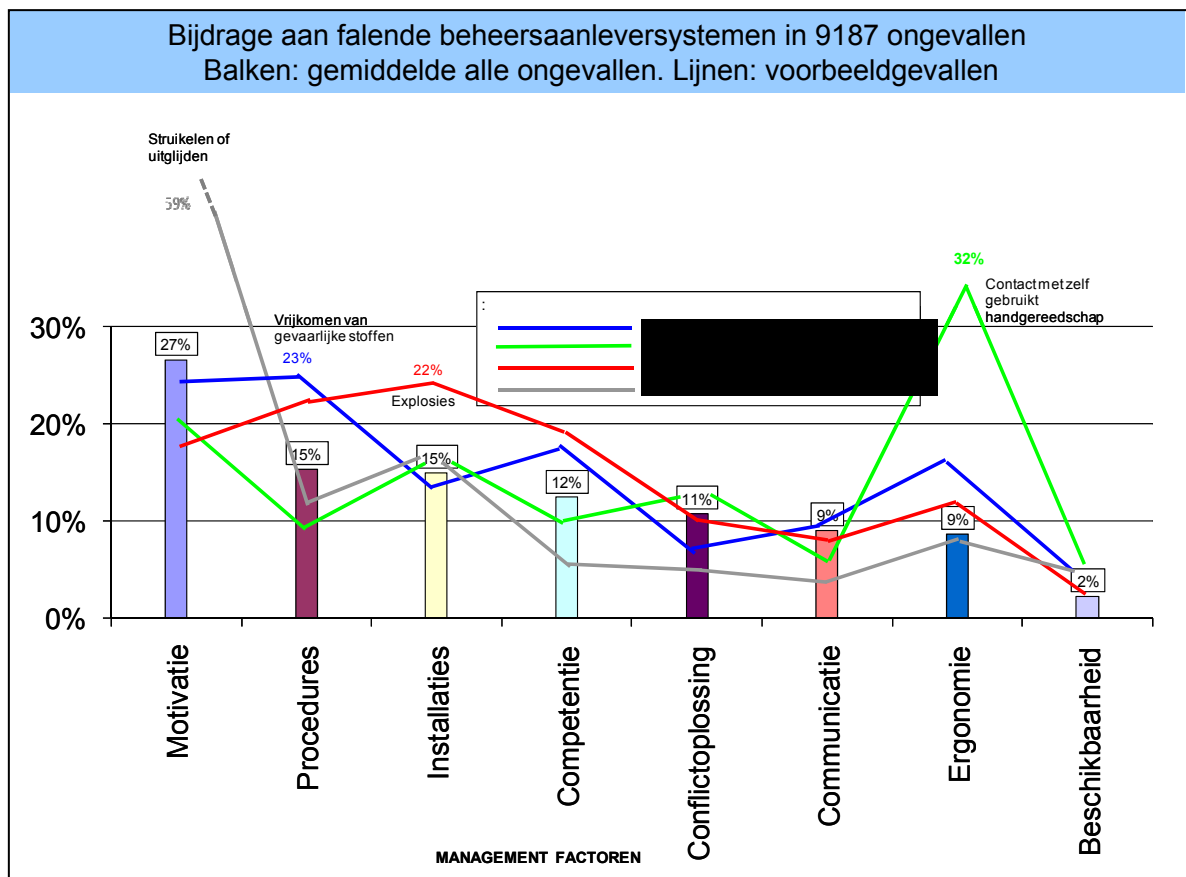
(1) Falen van barrièretaken (verschaffen, gebruiken, onderhouden, inspecteren)

- Barrière niet verschaft: 47%
- Verschafte barrière niet gebruikt of op de verkeerde manier gebruikt: 39%
- Barrière is niet goed onderhouden of ontbreekt: 8%
- Staat van een (verschafte) barrière is niet geïnspecteerd: 6%

(2) Falen bij de aanleveringen voor de taak vanuit het beheerssysteem

(onderstreepte woorden geven de naam van het beheersaanleversysteem aan):

- Onvoldoende motivatie en waakzaamheid: 30%
- Ontoereikende plannen en procedures: 16%
- Ontoereikend materiaal of materiaal dat niet voldoet aan de normen: 15%
- Onvoldoende competenties van het personeel: 11%
- Ontoereikende communicatie: 10%
- Tegenstrijdige belangen afwezig met betrekking tot veiligheid: 10%
- Ergonomie die niet aan de normen voldoet: 6%
- Onvoldoende beschikbaarheid van geschikt personeel: 2%



Figuur 4.10 Analyse van falende beheersaanleversystemen.

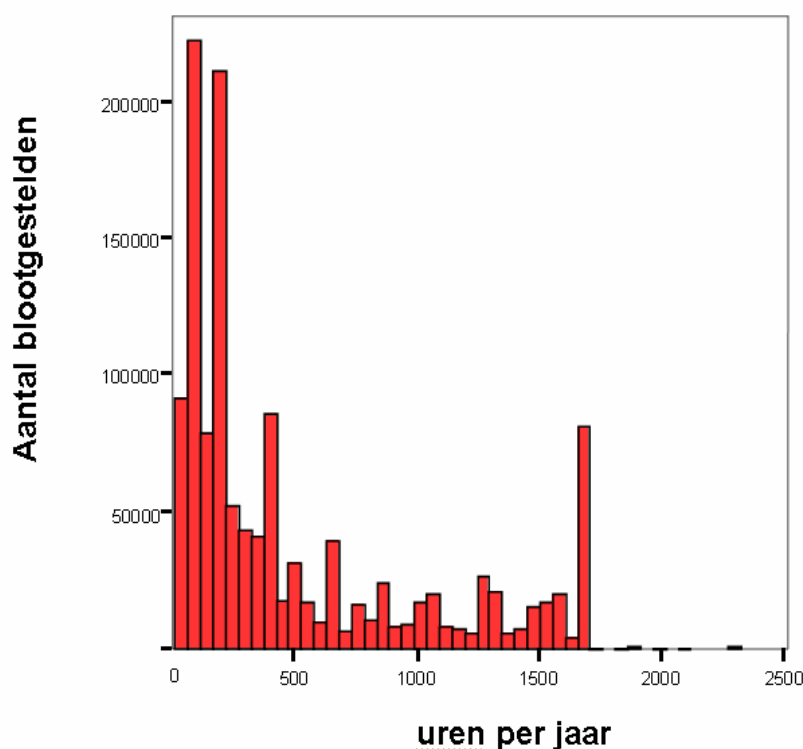
Tabel 4.7 voor de bouw komt overeen met het algemene patroon van frequenties van falende beheersaanleversystemen. In de grafiek van Figuur 4.10 worden de algemene falende aanleversystemen voor 9.187 in Nederland gerapporteerde ongevallen uit 36 storybuilds weergegeven. De balken geven het percentage aan van alle bekende falende aanleversystemen voor alle ongevallen. Dit betekent dat motivatie van het beheerssysteem de meest frequente bijdrage levert aan falende systemen, en beschikbaarheid de minst frequente. Maar voor specifieke storybuilds zijn de scores van de aanleversystemen anders. In Figuur 4.10 zijn de verschillen tussen 4 storybuilds af te lezen. Zo is er bijvoorbeeld een verschil tussen het ongewild vrijkomen van een schadelijke stof (LOC) en handgereedschap. Bij het ongewild vrijkomen van een schadelijke stof leveren motivatie en plannen en procedures de hoogste bijdrage aan ongevallen (wat overeenkomt met het algemene plaatje), maar bij handgereedschap levert ergonomie de belangrijkste bijdrage (wat volledig in strijd is met het algemene plaatje). Dit betekent dat men niet kan uitgaan van de algemene distributie van factoren die bijdragen aan ongevallen in situaties waarbij handgereedschap wordt gebruikt. In dat geval dient speciale aandacht te worden gegeven aan het aanleversysteem 'ergonomie'. Dit kan een verklaring zijn voor het vaak geconstateerde verschil in bedrijven tussen bijvoorbeeld falende onderdelen van aanleversystemen voor het ongewild vrijkomen van een schadelijke stof en algemenere arbeidsongevallen zoals uitglijden, struikelen en vallen en contact met handgereedschap, die gebruikt worden voor de berekening van letsel met arbeidsverzuim als gevolg en als indicator van de veiligheidprestaties. Zoals blijkt, zijn voor majeure gevaren als vrijkomen van gevaarlijke stoffen (LOC) en explosies in het diagram. De 59% voor vallen op dezelfde hoogte bij motivatie valt buiten de schaal van de pagina (en is hier daarom niet op de juiste schaal weergegeven), zodat programma's waarmee alleen de motivatie wordt aangepakt, dus

mogelijk wel een aanzienlijke reductie van het aantal gevallen van struikelen en vallen teweegbrengen, maar voorbijgaan aan de twee andere grote bijdrageleveranciers, te weten plannen en procedures en installaties. Dit komt overeen met de bevindingen van het recente Baker Report, dat de follow-up bevat van de ontplofing in de raffinaderij van BP in Texas City, VS, in 2005 (Baker, 2007).

Door middel van dit soort analyses beschikken beleidsmakers en inspecteurs over nieuwe inzichten waarmee ze ongevalpreventie beter kunnen aanpakken aan de hand van een goede empirische basis. Ook worden de ervaringen uit het bedrijfsleven gestaafd dat verschillende beroepen en werkplekken een verschillende nadruk bij het veiligheidsbeheer vergen. Het lijkt een duidelijke zaak dat ergonomie belangrijk is voor handgereedschap en dat competenties van weinig belang zijn bij struikelen, maar voor het eerst zijn er nu gegevens beschikbaar die als richtlijn kunnen dienen bij het stellen van prioriteiten voor het beheer van verschillende risico's.

4.3.2 Blootstelling aan gevaren

Zoals beschreven in hoofdstuk 3, leverde het missieonderzoek gegevens over het totale aantal uren dat werknemers zijn blootgesteld aan de gevaren die zijn beschreven in de bow-tiemodellen van ORM. Deze gegevens over blootstelling zijn representatief voor de Nederlandse beroepsbevolking. Het onderzoek resulteerde in een unieke verzameling statistieken over de totale duur van blootstelling van werknemers in Nederland aan bepaalde gevaartypen. Figuur 4.11 toont een voorbeeld van de verdeling van het totale aantal uren blootstelling per jaar aan het gevaar van botsingen met een bewegend voertuig onder de Nederlandse beroepsbevolking.

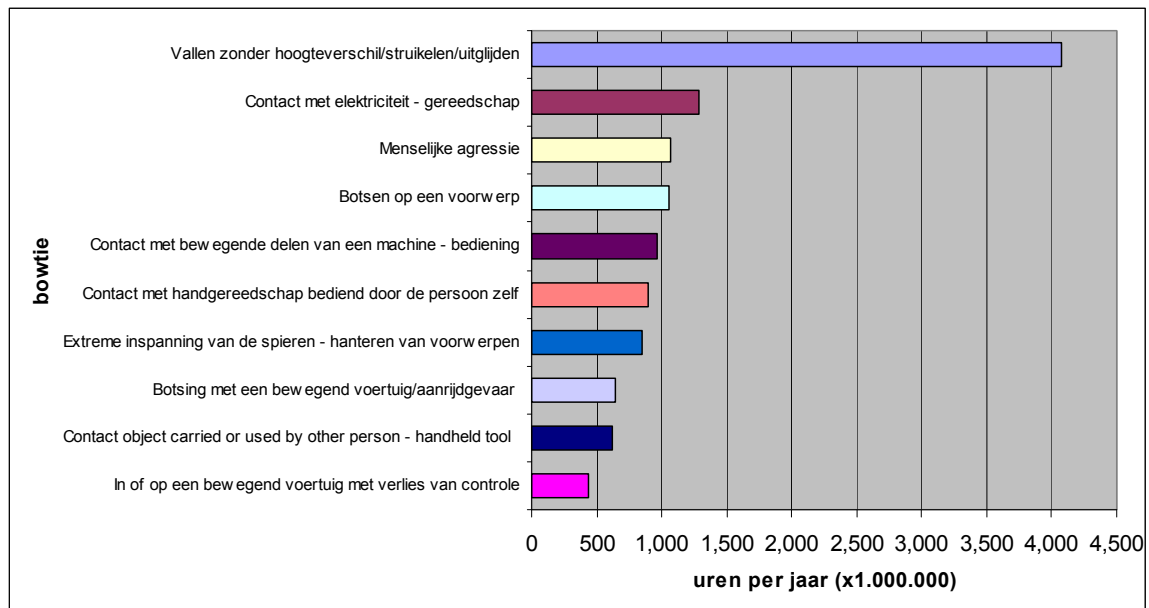


Figuur 4.11 Verdeling van het totale aantal uren per jaar dat werknemers in Nederland voetganger zijn op locaties met bewegende voertuigen.

Deze gegevens over blootstelling kunnen worden verbonden met de ongevalgegevens zoals in ORM.

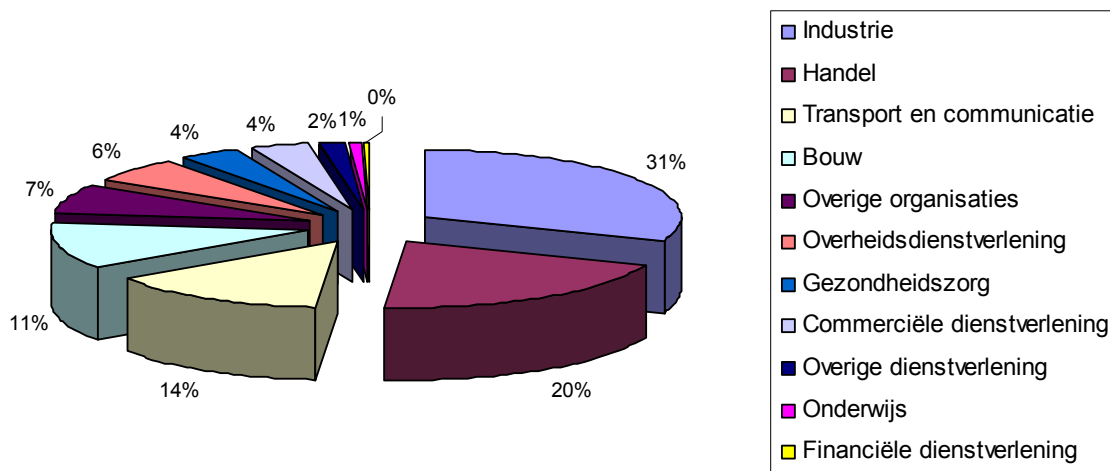
Demografische kenmerken zijn beschikbaar, zodat de gegevens ook kunnen worden gebruikt om de blootstelling van subgroepen van de populatie te berekenen. De gegevensverzameling omvat een groot aantal achtergrondvariabelen zoals sector, beroep, soort werk, bedrijfsgrootte, leeftijd, geslacht en opleidingsniveau.

De resultaten kunnen als volgt worden weergegeven:



Figuur 4.12 Belangrijkste tien factoren van blootstelling aan gevaren in Nederland.

Figuur 4.12 geeft de tien belangrijkste bow ties met de hoogste blootstelling weer: het totale aantal uren per jaar dat werknemers van de Nederlandse beroepsbevolking zijn blootgesteld aan de gevaren die horen bij de bow ties. Hieruit blijkt dat de blootstelling aan 'Vallen op dezelfde hoogte' het grootst is, uitgedrukt in aantal uren. Deze statistieken hebben alleen betrekking op de blootstelling en zijn niet gerelateerd aan ongevallen en hieruit kunnen dus geen conclusies worden getrokken over het risico, hoewel zij hiervan wel een belangrijk deel zijn. Figuur 4.13 toont in welke sectoren de blootstelling aan *botsing met een bewegend voertuig* het grootst is.



Figuur 4.13 Verdeling van de totale Nederlandse blootstelling aan het gevaar van bow tie 2 'Botsing met bewegend voertuig', uitgesplitst naar bedrijfstak.

4.3.3 Veiligheidsenquêtes

De specifieke onderzoeken naar de 63 bow-tiemodellen resulteerden in een Nederlands nationaal gemiddelde van PIE-kansen, overeenkomend met de kwantificeringvereisten voor ORM. De blootstelling heeft betrekking op gevallen van falende PIE's, die worden weergegeven als percentage van de tijd van blootstelling van werknemers aan het desbetreffende gevaar. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Gemiddelde kans van de PIE voor de barrière 'locatie/positie' in bow tie 2 'botsing met bewegend voertuig'.

Barrière	PIE-beschrijving	falen gemiddelde	95% betrouwbaarheidsinterval	
			laagste waarde	hoogste waarde
Locatie/positie van de voetganger	Maatregelen om voetgangers te scheiden van het overige verkeer	30%	28%	33%
	Gebruik van maatregelen	19%	17%	21%
	Zich vlak voor of achter een voertuig begeven	19%	17%	20%

4.3.4 Maatregelen

Een ander resultaat van de gegevensverzameling is een databank met alle gegevens die zijn gerelateerd aan de maatregelen die nodig zijn voor ORM en gestructureerd volgens de ORM-specificatie. Deze structuur is de sleutel waarmee de gegevens over maatregelen, doeltreffendheid en kosten worden gekoppeld aan andere gekwantificeerde gegevens (onderzoeken, storybuilds). De databank bevat ook informatie die niet is vereist voor ORM, maar eventueel later nog gebruikt kan worden.

Met al deze elementen kan het model een optimale oplossing bieden voor de specifieke situatie van bedrijven, op basis van lage kosten en een grote risicoreductie. De gebruiker kan echter wel de selectie van maatregelen beïnvloeden. Dit kan nuttig zijn als bepaalde maatregelen of typen maatregelen niet kunnen worden geïmplementeerd of als ze al zijn geïmplementeerd¹³. Bedrijven, werknemers en andere belanghebbenden kunnen besluiten welke risicoreducerende strategie zij willen volgen. Een risicoreducerende strategie bestaat uit een combinatie van maatregelen. ORM toont verschillende mogelijke combinaties voor reductie van een specifiek risico. Door maatregelen wordt de kwaliteit van barrières verbeterd vanwege de invloed op de PIE's. De veiligheid kan ook worden verbeterd door andere strategieën die niet kunnen worden verkend door middel van maatregelen, zoals verkorting van de tijd van blootstelling.

De databank met maatregelen bevat 350 maatregelen, met de doeltreffendheid en de kosten van elke maatregel, en ongeveer 1.700 combinaties van PIE's en maatregelen in de vorm van PIE-acties. Verder zijn ook de relaties tussen de maatregelen en de onderliggende oorzaken van ongevallen in de databank opgenomen. Het Nederlands Normalisatie-instituut (NEN) heeft de relevante normen toegevoegd; het resultaat is een beschrijving van de normen voor 67 maatregelen.

Tabel 4.9 toont het aantal maatregelen per categorie. Gebruikers kunnen maatregelen selecteren uit een specifieke categorie. De databank bevat meer technische dan organisatorische of gedragsmaatregelen. Drie categorieën zijn niet ingevuld: technische maatregelen die van invloed zijn op de organisatie, en gedragsmaatregelen die van invloed zijn op de organisatie of de mens. Deze typen maatregelen kunnen niet aan een barrière worden gekoppeld.

Tabel 4.9 Aantal maatregelen per categorie.

	Toepassing	Techniek	Organisatie	Menselijk gedrag
Bron	Totaal	156	17	177
Technische maatregel	126	64	0	62
Procedurele maatregel	194	62	17	115
Gedragsmaatregel	30	30	0	0

4.3.4.1 Kosten

Voor elke maatregel zijn kosten gedefinieerd. Er worden zowel vaste als variabele kosten gegeven. De gebruiker kan bepaalde delen aan zijn eigen specifieke situatie aanpassen, bijvoorbeeld het aantal werknemers of de lonen.

¹³ Momenteel kan het implementatieniveau van maatregelen in een bedrijf nog niet worden verwerkt in ORM.

Cost

Description

Cost of a toolbox meeting by someone in management plus the presence of one personal member (increase this amount if a larger number will atten

Notes

Toolbox meeting.

Sources

Hardware Measure

Number of Purchases	Cost to Purchase
0	0

Workman

Number of Hours to Perform Task	Number for this Task	Hourly Wage	Yearly Frequency of Task
1	1	40	1

Supervisor

Number of Hours to Perform Task	Number for this Task	Hourly Wage	Yearly Frequency of Task
0	0	50	0

Manager

Number of Hours to Perform Task	Number for this Task	Hourly Wage	Yearly Frequency of Task
1	1	60	1

Training

Number of Persons Training	Daily Costs of Training	Yearly Frequency of Training
1	350	0

Durability (years)

1

Cost per year

€100

Cancel

Figuur 4.14 Schermafdruck van de kostenmodule voor maatregelen.

