

# Meer zekerheid over kansen

Christ van Gorp; KOAC · NPC

De komst van de innovatieve contractvormen in de GWW-sector heeft geleid tot een grotere aandacht voor risicoanalyses. Banken en verzekeringsmaatschappijen zijn al van oudsher bezig met het uitvoeren van dit soort analyses. Met de analyse van bijvoorbeeld overlijdenskansen van allerlei bevolkings- en leeftijdsgroepen krijgen deze organisaties een idee van het risico dat zij lopen en kunnen ze vaststellen hoe hoog de verzekeringspremies moeten zijn. Risicoanalyses zijn onlosmakelijk verbonden aan kansberekeningen. Ook in infrastructurele werken kunnen kansberekeningen en risicoanalyses hun vruchten afwerpen. De aannemer heeft voor de realisatie van een werk vrijwel altijd de keuze uit een scala van materialen en uitvoeringsmethoden; maar welke van deze combinaties kan nu het beste worden ingezet. Dit artikel geeft via simpele voorbeelden inzicht in het nut van kansberekeningen en risicoanalyses.

## Probabilistiek

Voor het ontwerpen van een nieuwe asfaltverharding is de te verwachten belasting een van de voornaamste ontwerpgrontheden. In een volgende stap in het ontwerpproces controleert de ontwerper of de gekozen constructie en materialen toepasbaar zijn, door na te gaan of de optredende spanningen en vervormingen nergens de toelaatbare waarden overschrijden. Omdat in de

ontwerpfase een wegconstructie nog moet worden gebouwd, moeten tal van aannamen worden gedaan over de materiaaleigenschappen en gedrag van constructiecomponenten. De schematisering en de ontwerpmethodiek zitten meestal vol aannamen. Tenslotte kan de aanleg van de wegconstructie ook nog variëren van een zeer nauwgezet en keurig uitgevoerd werk tot een werk waarbij tal van fouten zijn gemaakt. De

sterkte van de wegverharding, bijvoorbeeld de weerstand tegen vermoeiing, ligt dus niet eenduidig vast. Er bestaan meer of minder grote onzekerheden over dit punt.

In de traditionele ontwerpmethoden worden dit soort onzekerheden en spreidingen in constructie- en materiaaleigenschappen verwerkt in, vaak vaste, correctie- of veiligheidsfactoren. De belasting wordt kunstmatig verhoogd, terwijl de sterkte van materialen wordt verlaagd. De op deze wijze verkregen rekenwaarden voor belasting en sterkte worden gebruikt om te toetsen of een wegontwerp aan de eisen voldoet.

Via een probabilistische analyse kan de ontwerper inzicht krijgen in wat de invloed van variatie en onzekerheden in de ontwerpvariabelen van een wegontwerp of werk in uitvoering op het eindresultaat is. Bij de hiervoor beschreven deterministische analyse kan hij deze informatie niet verkrijgen.

Bij het dimensioneren van wegconstructies zal de ontwerper ernaar streven dat de sterkte en dus laagdikten slechts zoveel groter zijn dan de belasting, dat een voldoende veiligheidsmarge aanwezig is en dat de risico's beheersbaar zijn. Deze laatste uitspraak maakt al meteen duidelijk dat er geen unieke uitkomst van een dimensioneringsproces is te verwachten. Afhankelijk van ervaring, persoonlijke houding, beschikbare budgets, etc. kunnen opdrachtgevers en opdrachtnemers verschillend tegen risico's aankijken.

## Spreiding

De gedragskenmerken van een wegverharding zullen vanwege onzekerheid in de ontwerpmodellen (zij voorspellen de

werkelijkheid immers nooit exact), gebrek aan homogeniteit in materiaaleigenschappen en variatie in aanlegomstandigheden altijd variëren over de lengte en breedte van de weg. Deze spreiding wordt voor de meeste civiele eigenschappen gekarakteriseerd door een klokvormige kansverdeling rond de gemiddelde waarde. De bekendste klokvorm is de normale verdeling. De breedte van de klok wordt aangeduid met de standaardafwijking. Hoe groter de standaardafwijking hoe meer spreiding in de onderzochte grootheid zit. Figuur 1 toont een paar voorbeelden. Hoewel de normale verdeling niet altijd de juiste kansverdeling weergeeft, is de fout die in de aanname zit meestal verwaarloosbaar. Reden waarom de normale verdeling zo vaak in kansberekeningen en risicoanalyses wordt gebruikt. Het oppervlak onder de kromme geeft de kans aan. Het totale oppervlak is daarom altijd 100 % omdat het alle mogelijke gebeurtenissen bevat.

### Homogeniteit

Bij de aanleg van een asfaltverharding heeft de opdrachtgever gespecificeerd dat de totale asfaltdikte 200 mm moet zijn. Door op willekeurig gekozen plaatsen kernen te boren, wordt getoetst of de aannemer aan de eisen heeft voldaan. De kernen van de aannemer blijken gemiddelde 240 mm dik te zijn met een standaardafwijking van 33 mm. De rode lijn in figuur 1 geeft de kansverdeling van de laagdikten weer. Het gearceerde oppervlak onder de linkerstaart van de verdeling geeft de kans aan dat de laagdikte niet aan de eis van 200 mm voldoet, in dit geval is dat ongeveer 11%. Hoe groter dit oppervlak is, des te groter de kans is.

