Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Technische Leidraad Katern Overige belastingen

7 november 2026

Inhoudsopgave

1. Overige belastingen - niet hydraulische belastingen 3
Hydraulische belasting als gevolg van scheepvaart 3
Aanvaringen en drijvende voorwerpen 3
IJsbelasting 4
Eigen gewicht en gronddruk 7
Verkeersbelasting en stabiliteit 8
Belasting door extreme neerslag en droogte 10
Windbelasting direct 10
Aardbevingen 11
Belasting door luchtdruk 12
Combinaties van belastingen 12

1. Overige belastingen - niet hydraulische belastingen

Hydraulische belasting als gevolg van scheepvaart

Hydraulische belasting als gevolg van scheepvaart zal alleen in bijzondere gevallen een rol spelen bij het ontwerp. Het gaat dan vooral om de stabiliteit van de bekledingen. De belasting door schepen is sterk locatie bepaald. Een significante afwijking van het gemiddelde jaarlijkse beeld is niet te verwachten.

De waterbeweging als gevolg van langsvarende schepen bestaat uit:

- Primaire scheepsgolven (frontgolven, tijdelijke waterspiegeldaling en haalgolven).
- Secundaire scheepsgolven (boeg- en/of hekgolven).
- Stroming (retourstroom en stroming door schroefstraal).

Primaire scheepsgolven zijn ter plaatse van de oever meestal niet hoger dan 0,3 à 0,5 m; in bijzondere gevallen is een golfhoogte van 1 m mogelijk. De periode van front- en haalgolven is 2 à 5 s, de spiegeldaling kan 20 à 60 s aanhouden. Primaire golven dempen snel uit zodat ze alleen van belang zijn als de schepen dicht langs de oever varen (minder dan ongeveer 10 maal de scheepsbreedte). Hoogte en periode van de golven ter plaatse van de oever worden bepaald door het scheepstype, de vaarsnelheid, het dwarsprofiel van de vaarweg en de afstand tot de oever.

Secundaire scheepsgolven zijn te onderscheiden in transversale en divergerende golven; de maatgevende secundaire golven ontstaan door de interferentie van deze twee soorten golven. De interferentiepieken hebben meestal een hoogte van 0,2 à 0,5 m, incidenteel komt een golfhoogte van 1 m voor. De bijbehorende periode is 2 à 3 s. Secundaire golven dempen nauwelijks uit en planten zich dus over honderden meters voort. De golfhoogte wordt bepaald door de vaarsnelheid, het scheepstype en het dwarsprofiel van de vaarweg. De golflengte en golfperiode worden volledig bepaald door de vaarsnelheid.

Een methode voor het bepalen van de scheepsgeïnduceerde (golf)belastingen wordt gegeven in [The Rock Manual, 2007], paragraaf 4.3.4.

In het algemeen zal een scheepsgeïnduceerde belasting geen rol spelen bij de beoordeling van het overstromingskans. Bij een zeer hoge waterstand wordt op de rivieren de scheepvaart namelijk stilgelegd.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Aanvaringen en drijvende voorwerpen

Dit artikel behandelt de belasting door aanvaringen en drijvende voorwerpen voor zover het om waterkerende grondconstructies gaat. Voor aanvaringen van afsluitmiddelen in kunstwerken wordt verwezen naar belastingen bij waterkerende kunstwerken.

Onder normale omstandigheden zal een aanvaring van een schip met een dijk zelden voorkomen. Maar juist wanneer het stormt kan een schip stuurloos of op drift raken en de waterkering treffen. De gevolgen zijn op dat moment het grootst. Ten eerste is de kracht waarmee het schip de dijk treft groot, ten tweede is er een hoge waterstand en zijn er hoge golven, zodat een eventueel opgetreden initiële schade zich snel kan uitbreiden. Hierdoor kan een stranding van een schip een reëel gevaar vormen voor een dijkdoorbraak.

Als voorbeeld van een dergelijke aanvaring kan het schip ‘Limbourg’ dienen, dat in 1955 strandde op de Hondsbossche Zeewering. De foto hieronder toont een recenter voorbeeld.



Figuur 1 Aanvaring van een schip met een dijk (bron onbekend.)

In het rivierengebied is de situatie tijdens storm minder kritisch. Als een schip stuurloos is, is de mogelijkheid dat het op een dijk loopt aanwezig. De snelheid en de hoek waarmee het schip de dijk raakt, zijn dan bepalend voor de schade. Overigens zal op de rivieren bij een zeer hoge waterstand de scheepvaart zijn stilgelegd.

