

PROCEDURE VOOR EEN RISICOANALYSE VAN ASFALTVERHARDINGEN

F. TOLMAN
Koac-Npc

T. DE JONGHE
Koac-Npc

Samenvatting

De werkgroep RAAV stelt een risicomodel op voor mechanische aspecten van asfaltwegen (draagkracht [vermoeiing], scheurvorming, rafeling en spoorvorming). De aanpak is theoretische modellen en praktische aspecten te integreren en kwantitatieve resultaten te berekenen. Theoretische modellen worden aan de literatuur ontleend en praktische aspecten worden via interviews met deskundigen achterhaald.

Résumé

Le groupe de travail RAAV (risico analyse asfaltverhardingen = analyse de risque pour revêtements en asphalte) a rédigé un modèle de risque pour les aspects mécaniques des routes en asphalte (portance [fatigue], fissurage, plumage et orniérage). Ils ont intégré des modèles théoriques avec des aspects pratiques pour pouvoir calculer de résultats quantitatifs. Ils ont trouvé les modèles dans la littérature et les aspects pratique viennent des interviews avec des experts.

Trefwoorden

risicoanalyse, asfaltverhardingen, enquête, probabilistiek, system engineering

1. Inleiding

1.1 Probleemstelling

Werk is onderhevig aan onzekerheden. Omdat deze onzekerheden gevolgen hebben, treden risico's op. Een risico is een samenstelling van de kans (van optreden van een gebeurtenis) en de gevolgen als de gebeurtenis optreedt, dus werkelijkheid wordt. Onzekerheden zijn in beginsel gebrek aan kennis. Sommige kennis kan worden verworven, andere niet. Een voorbeeld van niet verwerfbare kennis is zekere kennis over de toekomst. In ieder geval zijn er kosten verbonden aan het verwerven van kennis. Gevolgen kunnen in zekere mate beïnvloed worden. Dat kan in de eerste plaats door het nemen van beslissingen of door handig optreden. De andere belangrijke mogelijkheid is een andere partij in te schakelen. De bouw en het gebruik en onderhoud van verhardingen heeft uiteraard met deze problematiek te maken. In het bijzonder omdat er niet of moeilijk beheersbare, maar wel belangrijke factoren voorkomen zoals het weer of de ondergrond en omdat veelal vele partijen in complexe relaties samenwerken. Om beslissingen te nemen die met onzekerheden verband houden, is het belangrijk kansen en gevolgen en hun effecten te kunnen bepalen.

1.2 Doelstelling

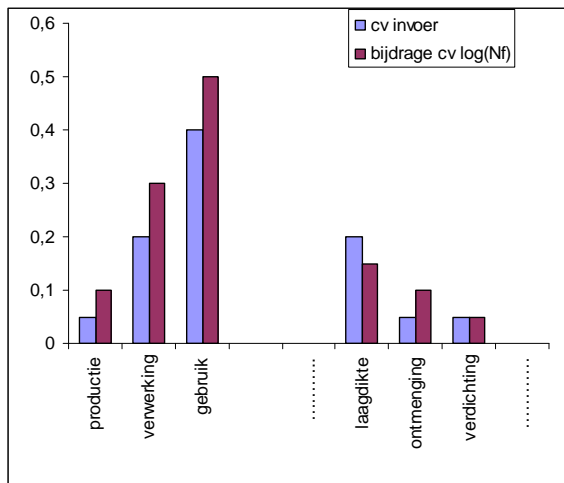
De CROW werkgroep RAAV ontwikkelt een methodiek voor de analyse van technische risico's van asfaltverhardingen. Deze methodiek omvat zowel theoretische als praktische aspecten, waarin het asfaltproductie- en verwerkingsproces en het gebruik van de verharding aan de orde komen. De theoretische aspecten zijn uit de literatuur en de praktische aspecten door ondervraging van praktisch werkzame deskundigen verkregen. Beoogd wordt een toepasbaar instrument te ontwikkelen waarmee kan worden berekend waar de belangrijkste risico's liggen en hoe groot de risico's zijn. Het model verschaft inzicht in de robuustheid gedurende de levenscyclus van een wegverharding met betrekking tot de mechanismen draagkracht (vermoeiing), scheurvorming, rafeling en spoorvorming.