Vanwege boetebepalingen wil de aannemer de kans niet boven de 5 % hebben; dus slechts één op de twintig kernen mag te dun zijn. De eenvoudigste aanpak bestaat uit simpelweg de gemiddelde dikte op te voeren naar 254 mm (zie blauwe lijn). Door de instructies aan de

asfaltploeg te verbeteren en meer aandacht te schenken aan de homogeniteit, kan de aannemer als alternatief de standaardafwijking in laagdikte beperken tot 11 mm. In dat geval hoeft hij maar een gemiddelde laagdikte van 218 mm te draaien (zie zwarte lijn).

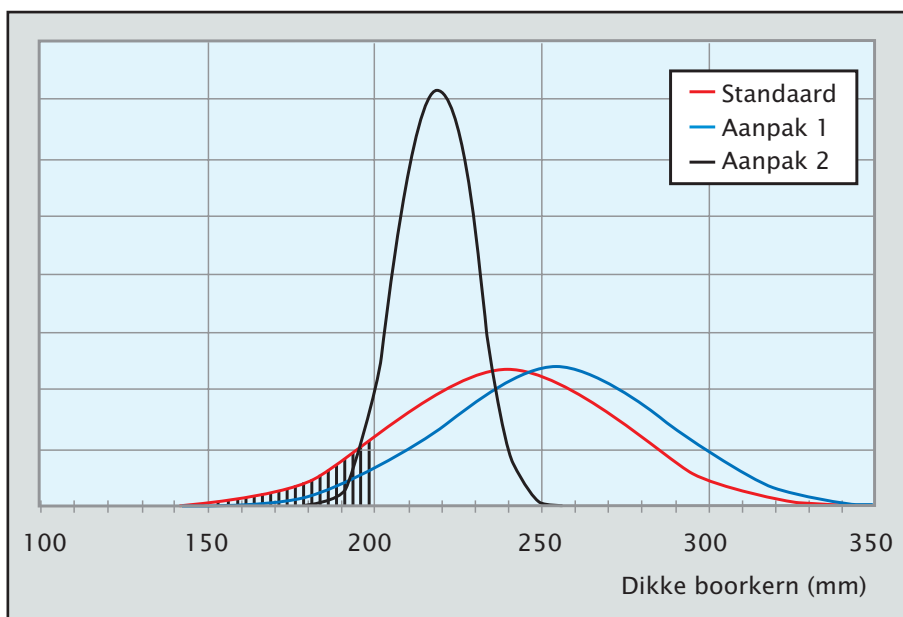
De blauwe klokvormige grafiek laat zien dat bij Aanpak 1 veel meer asfalt moet worden gedraaid om te voorkomen dat in slechts 5 % van de gevallen een dikte dunner dan 200 mm wordt gevonden. Bij beheersing van de standaardafwijking in Aanpak 2 is deze 'overdikte' veel geringer.

Het voorbeeld laat duidelijk zien dat met een probabilistische benadering inzicht wordt verkregen in wat de kansen van optreden van ongewenste gebeurtenissen zijn. Hoe acceptabel een bepaalde kans is, is afhankelijk van het risico dat er mee gemoeid is.

### Gevolg en risico

In de alledaagse praktijk worden kans en risico vaak door elkaar gebruikt. Wat is het risico om van de trap te vallen? Meestal wordt hier de kans bedoeld. Het risico lopen om € 100,- aan de Belastingdienst te moeten betalen; vaak is hier sprake van een gevolg. In risicoanalyses worden risico's meestal gekwantificeerd door het product van de kans van optreden van een bepaalde gebeurtenis en het bijbehorende gevolg. Welke aanpak zou voor het voorbeeld van de boorkernen de voorkeur verdienen. Een ding is zeker, voor de standaardmethode draait de aannemer gemiddeld 33 mm meer asfalt dan gespecificeerd terwijl dat voor Aanpak 1 maar liefst 54 mm en voor Aanpak 2 slechts 18 mm is.