De beheerder moet zelf nagaan of in zijn specifieke situatie een combinatie van een scheepsaanvaring met bepaalde hydraulische randvoorwaarden een voor het ontwerp kritische situatie oplevert. In dat geval is specialistische ondersteuning gewenst. Een op deze wijze uitgevoerde risicoanalyse is onder andere toegepast bij het ontwerp van de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg.

Drijvend vuil en wrakhout hebben in het algemeen te weinig massa om serieuze schade aan een harde bekleding te veroorzaken; beschadiging van grasmatten is wel mogelijk.

Naast drijvende voorwerpen kunnen golven leiden tot over de bekleding rollende stenen. Denk daarbij aan zoals breuksteen uit de teenconstructie. Voor bekledingen van open steenasfalt nabij de teenbestorting of op een berm, kan leiden tot erosie-schade. In het ontwerp dient bij de keuze van bekledingstypen in de verschillende zones op de dijk rekening te worden gehouden met de kans op belasting door rollende stenen en de erosiebestendigheid daartegen van de verschillende bekledingstypen.

Versie 1.0: 2 juli 2025

IJsbelasting

Er worden twee vormen van ijsbelasting onderscheiden:

- Directe ijsbelasting, dit betreft de krachten die door (kruiend) ijs op (onderdelen van de) waterkerende constructie worden uitgeoefend.
- Indirecte ijsbelasting, dit betreft de verhoging van de waterstand in een rivier als gevolg van een ijsdek of een ijsdam.

Inleiding

In Nederland speelt ijsbelasting geen rol in rekenregels en voorschriften voor het bepalen van de overstromingskans bij het ontwerpen en beoordelen van waterkerende grondconstructies. Bij het ontwerp van constructies wordt kruiend ijs of drijvend ijs wel meegenomen als belasting. In de [Leidraad kunstwerken, 2003] is dit omschreven.

De temperatuur en het zoutgehalte van het water van de Noordzee aan de kust geven geen aanleiding tot het ontstaan van ijsvorming van enige betekenis. In de zeearmen, en zeker in de meren, zijn wel situaties uit het verleden bekend van significante ijsvorming; de afsluiting van de zeearmen in Zeeland heeft invloed op de mate van ijsvorming langs de Zeeuwse oevers.

Op de rivieren kan ijs ook leiden tot beïnvloeding van de waterstand op de rivier.

IJs als directe belasting

Bij zoet water is ijsbelasting eerder een bedreiging voor de waterkering dan bij zout water. Enerzijds bevriest zoet water vaker dan zout water; anderzijds is het ijs van zoet water in het algemeen sterker (harder) dan het ijs van zout water.

Gezien het zoutgehalte en de zeewatertemperatuur is de kans op significante ijsvorming in de Noordzee gering. Van de meren en de zeearmen is wel bekend dat er ijsvorming kan optreden die schade aan de waterkering kan veroorzaken. Het gaat dan vooral om schade aan de bekledingen.

Ondanks de schade die ijs aan het buitentalud kan veroorzaken is voor de Nederlandse situatie de kans op overstroming van het achterland hierdoor toch erg laag. Om te komen tot een overstroming zou de ijsbelasting gepaard moeten gaan met hoge waterstand en zware golfaanval, zodat het grondlichaam onder de door de ijsbelasting beschadigde bekleding verder kan eroderen en uiteindelijk falen. Een dergelijke samenloop van omstandigheden is onwaarschijnlijk, omdat de golfhoogte door het ijs op het water sterk wordt beperkt. Aanpassing van het ontwerp van een waterkering in verband met de directe ijsbelasting zal in eerste instantie dan ook vooral gericht zijn op het beperken van schade.

Optimalisatie van het dwarsprofiel in verband met ijsbelasting

Er zijn geen rekenregels voorhanden om een waterkering te kunnen dimensioneren op een zware ijsbelasting. Het is wel mogelijk maatregelen te treffen om de gevolgen van ijsbelasting zoveel mogelijk te voorkomen:

- Een glad oppervlak zonder uitsteeksels, zoals palenrijen, is belangrijk. Een ruw oppervlak heeft als positief effect dat het de golfoploop en daarmee de benodigde kruinhoogte reduceert. Dit positieve aspect moet worden afgewogen tegen de toename van de mogelijke ijsbelasting op, en de kans op schade aan de bekleding. Vermeden moet worden dat overgangsconstructies boven het talud uitsteken. Als een overgang tussen twee bekledingen onvoldoende vlak is, kan de bovenste bekleding door kruiend ijs worden opgelicht. De onderstaande figuur geeft daarvan een voorbeeld. Met name bij bekledingen zonder duidelijke samenhang, zoals stortsteen in een plasberm, moet ermee rekening worden gehouden dat het kruiende ijs elementen kan meevoeren tegen het talud op.



