



<i>Titel</i>	Lijnelementen in de polders en de invloed daarvan op het overstromingsverloop
<i>Auteur</i>	S.F. Esselink
<i>Datum</i>	10 juli 2009
<i>Omschrijving</i>	Bachelor eindopdracht bij de Nederlandse Defensie Academie in de periode van 18 april tot 12 juli 2009
<i>Begeleiders</i>	ir. W.A.H. Hermelink Kap ir. S.A.N. Mevissen

VOORWOORD

Nederland staat bekend om zijn strijd tegen het water. Prestigieuze kunstwerken zoals de Afsluitdijk en de Deltawerken hebben Nederland een stuk veiliger gemaakt. Maar wanen we ons in Nederland niet te veilig? Na drie jaar de bachelor civiele techniek te hebben gevolgd is er voornamelijk aandacht besteed aan het omgaan met hoge rivierafvoeren. Hoe voeren we deze zo snel mogelijk af om geen overlast te krijgen? Echte noodsituaties, zoals een dijkdoorbraak, zijn in de studie niet naar voren gekomen, terwijl het toch een reële mogelijkheid is. De gevolgen van een dijkdoorbraak in de Randstad zullen niet de overzien zijn. Wat moet er dan gebeuren? Toen de contactpersoon van de NLDA, M. de Weger, met het idee kwam om onderzoek te doen naar het inrichten van bestaande lijninfrastructuurobjecten zodat ze een remmend effect op de overstroming kunnen hebben, werd mijn interesse gewekt. In dit onderzoek worden de effecten van 'hoge' elementen, zoals spoordijken, oude middeleeuwse dijken geanalyseerd om te kijken in hoeverre ze invloed hebben op het overstromingsverloop.

Gedurende het onderzoek heb ik veel informatie mogen ontvangen van Rijkswaterstaat en Geodelft. Zonder deze informatie was het onderzoek nooit uitvoerbaar geweest. Daarnaast wil ik ook mijn begeleiders, W.A.H. Hermelink en S.A.N. Mevissen, bedanken voor de aanwijzingen, verbeteringen en ideeën die ze gaven. Met dank aan hen is dit rapport tot stand gekomen.

Enschede, 15 september 2009
Steven Esselink

INHOUDSOPGAVE

Inhoud

BEGRIPPENLIJST	5
SAMENVATTING	6
INLEIDING	7
Organisatie	7
H1 PROBLEEMANALYSE	9
H1.1 Operationalisering.....	13
H1.2 Methodiek	13
H2 LANDSCHAPSELEMENTEN	14
H2.1 Categorisatie lijnobjecten	14
H2.2 Dijkkring 43.....	22
H3 FYSIEKE EIGENSCHAPPEN	19
H3.1 Spoorlijnen.....	26
H3.2 Autosnelwegen	26
H3.3 Waterwegen	26
H3.4 Provinciale wegen	26
H3.5 (Oude) dijken.....	32
H4 Dijkdoorbraak	22
BIJLAGE 1 SCHEMATISATIE OPBOUW DIJKEN/(SPOOR)WEGEN	37
B1.1 Dijk	37
B1.2 Spoorwegprofiel.....	37
B1.3 Wegprofiel	38

BIJLAGE 2	FAALMECHANISMEN	39
B2.1	Golfoverslag / overloop.....	39
B2.2	Microstabiliteit.....	41
B2.3	Macrostabiliteit.....	41
B2.4	Piping.....	42
B2.5	Bekleding	43
BIJLAGE 3	FUNDERINGSCONSTRUCTIES	45
B3.1	Doorpersingen	45
B3.2	Zandcunetten.....	45
B3.3	Paalfunderingen.....	45
B3.4	Geotextiel	45
B3.5	EPS constructies	46
REFERENTIES		47

BEGRIPPENLIJST

Debiet	De hoeveelheid water in kubieke meters per seconde gemeten over een dwarsdoorsnede van de rivier.
Dijkkring	Een gebied dat beschermd wordt door primaire keringen, duinen en hoge gronden. In een dijkkring bevinden zich veel constructies voor het waterbeheer zoals sluizen en gemalen. De keringen zijn voor het keren van buitenwater (bron: http://nl.wikipedia.org/wiki/Dijkkring).
Dijkvak	Deel van een dijkkringgebied waarin de primaire dijk dezelfde sterkte heeft en een gelijke faalkans.
Inundatie	Het onderwater zetten/overstromen van een gebied al dan niet met opzet.
Kruinhoogte	Het hoogste vlakke punt/gedeelte van een dijk.
Kwellengte	De afstand die door water ondergronds wordt afgelegd voordat het weer aan het oppervlak komt (bron: Arcadis (n.d.)).
Maaiveld	De hoogte van het grondoppervlak ten opzicht van NAP (Nieuw Amsterdams Peil).
Overschrijdingskans	De kans dat een dijk faalt doordat het water over de dijk of over de duinen slaat (zie ook overslag in Bijlage 2).
Overstromingskans	De kans dat de dijk doorbreekt ten gevolge van het falen van een dijkvak of kunstwerk.
Overstromingsrisico	De overstromingskans vermenigvuldigd met de schade in het achterliggende gebied bepaalt het overstromingsrisico.

SAMENVATTING

Nederland heeft al eeuwen te maken met overlast van water. De laatste honderd jaar is er een enorme progressie geboekt qua veiligheid van onze samenleving. De dijken zijn nu dusdanig sterk dat een dijkdoorbraak een zeldzaamheid lijkt. Maar de kans op een dijkdoorbraak is nooit helemaal weg terwijl de economische en maatschappelijke waarde van het land achter de dijken behoorlijk is toegenomen. Een dijkdoorbraak in Nederland zou een catastrofe worden.

Met oog op dit gevaar wordt er veel onderzoek gedaan naar compartimentering van dijkringen. Een dijkkring is een gebied dat in zijn geheel omringd is door primaire dijken. Door de dijkringen in te delen in kleinere vakken (compartimentering) verkleint men in ieder geval de hoeveelheid overstroomd oppervlak en in de meeste gevallen dan ook de hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers.

Compartimentering kan op verschillende manieren gedaan worden, enerzijds door het aanleggen van nieuwe dijken en anderzijds door het versterken van bestaande elementen. Kijk maar eens rond in de polders en zie hoeveel spoorlijnen er verhoogd in het landschap liggen. Deze elementen liggen er al jaren en zullen zeker effect hebben op het verloop van de overstroming. Dit onderzoek heeft als doel het in kaart brengen van deze lijn(infrastructuur)objecten en te bekijken in hoeverre ze water kunnen keren. Daarbij moeten we ons afvragen wat voor soort elementen er in ons land zijn en wat de fysieke eigenschappen zijn. Deze fysieke eigenschappen bepalen immers wat de waterkerendheid van het object zal zijn. Een hele belangrijke eigenschap is de kruinhoogte, hoe hoog ligt het object ten opzichte van het maaiveld?

Om de fysieke eigenschappen te bepalen is er gebruik gemaakt van grondmechanische gegevens en metingen verkregen door Geodelft. Aan de hand van deze gegevens kunnen er inschattingen gemaakt worden wat betreft de waterkerendheid van een object. Hoe lang kan er water gekeerd worden? Permanent of maar voor enkele uren?

Het laatstgenoemde kan getest worden met behulp van computer gesimuleerde dijkdoorbraken. Rijkswaterstaat heeft een Pilot Case Overstromingsrisico (PICASO) opgezet waarbij een dijkdoorbraak van dijkkring 43, de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden, gesimuleerd wordt.

Dijkkring 43 is de casestudy bij dit onderzoek en dus sluit het PICASO project hier goed op aan. Dijkkring 43 ligt tussen de Lek/Neder-Rijn en de Waal en een dijkdoorbraak kan een maximale potentiële schade opleveren van maar liefst 18 miljard euro. Daarnaast wordt bij dit scenario het aantal slachtoffers geschat op 5000 tot 10.000 mensen.

Een dijkdoorbraak van de Waal ten noorden van Nijmegen geeft het overstromingsverloop weer van de dijkkring. Het blijkt dat het water circa 25 cm. per uur stijgt tot een maximale inundatiediepte van 2 meter en dat daarmee lijnelementen die een beperkte hoogte hebben (75 cm. en minder) zowat geen invloed hebben op het overstromingsverloop. Deze invloed is beperkt vanwege de snelle stijghoogte, zodat de evacuatie van passagiers maximaal met 2 á 3 uur wordt verlengd. Alleen regionale keringen van 3 meter of hoger hebben een merkbare invloed en kunnen het water zeker voor 24 uur tegenhouden wat genoeg is om de evacuatie van omwonenden op gang te brengen.

INLEIDING

Door de eeuwen heen zijn de Nederlanders de strijd aangegaan met het water. Na vele tegenslagen werd geleidelijk steeds meer terrein gewonnen. Uiteindelijk is men erin geslaagd de rivieren en zeeën (Noordzee en Zuiderzee) in ons land te temmen. Maar tegen welke prijs? De drooglegging van de moerassen, de ontginning van land voor landbouw en het droogpompen van deze gebieden hebben in West-Nederland geleid tot een inklinking van de bodem tot een niveau van soms 5 meter onder N.A.P.

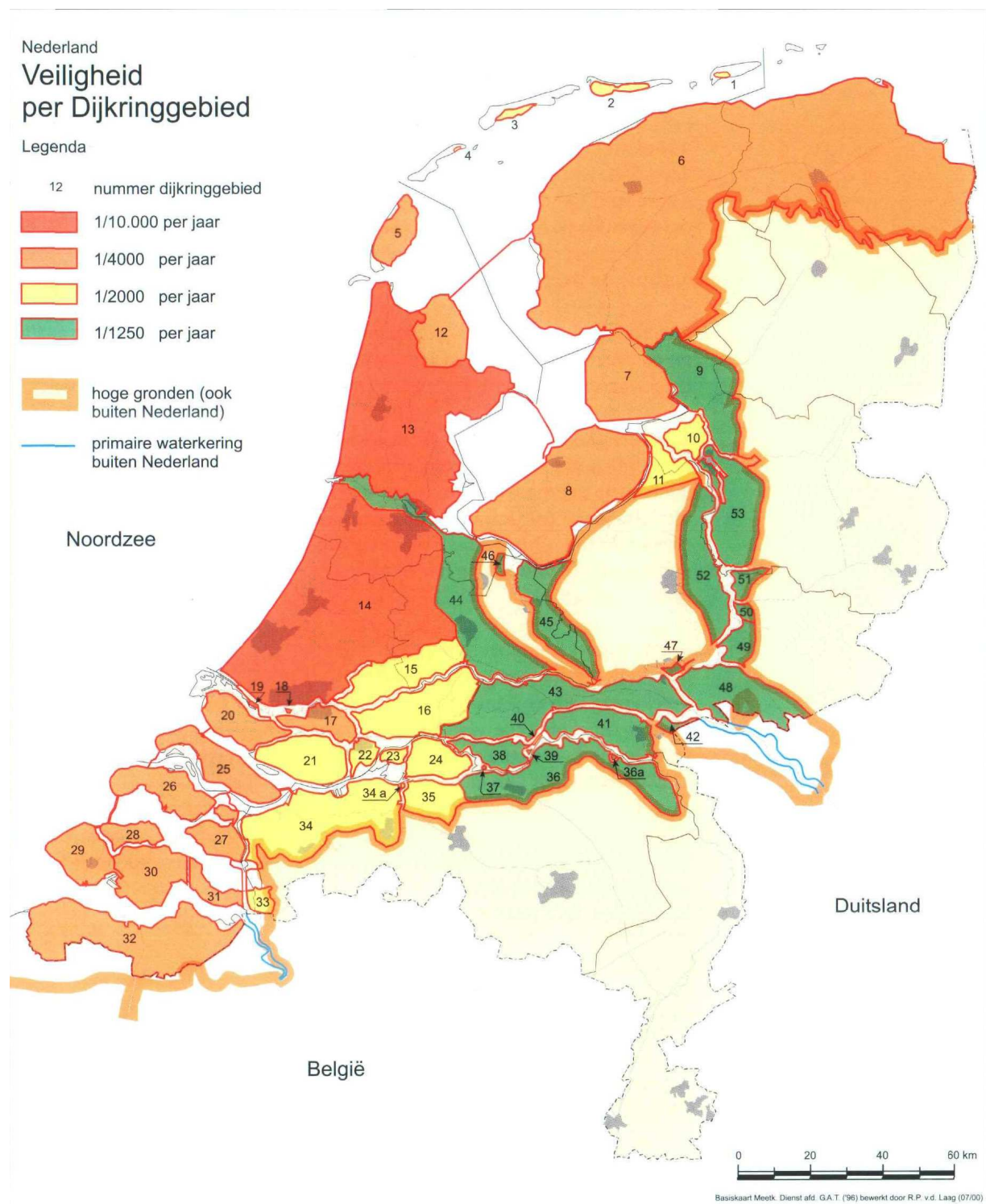
Bij een eventuele dijkdoorbraak zal de economische en maatschappelijke schade niet te overzien zijn. (RIVM, 2004). Huidige klimaatscenario's laten zien dat we alert moeten zijn op mogelijkheid tot overstromingen. (KNMI, 2009). Dit rapport is een onderzoek naar de mogelijkheid compartimentering naar dijkringen. Compartimentering is het opdelen van een dijkkring in kleinere gebieden, door middel van bijvoorbeeld dijken. Echter zijn in ons land al veel hoge landschapselementen aanwezig, die een andere functie hebben dan het keren van water. Denk aan een spoordijk, slaperdijk, geluidswallen en bijvoorbeeld snelwegen.

Een dijkkring is een gebied dat geheel omgeven is door primaire dijken, duinen of hoge gronden. Deze keringen moeten vaak direct buitenwater keren. Voor een overzicht van de dijkringen in Nederland, m.u.v. Limburg, zie ook figuur 1.1.

Organisatie

De Nederlandse Defensie Academie (NLDA) is een organisatie binnen Defensie verantwoordelijk voor de algemene officiersopleiding, voor alle Defensieonderdelen op alle niveaus. Gekoppeld aan wetenschappelijk onderwijs verricht de NLDA ook wetenschappelijk onderzoek voor kennisontwikkeling, innovatie en beleidsontwikkeling. De NLDA bestaat uit zeven vestigingen gesitueerd in het hele land. De verschillende vestigingen variëren, zo zorgen bijvoorbeeld de Koninklijke Militaire Academie (KMA) en het Koninklijk Instituut voor de Marine (KIM) voor de opleidingen tot officier. De overige afdelingen zijn meer gericht op onderzoek en het verbreden van de kennis van personeel. Leergang Topmanagement Defensie (LTD) is belast met de taak de hoge officieren bij te spijkeren in politiek opzicht, zodat ze in de hoogste kringen van Defensie kunnen dienen. De Faculteit Militaire Wetenschappen (FMW) verzorgt de wetenschappelijke opleiding van de officieren en doet wetenschappelijk onderzoek. Het is bij de sectie Civiele Techniek van de afdeling FMW waar ik mijn onderzoek doe. De sectie Civiele Techniek doet onderzoek voor de Faculteit Militaire Wetenschappen en verzorgt de opleiding van de genieofficieren.

Het onderzoek dat ik doe voor de sectie Civiele Techniek valt binnen het onderzoek van kap. Ir. Mevissen. Hij onderzoekt het effect van landschapselementen in het rivierengebied, met de focus op het vertragen van de overstroming door het gebruik van landschapselementen. Daarnaast worden de landschapselementen ook gebruikt om vluchtwegen open te houden. In het onderzoek probeert hij aan te geven dat belangrijke verbindingen, zoals bijvoorbeeld de A4, van belang zijn bij evacuatie op grote schaal en dus watervrij gehouden moeten worden. Het gaat hierbij niet om een preventieve evacuatie, maar bij het evacueren van het gebied dat te maken heeft met een dijkdoorbraak.



Figuur 1.1 Dijkringen in Nederland (TAW, 2000)

H1 PROBLEEMANALYSE

Tegenwoordig zijn we er ons wel degelijk van bewust wat voor risico we in Nederland lopen. Ons land wordt beschermd door metershoge dijken. Vooral het economisch hart van Nederland, de Randstad, is goed beveiligd. De afgelopen jaren hebben verscheidene commissies (Becht, 1977; Boertien, 1992) zich gebogen over de veiligheidsnorm van Nederland. De commissies stelden voor alle gebieden in Nederland vast hoe vaak ze mochten overstromen. In dit geval werd een overstroming gezien als de maximale afvoer die een rivier aan kon. Met andere woorden, het water stroomde in deze gebieden dan over de dijken. Voor de Randstad werd gesteld dat het water maar eens in de tienduizend jaar over de dijken mag stromen, de zogenaamde overschrijdingskans. Echter voor het merendeel van het land waren de overschrijdingskansen vastgesteld op eens in de 1250 jaar. Deze waarde van 1 op de 1250 werd omgezet in een debiet dat eens in de 1250 jaar zou voorkomen. Dit debiet bedraagt ongeveer 16.000 m³/s voor de Rijn (bij Lobith). Het betekent dus dat de dijken langs de Rijn, de Waal en de Neder-Rijn en Lek ontworpen moeten worden aan hand van deze norm. Op deze manier probeerde men dus een behoorlijke veiligheid te creëren voor de Nederlandse maatschappij.