De volgende tabel toont de uitkomsten in de databank en de raming voor elk kostengedeelte.

Tabel 4.10 Raming voor elk kostendeel.

Kostengedeelte	Raming
Aanschaf voor maatregelen betreffende installaties	€ 0 - € 2500
Aantal inkopen	0 - 2
Aantal te verrichten uren voor de taak per persoon (werknemer)	0 - 8
Aantal werknemers voor deze taak	0 - 1
Aantal te verrichten uren voor de taak per persoon (opzichter)	0 - 8
Aantal opzichters voor deze taak	0 - 1
Aantal te verrichten uren voor de taak per persoon (directie)	0 - 16
Aantal directieleden voor deze taak	0 - 2
Aantal personen voor training	0 - 1
Jaarlijkse frequentie van de taak (werknemer)	0 - 235
Jaarlijkse frequentie van de taak (opzichter)	0 - 235
Jaarlijkse frequentie van de taak (directie)	0 - 1
Jaarlijkse frequentie van de taak (training)	0 - 3
Duurzaamheid van de maatregel ¹⁴	0,25 - 10

4.3.5 Koppeling functie, activiteit, gevaar

Een van de eindresultaten van de gegevensverzameling is de databank die is gebaseerd op Deense ongevalgegevens die een koppeling maakt tussen beroepen, bedrijfstakken, activiteiten, agentia en gevaren. Na verwerking van de gegevens volgens de vereisten van het risicomodel bevat deze databank meer dan 376.000 ongevallen.

Theoretisch zou de lijst van beroepen en bedrijfstakken binnen het risicomodel ongeveer 314.000 combinaties van beroep en bedrijfstak moeten opleveren. In de praktijk omvat de Deense gegevensverzameling ongeveer 68.000 combinaties van beroep en activiteit met gegevens over activiteiten, agentia en gevaren. Dit betekent dat de algemene waarschijnlijkheid om een advies te krijgen voor een gekozen combinatie van beroep en bedrijfstak bijna 22% bedraagt. Deze waarschijnlijkheid kan verder worden opgevoerd tot bijna 80% voor een gekozen combinatie van beroep en bedrijfstak op het meest geaggregeerde niveau, bijvoorbeeld personen die handwerk en aanverwante ambachten verrichten in de bouwsector. Het gegeven advies is dan natuurlijk wel minder specifiek.

De databank kan worden gebruikt om inzicht te verkrijgen in de gevaren die zijn gekoppeld aan activiteiten met specifieke agentia of op specifieke locaties in het kader van een specifiek beroep en bedrijfstak. De Figuren 4.15 en 4.16 geven twee voorbeelden van een gevaarlijst voor een specifieke combinatie van beroep en bedrijfstak. Het eerste voorbeeld heeft betrekking op een onderwijzer in het lager onderwijs en toont de vijf meest frequente combinaties activiteit/agens die leiden tot ongevallen in dit beroep, op basis van de gegevens uit de Deense databank RAW.

¹⁴ 'Duurzaamheid betekent de periode dat een maatregel effectief blijft na aanschaf en/of toepassing. Sommige maatregelen betreffende apparatuur hebben een duurzaamheid of levensduur van 10 jaar. Een gezondheidscontrole heeft een duurzaamheid van 0,25 jaar omdat de controle voor slechts 3 maanden geldig is (en niet van invloed is op een volgende controle). Een veiligheidstraining kan een duurzaamheid van 3 jaar hebben bij een jaarlijkse frequentie van 3 (in het jaar van toepassing). Dit houdt in dat de training in het eerste jaar van toepassing 3 keer gegeven wordt (waarbij elke training voortbouwt op de vorige) en dan geldt voor de komende 3 jaar, waarna de cyclus wordt herhaald.'

Exposure | Workplace Questions | Risk Calculation | Optimisation Calculation

Position in Company | Exposure for position

teacher

Redefine job

Job : Industry | Activity : Equipment/Location | Exposure for hazards

Job : Industry	Activity : Equipment/Location	Hazard
Primary education teaching professionals : Primary education		
	Movement to other place : Stairs, platforms, ramps	
	Movement to other place : Walkways, driveways, roads and squares	
	Movement to other place : Floors and surfaces	
	Movement to other place : Outside terrain	
	Presence : Persons, patients, clients, children	

Add hazards to this Job : Industry using

Advisory activity list

Full activity list

Hazards

☐ Show ☒ Hide

Edit Delete

< Back Next >

Figuur 4.15 Relevante activiteiten en bijbehorende agentia voor een onderwijzer in het lager onderwijs.

De volgende gevaren zijn gerelateerd aan deze activiteiten:

- vallen van hoogte;
- vallen op dezelfde hoogte/struikelen/uitglijden;
- vallen van trap of laadbrug;
- botsing met een bewegend voertuig;
- contact met rondvliegend voorwerp;
- botsing met rollend/glijdend voorwerp of persoon;
- contact met gehanteerd/gedragen voorwerp door een andere persoon – handgereedschap;
- contact met gehanteerd/gedragen voorwerp – GEEN handgereedschap;
- ingeklemd tussen;
- botsen op een voorwerp;
- contact met hete of koude oppervlakken of open vuur;
- vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een open verpakking;
- menselijke agressie;
- gedrag van dieren;
- extreme inspanning van de spieren – hanteren van voorwerpen;
- extreme inspanning van de spieren – verplaatsing.

Een tweede voorbeeld betreft een bosarbeider in een houthakkersbedrijf. Figuur 4.16 toont de vijf gevaarlijkste combinaties activiteit/agens voor dit beroep.

Job : Industry	Activity : Equipment/Location	Hazard
Forestry labourers : Forestry and logging		
	Operating machine : Fixed machines	
	Working with hand tools : Manual hand tools	
	Working with hand tools : Mechanical hand tools	
	Movement to other place : Walkways, driveways, roads and squares	
	Movement to other place : Outside terrain	

Figuur 4.16 Voorbeeld van relevante activiteiten en bijbehorende agentia voor een bosarbeider in een houthakkersbedrijf.

De volgende risico's zijn gerelateerd aan deze activiteiten:

- vallen van hoogte;
- vallen op dezelfde hoogte/struikelen;
- botsing met een bewegend voertuig;
- contact met vallend voorwerp – manuele hantering;
- contact met vallend voorwerp – overige;
- contact met rondvliegend voorwerp;
- contact met handgereedschap bediend door de persoon zelf;
- contact met bewegende delen van een machine – bediening;
- ingeklemd tussen;
- botsen op een voorwerp;
- contact met hete of koude oppervlakken of open vuur;
- vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een open verpakking;
- gedrag van dieren;
- extreme inspanning van de spieren – hanteren van voorwerpen;
- extreme inspanning van de spieren – verplaatsing.

Uit deze twee voorbeelden blijkt dat beroepen die ogenschijnlijk heel verschillend zijn, en die worden uitgevoerd met heel verschillende activiteiten en bijbehorende agentia, toch kunnen leiden tot blootstelling aan dezelfde gevaren. Sommige van deze gevaren zijn voor beide beroepen niet direct voor de hand liggend, zoals botsing met een bewegend voertuig of gedrag van dieren. Uit de historische Deense ongevalgegevens blijkt echter dat beide gevaren typisch zijn voor deze beroepen en aandacht verdienen.

Dit soort gegevens kan bedrijven, intermediairs, beleidsmakers en inspecteurs nieuwe inzichten geven in beroepsprofielen. Uit de productie van de databank is verder gebleken dat het mogelijk is om dit soort gegevens op te bouwen op basis van ongevalgegevens die zijn geclassificeerd volgens de internationale classificaties ISCO, NACE en ESAO. Dit betekent dat ongevalgegevens uit andere landen op een gelijksoortige manier kunnen worden verwerkt om inzicht te verkrijgen in landspecifieke beroepsprofielen, mits de beschikbare gegevens gedetailleerd genoeg zijn.

5 Afgeleide producten

Het werk heeft een aantal onvoorziene bijproducten opgeleverd die zelfstandig kunnen worden gebruikt door deskundigen op het gebied van risico's. Het gaat om de volgende producten:

- Storybuilder;
- Storyfilter;
- Bowtiebuilder;
- databank van maatregelen, doeltreffendheid en kosten.

5.1 Storybuilder

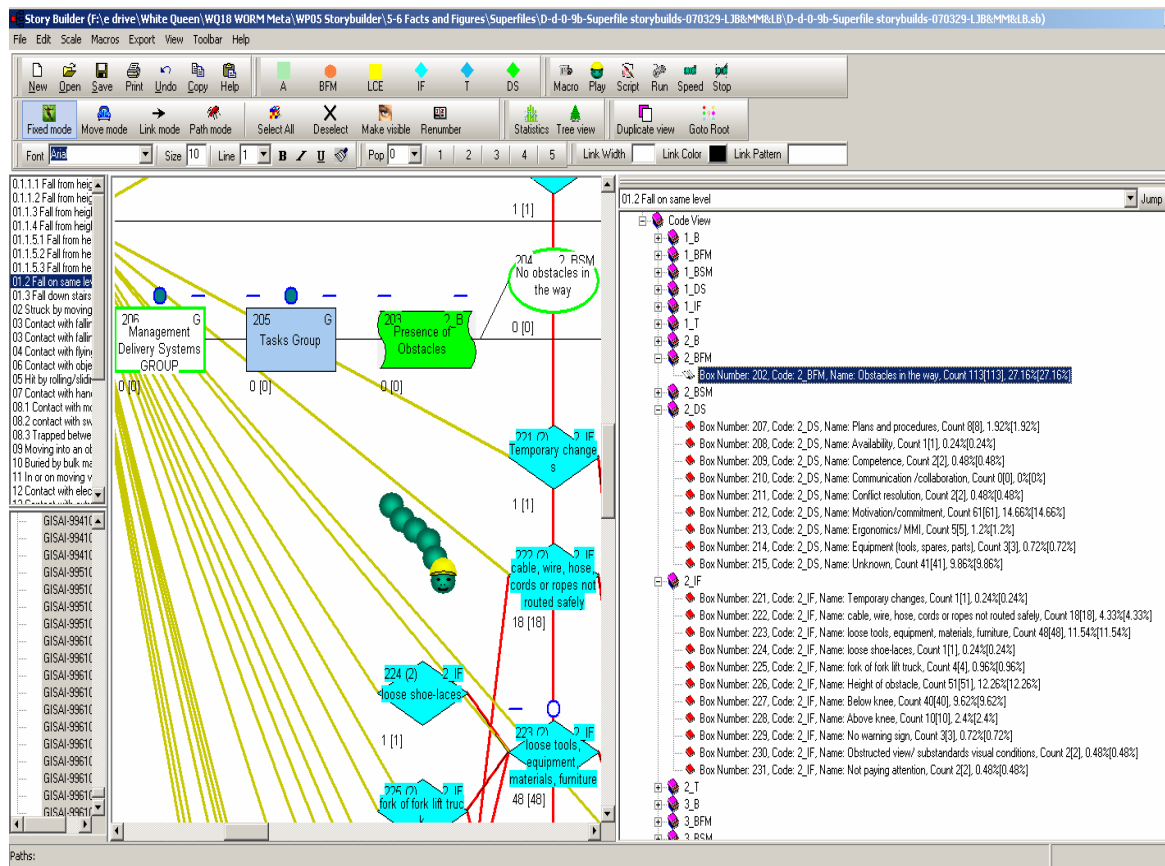
Storybuilder is specifiek ontwikkeld om de ongevalgegevens te analyseren. Het programma biedt een nieuwe methode voor de analyse en de presentatie van ongevalgegevens (Bellamy et al., 2006; 2007; 2008). Het onderliggende idee was om de oorzaken van ongevallen te identificeren met een goed gestructureerde, maar flexibele methode, en om andere informatie vast te leggen zonder de details van de ongevalrapporten uit het oog te verliezen. Met de methode voor gegevenspresentatie kunnen de kleinste details van honderden of zelfs duizenden ongevallen samen op één scherm worden gepresenteerd. Op het scherm kan de gebruiker gemakkelijk gegevens filteren door vragen te stellen en de resultaten van de filters te ordenen en exporteren. De manier van presenteren is een combinatie van grafieken die lijken op boomstructuren (zoals de foutenbomen en gebeurtenisbomen), met tekstvakken en lijnen die afzonderlijke ongevalspaden ('vreselijke verhalen') in de modelstructuur volgen. De gegevens worden gekwantificeerd door aan de hand van Booleaanse syntaxis het aantal paden te tellen in een knooppunt (vak) of de combinaties van knooppunten.

Storybuilder kan ook worden aangepast voor de analyse van andere gegevensverzamelingen, zoals bedrijfsspecifieke gegevens.

Storybuilder kan bijvoorbeeld op de volgende manier worden gebruikt:

- training voor een beter begrip van de oorzaken van ongevallen en preventie¹⁵;
- onderzoek naar incidenten en analyse van ongevallen (Van Santen, 2007);
- ophalen van ongevalstatistieken (Ale et al., 2007a; 2007c);
- verdere, meer gedetailleerde ontwikkeling van storybuildbow-ties (bijvoorbeeld Baksteen et al., 2007).

¹⁵ NVVK-workshop in oktober en november 2006 met ongeveer 300 deelnemers. De Storybuildermethode maakt ook deel uit van de MoSHE-cursus aan de TU Delft.



Figuur 5.1 Schermafdruct van Storybuilder met verschillende gegevensweergaven.

De informatie in Storybuilder over beheersaanleversystemen en falende barrièretaken is gedetailleerder dan in ORM. Zowel de Engelse als de Nederlandse Arbeidsinspectie hebben belangstelling getoond voor Storybuilder als hulpmiddel voor ongevalanalyse. Ook een aantal grote bedrijven heeft aangegeven het programma te willen gebruiken voor de analyse van bedrijfsspecifieke gegevens.

Een meer gedetailleerde beschrijving van het gebruik van Storybuilder vindt u in het technische rapport 3, en de gebruikershandleiding is te vinden in het technische rapport 11.

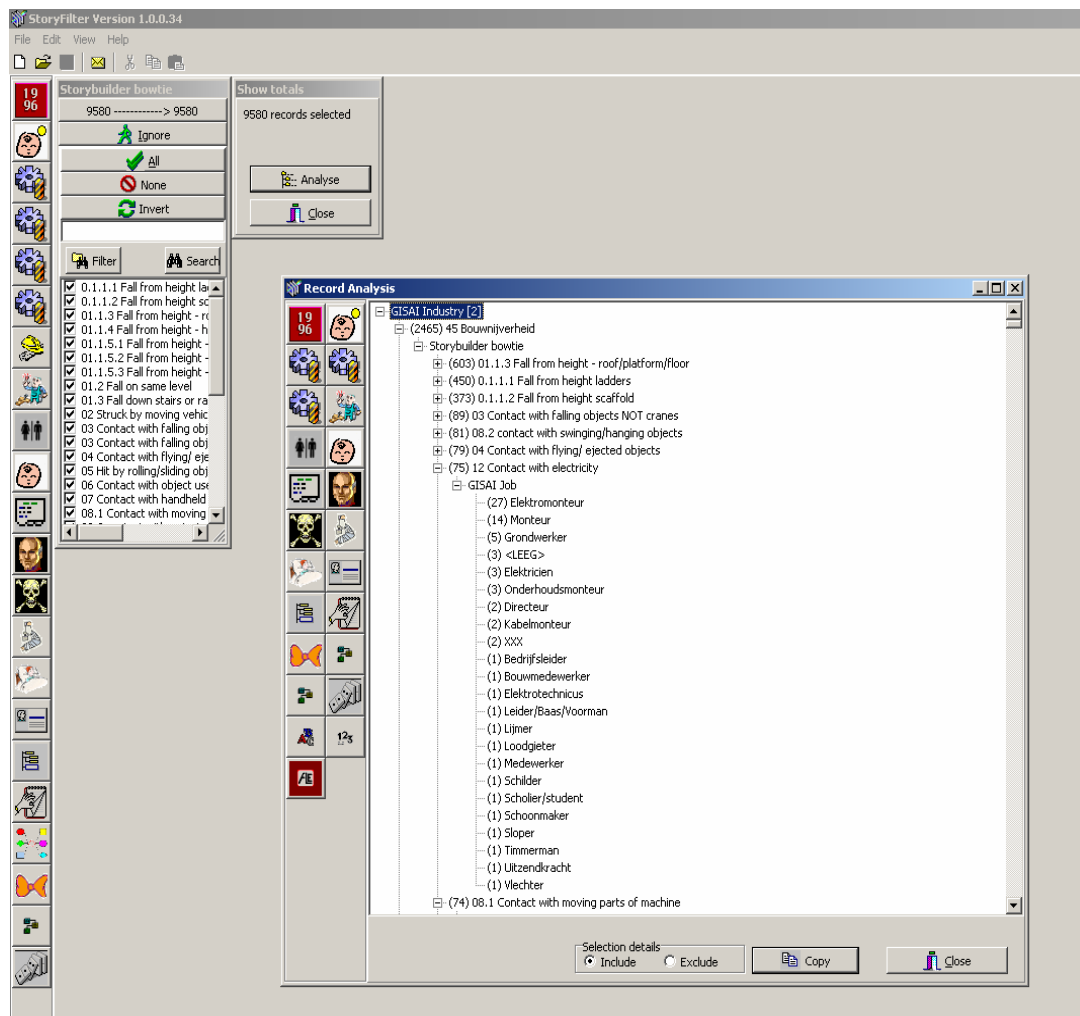
5.2 Storyfilter

Voor de koppeling tussen de Feiten & Cijfers van de Storybuildergegevens en andere velden in de ongevaldatabanken is een specifiek programma ontwikkeld dat lijkt op een soort GISAI-databank (voor de Nederlands gegevens) of RAW-databank in zakformaat (Deense gegevens, voor de classificatie van activiteiten zoals beschreven in paragraaf 3.4).

De gegevens kunnen worden gefilterd aan de hand van bijvoorbeeld de volgende filters:

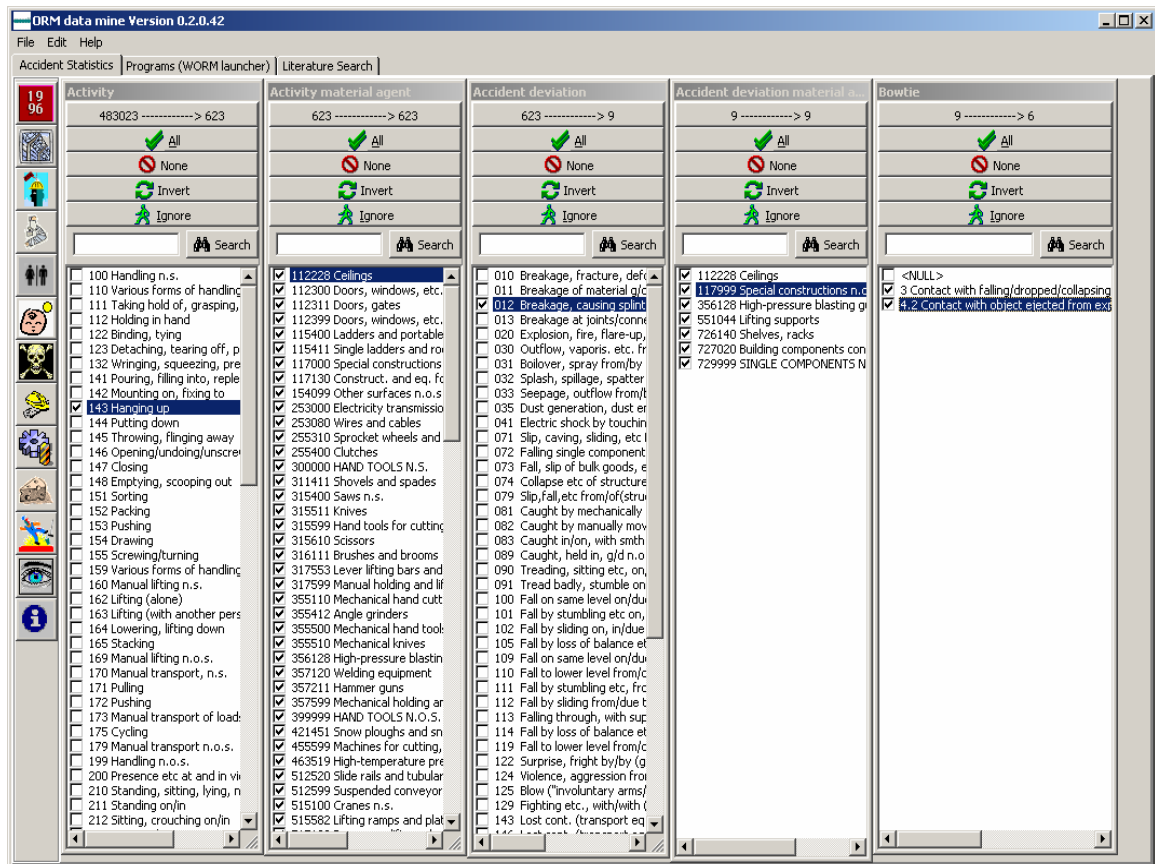
- leeftijd;
- bedrijfstak;
- type beroep;
- jaar van het ongeval.

