

## Nationale aanpak funderingsproblematiek

Aard, omvang en technische maatregelen



## **Inbreng voor Rapport Nationale aanpak funderingsproblematiek**

Aard, omvang en technische maatregelen

### **Auteur(s)**

Dr. Ir. M. Korff

Ir. M. Post

Dr. G. Erkens

Dr. Ir. C.P.W. Geurts, TNO

### **Partners**

TNO Mobility & Built Environment, Delft

## Nationale aanpak funderingsproblematiek

Aard, omvang en technische maatregelen

<b>Opdrachtgever</b>	Raad voor de leefomgeving en infrastructuur
<b>Contactpersoon</b>	Drs. Ing. J. Stok
<b>Referenties</b>	Zie document
<b>Trefwoorden</b>	fundering, schade, bodem, aard, omvang, houten palen, maatregelen

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	29-02-2024
<b>Projectnummer</b>	11210049-002
<b>Document ID</b>	11210049-002-GEO-0001
<b>Pagina's</b>	56
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	Definitief

### Auteur(s)

	Dr. Ir. M. Korff	
	Ir. M. Post	
	Dr. G. Erkens	
	TNO -> Dr. Ir. C.P.W. Geurts	

# Samenvatting

Elk gebouw in Nederland heeft een fundering, deze kan gemaakt zijn van houten palen, van metselwerk of van beton. Geen enkel gebouw kan zónder fundering. Door diverse oorzaken zoals bodemdaling, aanhoudende droogte en lage waterstanden ondervinden steeds meer Nederlanders en de Nederlandse samenleving als geheel last van schade of overlast aan hun woning vanuit de fundering. Door klimaatverandering komt dit vaker en op meer plaatsen voor. In sommige, vooral oudere, steden zijn funderingsproblemen al decennia onderwerp van studie en aanpak. In veel andere regio's is er nog weinig bewustwording rondom deze problematiek. Funderingsschade aan gebouwen is een groeiend en complex probleem en speelt in grote delen van Nederland. Dit is een gevolg van leven in een laaggelegen land met veel slappe bodems. Het is niet alleen een technisch en financieel probleem, maar ook een omvangrijk maatschappelijk probleem.

De Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli) vroeg Deltares en TNO om een overzicht van de actuele stand van de technische kennis over de aard en de omvang van de funderingsproblematiek. Deltares onderzocht de oorzaken en de interactie tussen de ondergrond en fundering. TNO onderzocht de gevolgen en constructieve maatregelen voor de bovenbouw, het gebouw op de fundering. Deze kennis is in dit rapport samengevat en komt overeen met de hoofdstukken 3 t/m 6 van deel II van het Rli-advies '*Goed gefundeerd: advies om te komen tot een nationale aanpak funderingsproblematiek*' zoals gepubliceerd op 29 februari 2024.

Dit rapport geeft inzicht in de aard en omvang van de funderingsproblematiek, hoe de staat van een fundering is te beoordelen en welke technische maatregelen mogelijk zijn om schade te herstellen of te voorkomen.

## Aard funderingsproblematiek

De oorzaak van schade aan gebouwen ligt vaak in een opeenvolging van veranderingen in de omgeving (bijvoorbeeld een verlaagde grondwaterstand of infrastructurele werkzaamheden) en processen in de bodem en de fundering. Het uit zich meestal door zichtbare schade aan het gebouw. Deze aspecten worden in dit rapport nader toegelicht. Processen in de bodem zijn bijvoorbeeld bodemdaling of -stijging veroorzaakt door consolidatie, kruip, oxidatie van veen en krimp of zwelgedrag van klei. Afhankelijk van het type fundering (ondiep of op houten dan wel betonnen palen) kan dit effecten hebben zoals aantasting van houten funderingen, negatieve kleef, verschilvorming of verlies van draagkracht. In gebouwen kan dit vervolgens leiden tot scheefstand, scheurvorming of vochtproblemen.

