

61/
248

Risico en Risicoanalyse

toegelicht

TNO Arbeid, Hoofddorp



TN0128527

Deel A: Risico = kans x gevolg

Deel B: Methodieken voor risicoanalyse

Voorwoord

Dit boekje bestaat uit twee delen. Deel A is vooral bedoeld voor mensen die nog niet zo veel afweten van risico en risicoanalyses. Voor diegenen die na het lezen van deel A meer willen weten, gaat deel B dieper in op de specifieke methoden die worden gebruikt bij risicoanalyse. Hiermee is het boekje een goede start voor mensen die meer willen weten over risico en risicoanalyses.

Frank van het Veld
Koos Ham
Niek Steijger
Karina Jap a Joe

TNO ARBEID
BIBLIOTHEEK
POSTBUS 718
2130 AS HOOFDDORP
TEL. 023-5549 468

NR. 50396
plaats 61-248

Deel A: Risico = Kans x gevolg

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Inleiding	4
1 Wat is risico?	5
2 Hoe kijken we tegen risico aan?	8
2.1 Risicoperceptie	8
2.2 Risicoacceptatie	9
3 Hoe gaan we om met risico's?	11
3.1 Ongevalsescenario's identificeren	11
3.2 Twee benaderingen	13
3.3 Beleid voor externe veiligheid	17
4 Wanneer zijn we veilig?	21
5 Referenties	23

Inleiding

Risico is een algemeen bekend begrip. In de media verschijnen regelmatig berichten over onze veiligheid en de risico's die we lopen. Maar wat is risico precies? Er zijn verschillende soorten risico's. Denk bijvoorbeeld aan beleggingsrisico's, risico's om overvallen te worden, risico's bij het uitoefenen van onze functie, of risico's die we lopen als we in de buurt wonen van bedrijven die met gevaarlijke stoffen werken. Dit boekje gaat voornamelijk in op die laatste categorie. Met gevaarlijke stoffen wordt dan bedoeld: brandbare, explosieve en giftige stoffen.

Doel van dit boekje is de lezer vertrouwd maken met de begrippen risico en risico-analyse. We gaan in op een aantal vragen. De vraag wat risico is, komt aan bod in Hoofdstuk 1. Het tweede hoofdstuk gaat in op hoe we daar tegenaan kijken. In Hoofdstuk 3 komt aan de orde hoe we met risico omgaan en wordt de regelgeving op dit gebied toegelicht. Tenslotte gaan we in Hoofdstuk 4 in op de vraag: wanneer zijn we veilig?

Tijdens het lezen van dit boekje komt u **vetgedrukte** begrippen tegen. Deze termen worden in deel A alleen genoemd, maar krijgen in deel B nadere uitleg.

Dit boekje gaat dus voornamelijk over het risico dat we lopen wanneer we in de buurt wonen van bedrijven die met gevaarlijke stoffen werken. Maar we leggen ook de link met het risico dat mensen lopen tijdens het uitoefenen van hun werk. Wij hopen dat medewerkers van arbeidsinspecties en arbo-diensten hierdoor nieuwe inzichten opdoen, die van pas kunnen komen in hun dagelijkse werkzaamheden.

1. Wat is risico?

Ieder mens loopt elke dag risico. Of we nu thuis zijn, op de werkplek, onderweg, of op vakantie, er bestaat altijd een kans dat er iets met ons gebeurt. Het gevolg daarvan kan zijn, dat we tijdelijk, of zelfs permanent, bepaalde dingen niet meer kunnen doen zoals we gewend waren. Maar in tegenstelling tot bijvoorbeeld vuur, lawaai of stank, is risico niet waarneembaar. Het is een beeld van een activiteit of situatie dat we ons in gedachten vormen: is het gevaarlijk of is het veilig? Er zou iets onaangenaams met ons *kunnen* gebeuren, maar we weten nooit zeker of dat daadwerkelijk *zal* gebeuren. Dát beleven we als risico. Wanneer we niet uitkijken bij het oversteken, *kunnen* we onder een auto komen. Maar of dat daadwerkelijk *zal* gebeuren, weten we niet. Onze interpretatie van risico bestaat dus uit twee elementen: een nadelig *gevolg* (onder een auto komen) en een inschatting van de *kans* dat dit ons overkomt. Dit kunnen we weergeven als¹:

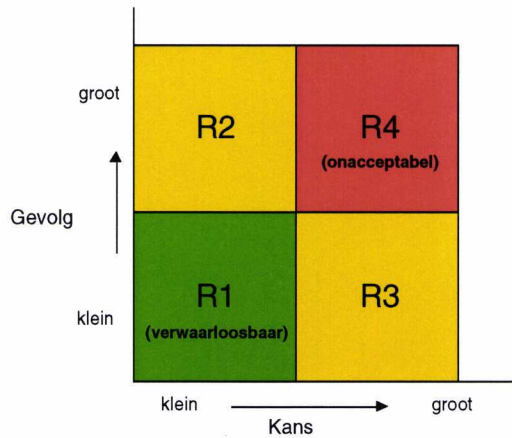
$$\text{Risico} = \text{kans} \times \text{gevolg} \quad (1)$$

Mensen beslissen voortdurend óf ze een activiteit zullen ondernemen en, zo ja, hóe ze dat dan gaan doen. Als we bijvoorbeeld besluiten de weg over te steken, moeten we eerst goed kijken of er geen verkeer aan komt. Bij zo'n besluit proberen we een inschatting te maken van de grootte van het risico dat we lopen. Zowel de kans als het gevolg² kunnen in grootte verschillen. Daarmee ontstaan vier categorieën van risico:

- R1. Over een *kleine kans* met een *klein gevolg* maken we ons geen zorgen. Er bestaat een kans dat we op kantoor onze vinger openhalen aan papier. Maar deze kans is klein en een opgehaalde vinger heelt snel. Daarom denken we er niet over na: we beleven dit als een verwaarloosbaar risico.
- R2. Van een *kleine kans* met een *groot gevolg* zijn we ons zeer bewust. Maar als de voordelen opwegen tegen de nadelen, zijn we vaak bereid dit risico te nemen. Zo is de kans dat iemand betrokken raakt bij een dodelijk verkeersongeval op jaarbasis ongeveer één op tienduizend. Toch nemen miljoenen mensen dagelijks bewust of onbewust dit risico, omdat de voordelen (werk, inkomen, volledige deelname aan het economisch verkeer) hier tegen opwegen.
- R3. Ook een *grote kans* met een *klein gevolg* wegen we af. Een klein gevolg ervaren we vaak als 'onaangenaam' of 'vervelend' en dat maken we liever niet te vaak mee. Wanneer we tijdens een verbouwing veel spijkers in de muur moeten slaan, bestaat er een kans dat we op onze duim slaan. Door maatregelen te nemen proberen we die kans te verkleinen. We kunnen de spijker bijvoorbeeld vasthouden met een tang. De kans dat we op onze duim slaan, neemt daardoor aanzienlijk af. Zo wordt dit risico weer een 'kleine kans met een klein gevolg' (R1).
- R4. Een *grote kans* met een *groot gevolg* ervaren we als onacceptabel. Daarom proberen we deze situaties of activiteiten te vermijden. Lukt dat niet, dan nemen we maatregelen. Een voorbeeld van een situatie met een grote kans en een groot gevolg is een situatie waarbij reddingswerkers met gevaar voor eigen leven het leven van anderen proberen te redden.

1. Er zijn vele andere definities mogelijk, zoals bijvoorbeeld: $\text{Risico} = \text{kans} \times (\text{gevolg})^2$, waarbij het gevolg zwaarder weegt dan de kans erop. Voor de eenvoud hanteren wij echter vergelijking (1).

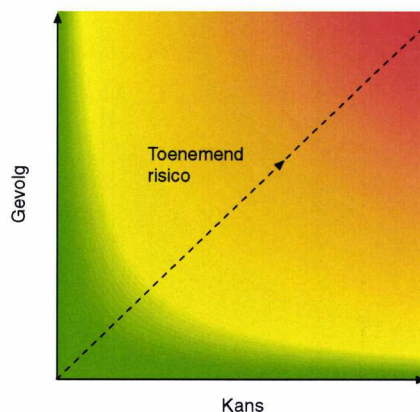
2. Bij risico's spreken we altijd over *nadelige* gevolgen. Bij positieve gevolgen wordt eerder gesproken over "de kans daarop" zoals de kans om (iets) te winnen.



Figuur 1.1 Voorbeeld van een kwalitatieve risicomatrix

De risicomatrix in Figuur 1.1 geeft de vier categorieën schematisch weer. De twee oranje gebieden (R2 en R3) staan voor situaties waarin we een afweging maken tussen het nadelige gevolg, de kans dat dit gebeurt en het te verwachten voordeel. Deze situaties vallen onder een overgangsgebied tussen onacceptabel en verwaarloosbaar risico. In dit gebied proberen we vaak het risico te verkleinen door allerlei maatregelen te nemen. Zo komen we meestal uit op een acceptabel risico. Dat is nog altijd meer dan een verwaarloosbaar risico, maar er staat wel iets positiefs tegenover: we bereiken een resultaat dat ons voordeel oplevert en dat niet zou zijn bereikt zonder dit risico te nemen.

De risicomatrix in Figuur 1.1 is sterk vereenvoudigd. In werkelijkheid loopt er geen scherpe scheidslijn tussen de vier risicogebieden, maar vloeien ze in elkaar over. Dat laat Figuur 1.2 zien. In deze figuur hebben punten met dezelfde kleur een vergelijkbaar groot risico. Helemaal linksonder in deze grafiek ligt het 'nulrisico': de kans is nul en er is geen nadelig gevolg. De situatie rechtsboven staat voor een maximale kans met een maximaal gevolg, het onacceptabele risico. Langs de denkbeeldige diagonale lijn van linksonder naar rechtsboven nemen kans en gevolg toe: het risico gaat van minimaal naar maximaal.



Figuur 1.2 Risicomatrix waarin de overgang tussen de risiconiveaus vloeiend is weergegeven

Het 'nulrisico' is slechts haalbaar voor afzonderlijke activiteiten. Zo kun je bijvoorbeeld nooit in zee verdrinken als je ver uit de buurt van het water blijft. Maar het leven bestaat uit veel meer activiteiten en situaties, die allemaal een zeker risico met zich meebrengen. Die kunnen we nooit allemaal vermijden. Dit betekent dat we een zekere mate van risico, of een zekere mate van onveiligheid, in ons leven moeten accepteren.

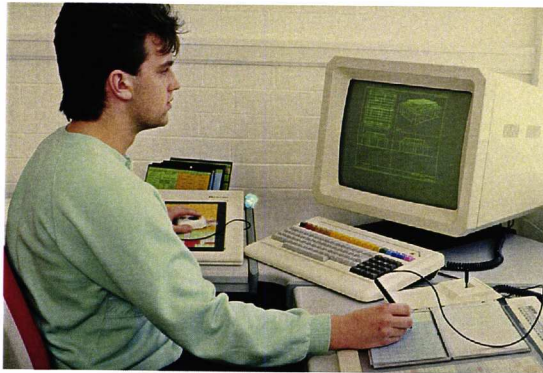
2. *Hoe kijken we tegen risico aan?*

2.1 Risicoperceptie

Risico's kunnen dus groot, klein, acceptabel of onacceptabel zijn. Maar wanneer is een risico nou groot en onacceptabel? Dat hangt samen met de beleving van risico. Die perceptie is zeer persoonlijk. Wat de één nog een acceptabel risico noemt, is voor de ander al een te groot risico. Bijvoorbeeld: als een chauffeur onverantwoord rijgedrag vertoont, voelt de bestuurder zich over het algemeen onveilig dan de bestuurder. De manier waarop we risico's beleven, hangt samen met een aantal factoren:

Het voorstellingsvermogen

Risico's die we ons goed kunnen voorstellen, vinden we over het algemeen groter dan abstracte risico's die op lange termijn spelen. Vergelijk de volgende situaties maar eens: je in je vingers zagen met een lintzaag en RSI oplopen door een verkeerde werkhouding. Dat je jezelf in je vingers kunt zagen, is iets wat mensen zich kunnen voorstellen. Ook al hebben ze dat nog nooit gezien of meegemaakt. Dit in tegenstelling tot RSI, waar de meeste mensen zich geen voorstelling van kunnen maken. Wat ook kan meespelen, is de gedachte: "Dat gebeurt mij toch niet".