Figuur 5.2 geeft een voorbeeld van de ongevalleanalyse voor de bouwsector, bedrijfstak 45.



Figuur 5.2 Storyfilter met de frequentie van ongevallen in een bepaalde sector (bouw) per storybuild (contact met elektriciteit) en per beroep.

Uit het feit dat de Deense gegevens zijn geanalyseerd aan de hand van de bow ties afkomstig van Nederlandse gegevens blijkt dat de classificatie van gegevens in storybuilds en bow ties internationaal kan worden toegepast. De Deense databank bevatte bijna een half miljoen ongevallen. Figuur 5.3 geeft een voorbeeld van het filterscherm voor RAW. Verschillende combinaties van factoren zoals activiteit, agens en bow tie kunnen worden gebruikt om een verzameling ongevalgegevens te filteren voor nadere analyse, zoals weergegeven in de vorige figuur.



Figuur 5.3 Storyfilter met een filterselectiescherm voor de Deense RAW-gegevens.

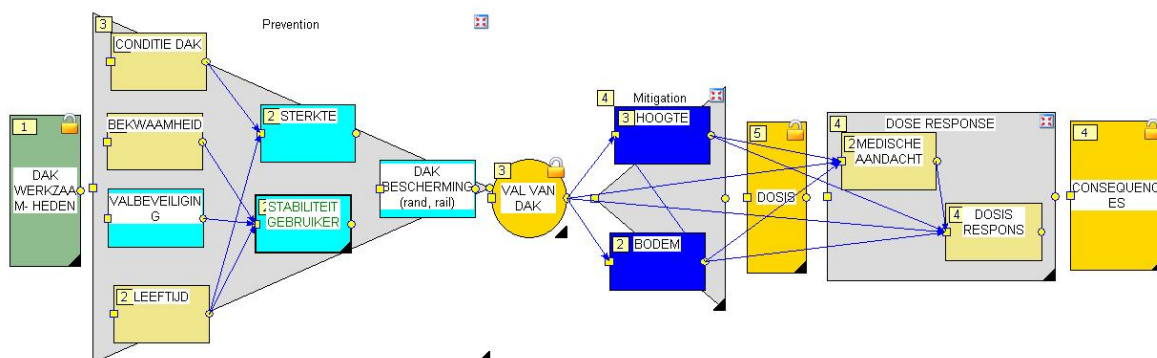
Meer informatie over Storyfilter vindt u in het technische rapport 3.

5.3 Bowtiebuilder

De ORM-software maakt gebruik van een reeks programma's en gegevens. Eén van deze programma's is Bowtiebuilder, een programma waarmee de logische modellen worden ontwikkeld en gekwantificeerd voor gebruik in ORM. Met Bowtiebuilder kan een invloeddiagram automatisch worden vertaald naar een boomstructuur van gebeurtenissen, kan de boomstructuur worden gekwantificeerd en het geheel in een eenvoudig, werkbaar model worden omgezet. Dit hulpprogramma kan worden gebruikt voor elke toepassing die een boomstructuur van gebeurtenissen als logisch model heeft. Bowtiebuilder ondersteunt de ontwikkeling van logische modellen waarmee stapsgewijs een verband wordt gelegd tussen de gevolgen van een specifiek gevaar en de bijbehorende basisoorzaken en beperkende factoren, door de negatieve gevolgen op te delen in eenvoudigere gebeurtenissen. Deze modellen worden weergegeven in diagrammen in de vorm van een bow tie, zoals in Figuur 5.4 voor 'Vallen van dak'. (Aneziris et al., 2007, 2008)

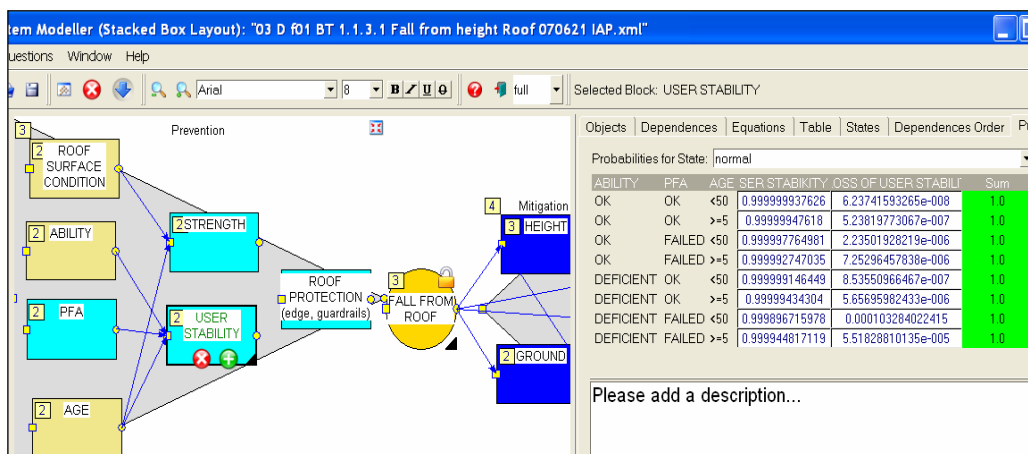
Bow ties bestaan uit de volgende belangrijke onderdelen:

1. centrale gebeurtenis, in dit geval het vallen (of niet) van een dak;
2. gebeurtenissen die voorafgaan aan de centrale gebeurtenis (Vallen van dak) en het voorkomen van deze gebeurtenis;
3. gebeurtenissen die volgen op de centrale gebeurtenis en voornamelijk bestaan uit maatregelen waarmee de effecten van de centrale gebeurtenis worden beperkt of die anderszins van invloed zijn op de gevolgen van de centrale gebeurtenis; en
4. gevolgen.



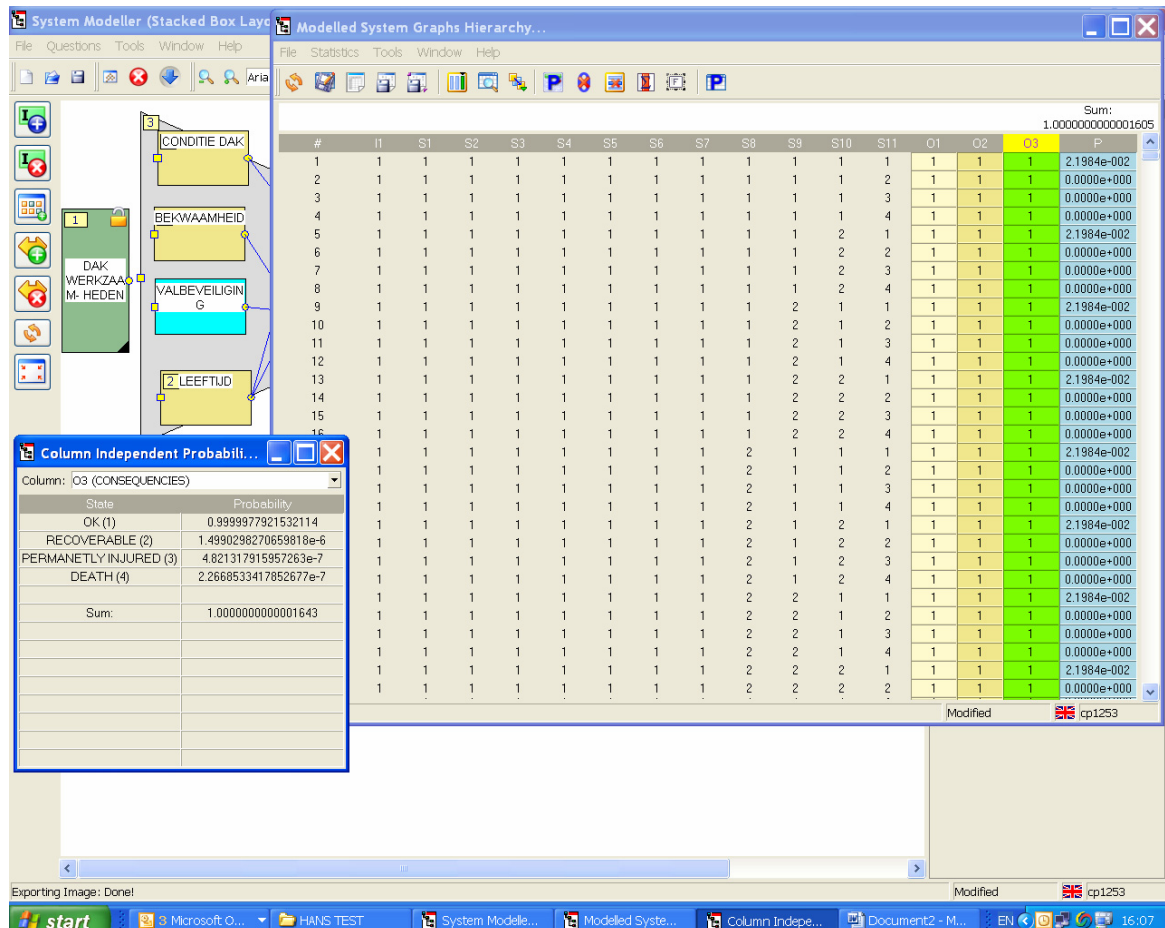
Figuur 5.4 Bow tie voor 'Vallen van dak'.

Ook gebeurtenissen op meerdere niveaus kunnen in een bow tie worden opgenomen, evenals een algemene afhankelijkheid van de kansberekening tussen gebeurtenissen. Bow ties lijken op een invloeddiagram, omdat elk blok van invloed kan zijn op de waarschijnlijkheid van de uitkomsten van een of meer van de andere blokken in het model. Statistische afhankelijkheden worden weergegeven als pijlen tussen gebeurtenissen, zoals in het geval van 'Evenwicht van een gebruiker', die wordt beïnvloed door vaardigheid, persoonlijke valbeveiliging en leeftijd. Afhankelijkheden zijn in het model voorzien, zoals blijkt uit Figuur 5.5 waar de kans op het behouden of verliezen van evenwicht wordt gerelateerd aan de condities vaardigheid, persoonlijke valbeveiliging en leeftijd.



Figuur 5.5 Afhankelijkheden tussen gebeurtenissen in bow ties met betrekking tot de kans op het verlies van evenwicht.

Bow ties komen overeen met gebeurtenisbomen. Door de kwantificering van de bow ties kan het risico worden bepaald voor elke mogelijke conditie van het systeem en ook van het risico van ongewenste gevolgen, zoals tijdelijk, blijvend of dodelijk letsel (zie Figuur 5.6).



Figuur 5.6 Geautomatiseerde kwantificering van het logische model in de Bowtiebuilder.

Alle reeksen van gebeurtenisbomen worden gegenereerd, weergegeven en gekwantificeerd zoals in het rechtervenster van de figuur. De eerste verzameling kolommen (I1-S11) komt overeen met de blokken (barrières) in de bow tie. Elke rij komt overeen met een conditie van het systeem en de elementen van de rij geven de conditie van elk blok in de bow tie aan. De volgende drie kolommen O1-O3 geven specifieke kenmerken aan van elke conditie in het systeem: O1 geeft het type centrale gebeurtenis aan dat overeenkomt met de conditie van het systeem (bijvoorbeeld 1 betekent niet-falen, 2 betekent dat de centrale gebeurtenis is voorgevallen). O2 komt overeen met de ernst van het gevolg voor het slachtoffer van deze bepaalde centrale gebeurtenis; O3 geeft het eindresultaat aan (1 niet-falen, 2 tijdelijk letsel, 3 blijvend letsel, 4 dodelijk ongeval). De kans dat een geval op een rij zich voordoet, wordt berekend uitgaande van de onderlinge waarschijnlijkheden. Het resultaat wordt weergegeven in de laatste kolom van de tabel. Door de som te nemen van alle rijen met waarschijnlijkheden van hetzelfde type wordt de totale waarschijnlijkheid van de vier mogelijke gevolgen weergegeven in het kleinere venster links in de figuur.

Het hulpprogramma kan voor andere doeleinden worden gebruikt, bijvoorbeeld om een logisch model voor een ander systeem te bouwen, zoals gezondheidsrisico's, chemische ongevallen, ongevallen in de transportsector, medische ongevallen, milieuongevallen enzovoort. Hierbij wordt het invloeddiagram als basis gebruikt.

Meer informatie over Bowtiebuilder vindt u in het technische rapport 12.

5.4 Databank van maatregelen

De hele verzameling maatregelen, kosten en maten van doeltreffendheid is nu beschikbaar in een databank, in combinatie met bijvoorbeeld PIE's, risico's verbonden met één gevaar en Storybuildergegevens over beheersfactoren. Deze gegevens zijn nu beschikbaar zodat het mogelijk is, op basis van een willekeurig gevaar uit ORM of zelfs één afzonderlijke basisoorzaak van een ongeval, om alle relevante maatregelen te selecteren, met de beschrijvingen en de uiteindelijke doelstellingen, samen met de normen, richtlijnen en gegevens over de manier om een maatregel te implementeren, plus een controlelijst om het succes (niet-falen) ervan te verifiëren. Elke maatregel wordt uitgebreid beschreven. Figuur 5.7 toont een voorbeeld van een beschrijving van een toolboxmeeting.

MeasureId	99
One_Liner	Toolbox meeting.
PracticalMeasure	Houd periodieke Toolbox meetings met de werknemers over de dagelijkse veiligheid op de werkplek en belicht telkens een ander onderwerp.
Goal	Informeren over en opfrissen van de kennis van veiligheid over een specifiek thema. Benadrukken van dagelijkse veiligheid en eigen verantwoordelijkheid van werknemers. Veilig gedrag op de werkplek levend houden.
Meaning	Werknemers zelf aan het denken zetten over een veiligheidsonderwerp. Veilig gedrag kan alleen bewerkstelligt worden als de voorzieningen op de werkplek het veilige gedrag in de hand werken. Materialen die nodig zijn bij een veilige uitvoer van het werk mo
Implementation	Structurele inplanning van Toolboxmeetings. Een schema van onderwerpen moet opgesteld worden met de items die daarbij aan bod moeten komen.
Success	Een zo groot mogelijk deel van alle werknemers dat in zijn dagelijkse werkzaamheden met het onderwerp van de toolboxmeeting te maken krijgt dient aanwezig te zijn. Deze toolboxmeetings met verschillende onderwerpen dienen met enige regelmaat.
For whom	Alle werknemers die in hun dagelijkse werkzaamheden te maken krijgt met het onderwerp van de toolboxmeeting.
Consequences	Werknemers worden zich bewust van de gevaren van werken op platforms en zijn beter in staat deze gevaren zo veel mogelijk weg te nemen.
Effectiveness	50%
MotivationEffectiveness	Maatregel beïnvloedt gedrag voor omgaan met Techniek
Sources	www.toolboxmeeting.com

Figuur 5.7 Voorbeeld van een databank van maatregelen: schermafdruck van de maatregel 'toolboxmeeting'.

Dit hulpmiddel kan verder worden onderzocht en verbeterd. De databank van maatregelen, doeltreffendheid en kosten (MEC) is ontwikkeld op basis van duidelijke specificaties vanuit de ORM-gegevensstructuur. Er is een aantal verbeteringen vereist om de gegevens over maatregelen buiten ORM te kunnen gebruiken. Het verdient weliswaar aanbeveling om de structuur van de databank intact te laten, maar deze kan wel worden uitgebreid met nieuwe tabellen om de verzameling gegevens nog verder te verrijken. De MEC-gebruikersinterface is ontworpen voor het team dat de gegevens over maatregelen verzamelde; deze interface moet worden aangepast aan de behoeften van professionele gebruikers.

Zowel bedrijven als de Arbeidsinspectie kunnen worden overtuigd van de voordelen om over deze gegevens te beschikken:

- mogelijkheid om de mate van implementatie van maatregelen te controleren;
- controlelijsten om het succes van maatregelen vast te stellen;
- snelle en precieze selectiemogelijkheden zodat alleen de relevante maatregelen voor een bepaald gevaar of een combinatie van gevaren worden weergegeven;
- identificatie van de algemene basisoorzaken van verschillende ongevallen die kunnen worden verholpen met maatregelen die al zijn geïmplementeerd of klaar zijn voor implementatie;
- vergelijking tussen gevallen van falende beheerssystemen, zoals geïdentificeerd in de ongevallenanalyse van de huidige situatie.

In de toekomst kunnen mogelijk ook de potentiële gebruikers worden geraadpleegd over de manier waarop ze het programma willen gebruiken. Misschien wordt een PDA-versie op prijs gesteld. Vermoedelijk zal de afgeleide MEC-databank worden voorzien van een gebruikersinterface voor vragen en het combineren, selecteren, sorteren, toevoegen, wijzigen en afdrukken van gegevens. Het toevoegen van gegevens bestaat niet alleen uit het opvullen van lacunes in bestaande velden, er kunnen ook nieuwe gegevensvelden worden toegevoegd. De huidige databank heeft al een paar opties om maatregelen te sorteren, maar er zouden nog andere kunnen worden toegevoegd (functies zoals detectie of reactie).

Het gebruik van de MEC-databank als afgeleid programma kan ook een bijdrage leveren aan toekomstige versies van ORM. Gebruikers kunnen nieuwe (nog niet eerder geïdentificeerde PIE's) aan barrières toevoegen, nieuwe maatregelen aan PIE's koppelen en opmerkingen invoeren over de doeltreffendheid en kosten van maatregelen. Het toevoegen van deze gegevens kan van groot nut blijken voor inspecteurs en veiligheidskundigen wanneer ze met het model en de maatregelen werken om te controleren of de verzameling van nu beschikbare maatregelen compleet is.

5.5 Mogelijke uitbreiding naar de analyse van effecten op gezondheidsrisico's

ORM is beperkt tot de risico's van ongevallen op het werk. Aan het werk gerelateerde ziekten door chronische blootstelling zijn ook een belangrijke factor wat betreft de veiligheid op het werk. Het is daarom de bedoeling een model te ontwikkelen voor de analyse van effecten op de gezondheid (Health Impact Assessment, HIA) veroorzaakt door chronische blootstelling op het werk. In het project zijn de haalbaarheid en mogelijkheden van een dergelijk HIA-model onderzocht.

5.5.1 Vereisten voor het HIA-model

Het algemene doel is een HIA-model voor aan het werk gerelateerde, chronische blootstelling aan agentia die ziekten veroorzaken.

Aan het model worden de volgende belangrijke eisen gesteld. Het moet:

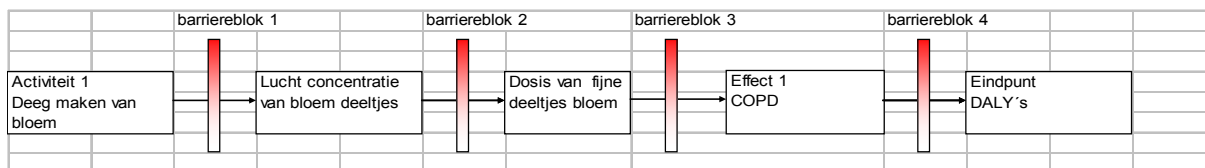
- (semi-)kwantitatief zijn;
- functioneel zijn op drie niveaus, namelijk:
 - voor het bedrijfsleven, met name voor het MKB;
 - nationaal, voor beleidsmakers;
 - nationaal, voor (het stellen van prioriteiten bij) arbeidinspecties;
- de aan de arbeidsomstandigheden in het bedrijf gerelateerde ziekten identificeren;
- inzicht geven in:
 - de risicofactoren en het belang daarvan;
 - het risico voor een specifiek beroep vanwege chronische blootstelling aan ziekte veroorzakende agentia;
 - risicoreducerende maatregelen, hun doeltreffendheid en kosten;
 - het risico voor het personeel van het bedrijf;
- een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van een rendabele risicoreducerende strategie:
 - op bedrijfsniveau;
 - op nationaal niveau;
- volledig zijn (niet te zeer gedetailleerd). Indien nodig moet het model worden aangevuld met hypothesen.