## Omvang funderingsproblematiek

Op basis van het in 2019 door Deltares ontwikkelde funderingsrisicomodel blijkt dat een groot deel van de gemeenten in Nederland een bepaalde mate van risico loopt. Nieuw is dat op basis van beschikbare gegevens specifiekere schattingen zijn gemaakt over de hoeveelheid gebouwen in heel Nederland die kwetsbaar zijn. Het gaat op de korte termijn om ongeveer 425.000 gebouwen die een verwachte technische levensduur korter dan vijftien jaar hebben. Iets minder dan een kwart hiervan is gefundeerd op houten palen; de overige gebouwen hebben een ondiepe fundering. Gebouwen met betonnen paalfunderingen zijn meestal niet kwetsbaar. Op langere termijn (in de komende 25 jaar) kan het aantal gebouwen met een beperkte technische levensduur fors toenemen, vooral door een toename van gebouwen met

ondiepe fundering die kwetsbaar worden door klimaatverandering. Daarnaast treedt er door genoemde processen ook schade op aan infrastructuur en openbare ruimte.

De verwachtingen voor het aantal kwetsbare gebouwen in de toekomst zijn van vele aspecten afhankelijk. Naast klimaatverandering, ontbrekende informatie en kennis en veroudering van gebouwen spelen bijvoorbeeld ook beleidseffecten een rol, zoals de uitvoering van de vernattingsopgave, die zowel positieve als negatieve effecten kan hebben op de funderingsproblematiek en stedelijke vernieuwing.

### **Beoordelen van de staat van de fundering en technische maatregelen**

Om de technische restlevensduur van een fundering te kunnen bepalen en om vast te stellen of er maatregelen nodig zijn, dient de staat van de fundering en gebouw te worden beoordeeld. In dit rapport is een voorzet gegeven voor de informatie die nodig is voor het opstellen van een dergelijke beoordeling; hierbij wordt een grof-naar-fijn aanpak voorgesteld. Deze aanpak start met archiefonderzoek en kan worden uitgebreid met inspectie van de bovenbouw en uiteindelijk zo nodig met een funderingsonderzoek.

Indien de staat van de fundering onvoldoende is, zijn technische maatregelen nodig. Er zijn technische maatregelen voor zowel bestaande bouw als voor nieuwbouw en openbare ruimte mogelijk om de effecten van de funderingsproblematiek te verkleinen danwel te voorkomen.. Enkele voorbeelden hiervan zijn het herstellen van schade, grondwaterstandsbeheer en het aanbrengen van een volledig nieuwe (paal) fundering.

### **Meer specifieke informatie en kennis nodig**

Aanvullend op de bestaande technische maatregelen voor herstel en preventie van schade is het zinvol om op specifieke aspecten meer kennis en/of inzicht te ontwikkelen. Hierdoor kan in de toekomst beter worden beoordeeld welke maatregelen waar nodig zijn. Het gaat dan vooral om het verzamelen van informatie over type fundering per gebouw, het reguleren en beter modelleren van grondwater, het ontwikkelen van kennis rondom krimp-zwelgedrag van kleilagen en het monitoren en beperken van bodemdaling.

# Summary

Every building in the Netherlands has a foundation, which can be made of wooden piles, masonry or concrete. No building can sustain without a foundation. Due to various causes such as land subsidence, persistent drought and low water levels, more and more Dutch homeowners and Dutch society as a whole are experiencing damage to their homes originating from its foundation. Due to climate change, this is happening more often and in more places. In some, especially older cities, foundation problems are already studied and addressed for decades. In many other regions there is still limited awareness of this problem. Foundation damage to buildings is a growing and complex problem for large parts of the Netherlands. This is a result of living in a low-lying country with soft soils. It is not only a technical and financial problem, but it is also a large social problem.