Figuur 1 Schade door kruiend ijs aan de asfaltbekleding van de Houtribdijk.

- De aanwezigheid van een berm beperkt de ijsbelasting op boventalud en kruin. Bij grondconstructies zonder een berm boven het stilwaterniveau kan het kruiende ijs over de kruin schuiven. In dergelijke gevallen moet worden bekeken of dit ijs een bedreiging vormt voor de bekleding van de kruin en het binnentalud en voor eventuele constructies direct binnenwaarts. Een berm boven het stilwaterniveau is gunstig omdat de berm als opslagplaats kan dienen voor ijsschotsen. Het ijs zal namelijk in schotsen breken ter plaatse van de voorrand van de berm nadat het is opgeklommen tegen het ondertalud. De schotsen op de berm kunnen niet meer het boventalud opgedrukt worden omdat ter plaatse van de voorrand van de berm een soort knikverschijnsel optreedt. De schotsen knikken omhoog en stapelen zich op.
- Taludhelling. Een steil talud (steiler dan 1:3) verhoogt de kans op schade ten gevolge van ijsbelastingen.

Dijkstrekkingen, waar kruiend ijs kan voorkomen, zijn bij de waterkeringbeheerders bekend.

IJs als indirecte belasting

Het Nederlandse riviersysteem heeft als primaire functie de veilige afvoer van water, sediment en ijs. Dat ook de afvoer van ijs tot de primaire functies gerekend wordt, is te begrijpen omdat in het verleden overstromingen vaak geïnitieerd werden door de vorming van ijsdammen.

IJsdammen ontstaan uit drijfijs aan het begin of eind van een vorstperiode als er nog geen, respectievelijk niet langer een vast ijsdek is. IJsdammen ontstaan op locaties waar het water minder goed in staat is het drijfijs af te voeren zoals plaatsen waar de stroomsnelheid afneemt of waar de stroming geblokkeerd wordt. Dit treedt op bij profielvernauwingen, constructies, splitsingspunten, rivierbochten, rivierverwijdingen, een vast ijsdek benedenstrooms of bij uitstroming in een meer of estuarium. Een voorbeeld van het laatste is de ijsdam die ook nu nog met enige regelmaat bij Kampen optreedt doordat drijfijs van de IJssel niet naar het Ketelmeer afgevoerd kan worden.

Op de rivieren kan ijsvorming leiden tot beïnvloeding van de waterstand. Een ijsdam leidt tot hogere waterstanden als gevolg van profielvernauwing en de hydraulische ruwheid van het ijsdek zelf. In het bovenrivierengebied kan de opstuwing in het zomerbed door een ijsdam enkele meters bedragen, in het benedenrivierengebied is de opstuwing minder [Schropp, 2007].

De veiligheid tegen overstromen is uitsluitend in het geding bij een combinatie van relatief hoge

afvoeren en afvoerbelemmering door een vaste ijsbezetting. Het meest gevaarlijke is een volledige ijsdam waarbij vrijwel geen water wordt doorgelaten.
Door warmtelozingen en het intensievere scheepvaartverkeer komt een vast ijsdek, en dus een ijsdam, tegenwoordig minder vaak voor en houden ijsdammen die wel ontstaan minder lang stand. Dit betekent dat een groot gedeelte van het ijs al verdwenen is als smeltwater uit het stroomgebied in Nederland arriveert. De kans op gevaarlijke situaties door het samenvallen van hoge rivierafvoer en ijsdammen is daardoor steeds kleiner geworden. Toch kan ijsvorming op de rivieren weer meer kans krijgen door het wegvallen van koelwaterlozingen door kerncentrales in bovenstroomsgebied (duitsland).

Er hebben zich sinds het einde van de 19e eeuw in het rivierengebied geen ijsgerelateerde overstromingen meer voorgedaan. Dit is te danken aan de normalisatiewerken, de toegenomen warmtelozingen op de rivieren en aan de hogere dijken.