De vereisten die aan het model worden gesteld, zijn zo breed dat deze het kader van één model te buiten gaan. Er zal onderscheid moeten worden gemaakt tussen een model voor beleidsmakers op nationaal niveau en een model voor het midden- en kleinbedrijf. Daarom kunnen er verschillende implementaties van het HIA-model worden verwacht op basis van gelijksoortige gegevens.

5.5.2 Concept van het HIA-model

Er zijn twee verschillende modellen bestudeerd als basis voor de ontwikkeling van het HIA-model, namelijk ORM en ‘Stoffenmanager’ (www.stoffenmanager.nl):

- ORM berekent het risico voor werknemers in een bedrijf aan de hand van bow ties. ORM is een probabilistisch risicomodel. Zelfs als alle barrières aanwezig zijn, blijft toch de mogelijkheid van een ongeval bestaan. En omgekeerd kan een taak zonder ongevallen worden volbracht zelfs al ontbreken er barrières. Bow ties worden gebouwd op basis van de beschrijvingen van specifieke gevallen.
- De Stoffenmanager is een prioriteiteninstrument voor bedrijven die de chronische blootstelling aan gevaren of activiteiten willen rangschikken en advies willen krijgen over beheersmaatregelen voor de blootstellingspaden die leiden tot inademen of contact met de huid. Op basis van een classificatie van gevaarlijke stoffen en blootstelling wordt een ‘risico’-indicator voor de activiteit berekend. Stoffenmanager is deterministisch in de beschrijving van het effect van barrières (maatregelen): er wordt aangenomen dat een barrière op de juiste manier wordt gebruikt en altijd functioneert. De doeltreffendheid van een barrière is een realistisch getal afgeleid uit de praktijk. Het model houdt echter geen rekening met de kans op barrières die niet juist worden gebruikt.
- Op basis van een dergelijke modelmatige aanpak kan een totaal HIA-model voor beroepen worden gestructureerd zoals in Figuur 5.8. Als voorbeeld wordt hier de activiteit van een bakker, ‘deeg maken’, gebruikt, wat resulteert in het inademen van fijne organische deeltjes en mogelijk zelfs een chronische obstructieve longaandoening.



Figuur 5.8 Concept van een HIA-model: blootstelling aan fijne organische deeltjes

De verschillende barrièreblokken in het model zijn:

- Barrièreblok 1 bestaat uit barrières die van invloed zijn op de concentratie fijne organische deeltjes in de lucht. Voorbeelden van dergelijke barrières zijn de arbeidsomstandigheden, zoals grootte van het vertrek, ventilatie en aanwezigheid van een lokaal afzuigstelsel.
- Barrièreblok 2 betreft barrières voor de dosis waaraan de bakker is blootgesteld. Voorbeelden hiervan zijn persoonlijke beschermingsmiddelen (stofmasker) en gedrag (menselijke activiteit, zoals eten op de werkplek).
- Barrièreblok 3 is van invloed op het gevolg, bijvoorbeeld een bezoek aan de huisarts bij de eerste symptomen als de ziekte nog tijdig kan worden behandeld.
- Barrièreblok 4 maakt het model compleet.

In het model wordt een gemeenschappelijk eindpunt gebruikt voor alle ziekten. Het DALY-concept (Baars et al., 2005) wordt beschouwd als een handige maat voor het model op nationaal niveau¹⁶.

5.5.3 Vereisten voor gegevens en beschikbaarheid

Voor kwantificering van het HIA-model zijn bij elke stap gegevens nodig. De aanpak van de Stoffenmanager en de ORM-aanpak vereisen beide andere gegevens wat betreft de doeltreffendheid van een barrière:

- In de aanpak van de Stoffenmanager wordt een algemene doeltreffendheid gebruikt voor een barrière. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat een aanwezige barrière ook geschikt is voor de functie die deze moet vervullen en correct wordt gebruikt. Daarom wordt er een algemene factor gebruikt voor de doeltreffendheid van de barrière. De Stoffenmanager bevat gegevens over de doeltreffendheid van barrières op basis van experimentele gegevens.
- In de ORM-aanpak hangt de doeltreffendheid van een barrière af van een aantal factoren, zoals de kans dat de verschaftte barrière geschikt is voor het beoogde doel, de kans dat de barrière op de juiste manier wordt gebruikt en de invloed die factoren zoals inspectie, training en onderhoud op deze kansen hebben.

Het blijkt dat er bijna geen beschrijvingen van ongevallen met voldoende details waren als informatiebron om te kunnen dienen voor de relatie tussen arbeidsomstandigheden en de frequentie van gevolgen. Dit is ook inherent aan het probleem, omdat chronische blootstelling een lange tijdsduur veronderstelt. De doeltreffendheid van barrières in de praktijk zal waarschijnlijk beter kunnen worden gemeten aan de hand van betrouwbare informatie afgeleid uit observaties van beroepen en onderzoek.

¹⁶ DALY (Disability Adjusted Life Year, volledig gezond levensjaar dat behouden is gebleven) is een maat voor de ziektelast die het concept van potentieel verloren levensjaren door voortijdig sterven uitbreidt naar een equivalent van verloren gezonde levensjaren vanwege slechte gezondheid of invaliditeit (1). DALY combineert in één maatregel de levensduur met invaliditeit en de verloren tijd door voortijdig sterven. Een DALY kan worden beschouwd als een verloren jaar 'gezonder' leven, en de ziektelast als maat van het gat tussen de huidige gezondheidsstatus en een ideale situatie waarin iedereen oud wordt zonder ziekte of invaliditeit. Met dit concept is het mogelijk om gezondheidsrisico's aan gevolgen te koppelen op een gekwantificeerde basis.

5.5.4 Vervolgacties in verband met HIA

Uit de discussies die moeten leiden tot een HIA-model, is gebleken dat een dergelijk model weliswaar mogelijk is, maar aan beperkingen onderhevig zal zijn. Het gebruik van een probabilistische ORM-aanpak van barrières in combinatie met de gegevens van de Stoffenmanager zal naar verwachting wel van toegevoegde waarde zijn voor zowel beleid op nationaal niveau als voor maatregelen in het bedrijfsleven.

Hiertoe wordt de volgende aanpak voorgesteld:

1. Opzetten van een projectgroep van deskundigen belast met de ontwikkeling van een (concept van een) HIA-model op basis van de beschikbaarheid van gegevens.
2. Selectie van een testcombinatie van een agens en een ziekte op basis van de haalbaarheid, de beschikbaarheid van gegevens en het belang van het probleem.
3. Identificatie van de behoefte aan gegevens voor het proefmodel, de methode om die gegevens te bereiken en de bijbehorende kosten.
4. Besluitvorming over eventuele verdere vervolgacties op basis van de resultaten van de vorige stappen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Belangrijke conclusies van het project

Het WORM-M-project heeft een gekwantificeerd risicomodel voor arbeidsveiligheid opgeleverd op basis van Nederlandse nationale gegevens. Er is een analyse gemaakt van een verzameling van 9.000 onderzoeksrapporten over arbeidsongevallen. De ongevallen zijn geregistreerd door de Arbeidsinspectie en deden zich voor gedurende een periode van zes jaar. Dit resulteerde in 36 storybuilds in de vorm van bow-tiestructuren met zeer gedetailleerde gegevens over oorzaken en effecten. Aan de hand van de gegevens uit een uitgebreide enquête zijn de storybuilds nader uitgewerkt in 63 logische en gekwantificeerde bow ties, waarmee de risicopercentages per uur en het risico per jaar zijn bepaald voor alle gevaren in Nederland. Risicopercentage betekent in dit geval de waarschijnlijkheid van een ongeval per uur blootstelling aan een bepaald gevaar, en risico per jaar de waarschijnlijkheid van een ongeval gedurende een jaar. Dankzij de waarschijnlijkheden van de bow-tiemodellen kunnen risicoanalyses worden uitgevoerd voor specifieke beroepen en werkplekken. Hiertoe is een prototype ontwikkeld van software waarmee advies kan worden verkregen over de meest rendabele risicoreducerende maatregelen per beroep, bedrijf of bedrijfstak.

Deze ontwikkeling, beginnend vanaf een ongebruikelijk gedetailleerde registratie van onderliggende oorzaken en uitmondend in een complete kwantificering van risico's is een absolute primeur in de geschiedenis van arbeidsveiligheid. Dat een dergelijk resultaat kon worden geproduceerd, leek buitengewoon problematisch (Rimington et al., 2003) en inderdaad bracht elke fase van het project nieuwe uitdagingen en onvoorziene problemen met zich mee. Voor dit onderzoek besloot het ministerie het best mogelijke projectteam samen te stellen, bestaande uit vooraanstaande wetenschappers en deskundigen uit Griekenland, Nederland, Denemarken, het Verenigd Koninkrijk en de Europese Commissie. Sommige teamleden hadden al meer dan 15 jaar samengewerkt aan andere uitdagende projecten zoals het EU IRISK-project (Bellamy et al., 1999).

Er werd besloten om de projectresultaten zo snel mogelijk te leveren en op de markt te brengen ten einde de nodige impuls en de beleidsmatige en politieke steun te behouden. Binnen een jaar konden belanghebbenden kennismaken met een prototype van het uiteindelijke programma voor risicoanalyse. Met de resultaten van de incidentenanalyse werd het programma Storybuilder gebouwd, dat zowel in Nederland als in de rest van de EU positief werd ontvangen. Dit programma wordt nu al gebruikt door zowel het bedrijfsleven als Arbeidsinspecties om inzicht te krijgen in de onderliggende oorzaken van incidenten, en het ministerie van SZW heeft al 'Facts & Figures' van Storybuilder gepubliceerd op zijn website, op verzoek van het Nederlandse parlement. De Nederlandse Arbeidsinspectie gebruikt de resultaten van Storybuilder bij trainingen en inspecties en ook het Britse HSE heeft plannen om inspecteurs op te leiden in het gebruik van dit programma. Storybuilder is gebruikt voor de analyse van complexe ongevallen zoals in de Amercentrale in Nederland (Van Santen, 2007) en Buncefield in het Verenigd Koninkrijk (Baksteen et al., 2007).

Ook Bowtiebuilder, het programma waarmee storybuilds worden omgezet in wiskundige, logische bow ties mocht zich verheugen in grote internationale belangstelling. Dit programma zal als zelfstandig onderdeel op de markt worden gezet.

Het onderzoek naar blootstelling en de doeltreffendheid van maatregelen, waarbij 60.000 personen zijn ondervraagd over gevaren, is uniek en heeft een goed inzicht geboden in de blootstelling onder de beroepsbevolking en de mate van implementatie van maatregelen in het bedrijfsleven. Het lijkt geen twijfel dat de resultaten hiervan aan nadere analyse zullen worden onderworpen, waardoor mogelijk een nieuwe manier van denken over veiligheid het licht zal zien.

De MEC-databank over de doeltreffendheid van maatregelen en kosten biedt inzicht in de doeltreffendheid van risicoreducerende maatregelen en is een goed uitgangspunt voor kosten-batenanalyses van veiligheid in het bedrijfsleven. Risicobeoordelingen kunnen hiermee worden onderbouwd.

Het risicoprogramma zelf, als eindproduct van dit project, biedt zowel het bedrijfsleven als beleidsmakers goede mogelijkheden. Door het programma zijn we anders gaan aankijken tegen arbeidsgerelateerde gevaren en is het mogelijk om de gevolgen van beleidswijzigingen en beslissingen te analyseren. Een voorbeeld hiervan is de politieke beslissing om het gebruik van ladders te ontmoedigen ten gunste van steigers. Het risicomodel laat zien dat dit mogelijk een verkeerde beslissing is en dat het werken op een verplaatsbare steiger grotere risico's kan inhouden, tenzij de blootstellingstijd aanzienlijk wordt verlaagd. Bedrijven kunnen nu bepalen wat de grootste risico's zijn en beslissingen nemen over de meest doeltreffende reeks risicoreducerende maatregelen bij een bepaald budget.

Er is veel beslag gelegd op de hulpbronnen van het team door de pogingen ontbrekende gegevens aan te vullen en problemen bij de modellering op te lossen. Het is daarom niet verwonderlijk dat het model en de gegevens nog aanzienlijk kunnen worden verbeterd en aangevuld. Tegelijkertijd was het een prioriteit om de resultaten zo snel mogelijk beschikbaar te stellen voor potentiële gebruikers, zodat toekomstige ontwikkelingen aan hun behoeften kunnen worden aangepast. Sommige potentiële gebruikers hebben behoeften die verder reiken dan de effecten van arbeidsveiligheid op de gezondheid. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan:

1. betrokkenheid van gebruikers bij de ontwikkeling van de software-interface;
2. aanpak van de marketing richting regelgevers en inspecteurs, gebruikers bij grote bedrijven, intermediairs en andere belanghebbenden zoals branche organisaties en verzekeringsmaatschappijen;
3. actieve verschaffing van voor de gebruiker relevante gegevens via de daartoe geëigende communicatiemiddelen en -strategieën;
4. onderhoud van de software en gegevens en verdere, gerichte ontwikkelingen van het model;
5. uitbreiding van het model naar de analyse van effecten op de gezondheid.

6.2 Betrokkenheid van gebruikers bij verdere ontwikkelingen

Ongeacht de kwaliteit van het model, blijft de gebruikersinterface essentieel voor de acceptatie van de software. Het ontwerp van ORM en Storybuilder zou moeten worden aangepast en gebruiksvriendelijker moeten worden. Als ORM en Storybuilder op de markt worden gezet, zouden deze moeten worden uitgebreid met internettoepassingen en functies voor feedback over de behoeften van gebruikers. Bij de analyse van de gebruikersbehoeften is het mogelijk interessant om afzonderlijke modules te ontwikkelen voor verschillende doelgroepen, bijvoorbeeld voor specifieke bedrijfstakken.

Andere aspecten die in overweging moeten worden genomen, zijn de snelheid en nauwkeurigheid waarmee de resultaten worden gegenereerd. Het is dus wenselijk om na te gaan hoe het model en de

programma's efficiënter kunnen worden gemaakt voor de gebruiker. De software biedt de gebruiker vele opties, die niet alleen flexibel zijn, maar ook kunnen worden verfijnd. Verfijning leidt tot minder flexibiliteit, maar maakt het programma wel bruikbaar voor specifieke gebruikersgroepen. Mogelijk moeten daarom verschillende varianten worden ontwikkeld. Het programma kan ook op de markt worden gezet in combinatie met trainingen en workshops, waar de gebruiker wordt begeleid bij het formuleren van relevante vragen.

6.3 Marketing

Marktanalyse toont aan dat verschillende typen gebruikers op verschillende manieren zouden kunnen worden benaderd, bijvoorbeeld door:

1. regelgevers en inspecteurs te betrekken;
2. test cases uit te voeren bij grote bedrijven;
3. intermediairs met specifieke commerciële belangen te interesseren (consultants, verzekeringsmaatschappijen);
4. compliance bij het MKB te verbeteren.

De kans dat de producten positief worden ontvangen door eindgebruikers neemt af van doelgroep 1 naar doelgroep 4. Dit is gebaseerd op criteria als betrokkenheid, professionaliteit, verwacht effect en toegankelijkheid via marktkanalen. Het MKB is dus geen goede doelgroep. Er is een businessplan opgesteld (Postma et al., 2007).

6.4 Beschikbaarheid van gegevens

De gegevens moeten gemakkelijker beschikbaar worden gesteld voor een grotere groep van belanghebbenden via een website (het zogenaamde Arboportaal) met helpdesk.

Het WORM-M-project biedt kennis in de vorm van gegevens over arbeidsongevallen, blootstelling, maatregelen, doeltreffendheid en kosten van maatregelen, en over normen en richtlijnen. Het ontwerp van de gegevens moet worden verbeterd, zodat het toegankelijk wordt voor doelgroepen en snel en adequaat resultaat biedt en antwoord geeft op vragen van gebruikers. Gedeelde definities en contexten zijn ook van belang om interactieve vragen en antwoorden mogelijk te maken.

De interface voor communicatie met de gebruiker is daarom belangrijk. Het is niet alleen wenselijk om producten te ontwikkelen zoals gegevensbladen, controlelijsten of webfilms, maar ook om eindgebruikers in staat te stellen de gegevens te openen en combineren op een voor hen relevante manier. Ook moet worden voorzien in de mogelijkheid om feedback over de belangen van de gebruiker in het systeem in te voeren.

Bepaalde gegevensmodules van het complete programma kunnen worden ontwikkeld als zelfstandige toepassingen, zoals de MEC-databank van maatregelen, doeltreffendheid en kosten. Storybuilder is op zich al een verder ontwikkeld en zelfstandig programma, maar de ontwikkelaars hebben zich tot nu toe op storybuildbouwers gericht als gebruikers. De bouwers kennen het programma goed, maar ondanks alle inspanningen om de gegevensuitvoer toegankelijker te maken, zullen de minder ervaren gebruikers getraind moeten worden.

6.5 Onderhoud en ontwikkeling van het model en de gegevens

Tijdens de uitvoering van het WORM- en WORM-M-project zijn er talrijke gegevens verzameld en geanalyseerd. De gegevens over ongevallen en blootstelling onder de Nederlandse beroepsbevolking zijn gebruikt voor het vaststellen van de rekenmaten voor verschillende gevaren en om feiten en cijfers te produceren over de onderliggende oorzaken van verschillende typen arbeidsongevallen en de frequentie daarvan in diverse bedrijfstakken. Deense gegevens over ongevallen zijn gebruikt om deze gevaren te koppelen aan specifieke activiteiten per beroep of bedrijfstak. Britse gegevens over ongevallen zijn gebruikt voor de follow-up van vraagstukken met betrekking tot ongevallen door LOC in chemische installaties. Hierbij werden we geconfronteerd met het probleem van de verscheidenheid aan bronnen, classificaties, definities en andere kwaliteitsaspecten. Voor het risicomodel zijn de meeste van deze problemen opgelost. De bruikbaarheid van de gegevens kan echter nog verder worden verbeterd door validatie, verdere analyse, actualisering en het combineren met andere gegevensverzamelingen voor

6.5.1 Verdere analyse

Niet alle beschikbare ongevalrapporten van de Arbeidsinspectie zijn geanalyseerd voor de gekozen periode. De frequenter voorkomende belangrijke ongevals categorieën, zoals vallende voorwerpen en contact met bewegende delen van machines, zijn slechts geanalyseerd voor een periode van twee jaar en niet zes. Hierdoor is het lastiger om de frequenties van ongevallen per sector te vergelijken en zijn er minder gegevens beschikbaar voor risicoberekeningen in vergelijking met die van andere bow ties. Verdere analyse van de overige ongevalrapporten is daarom aan te bevelen, zodat alle risicomaten kunnen worden gekwantificeerd met gegevens over dezelfde perioden. Door een dergelijke kwantificering worden vergelijkingen van risicopercents en jaarlijkse risico's betrouwbaarder. Hiertoe is tevens een onzekerheidsanalyse nodig waarmee kan worden beoordeeld in hoeverre de resultaten robuust blijven ondanks mogelijke variaties in de invoergegevens.

Gegevens over blootstelling en ongevallen zijn gecombineerd zonder onderscheid naar bedrijfstak, leeftijd, geslacht, opleidingsniveau, type werk en type bedrijf. De resultaten vertegenwoordigen daarom het Nederlandse nationale gemiddelde. Specifiekere analyses zijn mogelijk, maar de omvang hiervan wordt momenteel beperkt door de grootte van de subverzamelingen gegevens. Hier is verder onderzoek gewenst naar de mogelijkheden voor gedetailleerdere analyses. Ook kan worden bekeken welke gegevensverzamelingen mogelijk interessant zijn voor de langere termijn.

Gespecialiseerde analyses zouden modellen kunnen opleveren die bijvoorbeeld beter toepasbaar zijn voor bepaalde sectoren, zodat gebruikers de gegevens niet zelf meer hoeven aan te passen. Dit betekent dat ORM-gebruikers eigen cases kunnen uitwerken met minder gegevensinvoer dan in het huidige, algemene model. Er bestaan al een paar hulpmiddelen in de vorm van specifieke adviezen per beroep en bedrijfstak over de selectie van toepasselijke bow-tiegefahren, maar dit is slechts een deel van het probleem. Wat is bijvoorbeeld de typische duur van de activiteiten voor een bepaald soort beroep?