Copyright Corel

Veel mensen kunnen zich geen voorstelling maken van RSI als gevolg van een verkeerde werkhouding

Eerdere ervaringen

Eerdere ervaringen met soortgelijke situaties kunnen maken dat we een bepaalde situatie al gauw een groot risico vinden. Of juist niet. Neem iemand die heeft meegemaakt dat een collega zijn vingers afzaagde met een lintzaag. Die persoon vindt het werken met zo'n zaag al gauw een groter risico dan iemand die zoiets nog nooit heeft gezien.

Beheersbaarheid van het risico

Hoe meer iemand het idee heeft een situatie in de hand te hebben, hoe kleiner hij het risico vindt. De onverantwoord rijdende chauffeur zal zijn rijgedrag niet zo roekeloos vinden als de bestuurder, omdat hij zelf het stuur in handen heeft.

De omvang van het gevolg

Het blijkt dat mensen een risico voornamelijk beoordelen op de omvang van het gevolg. Hoe meer doden er tegelijk vallen, hoe groter mensen het risico vinden. Vergelijk een neergestort vliegtuig maar met een auto-ongeluk. De kans dat het gevolg optreedt, wordt dus nauwelijks in de beoordeling meegenomen. Een mogelijke oorzaak daarvoor is dat de mens slecht kansen kan inschatten.

Naast deze factoren wordt de risicobeleving ook bepaald door persoonlijke eigenschappen zoals karakter, leeftijd en opvoeding.

2.2 Risicoacceptatie

Risicoperceptie en risicoacceptatie zijn sterk met elkaar verbonden. Hoe we een bepaald risico beleven (perceptie), bepaalt mede of we bereid zijn het risico te nemen (acceptatie). Maar er zijn nog twee factoren die acceptatie van het risico bepalen: de mate van vrijwilligheid en of er (direct) een voordeel mee te behalen is.

Mate van vrijwilligheid

Mensen zijn bereid grotere risico's te aanvaarden als ze de beslissing over het ondernemen van de activiteit in eigen hand hebben. Denk aan het voorbeeld van de onverantwoord rijdende chauffeur en zijn bijrijder.

Het (direct) te behalen voordeel

Het mogelijk te behalen voordeel speelt eveneens een rol bij risicoacceptatie. Naarmate dit voordeel groter wordt, zijn we bereid grotere risico's te nemen. Het omgekeerde geldt ook: als er geen of weinig voordeel te behalen valt, zullen maar weinig mensen een risico accepteren. Dit kan ook verklaren waarom mensen een bedrijf dat met gevaarlijke stoffen werkt, niet snel in hun woonomgeving willen toelaten. Hoewel het risico best klein kan zijn, hebben omwonenden meestal geen (direct) voordeel van de activiteit. Dus zijn ze minder gauw bereid tot acceptatie.



Copyright Corel

Bij risico acceptatie speelt ook mee of het voordeel direct te behalen is of niet. Als een risico samengaat met een direct te verkrijgen voordeel, zijn mensen eerder geneigd het risico te accepteren. Een lasser bijvoorbeeld heeft een beschermkap tot zijn beschikking. Doet hij die af, dan levert dit een honderd procent zekere beloning op in de vorm van tijdwinst. Die beloning is onmiddellijk zichtbaar. De straf van het verwijderen van de beschermkap is onzeker. De lasser kan een oog verliezen, of er kan iets anders misgaan. Maar of en wanneer hij die straf krijgt, is onzeker: dat kan meteen, ver in de toekomst of zelfs nooit gebeuren. Als de lasser deze straf als

'niet ernstig' ervaart, of denkt "dat gebeurt mij toch niet" (perceptie), kan hij geneigd zijn tóch zonder beschermkap te werken.

Risicoacceptatie hangt dus samen met de keuze om wel of niet een risico te nemen. Bij het maken van persoonlijke keuzes kan de afweging tussen wel of niet accepteren al moeilijk genoeg zijn. Maar het wordt nóg lastiger, als de risicovolle activiteit of situatie betrekking heeft op meerdere mensen of zelfs grote groepen. Wie maakt dan de keuze? In zo'n geval moeten de belanghebbenden met elkaar overeenstemming bereiken over wat wel en niet acceptabel is. Een bedrijf dat met gevaarlijke stoffen werkt, kan een gevaar voor de werknemers en omwonenden vormen. Maar het biedt ook maatschappelijke voordelen zoals werkgelegenheid. De keuze om dit bedrijf in een woonwijk te vestigen, is in zo'n geval een maatschappelijke afweging waarin overheid, werkgevers, werknemers, maar ook andere belanghebbenden, zoals milieuorganisaties, een stem hebben. Niet alleen de overheid is daarbij verantwoordelijk voor de veiligheid van de burgers. Ook het bedrijf zelf heeft een maatschappelijke verantwoordelijkheid voor de veiligheid van de werknemers en de omgeving. Milieuorganisaties kunnen overheid en bedrijven niets opleggen, maar zij kunnen wel invloed uitoefenen op de beleidsvorming van de overheid en het gedrag van de werkgevers.

Het autoverkeer als voorbeeld

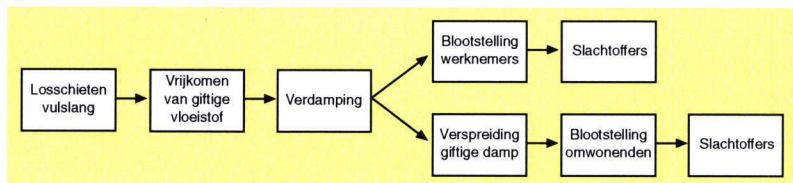
Het autoverkeer vormt een goed voorbeeld van een maatschappelijke keuze met betrekking tot risicoacceptatie. In de jaren zestig kwamen jaarlijks enkele duizenden mensen om in het verkeer. De maatschappij vond dit onacceptabel, maar niet in die mate dat het autoverkeer werd stilgelegd. Dus moesten er maatregelen volgen om de kans op overlijden terug te brengen tot een acceptabel niveau. Jarenlange inspanningen en grote investeringen resulteerden in veiligere auto's (met betere remsystemen, kooiconstructies, gordels, airbags) en veiligere wegen (met snelheidsmaatregelen en betere verlichting). Dankzij al deze maatregelen ligt het aantal dodelijke verkeersslachtoffers nu ongeveer drie keer zo laag als in de jaren zestig, ondanks de toegenomen verkeersintensiteit.

3. Hoe gaan we om met risico's?

Over het algemeen proberen mensen de risicovolle activiteiten die ze tóch willen ondernemen, zo veilig mogelijk te laten verlopen. Hiervoor zijn maatregelen nodig. Welke maatregelen we kunnen nemen, wordt pas duidelijk als we weten wat er verkeerd kan gaan (het incident), hoe dat kan gebeuren, en wat de gevolgen ervan zijn.

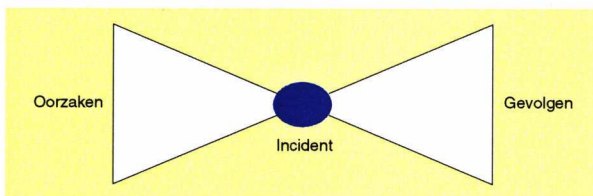
3.1 Ongevalseenario's identificeren

Een beschrijving van hoe een incident kan ontstaan (oorzaken) en hoe het zich zou kunnen ontwikkelen (gevolgen), heet een ongevalsscenario. Neem bijvoorbeeld een bedrijf dat werkt met giftige vloeistoffen. Periodiek vult een tankauto daar de voorraad tanks bij. Een incident dat hierbij kan optreden, is het vrijkomen van de giftige stof. Een mogelijke oorzaak daarvoor is het losschieten van de vulslang. Als de giftige vloeistof uit de losgeschoten vulslang loopt, vormt zich een plas op de grond. Uit deze plas verdampst vloeistof. Zo kunnen werknemers worden blootgesteld aan de giftige damp en vallen er mogelijk slachtoffers. Als de wind de dampwolk vervolgens meevoert naar een naburige woonwijk, kunnen ook onder de bewoners daar slachtoffers vallen. Figuur 3.1 geeft dit ongevalsscenario weer.



Figuur 3.1 Ongevalseenario voor het vrijkomen van giftige vloeistof

Vaak zijn er voor één incident meerdere oorzaken en gevolgen mogelijk. En dus ook meerdere ongevalsscenario's. De giftige vloeistof kan bijvoorbeeld ook vrijkomen door een lekkage aan de tank of de vulslang. Dat een incident meerdere oorzaken en gevolgen kan hebben, wordt vaak weergegeven met het 'vlinderdasmodel' (zie figuur 3.2). De knoop in de vlinderdas staat voor het incident, bijvoorbeeld het vrijkomen van giftige stof. Aan de linkerkant staan de mogelijke oorzaken gerangschikt, zoals het losschieten van de vulslang, een lek in de vulslang of een lekkage aan de tank. Aan de rechterkant komen de mogelijke gevolgen terug: verdamping gevolgd door blootstelling, verspreiding en slachtoffers.



Figuur 3.2 Het vlinderdasmodel

Het bepalen van ongevalsscenario's noemen we ook wel '**ongevalidentificatie**³'. Voor het maken van een goede ongevalidentificatie hebben we grondige kennis nodig van de activiteit die we bekijken. Dat kunnen we op twee manieren doen:

Retrospectief (kijken naar het verleden)

Bij deze benadering kijken we welke ongevalsscenario's er eerder hebben plaatsgevonden bij soortgelijke activiteiten (**casuïstiek**). Hiervoor zijn verschillende databases beschikbaar.

Databases met ongevallen

Een voorbeeld van een database met industriële ongevallen is de TNO database FACTS waarin ruim 19.000 industriële ongevallen beschreven staan.

Met betrekking tot arbeidsongevallen worden er in Nederland door een aantal instanties ongevallen geregistreerd. De belangrijkste daarvan zijn:

- *Arbeidsinspectie: registreert dodelijke en ernstige ongevallen;*
- *CBS, Statistiek niet-natuurlijke dood: registreert dodelijke arbeidsongevallen;*
- *Stichting Consument en Veiligheid, met het Letsel Informatie Systeem: registreert de behandeling van arbeidsongevallen op de afdeling Spoedeisende Hulp van ziekenhuizen;*
- *CBS, Enquete Beroepsbevolking: vraagt respondenten naar hun historie met arbeidsongevallen met al of niet verzuim tot gevolg;*
- *Stichting Arbeuw: registreert ongevallen in de bouwsector.*

Prospectief (kijken naar de toekomst)

Bij een prospectieve benadering kijken we vooruit. We proberen ongevallen te voorspellen, die nooit eerder zijn gebeurd. Voor het bepalen van industriële risico's bestaan een aantal gestandaardiseerde technieken, die bij deze benadering als hulpmiddel kunnen dienen. Een aantal van deze technieken gaat uit van gestructureerde vraagstelling. Daarbij staat de vraag 'wat gebeurt er als....' centraal. Voorbeelden van zulke technieken zijn **HAZOP** en **FMEA**. Het is de vraag of alle bedachte scenario's ook *relevant* zijn voor het uiteindelijke risiconiveau. Dit hangt af van de kans van optreden en wat de gevolgen zijn.