Bij extreme waterstandsverhogingen als gevolg van ijsdamvorming in de rivieren zal men naar verwachting ingrijpen met bijvoorbeeld explosieven.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Eigen gewicht en gronddruk

Het eigen gewicht van het dijklichaam is een belasting voor het mechanisme afschuiven en voor zettingsberekeningen.

Voor zettingsberekeningen vormt het eigengewicht de bovenbelasting voor de ondergrond. In de analyse van het mechanisme afschuiven bepaalt het eigen gewicht in hoge mate het aandrijvend moment. Het eigen gewicht hangt af van de geometrie en het volumiek gewicht van de materialen die in de actieve zone aanwezig zijn (zand, klei, wegverharding), alsmede van de mate van verzadiging met water van deze materialen.

Voor de stabiliteitsanalyse van de waterkering onder extreme hydraulische belasting zal de eigen-gewichtsbelasting toenemen als de freatische lijn in het dijklichaam oploopt. In de uitvoeringsfase verandert de eigen-gewichtsbelasting met elke ophoogslag die het dijklichaam krijgt.

Opgemerkt wordt dat het eigen gewicht ook een bijdrage aan de sterkte levert. Bij de analyse van het mechanisme afschuiven is de schuifweerstand langs het glijvlak door en onder het eigenlijke dijklichaam namelijk afhankelijk van de effectieve spanning: de gronddruk minus de waterspanning. Het eigengewicht van de deklaag in het achterland bepaalt de weerstand tegen opdrukken. En als er bij het mechanisme afschuiven ook sprake is van een glijvlak in de passieve zone dan levert het eigengewicht aldaar een stabiliserend moment.

Aldus is het eigen gewicht niet alleen een belasting, maar levert het ook een bijdrage aan de sterkte bij het faalmechanisme afschuiven en het mechanisme piping.

Als er sprake is van een verandering van het eigen gewicht, zoals bij een dijkverzwaring, heeft dat consequenties voor de waterspanning in ondoorlatende klei- of veenlagen in de ondergrond. De toename van de bovenbelasting resulteert in eerste instantie in die lagen in een even grote toename van de waterspanningen: de zogenaamde wateroverspanning. Ten gevolge van het consolidatieproces zullen de wateroverspanningen mettertijd afnemen, met als gevolg een toename van de effectieve spanningen en dus ook de schuifsterkte. Aldus is de toename van het eigengewicht mogelijk de belangrijkste belasting bij de stabiliteitsanalyse voor de uitvoering van een dijkverzwaring.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Verkeersbelasting en stabiliteit

Als er sprake kan zijn van een verkeersbelasting op de waterkering, dan moet deze in rekening worden gebracht bij de analyse van het mechanisme afschuiven van het dijklichaam en bij de sterkte van de bekleding. Dit artikel gaat uitsluitend in op de geotechnische stabiliteit. Van belang voor het mechanisme afschuiven zijn:

- Het wel of niet in rekening brengen van verkeersbelasting.
- De grootte en plaats van de verkeersbelasting.

Wel of geen verkeersbelasting

Nagegaan moet worden of er bij de stabiliteitsanalyse rekening moet worden gehouden met een verkeersbelasting. Dit geldt zowel voor waterkeringen waarop een wegverharding aanwezig is als voor 'groene dijken'. Het gaat om dagelijks verkeer, als er geen verkeersverbod is, maar het kan ook gaan om transport van materiaal en materieel voor het uitvoeren van geplande reconstructie-werkzaamheden, maar ook om noodmaatregelen in geval van (dreigende) calamiteiten tijdens extreem hoogwater.

Argumenten om voor een specifieke dijkstrekking geen (zware) verkeersbelasting in rekening te brengen zijn mede afhankelijk van het type analyse. Voor de stabiliteitsanalyse kan globaal onderscheid worden gemaakt in de volgende twee type analyses:

1. Het vaststellen van de laagste stabiliteitsfactor voor een grootschalige afschuiving.
2. Het bepalen van de overstromingskans.

Het eerste type zal vooral tijdens een ontwerp aan de orde komen, verkeersbelastingen op wegverhardingen tijdens dagelijkse omstandigheden, dan wel verkeersbelastingen op een onverharde kruin bij gepland groot onderhoud spelen daarbij een rol. De toegang tot de kruin of verkeersweg kan voor dagelijks verkeer zijn afgesloten (fysiek geblokkeerd door afgesloten hek) of gereguleerd via verkeersborden.