6.5.2 Validatie

De geldigheid van de risicoresultaten van ORM kan worden getoetst aan de hand van 2 vragen:

1. Zijn de ontwikkelde modellen structureel geldig, dat wil zeggen zijn ze compleet?
2. Zijn de kwantitatieve resultaten betrouwbaar en representatief voor het actuele arbeidsrisico?

Volledigheid

In logische modellen worden de basisoorzaken gekoppeld aan voorkomende gevallen van arbeidsongevallen via het al dan niet optreden van een specifieke serie gebeurtenissen die kunnen leiden tot specifieke gevolgen. Deze modellen zijn gebaseerd op de analyse van een groot aantal gemelde ongevallen onder de Nederlandse beroepsbevolking. De eerste vraag die hierbij kan worden opgeworpen, is of deze modellen compleet zijn, dat wil zeggen of ze rekening houden met alle mogelijke basisoorzaken en modaliteiten voor falen die resulteren in specifieke arbeidsongevallen.

Wat betreft de ‘breedte’ van het model, kunnen aanvullende, fundamentele manieren die leiden tot LCE en de centrale gebeurtenis, worden geëvalueerd, als volledig andere gegevensverzamelingen met betrekking tot volledig andere werkomgevingen in andere landen worden geanalyseerd.

Wat betreft de ‘diepte’ van het model, dat wil zeggen het detailniveau van de analyse en evaluatie van de basisoorzaak, kunnen de huidige ontwikkelde modellen baat hebben bij nadere analyse. Wij weten al dat de logische modellen niet volledig zijn op het niveau van de beheersaspecten en organisatorische aspecten. Deze zijn immers niet zijn opgenomen in het model. Zelfs de basisoorzaken en arbeidsveiligheidsomstandigheden op lagere niveaus (de PIE’s) zijn indirect gekoppeld aan de logische modellen. Bij de verdere ontwikkeling van de modellen, waarbij ook beheersaspecten en organisatorische aspecten in beschouwing worden genomen, kunnen bestaande afhankelijkheden tussen oorzaken en gevolgen worden ontdekt, die momenteel nog niet in de modellen zijn opgenomen. Hierbij moet wel worden aangetekend dat voor uitbreiding van de basale logische modellen een grote hoeveelheid ontbrekende gegevens nodig is, zoals gegevens over blootstelling, naast de reeds geanalyseerde gegevens over ongevallen.

Betrouwbaarheid

De kwantitatieve (en kwalitatieve) risicoanalyse, zoals uitgevoerd in het WORM-M-project, ging uit van gegevens over gebeurtenissen in het verleden. De uiteindelijke kwantitatieve risicobeoordelingen en eventuele risicoreducerende strategieën zijn gebaseerd op de resultaten van het ORM en zijn alleen geldig in zoverre de statistische en probabilistische paradigma's geldig zijn, dat wil zeggen dat toekomstige gebeurtenissen een herhaling zijn van gebeurtenissen uit het verleden met dezelfde arbeidsomgeving en -omstandigheden. De validatie van het model zou in die zin bestaan uit de observatie van dezelfde populatie onder gelijksoortige omstandigheden en bij bekende wijzigingen van de omstandigheden, en uit het natrekken van de ongevalpercentages of meer complexe resultaten zoals voorspeld door ORM.

Een andere vraag over de betrouwbaarheid heeft betrekking op de betrouwbaarheid van de gegevens die zijn gebruikt voor de kwantificering van het model. Waren de in GISAI vermelde ongevallen de enige rapporteerbare ongevallen tijdens de geanalyseerde periode of bestaan er ongevallen die niet zijn gemeld? Konden de tijden van blootstelling nauwkeurig worden vastgesteld aan de hand van de interviews met werknemers via internet? Een onderzoek naar de variabiliteit of onzekerheid zou kunnen aangeven van of de resultaten van de verschillende modellen gevoelig zijn voor variaties (en dus mogelijke tekortkomingen) in de invoergegevens. Er kunnen ook andere methoden worden gebruikt voor het vaststellen van de blootstellingstijden en arbeidsomstandigheden, namelijk door daadwerkelijke

observatie van een relevante steekproef van werknemers in een relevante verzameling werkplekken. Voorbeeld van een dergelijke alternatieve aanpak is een Deens project voor gegevensverzameling, DANWORM, waarbij wordt gekeken naar andere manieren om gegevens over blootstelling te verzamelen en de problemen hierbij in kaart te brengen en op te lossen. In dit project ligt de nadruk op kleine bedrijven en de werknemers worden geobserveerd tijdens de uitvoering van hun activiteiten en taken.

6.5.3 Bijwerken van gegevensverzamelingen

Een analyse van de variabiliteit of onzekerheid zou een indicatie kunnen geven of de resultaten gevoelig zijn voor variaties in de invoergegevens. De aanvullende gegevens die beschikbaar komen bij de continue observatie van de Nederlandse beroepsbevolking, zouden oftewel moeten leiden tot verminderde variabiliteit bij zowel de invoer als de uitvoer van het model, oftewel een indicatie moeten geven van belangrijke wijzigingen in de invoergegevens vanwege specifieke risicoreducerende strategieën of juist het ontbreken daarvan.

De verzameling van dergelijke aanvullende gegevens kan worden vergemakkelijkt als falende barrières en andere praktische onderdelen voor de analyse van ongevalgegevens in Storybuilder worden geïntegreerd in het onderzoek naar rapporteerbare ongevallen door de Arbeidsinspectie.

Onderzoek naar blootstelling kan ook periodiek worden geactualiseerd zowel op het niveau van de missie als dat van de arbeidsveiligheidsomstandigheden. Indien in de toekomst wijzigingen worden waargenomen in de basisinvoer van het model, kunnen ze in samenhang met het model worden gebruikt als indicatie of de arbeidsveiligheid toe- of afneemt. Aangezien het eenvoudiger is om wijzigingen van de blootstelling en/of arbeidsomstandigheden te observeren over relatief korte perioden, kunnen dergelijke wijzigingen worden gebruikt als indicator voor veranderingen in de arbeidsveiligheid in de nabije toekomst.

6.5.4 Internationaal gebruik

Het model is gedefinieerd door de Nederlandse context, is gebaseerd op gegevens over ongevallen uit Nederland en op metingen van de blootstelling onder de Nederlandse beroepsbevolking. Gezien het aantal geanalyseerde ongevalgegevens en de grootte van de steekproef voor de blootstellinggegevens waaruit statistieken voor de hele beroepsbevolking zijn afgeleid, kunnen de verworven inzichten ook internationaal relevant zijn. De logische modellen en de Nederlandse gegevens kunnen als basis dienen voor vergelijkingen met gelijksoortige bedrijfstakken in het buitenland. De databank van het ORM-programma is beschikbaar in het Nederlands of Engels.

6.6 Gekwantificeerde analyse van effecten op de gezondheid gerelateerd aan arbeid

Het huidige model behandelt alleen arbeidsongevallen. Het aantal doden vanwege werkgerelateerde gezondheidsproblemen in Nederland wordt geraamd op 4.000 per jaar. Het verdient dus aanbeveling om te onderzoeken of het model kan worden uitgebreid naar aan het werk gerelateerde gezondheidsrisico's. In dit project is onderzocht in hoeverre een model voor de analyse van de effecten op de gezondheid (Health Impact Assessment, HIA) vanwege chronische blootstelling kan worden ontwikkeld. Zoals aangegeven in paragraaf 5.5, is er onderzoek gedaan of het risicomodel voor de arbeidsveiligheid

(ORM) als basis kan worden gebruikt voor de kwantificering van bredere werkgerelateerde gezondheidsrisico's, zoals chronische blootstelling.

Het ORM voor ongevallen gaat uit van drie mogelijke eindresultaten, te weten dodelijk, blijvend of tijdelijk letsel. Dodelijk letsel kan ook worden gebruikt als eindresultaat voor een gezondheidsmodel. Het gebruik van dodelijk letsel als indicator resulteert echter in onderschatting van de schade aan de gezondheid, omdat bijvoorbeeld huidziekten niet tot een dodelijke afloop leiden. Hetzelfde probleem treedt op bij indicatoren zoals dagen arbeidsverzuim of ziekenhuisopname.

Een indicator voor aan werk gerelateerde schade aan de gezondheid zou een combinatie kunnen zijn van sterfgevallen, ziekten en andere gezondheidseffecten. Op nationaal niveau wordt het algemeen aanvaarde concept van DALY (Disability Adjusted Life Years) gebruikt bij onderzoek naar de mate waarin blootstelling aan bepaalde stoffen op het werk bijdraagt aan bepaalde ziekten. Dit concept kan ook nuttig zijn bij de integratie van het HIA-model en het ORM voor ongevallen omdat het mogelijk is de eindresultaten van het ORM om te zetten in DALY's.

De mogelijke toepassingen van een HIA model zijn zeer divers en daarom is één, allesomvattend model niet haalbaar. Vermoedelijk zal onderscheid moeten worden gemaakt tussen een model voor beleidsmakers op nationaal niveau en een model voor het midden- en kleinbedrijf. Daarom kunnen er verschillende implementaties van het HIA-model worden verwacht op basis van gelijksoortige gegevens.

Voor kwantificering van het HIA-model zijn gegevens nodig. Of het model haalbaar is, hangt in sterke mate af van de beschikbaarheid van gegevens. De beschrijvingen van ongevallen uit de GISAI-databank vormen een belangrijke basis voor het ORM. Deze beschrijvingen bevatten informatie over de wijze waarop een bepaald zich ongeval voordeed en onder welke condities en omstandigheden, vanwege het directe verband dat kan worden gelegd tussen het ongeval en de arbeidsomstandigheden. De koppeling tussen effect en arbeidsomstandigheden is voor het HIA-model minder duidelijk en de beschrijvingen van ziektegevallen zijn daarom niet direct te gebruiken. Het effect (ziekte) is het resultaat van een geaccumuleerde blootstelling gedurende vele jaren, en de aanwezigheid en conditie van barrières wisselen in de loop der tijd en deze zijn niet voldoende gedocumenteerd. Bovendien kan het effect het gevolg zijn van combinaties van chemicaliën, en heeft blootstelling gelijktijdig dan wel achtereenvolgend in de loop der tijd plaatsgevonden. Een ander aspect is de beschikbaarheid van de beschrijvingen van ziektegevallen. Er zijn vermoedelijk slechts beschrijvingen beschikbaar voor een beperkt aantal gevallen, zoals specifieke ziekten gelieerd aan asbest of CTE (chronische toxische encefalitis).

Dit zijn de uitdagingen die gesteld zijn voor toekomstig werk.

Literatuur

Ale B.J.M., 2006, The Occupational Risk Model, Final report of the Workgroup on ORM, TU Delft, Nederland

Ale B.J.M., Bellamy L.J., Papazoglou I.A., Hale A.R., Goossens L.H.J., Post J., Baksteen H., Mud M.L., Oh J.I.H., Bloemhoff A., Whiston, J.Y., 2006. ORM: Development of an integrated method to assess occupational risk, International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, May 13-19, 2006, New Orleans, ASME, New York, ISBN 0-7918-0244

Ale B.J.M., Bellamy L.J., Baksteen H., Damen M., Goossens L., Hale A.R., Mud M.L., Oh J.I.H., Papazoglou I.A., Whiston J.Y., 2007a. Accidents in the construction industry in the Netherlands: An analysis of accident reports using Storybuilder. Reliability Engineering and System Safety doi:10.1016/j.ress.2007.09.004

Ale B.J.M., Baksteen H., Bellamy L.J., Bloemhoff A., Goossens L., Hale A.R., Mud M.L., Oh J.I.H., Papazoglou I.A., Post J., and Whiston J.Y., 2007b. Quantifying occupational risk: The development of an Occupational Risk Model. Safety Science, In Press, doi:10.1016/j.ssci.2007.02.001

Ale B.J.M., Bellamy L.J., Baksteen H., Damen M., Goossens L.H.J., Hale A.R., Mud M.L., Oh J.I.H., Papazoglou I.A., Whiston J.Y., 2007c, Using Storybuilder to analyse accident reports for causes and cures in Aven and Vinnem eds, Risk, Reliability and Societal Safety, Taylor and Francis, ISBN 978-0-0415-44786-7 pp 1217-1224

Aneziris O.N., Papazoglou I.A., Baksteen H., Mud M.L., Ale B.J.M., Bellamy L.J., Hale A.R., Bloemhoff A., Post J., Oh J.I.H., 2007. Quantified risk assessment for fall from height. Safety Science, in press, doi:10.1016/j.ssci.2007.06.034

Aneziris O. N., Papazoglou I.A., Mud M.L., Damen M., Kuiper J., Baksteen H., Ale B.J.M., Bellamy L.J., Hale A.R., Bloemhoff A., Post J.G., Oh J.I.H., 2008. Towards risk assessment for crane activities. Safety Science, In Press, Available online 4 January 2008

Baars A.J., Pelgrom S.M.G.J., Hoeymans F.H.G.M., Raaij M.T.M. van, 2005, Gezondheidseffecten en ziektelast door blootstelling aan stoffen op de werkplek – een verkennend onderzoek, RIVM-rapport 320100001

Baker J.A., 2007. The Report of the BP U.S. Refineries Independent Safety Review panel, January 2007

Baksteen H., Mud M., Bellamy L.J., 2007. Accident Analysis using Storybuilder: Illustrated with overfilling accidents including Buncefield, UK. Tiende symposium 'Preventie van zware ongevallen', Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal overleg, 22 November 2007, Brussel <http://www.werk.belgie.be/defaultTab.aspx?id=13696>

Bellamy L.J., Papazoglou I.A., Hale A.R., Aneziris O.N., Ale B.J.M., Morris M.I., Oh J.I.H., 1999. I-Risk: Development of an integrated technical and management risk control and monitoring methodology for managing and quantifying on-site and off-site risks. Contract ENVA-CT96-0243. Report to European Union. Ministry of Social Affairs and Employment, Den Haag

- Bellamy, L.J., Mud M.L., Hale A.R., Baksteen, H., Ale, B., 2005. Rules for scenario modelling. Rev 5. WORM, 13 June 2005
- Bellamy L.J. Oh J.I.H., Ale B.J.M., Whiston J.Y., Mud. M.L, Baksteen H., Hale, A.R., Papazoglou, I.A., 2006. Storybuilder: The new interface for accident analysis, International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, May 13-19, 2006, New Orleans, ASME, New York, ISBN 0-7918-0244
- Bellamy L.J., Ale B.J.M., Geyer T.A.W., Goossens L.H.J., Hale A.R., Oh J.I.H., Mud M.L., Bloemhoff A., Papazoglou I.A., Whiston J.Y., 2007. Storybuilder—A tool for the analysis of accident reports, Reliability Engineering and System Safety 92 (2007) 735–744
- Bellamy L.J., Ale B.J.M., Whiston, J.Y., Mud M.L., Baksteen H., Hale A.R., Papazoglou I.A., Bloemhoff A., Damen M. and Oh J.I.H., 2008. The software tool Storybuilder and the analysis of the horrible stories of occupational accidents. Safety Science 46 (2008) 186-197
- Berg C.H. van den, H.J. Mak, A.W. Zwaard (red.), 2007, Praktijkgids arbeidsveiligheid 2007, Samsom, Alphen aan den Rijn
- Bloemhoff, A., Klein Hesselink D.J., Breejen F. ten, Leidelmeijer K., Kuiper J., Whitehouse R., Bellamy L.J., Oh J.I.H., 2006. The search for exposure data. 3rd International Congress Working on Safety, 12-15 September 2006, 'De Eemhof', the Netherlands
http://workingonsafety.net/conferences/eemhof_2006/
- Bossche S.N.J. van den, Hupkens C.L.H., Ree S.J.M. de, Smulders P.G.W., 2006. De Nationale Enquête Arbeidsomstandigheden 2005: methodologie en globale resultaten. TNO Kwaliteit van Leven, Hoofddorp
- CBS, 2006. Methoden en definities Enquête Beroepsbevolking 2005. CBS, Voorburg/Heerlen.
Elias P., Birch M., 1994. Establishment of Community-Wide Occupational Statistics. ISCO 88 (COM) - A Guide for Users. Institute for Employment Research, University of Warwick, February 1994
- Eijk V. van, Samwel-Luijt M., Eykelestam A.J., Bellamy L.J., Jørgensen K., Bloemhoff A., Oh J.I.H., 2006. Reported occupational injuries in the Netherlands, United Kingdom and Denmark: An international comparison. 3rd International Congress Working on Safety, 12-15 September 2006, 'De Eemhof', the Netherlands
http://workingonsafety.net/conferences/eemhof_2006/
- Elias, P. & Birch, M. 1994. Establishment of Community-Wide Occupational Statistics. ISCO 88 (COM) - A Guide for Users. Institute for Employment Research, University of Warwick
- Eykelestam A.J. Bloemhoff A., Eijk, V. van, Samwel-Luijt, M., Oh J.I.H., 2006 Data warehouse DAVE as a storage and delivery tool for occupational accident and exposure data, 3rd International Congress Working on Safety, 12-15 September 2006, 'De Eemhof', the Netherlands
http://workingonsafety.net/conferences/eemhof_2006/
- European Commission, 2001. European Statistics on Accidents at Work (ESAW) – Methodology. Doc. ESTAT/E3/HSW/2001/1130, DG Employment and social affairs

European Commission, 2002. Statistical Classification of Economic Activities in the European Community, Revision 1.1. <http://ec.europa.eu/eurostat/ramon>

Haddon Jr. W. 1973. Energy damage and the ten countermeasure strategies. In: Human Factors, 15, p.355 August 1973

Hale, A.R., Goossens L.H.J., Ale B.J.M., Bellamy L.J., Post J., J.I.H. Oh, Papazoglou I.A., 2004, Managing Safety Barriers and Controls at the Workplace, Proceedings of PSAM7 (C.Spitzer , U.Smocker and V.N. Dang eds), ISBN 185233827X, Springer

Hale, A.R., Ale B.J.M., Paas C., Quik J.T., Mud M.L., Bellamy L.J., Whiston J., Baksteen H., Post J., Uijt de haag P.A.M., Geijer T., Oh J.I.H., Papazoglou I.A., 2005, Using Barrier concepts to understand priorities in the prevention of occupational accidents, in Kolowrocki (ed), Advances in Safety and Reliability, Taylor and Francis Group, London, UK, ISBN, 0 415 38340 4

Hale, A.R. Ale B.J.M., Goossens L.H.J., Heijer T., Bellamy L.J., Mud M.L., Roelen A., Baksteen H., Post J., Papazoglou I.A., Bloemhoff A., Oh J.I.H., 2007. Modeling accidents for prioritizing prevention Reliability engineering and system safety 92(2007)12(December) p. 1701-1715

Kurowcka, D., Cooke R.M., Goossens L.J.H., Ale B.J.M., 2006, Expert Judgement study for Placement Ladder Bowtie, in C.Guedes Soares and E. Zio (eds) Safety and Reliability for Managing Risk, pp 21-28, London, Taylor and Francis Group

Mud M.L., 2005. Modelleren van arbeidsongevallen in Nederland, NVVK congres 2005, http://www.veiligheidskunde.nl/upl_documents/sessie%20D,%20Martijn%20Mud.pdf, NVVK

Mud, M.L., 2006. [Modelleren van arbeidsongevallen – contact met agressor](#), Tijdschrift voor Veiligheid 2006 (5) 2

Mud M.L., Bellamy L.J. et al., 2006, NVVK workshop Storybuilder Oct and Nov 2006, http://www.veiligheidskunde.nl/upl_documents/1461.pdf, NVVK; www.Storybuilder.eu/catalog.htm , White Queen BV.