The Dutch Council for the Living environment and Infrastructure (Rli) asked Deltares and TNO for an overview of the current state of technical knowledge regarding the nature and scale of the foundation problems. This knowledge is summarized in this report and corresponds to Chapters 3 to 6 of Part II of the Rli-advice *'Goed gefundeerd: advies om te komen tot een nationale aanpak funderingsproblematiek'* as published on 29 February 2024.

The purpose of this document is to provide insight into the nature and scale of the foundation problems, how the condition of a foundation can be assessed and what technical measures are possible to repair or prevent damage.

## Nature of foundation problems

The cause of damage to buildings often lies in a succession of changes in the environment (for example lowering of the groundwater level or infrastructural construction work), and processes in the soil and foundation. Most of the time the problems become apparent due to visible damage to the building. These aspects are further described in this report. Processes in the soil include land subsidence or rise caused by consolidation, creep, oxidation of peat or shrink/swell of clay. Depending on the foundation type (shallow, wooden or concrete piles) this may cause damage to wooden foundations, negative skin friction, differential deformations or loss of load-bearing capacity. In buildings this in turn can lead to tilting, cracking or moisture problems.

## Scale of foundation problems

Based on the foundation-risk-model developed by Deltares in 2019 it is clear that many municipalities in the Netherlands experience a certain degree of risk. A new analysis with the model indicates that in the short term, approximately 425,000 buildings have an expected technical lifespan of less than fifteen years. Nearly a quarter of these buildings are founded on wooden piles; the other buildings have a shallow foundation. Buildings with concrete pile foundations are usually not vulnerable. In the longer term (in the next 25 years) the number of buildings with a limited technical lifespan may increase significantly, mainly due to an increase in buildings with shallow foundations that become vulnerable to climate change. The processes mentioned may also cause damage to infrastructure and public space.

Future expectations regarding the number of vulnerable buildings depend on many aspects. Besides aspects as climate change, lacking information/knowledge and aging of buildings also policy plays a role, such as the implementation of the *'vernattingsopgave'*, which can have both a positive and negative impact on foundation problems, and urban renewal.

## Assessing the state of the foundation and technical measures

To determine the technical residual life of a foundation and to determine whether measures are necessary, the current state of the foundation and building must be assessed. This report introduces the information required to make such an assessment; a coarse-to-fine approach is proposed. This starts with archive research and can be expanded with an inspection of the building and ultimately with a foundation inspection if necessary.

In case the state of the foundation is insufficient, technical measures are required. This report describes various technical measures that can be taken to reduce or prevent the effects of the foundation problems. There are measures for existing and new buildings and public space. Some examples are damage repair, groundwater level management and the installation of a new (pile) foundation.

## Need for more specific information and knowledge

In addition to the existing technical measures for repair and prevention of damage, it is useful to develop more knowledge and/or insight into specific aspects. This will allow for a better assessment in the future of which measures are necessary when and where. This mainly concerns collecting information about the type of foundation per building, regulating and better modeling of groundwater, developing knowledge about shrink/swell behaviour of clays and monitoring and limiting land subsidence.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
	<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>10</b>
1.1	Leeswijzer	10
1.2	Korte introductie in de funderingstechniek	11
1.3	Verantwoording en erkentelijkheid	12
<b>2</b>	<b>Aard funderingsproblematiek</b>	<b>13</b>
2.1	Veranderingen in de omgeving	13
2.2	Processen in ondergrond en watersysteem	15
2.3	Schadeprocessen in funderingen	20
2.4	Gevolgen voor gebouwen	23
2.5	Gevolgen voor infrastructuur en openbare ruimte	28
2.6	Multicausaliteit	29
<b>3</b>	<b>Huidige omvang funderingsproblematiek en toekomst verwachtingen</b>	<b>31</b>
3.1	Schatting verspreiding funderingsproblematiek bij gebouwen in Nederland	31
3.2	Schatting aantal kwetsbare gebouwen	32
3.3	Schatting verwachte kosten funderingsschade aan gebouwen	34
3.4	Schade aan infrastructuur en openbare ruimte	35
3.5	Toekomstverwachtingen	36
<b>4</b>	<b>Preventie- en herstelmaatregelen</b>	<b>39</b>
4.1	Maatregelen op gebouwniveau voor herstel of verkleinen van bestaande schade	39
4.2	Maatregelen om nieuwe schade te voorkomen aan bestaande gebouwen	40
4.3	Maatregelen tegen funderingsschade bij nieuwbouw	43
4.4	Maatregelen tegen gevolgen van bodemdaling in de openbare ruimte	43
4.5	Ontwikkelen van kennis en inzicht	44
<b>5</b>	<b>Beoordelen restlevensduur bestaande funderingen</b>	<b>47</b>
5.1	Normenserie voor bestaande bouw	47
5.2	Richtlijnen voor beoordelen bestaande funderingen	49
5.3	Benodigde informatie voor het opstellen van een beoordeling	51
5.4	Beoordeling van grof naar fijn: mogelijke stappen	52
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>54</b>