Naast de asfaltdikte spelen nog meer zaken een rol: het effect op de onder-

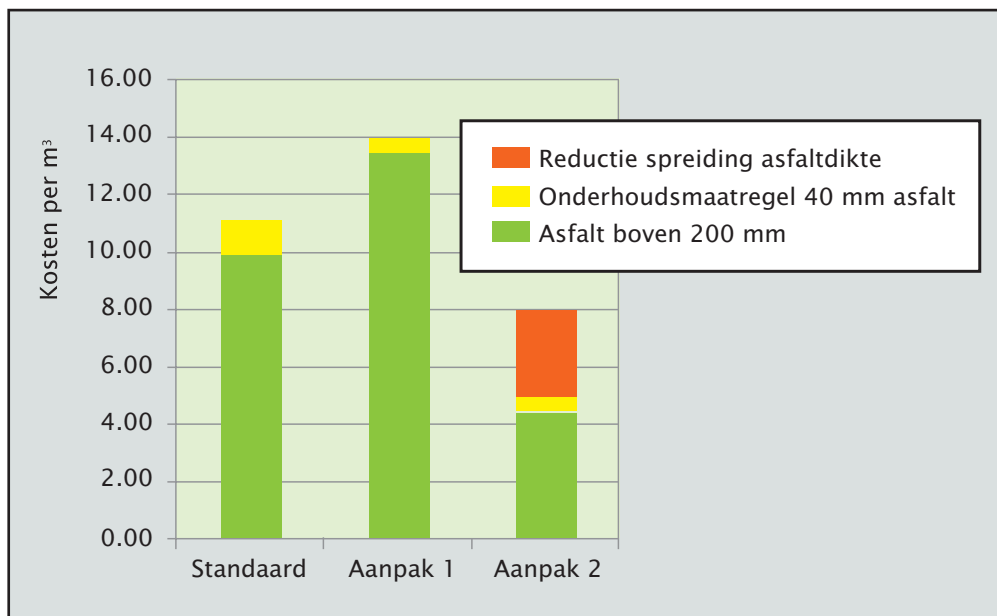


Figuur 1. Effect van gemiddelde en spreiding op kans van niet voldoen aan eis

houdsmaatregelen, de benodigde inspanningen om de spreiding in aanlegdikte te reduceren, etc. Het is duidelijk dat het te bestuderen probleem eerst moet worden afgebakend alvorens een risicoanalyse kan worden uitgevoerd.

### Afbakening

Bij de afbakening moet worden uitgezocht wat wel en wat niet bij een project hoort. Rekenen we de geleiderails wel of niet bij een te reconstrueren deklaag van een autosnelweg; moet de verlichting in de startbaan bij een upgrade van de verharding ook worden aangepakt? Voor een opdeling van een project en de beschrijving van de componenten wordt vaak de methodiek van de systeemleer gebruikt. De gebruiker van de systeemleer kiest dus op grond van zijn inzichten wat hij wel of niet tot zijn systeem laat behoren. Om een gemaakte keuze ook acceptabel te laten zijn voor anderen, is het handig er voor te zorgen dat de keuzes zijn gemaakt op basis van gezond verstand, onderling niet strijdig zijn, en praktisch en relevant zijn. Bij het opdelen in componenten van een project wordt onderscheid gemaakt tussen processen, partijen en objecten. Voorbeelden van processen zijn: vervaardiging van het asfalt in een asfaltmenginstallatie, aanleg van de fundering. Voorbeelden van partijen zijn: opdrachtgever, hoofdaannemer en onderaannemer. Voorbeelden van objecten zijn: deklaag, wegmartering en fundering. Bij een eerste schematisering van mogelijke belangrijke processen, partijen en objecten worden altijd veel te veel onderwerpen genoemd. Als deze allemaal in de risicoanalyse zouden moeten worden doorgerekend, wordt de risicobeschuwing een complex en tijdrovend gebeuren.



Figuur 2. Kosten beheersmaatregelen

### Kosten

Van een heleboel onderwerpen zijn jammer genoeg geen kwantitatieve data of relaties beschikbaar, waardoor de rekenresultaten 'soft' worden en minder betrouwbaar kunnen zijn. Qua aantal risicofactoren, verdient het aanbeveling alleen die onderwerpen op te nemen waarvan verwacht mag worden dat deze een relatief groot aandeel op het totale risico van het project hebben. Er hoeft dus niet op de kleintjes te worden gelet.

In het voorbeeld van de boorkernen kijken we gemakshalve alleen naar de hoeveelheid asfalt, de in de toekomst benodigde onderhoudsmaatregel en de inspanningen ter reductie van de spreiding in aanlegdikte. Er wordt uitgegaan van een prijs van € 2,50 asfalt per m<sup>2</sup> per 10 mm laagdikte. De onderhoudsmaatregel bestaat uit een overlaag van 40 mm en kost dus € 10,00 per m<sup>2</sup>. We gaan er van uit dat de kans op productie van een te dunne asfaltconstructie gelijk

is aan de kans van behoefte aan de onderhoudsmaatregel. Bij Aanpak 1 en 2 is deze kans 5%; de eenheidskosten van de onderhoudsmaatregel bedragen daarom 0,05 x € 10,00 = € 0,50. Bij Aanpak 2 worden kosten gemaakt voor extra instructie personeel en verbetering materieel. Deze kosten voor het reduceren van de spreiding in de aanlegdikte worden geraamd op € 3,00 per m<sup>2</sup>.

Figuur 2 geeft een overzicht van de kosten voor de drie methoden van aanpak. Duidelijk is dat Aanpak 2 de voorkeur geniet.

Het is evident dat het geschetste voorbeeld een te simpel voorgestelde schematisering van het ontwerp en aanleg van een asfaltweg is. Het voorbeeld maakt wel duidelijk dat probabilistiek en samenhangende aspecten zeer waardevol zijn bij het doorrekenen van ontwerp- en aanlegmethoden, toepassing van verschillende materialen, etc.