Mud M.L., 2007, Storybuilder en de analyse van ongevallen, NVVK info februari 2007, http://www.nvvk.info/upl_documents/1611.pdf, NVVK

NEN (Dutch Standards Institute) 2005. Praktijk gids persoonlijke beschermingsmiddelen, Delft

Nijpjes D., 2007. Veiligheidszakboekje, Reed Business, Maarssen

Oh J.I.H., Brouwer W.G.J., Bellamy L.J., Hale A.R., Ale B.J.M. & Papazoglou I.A., 1998. The I-Risk project: development of an integrated technical and management risk control and monitoring methodology for managing and quantifying on-site and off-site risks. in Mosleh A. & Bari R.A. (eds.) Probabilistic Safety Assessment and Management. Springer. London. 2485-2491

Papazoglou I.A., Bellamy L. J., Hale A. R., Aneziris O. N., Ale B.J.M., Post J.G. and Oh J I.H., 2003. I-Risk: development of an integrated technical and management risk methodology for chemical installations, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 16, Issue 6, 575-591

Papazoglou I.A., Aneziris O., Post J., Baksteen H., Oh J.I.H., Bellamy L.J., Mud M.L., Bloemhoff A., 2006. Logical Models for Quantification of Occupational Risk: Falling from Mobile Ladders. Proceedings of the 8th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management [PSAM], May 13-19, 2006, New Orleans, ASME, New York, 2006, ISBN 0-7918-0244

Papazoglou I.A., Ale B.J.M., 2006, Functional block diagrams and automated construction of event trees, International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, May 13-19, 2006, New Orleans

Papazoglou I.A., Ale B.J.M., 2007. A logical model for quantification of occupational risk, Reliability Engineering & System Safety 92 (6): 785-803, JUN 2007

Postma P., Gouw F. de, 2007. Business plan ORM-model, Paul Postma Marketing Consultancy, Nieuwegein, the Netherlands

Rimington J., McQuaid J., Trbojevic V., 2003. Application of risk-based strategies to workers' health and safety protection: UK experience, ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, the Netherlands, ISBN 9059012755

Samwel, M., Eijk, V. van, 2007. Toepassing van de analysetool Storybuilder in de beoordeling van risico's van consumentenproducten. Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 20 (2007-02) supplement 152-156

Santen R.J. van, 2007. Steigerongeval Amercentrale, Arbeidsinspectie ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Den Haag

Venema A., Bloemhoff A., 2004. Monitor Arbeidsongevallen in Nederland 2002, TNO Arbeid en Stichting Consument en Veiligheid

Venema A., Jettinghoff K., Bloemhoff A., Stam C., 2007. Monitor Arbeidsongevallen in Nederland 2005. Hoofddorp, TNO Kwaliteit van Leven

Bijlage 1 Woordenlijst

Activiteit

Activiteit is gedefinieerd als de specifieke fysieke activiteit van de werkende persoon die een risico loopt. Bij deze activiteit zijn werknemers blootgesteld aan een of meer gevaren die kunnen leiden tot een arbeidsongeval. In ORM worden twee soorten activiteitenlijsten gebruikt. Een van de lijsten is gebaseerd op de Deense gegevens over arbeidsongevallen (RAW) en de ESAO-classificatie van specifieke fysieke activiteiten. De andere is een lijst van activiteiten die direct zijn gerelateerd aan een specifiek gevaar, bijvoorbeeld werken in een zone waar vallende voorwerpen kunnen voorkomen.

Agens

Agens is gedefinieerd als het belangrijkste werktuig, voorwerp of agens dat is gekoppeld aan de specifieke fysieke activiteit van de werkende persoon die aan het gevaar is blootgesteld. De lijst met agentia, die is opgenomen in het ORM, is gebaseerd op de desbetreffende ESAW-classificatie.

Arbidsongeval

Een ongeval dat tijdens het werk plaatsvindt – zie Ongeval.

Barrière

Een barrière¹⁷ (zoals gebruikt in de ongevalsmodellen van Storybuilder) is een fysieke entiteit (voorwerp, staat of conditie) die als obstakel werkt in een ongevalspad. Barrières kunnen worden opgezet of versterkt door acties (maatregelen). Ze zijn alleen effectief bij goed beheer (beheerscyclus: verschaffen – gebruiken – onderhouden – inspecteren).

In het gekwantificeerde risicomodel heeft de barrière (of basisgebeurtenis/blokkade) tot doel te verhinderen dat iets gebeurt (bijvoorbeeld de centrale gebeurtenis) of om de gevolgen van iets dat al is gebeurd, te beperken en op die manier de waarschijnlijkheid van de centrale gebeurtenis of de gevolgen daarvan te beïnvloeden.

Voorbeelden hiervan zijn de vaardigheid van de gebruiker of de stabiliteit van de installatie. In ORM worden twee typen onderscheiden die worden aangeduid met de termen ondersteunende veiligheidsbarrière en primaire veiligheidsbarrière.

¹⁷ Het model risico – barrière – doel is oorspronkelijk gebaseerd op een artikel van William Haddon jr., 1973.

Sinds meer dan 30 jaar worden potentiële ongevallen in de veiligheidswetenschap gemodelleerd volgens het model risico – barrière – doel.

Met name arbeidsongevallen zijn gemodelleerd met dit model. Bij het model voor arbeidsongevallen is de mens het doel (in andere modellen kon het doel ook het milieu of het bedrijfsrendement zijn). Het risico is het fysieke of chemische verschijnsel dat schade aan het doel toebrengt als dit vrijkomt uit de geëigende verpakking. Barrières worden opgezet om te verhinderen dat het doel schade oploopt door het risico.

Typische barrièrefuncties zijn:

- preventie van de aanwezigheid, opbouw of vrijkomen van het/de gevaarlijke agens/energie;
- ruimtelijke of chronologische afscheiding van het/de gevaarlijke agens/energie (veilige afstand of veilig moment);
- preventie van ongewenste transmissie van energie/gevaarlijke agentia;
- preventie van incompatibele stoffen;
- preventie van onveilige procescondities (met betrekking tot volgorde, temperatuur, druk, samenstelling);
- preventie van onveilige fysieke condities (met betrekking tot structurele integriteit, sterkte, stabiliteit).

Barrière-taak

Dit is het beheersaanleversysteem van hulpmiddelen, beheersmechanismen en criteria die aan de barrières worden geleverd door middel van vier categorieën taken: verschaffen, gebruiken, onderhouden en inspecteren. Een barrière faalt als een van deze taken faalt. De taken, in het bijzonder de taken voor het gebruik en onderhoud, worden uitgevoerd op een laag niveau in het algemene systeem, dat wil zeggen: op het barrièreniveau waar bedieners, werknemers en onderhoudsmonteurs werkzaam zijn. De taak voor het verschaffen is daarentegen vaak een taak op directieniveau.

De taak faalt als volgt:

- **Verschaffen-[barrière] faalt**

Deze bestaat niet, is niet goed ontworpen, ontbreekt of is niet voldoende/gemakkelijk beschikbaar als men deze wil gebruiken. Een dergelijke barrière kan een installatie zijn of een specifieke methode (reeks, samenstelling, of andere parameter(s) met veilige limieten).

- **Gebruiken-[barrière] faalt**

De juiste barrière is verschaft, maar de verschafte barrière wordt onjuist gebruikt, slechts deels gebruikt of helemaal niet gebruikt. Er is ook sprake van falen op het niveau van ‘gebruiken’ als iemand een andere barrière kiest dan de daartoe geëigende, ondanks het feit dat de juiste beschikbaar is.

- **Onderhouden-[barrière] faalt**

De barrière is niet beschikbaar voor de oorspronkelijk bedoelde functie, dat wil zeggen verkeert niet in een adequate conditie. Dit aspect omvat niet alleen het onderhoud, maar ook het wijzigingenbeheer voor een barrière, dat wil zeggen als een barrière is gewijzigd zonder controle op het behoud van de oorspronkelijke barrièrefunctie.

- **Inspecteren-[barrière] faalt**

De conditie van de barrière is niet gecontroleerd/gemeten/geobserveerd/geïnspecteerd. Deze taak staat direct in verband met de conditie van de barrière, of met het toezicht op het gebruik van de barrière.

Barrier Failure Mode (BFM)

De BFM is een wijze waarop een barrière kan falen in een ongevalsscenario, bijvoorbeeld een structuur die niet sterk genoeg is voor de daarop uitgeoefende belasting.

Bedrijfstak

De bedrijfstak is de economische activiteit van de werkgever. De lijst van bedrijfstakken die is opgenomen in het model, is de internationale NACE-classificatie (European Commission, 2002).

Beheersaanlevering

Beheersaanleveringen zijn de hulpmiddelen en verplichtingen die worden aangeleverd door de bestaande beheerssystemen, via de taken aan het technische systeem waarmee de barrières tot stand worden gebracht die ongevallen moeten voorkomen en/of hun gevolgen moeten beperken. Het falen van een beheersaanlevering kan worden beschouwd als onderliggende reden (of basisreden) voor een ongeval.

Beheersaanleversystemen

Beheersaanleversystemen zijn subsystemen van het beheerssysteem. Deze subsystemen leveren de nodige beheersmechanismen, criteria en hulpmiddelen voor de taken (verschaffen, gebruiken, onderhouden en inspecteren) waarmee de barrières intact worden gehouden. Deze beheersmechanismen, criteria en hulpmiddelen zijn verwerkt in acht systemen (afgeleid van een in het I-Risk-project [Bellamy et al., 1999] uitgevoerde taakanalyse van veiligheidsbeheer). Deze acht systemen zijn Plannen &

Procedures, Beschikbaarheid, Competentie, Communicatie/Samenwerking, Motivatie/Inzet, Conflicterende belangen, Ergonomie en Materiaal.

Beperken

De beperking van de ernst van de gevolgen van een ongeval door gebeurtenissen aan de rechterkant van de centrale gebeurtenis in een bow tie, bijvoorbeeld maatregelen voor noodsituaties.

Beroep

Een beroep is gedefinieerd als het werk van het slachtoffer van het ongeval. De beroepenlijst die is opgenomen in het model, is gebaseerd op de internationale classificatie ISCO-88-COM¹⁸.

Blijvend letsel

Blijvend letsel is letsel dat naar alle redelijkheid meer dan twee jaar na zijn ontstaan nog voortduurt. Hierbij kunnen twee situaties worden onderscheiden:

1. De functie van het lichaamsdeel is gedeeltelijk aangetast gedurende ten minste twee jaar. Het lichaamsdeel met letsel zal niet meer geheel herstellen na een revalidatieperiode en de oorspronkelijke functie van het desbetreffende lichaamsdeel is gedeeltelijk aangetast. Als resultaat zal de persoon met letsel alleen gedeeltelijk naar het werk terugkeren na revalidatie. Significante variabelen zijn de verloren dagen tijdens de revalidatieperiode gedurende welke de persoon niet kon werken of alleen deeltijds kon werken en de verloren jaren ten gevolge van het invaliditeitspercentage, bijvoorbeeld een persoon die slechts 2 dagen kan werken in plaats van 5.
2. De functie van het lichaamsdeel is volledig aangetast gedurende ten minste twee jaar. Het lichaamsdeel met letsel zal niet meer geheel herstellen na een revalidatieperiode en de oorspronkelijke functie van het desbetreffende lichaamsdeel is volledig aangetast. Als resultaat zal de persoon met letsel niet meer terugkeren naar het werk.

Blootstelling

De tijdsduur of het tijdspercentage gedurende welke werknemers een activiteit verrichten waarbij ze zijn blootgesteld aan een bepaalde gevaarlijke omstandigheid. Voorbeeld:

- aantal uren per jaar dat wordt gewerkt op een ladder = aantal uren blootstelling aan een potentiële val van een ladder; of
- percentage van de tijd dat een ladder wordt gebruikt zonder antisliptreden = tijdspercentage dat een populatie gebruikers is blootgesteld aan het werken op ladders zonder antisliptreden.

Bow tie

Het complete model bestaat uit een geheel van gebeurtenissen die samen een logische structuur vormen die met een zekere mate van waarschijnlijkheid van oorzaken naar ongevallen leidt. Dit model heet een bow tie (vlinderdas). Een dergelijk model is vrij abstract en moeilijk te begrijpen voor degenen die niet bekend zijn met de complexe wiskunde van logische en numerieke boomstructuren. Daarom worden gebeurtenissen die al dan niet voorkomen (niet-gebeurtenissen) en die verhinderen dat een oorzaak zich verder ontwikkelt en tot een ongeval leidt, barrières genoemd in de oorzakelijke keten. Bij de modellering zijn deze barrières verder onderverdeeld in twee typen: primaire veiligheidsbarrières die direct voorkomen in de oorzakelijke keten die leidt tot de centrale gebeurtenis, en ondersteunende veiligheidsbarrières die moeten voorkomen dat de primaire veiligheidsbarrières falen. De condities van

¹⁸ In de context van de ISCO-88 (International Standard Classification of Occupation) wordt een beroep gedefinieerd als een verzameling taken en plichten die door een persoon worden uitgevoerd (of aan die persoon worden toegewezen).

de barrières bepalen de waarschijnlijkheid van de daaropvolgende gebeurtenissen. Afwijkende gebeurtenissen in Storybuilder worden weergegeven als falende primaire barrières in de bow tie.

Centrale gebeurtenis

Een centrale gebeurtenis is het middelpunt van een bow tie of storybuild waardoor alle ongevalspaden voor die bow tie of storybuild lopen. Het is het punt waar het gevaarlijke agens vrijkomt in de reeks van gebeurtenissen en het is kenmerkend voor het risico, bijvoorbeeld vallen van dak, vrijkomen van schadelijke stoffen, contact met handgereedschap.

DDF (Dose Determining Factor): factor die de mate van blootstelling bepaalt

Factoren die de mate van blootstelling bepalen, zijn factoren die ook mede bepalen wat de ernst van de gevolgen van een centrale gebeurtenis zal zijn. Per definitie worden deze factoren rechts van de centrale gebeurtenis weergegeven, waar zij de omvang van het effect van het gevaarlijke agens bepalen, bijvoorbeeld de hoogte van een val, het gewicht van een vallend object of de snelheid van een voertuig.

Doeltreffendheid

Doeltreffendheid is de mate waarin een maatregel de waarschijnlijkheid van een negatieve conditie van een PIE kan beperken, uitgedrukt als percentage. Het percentage geeft aan met hoeveel procent het verschil tussen de huidige conditie van de PIE en de ideale conditie wordt verminderd.

Dood

In ORM is de dood gedefinieerd als het resultaat van een arbeidsongeval dat de dood als gevolg heeft binnen het tijdsbestek van een jaar na het ongeval. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de slachtoffers die binnen een jaar na het ongeval sterven, niet tussentijds terugkeren op hun werk. De persoon die dodelijk letsel oploopt, keert dus niet terug op het werk en sterft binnen een jaar.

De definitie van de ESAW (Europese Commissie, 2001) van een ongeval met dodelijke afloop is een ongeval op het werk met de dood van het slachtoffer als gevolg binnen een jaar (na de dag) van het ongeval. In feite zal bij de meeste arbeidsongevallen de dood intreden direct tijdens het ongeval, of binnen een paar dagen of weken na het ongeval.

ESAW

European Statistics on Accidents at Work. Een project, uitgevoerd in opdracht van de Europese Commissie, met als doel om vergelijkbare gegevens over arbeidsongevallen in de Europese Unie te verzamelen en op te nemen in een databank.

Gevaar

Een gevaar is iets dat potentieel schade kan berokkenen.

GISAI

Geïntegreerd InformatieSysteem ArbeidsInspectie, het geïntegreerde informatiesysteem van de Nederlandse Arbeidsinspectie.

Left Hand Side (LHS)

Geeft de positie van een blokkade (factor) in het bow-tiemodel aan. LHS betekent links van de centrale gebeurtenis, dat wil zeggen eraan voorafgaand. Voorbeeld: een LHS-barrière kan voorkomen dat de centrale gebeurtenis plaatsvindt (preventie).

LCE (Loss of Control Event)

Loss of control event is een gebeurtenis die voorkomt als een primaire veiligheidsfunctie faalt. In de volgorde van het ongevalspad is deze gebeurtenis de directe oorzaak die leidt tot de centrale gebeurtenis. LCE's kunnen in de scenariomodellen ook rechts worden weergegeven als gebeurtenissen die direct leiden tot de (ernst van de) gevolgen.

Maatregel

Een maatregel is gedefinieerd als een verzameling specifieke acties die resulteren in een gewijzigde waarschijnlijkheid van PIE's. Een maatregel versterkt barrières door de waarschijnlijkheid te verminderen dat de barrière zich in een zogenaamde negatieve conditie bevindt. Voor een maatregel wordt een doeltreffendheidspercentage opgegeven (zie Doeltreffendheid).

De kenmerken van maatregelen kunnen als volgt worden omschreven: het bronkenmerk omschrijft de maatregel zelf. Het toepassingskenmerk omschrijft de omgeving waarop het van invloed is. Als de kenmerken elkaar overlappen, wordt de belangrijkste functie gekozen als maat voor de doeltreffendheid. Dit onderscheid is bedoeld als hulpmiddel bij het schatten van de doeltreffendheid. De volgende werkdefinities zijn gebruikt als richtlijn voor de indeling in categorieën:

Technisch/installaties

Als bron: voorwerp, materiaal of machine(onderdeel) dat/die ten minste een van de volgende functies verricht in een arbeidsproces: werkt binnen gedefinieerde (veilige) grenswaarden, detecteert storingen, geeft signalen/waarschuwingen, beschermt tegen de gevolgen van werkingen buiten de grenswaarden. Als toepassing: levert en versterkt de zojuist vermelde functies van voorwerpen, materiaal en machines.

Procedureel/organisatie

Als bron: bedrijfsbeslissingen/-acties en regels/werkprocedures die het arbeidsproces structureren. Als toepassing: levert en versterkt de organisatorische structuur en stroomlijnt het arbeidsproces.

Gedragsgebonden/mensen

Als bron: individuele beslissingen/acties op basis van kennis, vaardigheden en houdingen tijdens de uitvoering van taken/functie/rol. Als toepassing: levert, verbetert, beïnvloedt kennis, vaardigheden en houdingen.

Missie

De activiteiten of situaties gedurende welke een werkende persoon het risico loopt op een ongeval, zoals beschreven in de centrale gebeurtenis van de bow tie. Voor kwantificering van de risico's in ORM is de totale duur (aantal uren) van blootstelling aan elk van deze missies onder de Nederlandse beroepsbevolking nodig.

Een definitie van een missie is bijvoorbeeld voor de bow tie 'Botsing met bewegend voertuig': Het aantal uren dat werknemers zich als voetganger op werkplekken bevinden in aanwezigheid van bewegende voertuigen. Het kan hier gaan om werk in industriële gebouwen, in pakhuizen of op laadperrons, of langs de openbare snelweg, bijvoorbeeld in het geval van wegwerkers, vuilnislieden, monteurs van pechhulpdiensten, bezorgers of politieagenten. Gewone verkeersactiviteiten als gebruiker van de openbare weg (inclusief forenzen en zakenreizigers) zijn hierbij niet inbegrepen.

Modaliteiten voor falen

Zie Barrier Failure Mode (BFM).

Ondersteunende veiligheidsbarrière

Dit is een barrière die als ondersteuning dient voor de primaire veiligheidsbarrière zodat deze minder kans op falen heeft. De vaardigheid van een gebruiker is bijvoorbeeld een ondersteunende barrière die de primaire veiligheidsbarrière ‘stabiliteit van de gebruiker’ ondersteunt.

Ongeval

Een onvoorzien incident, zonder opzettelijke bedoeling om schade, letsel of de dood te veroorzaken, maar dat toch resulteert in letsel. Het risicomodel voor arbeidsveiligheid gaat hierbij uit van gemelde, rapporteerbare arbeidsongevallen in Nederland tussen 1998 en februari 2004, op basis van de gegevens van de GISAI-databank van de Arbeidsinspectie.

In de Arbowet 1998 wordt een arbeidsongeval gedefinieerd als een ongewilde, plotselinge gebeurtenis, die schade aan de gezondheid tot onmiddellijk gevolg heeft gehad en heeft geleid tot ziekteverzuim, of de dood tot vrijwel onmiddellijk gevolg heeft gehad.

Volgens de Europese definitie (European Commission, 2001) is het een afzonderlijk voorval tijdens het werk dat lichamelijk letsel of geestelijke schade als gevolg heeft. De specificatie ‘tijdens het werk’ betekent: terwijl de betrokkene bezig was met arbeid gedurende op het werk doorgebrachte tijd. Dit omvat ook ongevallen tijdens het werk buiten de werkplaats, zelfs als deze worden veroorzaakt door een derde partij, en gevallen van acute vergiftiging. Gevallen die alleen een medische oorsprong hebben (zoals een hartaanval op het werk) vallen niet onder de arbeidsongevallen.

Ongevallen waarbij ernstig lichamelijk of geestelijk letsel wordt opgelopen, of die de dood tot gevolg hebben, moeten in Nederland worden gemeld. Onder ernstig letsel wordt verstaan schade aan de gezondheid, die binnen 24 uur na het ongeval tot ziekenhuisopname leidt voor observatie of behandeling, of letsel dat naar alle redelijkheid als blijvend kan worden aangemerkt. Verkeersongelukken tijdens het forenzen, zelfs in het kader van het werk, zijn uitgesloten. Deze worden gerekend tot de verkeersongevallen en maken geen deel uit van de gegevens van de Arbeidsinspectie.