relevante deel van de levenscyclus	theorie	interview
	literatuur	praktijk
mengen	<u>technische gevolgen</u>	
verwerken	draagkracht (vermoeiing)	
gebruiken	scheurvorming	
	rafeling	
	spoorvorming	

Figuur 1: overzicht elementen RAAV

1.3 Beoogd resultaat

Een voorbeeld van het beoogde eindresultaat (stap 6 van de onderzoeksopzet) is weergegeven in figuur 1. Hierin wordt de mate van onzekerheid, uitgedrukt in de variatiecoëfficiënt cv , van de te beïnvloeden parameters (cv invoer) en hun bijdrage aan de onzekerheid van de resulterende parameter, de spreiding in de levensduur (bijdrage $cv \log(N_f)$).



Figuur 2: voorbeeld van het resultaat van RAAV

In dit voorbeeld blijkt de levensduur N_f van de constructie meer af te hangen van het gebruik en blijkt het gebruik ook meer spreiding te hebben dan de asfaltproductie en -verwerking. De beheerder of exploitant van de verharding speelt in dit voorbeeld dus de belangrijkste rol in de levensduur van deze constructie.

Binnen de verwerking blijken ontmenging en verdichting ongeveer even spreiding te hebben, maar het effect van ontmenging op de levensduur is in dit voorbeeld groter. Daardoor is het technisch gezien zinvoller de ontmenging te beheersen. Hiermee is niet gezegd dat dit ook vanuit economisch oogpunt de beste keuze is. Men kan op verschillende manieren met de aldus gekwantificeerde risico's omgaan [2, 3]. De keuze van een risico houding leidt tot verschillende maatregelen.

1.4 Procedure risicoanalyse RAAV

Voor een risicoanalyse is een gestructureerde aanpak nodig omdat het aantal variabelen dat meestal voorkomt groot en de wijze waarop ze samenhangen complex zijn. Als eerste stap is een expliciete afbakening van het probleem nodig, waarbij RAAV beperkt is tot de volgende onderdelen:

- object (asfaltverharding), met aantasting beperkt tot:
 - vermoeiing

- spoorvorming
- scheurvorming
- rafeling
- fasering
 - mengen
 - aanbrengen
 - gebruik en beheer
- betrokkenen per fase:
 - ontwerper
 - bouwer
 - beheerder

In interviews met partijen die in de uitvoering actief zijn, zijn de meest belangrijke risico's benoemd. De volgende informatie is daarbij verzameld:

- de belangrijkste gebeurtenissen volgens de literatuur en de mening van de experts
- de gevolgen van deze gebeurtenissen (in termen van het fysisch model)
- de oorzaken
- de geschatte kans van optreden van de gebeurtenis (als frequentie), (min – top – max)
- de geschatte orde van grootte van het gevolg (min – top – max)
- de correlaties met andere gebeurtenissen
- bijzondere gebeurtenissen (hazards)
- mogelijkheid en effect van maatregelen

Het resultaat van de interviews is een opsomming van ca. 2 x 50 parameters genoemd voor resp. maken van het asfaltmengsel en aanleg van een verharding en ca. 30 parameters voor de beheerfase. Het bleek dat er weinig bekend is over relaties en orden van grootte, wat het moeilijk maakt een model te vormen

Indien geen wiskundig model beschikbaar is, wat bijvoorbeeld het geval is bij projectrisico's, wordt ook de bijdrage van elke instelbare variabele aan een resultaatvariabele (een variabele op een direct hoger gelegen niveau in een boom) geschat. Het schatten van deze coëfficiënten is ook zinvol als wel een wiskundig model beschikbaar is, omdat daarmee zowel een controle van de praktische betekenis van het model als een indicatie van het ontbreken van belangrijke variabelen in het model verkregen worden.

De procedure van een risico analyse van RAAV is in tabel 1 en figuur 3 samengevat.