Nu lijkt de overschrijdingskans voor de Randstad (1 op de 10.000) wel veilig, maar met de huidige snelheid van de klimaatveranderingen is men daar niet zo zeker van. Het KNMI houdt rekening met een zeespiegelstijging in de 21^e eeuw van 35 cm tot zelfs 85 cm t.o.v. van het jaar 1990 voor de Nederlandse kust. Dit is dan nog niet eens de meest extreme situatie, het 'stilvallen' van de Golfstroom en het losraken van instabiele delen van Groenland en Antarctica zijn niet meegenomen in deze voorspelling. Daarnaast kan een eenvoudige zeebeving metershoge golven teweeg brengen en een vernietigende uitwerking hebben, zoals de tsunami in Zuidoost-Azië van december 2004 (KNMI, 2009). Een dergelijke zeespiegelstijging betekent dat de kansen op een overstroming in Nederland gaan toenemen, het waterpeil neemt immers toe. Daarnaast zullen, vanwege het hogere waterpeil, de gevolgen ook groter zijn. Het heeft dus een dubbel negatief effect.

Een ander probleem is de sedimentafzetting waardoor het waterpeil steeds verder gaat stijgen, wat weer leidt tot extra dijkverhogingen. Dit proces kan niet altijd blijven doorgaan en de gevolgen van een dijkdoorbraak worden dan met elke dijkverhoging steeds groter, vanwege het grotere verschil tussen het waterpeilniveau (dijkhoogte) en polderniveau. De kans wordt dan wel verkleind maar de gevolgen worden groter en vroeg of laat zal er toch een keer een dijkdoorbraak plaats vinden. De sedimentafzetting plus de stijging van de zeespiegel maakt het noodzakelijk de gevolgen van een overstroming te onderzoeken en zo mogelijk te beperken.

Daarom probeert men vandaag de dag niet meer te spreken van overschrijdingskansen, maar van overstromingskansen. Bij overstromingskansen wordt niet alleen puur gekeken naar het overlopen van de dijken, maar ook naar andere faalmechanismen en naar de kansen dat een kunstwerk niet werkt. De zwakste schakel binnen de dijk wordt dan de basis voor de overstromingskansen. Een overstromingskans kijkt dus niet meer puur naar het overlopen van de dijk, maar verder ook naar het bezwijken van de dijk in het algemeen (faalmechanismen van dijkvakken en kunstwerken). Aan deze overstromingskansen wordt vervolgens ook de gevolgen van een overstroming voor de economie en de maatschappij toegevoegd. Dit zijn de zogenaamde overstromingsrisico's. Hierbij wordt gekeken naar de overstromingskansen van een gebied en de potentiële materiële schade en het potentieel aantal slachtoffers. Wegen de kosten op tegen de baten (minder slachtoffers en schade)?

Dit onderzoek gaat niet zozeer uit van het beperken van de kansen op een overstroming, maar over het beperken van de schade van de overstroming. Met name overstromingen uit zee kunnen zeer onverwachts optreden. Normaal gesproken zijn overstromingen vanuit de rivieren makkelijker te voorspellen (waarschuwingstijd van 72 uur). Dit komt omdat het dan veelal gaat om grote hoeveelheden regenwater die ver stroomopwaarts vallen welke voorspelbaar zijn en er een tijdje over doen om in Nederland aan te komen. Daarbij komt dan dat er stroomopwaarts ook hoogwaterproblemen zullen zijn. Maar ondanks de voorspelbaarheid van regenwater kan er nog steeds onverwachts een dijkdoorbraak plaatsvinden. Zo is bij Wilnis in 2003 nog een boezemkade bezweken tijdens extreme droogte (www.waterland.net). Dit was totaal onverwachts omdat het waterpeil heel laag was. Het incident had gelukkig geen al te grote gevolgen, maar zette de deskundigen wel aan het denken. Een andere mogelijkheid van een onverwachte dijkdoorbraak is een terroristische actie tegen de Nederlandse samenleving, wat tegenwoordig niet geheel ondenkbaar is.

Uit het bovenstaande blijkt dat het van belang is aandacht te besteden aan de gevolgen van een dijkdoorbraak en aan maatregelen die de gevolgen kunnen beperken. Een van deze maatregelen is compartimentering. Compartimentering is het opdelen van het dijkkringgebied in afgegrensde deelgebieden. Het toepassen van compartimentering binnen het dijkkringgebied beperkt het aantal slachtoffers en de economische schade. Dit kan enerzijds door het aanleggen van nieuwe dijken, maar ook door het opwaarderen van bestaande landschapselementen. Denk hierbij aan geluidsbarrières, spoordijken, oude verdedigingslinies en uit het verleden stammende dijken. Als deze elementen opgewaardeerd kunnen worden, vormen ze een nieuwe 'veiligheidslijn' binnen het dijkkringgebied, wat bij een doorbraak van deze dijkkring het gebied behoedt voor een totale overstroming. Nu is het zo dat het opwaarderen van landschapselementen op z'n zachtst gezegd niet eenvoudig is, veel elementen zullen dan verlengd en/of verstevigd moeten worden.

Naast het tegenhouden van water, wat dus niet altijd mogelijk is, kunnen landschapselementen ook een tijdwinst opleveren, wat van belang is voor de inwoners van de regio. Ten tijde van een alarmfase zal begonnen worden met het evacueren van het gebied, maar zoals al eerder gezegd kunnen dijkdoorbraken onverwachts optreden. Landschapselementen kunnen dan zelfs in onopgewaardeerde staat een vertragend effect hebben op het verloop van de overstroming, zodat de inwoners tijdig een veilig heenkomen kunnen zoeken en de evacuatie snel op gang kan komen. Het is dus noodzakelijk inzicht te krijgen in deze landschapselementen. Wat voor elementen kunnen we onderscheiden en waaruit zijn ze opgebouwd? Op dit moment is dit inzicht er gedeeltelijk, dat wil zeggen dat de meeste landschapselementen in kaart zijn gebracht. Echter heeft men geen idee of deze elementen bruikbaar zijn voor het inrichten van compartimenteringdijken. De landschapselementen liggen in het landschap en zullen hoe dan ook een vertragend effect hebben. Het is aan ons om er voordeel mee te doen.

H1.1 Doelstelling

Het bovenstaande leidt tot de volgende doelstelling:

Het doel van het onderzoek is het categoriseren van landschapselementen in type en op eigenschappen en deze te beoordelen op geschiktheid voor een waterkerende functie (vertragend of permanent).

De vraag blijft in hoeverre compartimentering gaat bijdragen aan beperking van schade en slachtoffers. Compartimentering beperkt in ieder geval de hoeveelheid oppervlak dat overstroomt. Echter kan compartimentering ook betekenen dat de gecompartmenteerde delen sneller volstromen en dat de waterhoogte binnen het gecompartmenteerde gebied hogere waarden aanneemt (Rijkswaterstaat, 2006). Hierdoor is, uitgaande van compartimentering, het aantal gedupeerden vaak lager, maar is de mortaliteit meestal gelijk of hoger dan bij scenario's die uitgaan van geen compartimentering.

Naast beperking van schade en slachtoffers kan compartimentering ook dienen tot het beschikbaar houden van evacuatie routes. Bij een overstroming zouden bijvoorbeeld belangrijke vluchtroutes, zoals autosnelwegen, toegankelijk gehouden kunnen worden door rondom deze vluchtroutes landschapselementen in te richten als compartimenteringdijken of door compartimenteringdijken te voorzien van (vlucht)wegen.

De meeste studies omtrent compartimentering richten zich op de aanleg van nieuwe dijken, er wordt slecht gering aandacht besteed aan de landschapselementen die al aanwezig zijn en een kerende functie kunnen hebben. Nader onderzoek naar deze landschapselementen is dan ook gewenst. Daarbij is ook de mate van waterkerendheid van belang. Van sommige landschapselementen kan vooraf al gezegd worden dat er maar een geringe bijdrage is aan het keren van water. Deze elementen zijn bijvoorbeeld te laag, of bestaat uit een onsamenhangend geheel. Dit betekent echter niet dat deze landschapselementen totaal geen bijdrage hebben aan het verloop van de overstroming. Zelfs objecten met geringe hoogte remmen en vertragen het water voor bepaalde tijd. Kortom bij het 'aanwijzen' van landschapselementen geschikt voor opwaardering moet gelet worden op twee dingen. Ten eerste, wat is de economische en maatschappelijke waarde van het achterliggende gebied en ten tweede is het landschapselement in staat permanent water te keren, moet het versterkt worden in tijden van gevaar of kan het landschapselement alleen maar vertragend werken. Het is vanzelfsprekend de vertragende werking in feite niets anders is dan tijdswinst en daarmee niet minder nuttig voor de maatschappij.

H1.2 Onderzoeksvragen

De vraag die in het onderzoek centraal staat is:

Aan welke fysieke eigenschappen moeten landschapselementen voldoen om geschikt te zijn als waterkerende objecten en welke mate van waterkerendheid dienen zij te hebben?

Niet elk element is daadwerkelijk geschikt om water te kunnen keren. De fysieke eigenschappen geven de doorslag wat betreft de geschiktheid tot opwaardering tot compartimenteringsdijk. Daarmee kunnen de minder geschikte elementen nog wel van belang zijn als het gaat om het vertragen van de waterstroom. Als het gaat om de functie bescherming van belangrijk gebied kan alleen gerekend worden op de volwaardige compartimenteringsdijken.

De centrale vraag kan opgesplitst worden in deelvragen, die gezamenlijk antwoord geven op de centrale vraag. De centrale vraag leidt tot de volgende deelvragen:

Wat verstaan we onder landschapselementen en welke zijn er te vinden?

Voordat er uitspraak gedaan kan worden over toepassing van compartimentering door middel van opwaardering van landschapselementen moet eerst duidelijk zijn welke landschapselementen binnen het gebied te vinden zijn. Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van een kaart die gemaakt is voor de compartimenteringstudie, wat een onderdeel was van Waterveiligheid 21^e eeuw. Op deze kaart zijn alle lijnelementen die relatief hoog in het landschap liggen weergegeven. Daarnaast is er gebruik gemaakt van software, het programma ArcGis met data van AHN (actueel hoogtebestand Nederland).

Wat zijn de fysieke eigenschappen van de landschapselementen en welke zijn van belang?

De fysieke eigenschappen zijn van belang om te controleren of een landschapselement sterk genoeg is om daadwerkelijk water te kunnen keren. Voor regionale keringen is er net als voor primaire keringen een leidraad voor de veiligheid (STOWA & provincies Utrecht, Noord- en Zuid-Holland, 2007). Deze leidraad is een toetsing van de regionale keringen aan de gestelde eisen. Deze eisen hebben betrekking op de faalmechanismen van zand en klei lichamen. Zo wordt getoetst op piping, overslag, micro- en macrostabiliteit en wordt de bekleding van de dijk getoetst. Hierbij wordt ook gebruik gemaakt van grondmechanische berekeningen voortkomend uit boeken van o.a. (Verruijt, 1999), (Budhu, 2007) en het onderzoek van GeoDelft (Knoeff, Schoofs & Mierlo 2003).

H1.3 Operationalisering

Aan de hand van de deelvragen wordt het onderzoek opgezet. Eerst worden de verschillende mogelijke landschapselementen geïnterviewd. Er zijn weinig gegevens beschikbaar over de opbouw van oude dijken en verdedigingslijnen. De grondmechanische eigenschappen van elk landschappelijk element moet dus meegenomen worden in de categorisatie. Dit gebeurt door de verschillende categorieën te vergelijken en de zwakke en sterke eigenschappen aan te halen.

Vervolgens worden de verschillende soorten landschapselementen onderzocht in welke mate ze geschikt zijn voor opwaardering. Afhankelijk van de locatie en het belang van het omringende gebied kan het zijn dat de compartimentering aan andere eisen moet voldoen. Enerzijds kan een compartimentering permanent zijn, ofwel het moet water keren om de belangen te beschermen. Anderzijds kan het een vertragende functie hebben als de belangen minder groot zijn en de kosten voor een volwaardige compartimentering hoog zijn. Dan kan het een tijdelijke maatregel zijn, denk dan aan het dichten van doorgangen in een spoordijk.

H1.4 Methodiek

Dit onderzoek is een mengvorm van een survey-onderzoek en een casestudy. De landschapselementen zijn al voor een deel geïnterviewd. Verdere categorisatie zorgt voor nog een beter overzicht. Vervolgens worden van de verschillende categorieën bepaald wat de fysieke eigenschappen zijn. Waaruit bestaat het lijnelement? Wat is de verzadigingsgraad van het element? Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van literatuur, zoals onder andere literatuur van GeoDelft (Knoeff, Schoofs & Mierlo, 2003), zodat er een betrouwbaar en goed beeld ontstaat van landschapselementen in ons land. Het eerste deel, de categorisatie, vraagt dus om een breed opgezet onderzoek, vandaar dat een survey-onderzoek gekozen is.

Daarna wordt gekeken naar wat de eigenschappen zijn van lijnelementen en wat de invloed van de eigenschappen is op de waterkerendheid.

Na de categorisatie wordt een casestudy gedaan naar dijkkringgebied 43, de Betuwe/Tieler- en Culemborgerwaarden. Zoals al eerder gezegd zijn landschapselementen al voor het merendeel geïnterviewd, zo ook dus voor dijkkring 43. De inventarisatie van landschapselementen is o.a. gedaan door RIZA, WL|Delft hydraulics, BNT en Afdeling DG Water van het ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Van alle studies die uitgevoerd zijn, wordt dijkkring 14 (de Randstad (zie ook figuur 1.1)) het meest voor een casestudy gebruikt. Er is bewust niet gekozen voor een casestudy van dijkkring 14, omdat ten eerste al een aantal keer onderzoek naar compartimentering van dijkkring 14 is gedaan en ten tweede is het niveauverschil tussen zeewaterpeil en bodempeil dusdanig groot dat de landschapselementen binnen dijkkring 14 zeer waarschijnlijk niets kunnen bijdragen in het geval van een dijkdoorbraak.

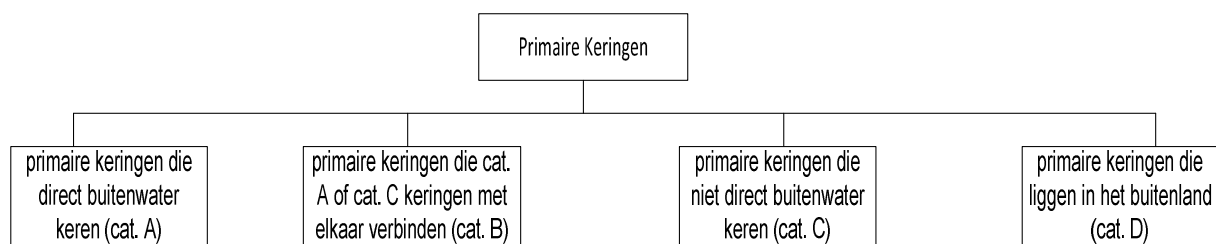
H2 LANDSCHAPSELEMENTEN

Dit hoofdstuk geeft inzicht in de verschillende soorten landschapselementen die we onderscheiden. Een landschapselement is een karakteristiek punt, lijn of vlak in het landschap in de breedste zin van het woord. Zo kan een grenspaal een landschapselement zijn, maar een enorme eik of een klinkerweg net zo. Deze studie richt zicht met name op een tak binnen de landschapselementen, namelijk de lijn(infrastructuur)objecten, zoals verhoogde (spoor)wegen, geluidsschermen en (oude) dijken. De verschillende soorten worden gecategoriseerd zodat verschillende landschapselementen eenvoudig vergeleken kunnen worden en de verschillende soorten keringen overzichtelijk in beeld worden gebracht. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk ook Dijkkring 43 in kaart gebracht.