Bij ongevalidentificatie moeten we dus scenario's meenemen die ooit eens hebben plaatsgevonden, maar ook scenario's die zich nog nooit hebben voorgedaan. Een goede ongevalidentificatie staat of valt dus niet alleen met de deskundigheid van de uitvoerders, maar ook met hun voorstellingsvermogen. Dit is één van de beperkingen van risicoanalyse: als we bepaalde scenario's niet meenemen - omdat we ons niet kunnen voorstellen dat zoiets zou kunnen gebeuren - dan onderschatten we mogelijk het risico.

Bij het maken van een ongevalsscenario moet ook rekening gehouden worden met domino-effecten. Zo kan bijvoorbeeld een brand in een tank leiden tot een brand in een naastgelegen tank. Als de naastgelegen tank giftige vloeistoffen bevat, kunnen deze door de brand vrijkomen, verdampen, en zich verspreiden in de omgeving. Zo leidt brand in één tank tot het vrijkomen van giftige stoffen uit een andere tank.

3. Vetgedrukte begrippen zijn nader toegelicht in Deel B.

3.2 Twee benaderingen

De volgende stap is het identificeren van maatregelen. Ook hiervoor kennen we twee benaderingen: de deterministische en de probabilistische benadering.

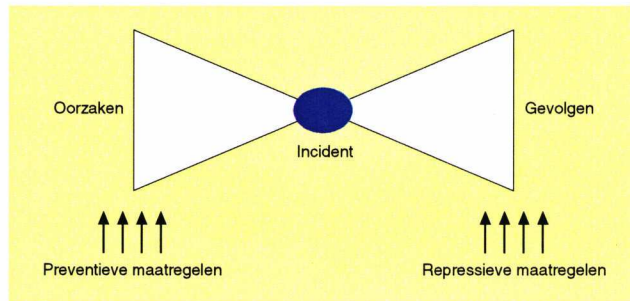
De deterministische benadering

De deterministische benadering gaat uit van een scherpe scheidslijn tussen veilig en niet veilig. Je bent veilig als je je aan alle regels houdt en alle voorgeschreven maatregelen uitvoert. Doe je dat niet, dan ben je onveilig bezig. De regelgeving met betrekking tot arbeidsveiligheid is voornamelijk gebaseerd op deze benadering.

De deterministische benadering kijkt niet naar de grootte van het risico of de kans op een incident. Het streven van deze benadering is de schade, of het gevaar, zo veel mogelijk te voorkomen. Dat wordt gedaan door alle ongevalsscenario's van een bepaalde activiteit door te lopen en waar mogelijk maatregelen te nemen om schade te voorkomen. In het scenario met de losschietende vulslang zijn de volgende mogelijkheden:

- beveiligingen die voorkomen dat een vulslang kan losschieten tijdens het vullen;
- een opvangbak onder de vulplek, zodat eventueel vrijgekomen vloeistof direct wordt afgevoerd en niet verdamp;
- bij verspreiding van de damp de omwonenden waarschuwen dat ze ramen en deuren dicht moeten houden.

Zo kunnen we nog veel meer maatregelen bedenken. Maatregelen die de oorzaken voorkomen, heten *preventieve* maatregelen (maatregel a). Maatregelen die de gevolgen voorkomen of beperken, noemen we *repressieve* maatregelen (maatregel b + c).



Figuur 3.3 Preventieve en repressieve maatregelen

Een voorbeeld van de deterministische benadering

Bij het werken met gevaarlijke stoffen wordt in de meeste gevallen de deterministische benadering gebruikt. Neem bijvoorbeeld toluene, dit is een gevaarlijke stof die gebruikt wordt als ontvetter. Blootstelling aan de damp kan duizeligheid en zelfs bewusteloosheid veroorzaken. Als hiermee gewerkt moet worden, geeft het preventiebeleid aan dat blootstelling van werknemers aan toluene voorkomen moet worden. Dus maatregelen aan de bron en het zoeken naar alternatieven verdienen de voorkeur. Alternatieven zijn dan stoffen met minder of geen verdovende effecten, bijvoorbeeld ontvetten met waterige of zepige oplossingen met een hogedrukspuit.

Als het niet mogelijk is met een ander middel te werken, moeten maatregelen overwogen worden om de blootstelling zo laag en zo kort mogelijk te laten zijn. Hierbij geldt een MAC-waarde voor toluene van 150 mg/m³ [8]. De MAC-waarde is een door de overheid vastgestelde Maximaal Aanvaarde Concentratie van een bepaalde stof in de lucht op de werkplek. Het is de concentratie welke bij herhaalde blootstelling (ook gedurende een langere tot zelfs een arbeidsleven omvattende periode) in het algemeen de gezondheid van zowel de werknemers alsook hun nageslacht niet benadeelt. Als de concentratie op de werkplek de MAC-waarde niet overschrijdt, dan is er sprake van een blootstellingsniveau dat in het algemeen geen nadelige gevolgen voor de gezondheid oplevert, zelfs bij een arbeidslevenlange blootstelling. Deze situatie noemen we veilig.

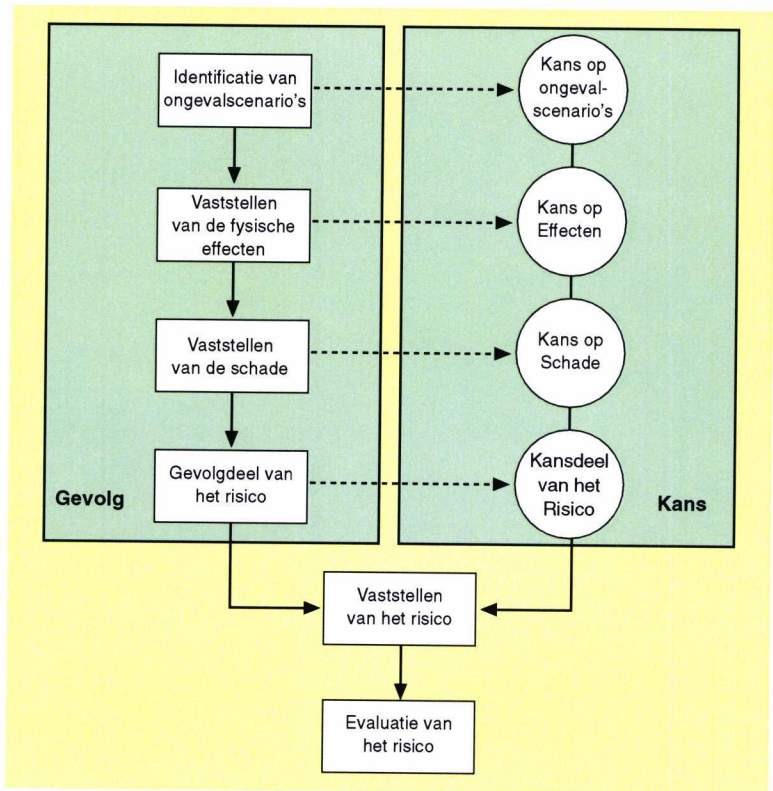
De probabilistische benadering

In een probabilistische benadering bepalen we wél de grootte van het risico (kans x gevolg). Dat doen we door zowel de kans als het gevolg te kwantificeren in een 'kwantitatieve risicoanalyse' (QRA⁴). Deze benadering kijkt dus expliciet naar de kans dat een incident optreedt en naar de hoeveelheid schade die daarbij ontstaat, bijvoorbeeld het aantal doden.

De werkwijze bij een QRA staat weergegeven in figuur 3.4. Ook voor de QRA worden eerst alle ongevalsscenario's geïdentificeerd. Vervolgens selecteren we hieruit de relevante gevallen. Scenario's waarvan op voorhand al duidelijk is dat ze een te verwaarlozen bijdrage aan het totale risico leveren, blijven buiten beschouwing. Van de geselecteerde scenario's worden de kans (bijvoorbeeld op het losschieten van de vulslang) en het gevolg (bijvoorbeeld het aantal doden) gekwantificeerd. Vervolgens kunnen we voor elk scenario het risico bepalen door kans en gevolg te vermenigvuldigen. Het totale risico van een incident wordt bepaald door de risico's van alle scenario's bij elkaar op te tellen.

Cijfers voor de kans op het optreden van een incident of de gevolgen daarvan kunnen worden gehaald uit de **casuïstiek** (vb. standaard waarden uit het Paarse boek [3]), of bepaald worden d.m.v. analytische methoden zoals een **foutenboom** of een **gebeurtenissenboom**.

4. QRA: Quantitative Risk Analysis



Figuur 3.4 Schematische weergave van de werkwijze voor het maken van een QRA⁵

De resultaten van een QRA maken ook duidelijk welke scenario's de grootste bijdrage leveren aan het totale risico. Daardoor kunnen we de QRA gebruiken om met gerichte maatregelen het risico te verminderen. Dit maakt het mogelijk om met beperkte middelen (geld) optimale risicoreductie na te streven. Het gevolg van deze maatregelen voor het totale risico wordt zichtbaar door de QRA nogmaals uit te voeren. Daarin moeten we dan wel het effect van de maatregelen meenemen, bijvoorbeeld een lagere kans op losschieten van de vulslang.

Een term die veel gebruikt wordt bij risicoreductie is ALARA: As Low As Reasonably Achievable (zo laag als redelijkerwijs mogelijk is). Deze term geeft aan dat een zo groot mogelijke risicoreductie wordt nagestreefd door de beperkte middelen te gebruiken voor die maatregelen die de grootste risicoreductie met zich meebrengen. Bij deze werkwijze wordt dus een afweging gemaakt tussen het effect van de maatregel (risicoreductie) en de kosten die eraan verbonden zijn.

5. In deel B wordt de werkwijze nader toegelicht.

De probabilistische benadering bij het werken met kankerverwekkende stoffen

Hoewel de regels met betrekking tot arbeidsveiligheid voornamelijk deterministisch zijn, wordt soms de probabilistische benadering toegepast. Bijvoorbeeld bij het werken met kankerverwekkende stoffen. Ook voor kankerverwekkende stoffen zijn MAC-waarden voorgeschreven. Deze waarden zijn echter gebaseerd op een gekwantificeerd risico. Bij kankerverwekkende stoffen gaan we er vanuit dat er maar één veilig blootstellingsniveau is en dat is nul. Bij blootstelling aan de kleinste concentraties, bestaat er een zekere, maar kleine kans op het ontwikkelen van kanker.

Voor benzeen, een kankerverwekkende stof die leukemie kan veroorzaken, is de MAC-waarde 3,25 mg/m³. Deze MAC-waarde is gekozen en geeft het blootstellingsniveau weer, waarbij de kans op het ontwikkelen van leukemie 1 op 10.000 werknemers per jaar is [7]. Hierbij is uitgegaan van dagelijkse blootstelling gedurende de 8-urige werkdag, 40 jaar lang. Omdat maar weinig mensen dagelijks en 40 jaar lang aan benzeen blootgesteld zullen worden, is het daadwerkelijke risico waarschijnlijk lager.