# 1 Inleiding

Elk gebouw in Nederland heeft een fundering, deze kan gemaakt zijn van houten palen, van metselwerk of van beton. Geen enkel gebouw kan zónder fundering. Door diverse oorzaken zoals bodemdaling, aanhoudende droogte en lage waterstanden ondervinden steeds meer Nederlanders en de Nederlandse samenleving als geheel last van schade of overlast aan hun woning vanuit de fundering. Deze problemen komen niet alleen voor bij funderingen op houten palen maar ook bij ondiepe funderingen. Door klimaatverandering komt dit bovendien vaker en op meer plaatsen voor. In sommige, vooral oudere, steden zijn funderingsproblemen al decennia lang onderwerp van studie en aanpak. In veel andere regio's is er nog weinig bewustwording rondom deze problematiek. Oplossingen zijn vaak kostbaar, ingrijpend en moeten ook technisch goed worden uitgevoerd. Niet iedereen kan of wil investeren in benodigde oplossingen, preventieve maatregelen en/of funderingsherstel. De problematiek kan leiden tot verslechtering van het woonklimaat in een wijk of buurt door negatieve effecten op woningwaarde en onzekerheid bij eigenaren.

Reden voor de demissionaire minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK), mede namens de demissionaire ministers van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), om een adviesaanvraag te doen bij de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli). Om tot een advies te komen is de Rli-commissie "Nationale aanpak Funderingsproblematiek" in het leven geroepen.

De Rli heeft Deltares en TNO gevraagd om de commissie te ondersteunen door een overzicht te geven van de actuele technische kennis rondom funderingsproblematiek. In deze rapportage is dit overzicht gepresenteerd. De teksten en figuren in de hoofdstukken 2 t/m 5 van deze rapportage komen overeen met de hoofdstukken 3 t/m 6 in het achtergronddocument deel II van het Rli Advies "*Goed gefundeerd: advies om te komen tot een nationale aanpak funderingsproblematiek*" zoals gepubliceerd op 29 februari 2024.

Voor de volledigheid wordt nog benoemd dat funderingsproblematiek ook voor komt bij openbare ruimte en infrastructuur. In deze rapportage wordt de focus gelegd op funderingsproblematiek bij gebouwen en de direct omringende openbare ruimte en beperken we ons tot Nederland.

## 1.1 Leeswijzer

Deze rapportage geeft een overzicht van de actuele technische kennis rondom funderingsproblematiek aan de hand van de volgende hoofdstukken:

2. Wat is funderingsschade en hoe wordt het veroorzaakt?
3. Waar en hoe vaak komt funderingsschade voor in Nederland en wat is de toekomstverwachting rondom funderingsproblematiek?
4. Welke beschikbare maatregelen zijn er voor herstel en preventie van schade?
5. Hoe wordt de technische restlevensduur van bestaande funderingen beoordeeld?

Voor de lezer die niet bekend is met het onderwerp is het zinvol eerst paragraaf 1.2 door te nemen waar een korte introductie wordt gegeven op de funderingstechniek en de daar gebruikte begrippen.