H2.1 Categorisatie lijnobjecten

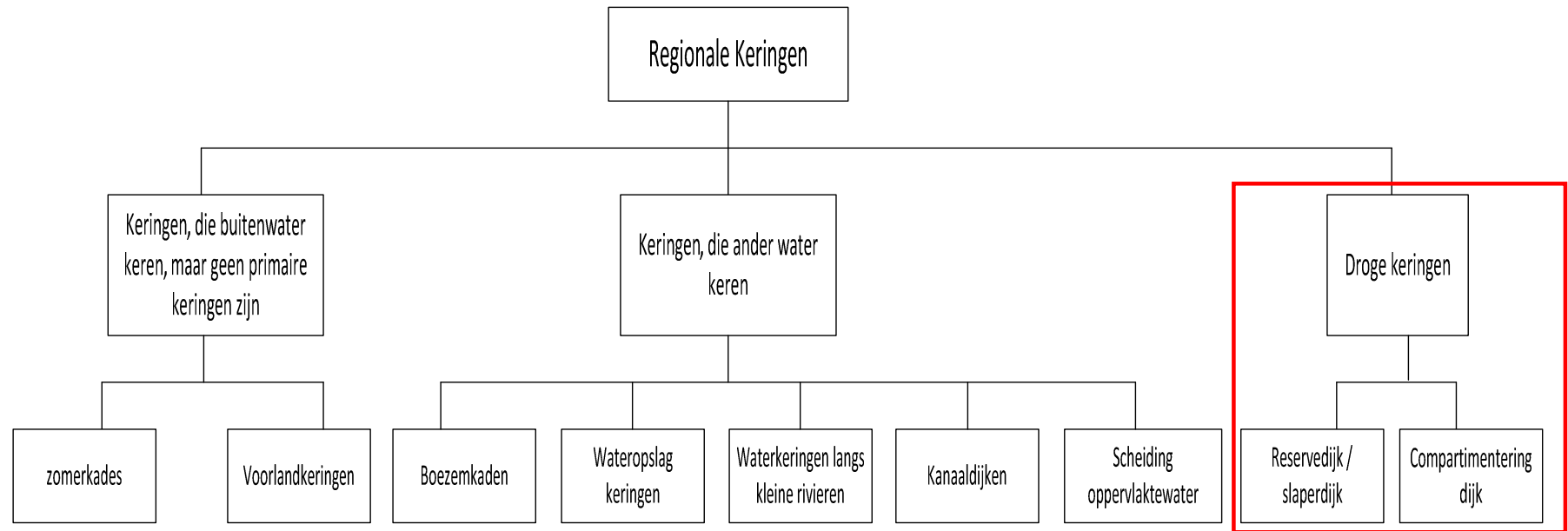
Alle verhoogde lijnobjecten in ons landschap hebben mogelijk een waterkerende functie. Of het nu gaat om een primaire dijk of een kleine geluidswal, elk zal een bepaald effect hebben. Vanzelfsprekend betekent een hoger en groter lijnobject dat het lijnobject ook meer effect heeft ten aanzien van de waterkerende functie. Wanneer deze lijnobjecten opgedeeld worden, ontstaan er twee hoofdgroepen, de primaire keringen en de niet-primaire keringen of regionale keringen.

Primaire keringen zijn de belangrijkste dijken en kunstwerken in ons land die grootschalige overstromingen moeten tegen gaan. Alle dijken langs de Noordzee, Waddenzee en de grote rivieren zijn primaire keringen, evenals de duinen, dammen en belangrijke keringen. In onderstaande figuur zijn 4 categorieën weergegeven die binnen de groep primaire keringen onderscheiden worden. In tal van rapporten wordt alleen categorie a tot en met c onderscheiden (Verkeer en Waterstaat, 2006). Echter wordt soms ook een extra categorie beschouwd, namelijk de keringen net over de grens. Deze zijn wel degelijk van belang omdat bij een dijkdoorbraak van deze categorie Nederland last zal krijgen van de gevolgen. (RWS, 2005)



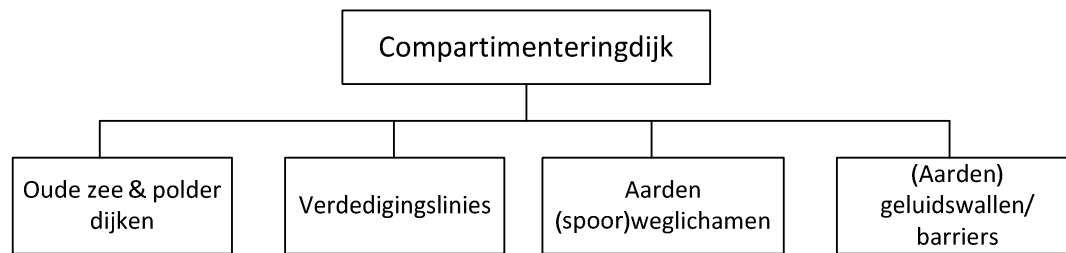
Figuur 2.1 Primaire keringen

De andere groep, de regionale keringen (zie figuur 2.2), zijn keringen die veelal binnen een dijkkring liggen, met andere woorden ze keren geen grote hoeveelheden buitenwater en vallen vaak binnen de bescherming van de primaire dijken. Met name voor de 'droge keringen' is dit ook meteen een grote valkuil, omdat er weinig bekend is over de waterkerende functie mocht er een overstroming plaats vinden. Deze subgroep bestaat uit de lijn(infrastructuur)objecten die in het onderzoek centraal staan. Deze subgroep valt nog verder uiteen te rafelen in reservedijken en compartimenteringdijken. Voor dwarsdoorsneden van enkele lijnobjecten wordt doorverwezen naar bijlage 1.



Figuur 2.2 Overzicht regionale keringen (Unie van Waterschappen, 2004)

Figuur 2.2 is samengesteld aan de hand van een aantal rapporten. Zo wordt er vaak onderscheid gemaakt tussen de drie soorten regionale keringen (zie de eerste vertakking), maar wordt deze niet verder onderverdeeld. Een uitzondering hierop is het rapport “Visie op regionale keringen” (Unie van Waterschappen, 2004), waar de drie hoofdgroepen wel verder uiteengezet worden en het voor een groot deel overeen komt met figuur 2.2.



Figuur 2.3 Compartimenteringdijken

In figuur 2.3 wordt de groep ‘droge keringen’ verder onderverdeeld. Zo zijn dit de landschapselementen die bestudeerd worden op hun waterkerendheid. Elk van de subgroepen uit het figuur worden nog verder besproken in dit hoofdstuk en in hoofdstuk 3, waar meer wordt ingegaan op fysieke eigenschappen, zodat er een overzicht ontstaat van de verschillende soorten lijninfrastructuurobjecten.

Door de jaren heen hebben de Nederlanders steeds meer land ingepolderd, met als gevolg dat er in het westen van ons land steeds meer grond beschikbaar kwam. De nieuwe landaanwinsten werden elke keer opnieuw bedijkt, wat betekent dat de in het achterliggende land de dijken minder noodzakelijk werden. Veel van deze dijken staan er vandaag de dag nog steeds, maar door de jaren heen is door o.a. gebrek aan onderhoud de stabiliteit en de sterkte van de dijken onbekend. Zo rond de 12^{de} eeuw werd voor de aanleg van deze dwarsdijken veelal veen en klei gebruikt, omdat deze grondstoffen vooral in het westen van het land en in het riviereengebied volop aanwezig waren.

Verdedigingslinies

Naast de ongemakken van overstromingen heeft Nederland er in het verleden ook veel baat bij gehad. Door het missen van natuurlijke hoge gronden werd in het vlakke West-Nederland een verdedigingslinie opgezet, de bekende Hollandse Waterlinie. Door middel van het onder water zetten van de polders werd het onmogelijk het geïnundeerde gebied binnen te trekken dan wel te varen. Tegenwoordig is men bezig om de Hollandse Waterlinie op te knappen, natuurlijk niet om het weer te gaan gebruiken zoals men dat vroeger deed, maar vanwege de historische en culturele waarde. Bij een eventuele dijkdoorbraak kan men het wel als een kering zien dat wel degelijk een belangrijk effect heeft als het gaat om het keren van water. Naast de Hollandse Waterlinie zijn er nog drie verdedigingslinies in Nederland, namelijk de Stelling van Amsterdam, de Grebbelinie en de IJssellinie.

De Grebbelinie en de IJssellinie waren beide ook voor inundatie doeleinden ingericht. Beide linies waren veel minder bekend dan de Hollandse Waterlinie. De Grebbelinie is echter tijdens de tweede wereldoorlog nog wel gebruikt als verdedigingslinie toen een strook van 2 km daadwerkelijk onder water werd gezet.

Naast oude dijken en linies zijn er in het landschap nog tal van andere hoge obstakels te vinden. Zo loopt er een netwerk van wegen en spoorwegen in ons land, die namelijk in het westen en in het riviereengebied verhoogd zijn aangelegd. Daarnaast heeft menige woonwijk naast een spoor of weg een (aarden) geluidswal. Al deze elementen leveren een bijdrage aan het inundatiepatroon.

Geluidswerende constructies

Er zijn veel verschillende geluidswerende constructie te onderscheiden, zo bestaan er geluidswallen, schanskorven en geluidsschermen. Een geluidswal is in feite een soort van dijk dat geplaatst wordt langs een luidruchtige (spoor)weg. Het is in de meeste gevallen opgebouwd uit elders afgegraven zand (klei is veelal te duur voor een dergelijke constructie). Vanwege de grote hoeveelheden zand die nodig zijn voor een geluidswal, zijn geluidswallen meestal beperkt in lengte (denk aan enkele tientallen tot honderden meters). De beperking heeft dan weer als nadeel dat bij een overstroming het water vrij eenvoudig 'om de geluidswal heen' stroomt. Het heeft hooguit een zeer beperkt vertragend effect.

Geluidsschermen worden vaak over een langere afstand geplaatst. Zo heeft de Betuweroute langs het gehele traject geluidsschermen van minimaal een meter hoog. Het mag duidelijk zijn dat het dan wel degelijk een bijdrage heeft aan het overstromingsverloop. Veel voorkomende materialen voor geluidsschermen zijn allerlei betonconstructies, glas, kunststoffen, gesteenten, aluminium en allerlei isolatiematerialen (glaswol, vilt etc.). Met name constructie van beton, al dan niet met enige vorm van wapening of fundering, zullen zeer effectief zijn als het gaat om de waterkerendheid van de constructie.

Schanskorven zijn speciale geluidswerende constructies opgebouwd uit een metalen frame met daarin op elkaar gestapelde stukken stenen. Deze constructie absorbeert geluid uitstekend, maar de doorlatendheid van de constructie is groot.

Spoorwegconstructies

Spoorwegen hebben in het algemeen smalle maar hoge aarden lichamen. Een veelvoorkomend profiel valt te vinden in bijlage 1. De kruinbreedte is afhankelijk van het aantal sporen dat er ligt, maar er kan aangenomen worden dat voor elk spoor de breedte 4 meter bedraagt (dus 2 spoorlijnen is een kruinbreedte van 8 meter). Daarnaast geldt dat een spoorwegconstructie droog moet liggen, met andere woorden er moet een afstand van 1,90 m. zitten tussen de top van de kruin en de hoogste grondwaterstand. De taluds van een spoorlichaam zijn vrij steil met een helling van 1:1 tot 1: 1,5. (GeoDelft (Knoeff, Schoofs & Mierlo 2003)).

De opbouw van een spoorweglichaam bestaat bijna altijd uit een verdicht zandprofiel. Spoorlijnen zijn vaak tientallen kilometers lang en dan is zand het goedkoopste materiaal. Daarnaast is zand ook het meest geschikt voor de eigenlijk functie van het spoorlichaam namelijk de belasting afdracht van de treinen op de ondergrond.

Wegconstructies

Voor wegen in Nederland geldt ongeveer hetzelfde als voor spoorwegen, behalve dat de top laag in het algemeen uit asfalt bestaat en de kruinbreedte van een weg vaak breder is. Daarnaast is er meer variatie in het soort wegen, van lokale landwegen (met een toplagen van zand, klinkers, steenslag en asfalt) tot grote autosnelwegen. Het nadeel van een weg ten opzichte van een spoorweg is de beperkte kruinhoogte, veel wegen liggen op maaiveldniveau.

De opbouw van het lichaam is meestal een zandcunet op een kleiige ondergrond. De bovenste paar decimeter bestaat uit de top laag. Bij een geasfalteerde weg zijn dit in het algemeen meerdere toplagen. Lokale en regionale wegen hebben in het algemeen vaak bermen langs de weg, bestaande uit de klei die is weggehaald tijdens de aanleg van de weg.

In onderstaande figuur enkele standaardafmetingen voor auto(snel)wegen binnen en buiten de stad.

	Beschrijving	Totale kruinbreedte [m]
Weg in stedelijk gebied	Autosnelweg	31,80
	Autosnelweg	33,40
Weg in buitengebied	Autoweg (cat. III)	13,50
	Autoweg (cat. IV)	19,30

Tabel 2.1 Kruinbreedte wegen Nederland (Knoeff & Calle, 2001)

H3 FYSIEKE EIGENSCHAPPEN

Dit hoofdstuk beschrijft de fysieke eigenschappen van de in hoofdstuk 2 beschreven lijninfrastructuur-objecten en er wordt bekeken in hoeverre ze tot staat zijn water te keren. Hiervoor zijn van belang de breedte en hoogte van de kruin, de kwaliteit van de bekleding, de opbouw van het lichaam, eventuele funderingsconstructies. Voor achtergrond informatie over faalmechanismen en funderingsconstructies wordt verwezen naar bijlage 2 en 3. De gegevens zijn afkomstig uit het onderzoek van GeoDelft (Knoeff, Schoofs & Mierlo 2003).

H3.1 Breedte

Een van de belangrijkste eigenschappen van het lijnelement is de breedte van de aardebaan. Een bredere aardebaan betekent een betere stabiliteit, omdat ten eerste het langer duurt voordat grondwater zich een weg gevonden heeft door het zandlichaam. Ten tweede is er meer restprofiel, dus bij een zandafschuiving is er de rest van het zandlichaam nog voldoende sterk.

Bij een dijkdoorbraak is men in Nederland al snel verzekerd van hoge waterstanden. Een veilig profiel voor een dijklichaam is dan ook vastgesteld bij een waterstand van 1 meter hoogte. Het kerend vermogen wordt omschreven als:

$$(3.1) \quad B = 2 + (6 * h_w)$$

Als de waterhoogte (h_w) één meter bedraagt, zal de kruinbreedte op zijn minst acht meter breed moeten zijn. Dit is het geval voor de meeste wegen en belangrijke dijken in ons land. Echter voor spoordijken is dit niet altijd het geval. Een spoordijk met enkel spoor is vier meter breed, dus alleen dubbelspoor zal bij een waterhoogte van één meter effectief water keren. Deze eis voor de breedte is afkomstig van het faalmechanisme macrostabiliteit.

H3.2 Hoogte

Naast de breedte is ook de hoogte van belang. Zoals later in dit verslag zal blijken stijgt het water in de polder enorm snel met soms wel 25 cm per uur. Dit betekent dat provinciale wegen die halve meter boven het maaiveld liggen binnen 2 uur onder water staan.

Ook over de hoogte kunnen enkele uitspraken gemaakt worden. Zo moet een weg- spoorprofiel, bestaand uit zand, op een bepaalde hoogte boven de hoogst gemeten grondwaterstand liggen. Voor spoordijken is deze hoogte vastgesteld op 1,90 m en voor wegprofielen op 1,2 m. Deze vastgestelde waarden bepalen de hoogte van een zandcunet. In Zuid-Holland, Noord-Holland, Utrecht en Betuwe ligt de grondwaterspiegel rond de 50 cm. Een spoordijk zal dan een hoogte hebben van 1,4 m en een provinciale weg een hoogte van 0,7 m (www.grondwaterstand.nl). In de hoger gelegen gebieden, Drente, Overijssel, Gelderland en grote delen van Limburg, ligt de grondwaterspiegel vaak meer dan 2 meter diep. In die gebieden liggen spoordijken en provinciale wegen vaak op maaiveldniveau.

H3.3 Faalmechanismen

Deze paragraaf bespreekt welke faalmechanismen vaak optreden bij lijnelementen. Voor verdere informatie over deze faalmechanismen wordt verwezen naar Bijlage 2. Aan de hand van de informatie uit de betreffende bijlage is tabel 3.1 ontstaan

	Spoordijken	Autowegen	Oude dijken	Slaperdijken	Geluidsbarrières
Macrostabieliteit	-	+/-	+/-	+/-	NVT
Microstabieliteit	+	+/-	+	+	NVT
Piping	-	+	+	+	NVT
Golfslag	+/-	-	+/-	+	+/-
Bekleding	+/-	+/-	+/-	+	NVT

Tabel 3.1 Toetsing Lijnelementen op faalmechanismen.

Uit bovenstaande tabel kan opgemerkt worden dat niet elk faalmechanisme een even grote kans van optreden heeft. Dit is echter een vertekend beeld, zo lijkt het alsof piping niet vaak optreedt. De toegekende score is alleen goed als er aan het veilig profiel voldaan wordt. Het veilige profiel is tabel 3.2 weergegeven.

		Ondergrond	
		Ondoorlatend	Zand
Opbouw	Klei	$\sigma_w > \sigma_{gr}$ of	$L_b > 18h$
	Zand	$L_b > 18(h - 0,33D)$	geen piping

Tabel 3.2 Voorwaarden veilige profielen

Piping treedt op bij een waterpeilverschil tussen de linkerzijde en rechterzijde van het zandlichaam. L_b is de kwelengte en deze moet in het geval van een zanddijk met ondoorlatende ondergrond groter zijn als 18 maal het restant van de waterhoogte minus 1/3 de dikte van het klei/veen pakket. In het algemeen zijn de meeste provinciale wegen breed genoeg (bij een waterhoogte van 1 meter is de kwelengte 12 meter), zie ook tabel 2.1.