Voor de beoordeling van de overstromingskans gaat het om een combinatie van hoogwater en verkeersbelasting. In die situatie moet rekening worden gehouden met realistische verkeersbelastingen tijdens hoogwater. De toegang tot een verkeersweg over de kruin kan in geval van hoogwater worden gereguleerd. Mogelijk moet wel worden gerekend met verkeersbelastingen die gerelateerd zijn aan herstelwerkzaamheden of aan het functioneren van het hoogwater kerend systeem.

Met betrekking tot het functioneren van het waterkerend systeem kan gedacht worden aan de verkeersbelastingen die horen bij het sluiten van coupures of demontabele wanden. Een realistische verkeersbelasting is dan een lichte vrachtauto met kraan en een pickup. Rekening houdend met de duur van de verkeersbelasting in relatie tot de snelheid van afschuiven is die verkeersbelasting verwaarloosbaar.

Bij herstelwerkzaamheden gaat het om realistische combinaties van herstelwerkzaamheden en waterstanden:

1. Daar waar hoogwaters storm gedomineerd zijn, zoals langs de kust, zijn herstel- of noodwerkzaamheden tijdens hoogwater niet realistisch: geen verkeersbelasting.
2. Daar waar hoogwaters afvoer gedomineerd zijn, lijken herstel- of noodwerkzaamheden met zwaar materieel alleen realistisch bij waterstanden met overschrijdingskansen die groter zijn

dan grofweg 1/100 per jaar. Het lijkt onwaarschijnlijk dat bij buitenwaterstanden met kleinere overschrijdingskansen zwaar materieel op een dijk wordt toegelaten zonder een kritische beoordeling vooraf.

3. Als er volgens de analyses tijdens de extreme situaties veel overslag wordt toegestaan kan het zijn dat transport over de kruin ondenkbaar is. Voor die gevallen hoeft er geen verkeersbelasting op de kruin in rekening te worden gebracht.

Een ander argument om af te zien van verkeersbelasting op bepaalde stroken, of op de gehele dijk, is dat de kruin domweg onvoldoende breed is voor verkeer/transport, denk aan een tuimelkade.

Een goede onderbouwing voor het achterwege laten van de verkeersbelasting maakt deel uit van de stabiliteitsanalyse.

De grootte en plaats van de verkeersbelasting

Hierbij worden er drie mogelijke combinaties van verkeer en dijkgeometrie onderscheiden in de stabiliteitsanalyses:

- De eerste mogelijkheid is dat er een verkeersweg op de kruin van het dijklichaam aanwezig is. In dat geval dient er een belasting van 15 kN/m² op één rijstrook, breedte 2,5 m te worden aangebracht. Indien meerdere rijstroken op de kruin van de dijk aanwezig zijn, dient de verkeersbelasting op de, voor het mechanisme afschuiven meest ongunstigste rijstrook te worden aangebracht. De waarde van 15 kN/m² is ontleend aan Eurocode 7.
- De tweede mogelijkheid is dat er geen verkeersweg op het dijklichaam aanwezig is. In dat geval kan er toch rekening worden gehouden met een verkeerslast. De gedachte hierachter is dat er tijdens extreme omstandigheden bij een dreigende calamiteit transport over het dijklichaam noodzakelijk is. Uitgaande van vrachtverkeer ten behoeve van zandtransport dient een belasting van 13,3 kN/m² op de kruin van het dijklichaam te worden aangebracht over een breedte van 2,5 m. Deze belasting dient op de meest ongunstigste locatie te worden aangebracht. Voor de verkeersbelastingen die horen bij het sluiten van coupures of demontabele wanden is een realistische verkeersbelasting vergelijkbaar met een lichte vrachtauto met kraan en een pick-up (1 kN/m² over 2,5 m breedte) volgens de KPR Factsheet Verkeersbelasting en macrostabiliteit [Jongejan, et al., 2016].
- De derde situatie is een situatie met een verkeersweg op de binnen- of buitenberm. In dit geval zou het in rekening brengen van een verkeerslast (op de berm) een positieve invloed kunnen hebben op de berekende stabiliteit. Hierdoor zou dit niet de kritische situatie kunnen opleveren. Als er een verkeersweg op de berm ligt dient er derhalve in een aanvullende berekening ook de situatie met de verkeersbelasting (alleen) op de kruin van de groene dijk, het tweede geval, te worden beschouwd. Dit geldt zowel voor de binnenwaartse als voor de buitenwaartse stabiliteit.