Deze aanpak is dus beduidend anders dan de aanpak bij toluen. Bij toluen geeft de MAC-waarde de grens aan tussen veilig en onveilig werken, bij benzeen geeft de MAC-waarde een geaccepteerd risiconiveau weer en is er geen absoluut veilig blootstellingsniveau aan te geven (behalve nul).

Deterministisch vs. probabilistisch

Er is een belangrijk verschil tussen de deterministische en de probabilistische benadering. Die eerste trekt een scherpe scheidslijn tussen veilige en onveilige situaties, terwijl de probabilistische benadering uitgaat van een zeker risiconiveau en daar een getal aan toekent. De deterministische benadering heeft als voordeel dat ze behoudend is: deze benadering is gespist op het voorkomen van schade, ongeacht de grootte van het risico. Maar er is ook een nadeel. De kans bestaat dat dure maatregelen worden genomen om incidenten te voorkomen, die een verwaarloosbare bijdrage leveren aan het totale risico. In dat geval had het geld dus beter besteed kunnen worden.

Het voordeel van de probabilistische benadering is dat zij een getal aan risico's toekent. Daardoor kan er een objectiever beeld van de risico's ontstaan en is het mogelijk om situaties onderling te vergelijken. De QRA geeft bovendien inzicht in welke ongevalsscenario's de grootste bijdrage leveren aan het totale risico. Op basis daarvan kunnen we gericht maatregelen nemen om het risico te verkleinen. Zeker bij een beperkt budget voor maatregelen – wat in de praktijk vaak het geval is – is dit een handig instrument. Daarnaast maakt de probabilistische benadering het mogelijk om normen op te stellen waaraan bedrijven zich moeten houden, zonder de ondernemers in detail maatregelen voor te schrijven.

De probabilistische benadering heeft echter ook een nadeel. De getallen die gebruikt worden voor de kans zijn geen exacte getallen, maar hebben een relatief grote onzekerheid. Dit geldt ook voor de modellen waar mee het gevolg berekend wordt. De risicowaarde die uit de berekening volgt is dus niet per definitie de 'werkelijke' waarde. Dit kunnen we ondervangen door de berekeningen te standaardiseren. Dat maakt de onzekerheid in de berekende risicowaarden voor alle berekeningen vergelijkbaar. Daarnaast is het aan te bevelen, de berekende risicowaarden alleen te gebruiken ter vergelijking.

Bij het vergelijken van risico's is het belangrijk goed in de gaten te houden waarop het risico gebaseerd is. De definitie van risico kan namelijk variëren, afhankelijk van naar welk gevolg wordt gekeken. Gevolgen kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Dodelijk letsel (letaliteit)
- Verwondingen (hierin bestaan zeer veel gradaties)
- Tijdelijke arbeidsongeschiktheid
- Blijvende arbeidsongeschiktheid
- Verzuim
- Psychische problemen
- Financiële schade
- Verslechterd bedrijfsimago (bijvoorbeeld bij terugroepacties)

Bij risico vergelijking is het is dus zaak om in gedachten te houden over wat voor soort risico het gaat.

3.3 Beleid voor externe veiligheid

De Nederlandse overheid, in het bijzonder de ministeries van Verkeer & Waterstaat, en VROM, heeft beleid ontwikkeld voor 'externe veiligheid'. Dit beleid moet de veiligheid waarborgen van mensen in de omgeving van activiteiten met gevaarlijke stoffen [5, 9, 10, 11]. Het gaat dus niet om de veiligheid van werknemers, maar om de veiligheid van mensen buiten het bedrijfsterrein. Het beleid richt zich op zowel bedrijven die met gevaarlijke stoffen werken, als het transport van gevaarlijke stoffen over de weg en het spoor. Het maakt vooral gebruik van de probabilistische benadering. Dit in tegenstelling tot het beleid met betrekking tot arbeidsveiligheid, dat vooral de deterministische benadering hanteert.

Voor externe veiligheid zijn twee typen risico's gedefinieerd: plaatsgebonden risico (PR) en groepsrisico (GR). Beide zijn gebaseerd op letaliteit (dodelijke slachtoffers) en worden berekend door een QRA uit te voeren. Voor de uitvoering van die QRA gelden richtlijnen: de 'gekleurde boeken' [1 t/m 4]. Deze zorgen ervoor, dat de QRA gestandaardiseerd verloopt. Daardoor is toetsing aan de normen goed mogelijk en kunnen situaties onderling goed worden vergeleken.

De normen voor PR en GR staan vermeld in het 'Ontwerp-besluit vaststelling milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichtingen' [9]. Deze normen zijn nog niet wettelijk vastgesteld; naar verwachting gebeurt dit in de loop van 2003. Daarop vooruitlopend vindt al wel toetsing van bedrijven en transportroutes aan deze normen plaats.

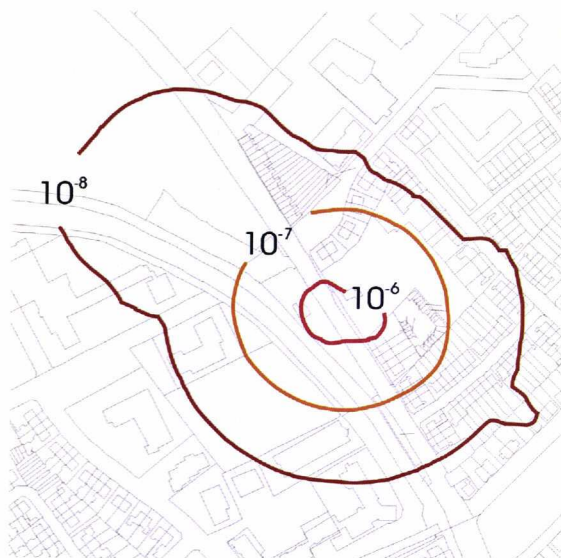
Plaatsgebonden risico

De definitie van plaatsgebonden risico luidt: de kans per jaar dat een willekeurig persoon die zich continu onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt, dodelijk wordt getroffen door een incident met gevaarlijke stoffen in een bedrijf en/of op een transportroute. Het plaatsgebonden risico zegt dus niets over het mogelijke aantal slachtoffers. Het heeft alleen betrekking op de kans op overlijden op een bepaalde plaats. Daar horen meestal kleine getallen bij, bijvoorbeeld 0,000001. Daarom krijgt het plaatsgebonden risico een exponentiële notatie: 10^{-6} .

Betekenis van PR-waarden

Waarde	Betekent: Een kans van per jaar op overlijden	Of: eens in de jaar een dode
10^{-4}	1 op 10.000	10.000
10^{-5}	1 op 100.000	100.000
10^{-6}	1 op 1.000.000	1.000.000
10^{-7}	1 op 10.000.000	10.000.000
10^{-8}	1 op 100.000.000	100.000.000

Het plaatsgebonden risico wordt op een omgevingsplattegrond aangegeven in de vorm van contouren. Deze 'iso-risicocontouren', kortweg 'risicocontouren', verbinden punten met een gelijk risico. Figuur 3.5 laat de PR-contouren zien voor een fictief bedrijf op een fictieve locatie. De 10^{-6} contour geeft aan dat een willekeurig persoon die zich hierop bevindt, een kans heeft van één op een miljoen per jaar dat hij overlijdt door een incident bij het bedrijf. De figuur laat ook zien, dat het PR afneemt als de afstand tot het bedrijf groeit: van 10^{-6} naar 10^{-7} naar 10^{-8} .



Figuur 3.5 Weergave van het plaatsgebonden risico (fictief voorbeeld)

De normering voor plaatsgebonden risico onderscheidt kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten. Tot de eerste categorie behoren bijvoorbeeld woningen en scholen. Kantoren en industrie zijn voorbeelden van beperkt kwetsbare objecten. Deze objecten mogen zich niet binnen bepaalde risicocontouren bevinden. De normen die daarvoor gelden, staan in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Normen¹ voor het plaatsgebonden risico

Kans op overlijden (per jaar)	Situatie tot 2010	Situatie vanaf 2010
Kwetsbare objecten (woningen, scholen, ziekenhuizen, etc.)	10^{-5}	10^{-6}
Beperkt kwetsbare objecten (kantoren, industrie, incidentele woonbebouwing, etc.)	10^{-5}	10^{-5}

1. Deze normen gelden zowel voor bedrijven als transportroutes.

Zowel kwetsbare, als beperkt kwetsbare objecten mogen zich dus niet binnen de 10^{-5} contour bevinden. Na 2010 wordt de norm voor kwetsbare objecten strenger. Voor deze objecten geldt dan de 10^{-6} contour als norm. Nieuwe bedrijven of transportroutes moeten nu al voldoen aan de normen die gelden vanaf 2010.

Soms worden deze normen overschreden. Het is in zo'n geval niet altijd mogelijk om het PR met additionele maatregelen te verlagen. Dan grijpt de overheid actief in. Zij heeft daarvoor twee instrumenten in handen. Ten eerste kan de overheid de vergunning aanpassen, bijvoorbeeld door deze voor bepaalde gevaarlijke stoffen in te trekken. Een andere mogelijkheid is de betreffende omgeving saneren: objecten verwijderen uit de probleemzone. Leveren beide ingrepen onvoldoende risico-verlaging op, dan kan de overheid de vergunning zelfs helemaal intrekken en moet het bedrijf vertrekken.

Hoe verhouden de PR-normen zich nu tot de kans op overlijden door andere oorzaken? In tabel 3.2 staan de kansen op overlijden door verschillende oorzaken. De tabel maakt onder andere duidelijk, dat de overlijdenskans per jaar door autorijden 17 keer zo groot is als de huidige PR-waarde voor kwetsbare objecten.

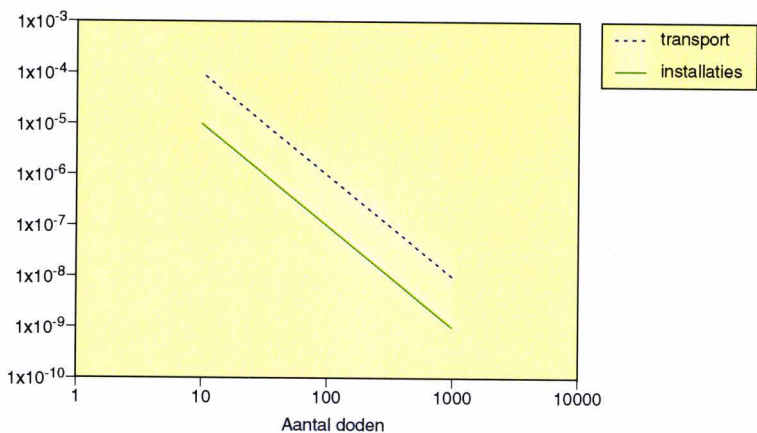
Tabel 3.2 Kans op overlijden door diverse oorzaken [6]

Vrijwillig risico	Kans op overlijden per persoon per jaar
Gebruik van een anticonceptiepil	2×10^{-5}
Bergbeklimmen	4×10^{-5}
Autorijden	17×10^{-5}
Roken (20 sigaretten/dag)	500×10^{-5}
Onvrijwillig risico	Kans op overlijden per persoon per jaar
Meteoriet	6×10^{-11}
Bliksem (in Engeland)	1×10^{-7}
Overstroming van dijken in Nederland	1×10^{-7}
Brand	150×10^{-7}
Aanrijding (in Engeland)	600×10^{-7}
Leukemie	800×10^{-7}

Groepsrisico

Het groepsrisico geeft de kans per jaar weer, dat een groep mensen als gevolg van een incident overlijdt. Het gaat daarbij niet om werknemers, maar om mensen die aanwezig zijn in de omgeving van het bedrijf of de transport route. Het groepsrisico is geen strikte norm, maar een oriënterende waarde. Dit betekent dat het bevoegde gezag met een goede motivatie mag afwijken van deze waarde, zowel naar boven als naar beneden. De oriënterende waarde is geen 'enkele' waarde, zoals het plaatsgebonden risico, maar een lijn: naarmate de groep mogelijke slachtoffers groter is, moet de kans op zo'n ongeval kwadratisch afnemen [4, 9]. Zo wordt rekening gehouden met de perceptie: een groot ongeval wordt meer dan evenredig ernstiger ervaren. Figuur 3.6 geeft de GR-norm weer voor zowel installaties (bedrijven) als transport.