Niet alle arbeidsongevallen worden gemeld. Andere informatiebronnen zijn onder andere het Letsel Informatie Systeem (LIS) van Stichting Consument en Veiligheid. De bronnen zijn afkomstig van slachtoffers die zich meldden bij de eerste hulp van een ziekenhuis. Een andere bron zijn de gegevens over de beroepsbevolking van het Centraal Bureau voor de Statistiek. Een ongeval wordt gedefinieerd als een plotselinge, ongewilde en onvoorziene gebeurtenis die lichamelijk letsel tot gevolg heeft; opzettelijke geweld of voedselvergiftiging zijn hierbij uitgesloten, evenals arbeidsongevallen met dodelijke afloop.

De volgende gegevens worden min of meer in heel Europa gebruikt:

1. ongevallen op het werk met dodelijke afloop (ongevallen die binnen een jaar de dood tot gevolg hebben);
2. ongevallen op het werk resulterende in meer dan 3 dagen arbeidsverzuim (en verder: een half jaar, een jaar afwezigheid, blijvende invaliditeit enzovoort);
3. ongevallen op het werk resulterende in 1 tot 3 dagen arbeidsverzuim;
4. ongevallen met letsel als gevolg maar niet resulterende in arbeidsverzuim.

De bekende classificaties in Nederland zijn echter gebaseerd op de registratiemethode:

- 1) dodelijk – 2) medische behandeling – 3) geen medische behandeling (Nederlandse onderzoeken).
- 1) dodelijk – 2) blijvend letsel – 3) ziekenhuisbehandeling (Arbeidswet; Arbowet).

Ongevalspad

Een ongevalspad is een gedefinieerde route door een structuur van gebeurtenissen in chronologische volgorde; deze structuur is een storybuild of een bow tie. Alle ongevalspaden lopen door de centrale gebeurtenis van een bow tie. Alle ongevalspaden hebben een uniek nummer zodat hun oorsprong altijd traceerbaar is. Een ongeval kan een pad hebben dat wordt uitgesplitst in subpaden, als er meer dan één slachtoffer is bij het ongeval en de effecten en/of gevolgen verschillen.

PIE (Probability Influencing Entity): factor die van invloed is op de waarschijnlijkheid)

PIE's zijn factoren die van invloed zijn op de waarschijnlijkheid dat de *veiligheidsbarrière* in een goede conditie verkeert. Deze factoren bestaan uit de specifieke arbeidsveiligheidsomstandigheden die van invloed zijn op de conditie van de barrières. Voor elke veiligheidsbarrière kunnen een of meer PIE's worden geïdentificeerd. De PIE's zijn onderling onafhankelijk en elke PIE draagt bij aan de conditie van de barrière. Voor de kwantificering van ORM zijn er gegevens geanalyseerd over het gemiddelde aantal gevallen dat PIE's in slechte conditie verkeren, uitgedrukt als percentage van de totale tijd dat werknemers van de Nederlandse beroepsbevolking aan het desbetreffende bow-tiegevaar zijn blootgesteld.

PIE-actie

Een PIE-actie is een actie die, wanneer deze wordt uitgevoerd door een bedrijf/werknemer, van invloed is op de conditie van de bijbehorende *PIE*. In ORM komt een PIE-actie altijd voor in combinatie met een *maatregel*. Een PIE-actie geeft aan wat er moet worden gedaan of wat er wordt gecontroleerd indien een maatregel wordt toegepast. Elke combinatie PIE-actiemaatregel heeft een eigen doeltreffendheid.

Preventie

Preventie werkt in op de oorzaken aan de linkerzijde van de centrale gebeurtenis van een bow tie, zodat de centrale gebeurtenis wordt voorkomen.

Primaire veiligheidsbarrière

Een primaire veiligheidsbarrière is een barrière die bij falen zal resulteren in de centrale gebeurtenis. 'Stabiliteit van de gebruiker' van een ladder is een voorbeeld van een primaire veiligheidsbarrière.

Rapporteerbaar arbeidsongeval

Een rapporteerbaar arbeidsongeval is een onvoorziene en ongewilde gebeurtenis die plaatsvindt tijdens het uitvoeren van een betaalde beroepsactiviteit, zonder opzettelijke bedoeling om schade, letsel of de dood te veroorzaken, maar die toch resulteert in onmiddellijke schade aan de gezondheid en uiteindelijk in zwaar fysiek of mentaal letsel of zelfs de dood. Schade aan de gezondheid die binnen 24 uur na het ongeval leidt tot opname in het ziekenhuis voor observatie of behandeling, wordt beschouwd als ernstig letsel, evenals letsel dat redelijkerwijs als blijvend kan worden beschouwd. Werkgevers zijn wettelijk verplicht om ernstige arbeidsongevallen binnen 24 uur te melden bij de Arbeidsinspectie (Arbowet, artikel 9, lid 1).

RAW

Register Accidents at Work: de Deense instantie voor arbeidsomgevingen waar rapporteerbare arbeidsongevallen worden gemeld die hebben geleid tot ten minste een dag arbeidsverzuim.

Right Hand Side (RHS)

Geeft de positie van een blokkade (factor) in het bow-tiemodel aan. RHS betekent rechts van de centrale gebeurtenis, dat wil zeggen erop volgend. Voorbeeld: een RHS-barrière kan het gevolg van de centrale gebeurtenis beperken.

Risico

Een risico is de waarschijnlijkheid dat een gevaar bepaalde schade aan iets of iemand zal toebrengen.

Tijdelijk letsel

Tijdelijk letsel is letsel aan een lichaamsdeel dat na een periode van revalidatie geheel zal herstellen of dat zijn oorspronkelijke functie weer geheel zal terugkrijgen. Als resultaat kan de persoon met letsel na de revalidatieperiode weer terug aan het werk. De significante variabele is het aantal verloren dagen tijdens de revalidatieperiode gedurende welke de persoon niet kon werken of alleen deeltijds kon werken.

Scenario

Een scenario is een chronologische reeks gebeurtenissen waarmee een ongeval wordt beschreven, de gebeurtenissen die het ongeval hebben veroorzaakt en de gebeurtenissen die tot de uitkomst ervan leiden.

Storybuild

Een storybuild is een grafische weergave van gebeurtenissen die bestaan uit oorzaken en effecten, in de vorm van een bow tie met een middelpunt waar alle ongevalspaden doorheen lopen. Een storybuild is opgebouwd volgens een verzameling regels (Bellamy, 2005). Storybuilds worden gemaakt met het programma Storybuilder. De storybuildstructuren zijn vastgelegd na de eerste 100 geanalyseerde ongevallen voor een bepaald type centrale gebeurtenis, zoals een val. Vervolgens zijn nieuwe ongevallen toegevoegd zonder wijziging van de basisstructuur. Aan de linkerzijde staan de gebeurtenissen waardoor een ongeval is veroorzaakt. Nog verder links staan de onderliggende oorzaken, zoals evenwichtsverlies, met de reden, bijvoorbeeld gebrek aan de juiste competenties of het niet-dragen van de juiste schoenen. Aan de rechterzijde staan de gevolgen van een gebeurtenis met het gevaarlijke agens, zoals de gevolgen van vallen, het botsen met een voorwerp ten gevolge van een val, vallen vanaf een bepaalde hoogte, op de grond vallen, met letsel en mogelijk blijvend letsel als gevolg. De namen van de storybuilds zijn gebaseerd op de centrale gebeurtenis en soms op de activiteit die tot de centrale gebeurtenis leidt, zoals een val van een ladder of contact met de bewegende delen van een machine. De 36 storybuilds die zijn gebouwd op basis van ongevallen, zijn verder uitgewerkt in 64 bow ties.

Veiligheidsbarrière

Zie barrière, ondersteunende veiligheidsbarrière, primaire veiligheidsbarrière.

Bijlage 2 Overzicht van storybuilds en bow ties

Opmerking:

Er ontbreekt een aantal storybuildnummers in deze reeks:

Storybuild 16: *LOC (loss of containment) gevaarlijke stoffen (passief)*. Dit is nu een onderdeel van storybuild 15 LOC – uit een normaal gesloten verpakking, en van bow tie 15.4.

Storybuild 18: *Blootstelling aan schadelijk lawaai* (slechts 8 gevallen gevonden). Deze is gecombineerd met storybuild 27 Explosie.

Storybuild 19: *Blootstelling aan schadelijke niet-ioniserende straling* (slechts 3 gevallen gemeld) is niet in de verzameling opgenomen.

Storybuild 21: *Beklemd in een gevaarlijke ruimte* is geïntegreerd in storybuild 22.

Bow-tiemodel 1.1.1.4 *Vallen van hoogte – touwladder* hiervoor zijn alleen missiegegevens bekend en dit is daarom geen volledig gekwantificeerde bow tie vanwege gebrek aan gegevens.

Nr	Storybuild – nummer en naam	Nr	Bow-tiemodel – nummer en naam
1	1.1.1 Vallen van hoogte – ladders en trapjes	1	1.1.1.1 Vallen van hoogte – verplaatsbare ladder
		2	1.1.1.2 Vallen van hoogte – vaste ladder
		3	1.1.1.3 Vallen van hoogte – huishoudtrap of steps
		4	1.1.1.4 Vallen van hoogte – touwladder
2	1.1.2 Vallen van hoogte – steigers	5	1.1.2.1 Vallen van hoogte – werken op mobiele steiger
		6	1.1.2.2 Vallen van hoogte – werken op vaste steiger
		7	1.1.2.3 Vallen van hoogte – (de)montage steigers
3	1.1.3 Vallen van hoogte – dak/platform/etage	8	1.1.3 Vallen van hoogte – dak
		9	1.1.4 Vallen van hoogte – etage
		10	1.1.5 Vallen van hoogte – vast platform
4	1.1.4 Vallen van hoogte – gat in de grond	11	1.1.4 Vallen van hoogte – gat in de grond
5	1.1.5.1 Vallen van hoogte – beweegbaar platform	12	1.1.5.1 Vallen van hoogte – beweegbaar platform
6	1.1.5.2 Vallen van hoogte – stilstaand voertuig	13	1.1.5.2 Vallen van hoogte – stilstaand voertuig
7	1.1.5.3 Vallen van hoogte – anders	14	1.1.5.3 Vallen van hoogte – overig
8	1.2 Vallen zonder hoogteverschil	15	1.2 Vallen zonder hoogteverschil/struikelen/uitglijden
9	1.3 Vallen van trap of laadbrug	16	1.3 Vallen van trap of laadbrug
10	2 Botsing met een bewegend voertuig	17	2. Botsing met een bewegend voertuig/aanrijdgevaar
11	3.1 Contact met vallende voorwerpen – kranen	18	3.1 Contact met vallend voorwerp – kraan of last
12	3.2 Contact met vallende voorwerpen – GEEN kranen	19	3.2 Contact met vallend voorwerp – mechanisch hijsen
		20	3.3 Contact met vallend voorwerp – voertuig of last
		21	3.4 Contact met vallend voorwerp – manuele hantering
		22	3.5 Contact met vallend voorwerp – anders
13	4 Contact met rondvliegend/weggeslingerde voorwerpen	23	4.1 Contact met rondvliegend voorwerp – machine of handgereedschap
		24	4.2 Contact met rondvliegend voorwerp – voorwerp onder druk of spanning
		25	4.3 Contact met rondvliegend voorwerp – weggeblazen door wind

Nr	Storybuild – nummer en naam	Nr	Bow-tiemodel – nummer en naam
14	5 Geraakt door rollend/glijdend voorwerp of persoon	26	5 Geraakt door rollend/glijdend voorwerp of persoon
15	6 Contact met gehanteerd/ gedragen voorwerp	27	6.1 Contact met gehanteerd/gedragen voorwerp – handgereedschap bediend door een andere persoon
		28	6.2 Contact met gehanteerd/gedragen voorwerp – GEEN handgereedschap
16	7 Contact met handgereedschap bediend door de persoon zelf	29	7 Contact met handgereedschap bediend door de persoon zelf
17	8.1 Contact met bewegende delen van een machine	30	8.1.1 Contact met bewegende delen van een machine – bediening
		31	8.1.2 Contact met bewegende delen van een machine – onderhoud
		32	8.1.3 Contact met bewegende delen van een machine – vrijmaken/deblokkeren
		33	8.1.4 Contact met bewegende delen van een machine – reiniging
18	8.2 Contact met hangende/ zwaaiende voorwerpen	34	8.2 Contact met hangend/zwaaiend voorwerp
19	8.3 Beklemd tussen/tegen	35	8.3 Beklemd tussen/tegen
20	9 Botsen op een voorwerp	36	9 Botsen op een voorwerp
21	10 Bedolven onder massa/ materialen	37	10 Bedolven onder massa/materialen
22	11 In of op een bewegend voertuig met verlies van controle	38	11 In of op een bewegend voertuig met verlies van controle
23	12 Contact met elektriciteit	39	12.1 Contact met elektriciteit – hoogspanningskabel
		40	12.2 Contact met elektriciteit – gereedschap
		41	12.3 Contact met elektriciteit – elektrische werkzaamheden
24	13 Contact met hete of koude oppervlakken of open vuur	42	13 Contact met hete of koude oppervlakken of open vuur
25	14.1 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een open verpakking	43	14.1 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een open verpakking
26	14.2 Contact met een gevaarlijke stof zonder ongewild vrijkomen van die stof	44	14.2 Blootstelling aan een gevaarlijke stof zonder ongewild vrijkomen van die stof
27	15 Ongewild vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een gesloten tank/vat/leiding	45	15.1 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een gesloten verpakking – toevoegen, verwijderen of openen
		46	15.2 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een gesloten verpakking – transport
		47	15.3 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een gesloten verpakking – sluiten
		48	15.4 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een gesloten verpakking – werken in de nabijheid
28	17 Vuur	49	17.1 Vuur – werken met hoge temperaturen
		50	17.2 Vuur – werken in de nabijheid van ontvlambare/brandbare stoffen
		51	17.3 Vuur – brandbestrijding
29	20.1 Menselijke agressie	52	20.1 Menselijke agressie
30	20.2 Gedrag van dieren	53	20.2 Gedrag van dieren

Nr	Storybuild – nummer en naam	Nr	Bow-tiemodel – nummer en naam
31	22.1 Gevaarlijke atmosfeer in een besloten ruimte	54	22.1 Gevaarlijke atmosfeer in een besloten ruimte
32	22.2 Gevaarlijke atmosfeer vanwege een ademhalingstoestel	55	22.2 Gevaarlijke atmosfeer vanwege een ademhalingstoestel
33	23 Effecten van onderdompeling in een vloeistof (verdrinken)	56	23.1 Effecten van onderdompeling in een vloeistof – werken in of onder
		57	23.2 Effecten van onderdompeling in een vloeistof – werken in de nabijheid
34	25 Extreme inspanning van de spieren	58	25 Extreme inspanning van de spieren – hanteren van voorwerpen
		59	25.2 Extreme inspanning van de spieren – verplaatsing
35	26 Te snelle (de)compressie	-	-
36	27 Explosie	60	27.1 Fysische explosie
		61	27.2.1 Chemische explosie – damp of gas
		62	27.2.2 Chemische explosie – stof
		63	27.2.3 Chemische explosie – explosieven
		64	27.2.4 Chemische explosie – exothermische reacties

Bijlage 3 Gekwantificeerde arbeidsrisico's

Er zijn twee algemene gegevensverzamelingen gebruikt voor de kwantificering van risico's:

- a) het aantal verschillende typen ongevallen die gedurende een bepaalde periode zijn gemeld en opgeslagen in de GISAI-databank (zie subparagraaf); en
- b) de overeenkomstige blootstelling van de beroepsbevolking, dat wil zeggen de tijd die werknemers hebben besteed aan taken waarbij zij aan een bepaald gevaar zijn blootgesteld in diezelfde periode (zie subparagraaf 3.2.1).

Een relatief klein aantal ongevallen in de GISAI-databank is niet gekoppeld aan een specifiek gevolg. Een nog kleiner aantal van de ongevallen die zijn geanalyseerd en geregistreerd in de Storybuilder, is niet gekoppeld aan een van de 64 gedetailleerde bow ties. Al deze ongevallen zijn opnieuw ingedeeld in een van de volledig vastgelegde categorieën, dat wil zeggen een van de 64 specifieke gevaren die kunnen leiden tot een van de drie mogelijke gevolgen. Bepaalde gegevens in de eerste drie kolommen van Tabel B3.1 kunnen daarom enigszins afwijken van de overeenkomstige resultaten die elders in dit rapport zijn vermeld (zie bijvoorbeeld paragraaf 4.3). De resultaten zijn weergegeven in de volgende tabel.

Tabel B3.1 Arbeidsrisico's, Nederlands nationale gemiddelde per gevaartype

Nr	Gevaartype	Aantal ongevallen ¹⁹			RISICO percentage (/uur)			RISICO per jaar		
		Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel ²⁰	Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel	Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel
1	1.1.1.1 Vallen van hoogte – verplaatsbare ladder	628	159	18	8.28E-07	2.10E-07	2.38E-08	3.05E-04	7.73E-05	8.76E-06
2	1.1.1.2 Vallen van hoogte – vaste ladder	54	12	4	2.53E-07	5.55E-08	1.87E-08	6.88E-05	1.51E-05	5.08E-06
3	1.1.1.3 Vallen van hoogte – huishoudtrap of steps	141	43	3	2.24E-07	6.78E-08	4.74E-09	8.02E-05	2.43E-05	1.70E-06
4	1.1.1.4 Vallen van hoogte – touwladder			2			6.14E-08			2.44E-05
5	1.1.2.1 Vallen van hoogte – werken op mobiele steiger	193	44	8	1.36E-06	3.13E-07	5.64E-08	6.12E-04	1.41E-04	2.54E-05
6	1.1.2.2 Vallen van hoogte – werken op vaste steiger	184	38	7	4.65E-07	9.57E-08	1.77E-08	3.23E-04	6.65E-05	1.23E-05
7	1.1.2.3 Vallen van hoogte – (de)montage van steigers	54	19	5	2.02E-07	7.21E-08	1.88E-08	1.02E-04	3.66E-05	9.53E-06
8	1.1.3.1 Vallen van hoogte – dak	286	93	43	1.50E-06	4.82E-07	2.27E-07	6.56E-04	2.11E-04	9.93E-05
9	1.1.3.2 Vallen van hoogte – etage	310	80	19	1.03E-06	2.67E-07	6.40E-08	5.12E-04	1.33E-04	3.18E-05
10	1.1.3.3 Vallen van hoogte – vast platform	166	56	12	5.80E-07	2.15E-07	4.40E-08	2.77E-04	1.03E-04	2.10E-05
11	1.1.4 Vallen van hoogte – gat in de grond	58	14	2	4.85E-08	1.20E-08	1.68E-09	2.03E-05	5.02E-06	7.03E-07
12	1.1.5.1 Vallen van hoogte – beweegbaar platform	113	70	21	4.33E-07	2.66E-07	8.06E-08	2.05E-04	1.26E-04	3.82E-05
13	1.1.5.2 Vallen van hoogte – stilstaand voertuig	149	49	7	1.01E-06	3.61E-07	5.15E-08	1.10E-04	3.93E-05	5.60E-06
14	1.1.5.3 Vallen van hoogte – overig	217	65	6	6.46E-07	1.94E-07	1.80E-08	3.43E-04	1.03E-04	9.56E-06

¹⁹ Het aantal ongevallen voor de risico's 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 8.1.1, 8.1.2, 8.1.3 en 8.1.4 zijn gebaseerd op een periode van 2 jaar. Alle andere risico's zijn geanalyseerd over een periode van 6,17 jaar.

²⁰ In de gevallen waarin geen dodelijk letsel werd geregistreerd tijdens de geanalyseerde periode, werd een erg laag (niet-nul) cijfer gebruikt om nulrisico's te voorkomen.