Voor spoorwegen is piping wel gevaarlijk omdat deze in het algemeen nog hoger zijn dan autowegen, Uitgaand van 1,4 m. hoge spoordijk betekent dit dat de kwelengte 19,26 m. moet zijn, terwijl spoordijken met dubbelspoor vaak niet veel breder zijn dan 8 meter. Dus op het moment dat het water bijna de top bereikt is er gevaar voor piping.

Het verlies van microstabieliteit zal bij lijnelementen niet snel optreden. Er is sprake van verlies van microstabieliteit als uittredend grondwater te veel zand meeneemt. Geodelft (Knoeff & Calle, 2001) concludeert dat bij wegen en spoorwegen verlies van microstabieliteit zelden optreedt, en mocht het gebeuren dat er dan 'nog voldoende profiel over is' om de stabiliteit te behouden.

Dit in tegenstelling tot macrostabieliteit, waar slechter op gescoord wordt. Ook voor macrostabieliteit geldt een veilig profiel, welke al een aantal malen eerder is genoemd, namelijk in paragraaf 3.1 (zie ook formule 3.1). Spoordijken voldoen lang niet altijd aan dit profiel en zijn dus niet opgewassen tegen hoge waterstanden (meer dan 1 m. hoog).

De kwaliteit van de grasbekleding zal de doorslag geven wat betreft de waterkerendheid. Deze moet ononderbroken zijn, dus geen vreemde elementen en tal van leidingen in en op de aardebaan. Daarnaast mag het maximale zandgehalte niet groter zijn dan 50%. Het blijkt dat het laatste wel veel het geval is en dat de spoorlijnen binnen het gebied daarmee een slechte beoordeling krijgen wat betreft de kwaliteit van de grasbekleding. Men gaat er dan vanuit dat de maximale waterhoogte die een zandlichaam dan nog kan keren 0,3 m. is (Geodelft (Knoeff & Calle, 2001)).

Er is in alle gevallen een slechte score toegekend aan de bekleding, omdat er ten eerste de bekleding van de lijnelementen vaak vreemde elementen bevat. Daarnaast is de bekleding niet afhankelijk van het type lijnelement en is de kwaliteit soms dermate verschillend dat een slechte score in ieder geval uitgaat van het ergste.

Met golfslag hoeft niet veel rekening gehouden worden als het lijnelement zich ver buiten het doorbraakpunt bevindt, aangezien het water dan niet veel golfslag heeft. Ligt een lijnelement dichtbij het doorbraakpunt dan kan men er vanuit gaan dat het lijnelement totaal geen effect heeft en vrijwel onmiddellijk zal overstromen en doorbreken.

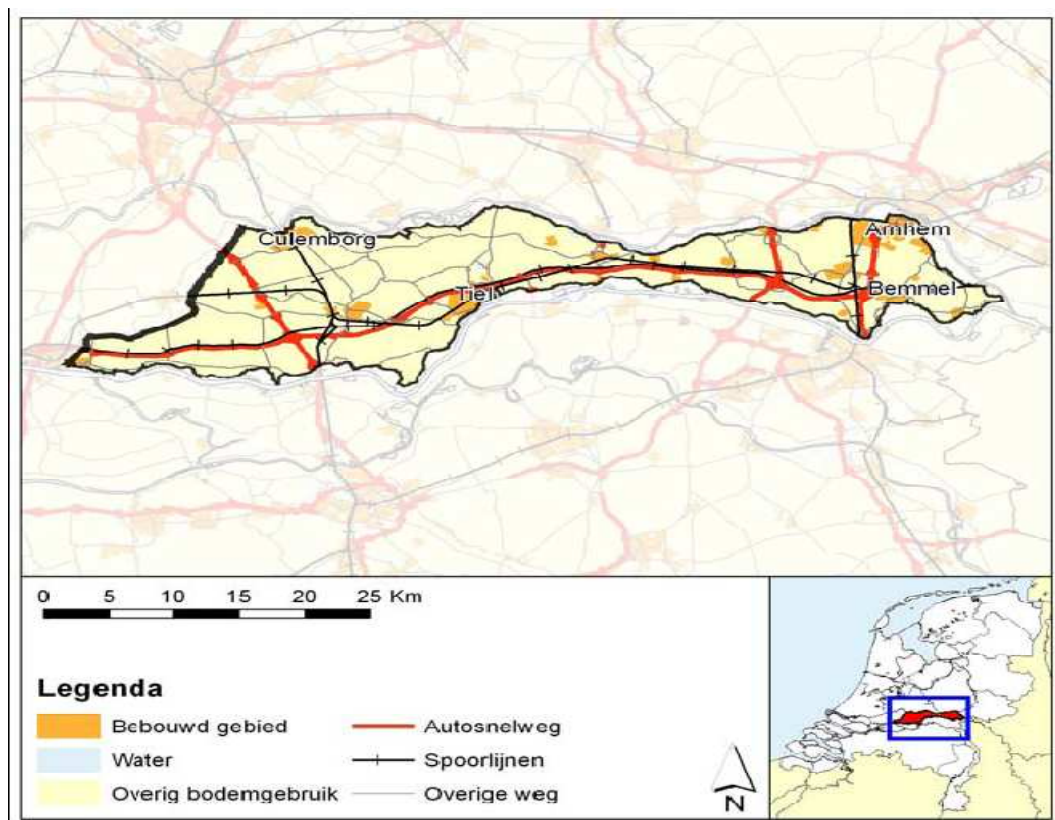
In het algemeen kan gezegd worden dat de scores goed lijken te zijn, maar onthoudt wel dat de meeste lijnelementen niet hoger zijn dan 1,5 m., terwijl de maximale waterhoogte in een polder meestal veel hoger wordt. In sommige delen van de Randstad is het verschil tussen binnendijs en buitendijs al meer dan drie meter. Afhankelijk van de hoeveelheid kubieke meters water die de polder instroomt zal de snelheid bepalend zijn voor de tijdsduur van het overstromen van de lijnelementen.

H4 Dijkdoorbraak

In dit hoofdstuk worden de gevolgen van een dijkdoorbraak besproken aan de hand van de 'Pilot Case Overstromingen' uitgevoerd door Rijkswaterstaat (van Manen et al., 2001). Deze Pilot Case heeft betrekking op de dijkkring 43, de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden. De eerste paragraaf zal een introductie geven van het gebied. Vervolgens worden de verschillende lijn elementen in het gebied uit een gezet. Tot slot wordt de dijkdoorbraak en het overstromingsverloop besproken evenals de daadwerkelijke invloed van de eerder beschreven lijnelementen in dijkkring 43.

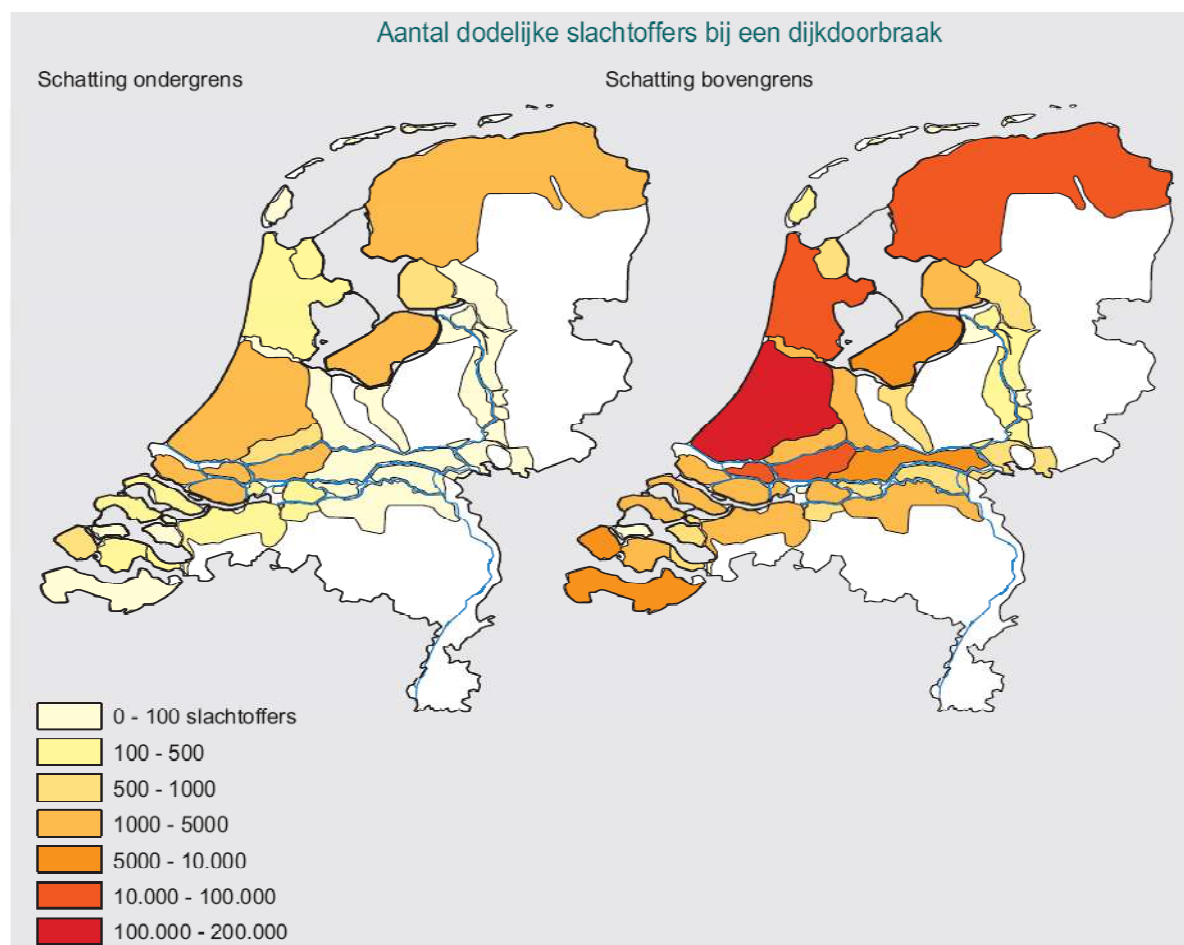
H4.1 Dijkkring 43

Dijkkring 43, de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden, is een dijkkring in het rivierengebied gelegen in de provincies Gelderland en Zuid-Holland. Het wordt begrensd door de Neder-Rijn en de Lek in het noorden, het Pannerdensch Kanaal in het oosten, de Waal en de Boven-Merwede in het zuiden en door de Diefdijk in het westen. Naast een overstroming van één van de rivieren kan alleen een overstroming in de Alblasserwaard, ten westen van dijkkring 43, kan een bedreiging vormen. De overige omringende dijkkringen worden gescheiden door grote rivieren en al te veel overlast van een overstroming van één van deze dijkkringen valt dan ook niet te verwachten. De huidige overschrijdingsskans is 1/1250.



Figuur 2.4 Ligging Dijkkring 43 (RWS, 2005)

De belangrijkste plaatsen binnen de dijkkring zijn Tiel, Culemborg, Geldermalsen, Elst en Arnhem (Arnhem-Zuid) en het totaal aantal inwoners van de dijkkring bedraagt 299.000. De totale lengte van de dijkkring bedraagt 169 km aan primaire waterkering (cat. A) en omsluit 66.000 hectare. Naast de 169 km primaire waterkering is er 17 km regionale waterkering. Er bevinden zich 129 kunstwerken in deze waterkeringen. Een kunstwerk is in bouwkundig opzicht een door mensenhanden gemaakt bouwobject. Voorbeelden zijn schutsluizen, aquaducten maar ook defensiekunstwerken zoals fort Everdingen. Kunstwerken zijn even belangrijk als de waterkeringen, omdat ze vaak in de dijken gepositioneerd zijn. Bij het niet goed functioneren van een kunstwerken kan dit rampzalige gevolgen hebben. Uit het onderzoek van Veiligheid Nederland in Kaart (RWS DWW, 2007) blijkt dat de maximale schadepost bij meerdere dijkdoorbraken €18 miljard bedraagt. Bij dit scenario worden het aantal slachtoffers geschat tussen de 5000 en 10.000 (zie figuur 2.5)



Figuur 2.5 Slachtoffers per dijkkring (MNP & RIVM, 2004)

Oude dijken

Sinds de komst van nederzettingen probeerde men de bezittingen die ze hadden te beschermen. Een van de gevaren was een overstroming van de rivieren die hun oogst en huizen zou vernietigen. Zo rond de 13^{de} eeuw werden in het huidige rivierengebied veel van deze zogenaamde dwarsdijken aangelegd. De vele polders hadden allemaal verschillende hoogtes en door het natuurlijk verloop van water hadden de lager gelegen polders veel last van wateroverlast. Zo ligt het maaiveld in het oosten van de Betuwe plaatselijk op + 13,5 m NAP terwijl dat in het westelijke deel soms op maar + 1 m NAP ligt. In dijkkring 43 is de Diefdijk één van de meest bekende. Naast de Diefdijk zijn er nog tal van andere droge (dwars)dijken in het rivierengebied te vinden, maar met uitzondering van de diefdijk hebben de meesten geen waterkerende functie meer. Voorbeelden zijn de Meidijk (nabij Zuilinchem), de Lingedijken, het Inundatiekanaal Tiel en de Kapitteldijk/duffeldijk. De hieronder beschreven Diefdijklinie bestaat uit een aantal oude dijken, die allemaal reeds al zijn getoetst en goedgekeurd zijn als volwaardige waterkeringen.

Diefdijklinie

De Diefdijklinie maakt onderdeel uit van de Hollandse Waterlinie en scheidt de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden (DR 16) van de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden. De linie bestaat uit een stelsel van waterkeringen, namelijk de Diefdijk, de Meerdijk, de Nieuwe Zuiderlinge dijk, de Zuiderlinge dijk en de Spijkse dijk. Vandaag de dag is de diefdijk een volwaardige tweede waterkering bescherming biedend voor de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. De diefdijk wordt gekruist door de A2 en hier is dus een opening in de waterkering. Deze opening wordt een coupure genoemd. Bij eventuele dreiging worden door middel van grote schotten de gaten gedicht. (Volkskrant, 16 jan 2009)

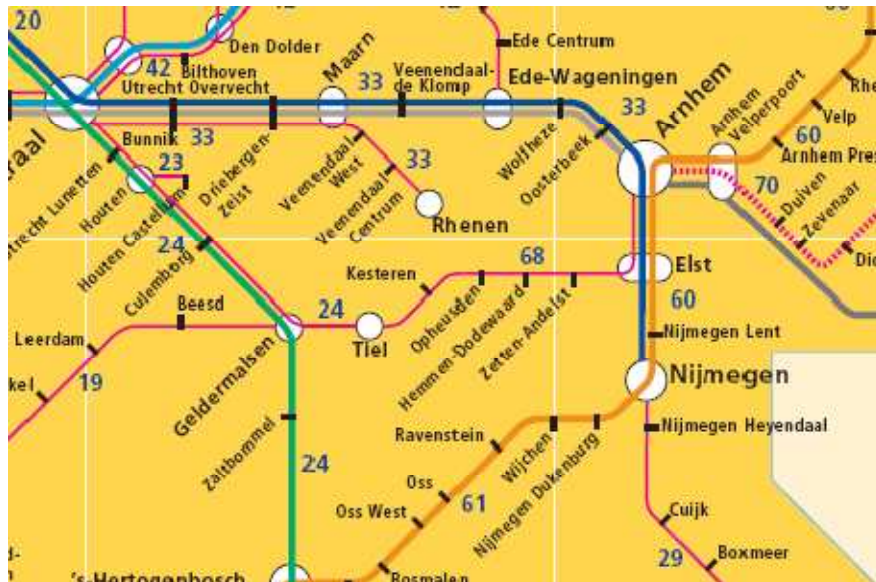


Figuur 2.5 Coupure in de Diefdijklinie (wikipedia)

Spoorwegen

Door de dijkkring lopen enkele spoorwegen. (figuur 2.6) Zo loopt er een enkel spoor van Dordrecht via Leerdam, Geldermalsen, Tiel en Elst naar Arnhem. Verder lopen er twee dubbele spoorlijnen van Noord naar Zuid, één van Utrecht via Geldermalsen naar 's-Hertogenbosch. De ander van Arnhem naar Nijmegen. Daarnaast is er nog de pas aangelegde Betuweroute, een dubbel spoor speciaal voor

goederen vervoer van de Randstad naar het Ruhrgebied. De lijn ligt voor een groot deel langs de autosnelweg A 15.