Kans (per jaar)



Figuur 3.6 Oriënterende waarden voor het groepsrisico (voor transport per km route)

Voor bedrijven geldt dus een groepsrisico van 10^{-5} per jaar voor tien dodelijke slachtoffers. Voor honderd dodelijke slachtoffers per jaar ligt de waarde op 10^{-7} . Dit betekent dus dat de kans dat 10 dodelijke slachtoffers vallen als gevolg van een incident op het bedrijfsterrein 10^{-5} per jaar is, terwijl de kans op honderd dodelijke slachtoffers veel lager is, namelijk 10^{-7} per jaar.

In het geval van transport is het groepsrisico per kilometer transportroute. Daar geldt een groepsrisico van 10^{-4} per kilometer per jaar voor tien dodelijke slachtoffers en van 10^{-6} per kilometer per jaar voor honderd dodelijke slachtoffers.

4. Wanneer zijn we veilig?

We hebben nu gezien wat risico inhoudt, hoe we ertegenaan kijken, en hoe het in Nederland genormeerd wordt. Maar zijn we ook absoluut veilig als we ons aan alle risiconormen houden? Kan ons dan niets meer overkomen? Het antwoord op deze vragen luidt: NEE! Daar zijn tenminste drie redenen voor.

- Een kans op overlijden van bijvoorbeeld 10^{-6} /jaar - of eens per één miljoen jaar - betekent niet dat er de komende miljoen jaar niets zal gebeuren. Er kan over twee minuten iets gebeuren, of morgen of volgend jaar of misschien wel helemaal nooit. Vergelijk het maar met een dobbelsteen. De kans dat we zes gooien is één op zes. Maar dit betekent niet, dat we na iedere zesde worp een zes gooien. De geluksvogels gooien meteen zes; de pechvogels hebben daar misschien wel tien worpen voor nodig. Het is niet te voorspellen wie wanneer een zes gooit - net zoals het niet te voorspellen is wanneer een ongeval gebeurt.
- Een overlijdensrisico van 10^{-6} /jaar betekent niet dat we een overlijdenskans van één op een miljoen hebben *op het moment dat een ongeval plaatsvindt*. De kans op overlijden kan dan stijgen tot zelfs 100%. Neem een bouwvakker die door zijn werkzaamheden een overlijdensrisico van 10^{-6} /jaar heeft. Op het moment dat hij van een hoge constructie valt, is de kans op dodelijk letsel vrijwel 100%.
- Risiconormering richt zich op een bepaald type risico (overlijden) en bepaalde activiteiten en/of situaties. Zo heeft de normering voor externe veiligheid betrekking op gevaarlijke stoffen. Deze risiconorm houdt geen rekening met alle andere risico's die we lopen. Denk bijvoorbeeld aan het risico van een auto-ongeluk, een vliegtuigcrash of het oplopen van een beroepsziekte. Er zijn veel risico's in het leven. Die kunnen we niet allemaal voorkomen of in normen vangen. Kortom: leven is het accepteren van risico's.

Heeft het dan wel zin om risiconormen op te stellen en ons daaraan te houden? Het antwoord daarop is: JA! Met risiconormering en -reductie kunnen we niet alle mensenlevens redden, maar wel een aantal. Soms zelfs een behoorlijk groot aantal. Alle investeringen in het veiliger maken van auto's hebben ertoe geleid, dat het aantal dodelijke slachtoffers per jaar in het verkeer nu drie keer zo laag is als in de jaren zestig. En dat terwijl het nu veel drukker is op de weg. Ook als samenleving moeten we dus, als gevolg van onze activiteiten, een beperkt aantal doden binnen een bepaalde tijd accepteren. Wie helemaal geen risico wil accepteren van een bepaalde activiteit, moet óf stoppen met die activiteit, óf veel investeren in maatregelen om het risico te op te heffen.

Absolute veiligheid creëren door te stoppen met *alle* risicovolle activiteiten is onmogelijk. Iedere activiteit draagt nu eenmaal wel een zeker risico in zich. We moeten dus voor elke activiteit afzonderlijk een afweging maken tussen de voordelen, bijvoorbeeld economische activiteit, en de nadelige gevolgen, zoals doden en/of gewonden.

Daarnaast moeten we de afweging welk risico we accepteren ook maken tussen verschillende activiteiten onderling. Zo voorkomen we dat risicoreductie voor de ene activiteit niet teveel ten koste gaat van risicoreductie voor de andere activiteit. Neem bijvoorbeeld het autoverkeer met zijn duizend doden per jaar. We kunnen het aantal verkeersdoden niet steeds verder blijven terugdringen. Op een gegeven

moment vereist dit dusdanige maatregelen, dat de samenleving de kosten hiervan niet langer meer kan opbrengen. En nog voor het zover is, zullen alle middelen, die we anders in bijvoorbeeld gezondheidszorg, onderwijs en milieu zouden stoppen, gebruikt zijn voor de risicoreductie in het verkeer. Dit betekent dat het risico van overlijden bij deelname aan het autoverkeer is verlaagd. Maar tegelijkertijd is het overlijdensrisico als gevolg van een ziekte drastisch gestegen door tekorten in de gezondheidszorg. Dan zijn we ons doel voorbijgeschoten: er komen juist méér slachtoffers, alleen niet meer in het verkeer. Een goed risicobeleid voeren betekent dus een afweging maken tussen de kosten en baten van activiteiten op zich en de samenhang tussen die activiteiten onderling.

Dit geldt ook voor het risico dat mensen lopen op de werkplek. Ook hier betekent een goed risicobeleid dat een afweging gemaakt dient te worden tussen de verschillende activiteiten en hun onderlinge samenhang. Daarbij komt ook nog kijken dat de mate van risicoreductie niet alleen afhangt van technische maatregelen (zoals veiligheidshelmen), maar ook van (het uitvoeren van) procedures, de opleiding van medewerkers, handhaving enzovoorts. Zo heeft het bijvoorbeeld weinig zin om veel geld te investeren in allerlei technische maatregelen, als niet aan de medewerkers wordt uitgelegd hoe om te gaan met deze technische snufjes. Risicobeleid op de werkplek is dus niet alleen een afweging maken tussen verschillende activiteiten en hun onderlinge samenhang, maar ook een goed evenwicht zien te vinden tussen de verschillende factoren die risicoreductie beïnvloeden.

5. Referenties

- 1 Gele boek: Methods for the calculation of physical effects, CPR 14E (twee delen), Committee for the Prevention of Disasters, Third edition 1997, Sdu Uitgevers.
- 2 Groene Boek: Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en objecten door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen. Commissie voor de Preventie van Rampen CPR 16E, eerste editie 1992. Uitgegeven door het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.
- 3 Paarse Boek: Richtlijn voor kwantitatieve risicoanalyse, CPR 18 Commissie voor de Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen, Eerste druk 2000, Sdu Uitgevers, Den Haag.
- 4 Rode boek: Methods for determining and processing probabilities, CPR 12E, Committee for the Prevention of Disasters, Second edition, 1997, Sdu Uitgevers.
- 5 Handreiking externe veiligheid, Vervoer gevaarlijke stoffen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Interprovinciaal Overleg, VNG, Ministerie van Binnenlandse Zaken, en Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. VNG Uitgeverij, Den Haag 1998.
- 6 Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment, and Control, Volume 1, F.P. Lees, Butterworth-Heinemann, second edition 1996.
- 7 Rapport inzake grenswaarde Benzeen; Gezondheidskundig advies van de Werkgroep van Deskundigen ter vaststelling van MAC-waarden, Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid; Voorburg, december 1989.
- 8 Chemiekaarten, Gegevens voor veilig werken met chemicaliën, 17^e editie, 2002.
- 9 Ontwerp-besluit vaststelling milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichtingen, Staatscourant 22 februari 2002, nr. 38.
- 10 Nota Risiconormering Vervoer Gevaarlijke Stoffen, Beleidsbrief VROM en V&W, Tweede Kamer 1996, vergaderjaar 1995 - 1996, 24 611, nr. 2.
- 11 Brief van de minister van Verkeer en Waterstaat, Risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen, Tweede kamer, vergaderjaar 2001-2002, 24 611, nr. 4.

Deel B: Methodieken voor risicoanalyse

Inhoudsopgave

Inleiding	2
1 Kwantitatieve risicoanalyse	3
1.1 Bepalen van het gevolgddeel	4
1.2 Bepalen van het kansdeel	7
2 Overige methodieken	11
2.1 Checklists	11
2.2 DOW Fire and Explosion Index	11
2.3 HAZOP	12
2.4 FMEA	13
3 Samenvatting	14
4 Referenties	15

Inleiding

In Deel A van dit boek zijn we ingegaan op wat risico is (kans x gevolg) en hoe ermee omgegaan wordt. In dit deel gaan we in op de uitvoering van een risicoanalyse voor industriële risico's, in het bijzonder de kwantitatieve risicoanalyse (QRA). Dit deel is dan ook bedoeld voor lezers met een technische achtergrond, die meer willen weten over methodieken voor de uitvoering van een risicoanalyse. Het is echter gezinszins een stap-voor-stap handleiding voor het uitvoeren van een risicoanalyse, maar meer bedoeld als kennismaking met verschillende methodieken.

Er bestaan naast de QRA verschillende methodieken voor risicoanalyse. De belangrijkste daarvan staan weergegeven in tabel 1.