Voor het vaststellen van de laagste stabiliteitsfactor, in de bovengenoemde combinaties van verkeer en dijkgeometrie, zal deze worden gevonden als de verkeersbelasting aangrijpt op de strook van de kruin die grenst aan het te beoordelen talud.

Bij het beoordelen van de overstromingskans is niet alleen de analyse van het mechanisme afschuiven relevant, maar ook de beoordeling of vervolgmechanismen na de eerste afschuiving tot daadwerkelijk falen van de waterkering kunnen leiden, zie het artikel Kritsch glijvlak en vervolgmechanismen bij afschuiven lang een diep glijvlak. In dat geval is niet op voorhand aan te geven aan welke kant van de kruin de verkeersbelasting moet aangrijpen om de maatgevende situatie op te leveren. Immers, als bij de beoordeling van het mechanisme binnenwaarts afschuiven de verkeersbelasting wordt

aangebracht op de kruin, maar grenzend aan het buitentalud, zal de stabiliteitsfactor voor afschuiven naar verwachting wat hoger zijn dan wanneer de verkeersbelasting wordt aangebracht op de kruin, maar grenzend aan het binnentalud.
Daarentegen zal in het eerste geval de kans op daadwerkelijk falen van de waterkering naar verwachting groter zijn, omdat het intredepunt van de glijcirkel waarschijnlijk meer buitenwaarts is gelegen. De voorschriften vereisen niet dat bij zeer extreme buitenwaterstanden nog zwaar materieel op een dijk moet kunnen. Het gaat hooguit om de verkeersbelasting die zich in werkelijkheid voor kan doen.

Het mechanisme afschuiven in buitenwaartse richting treedt niet bij extreme hydraulische belastingen op. Een zware verkeersbelasting is mogelijk. In aansluiting op de [Handreiking Constructief Ontwerpen, 1994] kan worden gerekend met een belasting van 400 kN per 12 m^1, hetgeen overeenkomt met 13,3 kN/m^2 over een breedte van 2,5 m.

Verwacht wordt dat de verkeersbelasting veelal van beperkt belang zal zijn voor het ontwerp van een primaire waterkering. Zodoende wordt geadviseerd om kritisch te bekijken of op een realistische wijze met verkeersbelasting is omgegaan als blijkt dat de verkeersbelasting toch grote invloed heeft op het ontwerp (gevoeligheidsanalyse).

Versie 1.0: 2 juli 2025

Belasting door extreme neerslag en droogte

Extreme neerslag en droogte kunnen de stabiliteit van (onderdelen van) waterkeringen bedreigen. Het is echter niet zo dat deze fenomenen (volledig) gecorreleerd zijn met de waterstanden. De analyse van de overstromingskans vraagt dus om realistische combinaties van (extreme) neerslag (droogte) en andere hydraulische belastingen, zie Combinaties van belastingen.

Neerslag

Gegevens met betrekking tot (extreme) neerslag worden gegeven door [Beersma, et al., 2019].

In het artikel Invloed neerslag op het freatisch vlak is aangegeven hoe om te gaan met de invloed van neerslag op de waterspanningen in de berekening van het mechanisme afschuiven langs een glijvlak.

Droogte

Uitdroging van veen is voor het mechanisme afschuiven van regionale keringen een belangrijk issue. Voor primaire keringen is dit minder of niet het geval omdat het dijklichaam zelf nooit is opgebouwd uit veen. Toch heeft droogte wel consequenties ook al bestaat de dijk uit klei. Denk aan de structuurvorming in geval van (gras op) kleibekledingen. Droogte kan een grasbekleding ernstig beschadigen, zodat de sterkte na een zeer droge zomer duidelijk kleiner is dan normaal. Dit kan zelfs nog een paar jaar doorwerken.Verder kunnen droogtescheuren in de klei ontstaan die de erodeerbaarheid vergroten. Door extremer weer als gevolg van klimaatverandering, kan de invloed groter worden.

Als langdurige droogte leidt tot lagere grondwaterstanden in het achterland, kan dit bijdragen aan de bodemdaling als gevolg van oxidatie van organisch materiaal, zie de paragraaf Bodemdaling in het artikel Bedreigingen. Maar lage grondwaterstanden als gevolg van droogte kunnen ook leiden tot een hogere grensspanning en dus het mechanisme afschuiven in positieve zin beïnvloeden.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Windbelasting direct

Wind is een belasting voor faalmechanismen waarbij Niet Waterkerende Objecten (NWOs) een rol

spelen. In het geval van windbelasting, die via bomen en niet-waterkerende constructies wordt overgebracht op de waterkering dient per geval te worden nagegaan wat het effect is van de windbelasting voor de stabiliteit van het grondlichaam, er vanuit gaande dat er geen sprake is van omwaaien en ontworteling van de begroeiing of het bezwijken van de fundering van een constructie. Daarnaast moet het effect van eventuele ontworteling van begroeiing of bezwijken van de fundering van NWO-constructies worden beschouwd.
Naast deze directe belasting door de wind, is wind een drijvende kracht achter de hydraulische belastingen: golven en waterstanden.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Aardbevingen

Aardbevingen in Nederland kunnen optreden van nature (bij de slenken en horsten van Brabant en Limburg) of veroorzaakt worden door de mens (gaswinning). Voor de primaire waterkeringen in het rivierengebied zijn de natuurlijke aardbevingen in Brabant en Limburg van belang. Bij de beoordeling van de veiligheid van de in Noord-Nederland gelegen waterkeringen dient rekening gehouden te worden met de belasting door geïnduceerde aardbevingen. Uitgangspunt voor deze beoordeling is een aardbeving met een maximum magnitude van 5. Daaruit worden piekgrondversnellingen ter plaatse van de waterkering afgeleid waarmee de veiligheid voor het mechanisme afschuiven binnenwaarts wordt beoordeeld. Deze veiligheidsbeoordeling is specialistenwerk. Voor andere mechanismen en overige aardbevingen geldt dat wanneer gemotiveerd kan worden dat de overstromingskans door aardbevingen wordt beïnvloed, dit door een specialist moet worden beoordeeld.

De natuurlijke aardbevingen hebben in het geologische verleden de koers van de Maas bepaald. In de afgelopen 10.000 jaar heeft de Maas meerdere malen haar koers verlegd door tektonische bewegingen. Een aardbeving in Nederland kan dus wel degelijk leiden tot dijkdoorbraken en zelfs het verleggen van de stroomgeul.

In het verleden is er bij het ontwerp en de wettelijke, periodieke veiligheidsbeoordeling van waterkeringen geen rekening gehouden met aardbevingen. De belangrijkste reden hiervoor is dat aardbevingen en extreem hoog water twee onafhankelijke gebeurtenissen zijn, en dat de bijdrage aan de kans op falen van grondconstructies daarom geheel te verwaarlozen is. Die redenering is mogelijk niet terecht. Immers ook een aardbeving die tot schade leidt bij waterstanden met een wat grotere kans van voorkomen, kan bijdragen aan het falen van de waterkering. Dit geldt ook voor een aardbeving voorafgaand aan een dergelijk hoogwater, waarbij de schade nog niet is hersteld.

De aardbeving op 13 april 1992 bij Roermond is met een sterkte van 5.8 op de Schaal van Richter (bron: website KNMI) voor zover bekend de sterkste die ooit in Nederland is waargenomen. Langs de oevers van de Maas en de Roer ontstonden op verschillende plaatsen diepe scheuren in de grond als gevolg van verzakkingen en afschuivingen, zie onderstaande figuur. Uit onderzoek van de schade op deze locatie is geconcludeerd dat de schade voornamelijk is veroorzaakt door verweking van de losgepakte zandlaag onder de dijk [Verheij, 2002].



Figuur 1 Diepe scheuren in de grond langs de Maas bij Roermond na de aardbeving van 13 april 1992 (foto: KNMI)

In Nederland worden waterkerende kunstwerken in de regel niet ontworpen op deze belastingen.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Belasting door luchtdruk

Als de kruin van een waterkering (volledig) lucht- en waterdicht is, inclusief de aansluitende bekledingen op het binnen- en buitentalud, kan belasting door luchtdruk optreden. De stijgende freatische lijn tijdens maatgevende omstandigheden kan ervoor zorgen dat er een luchtbel onder de kruin ingesloten raakt en door de waterdruk gecomprimeerd wordt. De hiermee samenhangende opwaartse druk is zodanig groot dat de kruinbekleding kan openbarsten).

Versie 1.0: 2 juli 2025

Combinaties van belastingen

Bij de faalkansanalyse van een waterkering moeten een groot aantal belastingen en bedreigingen die stuk voor stuk in de tijd kunnen variëren, de revue passeren. De kans dat de verschillende belastingen gelijktijdig een zeer ongunstige (zeldzame) waarde bezitten, is vaak klein. Een volledig probabilistische analyse waarbij rekening wordt gehouden met de verdelingen en correlaties van alle belastingen is nog niet haalbaar. Een efficiënte beoordeling is wel mogelijk door een semi-probabilistische analyse uit te voeren voor verschillende belastingcombinaties.

Bij een werkwijze met belastingcombinaties wordt steeds voor één belastingparameter uitgegaan van een relatief ongunstige waarde (de dominante belasting). Voor de overige belastingparameters wordt dan van minder ongunstige waarden uitgegaan (combinatiewaarden). Bij elke belastingcombinatie moet de kering voldoen.

Het onderstaande voorbeeld gaat in op de combinatie van verkeersbelasting en hydraulische belastingen (waterstand) bij de beoordeling van een dijklichaam op het mechanisme afschuiven langs een glijvlak.

1. De verkeersbelasting die samenhangt met geplande werkzaamheden (beheer en onderhoud, versterkingswerkzaamheden) kan extreem zijn en levert daarom mogelijk een kritische belastingsituatie op. Maar, omdat deze werkzaamheden normaliter buiten het gesloten seizoen.

2. Als de buitenwaterstand naar extreme waarden oploopt, moet rekening worden gehouden met een verkeersbelasting die gerelateerd is aan maatregelen die nodig zijn bij hoge buitenwaterstanden (herstelmaatregelen, verkeersbelastingen die horen bij het functioneren van het hoogwaterkerend systeem). Hierbij moet rekening worden gehouden met realistische verkeersbelastingen, in combinatie met de hydraulische condities waarbij deze belastingen reëel/voorstelbaar zijn. Overigens zijn veel herstelwerkzaamheden tijdens hoogwater niet realistisch voor locaties waar de hoogwaters storm-gedomineerd zijn, zoals langs de kust.

1. Als de buitenwaterstand extreme waarden bereikt, zal een weg op een dijk veelal worden afgesloten voor zwaar of zelfs voor regulier verkeer. Een extreme verkeersbelasting op een weg (dus zwaarder dan normaal wegverkeer) hoeft niet gecombineerd te worden met een extreme buitenwaterstand. Een uitzondering vormt eventueel noodzakelijk calamiteiten-verkeer zie ook Wel of geen verkeersbelasting in het artikel Verkeersbelasting en stabiliteit.

Een tweede voorbeeld betreft de voor de dijkstabiliteit relevante waterspanningen die door een tweetal externe belastingen worden beïnvloed: hoogwater en neerslag. Het artikel Invloed van neerslag op het freatisch vlak behandelt hoe met (de onzekerheid in) de bijdrage door neerslag bij het bepalen van de waterspanningen om te gaan.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Literatuurverwijzingen

The Rock Manual : The use of rock in hydraulic engineering ; Second edition. CIRIA, 2007.

_____

De Jong, J., F. Diermanse, A. Becker, A. van der Meer en A. Teixeira. *Effect ijsvorming op de overstromingskans ; KPP Rivierkunde*. Deltares, rapport 11205234-002-ZWS-0002, april 2021.

Leidraad kunstwerken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) en Rijkswaterstaat (RWS DWW), rapport DWW-2003-059, mei 2003.

Schropp, M.H.I. *Rivierverruiming en ijs*. Rijkswaterstaat (RWS RIZA), memo WRR 2007-01, februari 2007.

_____

Handreiking constructief ontwerpen : Onderzoek en berekening naar het constructief ontwerp van de dijkversterking. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), april 1994.

Jongejan, R.B., B. van Bree, H.K. Knoeff, M. de Visser en J. Blinde. *Factsheet Verkeersbelasting en macrostabiliteit ; Versie 2*. Kennisplatform Risicobenadering (KPR), juli 2016.

_____

Beersma, J., H. Hakvoort, R. Jilderda, A. Overeem en R. Versteeg. *Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), rapport 2019-19, 2019.

_____

Literatuur

Verheij, H.J. et al. *Invloed van aardbevingen op overstromingsrisico's*. Rapport Q3177, WL|Delft Hydraulics in samenwerking met TNO-NITG, KNMI en Geodelft. Delft, 2002.

_____

Van den Berg, A.,Caljouw, M., Kraneveld, M., Spaargaren, G. *Handreiking Dijkbekledingen Deel 1: Algemeen (HDD1)*. Rijkswaterstaat, januari 2015.

_____

Handreiking ontwerpen met overstromingskansen : Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen. Rijkswaterstaat (RWS WVL), januari 2017.

_____