Figuur 2.6 Spoorwegaankart Betuwe en omstreken (Spoorkaart Nederland, 2004)

Autosnelwegen

In het onderzoeksgebied lopen ook drie autosnelwegen, namelijk de A15/N15, de A2 en de A50. De A15 loopt van de Maasvlakte naar Bommel nabij Elst. Parallel aan deze autosnelweg loopt de Betuweroute. Het profiel van de A15 is een 2x2 autosnelweg. Met middenberm en vluchtstroken betekent dit een breedte van circa 30 meter (zie ook Bijlage 1). De A2 loopt door de Betuwe vanuit Utrecht richting 's-Hertogenbosch. Tussen knooppunt Everdingen (Vianen) en knooppunt Deil (nabij Geldermalsen) zal de A2 van 2x2 tot 2x4 rijbanen worden verbreed. De rest van het traject tot aan 's-Hertogenbosch zal worden verbreed tot 2x3 rijstroken. De A50 loopt vanuit Arnhem richting Nijmegen. De A50 heeft binnen het onderzoeksgebied 2x2 rijstroken.

Provinciale wegen

De lokale wegen die onverhoogd liggen hebben nauwelijks effect en worden in deze studie buiten beschouwing gelaten. Echter provinciale wegen die wel boven maaiveldniveau liggen worden meegenomen in de beoordeling. Een voorbeeld van zo'n weg is de provinciale weg van Culemborg naar Kesteren. Dit is een tweebaans weg met brede bermen waarop veel bomen geplant zijn. Een typische rijksweg zoals men die vroeger kende. Aan beide kanten zijn sloten, die door middel van duikers met elkaar in verbinding staan.

Waterwegen

Naast spoorwegen en autosnelwegen zijn er in de dijkkring ook waterwegen, zoals het Amsterdam-Rijnkanaal en de rivier de Linge. De Linge stroomt via een inlaat in het Pannerdensch Kanaal nabij Doornenburg dwars door de Betuwe naar Gorinchem. Dankzij de gecontroleerde inlaat heeft de Linge een vast peil. De afvoer bestaat alleen uit regenwater dat voor een deel natuurlijk en voor een deel kunstmatig wordt afgevoerd door het kolfemaal bij Boven-Hardinxveld. De Linge is bedijkt vanaf Tiel en kan daarmee fungeren als een compartimenteringdijk. De kruinhoogte ligt op circa + 4 m. NAP, wat

betekent dat de dijk 2 à 3 meter hoog is. Opmerkelijk is dat de Linge onder het Amsterdam-Rijnkanaal doorloopt door middel van een stelsel van buizen. Dit is voornamelijk gedaan omdat over de Linge zowat geen gemotoriseerd vervoer mogelijk is en de rivier alleen voor recreatiedoeleinden gebruikt word. Een kruising van deze rivier met het druk bevaren Amsterdam-Rijnkanaal zou dan gevaarlijke situaties kunnen opleveren.

Het Amsterdam-Rijnkanaal loopt van Tiel langs Culemborg richting Rijswijk. Het in 1952 aangelegde kanaal is tussen 1965 en 1981 verbreed en bied doorgang aan schepen met een maximale diepgang van 3,30 m. De kruinhoogte van de dijk ligt op + 6,95 m. NAP en de kruinbreedte bedraagt enkele meters. De taludhellingen van binnen- en buitentalud zijn respectievelijk 1:2 en 1:3. Het maaiveld langs het kanaal varieert van + 3m tot + 4 m NAP. Op het buitentalud is een steenbekleding aangebracht met daarboven een laag asfalt. Aan weerszijden van het kanaal zijn groene kades en lokale wegen achter het binnentalud aanwezig met tussen de kades en de weg een bosrijke zone.

H4.2 Fysieke eigenschappen

In deze paragraaf worden de verschillende lijnelementen weergegeven die zich bevinden in dijkkring 43. Van de lijnelementen waar voldoende data van beschikbaar was zijn enkele uitspraken gedaan over de waterkerendheid. Als er bij een lijnelement niets daarover gezegd wordt, is het omdat er of geen informatie over te vinden was, of dat de waterkerendheid onzeker is.

H4.2.1 Spoorlijnen

Bij het ontwerpen van de spoorlijnen wordt geen rekening gehouden met een waterkerende functie van het spoorlichaam. De voornaamste functie is het afdragen van belasting waarvoor een verdicht zandcunet uitermate geschikt is. De spoorlijnen in het onderzoeksgebied zijn met uitzondering van de Betuweroute lang geleden aangelegd, zodat er vrij weinig over opbouw bekend is. Echter kan men ervan uitgaan dat er geen moderne (fundering)technieken zijn gebruikt.

Spoorlijn Dordrecht – Elst (Betuwelijn)

De spoorlijn tussen Dordrecht en Elst wordt ook wel de Betuwelijn genoemd, niet te verwarren met de Betuweroute, de goederenlijn tussen Rotterdam en Duitsland. Het traject bestaat uit twee delen van Elst tot Geldermalsen en van Geldermalsen tot Dordrecht. Het eerste deel wordt de oostelijke Betuwelijn genoemd en van Geldermalsen tot Dordrecht wordt het traject de westelijke Betuwelijn genoemd. Echter vanwege de verwarring met de Betuweroute heet het westelijke deel nu de Merwede-Lingelijn. Voor het grootste deel bestaat de spoorlijn uit enkel spoor, echter zijn bepaalde delen van het traject wel dubbelspoor.



Figuur 3.1 Merwede-Lingelijn (Openbaar vervoer wereldwijd)

De Betuwelijn is in 1885 geopend, dus kan men er vanuit gaan dat er geen EPS en geotextiel aan te pas is gekomen. Geotextiel en EPS zijn recente technieken, die de stabiliteit en de water doorlatendheid van het dijklichaam bevorderen (zie Bijlage 3 voor meer informatie). Vanwege de beperkte kruinbreedte zal deze spoorlijn niet in staat zijn om daadwerkelijk water volledig te keren, zie hiervoor ook bijlage 1.2. (Pas bij een breedte van 8 m. zal volgens de definities een spoorbaan in staat zijn fatsoenlijk hoog water te keren). Voor de delen van het traject met dubbelspoor zal vanwege de slechte bekleding de waterkerendheid beperkt zijn (Knoef & Calle, 2001).

Spoorlijn Utrecht – 's-Hertogenbosch

De spoorlijn van Utrecht naar Boxtel (spoorlijn H) komt de Betuwe binnen bij Culemborg en bij Waardenburg verlaten de lijn het gebied weer. Deze spoorlijn bestaat uit dubbelspoor en daarmee heeft een kruinbreedte van circa 8 m. en de kruin ligt op 1,5 m. boven maaiveld met een taludhelling van circa 1:2. Ook deze spoorlijn is in de 19^{de} eeuw aangelegd wat betekent dat er geen grootschalige moderne funderingconstructies zijn gebruikt. (wikipedia, n.d.)

Uit het onderzoek van Geodelft blijkt dat langs grote delen van het traject de bekleding van het spoorlichaam als slecht beoordeeld moet worden. Er is geen sprake van een gesloten grasmat en er bevinden zich te veel elementen op het spoorlichaam (onregelmatige begroeiing). Daarnaast is dankzij bebouwing vlak langs het spoor de strijklengte op een groot deel van het traject beperkt. Op basis van een door Geodelft (Knoeff & Calle, 2001) opgezette beoordelingssystematiek zou het betekenen dat de spoordijk dan een waterhoogte kan keren van maximaal 0,3 m., maar dan is er nog een grote onzekerheid t.a.v. de hoeveelheid cunetten in de spoordijk. Bij een hogere waterstand is de waterkerendheid door de slechte bekleding en de aanwezigheid van cunetten slecht. De slechte bekleding maakt dat de cunet, bestaande uit verdicht zand, makkelijk wegspoelt en er dus gevaar voor inzakking en afzetting dreigt.

Spoorlijn Arnhem – Nijmegen

De spoorlijn van Arnhem naar Nijmegen is aangelegd in 1879 en er is het gehele traject sprake van dubbelspoor. Uit eigen ervaring blijkt dat er sprake is van een relatief gesloten grasmat en op enkele plaatsen een behoorlijke dijkhoogte (zie ook fig. 3.2). De grondwaterstand tussen Arnhem en Nijmegen varieert nogal met grondwaterstand van 175 cm onder maaiveldniveau nabij Arnhem en een grondwaterstand van 120 cm onder maaiveld iets ten zuiden van Nijmegen. Echter worden twee rivieren overbrugd, de Neder-Rijn en de Waal, wat betekent dat bij de oevers van deze rivieren de grondwaterspiegels heel wat hoger liggen, waardoor hogere spoordijken een noodzaak zijn.



Figuur 3.2 Spoorlijn Arnhem – Nijmegen (wikipedia)

Betuweroute

Na een meer dan tien jaar durende bouwperiode was de Betuweroute in 2007 klaar voor gebruik. De functie van de lijn is een directe goederenverbinding van Rotterdam naar het achterland (Duitse grens). De Betuweroute komt dijkkring 43 binnen bij Gorinchem en ligt hier pal naast de A15. Door middel van een tunnel onder het Pannerdensch Kanaal verlaat de Betuweroute dijkkring 43 bij Angeren.

De dikte van de deklaag varieert van ca 0,5 m. tot 8 m. binnen het gebied (in de meeste gemeenten bedraagt de deklaag 5 – 8 m.). De slappe deklaag bestaat in de dijkkring voornamelijk uit zware en lichte lagen rivierklei en veen. Onder de deklaag bevindt zich een draagkrachtige watervoerende zandlaag.

Onder de gehele Betuweroute liggen tal van duikers en tunnels voor leidingen en faunapassages. In de gemeente Bemmelen ligt een gasleiding met een doorsnede van maar liefst 750 mm. Bij dreigende overstromingen is het verstandig deze openingen te dichten.

De grondwaterstand bij Geldermalsen ligt op 50 cm. onder het maaiveld. Het uitgangspunt dat genomen is bij de aanleg van de Betuweroute is dat de rails op 1,75 m. boven de hoogst gemeten grondwaterstand ligt. De kruinhoogte is in het algemeen niet enorm hoog, vaak zelfs op maaiveldniveau (Prorail, 1996). Echter staan er langs grote delen van de Betuweroute geluidsschermen, met een hoogte variërend tussen 1 en 3 meter. Er is zowel gebruik gemaakt van aluminium als van beton en voor beide materialen geldt dat er geen kieren zijn in de constructie. Deze geluidsschermen zullen bij overstroming in eerste instantie waterkerend zijn. Het is onbekend hoe lang deze schermen succesvol hoge

waterstanden kunnen weerstaan, maar dit zal nooit heel lang zijn aangezien er vele openingen zijn en de materialen verschillen per locatie.

H4.2.2 Autosnelwegen

Autosnelweg A2

Zoals al eerder vermeld is bestaat de A2 uit twee rijstroken van 2 rijbanen elk. Echter in de nabije toekomst wordt dit uitgebreid naar 4 rijbanen. De A2 zoals we die nu kennen vindt zijn oorsprong in 1958 toen de oorspronkelijke klinkers werden vervangen door asfalt. In 1963 krijgt het de status van autosnelweg als alle gelijkvloerse kruisingen eruit zijn.

De autosnelweg A2 ligt niet verhoogd in het landschap en daarmee vervalt enige waterkerende functie van de weg zelf. Echter zullen de geluidsschermen langs de A2 wel een vertragende functie hebben. Het zal geen permanente waterkerende functie hebben omdat de geluidsschermen alleen langs de A2 is geplaatst daar waar mensen wonen.

De volgende afbeelding zal demonstreren dat ten tijde van een overstroming de A2 geen water zal keren. Deze afbeelding is genomen bij knooppunt Vught tijdens het hoogwater van 1995. Ondanks dat het net buiten het onderzoeksgebied valt, is toch representatief is voor de A2 omdat het traject vrijwel geheel op maaiveldniveau ligt (van knooppunt Vught tot in DR 43).



Figuur 3.3 A2 onder water (wikipedia)

Autosnelweg A15 /A325

De autosnelweg A15 loopt vanaf Gorinchem tot aan knooppunt Ressen (nabij Elst) om dan over te gaan in de A325 richting Arnhem. Voor de A15 geldt hetzelfde als voor de A2, het grootste deel van het traject ligt de autosnelweg niet verhoogd. Langs de A15 zijn geluidswallen gepositioneerd, maar vanwege de beperkte lengte heeft het geen effect bij een overstroming. Het effect wordt nog verder afgezwakt door de Betuweroute die vrijwel direct naast de A15 ligt. De Betuweroute ligt wel verhoogd in het landschap en zal dus bij een overstroming van de Waal het water keren, waardoor het op de A15 nog hoger zal komen te staan.



Figuur 3.4 A15 (knooppunt Deil) met rechts Betuweroute (panoramio)

Autosnelweg A50

De A50 loopt van Heteren naar Herveld dwars door dijkkring 43. De lengte van het traject bedraagt in totaal circa 9 km. Net zoals bij de A15 en de A2 zal de bijdrage van de A50 zeer beperkt zijn omdat ook deze op het maaiveld ligt.

H4.2.3 Waterwegen

De Linge

Met een lengte van zo'n 150 km stroomt de Linge dwars door de dijkkring. Vanaf Tiel tot aan Dordrecht is de Linge bedijkt. De kruinhoogte ligt gemiddeld op + 4m. NAP en dat betekent een hoogte variërend tussen de 2 en 3 meter. Aangezien ze al ver voor 1953 zijn aangelegd, wordt er aangenomen dat de dijken uit klei bestaan (Geodelft (Knoeff, Schoofs & Mierlo 2003)). Dat betekent dat er aangenomen wordt dat er geen micro-instabiliteit optreedt, aangezien dit bij kleidijken nauwelijks voorkomt. Piping treedt alleen op wanneer de waterdruk groter is dan de gronddruk van onder het klei/veen pakket of wanneer de kwellingte niet groter is dan 18 maal het waterstandsverschil, tussen beide zijden, minus $\frac{1}{3}$ van de dikte van het klei/veen pakket. Uitgaande van een kleipakket van 5,5 meter gemiddeld, betekent dat de kwellingte zelfs bij hoge waterstanden niet langer is dan 5 meter (Prorail, 1996) en dus piping naar aller waarschijnlijkheid niet zal optreden. Daarmee lijken de Linge dijken in staat te zijn water tijdelijk te kunnen keren, totdat het water een andere weg gevonden heeft. In ieder geval zal het tijdwinst opleveren en mogelijk mensen buiten gevaar brengen.



Figuur 4.5 Foto genomen van de Lingedijk (www.vaboput.nl)

Amsterdam-Rijnkanaal

Het Amsterdam-Rijnkanaal is de belangrijkste kering binnen de dijkkring, wat vooral komt omdat het ook de grootste regionale kering is. De kruinhoogte ligt op + 6,95 m. boven NAP terwijl het omringende land op 3 à 4 m. boven NAP ligt. De hoogte van de dijken varieert dus tussen de 3 en 4 meter. Wat voor de Lingedijken gold, geldt ook voor het Amsterdam-Rijnkanaal. Namelijk dat er alleen serieus rekening gehouden moet worden met het verlies van macrostabiliteit door afschuiving van het binnentalud.

Volgens de beoordelingssystematiek van Geodelft wordt de kans heel klein geacht dat de kaden van het kanaal het zullen begeven (slechts 10%). Dat betekent dat er vrijwel alleen rekening gehouden hoeft te worden met overloop van de kaden. Echter kan het dus voorkomen dat de kaden het begeven, dit zal dan zeer waarschijnlijk gebeuren daar waar de kwaliteit van de bekleding slecht is, onder bruggen, en daar waar geen bomengroei aanwezig is.

H4.2.4 Provinciale wegen

De provinciale wegen binnen de dijkkring liggen voor het grootste deel of op maaiveldniveau of de kruinhoogte is zo gering (in de orde van enkele cm.) dat het de moeite niet is deze lijnobjecten mee te nemen in de beoordeling. Een van de weinige uitzonderingen is de N320 van Culemborg naar Kesteren.

N320 Culemborg-Kesteren

De provinciale weg N320 is een twee-baans weg met een kruinbreedte van 10 meter. De kruinhoogte bedraagt 0,5 à 0,75 m. Aan weerszijden van de weg liggen sloten die door middel van duikers met elkaar in verbinding staan. In tijden van hoogwater moeten deze duikers gesloten worden wil er sprake zijn van enig effect op de waterkerendheid.

Het zandgehalte van de grasmat is ongeveer 50 %. Verder is er sprake van een ononderbroken grasmat, dus geen vreemde elementen of begrazing van dieren. Uit de beoordelingssystematiek van Geodelft volgt dat bij een dergelijke (redelijke tot goede) grasmat de maximale waterdiepte dan $\frac{1}{1,6}$ maal de kruinhoogte bedraagt (Knoeff & Calle, 2001). Uit deze beoordeling volgt ook dat bij een waterstand van meer dan 0,3 m. de waterkerendheid van de N320 als slecht mag worden beschouwd.