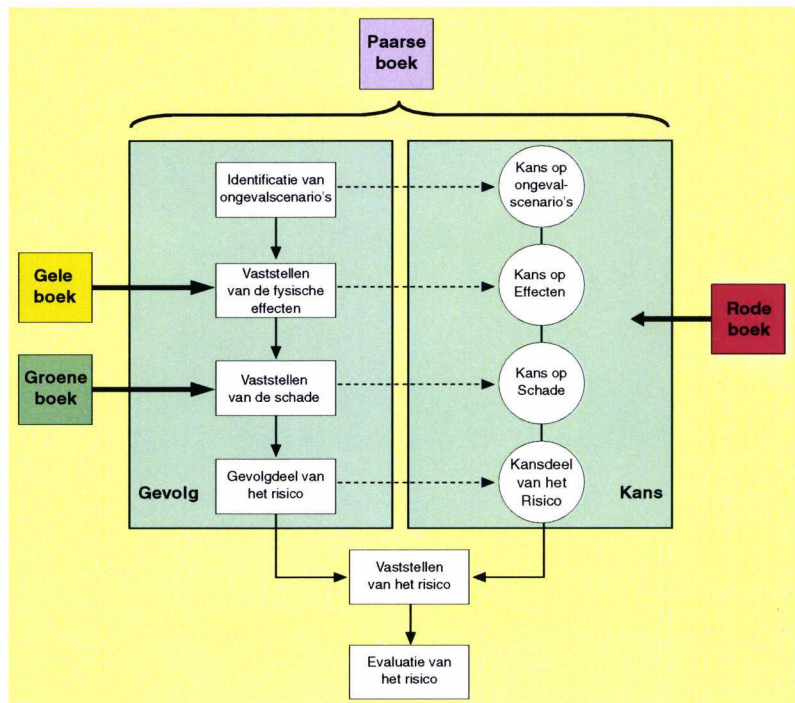
Tabel 1 *Methodieken voor risicoanalyse*

<i>Methodieken</i>	<i>Toepassing</i>
<i>Casuïstiek</i>	<i>Scenario-identificatie in ontwerpfase, bij procesmodificaties, of voor veiligheidsrapportage</i>
<i>Checklists</i>	<i>Voor het veilig verloop van startup, bedrijf, en shutdown van installaties</i>
<i>Dow Fire & Explosion Index</i>	<i>Voor identificatie van het gevaren van een proces in de ontwerpfase</i>
<i>HAZOP</i>	<i>Voor identificatie van mogelijke scenario's in de ontwerpfase of bij procesmodificaties (vooral procesgericht)</i>
<i>FMEA</i>	<i>Voor identificatie van mogelijke scenario's bij ontwerp, constructie, of bedrijf van een proces. Vooral gericht op (sub)systemen.</i>
<i>Foutenboom</i>	<i>Voor ongevalidentificatie en het bepalen van kansen op een (ongewenste) gebeurtenis</i>
<i>Gebeurtenissenboom</i>	<i>Voor ongevalidentificatie en het bepalen van kansen op fysische effecten</i>

Casuïstiek, foutenboom, en gebeurtenissenboom worden vaak gebruikt bij het maken van een QRA. Daarom worden deze methodieken toegelicht in Hoofdstuk 1, waar de uitvoering van een QRA aan de orde komt. In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de overige methodieken.

1. *Kwantitatieve risicoanalyse*

Aan industriële risico's wordt al sinds begin jaren '80 gerekend door middel van kwantitatieve risicoanalyses (QRA's¹). Bij een QRA worden zowel de kans als het gevolg gekwantificeerd. De stappen die worden uitgevoerd in een QRA staan weergegeven in figuur 1.1. Eerst worden de ongevalsscenario's geïdentificeerd, vervolgens worden de fysische effecten bepaald (bijvoorbeeld brand), en de schade die deze effecten tot gevolg hebben. Voor elk scenario en de bijhorende effecten & schade dient vervolgens de kans bepaald te worden. Daarna worden kans en gevolg (schade) gecombineerd tot het totale risico. Tenslotte wordt het zo verkregen risico geëvalueerd: voldoet het aan de normen, en welke maatregelen dienen eventueel genomen te worden om ervoor te zorgen dat het risico wel aan de norm voldoet.



Figuur 1.1 Stappen in de uitvoering van een QRA

In Nederland bestaat een richtlijn voor het maken van een QRA voor industriële installaties. Deze richtlijn staat beschreven in het Paarse Boek [3]. Daarnaast zijn er een drietal 'gekleurde' boeken met richtlijnen voor specifieke onderdelen van de uitvoering van een QRA (zie ook figuur 1.1):

- het Gele boek: bevat modellen voor het berekenen van fysische effecten [1]
- het Groene boek: bevat modellen voor het berekenen van schade [2]
- het Rode boek: bevat methoden voor het bepalen van kansen [4]

1. QRA = Quantitative Risk Assessment

In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk zal worden ingegaan op het bepalen van het gevolgd deel en het kansdeel van het risico.

1.1 Bepalen van het gevolgd deel

Het gevolgd deel van het risico wordt bepaald door middel van drie stappen: ongevalidentificatie, het bepalen van de fysische effecten, en het bepalen van de schade. Deze stappen worden hieronder toegelicht.

1.1.1 Ongevalidentificatie

Voor ongevalidentificatie wordt vaak gebruik gemaakt van casuïstiek. Daarnaast geeft het Parse boek een methodiek voor ongevalidentificatie.

Casuïstiek

Voor het identificeren van mogelijke ongevals scenario's is casuïstiek een veel gebruikt en zeer geschikt middel. Met casuïstiek wordt bedoeld: een beschrijving van ongevallen die in het verleden hebben plaatsgevonden. Het kan dan gaan om ongevallen in het eigen bedrijf, maar ook ongevallen die hebben plaatsgevonden bij bedrijven met soortgelijke processen of stoffen, of beide. Deze beschrijvingen kunnen helpen om na te gaan of in de eigen situatie een soortgelijk ongeval ook zou kunnen gebeuren en welke maatregelen getroffen zijn (of getroffen moeten worden) om het ongeval te voorkomen.

Dergelijke beschrijvingen van ongevallen zijn veelal verzameld in databases die het relatief eenvoudig maken om informatie te zoeken over ongevallen met processen, activiteiten of stoffen die men zelf ook hanteert. In deze databases staat informatie over bijvoorbeeld:

- de activiteit waarbij het ongeval gebeurde: productie, gebruik, transport, opslag, onderhoud, etc.;
- de stoffen die bij het ongeval betrokken waren;
- de aard van de effecten: brand, explosie, toxische wolk, scherven, etc.;
- aard van de oorzaak: menselijke fout, aanrijding, versleten apparatuur, etc.;
- aard van de gevolgen: vielen er doden en/of gewonden, milieuschade, materiële schade; vielen slachtoffers onder werknemers of ook onder de bevolking;
- ongeval- of rampbestrijding: evacuatie gepleegd, brandweer-inzet, emergency response;
- jaar en/of land van de gebeurtenis;
- kwaliteit van de achtergrondinformatie.

Enkele van de meest geraadpleegde computerdatabases zijn:

- MHIDAS (Major Hazards Incidents Data Service), van Safety & Reliability Directorate (AEA Technology Ltd., United Kingdom). MHIDAS omvat gegevens over meer dan 9.000 industriële ongevallen en bijna-ongevallen met gevaarlijke stoffen (exclusief nucleair).
- FACTS (Failure and Accident Technical Information System), van TNO-MEP, afdeling Industriële Veiligheid (Nederland). FACTS omvat informatie over ruim 19.000 ongevallen en bijna-ongevallen met gevaarlijke stoffen (exclusief nucleair), met betrekking tot productie, gebruik, opslag, overslag en transport.
- MARS (Major Accident Reporting System), van de Europese Commissie en in beheer bij het Joint Research Centre Ispra (Italië). Hier wordt de ongevalinformatie verzameld die volgens de Europese Seveso-richtlijn door lidstaten verstrekt dient te worden wanneer op hun territorium een industrieel ongeval van grote omvang gebeurt. Doordat alleen de grote ongevallen (major

hazard accidents) in MARS worden opgenomen, is het aantal cases niet erg groot (ruim 450).

- WOAD (World Offshore Accident Database), van Det Norske Veritas (DNV) Offshore Technology (Noorwegen). Deze omvat informatie over ruim 3.200 ongevallen met betrekking tot offshore olie & gas-exploratie en -productie en alle daarmee verwante activiteiten. Er is informele afstemming tussen WOAD en TNO's databank FACTS.
- Accident Database, ontwikkeld door IChemE (Institution of Chemical Engineers). Deze database bevat informatie over ruim 13.000 industriële ongevallen en bijna-ongevallen (ook met gevaarlijke stoffen).

Verder zijn er ook specifieke databases die bijvoorbeeld gaan over ongevallen met drukvaten, over ongevallen waaraan menselijk falen ten grondslag ligt, of over betrouwbaarheidsgegevens voor bepaalde typen apparatuur. Ook zijn er databases waarin specifiek de milieugevolgen van calamiteiten worden verzameld.

Bronnen om dergelijke databases te vullen, zijn legio. Deze variëren van krantenartikelen en beschrijvingen in (vak-)literatuur, tot rapportages of procesverbalen van Arbeidsinspecties (niet openbaar), speciale uitgaven zoals Loss Prevention Bulletin, en uitgebreide ongevalanalyses, vooral van grotere ongevallen en rampen.

Richtlijnen uit het Paarse boek

Het Paarse boek geeft een subselectiesysteem, waarmee kan worden bepaald welke delen van de installatie opgenomen moeten worden in de QRA. Door delen van de installatie aan te wijzen voor deelname, en andere delen uit te sluiten, wordt mede bepaald welke scenario's meegenomen zullen worden. Het subselectiesysteem kent aan elk deel van de installatie een selectiegetal toe, op basis waarvan selectie voor deelname aan de QRA plaatsvindt. Het selectiegetal is gebaseerd op het aanwijsgetal en op de afstand ten opzichte van kritische bebouwing rond het bedrijventerrein. Het aanwijsgetal houdt rekening met de hoeveelheid van de gevaarlijke stof, de stoffeigenschappen en de procesomstandigheden (zoals temperatuur, druk, en type installatie).

Deze methode, waarbij getallen worden toegekend die het gevaar van de installatie uitdrukken, is een zgn. ranking methode. Een ander voorbeeld van een ranking methode is de Dow Fire & Explosion Index (zie hoofdstuk 2.2).

1.1.2 Het effect bepalen

Bij industriële risico's zijn de ongevallen waar bij een QRA naar gekeken wordt ongevallen met het ongewenst vrijkomen van een gevaarlijke stof ("Loss of Containment" of LoC). Met gevaarlijke stoffen wordt bedoeld: giftige stoffen, brandbare stoffen, en explosieve stoffen. Het vrijkomen van gevaarlijke stoffen doorloopt fasen. Bij het vrijkomen van een giftige vloeistof bijvoorbeeld, zal de vloeistof een plas vormen op de ondergrond, waarna verdamping en dispersie plaats zullen vinden. Om te kunnen bepalen welke schade wordt veroorzaakt door het vrijkomen van een gevaarlijke stof, is het nodig dat de fasen in het vrijkomen van de gevaarlijke stof bekend zijn. Deze fasen zijn met name afhankelijk van:

- de aard van de stof (bijvoorbeeld: is het een gas, een vloeistof of een vaste stof),
- de gevaarspotentie van de stof (is deze brandbaar of explosief, of schuilt het gevaar in de toxiciteit)
- de omstandigheden waaronder de stof is opgeslagen en waaronder deze vrijkomt (bijvoorbeeld bij verhoogde druk of temperatuur)
- de omgevingsomstandigheden (buitentemperatuur, windsnelheid, complexe bebouwing of vrije veld)

Effectmodellen beschrijven het fysische gedrag van een stof tijdens en na het vrijkomen. In het Gele boek [1] staan dit soort modellen beschreven. Met deze modellen kan bijvoorbeeld berekend worden: de uitstroomsnelheid van een stof, de verdamping van een vloeistof, de verspreiding van damp in de atmosfeer (dispersie) en de resulterende concentraties in de buitenlucht. Daarnaast kan ook de intensiteit van warmtestraling in geval van een brand berekend worden, en de overdruk bij een explosie. Dit soort informatie is nodig om de schade te kunnen bepalen.

TNO heeft een computerprogramma, 'EFFECTS', ontwikkeld met modellen uit het Gele boek. Met EFFECTS kan gerekend worden aan het fysisch gedrag van giftige en brandbare stoffen. EFFECTS heeft ook een uitgebreide database met stof-eigenschappen.

De uitkomsten van de effectmodellen hebben een onzekerheid, die in bepaalde gevallen zelfs groot kan zijn. Dit komt doordat sommige effectmodellen moeilijk te valideren zijn (bijvoorbeeld overdrukken bij een explosie). Daarnaast worden soms modellen die wel goed gevalideerd zijn, gebruikt voor omstandigheden die buiten het toepassingsgebied liggen (extrapolatie). Dit brengt ook een onzekerheid met zich mee.