## 1.2 Korte introductie in de funderingstechniek

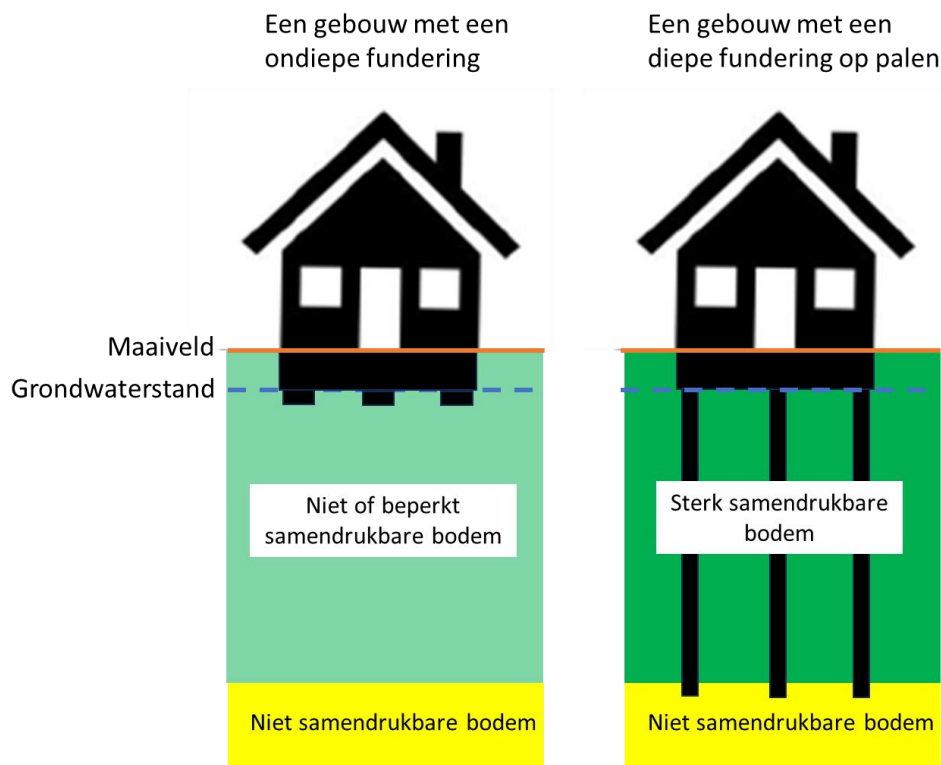
Alle objecten en constructies in de fysieke wereld om ons heen zijn via een fundering verbonden met de ondergrond. Het gaat dan niet alleen om gebouwen, maar ook om alle infrastructuur, zowel boven als onder de grond. Dus wegen, spoorwegen, bruggen, viaducten, sluizen, hoogspanningsmasten, kabels en leidingen, tunnels, kademuren etcetera. De fundering vormt de verbinding tussen de ondergrond en de constructie. De fundering kan gemaakt zijn van houten palen, van metselwerk of van beton. Door verschillen in bouwmethode, bouwperiode, ondergrond en lokale ervaringen zijn er veel typen funderingen.

De typen funderingen zijn bij gebouwen in twee hoofdgroepen te onderscheiden, namelijk een ondiepe fundering (ook wel 'fundering op staal' genoemd) en een diepe fundering (met houten of betonnen palen), zie Figuur 1.1. Of er een diepe of ondiepe fundering nodig is onder een gebouw hangt in principe af van de samendrukbaarheid van de bodem en het gewicht van het gebouw. Als de ondergrond bestaat uit niet of beperkt samendrukbare grondlagen, zoals zandige lagen en/of stijve klei, én het gebouw niet te zwaar is kan een ondiepe fundering worden toegepast. In andere gevallen is een diepe fundering op palen nodig. In de praktijk echter, met name bij oudere gebouwen, was de afweging tussen beide typen funderingen niet altijd zo eenduidig. Hier speelden ook andere zaken een rol zoals de beperkt beschikbare kennis over de ondergrond.