Tabel 1: samenvatting procedure

	<i>beschrijvend</i>	<i>analytisch / wiskundig</i>
<i>probleem</i>	1 omschrijving	
<i>structuur</i>	2 boom	3 formules
<i>risico</i>	4 kwalitatief	5 kwantitatief
<i>resultaat</i>	7 interpretatie	6 berekening

<ul style="list-style-type: none"> - kwalitatieve analyse → boomstructuren <ul style="list-style-type: none"> o vraag o gebeurtenis o oorzaak o gevolg o maatregel o risicodrager - kwantitatieve analyse → tabellen <ul style="list-style-type: none"> o symbool o gebeurtenis o kans op gebeurtenis o eenheid o gevolg L, T, U o bijdrage gebeurtenis aan gevolg o correlatie met andere gebeurtenissen o risico - wiskundige analyse → formules <ul style="list-style-type: none"> o fysisch model o probabilistisch model o berekening ligging, spreiding en risico o berekening bijdrage van de componenten van de instelbare parameters aan de ligging en spreiding in de resultaatparameter (gevoeligheidsanalyse)

Figuur 3: procedure risicoanalyse RAAV

2. Fysisch model

Het doel van RAAV is de risico's te kwantificeren in de factoren die de levensduur van asfaltverhardingen bepalen voor de 4 schademechanismen vermoeiing, spoorvorming, scheurvorming en rafeling. Hiertoe worden deze mechanismen gemodelleerd, met als uitvoerparameter de levensduur die bij dat mechanisme hoort en als invoer de parameters die

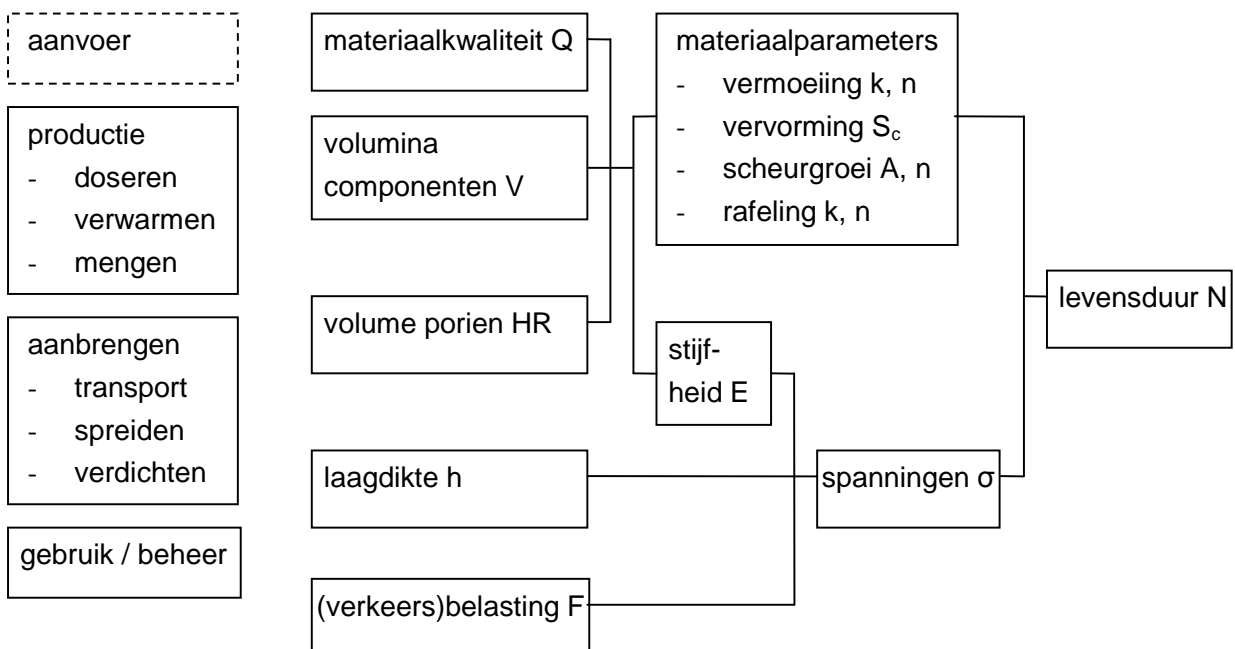
de grondstoffen, de omgevingsfactoren en de processen beschrijven. De processen zijn mengen, verwerken (bouwen) en gebruiken. Een model is noodgedwongen een beperking en een vereenvoudiging van de werkelijkheid.