1.1.3 De schade bepalen

Schade is het directe gevolg van de fysisch of mechanisch effecten die optreden bij het vrijkomen van een gevaarlijke stof. Hoewel schade verschillende definities kan hebben (doden, gewonden) wordt in een QRA doorgaans alleen gekeken naar doden. Afhankelijk van de aard van de gevaarlijke stof en hoe het ongeval zich ontwikkelt, leidt het vrijkomen van de gevaarlijke stof uiteindelijk tot één of meerdere fysische effecten die schade aan mensen kunnen veroorzaken. De belangrijkste schadeveroorzakende effecten waarmee in een QRA rekening wordt gehouden zijn:

- direct vlamcontact
- warmtestraling
- explosie overdruk
- inademing van giftige gassen

Voor de vaststelling van de schade wordt gebruik gemaakt van zogenaamde schademodellen. De schademodellen leggen een verband tussen de fysische of mechanische effecten en de schade die daardoor veroorzaakt wordt. In tabel 1.1 staat voorbeeld van het resultaat van een schadeberekening voor warmtestraling voor een bepaalde blootstellingsduur. Hieruit blijkt dus dat binnen het gebied met 35 kW/m² aan warmtestraling, 99% van de aanwezigen overlijdt.

Tabel 1.1 Resultaat van schademodel voor warmtestraling

Warmtestraling (kW/m ²)	Letaliteit
35	99%
28.3	90%
19.5	50%
13.4	10%
9.8	1%

Er zijn schademodelen zowel voor de uitwerking op de mens, als voor objecten (zoals beschadiging van gebouwen door explosie). Modellen voor berekening van de schade worden aanbevolen in het zogenaamde 'Groene Boek' [2]. Sommige van de modellen die hierin beschreven staan zijn ook (deels) bruikbaar voor de berekening van arbeidsrisico's, zoals de overlevingskans door een val vanaf een bepaalde hoogte.

Voor het berekenen van schade heeft TNO ook een computerprogramma ontwikkeld, DAMAGE, dat is gebaseerd op de modellen uit het Groene boek. Met DAMAGE kan de schade aan mensen veroorzaakt door warmtestraling, explosies, en toxiciteit worden bepaald. Daarnaast kan het effect van warmtestraling en explosies op een reeks van objecten worden bepaald, zoals gebouwen, vaten, en pijpleidingen.

Ook schademodelen kennen een bepaalde onzekerheid, omdat ze slecht gevalideerd kunnen worden. Daarom zijn schademodelen in het algemeen gebaseerd op (conservatieve) extrapolaties. Schademodelen voor toxiciteit bijvoorbeeld zijn gebaseerd op extrapolaties van dierproeven.

1.2 Bepalen van het kansdeel

In de risicoanalyse wordt vaak gesproken over kansen en frequenties. Wat is nu het verschil? Kansen zijn onafhankelijk van de tijd. Een kans wordt over het algemeen gegeven *per gebeurtenis*. Zo is de kans dat je met een dobbelsteen zes gooit 1 op 6 voor elke worp. De worp is dan de gebeurtenis. Frequenties, daarentegen, zijn tijdsafhankelijk. Een frequentie wordt dan vaak ook een kans per tijdseenheid (meestal per jaar) genoemd.

Kansen en frequenties kunnen gehaald worden uit casuïstiek en/of bepaald worden met behulp van een foutenboom of gebeurtenissenboom. Deze methodieken worden hieronder toegelicht. Daarnaast kunnen kansen en frequenties gehaald worden uit experimentele faal- en betrouwbaarheidsmetingen.

1.2.1 Casuïstiek

Casuïstiek levert met name faalkansen en -frequenties van apparatuur, bijvoorbeeld afsluiters, vaten, en pijpleidingen. Deze kansen en frequenties zijn bepaald op basis van werkelijk gebeurde ongevallen of incidenten. Dat is de kracht, maar tevens ook de beperking van de casuïstiek. Wanneer een kans gebaseerd is op vele incidenten gedurende een lange periode is dit kanscijfer erg betrouwbaar. In de praktijk is dit echter niet altijd het geval. Zo kunnen er bijvoorbeeld te weinig incidenten zijn gebeurd om een betrouwbaar cijfer te genereren. In dat geval wordt vaak categorisering toegepast, om tot voldoende incidenten binnen één categorie te komen. Faalfrequenties van pijpleidingen kunnen dan bijvoorbeeld worden ingedeeld in de categorieën 1 – 3 inch, 4 – 6 inch, 8 – 12 inch. Door het oprekken van categoriegrenzen zullen er meer incidenten binnen één categorie vallen, waarmee de betrouwbaarheid omhoog gaat. Het nadeel hiervan is echter dat het scheidend vermogen minder wordt. Zo is het in het eerder genoemde voorbeeld onmogelijk om onderscheid te maken tussen de faalfrequenties van pijpleidingen van 8 en 10 inch, omdat deze beide in de laatste categorie (8 – 12 inch) vallen.

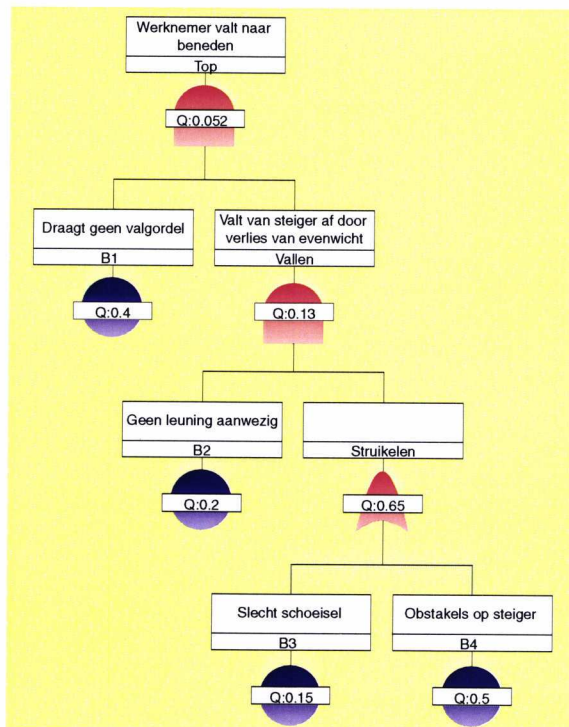
Voor kansen en frequenties zijn verschillende bronnen. Het Paarse boek geeft frequenties voor bijvoorbeeld het falen van vaten en pijpleidingen. Daarnaast zijn er voor LoC gebeurtenissen nog vele andere bronnen zoals [6]. Een uitgebreid overzicht van bronnen voor LoC gebeurtenissen is te vinden in [7].

1.2.2 Foutenboom

Als van een gebeurtenis geen kans bekend is uit de casuïstiek, wordt een foutenboom gebruikt om de kans op het optreden van een gebeurtenis (de zogenaamde topgebeurtenis) te berekenen. Daarnaast kan een foutenboom gebruikt worden om te bepalen wat bijdraagt aan de kans van een gebeurtenis. Een foutenboom werkt "top down", dat wil zeggen dat men steeds dieper zoekt naar oorzaken voor het optreden van de topgebeurtenis. Uiteindelijk leidt dit tot een of meerdere basisgebeurtenissen die alleen, of in combinatie met andere basisgebeurtenissen moeten plaatsvinden om tot een topgebeurtenis te komen. Door de kansen op deze gebeurtenissen te combineren, wordt de kans op de topgebeurtenis bepaald. In een QRA worden foutenbomen gebruikt om de kans van een scenario te berekenen.

Een foutenboom kan volledig worden uitgeschreven in wiskundige notatie of grafisch worden weergegeven zoals in figuur 1.2. In dit voorbeeld zijn vier basisgebeurtenissen (B1 – B4) die moeten plaatsvinden om een werknemer van een steiger te laten vallen (topgebeurtenis). De kansen op de gebeurtenissen staan ook in de figuur weergegeven (Q). De symbolen in de foutenboom hebben allemaal een betekenis. Het rode symbool na de topgebeurtenis bijvoorbeeld, geeft de "en"-poort weer, dat betekent dat de werknemer pas naar beneden valt als hij zijn evenwicht verliest én geen valgordel draagt. Zo zijn er nog meer symbolen mogelijk, die andere functies weergeven. Het voert te ver om die allemaal hier te behandelen.

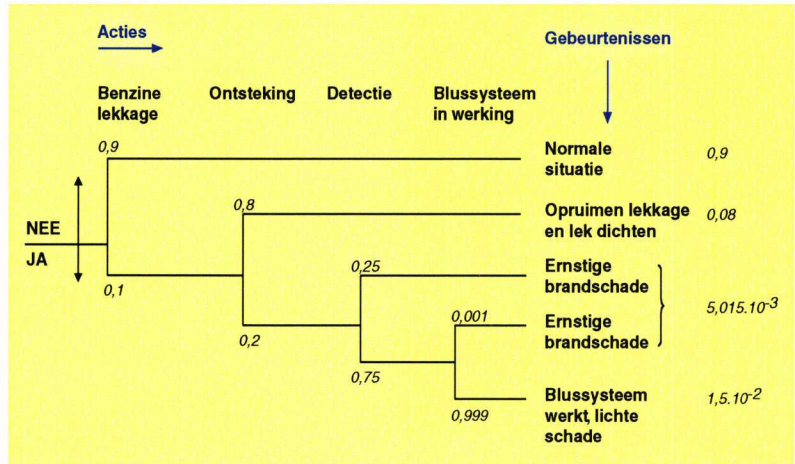
De grootste bijdrage aan de kans op het naar beneden vallen van de werknemer in komt door struikelen en door obstakels op de steiger.



Figuur 1.2 Voorbeeld van een foutenboom

1.2.3 Gebeurtenissenboom

In tegenstelling tot een foutenboom, die kijkt naar de mogelijke oorzaken van een incident, kijkt een gebeurtenissenboom naar de mogelijke gevolgen van het incident (de vervolggebeurtenissen). Gebeurtenissenbomen worden in een QRA gebruikt om de kansen op fysische effecten te bepalen. Een voorbeeld van een gebeurtenissenboom voor een blussysteem van een vat gevuld met benzine staat in figuur 1.3.



Figuur 1.3 Voorbeeld van een gebeurtenissenboom voor een blussysteem

Het blussysteem dient in werking te treden als gelekte benzine ontsteekt. De gebeurtenissenboom bestaat uit "Ja/Nee" splitsingen waarmee wordt aangegeven of een bepaalde actie wel of niet plaatsvindt. Zo kan een lekkage optreden. In de normale situatie gebeurt dit niet. Als wel lekkage optreedt, kan de ontstane plas ontstoken worden, etc. Bij elke "Ja/Nee" splitsing dienen kansen op optreden te worden bepaald. Deze kansen worden doorgaans gehaald uit de casuïstiek. Met deze kansen kan vervolgens de kans op de uiteindelijke gebeurtenissen bepaald worden, door de kansen op de gebeurtenissen te vermenigvuldigen. Zo is de kans op een normale situatie (geen lekkage) 0,9, terwijl de kans op lichte schade is $0,1 \times 0,2 \times 0,75 \times 0,999 = 1,5 \cdot 10^{-2}$.

Onzekerheden in faalkansen en faalfrequenties

Over het algemeen hebben faalkansen en faalfrequenties een relatief grote onzekerheid. Dit komt doordat de gegevens gebaseerd zijn op relatief weinig incidenten over een relatief korte tijdspanne (pakweg de laatste veertig jaar). Het is dus moeilijk om faalfrequenties te voorspellen in de ordegrrootte van 1 keer per miljoen jaar terwijl we maar gegevens hebben over een periode ongeveer veertig jaar.