Bij zowel ondiepe als diepe funderingen is sprake van een balkconstructie waar het gebouw op is aangebracht. Deze balken of funderingsstroken bestaan uit hout, metselwerk (oudere gebouwen) of beton (nieuwere gebouwen). Bij een diepe fundering rusten deze balken op palen en bij een ondiepe fundering rusten deze balken direct op de bodem. De onderkant van de balken heeft doorgaans een diepte van 80-100 cm onder maaiveld – daarmee ligt de onderkant van de fundering vorstvrij. Hiermee wordt voorkomen dat schade aan de constructie ontstaat door bevriezen van water onder de fundering. Bij funderingen op palen is het verder belangrijk onderscheid te maken in het materiaal van de palen. Bij oudere gebouwen is dat meestal hout en bij modernere gebouwen is dat meestal beton.

De wanden van het gebouw (het opgaand werk) zijn in Nederland doorgaans uitgevoerd als metselwerk (baksteen, kalkzandsteen) of in ter plaatse gestort beton. Dit laatste kan in de vorm van blokken of complete constructieve elementen als wanden.

De oorzaak van de funderingsschade ligt vaak in de (verandering van) de grondwaterstand, en de hier sterk aan gerelateerde bodemdaling, die door de eeuwen heen in ons land heeft plaatsgevonden. Verder zijn er diverse andere oorzaken waarop verderop in deze rapportage uitgebreider wordt ingegaan.



*Figuur 1.1. Illustratie van een ondiepe en diepe fundering. In de figuur is verder het maaiveld aangeduid (bovenste niveau van de bodem) en de grondwaterstand. De grondwaterstand is de overgang tussen de niet volledig met water verzadigde bodem direct onder het maaiveld en de diepere bodem wel volledig met water verzadigd. De grondwaterstand is een belangrijke maat bij het ontwerp en onderhoud van de fundering. In polders is de grondwaterstand afhankelijk van het peilbeheer, kwel of wegzijging en de neerslag en verdamping.*

### 1.3 Verantwoording en erkentelijkheid

De teksten in hoofdstuk 2 t/m 5 van deze rapportage komen overeen met hoofdstuk 3 t/m 6 van het achtergronddocument deel II van het Rli-advies. Diverse mensen en organisaties hebben bijgedragen aan de totstandkoming van deze teksten.

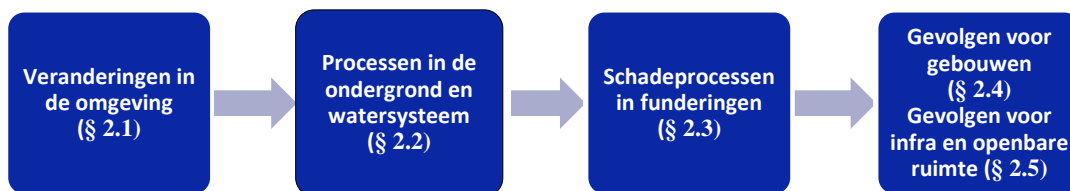
- De bijdragen rondom ondergrond en fundering komen van Dr. Ir. M. Korff en Ir. M. Post, Deltares. Dit betreft delen van H2, 3, 4 en 5.
- De bijdragen rondom omvang funderingsproblematiek in H3 komen van Dr. Ir. M. Korff met medewerking van Dr. N. Nappo, Deltares.
- De bijdragen rondom de bovenbouw, het deel van het gebouw boven de grond, komen van Dr. Ir. C.P.W. Geurts, TNO. Dit betreft delen van H2, 3, 4 en 5.
- De bijdragen rondom veranderingen in de omgeving, processen in de ondergrond (bodemdaling) en grondwaterbeheersmaatregelen komen van Dr. G. Erkens, Deltares. Dit betreft delen van H2, 3 en 4.