De randvoorwaarden van dit model zijn bijvoorbeeld voor het object de zandbaan en de lucht (klimaat) en voor de betrokkenen de automobilist (gebruiker).

De vereenvoudiging van de werkelijkheid betekent dat uit de veelheid van aspecten die in de werkelijkheid optreden keuzen moeten worden gemaakt. De fouten die daardoor ontstaan verklaren ten dele de afwijkingen van het model ten opzichte van de werkelijkheid.

Het (fysisch) model is samengevat in onderstaand stroomschema (figuur 4). Er worden 4 processen beschouwd:

- aanvoer van materiaal tot en met het lossen op de geëigende plaats in de asfaltmenginstallatie
- productie van asfalt in de asfaltmenginstallatie, uitgaande van de aanwezige grondstoffen tot en met het passeren van de geladen vrachtauto door de poort van de asfaltmenginstallatie
- het aanbrengen van asfalt, wat het transport omvat; het transport gebeurt vaak met materieel dat door de bouwer (aannemer) is ingehuurd
- het beheer van de verharding in gebruik, wat tevens het regulier onderhoud en reparaties omvat; groot onderhoud en vernieuwing worden opgevat als een bouwfase.



Figuur 4: stroomschema van het model dat in RAAV gebruikt wordt (vereenvoudigd)

De wiskundige vergelijkingen waarmee het model beschreven worden zijn ten dele uit de literatuur af te leiden. Uit de mening van deskundigen moeten worden afgeleid:

- relaties tussen de inbreng vanuit de processen (met name mengen en aanbrenge(n))
- relaties die ontbreken in het model (relatie mengsamenstelling en mechanische eigenschappen), maar (tegenwoordig) wel belangrijk geacht worden; in vorige vergaderingen is genoemd de beschrijving van PmB's
- het inzicht in verdelingsfuncties en spreidingen van de variabelen

3. Interview

Omdat de (aanzienlijke hoeveelheid) informatie die nodig is om de probabilistische analyses van een wegverhardingsconstructie te kunnen uitvoeren niet beschikbaar is vanuit modellen, literatuur of andere uitgevoerd onderzoek, is binnen RAAV besloten om deze informatie te vergaren door het ondervragen van praktijk deskundigen.

De interviewprocedure die in RAAV ontwikkeld is, is onderstaand opgenomen.

Om de lezer enigszins inzicht te geven hoe een en ander in zijn werk ging zal hier een voorbeeld worden behandeld. De inventarisatie van informatie is structuur gegeven door het relevante deel van de lifecycle op te knippen in de gedeelten (zoals eerder aangegeven): productie van asfalt, verwerking van asfaltspecie tot een wegverharding en het beheer en gebruik van de weg. De interviews met praktijkdeskundigen zijn vervolgens getrapd uitgevoerd. In een eerste ronde is geïnventariseerd welke problemen er zoal bij een deelproces kunnen optreden. Als voorbeeld zal hier nu worden ingegaan op asfalt productie in de molen. In eerste instantie is geïnventariseerd wat nu de belangrijkste zaken zijn (het aantal is bewust beperkt gehouden) die "fout" kunnen gaan tijdens productie: genoemd werden de volgende zaken, afwijkingen met betrekking tot:

- De zeefcurve
- Het bitumengehalte
- Het granulaat
- De mengseltemperatuur

In een dergelijk interview worden in eerste instantie meer zaken genoemd die "fout" kunnen gaan. Echter, in hetzelfde interview is gezamenlijk met de deskundigen een rangorde van belangrijkheid overeengekomen en er is tevens bepaald welke zaken als minder belangrijke factoren niet verder zullen worden meegenomen ten behoeve van de analyse. Vervolgens is geïnventariseerd welke oorzaken de genoemde problemen kunnen bewerkstelligen. Mbt het voorbeeld van de mengseltemperatuur betrof dit:

- De asfaltmenginstallatie bevindt zich in de opstartfase

Er is sprake van wisselende vochtgehalten in het toeslagmateriaal
 Technische staat van de voordoseur is niet volledig in orde
 Er is een wisselende doorloopsnelheid

Aan de praktijk deskundigen is vervolgens gevraagd hoe groot nu de kans is dat de verschillende geïnterpreteerde oorzaken kunnen optreden en dit bleek voor elke oorzaak om en nabij de 5% te zijn (dit moet dus gelezen worden als 5% van het materiaal dat de molen verlaat heeft een niet correcte temperatuur doordat tijdens het mengen van dit materiaal de molen zich in de opstartfase bevond, hetzelfde geldt voor de andere oorzaken).

Als aanvullende informatie is aan de betrokkenen gevraagd stel nu eens dat er is iets mis is met de mengseltemperatuur en u moet aangeven in welk percentage van de gevallen daar de genoemde oorzaken debet aan zijn waar komt u dan op uit (4 genoemde oorzaken gezamenlijk zijn dus 100%). Dit is vervolgens geclassificeerd als Opstarten molen; 40%, Wisselende vochtgehalten toeslag 50%, etc. Dit kan gelezen worden als; gegeven het feit dat er iets met de mengseltemperatuur aan de hand is van het materiaal dat de molen verlaat is de kans 40% dat dit van doen heeft met het feit dat de molen zich in de "opstartfase" bevond.

Als derde schatting is aan de deskundigen gevraagd wat nu de afwijkingen van de mengseltemperatuur zouden zijn indien er sprake is van een afwijking van de mengseltemperatuur t.o.v. het ideaal en dit is vervolgens geïnterpreteerd per "oorzaak". Als voorbeeld wordt weer ingegaan op "opstarten van de molen". Het blijkt dat indien de target temperatuur van het mengsel 170 gr C is, een afwijking van de mengseltemperatuur als gevolg van het opstarten van de molen zich zou bevinden tussen de 150 en 180 gr C met de top op 165. De gemiddelde temperatuur in (5% van) dit asfalt zou dus 165 gr zijn met uitschieters naar 150 en 180 (driehoeksverdeling). Inventarisatie van de gevolgen van de vier als belangrijk geachte factoren ter beïnvloeding van de mengseltemperatuur zijn weergegeven in tabel 2.

Mengsel Temperatuur	Beschrijving onregelmatigheid	Gevolg voor Mengsel Temperatuur				gewichtsfactor [%] (taartpunt aandeel)
		Kans op optreden [%]	min	gr. C top.	max	
1. Opstartfase molen		5	150	165	180	40.0
2. Wisselende vochtgehalten toeslagmateriaal		5	150	165	175	50.0
3. Technische staat (voordoseur)		5	160	165	170	5.0
4. Wisselende doorloopsnelheid		5	150	165	180	5.0
					Totaal =	100.0
Indien alle factoren "goed" staan dan betekent dit voor de Mengsel Temperatuur			min	top.	max	
			160	170	180	

Tabel 2: weergave van verstoring van de mengseltemperatuur als gevolg van de vier als meest belangrijk aangegeven verstorende factoren.

Indien de hierboven beschreven werkwijze wordt geabstraheerd naar een procedure voor het houden van interview ziet deze er als volgt uit:

- **Probleemstructurering**

- 1 Welke (technische) resultaten van uw werk (bedrijf, afdeling) worden gecontroleerd en beoordeeld
- 2 Is er een product- of productie model (rekenmodel, schema, software etc.)
- 3 Door welke parameters worden deze resultaten – in technische zin – beïnvloed
- 4 Welke van deze parameters liggen op het meest elementaire niveau? Dat wil zeggen dat ze nog gestuurd kunnen worden en dat ze nog een merkbaar effect op de resultaten kunnen uitoefenen.
- 5 Hoe kunnen deze parameters worden geordend?
 - via clustering en relaties tussen de clusters
 - in een boomstructuur
- 6 Hebben de parameters een gebruikelijk symbool en wat is de dimensie van de parameters?