H 4.2.5 (Oude) dijken

De laatste groep lijnelementen die men tegenkomt binnen dijkkring 43 zijn de oude rivier- en dwarsdijken. De zogenaamde dwarsdijken werden aangelegd door lokale boeren om het rivier- en grondwater dat vanuit het hoger gelegen oosten kwam tegen te houden, zoals bijvoorbeeld de diefdijk.

Slaperdijk Kesteren-Lienden

Al sinds de middeleeuwen wordt de Betuwe beschermd door dijken. De toenmalige Rijndijcken lagen langs de rivieren in de dijkkring. De slaperdijk Kesteren-Lienden maakte hier deel van uit zo blijkt uit de naam die de weg op de slaperdijk draagt, namelijk de Rijndijk. In loop der tijd is steeds vaker buiten de dijken gebouwd en deze gebieden werden beschermd door nieuwe dijken. De oorspronkelijke Rijndijcken zijn op sommige stukken nog steeds de huidige primaire dijken, maar tussen Kesteren en Lienden is het een regionale kering. In de 18^{de} eeuw werd de huidige primaire dijk aangelegd, de Marsdijk (Natuurgebied Lienden, 1993). De kruinhoogte bedraagt 4 m. ten opzichte van het maaiveld.

Aalstdijk/Kornedijk

Oorspronkelijk is de Aalstdijk (ook wel Kornedijk genoemd) aangelegd ergens in de 12^{de} eeuw ter hoogte van het dorp Buren langs het toenmalige riviertje de Korne (Tijdsbalk Bovenrivieren, n.d.). Aangezien het Gelders landschap toen grotendeels bestond uit klei en veen is het aannemelijk dat de dijk opgebouwd is uit klei, ook aangezien het al eerder genoemde feit dat vrijwel alle dijken die voor 1953 gebouwd zijn uit klei bestonden. Afgaande op hoogtegegevens van AHN geprojecteerd in ArcGis wordt de kruinhoogte van de dijk op circa 2,5 tot 3 meter boven maaiveld geschat.

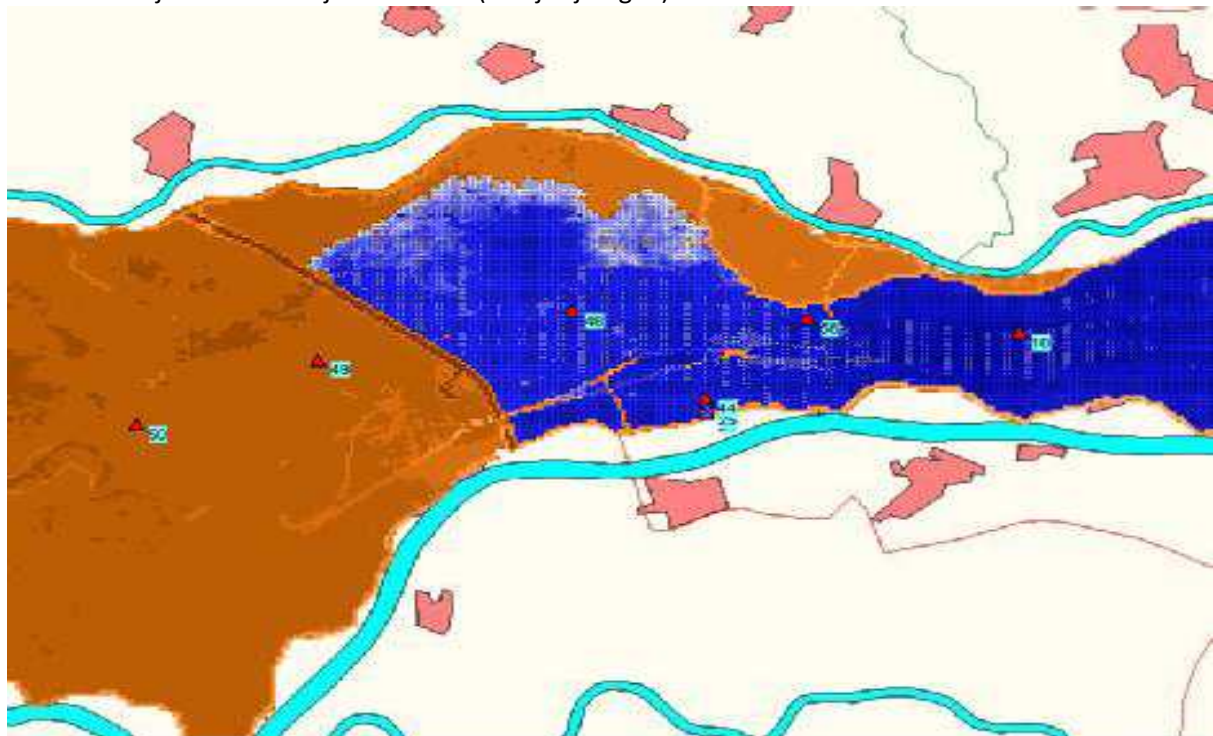
De Diefdijklinie is een volwaardige tweede waterkering ter bescherming van dijkkring 16. De diefdijk ligt op de grens van de dijkkring en dus geen betrekking heeft op het overstromingspatroon binnen dijkkring 43 wordt de Diefdijklinie buiten beschouwing gelaten.

H4.3 Simulaties

Voorafgaand aan dit hoofdstuk is al gezegd dat uitgaande van de meest pessimistische scenario's (taludhelling van 1:1 en veen/klei lagenpakket die minimaal 2 maal de hoogte van de aardebaan boven het maaiveld bedraagt) de minimale kruinbreedte 2 + 6 maal de waterkerende hoogte moet bedragen om effectief te zijn als kering (geen macro-instabiliteit). Als er dus een waterstandverschil van 1 meter optreedt, betekent dit een minimale kruinbreedte van 8 m.

Bij het simuleren van overstromingsscenario's blijkt dat de inundatiediepte van dijkkring 43 al snel (enkele uren) 1 tot 1,5 meter bedraagt en na 8 à 12 uur de polder te maken heeft met een inundatiediepte van circa 2 m. (Van Manen et al, 2001). Dat betekent dat een kruinbreedte van minder dan 8 m. al geen permanente kerende functie heeft. Het hangt dan voornamelijk af van de kwaliteit van de bekleding, de verandering van de grondwaterstand binnen het aarde lichaam en natuurlijk de hoogte van het lijnobject.

Een afbeelding van de inundatie (figuur 4.1) van het oostelijk deel van de dijkkring laat de situatie zien 18 uur na een dijkdoorbraak bij Oosterhout (nabij Nijmegen).



Figuur 4.1 Inundatie Dijkkring 43 na 18 uur (van Manen et al., 2001)

In de figuur valt te zien dat de dijken van het Amsterdam-Rijnkanaal en de slaperdijk Kesteren-Lienden de waterkerende functie nog behouden hebben, evenals de primaire Waalkering (afgezien van de bres bij Oosterhout). Hieruit valt dan ook op te merken dat de overige landschapselementen geen permanent kerende functie hebben. Enige lijninfrastructuur valt nog wel te zien (de A15 en de N325), maar de gebieden rondom zijn al wel onder gestroomd door de aanwezigheid van vele viaducten. Wanneer er hier net zoals bij de A2 (diefdijk) een kunstwerk komt die de openingen dicht, dan kunnen de eerste gedeelten van deze infrastructuur permanent water keren en wordt daarnaast ook extra tijd gewonnen.

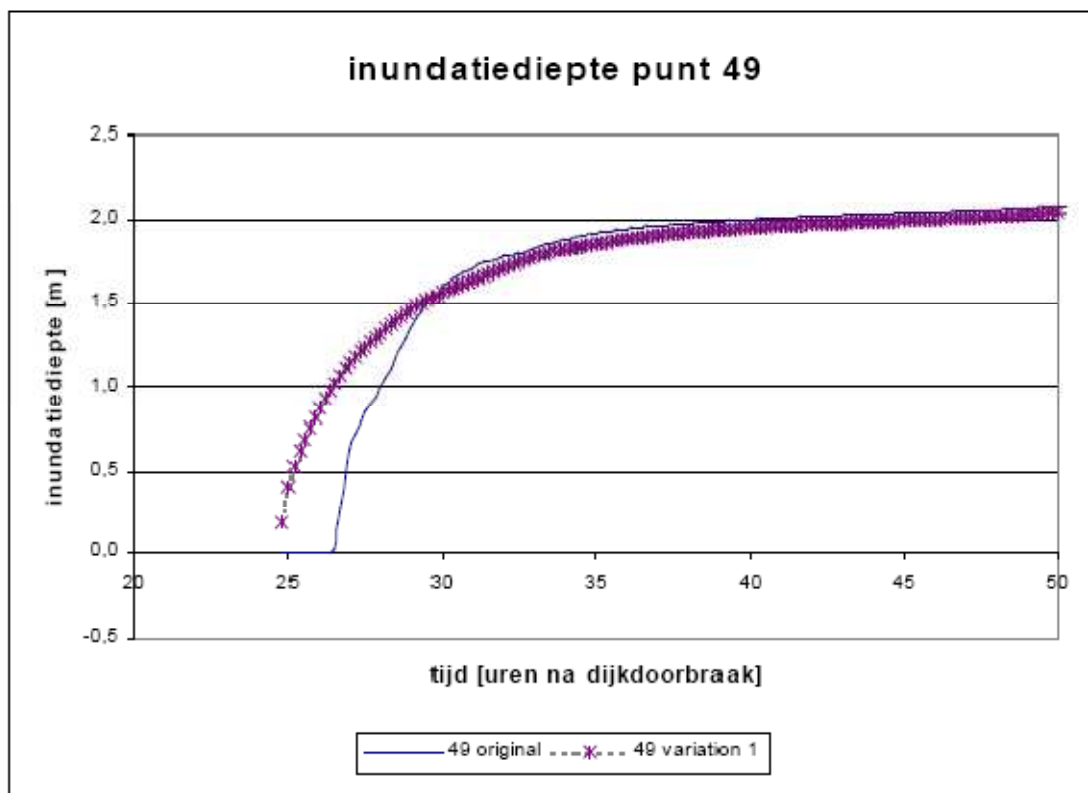
Bij een dijkdoorbraak van de Waal tussen Tiel en Dordrecht zal er een tijdelijk vertragend effect zijn. Dit zal in de orde zijn van enkele uren, aangezien het water zoveel tijd nodig heeft om er 'om heen te stromen'. Het doortrekken van de Lingedijken tot aan de inlaat bij het Pannerdensch Kanaal maakt het mogelijk deze dijken tot een effectieve permanent kerende kering te maken. Doordat de Linge onder het Amsterdam-Rijnkanaal wordt geleid is het westelijk deel van de Dijkkring 43 wel geheel bedijkt en zal het, mits het water niet te hoge waarden aanneemt, een permanent kerende functie hebben. De kans wordt 90 procent geacht dat de kaden van het Amsterdam-Rijnkanaal niet zullen bezwijken (zie H3.3). Bij een aanhoudende hoogwatergolf zullen de kaden van het kanaal overstromen. In de overstromings-scenario's is dit het geval na 1 dag, 18 uur en 55 min (zie figuur 4.2).



Figuur 4.2 Situatie na 1 dag, 18 uur en 55 min. (van Manen et al., 2001)

Uit bovenstaand figuur kan opgemaakt worden dat de kaden van het Amsterdam-Rijnkanaal zeker 24 uur water kunnen keren (zie verschil figuren 4.1 en 4.2). De vluchttijd voor het westelijke deel van de dijkkring 43 is dan redelijk hoog, zeker met de waarschuwingstijd in gedachte.

In figuur 4.2 zijn ook een aantal punten weergegeven. Deze punten zijn meetwaarden waarin de inundatie van de polder opgemeten wordt. Punt 49, het meetpunt vlak achter het Amsterdam-Rijnkanaal in het niet overstroomde gedeelte heeft binnen 8 uur een inundatie diepte van bijna 2 meter (zie figuur 4.3 – blauwe ‘original’ lijn).



Figuur 4.3 Inundatie diepte westelijk deel DR43

Een inundatiediepte van 2 meter in ongeveer 8 uur betekent dat de waterspiegel binnen de polder met 25 cm. per uur stijgt. Uitgaande van de beoordelingen van de lijnelementen wat betreft de kruinhoogte en de waterkerendheid wil dat zeggen dat de vluchttijd door de lijnelementen nauwelijks beïnvloed wordt. Spoordijken met een kruinhoogte van 0,5 meter tot een meter zijn binnen 2 tot 4 uren overstroomd.

Lijnelementen met een kruinhoogte van meer dan 2 meter binnen het onderzoeksgebied zijn de oude dijken, waarvan sommige nu als regionale kering dienen. De keringen die voldoen aan een kruinhoogte van meer dan 2 meter zijn de Lingedijken, kaden van het Amsterdam-Rijnkanaal, de Aalst/Kornedijk en de slaperdijk Lienden-Kesteren. Overige lijnelementen, de wegen en spoorwegen hebben een vertragende functie die een extra vluchttijd opleveren van enkele uren. Deze enkele uren zijn bij een onverwachte dijkdoorbraak niet voldoende om de schade en het aantal slachtoffers te beperken.

Kortom bij overstromingsgevaar moet er niet gerekend worden op enige invloed van (spoor)wegen op het overstromingsverloop. Alleen keringen met een kruinhoogte van 3 meter of meer hebben effect, al zullen deze niet altijd permanent zijn, in ieder geval niet in dijkkring 43.

H5 CONCLUSIE

Nu alle bevindingen opgeschreven zijn, is het tijd terug te kijken op de oorspronkelijk onderzoeksvragen.

Aan welke fysieke eigenschappen moeten landschapselementen voldoen om geschikt te zijn als waterkerende objecten en welke mate van waterkerendheid dienen zij te hebben?

Een lijnelement dat geschikt is voor moet op zijn minst voldoen aan de volgende eigenschappen.

- De hoogte moet dusdanig zijn (het liefst meer dan 2 m. hoog) dat het een vertragend effect oplevert.
- De breedte van het lijnelement moet voldoen aan de eisen van macrostabiliteit, in de realiteit komt dit neer op een breedte van +/- 20 m. als er een waterniveau verschil van 1,5 m. is. Met name voor spoordijken schuilt hier gevaar, aangezien deze zelden breder zijn dan acht meter.
- De lijnelementen moeten bestand zijn tegen de voornaamste faalmechanismen, zoals piping en golfslag. Piping treedt in het algemeen wat minder snel op dan de overige faalmechanismen, maar de gevolgen van piping zijn wel behoorlijk groot. Bij het optreden van macrostabiliteit is er vaak nog voldoende reststerkte in het profiel aanwezig.

Wordt aan het bovenstaande voldaan, dan kan men er vrij zeker van zijn dat een lijnelement niet zal bezwijken ten aanzien van een hoge waterstand. Dit garandeert echter niet dat het effectief water zal keren. In de realiteit zal een lijnelement een geringe hoogte hebben, wegen minder dan een meter en spoordijken maximaal 1,5 meter.

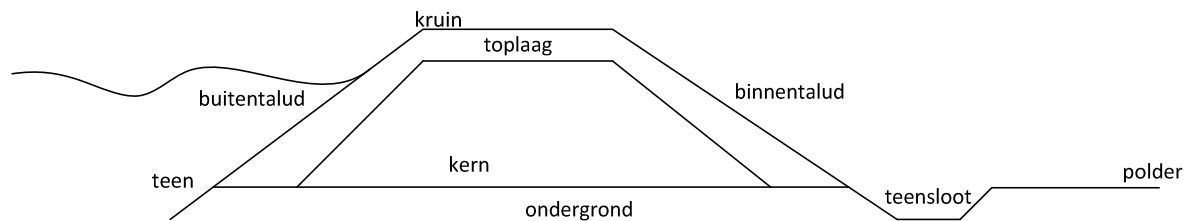
Geluidselementen zijn een verhaal apart. De veel verschillende soorten, gebruikte materialen e.d. maakt het moeilijk uitspraken te doen over deze elementen. Een geluidsbarrière dat bestaat uit elkaar overlappende platen van 30 centimeter breed zal nooit effectief optreden als waterkering. Een aaneengesloten geluidsbarrière van beton zal veel effectiever zijn.

De casestudy heeft duidelijk gemaakt dat het bij een overstroming het waterpeil dusdanig snel stijgt dat het waterkerende effect in ieder geval niet permanent is. Het maximale waterniveau is hoger dan de meeste lijnelementen. Uitgezonderd van het Amsterdam-Rijnkanaal wat eigenlijk ook een secundaire kering is. Daarnaast is het maximale waterniveau uiterst snel bereikt, binnen enkele uren tot hoogstens acht uur. Daarmee gaat het vertragend effect ook behoorlijk verloren. Een weg van 0,9 m. hoogte dat dicht bij de bron ligt is binnen 2 uur compleet overstroomd en zal dus niet of nauwelijks bijdragen aan enige tijds winst. Alleen oude dijken, die de tand des tijd redelijk doorstaan hebben zijn vaak in staat een vertragend en soms zelfs permanent waterkerend effect te hebben. Maar deze in goed staat verkerende oude dijken zijn hedendaags nog maar een zeldzaamheid.