Daarnaast is de situatie enigszins paradoxaal: omdat we proberen dingen zo veilig mogelijk te laten verlopen, gaat er relatief weinig mis. Er is dus een gering aantal statistische waarnemingen, wat de voorspellende waarde van de faalkansen en -frequenties relatief onbetrouwbaar maakt.

Een complicerende factor is dat door vooruitgang in de techniek de gegevens van enkele decennia geleden niet meer goed vergelijkbaar zijn met de huidige praktijk. Er zijn bijvoorbeeld betere staalsoorten die beter tegen corrosie bestand zijn, er is betere medische zorg waardoor mensen die vroeger dood zouden gaan nu kunnen overleven, en het veiligheidsbesef van mensen is groter geworden. Ondanks de grote onzekerheid is het goed mogelijk om faalkansen en faalfrequenties in relatie tot te gebruiken, dat wil zeggen: om vergelijkingen te trekken.

Omdat er grote onzekerheid kan bestaan in de resultaten van de effect – en schade modellen, alsook de kansen, kan er grote onzekerheid bestaan in de risicowaarden die met een QRA berekend worden. De Nederlandse overheid probeert dit te ondervangen door de berekeningen te standaardiseren. Dat maakt de onzekerheid in de berekende risicowaarden voor alle berekeningen vergelijkbaar. Daarnaast is het aan te bevelen om de berekende risicowaarden alleen te gebruiken ter vergelijking.

2. Overige methodieken

Naast de QRA bestaan er nog vele andere (meer kwalitatieve) methodieken voor risicoanalyse. De belangrijkste daarvan worden in dit hoofdstuk toegelicht.

2.1 Checklists

Een checklist is een lijst van handelingen of gebeurtenissen, die helpt bij het veilig en goed uitvoeren van een activiteit. Checklists zijn gebaseerd op logisch inzicht en worden steeds verbeterd naar aanleiding van dingen die wél verkeerd zijn gegaan. Checklists worden in veel situaties gebruikt, bijvoorbeeld als hulpmiddel:

- voor de volgorde van handelingen tijdens startup en shutdown van processen (bijvoorbeeld eerst pomp A aanzetten, vervolgens koeler B);
- voor de volgorde van handelingen bij het uitvoeren van batchprocessen (bijvoorbeeld grondstof toevoeren, verwarming starten, roeren stoppen);
- bij het ontwerp van een proces: voor zowel gevaren inherent aan het proces (bijvoorbeeld exotherme reacties, corrosiviteit van de producten, aanwezigheid van brandbare procesmengsels), als voor externe gevaren (bijvoorbeeld blikseminslag, storm, overstroming, elektriciteitsuitval)

Ook in het dagelijks leven maken we veel gebruik van checklists, bijvoorbeeld het boodschappenlijstje en het lijstje van mee te nemen spullen voor een kampeervakantie. Het gebruik van een checklist heeft niet zoveel te maken met risicoanalyse. Het maken van een checklist echter wél. Dit vereist namelijk een (kwalitatieve) inventarisatie van mogelijke risico's.

2.2 DOW Fire and Explosion Index

De DOW Fire and Explosion Index (F&EI) is, net als het subselectiesysteem uit het Paarse boek, een 'ranking' methode om risico's van installaties mee te kunnen rangschikken [8]. Het gaat dan met name om risico's van brand en explosie. De methode is in de zeventiger jaren ontwikkeld door DOW Chemical Company (USA). Bij deze methode wordt een getal (de index waarde) toegekend aan een procesunit, op basis van de in de unit aanwezige stoffen, de proceseigenschappen (zoals druk en temperatuur), maar ook het uitvoeren van menselijke handelingen. De F&EI index geeft een indicatie van het risico van de procesunit. De index wordt gebruikt om prioriteiten te stellen bij risicoreductie. Ook kan de methode vervolgens gebruikt worden om het effect van de maatregelen te evalueren.

2.3 HAZOP

De methodiek van HAZard and OPerability analyse (HAZOP) is oorspronkelijk ontwikkeld door ICI-UK, rond 1975. Een HAZOP wordt uitgevoerd in de vorm van gestructureerde brainstormsessies, waaraan experts van diverse disciplines deelnemen. Tijdens deze sessies wordt een ontwerp van een proces en de regelingen en beveiligingen daar omheen geëvalueerd op mogelijke afwijkingen en de oorzaken en gevolgen die met de afwijkingen samenhangen [5]. De afwijkingen kunnen zich uiten in procesfuncties zoals stroming, druk, temperatuur, samenstelling, maar kunnen ook betrekking hebben op verontreiniging, corrosie, faseverandering, etc. Om de brainstormsessie te structureren wordt gebruik gemaakt van zogenaamde 'gidswoorden' zoals: meer, minder, geen, e.d. Daarnaast zijn de gidswoorden een hulpmiddel voor de groep om het nadenken over en opsporen van mogelijke afwijkingen te stimuleren.

Uiteindelijk resulteert een HAZOP in aanbevelingen van het HAZOP-team, die de oorzaak of de negatieve gevolgen van de opgespoorde afwijkingen kunnen wegnemen. Deze aanbevelingen kunnen zowel van technische aard zijn (bijvoorbeeld het installeren van extra detectie apparatuur) als van organisatorische aard (verbetering van werkinstructies, training en opleiding van operators, preparatie in noodplannen). Tabel 2.1 geeft een voorbeeld van een HAZOP rapport voor het vullen van een cilinder met brandbare vloeistof. In dit voorbeeld is gekeken naar afwijkingen in het debiet van de vloeistof.

Tabel 2.1 Voorbeeld van een HAZOP

Vullen van een cilinder met brandbare vloeistof					
Guideword	Deviation	Causes	Consequences	Safeguards	Recommendations
NO	No flow	Afsluiter cilinder dicht	Geen		
MORE	More flow	Afsluiter cilinder ontregeld	Cilinder wordt overvuld	Geen vrijgave van cilinder, breekplaat bezwijkt	
LESS	Less flow	Afsluiter cilinder geknepen	Vullen duurt langer		
REVERSE	Reverse flow	Verkeerde stand afsluiter in toevoer leiding	Afvoer naar de werkruimte		Terugslagklep plaatsen

Er kan wat aarzeling bestaan om een HAZOP-studie uit te voeren, omdat het veel tijd in beslag kan nemen: soms meerdere dagen met een groep van zes tot acht mensen. De ervaring leert echter dat deze methode zich uiteindelijk dubbel en dwars terugverdient doordat in de ontwerpfase problemen reeds worden onderschept en gecorrigeerd die er anders pas bij ingebruikname als kinderziektes uit zouden komen. Correctie op de tekentafel is immers vele malen goedkoper dan in een reeds gebouwde installatie.

De resultaten van een HAZOP zijn vooral kwalitatief van aard. Soms wordt ook een semi-kwantitatieve waardering toegekend aan de waarschijnlijkheid van optreden (vrijwel uitgesloten tot zeer frequent) en aan van de ernst van de gevolgen (minimaal tot catastrofaal; een enkele gewonde tot meerdere doden). Deze waarden kunnen in een risicomatrix worden gepresenteerd, op basis waarvan prioriteiten in maatregelen kunnen worden gesteld.

2.4 FMEA

Bij een Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) wordt op ongeveer dezelfde wijze te werk gegaan als in een HAZOP, met één verschil: een FMEA richt zich op het functioneren van het systeem, met name het falen van individuele procescomponenten (bijv. pomp, regelklep, niveaumeter, pakking), terwijl een HAZOP naar de procesparameters (bijv. druk, temperatuur) kijkt. FMEA wordt, behalve voor identificeren van gevaarlijke situaties, ook gebruikt om keuzes te maken in inspectie- en onderhoudsprogramma's en voor het voorraadbeheer van reserve-onderdelen. Het levert een overzicht van de kritische systeemcomponenten. Evenals bij HAZOP, kan ook in een FMEA een semi-kwantitatieve ranking van risico's worden toegevoegd. Dit staat bekend als 'Criticality', de methode wordt dan ook wel FME(C)A genoemd. In tabel 2.2 staat een voorbeeld van een FMEA voor een condensor van een koelsysteem.

Tabel 2.2 Voorbeeld van een FMEA

Condensor van een koelsysteem							
Failure modes	Causes	Effects	Safeguards	S	L	R	Recommendations
Geen / onvoldoende koeling	Geen watersuppletie	Hoge persdruk, minder koelcapaciteit afhankelijk van buitentemperatuur	Terugregelen van de compressor	6	5	7	
	Geen waterbehandeling	Toename zouten in water, aanslag op condensor buizen	Geleidbaarheidsmeting	7	6	10	
	Ventilator uitgevallen	Hoge persdruk, minder koelcapaciteit afhankelijk van buitentemperatuur	Terugregelen van de compressor	4	6	6	
Bevroren systeem	Uitval verwarmings-elementen	Bevriazing	-	4	6	6	PLC-beveiliging

S = ernst van de afwijking (Severity)

L = waarschijnlijkheid van optreden van de afwijking (Likelihood)

R = risicogetal (product van S en L, genormeerd op een maximale waarde van 10)

3. *Samenvatting*

In dit deel van het boekje zijn we ingegaan op de uitvoering van een risicoanalyse, in het bijzonder de QRA. De verschillende stappen in de uitvoering van een QRA zijn toegelicht, waarbij duidelijk is geworden dat er een grote onzekerheid kan bestaan in de resultaten van de effect – en schademodelen, alsook de kansen. De Nederlandse overheid probeert dit te ondervangen door de berekeningen te standaardiseren. Dat maakt de onzekerheid in de berekende risicowaarden voor alle berekeningen vergelijkbaar. Daarnaast is het aan te bevelen om de berekende risicowaarden alleen te gebruiken ter vergelijking.

Naast de QRA zijn ook een viertal andere, meer kwalitatieve methodieken voor risicoanalyse toegelicht, te weten: checklist, DOW Fire and Explosion Index, HAZOP, en FMEA.

4. Referenties

- 1 Gele boek: Methods for the calculation of physical effects, CPR 14E (twee delen), Committee for the Prevention of Disasters, Third edition 1997, Sdu Uitgevers.
- 2 Groene Boek: Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en objecten door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen. Commissie voor de Preventie van Rampen CPR 16E, eerste editie 1992. Uitgegeven door het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.
- 3 Paarse Boek: Richtlijn voor kwantitatieve risicoanalyse, CPR 18 Commissie voor de Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen, Eerste druk 2000, Sdu Uitgevers, Den Haag.
- 4 Rode boek: Methods for determining and processing probabilities, CPR 12E, Committee for the Prevention of Disasters, Second edition, 1997, Sdu Uitgevers.
- 5 HAZOP: Guide to best practice, Guidelines to best practice for the process and chemical industries, IChemE, 2000.
- 6 Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment, and Control, Volume 1, F.P. Lees, Butterworth-Heinemann, second edition 1996.
- 7 TNO-report :‘Derivation of failure frequencies for LoC cases’, M. Th. Logtenberg, R98/501, 2001.
- 8 DOW’s Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, AIChE technical manual, 7th edition, New York, 1994.



Auteurs

Frank van het Veld, Koos Ham, en Karina Jap A Joe,
TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Afdeling Industriële Veiligheid, Apeldoorn
Niek Steijger, TNO Arbeid, Hoofddorp

Eindversie, september 2003

Omslag: Eline Kruithof