- **Bijzondere gebeurtenissen**

Bijzondere gebeurtenissen zijn gebeurtenissen die niet in de bovenomschreven structuur voorkomen.

- 1 Welke bijzondere gebeurtenissen komen voor die het (tussen)resultaat (op ieder niveau, beginnend van boven naar beneden) kunnen beïnvloeden
- 2 Wat is (zijn) de oorzaak van deze gebeurtenis?
- 3 Wat zijn de gevolgen van het optreden van deze gebeurtenis?
- 4 Wie hebben er problemen als een gebeurtenis optreedt? Orden de probleemhebbers naar de mate waarin ze het probleem ervaren.
- 5 Welke maatregelen liggen voor de hand om de (ongewenste) gevolgen te verkleinen?
- 6 Wat is het effect van de maatregel (de mate waarin het gevolg verkleind wordt)?
- 7 Wie kan het meeste effect bereiken?

- **Kwantificering**

- 1 In welke mate draagt een verandering van een parameter x bij aan een verandering in de parameter y , die één niveau hoger ligt in de boom?
 - in absolute termen (dus met als dimensie: $[y]/[x]$ met $[.]$ dimensie van $.$, y de resultaatparameter, x de instelbare parameter
 - als fractie (dus met dimensie $[y]/[y]$, oftewel dimensieloos)
- 2 Wat zijn de normale bereiken (LTU) van de waarden van y en van x ?
- 3 Komen er ook (sterk) afwijkende waarden voor en wat zijn de bereiken (LTU – lower, top, upper, d.w.z de globaal laagste, meest voorkomende en hoogste) van deze waarden?

- 4 Wat is de kans dat een sterk afwijkende waarde voorkomt? (Hoe vaak komt een afwijking voor?)
- 5 Waarop baseert u dat oordeel
- historische gegevens
 - algemeen inzicht
 - globale ervaring

De informatie wordt opgenomen in twee typen risicotabellen. In de risicotabel wordt er vanuit gegaan dat de normale toestand kan optreden of iets fout kan gaan. Voor de karakterisering van beide toestanden wordt ervan uitgegaan dat 3 kentallen van een verdeling getraceerd kunnen worden (L - lowest, T - top, U - ultimate).

Tabel 3: kwalitatieve risicoanalyse (voorbeeld)

nr	eis	gebeurtenis	oorzaak	gevolg	maatregel	risicodragers
	laagdikte h	h te klein	onderbaan onvlak	betaling van een vergoeding	overhoogte	bouwer
			fout uitvoerder	betaling van een vergoeding	-	bouwer
				werk overdoen	-	bouwer

Tabel 4: kwantitatieve risicoanalyse (voorbeeld)

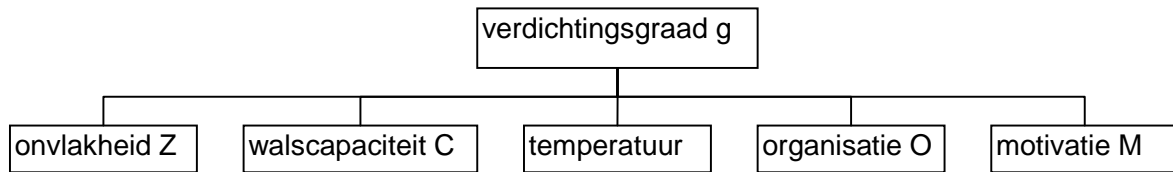
nr	symbool gebeurtenis	kans op gebeurtenis	eenheid gevolg	L	T	U	bijdrage gebeurtenis aan gevolg	correlatie met andere gebeurtenissen	risico
	h	0,1	mm	0	2	10			

4. Structurering

De parameters die verzameld zijn worden op 4 wijzen weergegeven:

- in tabellen (zie tabel 2, 3 en 4)
- in boomstructuren
- in wiskundige formules
- als toelichting in woorden

Een voorbeeld van een boomstructuur van een deel van een interview is weergegeven in figuur 5 en bewerkt als in de vervolgstappen uitgevoerd.