Het is dan ook aan te bevelen deze oude dijken op te zoeken en te restaureren. Mocht dit te zeer in de kosten lopen dat nieuwe constructies een betere optie zijn, dan is dat aan te bevelen boven het opwaarderen van de lijnelementen. De lijnelementen zijn vaak maar beperkt in hoogte en beperkt in lengte. Het opwaarderen kost dan zoveel moeite en geld dat nieuwe dijken waarschijnlijk een betere oplossing is.

BIJLAGE 1 SCHEMATISATIE OPBOUW DIJKEN/(SPOOR)WEGEN

B1.1 Dijk



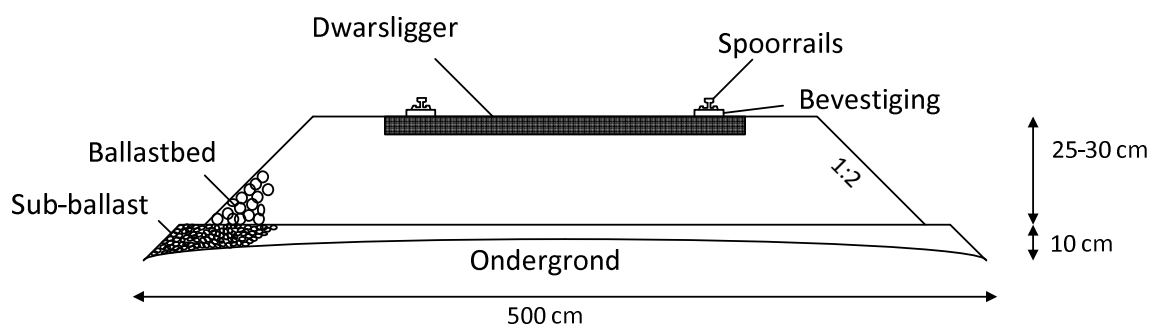
Figuur B1.1 Globale dijkopbouw

Bovenstaand figuur geeft een eenvoudig geschematiseerde dwarsdoorsnede van een dijk. Deze dwarsdoorsnede is niet karakteristiek voor een bepaald soort dijk, er zijn in ons land vele variaties dijken te vinden. Deze illustratie is gebruikt voor de terminologie van de dijkopbouw.

Er zijn zoals al gezegd vele variaties mogelijk, zo kan de ondergrond een ondoorlatende laag bevatten wat van invloed is op de grondwaterstroming. Daarnaast kan de ondergrond bestaan uit klei, veen, zand of combinaties van deze. Elke dijk heeft zijn eigen ondergrond en daarmee zijn eigen risico's wat betreft het doorbreken van de dijk. De dijk zelf kan bestaan uit klei of zand. Ook hier zijn weer combinaties mogelijk, zoals een kern van klei en één of meerdere toplagen van zand.

Echter is wel bekend dat de dijken gebouwd voor 1953 bestonden uit klei (Geodelft (Knoeff, Schoofs & Mierlo, 2003)). Veel regionale dijken in ons land waren ooit oude zeedijken. Men kan ervan uitgaan dat deze uit klei bestaan. Dijken die onlangs zijn aangelegd hebben meestal een zandkern met klei toplagen.

B1.2 Spoorweprofiel

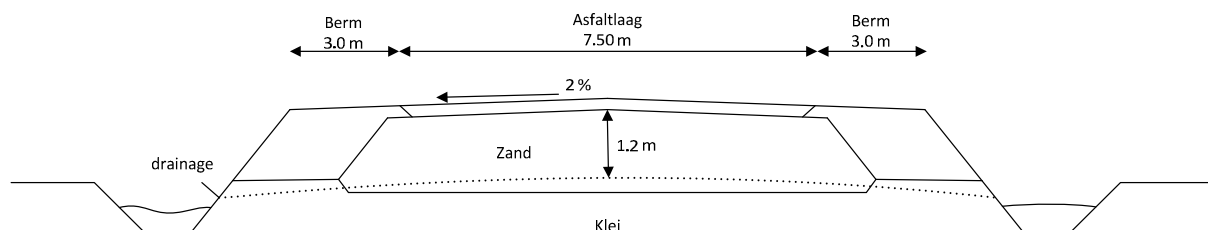


Figuur B1.2 Spooropbouw enkel spoor (Esveld, 2005)

Figuur B1.2 geeft de schematisatie weer van een verhoogde spoordijk, volgens de standaardafmetingen (Esveld, 2005). Zoals te zien valt in bovenstaand figuur bestaat de bovenste ± 40 cm. uit ballastgrind. De

ondergrond bestaat meestal uit zand al dan niet met een ondoorlatende tussenzone. De minimale drooglegging van een spoorbaan is vastgesteld op 1,90 m. (Knoef, Schoofs & Mierlo, 2003) Dit betekent dat het spoor minimaal 1,90 boven de grondwaterstand moet staan. De breedte van de kruin bedraagt 4 m. Vaak bevat de ondergrond een drainage, die het water door het zandlichaam naar een sloot transporteert. De kruinbreedte van 4 m. blijkt niet toereikend wat betreft het kerende vermogen van de spoordijk. De vereiste is dat de kruinbreedte 2 + 6 maal de waterkerende hoogte bedraagt. Het veilige profiel voor een spoorbaan gaat uit van een minimale kruinbreedte van 11 m., uitgaande van een kruinhoogte van 1,5m. boven maaiveld (GeoDelft (Knoeff, Schoofs & Mierlo, 2003)). Andere eisen en randvoorwaarden komen in bod in Bijlage 2. De breedte van 4 meter betekent dus dat de waterkerende hoogte 0,33 m. is. Dit betekent dat een spoordijk met enkel spoor weinig tot geen bijdrage heeft aan een vertragend effect bij een overstroming, aangezien blijkt uit de overstromingspatronen dat er binnen enkele uren meters water in de polder staat. Een medewerker van de NS gaf aan dat het beleid van de Nederlandse Spoorwegen geen rekening houdt met een eventuele waterkerende functie als het gaat om de dimensionering van de spoorlijnen.

B1.3 Wegprofiel



Figuur B1.3 Dwarsdoorsnede Autoweg buiten stad (Knoeff & Calle, 2001)

Bovenstaand figuur geeft een veilig dwarsprofiel van een autoweg buiten de stad weer. De ondergrond bestaat uit klei, met daarop een zandpakket. De toplaag bestaat uit een asfaltlaag van enkele decimeters. Voor de berm is vaak een gedeelte van de klei toplaag gebruikt. Volgende tabel laat de kruinbreedtes zien voor een paar standaard wegen binnen en buiten de stad.

	Beschrijving	Totale kruinbreedte [m]
Weg in stedelijk gebied	Autosnelweg	31,80
Weg in buitengebied	Autosnelweg	33,40
	Autoweg (cat. III)	13,50
	Autoweg (cat. IV)	19,30

Tabel B1.1 Kruinbreedte wegen Nederland (Knoeff & Calle, 2001)

Voor wegen is de minimale drooglegging vastgesteld op 1,2 meter. Dit betekent dat een weg in het westen van Nederland snel een halve tot 1 meter boven het maaiveld ligt. Voor wegen geldt evenals voor spoorwegen een minimale kruinbreedte van 2 + 6 maal de waterkerende hoogte. Afgezien van lokale en regionale wegen voldoet het wegennet van Nederland aan een voldoende minimale kruinbreedte.

BIJLAGE 2 FAALMECHANISMEN

Alle constructies, bestaande uit klei of zand, hebben te maken met faalmechanismen. Als gevolg van belastingen van wind, water en menselijk handelen kunnen dijken, wegen en spoorwegen bezwijken. Dit kan soms desastreuze gevolgen hebben, zoals de wereld in augustus 2005 gemerkt heeft met de doorbraken in de Amerikaanse stad New Orleans; en niet te vergeten de ramp van 1953 in ons eigen land laat zien hoe belangrijk dijken zijn voor de bescherming van ons land en haar inwoners. Dit hoofdstuk laat zien welke faalmechanismen er gehanteerd worden en hoe groot de risico's zijn van deze faalmechanismen. De informatie in deze bijlage is, tenzij anders aangegeven, afkomstig uit Fase 4.1 van Effectiviteit tweede waterkeringen (Knoeff & Calle, 2001).

De volgende mechanismen worden onderscheiden:

- golfoverslag;
- overloop;
- macrostabiliteit (binnen- en buitentalud);
- microstabiliteit;
- piping/heave.

Dit rijtje bevat niet alle bekende faalmechanismen, maar alleen degene die van belang zijn voor het onderzoek. Sommige faalmechanismen, zoals zettingsvloeiing en stabiliteit van het voorland, zijn alleen belangrijk voor de primaire keringen, omdat ze permanent water keren, in tegenstelling tot de slaperdijken en (spoor)wegen.

B2.1 Golfoverslag / overloop

Bij extreem hoogwater kan het zijn dat het waterpeil in de rivieren het niveau van de kruinhoogte nadert. In dat geval zijn golfoverslag en overloop reële mogelijkheden. We spreken van golfoverslag als het water door middel van golfslag over de kruin van de dijk geraakt en van overloop als het water buiten de oevers of dijken treedt. Golfoverslag kan ook optreden bij extreme weersituaties op zee, zoals een storm of tsunami. In tegenstelling tot de overige faalmechanismen treedt golfoverslag en overloop zelden onverwachts op en kunnen er extra maatregelen genomen worden ter versteviging van de dijken.

Overloop en overslag kunnen tot gevolg hebben dat de kruin van de dijk, weg of spoorweg ernstig verzwakt raakt dan wel een dijkdoorbraak veroorzaakt door de afschuiving van de toplaag van de dijk. Na langdurige aanhouding van overloop van de dijk kan de kruin verzadigd raken en kunnen er scheuren ontstaan, wat de kans reëel maakt op afschuiving van toplaag of een groot deel van het binnen- en buitentalud.

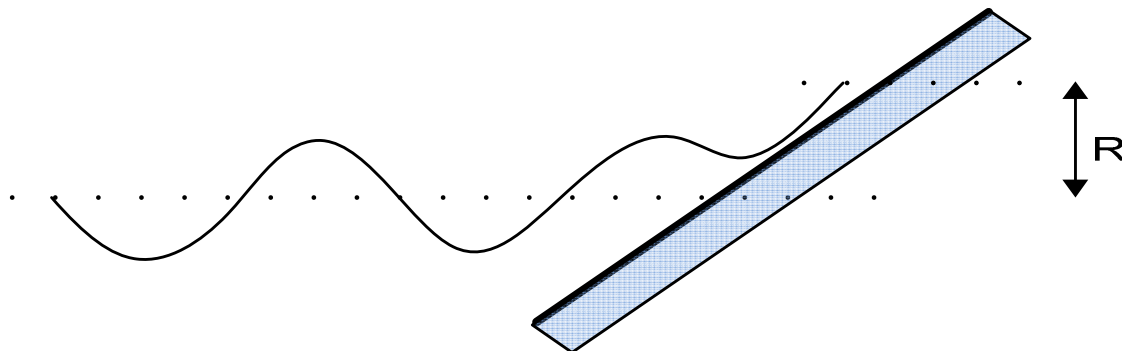
Kruinhoogte

Om golfoverslag en overloop te beperken is een kruin van een voldoende hoogte gewenst. Vaak wordt er een extra veiligheidsmarge ingesteld, de zogenaamde waakhogte. Deze hoogte is een extra hoogte van minimaal een halve meter boven het ontwerppeil. Op deze manier moeten golfoverslag onder standaard omstandigheden voorkomen worden.

Daarnaast is het ook van belang dat de kruinhoogte zo weinig mogelijk aan water bloot gesteld word, omdat er vaak wegen op dijken liggen. Deze wegen zijn vaak de ontsluitingen van de polder en bij hoogwater moeten deze wegen berijdbaar blijven om de evacuatie van mensen mogelijk te maken. Het is dus van belang dat bij golfoverslag niet direct de hele kruin van de dijk geraakt, zodat de dijk niet meer gebruikt kan worden als vluchtroute.

Voor lijninfrastructuurobjecten, zoals (spoor)wegen, gelden ook zekere regels wat betreft de minimale hoogte van een weg of spoorweg. Het is vastgelegd dat de minimale drooglegging van een spoorweg 1,90 m. moet bedragen. Dit betekent dat vooral in het westen van ons land, waar hoge waterstanden gelden, de kruin op ca. 1,5 m. boven het maaiveld ligt. Voor een weg geldt een minimale drooglegging van 1,2 meter en de kruin voor een weg tussen de 0,5 en 1 m. boven het maaiveld ligt.

Bij een inundatie van een polder is verder van belang voor de hoogte van een dijk of weglichaam de golfoploop en de strijklengte. Golfoploop is het 'opkruipen' van een golf tegen het talud van dijk of weg. Hierbij kan de golfoploop significant hoger zijn dan de golftop zelf.



Figuur B2.1 Golfoploop tegen talud (TU Delft, n.d.)

De bijbehorende formule voor de golfoploop, R , is:

$$(B2.1) \quad R \approx (H \cdot L_0)^{\frac{1}{2}} \cdot \tan \alpha$$

Waarin

R = Golfoploop

H = Golfhoogte

L_0 = Golflengte in diepwater

α = taludhelling

Uit de studie van GeoDelft (Knoeff, Schoofs & Mierlo 2003) blijkt dat golfoploop al snel 0,5 m. bedraagt en met name voor objecten waarvan de functie niet het keren van water is, zoals wegen en spoorwegen, kan golfoverslag al snel leiden tot het doorbreken van de secundaire kering. Van belang voor de golfoploop zijn de windsnelheid en de maximale strijklengte. Strijklengte is de lengte van de open wateroppervlakte die beschikbaar is voor de golfontwikkeling door de wind (TU Delft, n.d.). Hoe langer de strijklengte is des te kleiner de kans dat er daadwerkelijk golfoverslag plaats vindt, doordat de golf niet opgestuwd wordt. Het is daarom van belang dat de dijken in ons land zo weinig mogelijk

vreemde elementen bevat. Onder vreemde elementen wordt alle mogelijke bebouwing (huizen, riolering, kabels) en begroeiing (met uitzondering van de bekleding) verstaan. Deze vreemde elementen beletten de golfontwikkeling, omdat ze het water opstuwten en daarmee dus ook de golven hoger worden. Het blijkt dat bij een waakhoogte van 0,5 m., een windsnelheid van 10 m/s. en een overslagdebiet van 0,01 l/m/s de maximum strijklengte 1 km. bedraagt. Dit is een behoorlijke afstand, zeker als we ervan uitgaan dat de ruimte achter de dijken vaak druk bebouwd is.

B2.2 Microstabiliteit

Het verlies van microstabiliteit is een ander faalmechanisme waarbij uittredend grondwater grond uit het dijklichaam spoelt. Meestal gebeurt dit aan de binnentoe van de dijk als gevolg van een overdruk door een verhoging van de freatische waterlijn (grondwaterspiegel) en het fenomeen kan leiden tot plaatselijke instabiliteit en uiteindelijk zelfs tot een complete instorting van de kering.

Dijken opgebouwd uit klei hebben in het algemeen een ondoorlatende kern. Micro-instabiliteit treedt dan niet snel op. Zandige constructies kunnen meer last hebben van micro-instabiliteit als hoge grondwaterstanden in het grondlichaam te veel grond uitspoelen. Daarom is het voor droge keringen en (spoor)weglichamen opgebouwd uit zand van belang dat ze ten eerste een voldoende breedte van de aardebaan hebben, zodat zelfs bij uitspoeling van grond er nog voldoende reststerkte aanwezig is. Reststerkte is de tijdsduur vanaf het moment van het ontstaan van schade tot aan het daadwerkelijk begin van een bres in de dijk.

Ten tweede is het van belang dat er een goede drainage aanwezig is binnen het aardelichaam, zodat grondwater direct in de teensloot uittreedt en niet in het binnentalud. In het algemeen blijkt dat (spoor)wegen een goede drainering hebben en dat met name bij de weg er een voldoende breedte van de aardebaan is. Men kan er dus vanuit gaan dat het verlies van microstabiliteit niet optreedt bij (spoor)wegen.

B2.3 Macrostabiliteit

Bij het faalmechanisme macrostabiliteit is er niet alleen sprake van een afschuiving van het talud, maar ook vaak van de ondergrond. Grote delen van de constructie kunnen dan afschuiven en de afschuiving vindt over het algemeen plaats langs rechte of gebogen glijvlakken en langs plastische zones. Wanneer de grond plastisch wordt, betekent het dat de grond makkelijk vervormbaar is, vergelijkbaar met bijvoorbeeld natte klei. De grond heeft dan verloren aan kracht en is daarmee nog slecht bestand tegen druk. Overdruk zorgt ervoor dat het krachtenevenwicht binnenin de dijk verdwijnt en het talud kan afschuiven. Plastische zones in dijken zijn daarom uitermate gevaarlijk voor de constructie. Bepalend voor de weerstand tegen druk zijn de waterspanningen in en onder de constructie. Een verhoging van het freatisch vlak, door een hoge buitenwaterstand, verlaagt de weerstand van de constructie tegen afschuiven. Dit geldt zowel voor binnenwaartse als buitenwaartse macrostabiliteit.