Nr	Gevaartype	Aantal ongevallen ¹⁹			RISICO percentage (/uur)			RISICO per jaar		
		Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel ²⁰	Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel	Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel
15	1.2 Vallen zonder hoogteverschil/struikelen/uitglijden	323	84	3	1.28E-08	3.41E-09	1.20E-10	8.32E-06	2.22E-06	7.80E-08
16	1.3 Vallen van trap of laadbrug	97	22	2	1.80E-07	4.10E-08	3.70E-09	5.31E-06	1.21E-06	1.09E-07
17	2. Botsing met een bewegend voertuig/aanrijdgevaar	314	189	46	7.86E-08	4.73E-08	1.15E-08	3.98E-05	2.40E-05	5.83E-06
18	3.1 Contact met vallend voorwerp – kraan of last	42	48	11	1.11E-07	1.28E-07	2.96E-08	8.78E-05	1.01E-04	2.34E-05
19	3.2 Contact met vallend voorwerp – mechanisch hijsen	26	27	2	7.57E-08	7.76E-08	5.78E-09	4.22E-05	4.33E-05	3.22E-06
20	3.3 Contact met vallend voorwerp – voertuig of last	13	13	0	5.57E-08	5.57E-08	2.76E-10	2.94E-05	2.94E-05	1.46E-07
21	3.4 Contact met vallend voorwerp – manuele hantering	41	19	0	1.47E-07	6.95E-08	6.70E-20	7.90E-05	3.74E-05	3.60E-17
22	3.5 Contact met vallend voorwerp – overig	117	72	18	1.00E-06	6.56E-07	1.64E-07	6.56E-04	4.30E-04	1.08E-04
23	4.1 Contact met rondvliegend voorwerp – machine of handgereedschap	72	147	2	4.86E-08	9.84E-08	1.34E-09	4.31E-05	8.72E-05	1.19E-06
24	4.2 Contact met rondvliegend voorwerp – voorwerp onder druk of spanning	72	80	7	6.02E-08	6.75E-08	5.88E-09	5.28E-05	5.92E-05	5.15E-06
25	4.3 Contact met rondvliegend voorwerp – weggeblazen door wind	8	4	0	1.39E-08	6.54E-09	5.69E-11	1.10E-05	5.16E-06	4.49E-08
26	5 Geraakt door rollend/glijdend voorwerp of persoon	62	37	3	3.69E-08	2.21E-08	1.79E-09	2.39E-05	1.43E-05	1.16E-06
27	6.1 Contact met gehanteerd/gedragen voorwerp – handgereedschap bediend door een andere persoon	20	15	0	5.21E-09	4.00E-09	5.49E-13	3.58E-06	2.75E-06	3.77E-10
28	6.2 Contact met gehanteerd/gedragen voorwerp – GEEN handgereedschap	71	140	1	2.85E-08	5.66E-08	4.04E-10	1.62E-05	3.22E-05	2.30E-07
29	7 Contact met handgereedschap bediend door de persoon zelf	127	107	0	2.29E-08	1.94E-08	1.04E-12	1.70E-05	1.44E-05	7.71E-10
30	8.1.1 Contact met bewegende delen van een machine – bediening	74	401	1	3.80E-08	2.07E-07	5.17E-10	2.05E-05	1.12E-04	2.79E-07
31	8.1.2 Contact met bewegende delen van een machine – onderhoud	14	46	2	3.67E-08	1.20E-07	5.26E-09	1.13E-05	3.69E-05	1.62E-06
32	8.1.3 Contact met bewegende delen van een machine – vrijmaken/deblokkeren	31	120	6	2.81E-07	1.10E-06	5.51E-08	5.79E-05	2.27E-04	1.13E-05
33	8.1.4 Contact met bewegende delen van een machine – reiniging	20	81	1	1.33E-07	5.40E-07	6.73E-09	1.07E-04	4.35E-04	5.42E-06

Nr	Gevaartype	Aantal ongevallen ¹⁹			RISICO percentage (/uur)			RISICO per jaar		
		Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel ²⁰	Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel	Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel
34	8.2 Contact met hangend/zwaaiend voorwerp	114	90	10	1.00E-07	7.99E-09	8.85E-09	7.74E-05	6.19E-06	6.85E-06
35	8.3 Beklemd tussen/tegen	96	200	15	7.65E-08	1.60E-07	1.20E-08	5.18E-05	1.08E-04	8.12E-06
36	9 Botsen op een voorwerp	59	67	0	8.98E-09	1.02E-08	1.17E-12	7.38E-06	8.39E-06	9.62E-10
37	10 Bedolven onder massa materialen	13	4	0	2.11E-08	7.24E-09	2.27E-12	1.36E-05	4.68E-06	1.47E-09
38	11 In of op een bewegend voertuig met verlies van controle	332	164	37	1.25E-07	6.15E-08	1.39E-08	1.17E-04	5.77E-05	1.31E-05
39	12.1 Contact met elektriciteit – hoogspanningskabel	10	4	4	4.85E-08	1.82E-08	1.91E-08	4.22E-05	1.59E-05	1.66E-05
40	12.2 Contact met elektriciteit – gereedschap	25	9	5	3.18E-09	1.09E-09	6.28E-09	2.49E-06	8.55E-07	4.93E-06
41	12.3 Contact met elektriciteit – elektrische werkzaamheden	101	35	10	8.01E-08	2.78E-08	7.94E-09	4.97E-05	1.73E-05	4.93E-06
42	13 Contact met hete of koude oppervlakken of open vuur	7	4	0	3.87E-09	2.21E-09	1.15E-12	2.28E-06	1.30E-06	6.77E-10
43	14.1 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een open verpakking	127	41	0	1.05E-07	3.35E-08	1.75E-11	6.20E-05	1.98E-05	1.03E-08
44	14.2 Blootstelling aan een gevaarlijke stof zonder ongewild vrijkomen van die stof	113	22	2	9.54E-08	1.89E-08	1.78E-09	6.69E-05	1.33E-05	1.25E-06
45	15.1 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een gesloten verpakking – toevoegen, verwijderen of openen	143	47	2	2.19E-07	7.15E-08	3.00E-09	1.22E-04	3.98E-05	1.67E-06
46	15.2 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een gesloten verpakking – transport	19	2	0	1.90E-07	2.00E-08	2.60E-11	7.11E-05	7.49E-06	9.73E-09
47	15.3 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een gesloten verpakking – sluiten	8	7	0	1.80E-07	1.60E-07	1.50E-11	1.40E-04	1.25E-04	1.17E-08
48	15.4 Vrijkomen van een gevaarlijke stof uit een gesloten verpakking – werken in de nabijheid	50	11	2	2.22E-07	4.80E-08	8.90E-09	1.69E-04	3.65E-05	6.77E-06
49	17.1 Vuur – werken met hoge temperaturen	66	17	1	5.20E-08	1.34E-08	7.87E-10	4.82E-05	1.24E-05	7.30E-07
50	17.2 Vuur – werken in de nabijheid van ontvlambare/brandbare stoffen	45	19	2	4.08E-08	1.70E-08	1.84E-09	2.37E-05	9.87E-06	1.07E-06
51	17.3 Vuur – brandbestrijding	26	8	0	2.36E-07	6.95E-08	4.00E-11	1.70E-04	4.99E-05	2.87E-08
52	20.1 Menselijke agressie	28	43	3	4.26E-09	6.54E-09	4.57E-10	2.23E-06	3.42E-06	2.39E-07

Nr	Gevaartype	Aantal ongevallen ¹⁹			RISICO percentage (/uur)			RISICO per jaar		
		Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel ²⁰	Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel	Tijdelijk letsel	Blijvend letsel	Dodelijk letsel
53	20.2 Gedrag van dieren	17	13	2	2.98E-08	2.38E-08	3.58E-09	1.38E-05	1.10E-05	1.66E-06
54	22.1 Gevaarlijke atmosfeer in een besloten ruimte	34	5	11	7.13E-08	1.05E-08	2.31E-08	3.34E-05	4.92E-06	1.08E-05
55	22.2 Gevaarlijke atmosfeer via ademhalingstoestel	7	1	2	7.23E-08	5.60E-09	2.23E-08	4.87E-05	3.77E-06	1.50E-05
56	23.1 Effecten van onderdompeling in een vloeistof – werken in of onder/verdrinken	4	4	1	8.78E-08	8.78E-08	2.51E-08	3.20E-05	3.20E-05	9.16E-06
57	23.2 Effecten van onderdompeling in een vloeistof – werken in de nabijheid/verdrinken	6	2	20	1.78E-08	4.86E-09	6.47E-08	5.03E-06	1.37E-06	1.83E-05
58	25.1 Extreme inspanning van de spieren – hanteren van voorwerpen	6	10	0	1.05E-09	1.81E-09	1.22E-13	4.71E-07	8.11E-07	5.47E-11
59	25.2 Extreme inspanning van de spieren – verplaatsing	17	6	0	1.05E-08	3.62E-09	1.96E-13	4.20E-06	1.45E-06	7.83E-11
60	27.1 Fysische explosie	29	11	3	2.09E-08	7.85E-09	2.16E-09	1.80E-05	6.77E-06	1.87E-06
61	27.2.1 Chemische explosie – damp of gas	72	39	15	4.47E-08	2.38E-08	9.26E-09	3.91E-05	2.08E-05	8.09E-06
62	27.2.2 Chemische explosie – stof	7	7	1	6.90E-09	6.90E-09	1.06E-09	6.89E-06	6.89E-06	1.06E-06
63	27.2.3 Chemische explosie – explosieven	1	7	0	9.40E-10	6.58E-09	7.52E-13	8.12E-07	5.69E-06	6.50E-10
64	27.2.4 Chemische explosie – exothermische reacties	14	3	0	9.64E-09	2.07E-09	2.20E-13	7.65E-06	1.64E-06	1.75E-10

Bijlage 4 Figuren en tabellen

Figuren

Figuur 1.1	Componenten van het gekwantificeerde risicomodel voor arbeidsveiligheid.	11
Figuur 2.1	Het bow-tiemodel.	14
Figuur 2.2	Relatie tussen PIE's, veiligheidsbarrières en bow ties. PIE's zijn de factoren die van invloed zijn op de waarschijnlijkheid dat de veiligheidsbarrière in een goede conditie verkeert. De frequentie waarmee de PIE's voorkomen op de werkplek, wordt in het bow-tiemodel ingevoerd.	18
Figuur 2.3	De invloed van maatregelen op het risico. Door het effect van de maatregelen op de PIE's voor de veiligheidsbarrières (bow-tieblokkades) wordt het risico per bow tie beïnvloed en daarmee ook het risico voor de organisatie.	19
Figuur 2.4	Structuur van het complexe ORM voor meerdere gevaren.	20
Figuur 2.5	Weergave van de berekeningsstroom in ORM.	21
Figuur 2.6	Vergelijking in meerdere dimensies: het concept van de efficiencygrens. Maatregelenstrategie C ₁ kost minder en geeft een lager risico dan C ₂ die ook duurder is. De punten op de rode lijn zijn de efficiëntste risico-kostencombinaties.	22
Figuur 3.1	De Storybuilderinterface met een voorbeeld van een storybuild. De lijnen door de structuur vertegenwoordigen de ongevalspaden. De diamant in het midden is de centrale gebeurtenis. Rechts staan de factoren die de ernst bepalen. Links wordt een LCE weergegeven en links van de ovaal een falende barrière. Deze is linksboven gekoppeld aan vier barriëretaken (plus een vak voor onbekend), dat wordt voorafgegaan door een blok van acht beheersaanleversystemen (plus een vak voor onbekend).	27
Figuur 3.2	Aanleversysteem en barriëretakstructuur in relatie tot veiligheidsbarrières.	28
Figuur 3.3	Opzet van de onderzoeken naar blootstelling.	30
Figuur 3.4	Voorbeeld van de interface voor de onderzoeksvragen: de geënquêteerden moesten op de tijdschaal het relevante percentage blootstellingtijd aangeven.	33
Figuur 3.5	Categorisering van de maatregelen.	36
Figuur 3.6	Het effect dat het toepassen van een maatregel in het model heeft op een PIE die gedurende 40% van de tijd in een negatieve conditie verkeert (bijvoorbeeld de afwezigheid van een detectiesysteem gedurende 40% van de mogelijke blootstellingtijd aan een gevaarlijk gas). Wanneer een maatregel wordt toegepast met een geschatte effectiviteit van 75% op de conditie van de PIE, wordt een risicoreductie van 75% bereikt, wat resulteert in een negatieve conditie gedurende 10% van de tijd.	37
Figuur 3.7	Schermafdruck van de combinatie van activiteiten en agentia die een gebruiker kan selecteren om de desbetreffende gevaren te vinden op basis van eerdere ongevallen.	39
Figuur 3.8	Voorbeeld van een deel van een advieslijst voor verplegers/verpleegsters: ziekenhuisactiviteiten.	40
Figuur 4.1	Risico van dodelijke ongevallen. Rangschikking van de gevaren uitgedrukt als de waarschijnlijkheid van een dodelijk ongeval per jaar gemiddelde blootstelling. Gevaar met de hoogste waarschijnlijkheid van een dodelijk ongeval per jaar 'Contact met vallend voorwerp – overig'. Gevaar met de hoogste waarschijnlijkheid van een dodelijk ongeval per uur blootstelling: 'Vallen van dak'. Gevaar met het hoogste aantal geobserveerde ongevallen per jaar 'Contact met vallende voorwerpen – overige'.	44
Figuur 4.2	Risico van blijvend letsel. Rangschikking van de risico's uitgedrukt als de waarschijnlijkheid van een ongeval met blijvend letsel als gevolg per jaar	

	gemiddelde blootstelling. Risico met de hoogste waarschijnlijkheid van blijvend letsel per jaar ‘Contact met vallend voorwerp – overig’. Risico met de hoogste waarschijnlijkheid van blijvend letsel per uur blootstelling: ‘Contact met bewegende delen van een machine bij het deblokkeren’. Risico met het hoogste aantal geobserveerde ongevallen met blijvend letsel als gevolg per jaar ‘Contact met bewegende delen van een machine bij de bediening’.	45
Figuur 4.3	Risico van tijdelijk letsel. Rangschikking van de risico’s uitgedrukt als de waarschijnlijkheid van een ongeval met tijdelijk letsel als gevolg per jaar gemiddelde blootstelling. Risico met de hoogste waarschijnlijkheid van tijdelijk letsel per jaar ‘Vallen van hoogte – stilstaand voertuig’. Risico met de hoogste waarschijnlijkheid van tijdelijk letsel per uur blootstelling: ‘Vallen van hoogte – dak’. Risico met het hoogste aantal geobserveerde ongevallen met tijdelijk letsel als gevolg per jaar ‘Vallen van verplaatsbare ladder’.	46
Figuur 4.4	Invoer van de blootstelling aan gevaren.	48
Figuur 4.5	Schermafdruck van de arbeidsomstandigheden volgens het Nederlandse nationale gemiddelde voor de PIE’s van de veiligheidsbarrière <i>Fysieke beveiliging (physical guarding)</i> voor een van de gevaren die horen bij de activiteiten van een loodgieter (<i>plumber</i>) in de bouw. De activiteit <i>Machinebediening (operating machines): vaste machine (fixed machines)</i> is gekoppeld aan de bow tie: <i>Contact met bewegende delen van een machine bij de bediening (contact moving parts machine – operating)</i> .	49
Figuur 4.6	De gebruiker kan specifieke werksituaties invoeren door het Nederlandse nationale gemiddelde voor een PIE te vervangen door de eigen PIE-waarde. In dit geval was het nationale gemiddelde 28% en heeft de gebruiker 10% ingevoerd. De balk wordt groen omdat deze conditie beter is.	50
Figuur 4.7	Risicoresultaten voor een klein bouwbedrijf, weergegeven op bedrijfsniveau en per functie.	51
Figuur 4.8	Risico uitgesplitst naar activiteit per functie, in dit geval een loodgieter (<i>plumber</i>) in de bouw.	52
Figuur 4.9	Weergave van reeksen maatregelen (de afzonderlijke punten op de krommen) en de bijbehorende kosten voor een klein bouwbedrijf en voor de drie gevolgtypen..	53
Figuur 4.10	Analyse van falende beheersaanleversystemen.	60
Figuur 4.11	Verdeling van het totale aantal uren per jaar dat werknemers in Nederland voetganger zijn op locaties met bewegende voertuigen.	61
Figuur 4.12	Belangrijkste tien factoren van blootstelling aan gevaren in Nederland.	62
Figuur 4.13	Verdeling van de totale Nederlandse blootstelling aan het gevaar van bow tie 2 ‘Botsing met bewegend voertuig’, uitgesplitst naar bedrijfstak.	63
Figuur 4.14	Schermafdruck van de kostenmodule voor maatregelen.	65
Figuur 4.15	Relevante activiteiten en bijbehorende agentia voor een onderwijzer in het lager onderwijs.	67
Figuur 4.16	Voorbeeld van relevante activiteiten en bijbehorende agentia voor een bosarbeider in een houthakkersbedrijf.	68
Figuur 5.1	Schermafdruck van Storybuilder met verschillende gegevensweergaven.	72
Figuur 5.2	Storyfilter met de frequentie van ongevallen in een bepaalde sector (bouw) per storybuild (contact met elektriciteit) en per beroep.	73
Figuur 5.3	Storyfilter met een filterselectiescherm voor de Deense RAW-gegevens.	74
Figuur 5.4	Bow tie voor ‘Vallen van dak’.	75
Figuur 5.5	Afhankelijkheden tussen gebeurtenissen in bow ties met betrekking tot de kans op het verlies van evenwicht.	75
Figuur 5.6	Geautomatiseerde kwantificering van het logische model in de Bowtiebuilder.	76

Figuur 5.7	Voorbeeld van een databank van maatregelen: schermafdruck van de maatregel ‘toolboxmeeting’.	77
Figuur 5.8	Concept van een HIA-model: blootstelling aan fijne organische deeltjes	80
Tabellen		
Tabel 3.1	Voorbeelddefinitie van een missie.	31
Tabel 3.2	Voorbeeld van de kenmerken van blootstelling resulterende uit het missieonderzoek: blootstelling onder de Nederlandse beroepsbevolking aan het gevaar (missie) met betrekking tot bow tie 2 ‘Botsing met een bewegend voertuig’.	32
Tabel 3.3	Voorbeeld van PIE’s voor een barrière in bow tie 2 ‘Botsing met een bewegend voertuig’.	32
Tabel 3.4	Voorbeeld van de relatie tussen maatregelen en barrières – type: conditie van trap ladder.	35
Tabel 3.5	Percentage van de doeltreffendheid per categorie maatregelen.	36
Tabel 4.1	Rekenmethoden voor gekwantificeerde risicoanalyse van arbeidsveiligheid.	42
Tabel 4.2	Top 10 van ongevallen, gerangschikt per type ongeval per jaar.	55
Tabel 4.3	Voorbeeld van een blad met feiten en cijfers: gevolgen van ongevallen en activiteiten van de slachtoffers ten tijde van het ongeval (‘Vallen van hoogte – dak, platform of vloer’).	56
Tabel 4.4	Voorbeeld van een blad met feiten en cijfers: falende barrières (niet noodzakelijkerwijs elkaar uitsluitend) met de belangrijkste oorzaken voor ‘Vallen van hoogte – dak, platform of vloer’.	56
Tabel 4.5	Voorbeeld van een blad met feiten en cijfers: falende barrièretaken en beheersaanleveringen met de belangrijkste onderliggende oorzaken voor ‘Vallen van hoogte – dak, platform of vloer’.	57
Tabel 4.6	Belangrijkste tien inspectiepunten, afgeleid uit de analyse van falende barrières in de bouw.	58
Tabel 4.7	Onderliggende oorzaken van falende barrières in de bouwsector.	59
Tabel 4.8	Gemiddelde kans van de PIE voor de barrière ‘locatie/positie’ in bow tie 2 ‘botsing met bewegend voertuig’.	63
Tabel 4.9	Aantal maatregelen per categorie.	64
Tabel 4.10	Raming voor elk kostendeel.	66
Tabel B3.1	Arbeidsrisico’s, Nederlands nationale gemiddelde per gevaartype	108

Bijlage 5 Technische rapporten

De volgende technische rapporten (in het Engels) kunt u bestellen door een e-mail te verzenden aan cev@rivm.nl.

1. Description of the project organisation
2. Overview of methodology, production steps and quality control
3. Occupational accidents in the Netherlands, Storybuilder & Storyfilter - The 36 Storybuilds
4. ORM logical model and Bowtiebuilder
5. Probability Influencing Entities and the PIE questions
6. Centre Event Mission Data
7. Exposure surveys
8. Bow tie models and quantification
9. Measures, effectiveness and costs
10. Activities, agents, jobs and bow tie links
11. Storybuilder software user manual
12. Bowtiebuilder software user manual
13. ORM software user manual

A solid yellow horizontal bar spanning the width of the page.

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl