

HASKONING NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Netherlands
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

Telefoon: +31 88 348 70 00
E-mail: info@haskoning.com
Website: haskoning.com

Titel document: Analyse risico grondwaterschade Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well
Ondertitel: concept-rapportage
Referentie: BJ1000-110-110-RHD-XX-XX-RP-X-0001
Uw kenmerk: -
Status: S0/P02.0
Datum: 18 november 2025
Projectnaam: Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well
Projectnummer: BJ1000-110-110
Auteur(s): Hans Doornbos, Han Vermue

Opgesteld door: Hans Doornbos, Han Vermue

Gecontroleerd door:

Datum:

Goedgekeurd door:

Datum:

Classificatie: Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. Haskoning Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van Haskoning Nederland B.V. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Wat is er aan de hand?	1
1.2	De Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well	2
2	Beschrijving kelders en gebied	4
2.1	Aard van de kelders in het gebied	4
2.2	Gevolgen van grondwaterstijging op kelders	5
2.3	Gevoeligheid van verschillende kelders voor grondwaterbelasting	6
2.3.1	Kelders waarbij de vloer tussen de kelderwanden is aangebracht (C)	6
2.3.2	Kelders met gemetselde wanden op een (dikke of dunne) keldervloer (B1 en B2)	6
2.3.3	Kelders met betonnen vloeren en wanden (A) en bijzondere situaties.	6
2.3.4	Overige kelders (D)	8
2.4	Hoogteligging van het gebied	9
2.5	Situatie tijdens eerder hoogwater (tot 1995)	10
2.6	Effecten toekomstige grondwaterstanden	10
3	De grondwatereffecten op kelders	11
3.1	Effecten algemeen: grondwateroverlast of constructieve schade	11
3.2	Belasting van een kelder (en de gevolgen daarvan)	12
3.2.1	Belasting uit gronddruk	12
3.2.2	Belasting door grondwater	12
3.2.3	Terreinbelasting	14
3.2.4	Belasting uit het bovenliggende gebouw	14
3.2.5	Overige belastingen	14
4	Invloeden op en mogelijke maatregelen aan kelders	15
4.1	Bouwjaar van de kelder	16
4.2	Dikte van de keldervloeren	16
4.3	Maximale grondwaterstand tegen de kelders	17
4.4	Lekke kelders	17
4.5	Mogelijke maatregelen	17
4.5.1	Wegnemen van de extra belasting	18
4.5.2	Versterken van een kelder	20
4.5.3	Samenvatting en mogelijke oplossingen voor de kelders	21

5 Vervolgproces

22

Tabellen

Geen gegevens voor lijst met afbeeldingen gevonden.

Figuren

Figuur 1 Voorkeursvariant Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well	3
Figuur 2 Voorbeelden tekeningen kelders	4
Figuur 3 Locatie straten in het gebied	8
Figuur 4 Maaiveldhoogte van het gebied (groen = laag, geel/oranje = hoog)	9
Figuur 5 Mock-up van een filterconstructie	19

Bijlagen

Bijlage 1 Overzicht kelders	
Bijlage 2 Bepaling gronddruk tegen een kelderwand	

1 Inleiding

1.1 Wat is er aan de hand?

De waterkeringen bij Well voldoen niet aan de wettelijke normen en dienen in de komende jaren te worden versterkt in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Bovendien maakte het hoogwater van juli 2021 nogmaals duidelijk dat de huidige situatie bij Well een flessenhals vormt voor de afvoer van hoogwater op de Maas en dat zowel rivierversuiming als versterking van de keringen zeer wenselijk is. Hiertoe is het project Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well opgezet (zie nadere toelichting in par. 1.2).

Bescherming tegen hoogwater op de Maas is een belangrijke doelstelling van de gebiedsontwikkeling. Daartoe worden de dijken versterkt en verlegd, en wordt een Groene Rivier gerealiseerd. Tijdens hoogwater voert de Maas ook water af via de Groene Rivier die wordt voorzien tussen enerzijds Oud Well en Elsteren en anderzijds Nieuw Well. In de huidige situatie ligt dat gebied binnendijks. In de toekomstige situatie worden ringdijken om Elsteren en Oud Well aangelegd waardoor de Groene Rivier buitendijks komt te liggen. Het gebied was overigens voor 1995 ook buitendijks gelegen, en is bij de aanleg van de waterkeringen na 1995 binnendijks gekomen.

Tijdens hoogwater komt in de groene rivier het water tegen de nieuwe dijken aan te staan. Omdat de ondergrond doorlatend is, zorgt het hoogwater ook voor verhoogde grondwaterstanden en kwel binnendijks; een bekend fenomeen in Limburg. Waterschap Limburg zorgt daarom voor afvoer van kwelwater, met kwel sloten die water afvoeren naar pompen, die het water weer over de dijk afpompen. Deze voorzieningen kunnen echter niet voorkómen dat de grondwaterstand binnendijks bij hoogwater toch stijgt. Dat kan gevolgen hebben voor kelders van woningen of andere gebouwen. Als de grondwaterstand rond de kelders stijgt, en de kelders zijn niet waterdicht, dan kan tijdens hoogwater water in de kelders komen te staan. Als de kelders wel waterdicht zijn, dan kan het grondwater zorgen voor druk op de keldervloer of kelderwanden. Het kan zijn dat dit in de huidige situatie ook al optreedt, maar door de gebiedsontwikkeling kunnen veranderingen optreden.

De effecten van de Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well zijn in de afgelopen periode in brede zin onderzocht. De grondwatereffecten op de kelders vergen nog extra aandacht. Daarom hebben de initiatiefnemers van de gebiedsontwikkeling verzocht om hier specifiek onderzoek naar uit te voeren. De grootste zorg is daarbij dat de grondwatereffecten geen constructieve schade mogen veroorzaken aan kelders. Daarom ligt in deze rapportage de focus op het risico op constructieve schade.

Voorliggende concept-rapportage doet verslag van de eerste bevindingen. Na een korte toelichting over de gebiedsontwikkeling (par. 1.2) wordt uitgelegd welke kelders er zijn (hst. 2) en wat de gevolgen voor kelders kunnen zijn. Er is nagegaan welke effecten grondwater op kelders heeft (hst. 3). Vervolgens is in kaart gebracht welke maatregelen er aan kelders mogelijk zijn om constructieve schade te voorkómen (hst. 4). Het rapport sluit af met een samenvatting van de bevindingen (hst. 5) en een beschrijving van het vervolgproces (hst. 6).

NB: voorliggend rapport is vaktechnisch van aard, en gaat niet in op de afstemming met bewoners die parallel plaatsvindt aan het technische werkproces.

1.2 De Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well

De Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well wordt gerealiseerd in een samenwerkingsverband van verschillende overheden, bestaande uit het Waterschap Limburg, het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (waaronder Rijkswaterstaat), Provincie Limburg en Gemeente Bergen.

De gebiedsontwikkeling richt zich op drie grote wateropgaven in het gebied (rivierverruiming, dijkversterking en beekherstel). Deze worden opgepakt in een integraal project, waarin meerdere doelstellingen gelijktijdig en in samenhang met elkaar worden gerealiseerd. De gebiedsontwikkeling omvat:

- De aanleg, verhoging en versterking van primaire waterkeringen om te voldoen aan de wettelijke veiligheidsnorm;
- Het verbeteren van de systeemwerking van de Maas door toevoeging van 85 ha aan het rivierbed en realisatie van circa 17 centimeter waterstandsdeling ter hoogte van Well.
- Het verbeteren van het ecologisch functioneren van de Wellse Molenbeek en haar oevers door de loop, oevers en monding een natuurlijker karakter te geven en daarmee de biodiversiteit te verhogen;
- Het verbeteren van de ruimtelijke kwaliteit door de landschappelijke herkenbaarheid en samenhang, cultuurhistorische identiteit en soortenrijkdom in het gebied te versterken;
- Het versterken van de gebruiks- en belevingswaarde voor bewoners en bezoekers door onder andere het verbeteren van de toegankelijkheid van het gebied;
- Duurzaamheid in realisatie en beheer, door onder andere gebruik te maken van en voort te bouwen op de bestaande gebiedskwaliteiten, de toepassing van gebiedseigen grond, robuuste waterkeringen en natuur inclusieve voedselproductie.

Op basis van de Voorverkenning is het Waterschap Limburg in 2016 gestart met de Verkenningsfase. In deze fase zijn de verschillende mogelijkheden verkend om te voldoen aan de wateropgaven voor het gebied. De Verkenningsfase is geëindigd in 2020 met de keuze van een Voorkeursalternatief (VKA), dat in juni 2020 bestuurlijk is vastgesteld.

In februari 2022 heeft de Stuurgroep Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well het besluit genomen voor een integrale scope, waarbij alle opgaven in één integraal project worden opgepakt in plaats van realisatie van het project in de oorspronkelijke twee fasen (eerst dijkversterking en daarna de Groene Rivier en beekherstel). De opgaven hangen zodanig met elkaar samen, dat het afzonderlijk realiseren ervan veel nadelen heeft en daarom is gekozen voor een integrale scope. Het hoogwater van 2021 heeft de negatieve rivierkundige effecten van de flessenhals opnieuw laten zien, waarmee duidelijk werd dat snel verruiming van de flessenhals wenselijk is.

Voor een effectieve werking van de Groene Rivier bleek het ook verstandig om op enkele specifieke locaties de dijkversterkingsmaatregelen uit het Voorkeursalternatief van 2020 aan te passen. De integrale scope met de aanscherpingen tezamen wordt de Principeoplossing genoemd en deze is beschreven in het Verkenningenrapport (Waterschap Limburg, 2023).

De Principeoplossing is vervolgens in de planuitwerkingsfase uitgewerkt in verschillende varianten per deelgebied. Naar aanleiding van de beoordelingen van de verschillende varianten, is er per deelgebied een Voorkeursvariant (VKV) gekozen.



Figuur 1 Voorkeursvariant Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well

De Voorkeursvariant bestaat daarbij onder meer uit de volgende onderdelen:

- Aanleg van een Groene Rivier door het doorgraven van het grondlichaam van de provinciale weg N270 en aanleg van een nieuwe brug en het verlagen van het maaiveld in het gebied erachter. Daarbij stroomt de Wellse Molenbeek door het gebied van de Groene Rivier.
- Versterking van bestaande waterkeringen en aanleg van nieuwe waterkeringen rondom de Groene Rivier. Buurtschap De Kamp en het Kasteel Well worden daarbij beschermd door een maatwerkvoorziening en komen formeel gezien buitendijks te liggen.
- Aanleg van een hoogwatergeul en ontwikkeling van nieuwe land-water overgangen in natuurgebied De Band (zuidzijde projectgebied).
- Inrichting van het gebied door ruimte te bieden voor natuurontwikkeling, toekomstbestendige landbouw en recreatieve voorzieningen.

verwachting dat er altijd sprake zou zijn van een diepe grondwaterstand. Het kan ook een bewuste kostenbesparing zijn met het oog op mogelijke schade door hoge grondwaterstanden. Het is immers eenvoudiger en goedkoper om een beschadigde keldervloer te herstellen dan om schade door opdrijven van een complete kelder of bezwijken van kelderwanden te herstellen.

Uit een eerste vergelijking van de beschikbare gegevens valt op dat er vanuit constructie-technisch oogpunt in hoofdzaak 3 bouwvormen voor deze kelders zijn gebruikt:

- Kelders waarbij de vloer tussen de kelderwanden is aangebracht (C);
- Kelders waarbij gemetselde wanden op de (dunne of dikke) keldervloer zijn gebouwd (B2 en B1);
- Kelders met betonnen vloeren en wanden (A).

Deze kelders worden (per type) later beschreven, eerst wordt (algemeen) ingegaan op mogelijke schademechanismen bij kelders.

2.2 Gevolgen van grondwaterstijging op kelders

In de omgeving van Well zal een daling van een grondwaterstand weinig invloed op bebouwing hebben omdat (de meeste) gebouwen op goed draagkrachtige zandlagen zijn gefundeerd die niet gevoelig zijn voor grondwaterstandsval. Daarnaast zal de aanleg van de Groene Rivier op deze locatie geen daling van de grondwaterstand tot gevolg hebben.

Een stijging van de grondwaterstand kan wel gevolgen hebben op kelders. Deze worden hieronder beknopt beschreven.

Een stijging van grondwater heeft tot gevolg dat kelders zwaarder worden belast. Deze belasting kan meerdere gevolgen hebben. Als een kelder niet waterdicht is, zal grondwater de kelder in kunnen stromen. Als grondwater maar snel genoeg de kelder in stroomt, zal het water in de kelder tegendruk bieden tegen het water buiten de kelder. Water in een kelder is vanuit die optiek een prima oplossing om schade aan de kelder te voorkomen. Gelijktijdig zorgt water in een kelder uiteraard wel voor overlast.

Als een kelder waterdicht is zal de druk tegen de kelder bij een stijgende grondwaterstand toenemen. Sommige kelders zijn ontworpen op een hoge grondwaterstand. Vaak zijn dit kelders die zijn opgebouwd uit gewapend beton.

Een bijzonder punt hierbij is dat een kelder wel voldoende sterk kan zijn maar niet zwaar genoeg hoeft te zijn. Een kelder kan hierbij worden vergeleken met een schip. Een schip kan blijven drijven zolang de massa van het schip maar kleiner is dan de massa van het verplaatste water (de wet van Archimedes). Voor een kelder geldt hetzelfde. Als de waterdruk onder een kelder groter is dan de massa van de kelder (inclusief inboedel en bovenliggende constructie), dan zal de kelder opdrijven door de opwaartse druk onder de kelder. Dit effect speelt vooral bij kelders met een groot oppervlak.

Het andere punt bij een stijgende grondwaterstand is dat de waterdruk tegen de ondervloer en de wanden van de kelder steeds hoger wordt. Het gevolg hiervan is dat keldervloeren of kelderwanden op enig moment kunnen scheuren en lek raken waardoor wateroverlast in de kelder kan ontstaan. Bij een lekke kelder geldt (ook in dit geval) dat het water in de kelder tegendruk zal bieden tegen de waterdruk buiten de kelder. Bij ernstige schade kan een kelderwand of keldervloer ontzet raken.

2.3 Gevoeligheid van verschillende kelders voor grondwaterbelasting

2.3.1 Kelders waarbij de vloer tussen de kelderwanden is aangebracht (C)

In theorie is het eerste keldertype (vloer tussen de wanden) niet waterdicht omdat een naad tussen een wand en een vloer (zonder extra voorzieningen) niet per definitie waterdicht is. Praktisch gesproken kan een dergelijke kelder ook bij hogere grondwaterstanden wel droog blijven, bijvoorbeeld doordat de naad tussen wand en vloer is dichtgeslibd of afgedicht. Bij een voldoende lage grondwaterstand (onder de keldervloer) blijft dit type uiteraard droog. Voor kelders die op hoog gelegen (zand-) gronden zijn gebouwd is een “lekke keldervloer” een normale constructie.

Opgemerkt wordt dat uit de beschikbare informatie uit het bouwarchief niet altijd even duidelijk blijkt of een betonvloer los van de vloer is gehouden of toch vast is gestort aan de wanden. Bij twijfel wordt ervan uitgegaan dat er wel een van oorsprong waterdichte verbinding is. Het is dus goed mogelijk dat er meer kelders met een niet waterdichte vloer zijn dan waar nu van wordt uitgegaan. Achtergrond bij deze keuze is dat een kelder die (achteraf) wel lek blijkt te zijn en daardoor bij een hoge grondwaterstand volloopt nauwelijks een risico op constructieve schade heeft. Andersom geldt dat een kelder waarvan onterecht wordt verwacht dat deze lek zou zijn, zonder maatregelen een verhoogd risico op constructieve schade door een verhoogde grondwaterstand loopt.

Bij twijfel wordt om die reden in deze rapportage als uitgangspunt gekozen dat een kelder waterdicht is.

2.3.2 Kelders met gemetselde wanden op een (dikke of dunne) keldervloer (B1 en B2)

Kelders van het tweede type (wanden op de vloer) zijn bedoeld om “redelijk waterdicht” te zijn. Dichtheid hangt o.a. af van de gebruikte materialen en constructieafmetingen maar ook van de werkelijke grondwaterstand buiten en ventilatie in de kelder. Het komt maar zelden voor dat een gemetselde kelder (al dan niet met een betonvulling in een eventuele spouw) is bedoeld om extreem hoge grondwaterstanden te weerstaan. Naast het gegeven dat traditioneel metselwerk makkelijker water doorlaat dan beton, is ook de constructieve sterkte van metselwerk bij vergelijkbare afmetingen beperkter dan van gewapend beton.

In deze rapportage is qua oplossingsrichting ¹geen onderscheid gemaakt tussen keldertype B1 en B2. Het verschil kan bij de keuze van de definitieve maatregel wel een rol spelen. Bij een dunne, zwakkere vloer moeten soms andere afweging worden gemaakt dan bij een dikkere en in basis sterkere vloer.

2.3.3 Kelders met betonnen vloeren en wanden (A) en bijzondere situaties.

Kelders die volledig uit gewapend beton zijn opgetrokken, het derde type, zijn vaak bedoeld om hoge grondwaterstanden te kunnen weerstaan. Voor kelder dit type kelder geldt uiteraard dat de waterstand die als ontwerpuitgangspunt is gekozen van belang is. Vaak, maar zeker niet altijd is een grondwaterstand tot aan het maaiveld als ontwerpuitgangspunt gekozen. Dit moet per kelder worden gecontroleerd.

Het grootste deel van de kelders in dit gebied die in deze categorie zijn ingedeeld zijn gebouwd na 2000. In principe zouden de ontwerpuitgangspunten hierdoor opgenomen moeten zijn in het bouwarchief.

Er zijn ook kelder die om andere redenen in deze categorie zijn ingedeeld, zo zijn er bijvoorbeeld 3 kelders van vóór of rond 1900 waarvan simpelweg te weinig informatie beschikbaar is en enkele industriële kelders waarvan verwacht mag worden dat deze zullen voldoen maar waarvan momenteel te

¹ In bijlage 1 is wel onderscheid gemaakt tussen keldertype B1 en B2 maar dat is voornamelijk gebaseerd op de maximale grondwaterstand dan op de vorm en/of opbouw van de kelder.



weinig informatie beschikbaar is. Vanwege het beperkte aantal kelders in deze categorie is geen verdere opsplitsing gemaakt.

2.3.4 Overige kelders (D)

Naast de keldertypen die hiervoor zijn beschreven is er nog een behoorlijk aantal kelders waarbij geen invloed wordt verwacht door de mogelijk wijzigende grondwaterstand. Hier zijn verschillende oorzaken van belang.

Sommige woningen blijken op basis van nadere informatie geen kelder te hebben (bijvoorbeeld enkele woningen, Papenbeek 3 - 9).

De locatie van een woning ligt buitendijks waardoor de hoogwatersituatie feitelijk teruggebracht wordt naar de situatie voor 1995 (locatie Elsteren 11a).

Bij andere kelders ligt het vloerpeil van de kelder te hoog zodat een wijzigende grondwaterstand geen invloed heeft. (bijvoorbeeld de trafohuisjes langs de Kasteellaan Oud Well resp. in Elsteren of enkele woningen langs de Paad).

Een compleet ander voorbeeld is het Kasteel, die zijn eigen omdijking en voorzieningen heeft.

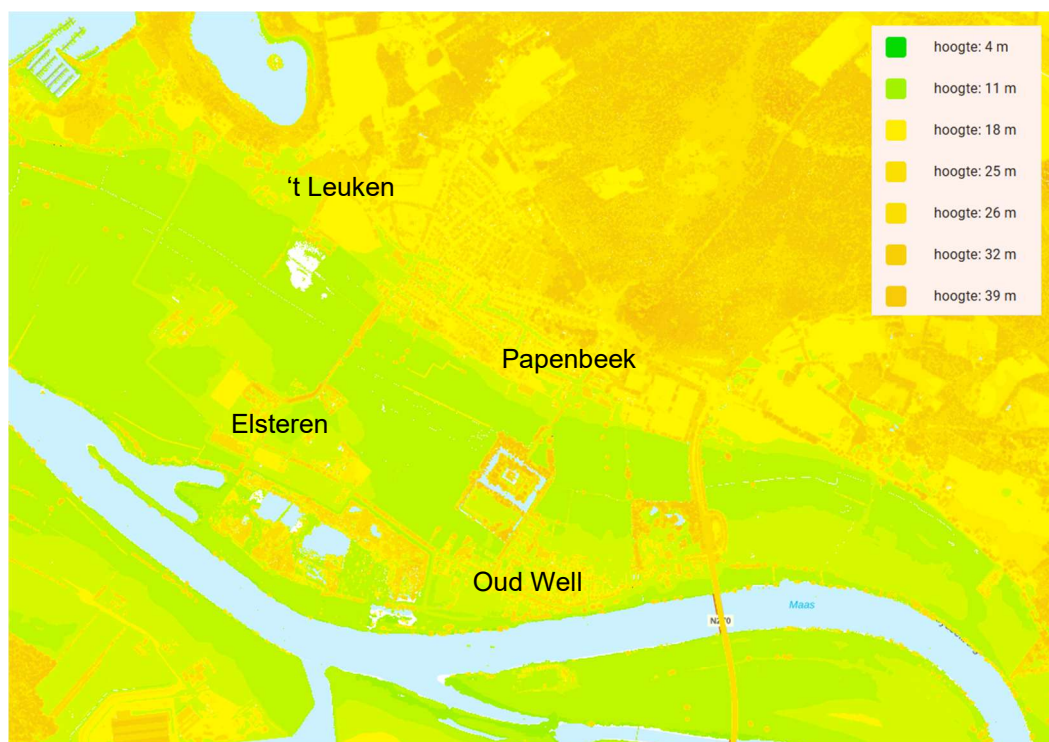
In deze rapportage worden diverse straatnamen aangegeven. De locatie van de belangrijkste wegen is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 3 Locatie straten in het gebied

2.4 Hoogteligging van het gebied

Onderstaande figuur geeft een globaal beeld van de terreinhoogte in het hele gebied en de locatie van de verschillende deelgebieden. De Maas slingert als blauw vlak van rechtsonder naar links door de figuur. Oud Well ligt op een zandrug die (hoewel minder hoog) doorloopt tot Elsteren. Ten noorden van Oud Well en Elsteren is als groen vlak de oude loop van de Maas te herkennen, Papenbeek en 't Leuken liggen ten noorden van die oude loop, grotendeels op hogere gronden.



Figuur 4 Maaiveldhoogte van het gebied (groen = laag, geel/oranje = hoog)

Wat direct opvalt is dat de “groene” laaggelegen gebieden niet of nauwelijks bebouwd zijn. Ook vroeger was men al bewust van de gevaren van bouwen in of naast een rivierbedding, de lage delen zijn van oudsher gebruikt voor landbouw en de hogere gebieden voor bewoning. De 3 locaties met kelders die in deze rapportage worden beschreven zijn Papenbeek, Elsteren en Oud Well.

In bijlage 1 is een overzicht gegeven van alle -tijdens het opstellen van deze rapportage- bekende kelders. Wat direct in het overzicht van de kelders opvalt is dat het maaiveldniveau rond de meeste kelders gemiddeld rond NAP +15 m ligt. Papenbeek (de Paad) ligt duidelijk hoger (NAP +17,50 m) terwijl Elsteren en een deel van Oud Well (Hoenderstraat, een deel van de Kasteellaan, Nicolaasstraat en Kasteelsehof) net wat lager (rond NAP +14,75 m) liggen.

2.5 Situatie tijdens eerder hoogwater (tot 1995)

Tot het einde van de vorige eeuw was men zich bewust van de nabijheid van de Maas en het daarbij behorende risico van hoge waterstanden. Deze waterstanden kwamen vaak in het najaar en het voorjaar opzetten als gevolg van regenval (en smeltwater) in het stroomgebied van de Maas.

Op de website <https://www.archiefwell.nl/toponiemen/de-maas/overstromingen> zijn foto's uit verschillende jaren te vinden die een beeld geven van opgetreden hoge waterstanden. Op de foto's is o.a. de Sint Vituskerk zichtbaar die in 1958 volledig in het water staat. Andere foto's tonen de Hoenderstraat die in 1970 is ondergelopen en het Maaswater dat in 1995 tot voor de ramen van Grotestraat nummer 40 stond.

Uit deze foto's volgt waarom waterdicht uitvoeren van een kelder in deze omgeving vroeger maar beperkt zinvol was. Normale (grond- en rivier-) waterstanden lagen onder het peil van de keldervloer. Bij hoge rivierwaterstanden steeg het grondwater waarbij het water tot boven het maaiveldniveau kon stijgen. Mocht grondwater niet via de vloer of de wanden binnenstromen, dan gebeurde dat vanzelf wel via de kelderdeur (die in de regel niet waterdicht werd uitgevoerd). Een dure volledig waterdichte kelderconstructie had hierdoor geen toegevoegde waarde maar was wel extra kostbaar.

Overigens volgt uit deze foto's ook dat kelders van vóór 1995 in deze omgeving mogelijk al eens zijn belast door een hoge waterstand. Eventuele zwakke plekken of lekkages aan oudere kelders kunnen daardoor bekend zijn. Voor zover "opdrijven" van kelders in dit gebied een risico had kunnen zijn, had dat eveneens al kunnen zijn opgetreden.

Desondanks is het moeilijk om op basis van het verleden aan kelders zogenaamde "bewezen sterkte" toe te kennen. De term "bewezen sterkte" wordt gebruikt als van een constructie weinig gegevens bekend zijn maar als wel zeker is dat er ooit een hogere belasting is opgetreden.

Bij kelders is het een logische gedachte dat men zo lang mogelijk probeerde water buiten de kelder en dus de woning te houden. Op grond daarvan zou ervan kunnen worden uitgegaan dat de kelders van voor 1990 flink belast zijn door grondwater en in geval van schade mogelijk zijn hersteld en wellicht verzwwaard.

Bewezen sterkte geeft voor kelders wel een aanwijzing op het risico van schade maar geeft geen garantie. Belasting tegen kelders is niet alleen afhankelijk van een berekende grondwaterstand maar is ook afhankelijk van de specifieke omstandigheden van de grond rondom een kelder. Er kunnen altijd omstandigheden zijn waardoor de grondwaterstand plaatselijk (bijvoorbeeld rondom een kelder) net anders reageert dan verwacht waardoor in werkelijkheid lagere of juist hogere grondwaterstanden kunnen optreden.

2.6 Effecten toekomstige grondwaterstanden

Zoals in de eerste hoofdstukken van dit rapport beschreven, zal de grondwaterstand als gevolg van de aanleg van de Groene Rivier wijzigen. Dit staat nog los van autonome ontwikkelingen van de grondwaterstand door lopende en toekomstige andere ontwikkelingen in het projectgebied zoals Maaspark Well. Wanneer er grondwaterstanden worden vergeleken, gaat het in alle gevallen dus om de grondwaterstand bij autonome ontwikkelingen met en zonder gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well. Voor een beschouwing van de invloed van belasting tegen een kelder moet een keuze gemaakt worden over de aan te houden maximale grondwaterstand. Deze wordt enerzijds bepaald door de ondergrond maar anderzijds ook door de kans dat er omstandigheden zijn waarbij die hogere grondwaterstand kan optreden. Dit is rechtstreeks gekoppeld aan de kans van hoogwater op de Maas.

In deze rapportage is uitgegaan van een maximale grondwaterstand die hoort bij een hoogwater met een overschrijdingskans van 1/100 per jaar.

3 De grondwatereffecten op kelders

3.1 Effecten algemeen: grondwateroverlast of constructieve schade

Wanneer de grondwaterstand hoger komt dan de vloer van een kelder, kunnen er in principe twee dingen gebeuren:

- a) Het grondwater lekt door naden tussen de wand en de vloer of door lekkages in de vloer of de wanden, daardoor komt water in de kelder. Het waterpeil in de kelder wordt hoger naarmate de grondwaterstand buiten de kelder hoger wordt. Het grondwater buiten de kelder drukt dan tegen de vloer en wanden terwijl het water in de kelder voor tegendruk zorgt. Daardoor blijft de netto druk op vloer en wanden van de kelder beperkt. Water in de kelder is daarmee gunstig voor de constructie van de kelder zelf, maar natuurlijk niet voor de bruikbaarheid van de kelder; om schade aan de inboedel te voorkómen moet zo'n kelder voorafgaand aan hoogwater worden ontruimd. Naast mogelijke schade aan de inboedel moet er ook rekening worden gehouden met de afwerking van een kelder. Zo moet voorkomen worden dat kelderwanden worden voorzien van behang wat bijna per definitie na inundatie los zal laten. Dit soort effecten zijn visueel en daardoor hinderlijk.
- b) Het grondwater komt niet door de vloer of wanden tot in de kelder. Het grondwater buiten de kelder geeft druk tegen de vloer en de wanden terwijl er geen tegendruk van binnenuit is. Dat is gunstig voor de bruikbaarheid van de kelder, maar kan ongunstig zijn voor de constructie als die niet op deze druk is berekend. Het gevolg kan zijn dat er scheuren in de vloer of de wanden ontstaan waardoor de kelder alsnog lek is. Ook kan de kelder als geheel "opdrijven" (omhoog komen). In het ergste geval kan een keldervloer of wand constructief bezwijken².

Er kan ook een mix van beide effecten optreden als de kelder enigszins lekt maar het water in de kelder te weinig of niet meestijgt met de grondwaterstand buiten de kelder.

Er zijn dus verschillende factoren die een rol spelen bij de effecten van de Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well op de kelders rondom de Groene Rivier:

- De verandering van de grondwaterstand: wordt deze hoger, en zo ja, komt deze dan boven het vloerniveau van de kelder?
- In het geval dat de grondwaterstand hoger komt dan de vloer gaat het type kelder meespelen. Eerste vraag: laat de constructie van de kelder water door of niet?
- Indien niet of beperkt waterdoorlatend: is de constructie van de kelder dan sterk genoeg om de voorspelde verhoging van de grondwaterstand te kunnen weerstaan? Voor deze laatste vraag is het nuttig als er informatie over de constructieberekeningen van de kelder in het bouwarchief zijn opgenomen – maar dat is in de regel alleen bij nieuwe kelders het geval; en anders moet de constructie op basis van de huidige toestand op sterkte worden beoordeeld.

In voorliggende rapportage ligt de focus op het risico op het voorkomen van constructieve schade. Voor tijdelijke grondwateroverlast die geen constructieve schade veroorzaakt bestaat een regeling voor nadeelcompensatie.

² "Constructief bezwijken" is in deze context bedoeld om aan te geven dat er merkbare schade aan de constructie optreedt. De vorm, omvang en ernst van die schade kan per geval sterk verschillen. Meestal blijft de schade beperkt tot scheurvorming in vloeren of wanden.

3.2 Belasting van een kelder (en de gevolgen daarvan)

Belasting van een kelder moet uiteraard per situatie worden beschouwd, desondanks is het wel mogelijk een eerste indruk te geven van de belastingen die tegen een kelder werken.

Belastingen kunnen worden onderverdeeld in:

- Belasting uit gronddruk
- Belasting door grondwater
- Terreinbelasting
- Belasting uit het bovenliggende gebouw
- Overige belastingen

3.2.1 Belasting uit gronddruk

In Well zijn geen kelders gevonden die volledig ondergronds en zonder bovenliggend gebouw zijn aangelegd. Om die reden wordt de nadruk gelegd op de wanden en de ondervloer van kelders. Een kelder wordt normaal gesproken (deels) onder het maaiveld en dus ondergronds aangelegd. De grond drukt daarbij tegen de kelderwanden. Deze gronddruk is niet constant maar staat onder invloed van grondwater en terreinbelasting die hierna apart worden beschreven.

Gronddruk is afhankelijk van aanwezige bodemopbouw en de diepte van de kelder, twee invloeden die los staan van eventuele grondwaterstandswijzigingen.

Qua grondopbouw zijn er rond Well verschillende omstandigheden. De meeste woningen zijn echter gebouwd op oude zandruggen waardoor “zand” als uitgangspunt voor de grondopbouw kan worden aangehouden. Dit moet per kelder op juistheid worden gecontroleerd.

Voor belasting in relatie tot de diepte van de kelder geldt hoe dieper de kelder, hoe hoger de gronddruk. Naast de diepte van de kelder en de grondsoort is de belasting door grond ook afhankelijk van de grondwaterstand. Het materiaal “grond” (de korreltjes) staat daarbij, net als kelders, onder invloed van de opwaartse druk door grondwater (Wet van Archimedes). Daarnaast oefent ook het grondwater druk uit tegen de kelder.

3.2.2 Belasting door grondwater

Vanuit geotechnisch oogpunt bestaat “grond” uit korrels en water. Voor de “korrels” wordt verwezen naar belasting door gronddruk.

Aanwezigheid van (verhoogd) grondwater kan 3 negatieve gevolgen hebben:

- (Extra) belasting tegen een kelder (en mogelijk schade)
- Lekkage
- Opdrijven van een kelder

Net als bij grond is vooral de hoogte van de grondwaterstand ten opzichte van de keldervloer van belang. Hoe hoger de waterstand, hoe hoger de belasting door dat water. Gelijktijdig wordt de belasting door de “korrels” in de grond bij stijgende grondwaterstanden lager (door de opwaartse waterdruk in het grondwater). Dit is vooral van belang bij de belasting tegen kelderwanden. Keldervloeren ondervinden vooral de invloed van optredende verticaal omhooggerichte waterdruk.

In bijlage 2 wordt onderbouwd hoe de belasting tegen een kelderwand met een hoogte van 2 m toeneemt bij stijgende grondwaterstanden, uitgaande van zandgrond. Hieruit blijkt de belasting tegen kelderwanden bij een beperkte stijging van de grondwaterstand (tot orde 0,5 m boven de keldervloer) maar nauwelijks toeneemt.

Bij een waterstand van 1 m boven de keldervloer neemt de belasting met ongeveer 16% toe. Pas bij nog hogere grondwaterstanden neemt de belasting echt toe. Bij waterstand een kelder tot de bovenzijde van de wand (2 m boven de keldervloer) neemt de belasting met ongeveer 67% toe.

Bij keldervloeren werkt een verhoogde grondwaterstand anders. Waterdruk werkt rechtstreeks tegen de onderzijde van de vloer en drukt verticaal omhoog. Het eigen gewicht van de vloer werkt tegen de waterstand in. Hoe dikker de vloer, hoe meer tegendruk deze door zijn eigen gewicht kan geven. Beton heeft een volume gewicht van 24 tot 25 kN/m³. De opwaartse druk vanuit water is (Wet van Archimedes) gelijk aan de massa van het verdrongen water, 10 kN/m³. Dat wil zeggen dat iedere meter water boven de onderzijde van een keldervloer 10 kN opwaartse druk levert. Voor evenwicht is per meter waterdruk $10/24 = 0,42$ m beton nodig. Andersom bekeken heeft elke cm dikte van een betonvloer evenwicht met 2,4 cm waterdruk. Een 20 cm dikke vloer is dus door enkel zijn eigen gewicht in staat om $20 \times 2,4 = 48$ cm waterdruk te weerstaan. Een 10 cm dikke vloer kan slechts de helft, dus 24 cm waterdruk weerstaan. Naast het eigen gewicht heeft een betonnen keldervloer meestal ook zogenaamde “constructieve sterkte”. Dat wil zeggen dat er door materiaaleigenschappen van beton en door de vaak aanwezige wapening nog extra waterdruk kan worden opgenomen. Om deze constructieve sterkte te kunnen bepalen zijn gegevens van de keldervloer nodig die in de regel niet beschikbaar zijn. Om die reden wordt er bij dunne keldervloeren (t/m 12 cm³) van uitgegaan dat deze een te verwaarlozen constructieve sterkte hebben. In werkelijkheid zullen ook dunne keldervloeren enige constructieve sterkte hebben. Hoe groot die sterkte is hangt af van o.a. de toegepaste wapening. Omdat dergelijke informatie niet beschikbaar is, is de constructieve sterkte verwaarloosd. Daarnaast zou eventuele opslag in een kelder een gunstige invloed kunnen hebben. Het uitgangspunt vanuit veiligheidsoverwegingen is dat de constructie in staat moet zijn de waterdruk te weerstaan omdat een kelder leeg kan zijn voordat hoog water optreedt.

Naast de sterkte van de wanden en de vloeren speelt nog het opdrijven van kelders een belangrijke rol. Een kelder is enorm sterk te maken maar als de massa van de kelder maar klein genoeg is, dan wordt de kelder als geheel alsnog door de opwaartse grondwaterdruk (Wet van Archimedes) belast. In het ergste geval kan een kelder hierdoor opdrijven.

Bij kleine kelders is de massa van de vloeren en de wanden in de regel voldoende om dit te voorkomen maar hoe groter een kelder, hoe ongunstiger de verhouding tussen de lege ruimte in de kelder en de wanden ten opzichte van de mogelijke waterdruk wordt.

Als alle kelderwanden of de hele keldervloer maar voldoende wordt geballast door bijvoorbeeld de massa van het bovenliggende gebouw, dan werkt dat gunstig (tegen de waterdruk in). Vaak is bij een kelders maar boven slechts 1 of soms 2 kelderwanden duidelijke belasting in de vorm van bijvoorbeeld een dragende wand aanwezig. Bij dat soort kelders bestaat het risico dat een kelder scheef (aan 1 zijde) opdrijft. Het gevolg hiervan kan zichtbaar worden in de vorm van scheuren in het bovenliggende gebouw. Opdrijven is alleen te voorkomen door een kelder voldoende massa te geven. Dit kan door de constructie zwaar genoeg uit te voeren of door extra massa aan te brengen. Het “lek” maken van een kelder waardoor deze bewust vol loopt met water is een specifieke vorm van “extra massa aanbrengen”. In deze rapportage wordt ervan uitgegaan dat grond buiten de kelder geen invloed heeft op “opdrijven”. In werkelijkheid is er altijd sprake van wrijving tussen kelder en grond en ligt er grond op de (vaak aanwezige) vloerverbreeding aan de buitenzijde van de kelderwanden.

³ 12 cm vloerdikte is gekozen aan de hand van de inventarisatie van vloerdiktes vanuit het bouwarchief van gemeente Bergen. Uiteraard zegt de dikte van een vloer niets over aanwezigheid van wapening, er mag wel worden verondersteld dat de constructieve sterkte van een vloer met een kleinere dikte zeer beperkt is.

3.2.3 Terreinbelasting

Als op het terrein direct naast een kelder extra belasting wordt aangebracht, heeft dat direct invloed op de belasting tegen de kelderwanden. De meeste kelders bevinden zich zodanig onder woningen dat de kans dat er een terreinbelasting aanwezig is maar klein is. Bij sommige kelders kan een belasting wel aanwezig zijn, denk aan kelders direct naast een openbare weg of tijdelijke situaties waarbij b.v. bouwmaterialen naast een woning zijn opgeslagen. De kans dat er opslag naast een kelder is in combinatie met een hoge grondwaterstand wordt als “zeer klein” ingeschat. Bij een eventuele nadere inventarisatie van kelders kan de mogelijkheid van opslag (of een andere vorm van terreinbelasting) worden meegenomen.

Mocht er wel terreinbelasting aanwezig kunnen zijn, dan moet de invloed daarvan per situatie worden onderzocht, in deze rapportage wordt geen rekening gehouden met terreinbelastingen.

3.2.4 Belasting uit het bovenliggende gebouw

De massa van een gebouw wordt in de regel via de fundering overgedragen naar de ondergrond. Kelders zijn meestal een onderdeel van deze fundering. Het gevolg is dat kelderwanden vaak (maar zeker niet altijd) worden belast door het bovenliggende gebouw. Dit kan een gunstige invloed hebben om opdrijven te voorkomen en om de kelderwanden extra weerstand te geven tegen de grond- en waterdruk. Omdat lang niet altijd een dragende wand boven elke kelderwand aanwezig is, wordt de invloed vanuit het bovenliggende gebouw in deze rapportage niet gebruikt als algemene gunstig werkende belasting. Vooral bij grotere kelders kan opdrijven een serieus risico inhouden. Bij dat soort kelders zal de invloed van het bovenliggende gebouw om opdrijven te voorkomen moeten worden onderzocht.

3.2.5 Overige belastingen

Er zijn altijd situaties of omstandigheden mogelijk waardoor de belasting tegen een kelder anders werkt dan waar in dit onderzoek vanuit wordt gegaan. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan naderhand aangebrachte constructies zoals bijvoorbeeld een koekoek of aanpassingen aan het gebouw boven de kelder. Afwijkingen ten opzichte van beschikbare informatie moet waar mogelijk worden vastgelegd en de invloed van die afwijkingen moet separaat worden onderzocht.

Het eventuele risico van schade door (te) hoge grondwaterstanden moet per kelder worden onderzocht omdat elke kelder anders is gebouwd. Hierbij zijn de afmetingen van de kelder, de dikte van de vloeren en de wanden, de verbindingen tussen wanden en vloeren en het materiaal waaruit de kelder is opgebouwd van belang.

4 Invloeden op en mogelijke maatregelen aan kelders

Naast onderzoek naar beschikbare informatie uit het bouwarchief heeft het waterschap ook bewoners informatie gevraagd over aanwezige kelders. Het waterschap heeft hiertoe een selectie gemaakt van adressen die bij aanwezigheid van een kelder mogelijk schade kunnen ondervinden van een hoge grondwaterstand. De adressen zijn benaderd met een enquête, wat heeft geleid tot nuttig meer inzicht. De belangrijkste informatie uit zowel het bouwarchief als de enquête is samengevat in het overzicht in bijlage 1.

Uit dit overzicht blijkt dat kelders onderling zo sterk van elkaar verschillen dat het maar beperkt mogelijk is om de aanwezige kelders onder te verdelen in op basis van geometrische en constructief vergelijkbare eigenschappen. Het is wel mogelijk om de belasting die tegen de kelders werkt onderling te vergelijken. Om die reden is onderzocht welke kelders wel of juist niet gevoelig zijn voor constructieve schade door hogere grondwaterstanden en daarna, op grond van de mate van (mogelijke) grondwaterstandsstijging welke categorieën daarbij kunnen worden aangehouden.

Vanuit het overzicht van de kelders is onderzocht:

- Welke woningen naar verwachting toch geen kelder hebben (12 van de 102);
- Welke kelders als “lek” mogen worden beschouwd (11 van de 102);
- Welke kelders voldoende hoog zijn gebouwd om geen last te krijgen van grondwateroverlast (9 van de 102);
- Welke kelders door verschillende oorzaken buiten deze rapportage vallen (2 van de 102);
- Welke kelders in eerste instantie als “te complex” moeten worden beschouwd om zonder verdere informatie een zinnige beoordeling te kunnen geven (14 van de 102).

Bij deze kelders is ofwel de verwachting dat deze geen risico op constructieve schade hebben ofwel is op basis van de nu beschikbare informatie nog geen inschatting op mogelijke schade te maken. De kelders zonder risico hebben in het overzicht in bijlage 1 een beschrijving “Type C” meegekregen. De 14 “complexe kelders worden nader onderzocht en krijgen een maatwerk aanpak indien nodig. De overige kelders (54 van de 102) zijn onderling vergeleken en op effecten van grondwaterstandsverhoging verder vergeleken.

Type	Aantal	Opmerking
Geen kelder	12	Verwaarloosbaar risico op constructieve schade
Lekke kelder	11	Verwaarloosbaar risico op constructieve schade
Te hoge kelder	9	Verwaarloosbaar risico op constructieve schade
Buiten de rapportage	2	Kasteel Well en een buitendijkse woning
Complex (maatwerk) *)	14	Groot deel in de Hoenderstraat
Te beschouwen	54	Te vergelijken op basis van effect grondwater
Totaal	102	

*) Onder complex vallen de kelders van recentere datum die geheel van beton zijn en aan de hand van de constructieberekening dienen te worden beoordeeld maar ook kelders die vanwege hun complexiteit of grootte apart worden beoordeeld.

Opgemerkt wordt dat de beschouwing op basis van de nu beschikbare informatie is. Er kunnen meer nog meer kelders blijken te zijn en de informatie per kelder kan worden uitgebreid of zelfs gewijzigd. Daarnaast geldt dat bij “twijfel” (bijvoorbeeld tegenstrijdige of onvolledige informatie) een conservatieve (lees: veilige) keuze is gemaakt. Mogelijk zijn er bijvoorbeeld kelders nu als “te beschouwen” aangehouden terwijl deze al lek kunnen zijn.

Van de 54 te beschouwen kelders zijn verschillende eigenschappen onderling vergeleken. Hierbij spelen de volgende punten een rol:

- Bouwjaar van de kelder (4 van de 54 zijn van na 1995)
- Dikte van de keldervloer mits bekend (bekend bij 21 van de 54 kelders)
- Maximale waterstand (hoogte boven de keldervloer) zonder aanleg van de Groene rivier
- Maximale waterstand (hoogte boven de keldervloer) na aanleg van de Groene rivier
- Wetenschap of kelders al lek zijn (10 van de 54 kelders is volgens de bewoners lek)

4.1 Bouwjaar van de kelder

Zoals opgemerkt zijn 4 van de kelders gebouwd na 1995. Dat wil zeggen dat deze kelders voor zover bekend niet zijn blootgesteld aan de invloed van extreme waterstanden op de Maas waarbij het gebied is geïnundeerd. Van 2 van deze 4 kelders zijn tekeningen (en mogelijk ook berekeningen) aanwezig bij de bewoners. Van de overige kelders zijn van nog eens 15 kelders tekeningen aanwezig bij bewoners. Het meest recente bouwjaar van deze constructies is (voor zover bekend) 2007. In de periode tot 2007 gold nog het Bouwbesluit 2003 met de daarbij behorende normen. Pas met het Bouwbesluit 2012⁴ zijn de huidige normreeksen ingevoerd en van kracht geworden. Dat wil ook zeggen dat alle kelders in dit gebied zijn ontworpen op basis van dezelfde (of onderling vergelijkbare) oude normen.

Op grond van het bouwjaar kan geen onderscheid worden gemaakt tussen de kelders op het vlak van risico op schade door verhoogde grondwaterstanden.

4.2 Dikte van de keldervloeren

Zoals eerder beschreven moet de keldervloer (voornamelijk) de opwaarts gerichte waterdruk opnemen. Bij een dikke keldervloer is dat makkelijker dan bij een dunne vloer, enerzijds vanwege de hogere massa van een dikke keldervloer en anderzijds omdat een dikkere keldervloer een hogere constructieve sterkte heeft. Hoe groot die constructieve sterkte is, hangt er overigens mede af OF er wapening is toegepast.

De dikte van de keldervloer is bij 21 kelders bekend, deze varieert tussen 8 en 20 cm (een eventuele werkvloer heeft geen constructieve waarde en is om die reden buiten beschouwing gelaten).

Opmerkelijk genoeg is de kelder met de dunst bekende vloer (8 cm) gebouwd rond 1952 en geeft de bewoner aan dat de kelder waterdicht is terwijl andere “redelijk vergelijkbare” kelders met een grotere vloerdikte wel als “lek” zijn gemeld.

Het wordt niet verwacht dat er keldervloeren zijn die dunner zijn dan de genoemde 8 cm. De maximaal verwachte vloerdikte ligt rond 20 cm (of wellicht 25 cm) liggen waardoor de invloed van de dikte van de vloer op de mogelijke maatregelen beperkt is ($20 - 8 = 12$ cm dikteverschil, dit komt overeen met $12 \times 2,4 = 28,8$ cm grondwaterstandsverschil).

De invloed van de vloerdikte heeft door dit beperkte verschil nauwelijks invloed op te nemen maatregelen. Voor de kelders waarvan de dikte wel bekend is, kan het eigen gewicht worden meegeteld als tegen de grondwaterdruk inwerkende belasting.

Voor de meeste keldervloeren is de toegepaste wapening onbekend. Op basis van de nu bekende informatie wordt eventuele rekenkundige / constructieve sterkte niet in deze rapportage verwerkt, tenzij specifiek aangegeven.

⁴ Bouwbesluit 2012 in combinatie met de huidige normreeksen (de Eurocodes) wordt hier specifiek benoemd omdat het voorgaande Bouwbesluit (1992) nog was gebaseerd op eerdere normreeksen (de NEN 6700 serie) waarin minder aandacht werd geschonken aan vastlegging van uitgangspunten waardoor de kans dat ontwerpuitgangspunten beschikbaar zijn veel kleiner is.

4.3 Maximale grondwaterstand tegen de kelders

Door de aanleg van de groene rivier ontstaat een andere situatie voor wat betreft de grondwaterstand. Aan de hand van modelberekeningen is de invloed de nieuwe dijken en de nog aan te leggen groene rivier op de grondwaterstand in de binnendijkse gebieden bepaald.

Uiteraard is de hoogte van de grondwaterstand gerelateerd aan de maximaal optredende waterstand in de Maas. Deze is op zijn beurt weer bepaald op basis van reeds opgetreden hoge waterstanden en de verwachte toekomstige ontwikkelingen van die waterstanden. Uitgaande van veilige uitgangspunten vanuit constructief oogpunt worden voor de meeste kelders maximale grondwaterstanden verwacht tussen NAP +13,80 en +14,25 m verwacht zonder aanleg van de groene rivier en tussen NAP +14,40 en 14,70 m als wel rekening wordt gehouden met de invloed van de aan te leggen groene rivier.

Deze grondwaterstanden zullen alleen optreden tijdens extreme waterstanden op de Maas.

Het grote verschil met de situatie vóór 1995 is dat het Maaswater niet meer via het terrein bij de kelders kan komen maar alleen nog als grondwater.

Het verschil met de situatie tussen 1995 en nu (na de dijkaanleg in 1995) is dat toekomstige Maaswaterstanden en daarmee ook de grondwaterstanden een grotere kans op een hogere stand hebben.

Voor de constructieve sterkte van kelders is alleen de maximale grondwaterstand van belang, de kelder moet in staat zijn om de belasting uit deze maximale waterstand veilig te weerstaan.

Er is een enkele kelder in het gebied die maar een beperkte grondwaterstandsstijging (enkele decimeters) krijgt. De meeste kelders zullen hierdoor belast worden door grondwater tussen ongeveer 1,20 en 1,75 boven de vloer in de nieuwe situatie met Groene Rivier.

4.4 Lekke kelders

In de enquête heeft een aantal bewoners aangegeven dat kelders lek zijn of juist niet. Voor de beschouwing van de constructieve veiligheid van een kelder zou deze informatie geen rol mogen spelen. Het is immers niet bekend onder welke omstandigheden een lekkage heeft plaatsgevonden en hoe ernstig de lekkage was. "lek" kan betekenen dat de kelderwanden vochtdoorslag laten zien (ongeacht de grondwaterstand) maar kan ook een echt lek zijn (scheurvorming of een andere schade). Het is onbekend of een eventuele schade om vocht tegen te gaan wordt hersteld en hoe de kelder zich na een eventuele reparatie vanuit constructief oogpunt gedraagt.

Aan de hand van nader onderzoek van een kelder (inclusief het ter plekke beoordelen van de informatie van de bewoner) is het mogelijk een kelder als "lek" te beoordelen. Hierbij moet dan wel duidelijk zijn dat een beoordeling als "lek" ook inhoudt dat er onder bepaalde omstandigheden water in de kelder moet staan en dat dit water bijvoorbeeld ook niet altijd weggepompt mag worden.

4.5 Mogelijke maatregelen

Voor het beschrijven van mogelijke maatregelen aan kelders om de constructieve sterkte te verbeteren wordt eerst een korte samenvatting van de eerdere beschrijvingen gegeven:

Grondwaterstanden in het gebied kunnen wijzigen. Een verlaging van de grondwaterstand heeft nauwelijks tot geen invloed op kelders. Een verhoging van de grondwaterstand betekent een hogere belasting. Hoe groter de verhoging, hoe meer invloed op de belasting tegen de kelder.

Belasting tegen de kelder kan ertoe leiden dat de hele kelder wil opdrijven of dat de vloer of de wanden worden overbelast.

Overbelasting betekent meestal scheurvorming en lekkage van de kelder, in hele extreme gevallen kunnen keldervloer omhoogkomen of kelderwanden naar binnen gedrukt.

In algemene zin is de veiligheid te verbeteren door de constructie te versterken of door de belasting te beperken.

Op basis van deze 2 mogelijkheden worden meerdere mogelijke oplossingen beschreven. Uitgangspunt daarbij is dat de kelder in stand gehouden wordt.

Daarnaast is als uitgangspunt aangenomen dat de meeste kelders een buitenwaterstand tot orde 1,25 m kunnen weerstaan. Uit de berekeningen in bijlage 2 volgt dat de belastingtoename door een grondwaterstandsverhoging tegen de kelderwanden in dat geval met orde 25% toeneemt ten opzichte van de situatie zonder grondwater. Van een belastingtoename tot 25% mag verwacht worden dat deze binnen de grenzen blijft waarbij schade aan de kelder verwacht mag worden.

De waarde van 1,25 m grondwaterstandsstijging als toelaatbare grenswaarde is niet wetenschappelijk te onderbouwen op basis van de nu beschikbare gegevens maar is gebaseerd op expert judgement. Voor de meeste kelders geldt dat deze in het verleden al aan hoge grondwaterstanden zijn blootgesteld. Dit kan door een (tijdelijke) hoge grondwaterstand zijn geweest of door inundatie van het gebied voor 1995 (voordat de dijken zijn aangelegd). Daarbij zijn sommige kelders “lek” gebleken terwijl andere kelders droog zijn gebleven, ondanks hogere grondwaterstanden dan waar in deze rapportage van uit wordt gegaan. De meeste kelders blijken dus een vorm van “verborgen constructieve sterkte” te hebben. Er wordt niet van uitgegaan dat alle kelders een sterkte hebben om een grondwaterstand tot aan het maaiveld op te kunnen nemen, dat is zonder ontwerputgangspunten niet aantoonbaar.

De redenatie van een “beperkte belastingtoename tegen kelderwanden” geldt niet voor keldervloeren, grondwater werkt hier direct tegenaan. Door gebrek aan constructieve gegevens van de keldervloeren wordt alleen de massa (en niet de wellicht aanwezige sterkte) van de vloeren gebruikt om belasting uit grondwater op te kunnen nemen. Iedere toename van waterdruk werkt direct door in de vloer, tweemaal zo grote waterdruk is direct tweemaal zo grote belasting.

In algemene zin zijn er 2 methoden om de invloed van waterdruk weg te nemen, deze kunnen worden samengevat als:

- Wegnemen van de extra belasting;
- Versterken van een kelder.

Beide methoden worden hierna beschreven.

4.5.1 Wegnemen van de extra belasting

Wegnemen van de extra belasting betekent bij kelders dat ofwel de belasting aan de buitenzijde van de kelder wordt weggenomen ofwel dat in de kelder belasting wordt toegevoegd.

Belasting aan de buitenzijde van de kelder is mogelijk door te voorkomen dat grondwater bij de kelder kan komen. Dit kan door de bodem rond een kelder te injecteren (zodat grondwater buiten het geïnjecteerde gebied blijft) of door water direct rond de kelder af te voeren.

Injecteren is een moeilijke en niet altijd even betrouwbare oplossing als het bedoeld is om grondwater permanent tegen te houden. Daarnaast is het maar de vraag welke invloed de injectie heeft op het gebruik van de grond rondom de woning (idealerweise zou tot aan het maaiveld moeten worden geïnjecteerd). Om deze redenen wordt injectie verder niet als oplossing gezien.

Grondwater afvoeren is mogelijk met drainageleidingen en pompen. Het grote nadeel van pompen is de afhankelijkheid van de werking van dat systeem. Drainageleidingen kunnen beschadigd worden of verstopt raken en pompen kunnen uitvallen. Ook deze methode wordt hierdoor niet als betrouwbare oplossing gezien.

Belasting in de kelder toevoegen kan door een kelder te vullen met (bijvoorbeeld) zand maar kan ook door toe te staan dat grondwater de kelder in kan stromen.

Bij het vullen met grond vervalt de functie van de kelder volledig.

Vullen met water betekent dat op het moment dat de grondwaterstand stijgt, water moet worden toegelaten tot de kelderruimte. Het gebruik van de kelder wordt hierdoor beperkt. Ondanks deze

functiebeperking wordt deze oplossing wel als een functionele mogelijkheid gezien. Er kunnen relatief eenvoudig doorlaatconstructies met filterwerking door de vloer of de wanden van de meeste kelders worden aangebracht. Door de vorm en opbouw van die doorlaatconstructie is te kiezen bij welke grondwaterstand water in de kelder wordt ingelaten. Afhankelijk van de opzet van de doorlaatconstructie kan als nadeel ontstaan dat het grondwater achteraf met een pomp uit de kelder moet worden afgepompt. Het voordeel van water toelaten m.b.v. een filterconstructie is dat deze methode technisch gezien zeker is: het haalt de extra belasting weg en daarmee is de onbekendheid van de sterkte van de bestaande constructie ondergeschikt geworden.

Figuur 5 laat een mogelijke opzet voor een filter zien. Deze werkt als een ventiel: bij een grondwaterstand hoger dan de afgestelde hoogte gaat deze lopen.



Figuur 5 Mock-up van een filterconstructie

4.5.2 Versterken van een kelder

De meeste kelders in het gebied zijn relatief klein en bevinden zich binnen (onder) woningen. Het is technisch gesproken mogelijk om versterkingsmaatregelen te treffen aan de buitenzijde van een kelder maar om dat met traditionele methoden te kunnen doen zal de kelder aan de buitenzijde ontgraven moeten worden om deze te kunnen bereiken. Versterken in combinatie met ontgraven is zo ingrijpend dat er niet wordt uitgegaan van deze versterkingsmethode.

Andere versterkingsmethoden die wel vaker worden toegepast worden aan de binnenzijde van de kelder uitgevoerd en gaan ten koste van de beschikbare ruimte in de kelder. Hierbij kan worden gedacht aan het versterken en verzwaren van de vloer en/of de kelderwanden. Daarbij worden als het ware delen van of zelfs een complete nieuwe kelder in de bestaande kelder gebouwd.

Voor gewapende betonvloeren en wanden moet op basis van de huidige normen al snel worden uitgegaan van een dikte van 15 tot 20 cm. Zeker in een kelder met beperkte afmetingen betekent dat nogal wat. Volledig versterken wordt daarom niet als de meest voor de hand liggende oplossing gezien. Versterken van alleen de vloer met een extra betonvloer van 20 cm dikte wordt wel als een mogelijkheid gezien, zelfs als dat ten koste gaat van de vrije hoogte in de kelder.

Voor deze rapportage wordt voor de meeste kelders 20 cm extra betonvloer, inclusief wapening vooralsnog als uitgangspunt aangehouden. Voor kelders met een grotere grondwaterstandsstijging wordt uitgegaan van een betonvloer van 25 cm (i.p.v. 20 cm) dikte. De benodigde vloerdikte heeft naast de maximale grondwaterstand uiteraard ook een relatie met de afmetingen (vloeroppervlak) van de kelder en de (afname van) de stahoogte in de kelder. Een slankere vloer is vaak wel mogelijk maar zal meer stalen wapening vragen om een vergelijkbare sterkte te krijgen. Bovendien heeft een dunnere vloer minder massa en zal daardoor ook minder effectief zijn tegen opdrijven van een kelder.

Het voordeel van het aanbrengen van een constructieve vloer van 20 cm dikte is dat de keldervloer wordt verzaard en versterkt en dat de kerende hoogte van de wanden wordt verkleind. Daarnaast krijgt een kelder door de verzwaring van de vloer meer effectieve massa om opdrijven te voorkomen (0,20 m extra beton komt overeen met 48 cm extra grondwaterstandsverhoging). Daarnaast heeft een vloerversterking extra invloed als deze ook constructief wordt voorzien van wapening en aan de bestaande kelderwand wordt bevestigd.

Overigens mag er bij de meeste (kleinere) kelders van uit worden gegaan dat alleen verzwaren van de vloer al voldoende extra massa geeft om opdrijven te voorkomen. Bij grotere kelders zal dit niet zo makkelijk werken. Bij kleine kelders heeft de massa van de kelderwanden invloed op de totale massa van de kelder. Bij kelders met een groter vloeroppervlak is die invloed veel kleiner waardoor bij grote kelders per m² kelderoppervlak naar verhouding meer extra gewicht moet worden toegevoegd om de opwaartse druk tegen een kelder te kunnen weerstaan.

4.5.3 Samenvatting en mogelijke oplossingen voor de kelders

Uit de eerdere beschrijvingen volgt dat er van de 102 bekende kelders 54 zijn waar maatregelen moeten worden getroffen om de invloed van te hoge grondwaterstanden te beperken.

Van die 54 zijn er 13 met een grondwaterstand die maximaal tot 1,25 m boven de keldervloer komt. Bij de overige 41 kan de grondwaterstand meer dan 1,25 m boven het vloerpeil komen (hoogste waarde is 1,86 m). Voor al deze kelders moeten oplossingen worden gezocht.

Uit een vergelijking van mogelijke oplossingen komen eigenlijk alleen het versterken van de keldervloer en/of het plaatsen van een filterconstructie (doorlaatconstructie) als redelijk betrouwbare en beheersbare oplossingen naar voren.

Gelet op de afmetingen van de kelders (voor zover beschikbaar) kan vaak een keuze tussen beide oplossingen worden gemaakt. Een filterconstructie kan altijd worden toegepast.

Bij kelders met een grondwaterstandsstijging tot 1,25 m zou een verzwaring van de vloer, in plaats van een filterconstructie toegepast kunnen worden.

Bij kelders met een grondwaterstandsstijging van meer dan 1,25 m zal alleen een verzwaring van de vloer niet meer volstaan en moeten naast of in plaats van die verzwaring een filterconstructies worden toegepast.

Verzwaring van de keldervloer gaat ten koste van de beschikbare vrije hoogte in de kelder.

Opgemerkt wordt dat er van 17 kelders tekeningen bij bewoners beschikbaar zijn. Op basis van informatie op deze tekeningen kan de omvang van de maatregelen wellicht worden beperkt.

Daarnaast zijn er kelders waarbij de grondwaterstand ook in de situatie zonder Groene Rivier een risico op schade lopen door de autonome ontwikkeling van de grondwaterstand.

In onderstaande tabel worden de genoemde maatregelen samengevat

Maatregel	Aantal	Opmerking
Geen actie (buiten scope)	1	Kasteel Well
Geen actie (buitendijkse woning)	1	
Geen actie (geen kelder)	12	
Geen actie (geen grondwaterprobleem)	9	
Geen actie (kelder is lek)	11	Vloer tussen wanden
Aanbrengen extra vloer (0,20 m) of filters	13	
Aanbrengen extra vloer (0,25 m) en/of filters	41	Hoge maximale grondwaterstand
Maatwerk en/ of nader onderzoek	14	
Totaal	102	

Opgemerkt wordt dat alle kelders nog moeten worden gecontroleerd, gegevens uit het bouwarchief zijn in sommige gevallen incompleet of achterhaald. Ook volgt uit enquêteresultaten informatie die in sommige gevallen de gegevens uit het bouwarchief bevestigen of aanvullen maar die er soms ook van afwijken.

5 Vervolgproces

In deze rapportage is gekeken naar de kans op constructieve schade bij een waterstand met een optreden van eens per honderd jaar bij een klimaatscenario in 2075. Dit komt overeen met een waterstand van NAP +15,99 m op de Maas.

Bij de analyse blijkt dat er veel onbekend is t.a.v. de constructie van de kelders. De analyse is daarom gebaseerd op expert judgement en veilige aannames.

Er zijn twee maatregelen die afzonderlijk of soms in combinatie de sterkte van de kelder kunnen borgen:

- water toelaten, of
- de kelder inpandig verzwaren en versterken.

De definitieve keuze hangt samen met het gebruik en een te maken nadere risicoafweging. Ook dient er meegenomen te worden of de kelder ook al niet risico loopt zonder Groene Rivier.

Om een definitieve keuze voor de te nemen maatregelen te kunnen maken, moet eerst worden nagegaan of de beschikbare informatie per kelder correct is door alle kelders ter plekke te onderzoeken.

Daarnaast moet in overleg met de gebruikers en vooral de eigenaren van de kelders worden afgestemd welke maatregel in de betreffende kelder mogelijk en wenselijk is om een definitieve keuze te kunnen maken.

Van de kelders waarvan (ook na onderzoek) onvoldoende informatie beschikbaar is, zal verder onderzoek moeten worden uitgevoerd. Naar verwachting betreft dit voornamelijk de kelders die in deze rapportage als maatregel "Maatwerk en/ of nader onderzoek" hebben meegekregen. Van een deel van deze kelders zal dit onderzoek bestaan uit het nader onderzoeken van de informatie uit het bouwarchief (ontwerpuitgangspunten), bij enkele kelders zal daarnaast nader onderzoek tot en met het nemen van monsters en laboratoriumonderzoek nodig kunnen zijn.

In een enkel geval bestaat het risico dat ook diepgaand onderzoek niet tot een passende oplossing leidt.

Bijlage 1 Overzicht kelders

Bijlage 2 Bepaling gronddruk tegen een kelderwand

Voor de eenvoud is uitgegaan van een kelderwand met een vaste hoogte van 2,0 m van onderzijde vloer tot maaiveld. Deze waarde komt redelijk overeen met de kelderafmeting zoals die uit het bouwarchief blijkt.

Kelderwanden worden belast door grond. Grond is opgebouwd uit korrels en uit water, beiden werken op een eigen tegen een kelderwand. Waterdruk is alzijdig, dat wil zeggen dat de spanning in water in alle richtingen gelijk is. Bij korrels werkt dat anders. Er bestaat een factor die als omrekening kan worden gebruikt om verticale spanning in de grond te vertalen naar horizontale spanning tegen een kelderwand. In dit geval wordt uitgegaan van zandgrond met een volumegewicht van 20 kN/m^3 voor volledig met water verzadigde grond en van 18 kN/m^3 voor aardvochtige grond.

Als verhouding tussen verticale en horizontale spanning wordt $k_n = 0,5$ aangehouden.

Er worden 4 verschillende situaties vergeleken:

1. De grond is aardvochtig over de hele hoogte van de kelderwand
2. De grondwaterstand ligt op 0,5 m boven de keldervloer
3. De grondwaterstand ligt op 1,0 m boven de keldervloer
4. De grondwaterstand ligt op 1,5 m boven de keldervloer
5. De grondwaterstand ligt op 2,0 m boven de keldervloer

De resulterende belasting (in kN) wordt per situatie strook van 1 m breed) bepaald en vervolgens vergeleken met de totale belasting in situatie 1 (aardvochtige grond).

De grond is aardvochtig over de hele hoogte van de kelderwand

Verticale spanning ter hoogte van de onderzijde van de wand is $2 \times 18 = 36 \text{ kN/m}^2$ (korreldruk).

De horizontale spanning (korreldruk) is dan $0,5 \times 36 = 18 \text{ kN/m}^2$

De totale horizontale spanning is 18 kN/m^2 .

De totale optredende kracht is dan $0,5 \times 18 \times 2 = \mathbf{18 \text{ kN}}$

De grondwaterstand ligt op 0,5 m boven de keldervloer

Verticale spanning op 0,5 m boven de keldervloer is $1,5 \times 18 = 27 \text{ kN/m}^2$ (korreldruk).

Verticale spanning ter hoogte van de onderzijde van de wand is $27 + 0,5 \times 20 = 37 \text{ kN/m}^2$ (5 kN/m^2 waterdruk en 32 kN/m^2 korreldruk).

De maximale horizontale spanning is gelijk aan $5 + 0,5 \times 32 = 21 \text{ kN/m}^2$.

Ten opzichte van het voorgaande belastinggeval wordt over een hoogte van 0,5 m een extra spanning toegevoegd die verloopt van 0 naar 3 kN/m^2 .

De totale optredende kracht is dan $0,5 \times 18 \times 2 + 0,5 \times 0,5 \times 3 = \mathbf{18,75 \text{ kN}}$

De grondwaterstand ligt op 1,0 m boven de keldervloer

Verticale spanning op 1 m boven de keldervloer is $1 \times 18 = 18 \text{ kN/m}^2$ (korreldruk).

Verticale spanning ter hoogte van de onderzijde van de wand is $18 + 1 \times 20 = 38 \text{ kN/m}^2$ (10 kN/m^2 waterdruk en 28 kN/m^2 korreldruk).

De maximale horizontale spanning is gelijk aan $10 + 0,5 \times 28 = 24 \text{ kN/m}^2$.

Ten opzichte van het voorgaande belastinggeval wordt over een hoogte van 1,0 m een extra spanning toegevoegd die verloopt van 0 naar 6 kN/m^2 .

De totale optredende kracht is dan $0,5 \times 18 \times 2 + 0,5 \times 1 \times 6 = 21 \text{ kN}$

De grondwaterstand ligt op 1,5 m boven de keldervloer

Verticale spanning op 1,5 m boven de keldervloer is $0,5 \times 18 = 9 \text{ kN/m}^2$ (korreldruk).

Verticale spanning ter hoogte van de onderzijde van de wand is $9 + 1,5 \times 20 = 39 \text{ kN/m}^2$ (15 kN/m² waterdruk en 24 kN/m² korreldruk).

De maximale horizontale spanning is gelijk aan $15 + 0,5 \times 24 = 27 \text{ kN/m}^2$.

Ten opzichte van het voorgaande belastinggeval wordt over een hoogte van 1,5 m een extra spanning toegevoegd die verloopt van 0 naar 9 kN/m².

De totale optredende kracht is dan $0,5 \times 18 \times 2 + 0,5 \times 1,5 \times 9 = 24,75 \text{ kN}$

De grondwaterstand ligt op 2,0 m boven de keldervloer

Verticale spanning ter hoogte van de onderzijde van de wand is $2 \times 20 = 40 \text{ kN/m}^2$ (20 kN/m² waterdruk en 20 kN/m² korreldruk).

De horizontale spanning (korreldruk) is dan $0,5 \times 20 = 10 \text{ kN/m}^2$

De horizontale spanning (waterdruk) is 20 kN/m²

De totale horizontale spanning is $10 + 20 = 30 \text{ kN/m}^2$.

De totale optredende kracht is dan $0,5 \times 30 \times 2 = 30 \text{ kN}$

Resumerend werkt er een totale horizontale kracht tegen een strook (breedte 1 m en hoogte 2 m) van een kelderwand met de volgende waarden:

Hoogte grondwater t.o.v. keldervloer	Kracht [kN]	Toename [kN] (%)
0	18,0	NVT (uitgangspunt)
0,5	18,75	0,75 (4,2)
1	21,0	3,0 (16,7)
1,5	24,75	6,75 (37,5)
2	30,0	12,0 (67)