Buitenwaartse macrostabiliteit

Bij macrostabiliteit wordt er onderscheid gemaakt tussen binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit. Het verschil zit in de plaats waar de afschuiving plaats vindt, in het binnen- of buitentalud. In het algemeen treedt buitenwaartse macrostabiliteit niet zo snel op, maar is de kans op binnenwaartse macrostabiliteit

wel vaak groot. De oorzaken kunnen wel van elkaar verschillen, omdat de buitenzijde van de dijk vaak bloot gesteld staat aan water en de binnenzijde niet, zijn de condities van de dijk heel anders.

Voor buitenwaartse macrostabiliteit geldt dat een snelle val van hoogwater naar laagwater een sterke reductie van de stabiliteit kan veroorzaken. Dit betekent dat het verschil in de buitenwaterstand de druk op het buitentalud weghaalt waardoor de dijk instabiel wordt.

Nu is buitenwaartse macrostabiliteit voor deze studie niet van belang, omdat een snelle val van hoog naar laagwater in het Nederlandse rivierengebied niet snel voorkomt. De achterliggende polders zijn groot en de inundatie van deze polders duurt lang. Daarnaast is de hoogte van spoor- en weglichamen beperkt, zodat buitenwaartse macrostabiliteit in de meeste gevallen kan worden voorkomen.

Binnenwaartse macrostabiliteit

Dit faalmechanisme wordt in het algemeen veroorzaakt door een hoge buitenwaterstand. Hierdoor ontstaat er een verhoging in het freatisch vlak in het grondlichaam en daardoor tot een verhoging van de waterspanningen in de ondergrond.

In de studie van GeoDelft (Knoeff, Schoofs & Mierlo 2003) wordt een veilig profiel opgesteld. Indien (spoor)wegen voldoen aan dit profiel zal de stabiliteit voldoende gegarandeerd zijn. Het veilige profiel moet voldoen aan de volgende kenmerken, uitgaande van de meest slechte scenario's (taludhelling van 1:1). De minimale breedte van de kruin bedraagt dan $2 + 6$ maal de waterkerende hoogte (een inundatiehoogte van 1 meter betekent dus een kruinbreedte van minimaal 8 meter).

Instabiliteit door opdrijven

Een bijzondere vorm van macrostabiliteit is het opdrijven van de ondergrond naar de oppervlakte. Dit kan voorkomen wanneer de watervoerende zandlaag wordt afgedekt met een ondoorlatende klei of veenlaag. Door een hoge buitenwaterstand kunnen de waterspanningen in de zandlaag zo hoog oplopen dat het kleipakket door de opwaartse druk omhoog gedrukt word. In het ergste geval kan een deel van de dijk afschuiven, wat in het algemeen het binnentalud is.

B2.4 Piping

Piping is het stromen van grondwater door het dijklichaam, ook wel kwel genoemd, dankzij een waterstandsverschil tussen de linker- en rechterzijde van de dijk. Hoe hoger de waterstand des te sneller piping optreedt. Piping blijkt veel risicovoller te zijn als men in eerste instantie altijd had gedacht. Langdurig optreden van grondwaterstroming zorgen voor een steeds snellere uitspoeling van grondwater. Er ontstaan zogenaamde wellen wat leidt tot een ernstige verzwakking van een dijk. Piping kan gereduceerd worden door de kwelengte te vergroten.

Ook voor het faalmechanisme piping is een veilig profiel aangegeven (zie tabel B2.1). Een kleidijk zal geen problemen hebben met piping als de waterdruk kleiner is dan de gronddruk onder het slappe lagenpakket. Verder zal piping zal niet optreden in zanddijken, omdat er bij kwelwater in een zanddijk geen wellen ontstaan. Als de dijk bestaat uit zand met een ondoorlatende laag dan moet de kwelengte groter zijn dan 18 maal het waterstandsverschil minus $1/3$ van de dikte van het slappe lagenpakket (klei- en veenlagen). Daarnaast zal het niet optreden bij (spoor)wegen als het waterstandsverschil hier minder dan 1 meter bedraagt. Spoorwegen lopen meer risico aangezien de basis van het lichaam vaak smaller is

als die van een weg. Bij een spoorweg met een ondoorlatende laag van meer dan 3 meter dik zal vrijwel geen piping optreden.

		Ondergrond	
		Ondoorlatend	Zand
Opbouw	Klei	$\sigma_w > \sigma_{gr}$ of	$L_b > 18h$
	Zand	$L_b > 18(h - 0,33D)$	geen piping

Tabel B2.1 Voorwaarden veilige profielen

Heave

Heave ontstaat door een verticale grondwaterstroming in het dijklichaam. Als de ondergrond geen ondoorlatende laag heeft, kan de grond vloeibaar worden (drijfzand) en uittreden achter de dijk. Heave treedt op wanneer er een geconcentreerde kwelstroming door het grondlichaam plaats vindt. Vaak gebeurt dit achter een obstakel in het grondlichaam, zoals bijvoorbeeld een kwelscherm.

B2.5 Bekleding

De bekleding van de landschapselementen is over het algemeen een grasbekleding. Slaperdijken kunnen eventueel ook nog steenzetting hebben als bekleding van binnen- of buitentalud, mits ze recentelijk aangelegd of versterkt zijn.

De beoordeling van de grasbekleding hangt af van een aantal punten, namelijk de worteldichtheid, de kwaliteit van de zode, de kleikwaliteit, de taludhelling en de ononderbrokenheid van de grasmat. Normaal beheer van de bekleding van het laatst genoemde moet een goede score geven aan de bekleding (geen begrazing, goede bemesting etc.).

Landschapselementen als wegen en spoorwegen hebben veelal een harde bekleding, zoals ballast, betonplaten en asfalt. Zeer waarschijnlijk heeft de harde bekleding geen effect op het initieel faalmechanisme van de constructie, maar kan het wel bijdragen aan een grotere reststerkte van het waterkerend grondlichaam. De harde bekleding van spoordijken, de ballaststenen, kan bij een groot overslagdebiet gaan rollen met erosie van het binnentalud als gevolg.

De leidraad toetsen op Veiligheid (LTV) kent drie categorieën toe aan een grasmat, namelijk een slechte, een redelijke en een goede grasmat. Van belang voor een goede beoordeling is dat de ondergrond een laag zandgehalte heeft (zandgehalte < 50%). Vervolgens moet de grasmat gesloten zijn. Dat wil zeggen dat er geen of weinig sprake is van dierlijke activiteiten (begrazing) en van vreemde elementen (kabels, leidingen, bebouwing etc.).

Vreemde elementen

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende groepen vreemde elementen:

- bebouwing;
- aansluitingen duikers;
- kabels en leidingen;
- geluidsschermen;
- bomen.

In het algemeen kan worden gezegd dat objecten op en in de waterkering een negatief effect hebben op de waterkerendheid van de constructie. Bij overloop en overslag leidt het tot grotere stroomsnelheden en meer turbulentie. Daarnaast zorgen objecten voor een verkorting van de kwallengte, wat piping tot gevolg kan hebben.

Voor de waterkerendheid van de constructie wordt gebruikt gemaakt van de formule van Bligh (kruinbreedte 5 m. en taludhelling 1:2):

$$(B2.2) \quad h_w \leq 0.33 + 0.2h_k$$

Waarin:

h_w = buitenwaterstand t.o.v. het maaiveld [m]

h_k = kruinhoogte t.o.v. het maaiveld [m]

Deze formule wordt toegespitst op de aanwezigheid van een toplaag, de kruinbreedte, de taludhelling en de soort constructie en dit leidt tot enkele kleine aanpassingen in de parameters van de formule. Voor aardebaanlichamen is alleen voor een toplaag van klei van minder dan 3 meter dik een formule opgesteld.

Voor een spoorweg met kruinbreedte van 9,70 m. en een helling van 1:1,5:

$$(B2.3) \quad h_w \leq 1.15 + 0.15h_k$$

Voor een autoweg met kruinbreedte van 13,50 m. en taludhellingen van 1:3:

$$(B2.2) \quad h_w \leq 1.4 + 0.3h_k$$

Constructies in de dijk of aardebaan zijn gevaarlijk wat betreft de stabiliteit van het profiel. Leidingen, duikers en kabels zijn een verzwakking van het dijklichaam, omdat de aansluiting met de grondconstructie een zwakke plek is. Tot een diameter van 500 mm wordt verwacht dat leidingen en kabels geen probleem zullen vormen ten aanzien van de waterkerende functie, echter beperkt dit wel de kwel langs de leiding.

Begroeiing van het talud kan zowel positief als negatief zijn. Slecht weer en hoge golven kunnen leiden tot het omwaaien van bijvoorbeeld bomen wat de kwaliteit van de constructie ernstig beïnvloedt. Aan de andere kant zorgen de wortels van de begroeiing in het algemeen voor een sterkere constructie door dat de aanwezigheid van wortels leidt tot grotere schuifsterkte parameters.

BIJLAGE 3 FUNDERINGSCONSTRUCTIES

Met name in veenachtige gebieden kennen veel lijninfrastructuurobjecten funderingsconstructies of verzakking van het (spoor)weglichaam tegen te gaan. Echter wordt er dan geen rekening gehouden met een eventuele waterkerende functie van de infrastructuur, waardoor het falen van de fundering ook snel leidt tot het falen van het dijklichaam. Hieronder de meest gebruikte funderingsmethoden. De informatie in deze bijlage komt voor een deel uit Fase 4.2 Effectiviteit tweede waterkeringen (Knoeff & Calle, 2001) en van wikipedia.

- doorpersingen;
- zandcunetten;
- paalfunderingen;
- geotextiel;
- EPS constructies.

B3.1 Doorpersingen

Doorpersing is een methode om buizen en andere funderingselementen in de grond te krijgen. Hiertoe wordt grond weg geperst totdat er genoeg ruimte ontstaat voor de fundamenteen. De oorspronkelijke grondslag wordt verwijderd en opgevuld met zand en funderingselementen. Dit betekent dat het watervoerend vermogen van het dijklichaam vergroot word. Het nadeel hiervan is dat de kans op micro-instabiliteit en piping toeneemt. Echter verkleint het wel de kans op macrostabiliteit.

B3.2 Zandcunetten

Een zandcunet is niets anders dan een aardebaan die op een ondergrond wordt aangelegd. Het wordt dusdanig verdicht dat het een stabiele constructie is. In het geval van dijken wordt er vaak een top laag aan toegevoegd en worden de taluds bekleedt met steenslag. Het grote voordeel van een zandcunet is dus dat het stevig is en relatief eenvoudig en goedkoop te construeren. Voor een zandcunet geldt hetzelfde als voor doorpersingen. Het is goed bestand tegen macrostabiliteit, maar minder goed bestand tegen micro-instabiliteit en piping.

B3.3 Paalfunderingen

Als direct op de ondergrond funderen niet mogelijk is, bijvoorbeeld wanneer de ondergrond bestaat uit veen, dan wordt veelal paalfunderingen toegepast. Deze rusten dan op een stabielere ondergrond en zorgen voor een sterkere constructie. Een paalfundering heeft een positieve invloed op de stabiliteit en daarmee de waterkerendheid van het dijklichaam.

B3.4 Geotextiel

Geotextiel is een doorlaatbaar textiel en is daarmee zeer geschikt voor de bedekking van de zandcunet, aangezien hiermee de watervoerende functie niet verloren gaat. Het draagt daarnaast ook bij aan een verbetering van de stabiliteit van het talud.

B3.5 EPS constructies

EPS staat voor expanded polystyrene, maar is beter bekend onder de naam piepschuim. Het wordt veel gebruikt in de wegenbouw, in veenachtige gebieden vanwege de lichtheid van het materiaal. Het is namelijk lichter dan het veen, hiermee worden verzakkingen van de constructie voorkomen. In lijninfrastructuurobjecten die een kerende functie (moeten) hebben is een EPS constructie gevaarlijk. Door grondwaterstijgingen kan de EPS constructie opdrijven en daarmee de dijk verzwakken. Het is daarom beter wat zwaardere ophoogmaterialen te gebruiken, zodat opdrijven voorkomen wordt.

REFERENTIES

Arcadis (n.d.). *Projectnota/MER Bergambacht – Schoonhoven*. H2 Begrippen en afkortingen

Bestuurskunde.nl. Verkregen op 10 april, 2009 van:

<http://www.bestuurskunde.nl/bestuurskunde/jg7/nr2/1998,,7,2,3.php>

Bestuurskunde.nl. Verkregen op 10 april, 2009 van:

<http://www.bestuurskunde.nl/publicaties/bestuurskunde.php?artikel=1995,,4,8,2>

Budhu, M. (2007). *Soil Mechanics and foundations*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Esvelt, C. (2005). *Geometrisch en constructief ontwerp van wegen en spoorwegen. Deel D. constructief ontwerp van spoorwegen*. Delft.

GeoDelft (2003). *Effectiviteit tweede waterkeringen*. Delft: Delftcluster. Ir J.G. Knoeff; Ir. T. van Mierlo; Dr. C.A. Schoofs

KNMI Klimaatscenario's voor Nederland. Verkregen op 11 april, 2009 van:

<http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/>

Lingepadfoto's (n.d.). Verkregen op 18 juni, 2009 van:

[http://www.vaboput.nl/Lingepadfoto%27s/slides/Langs %20de%20Lingedijk.html](http://www.vaboput.nl/Lingepadfoto%27s/slides/Langs%20de%20Lingedijk.html)

Milieu en Natuur Planbureau (2007). *Overstromingsschade in dijkkring 14*. J.P. van Schrojenstein Lantman

Nederlandse Defensie Academie. Verkregen op 19 mei, 2009 van: <http://www.nlida.nl>

Openbaar Vervoer Wereldwijd (n.d.). Verkregen op 16 mei, 2009 van: www.autobussen.blogspot.com

Panoramio (n.d.). Verkregen op 22 mei, 2009 van: <http://www.panoramio.com/photo/493837>

Prorail (1996). *Tracebesluit Betuweroute* (3 delen)

Rijksinstituut voor Kust en Zee (2005). *Compartimentering van dijkkring 14*. Leeuwarden F. Knot & P. Zijlma.

Rijkswaterstaat (2005). *Veiligheid Nederland in Kaart [VNK]. Hoofdrapport onderzoek overstromingsrisico's*. Dienst Weg- en Waterbouw [DWW]

Rijkswaterstaat (2005). *Veiligheid Nederland in Kaart. Overstromingsrisico dijkkring 43*. Delft: DWW. H. Mols & J. Kuipers.

Rijkswaterstaat (2006). *Veiligheid Nederland in Kaart. Risicocase dijkkring 14*. Delft: DWW-2006-010. Ir. E.J. Melisie.

Schelfhout, H.A., & Blinde, J.E.J. (2007). Ontwikkeling gids inspectie waterkeringen. *Grip op kwaliteit visuele inspectie*. Verkregen op 7 mei, 2009 van:
<http://www.swartvast.nl/rapporten/PG%2060%20Rapportage%20GOK.pdf>

Spoorkaart Nederland (2004). Verkregen op 22 juni, 2009 van:
<http://www.astro.rug.nl/~islands/spoorkaart.pdf>

TAW (1999). *Leidraad toetsen op Veiligheid*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen

Tijdbalk Bovenrivieren (n.d.) Verkregen op 3 juni, 2009 van:
http://www.belvedere.nu/download/1131534861Tijdbalk_Bovenrivieren.pdf

Tu Delft - definities, (n.d.). Verkregen op 27 april, 2009 van:
http://www.ipl.citg.tudelft.nl/lexicon/Definities_G/basis/basis_golfoploop.htm

Verkeer en Waterstaat (2006). *Primaire waterkeringen getoest*. Landelijke Rapportage Toetsing 2006.

Verruijt, A., & van Baars, S. (1999). *Grondmechanica*. Delft :VSSD.

Volkscrant (2009, 16 januari). Dwarsdijken. Verkregen op 24 juni, 2009 van:
http://www.volkscrant.nl/archief_gratis/article763625.ece/Dwarsdijken

Wikipedia (n.d.). Verkregen op 24 april, 2009 van: [http:// http://nl.wikipedia.org/wiki/Geotextiel](http://http://nl.wikipedia.org/wiki/Geotextiel)

Waterland (n.d.). Verkregen op 1 september, 2009 van:
<http://www.waterland.net/index.cfm/site/NIEUW%20Water%20Informatie%20Netwerk/pageid/C584F0C2-B7DA-9F00-99A47EA0E6D76B1D/index.cfm>