Figuur 5: boomstructuur voor het onderhavige probleem

Aan g wordt bijgedragen door vijf variabelen Z , C , T , O , M . Eventuele (cor)relaties tussen de onafhankelijke variabelen zijn niet aangegeven. Deze relaties liggen wel voor de hand (bijv. als een asfaltploeg een onvlakke baan aantreft, kan dat de motivatie verlagen).

De relaties worden opgevat als gelineariseerd, dus

$$g = a_Z Z + a_C C + a_T T + a_O O + a_M M + g_0$$

met a de partiele bijdragen met als eenheid de eenheid van g gedeeld door de eenheid van de betreffende onafhankelijke variabele. De relatie kan worden genormeerd

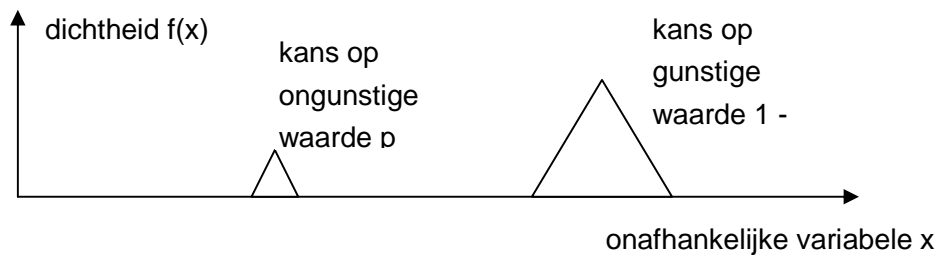
$$V_g = W_Z V_Z + W_C V_C + W_T V_T + W_O V_O + W_M V_M$$

met

v de relatieve waarde van de variabele

w de relatieve partiele bijdrage

v en w liggen beide tussen 0 en 1 en de som van $w = 1$. De zin van deze normering is dat het programmeren in een spreadsheet eenvoudiger wordt. Soms zijn ook de relatieve bijdragen beter te schatten dan de absolute (zoals in ons geval kennelijk). Meestal hebben de onafhankelijke variabelen 1 instelling met daarom een spreiding (stochasten). In sommige gevallen kunnen ze – praktisch gezien - 2 instellingen aannemen. De kansdichtheden (eventueel per instelling) worden als driehoeken geschematiseerd.



Figuur 6: kansdichtheidsfunctie

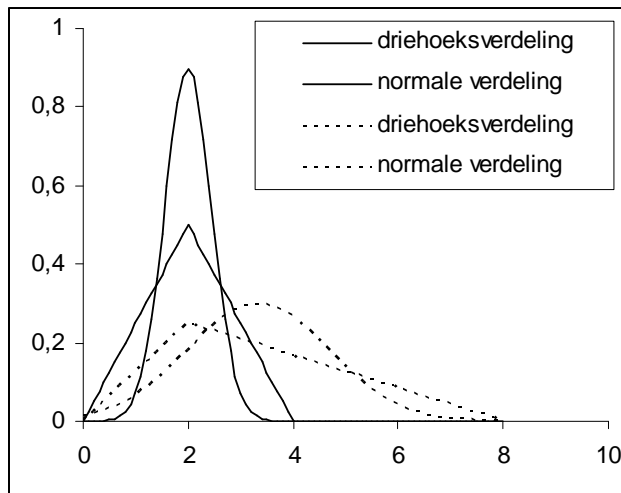
De L en U waarden worden globaal gekozen, bijv. grofweg als waarden die met 5% kans onderdan wel overschreden worden. De verdeling wordt in eerste instantie als driehoek gekozen op grond van de schatting van 3 punten. In de bewerking kan de driehoeksverdeling tot een benaderende normale verdeling worden omgevormd.

Tabel 5: voorbeeld van de data van het model

onafh var	w	pf	v (slecht)			v (goed)			overall	
			min	top	max	min	top	max	gem	st dev
			Z	0,35	0,2	0,95	0,98	1,01		
C	0,2	0,1	0,96	0,98	1					
T	0,1	0,15	0,96	0,98	1					
O	0,1	0,25	0,96	0,99	1,02					
M	0,25	0,25	0,95	0,98	1,01					
g			0,95	0,98	1,01	0,98	1	1,02	0,98	0,05

5. Data reductie

Van (instrumenteel) meebare grootheden kan in de regel een continue verdelingsfunctie worden bepaald. Als de variabele geschat moet worden, is het veelal niet mogelijk meer dan een redelijke onder- en bovengrens en de meest voorkomende waarde te geven. Deze waarden worden aangeduid met LTU (lower, top, upper). Via lineaire interpolatie leidt dit tot een driehoeksverdeling. Omdat de probabilistische methode die in RAAV gebruikt wordt, een Normale Verdeling vereist, moeten deze waarden worden omgezet in een schatting voor de parameters van de Normale Verdeling, het gemiddelde m en de standaardafwijking s . In figuur 7 zijn enige voorbeelden gegeven. Hoewel ogenschijnlijk de verschillen groot zijn, is hiermee gegeven de vele onbekendheden toch relatief goed te werken. De verdere bewerking van de data is in eerdere publicaties beschreven [1, 2].



Figuur 7: Driehoek en Normale verdeling

6. Conclusies

1. Een risicoanalyse bestaat uit een integratie van meerdere processtappen en verschillende disciplines. In RAAV zijn de processtappen asfaltproductie, asfaltverwerking en het aanbrengen van schade in het gebruik. De disciplines zijn ontwerp, voornamelijk uitgedrukt in analytische en wiskundige termen, en uitvoering, wat voornamelijk een kwestie van verwoording is
2. Een risicoanalyse vergt een goede afbakening, structurele analyse en reductie van een probleem. Dat is noodzakelijk voorwerk zonder welke het opsommen van risico's en het maken van berekeningen vrij zinloos zal zijn
3. Het risico-begrip op zich is lastig omdat er verschillende soorten risico's zijn, die verschillend behandeld en geïnterpreteerd worden (kleine kansen met grote gevolgen en grote kansen met kleine gevolgen). Risicobeschouwingen zijn interdisciplinair.
4. Het aantal gebeurtenissen en risico's erg groot is en het vooraf vaak niet duidelijk is of er geen risico's overzien worden. Correlaties zijn belangrijk, maar moeilijk te benoemen en van waarden te voorzien (Murphy's wet, vrijdag 13, self fulfilling prophecies zijn plastische verwoordingen van een hoge mate van gecorreleerdheid)
5. Er zijn 3 vormen van risico's onderscheiden:
 - a. spreiding in de data
 - b. het voorkomen van zelden optredende gebeurtenissen, die om die reden niet in het model zijn opgenomen (hazards)
 - c. abstractie van gebeurtenissen die elk op zich een klein (gemiddeld) gevolg hebben (modelfout); de spreiding in het gevolg kan wel groot zijn

6. Het probleem van RAAV is eenvoudiger dan een wegenbouwprobleem in het algemeen op de volgende manieren:
 - a. er zijn 4 schademechanismen (vermoeiing, scheurvorming, rafeling en spoorvorming) i.p.v. 1 (hier: draagkracht)
 - b. in de regel worden meerdere niveaus van eisen onderscheiden, waarvan vele niet-technisch; op ieder niveau komen aanzienlijk meer parameters voor
 - c. in RAAV worden 7 veralgemeniseerde constructies beschouwd
7. De procedure die in RAAV wordt ontwikkeld blijkt in praktische projecten toepasbaar te zijn en tot plausibele schattingen van risico's te leiden.

7. Referenties

1. Bouwmeester, D.; Tolman, F.; Probabilistiek in het wegontwerp; WWD 2002 deel 1 p. 61
2. Tolman, F.; Integrale risicobeheersing asfaltverhardingen; WWD 2004
3. Tolman, F.; Leest, A. van; Jacobs, M.M.J.; Risicoanalyse in de wegenbouw; WWD 2006