Inhoudelijke review van de teksten heeft plaats gevonden door de overige leden van het Deltares/TNO projectteam die niet de hoofdauteur waren van het betreffende deel.

De teksten zijn uitvoerig tegen gelezen, becommentarieerd en bewerkt door het Rli-projectteam 'funderingsproblematiek' ten behoeve van helderheid en structuur. Ten slotte heeft Saskia van As van Tekstkantoor Van As de teksten geredigeerd op leesbaarheid.

## 2 Aard funderingsproblematiek

Veel factoren hebben invloed op funderingsproblematiek. De verbanden kunnen als volgt worden weergegeven (zie Figuur 2.1):



Figuur 2.1. Oorzaak-gevolgrelaties bij funderingsproblematiek.

De veranderingen in de omgeving die aanleiding geven tot processen in de ondergrond (waar zich funderingen bevinden), beschrijven we in § 2.1. De processen in de ondergrond die kunnen volgen uit deze veranderingen in de omgeving, komen aan de orde in § 2.2. De fundering van een gebouw kan meer of minder gevoelig zijn voor de effecten vanuit de ondergrond. Een constructie die op lange betonnen palen staat in een stevige diepe zandlaag, zal weinig gevoelig zijn voor veranderingen. Terwijl kortere, ondiepere en /of houten palen juist wél worden beïnvloed. De interacties tussen de bodemprocessen en de fundering bepalen of er schade kan ontstaan; deze interacties lichten we nader toe in § 2.3.

Zowel de processen in de ondergrond en het watersysteem als de schadeprocessen in de funderingen kunnen gevolgen hebben voor constructies: gebouwen, infrastructuur en de openbare ruimte. De gevolgen voor gebouwen staan beschreven in § 2.4. De gevolgen voor infrastructuur en de openbare ruimte staan beschreven in § 2.5.

Bovenstaande figuur laat zien dat het een schakeling van factoren is die bepaalt of er schade aan constructies optreedt. Veel factoren zijn van invloed op de uiteindelijke schade. En die factoren zelf zijn constant aan verandering onderhevig. Het is daarom in de meeste gevallen ondoenlijk om de relatieve invloed van factoren exact uit te splitsen. Bijvoorbeeld: klimaatverandering zorgt voor droogte, maar tegelijkertijd kan er sprake zijn van oppervlaktewaterpeilverlaging of grondwateronttrekking. In § 2.6 gaan we dieper in op deze multicausaliteit.

### 2.1 Veranderingen in de omgeving

In deze paragraaf wijzen we de meest relevante veranderingen in de omgeving aan die een rol spelen in de funderingsproblematiek. De meeste veranderingen komen voort uit menselijk handelen. Dit menselijk handelen is niet iets van de laatste decennia; al eeuwen wordt het Nederlandse landschap en grondgebruik door menselijk handelen beïnvloed. Daarnaast zijn er processen in de ondergrond die onafhankelijk zijn van menselijk handelen, maar deze spelen een verwaarloosbare rol in de hier beschreven funderingsproblematiek.

#### **Geschiedenis van menselijke ingrepen in Nederlands landschap en grondgebruik**

In de afgelopen eeuwen is het overgrote deel van Nederland ontwaterd om de draagkracht van de bodem te verhogen en drogere omstandigheden te krijgen. Hiermee werden gebieden geschikt gemaakt voor bebouwing en landbouw. Het oppervlaktewaterpeil in de laaggelegen delen van Nederland wordt dus al eeuwenlang door de mens geregeld. Dit gebeurt onder

meer met een stelsel van sloten en met gemalen. Ook in sommige hoger gelegen delen van het land zijn gebieden waar het oppervlaktewaterpeil wordt geregeld met stuwen in sloten en beken. Parallel aan het ontwateren zijn er gebieden opgehoogd met een puin- of zandlaag. Op die laag werd vervolgens gebouwd. Al deze maatregelen maakten de grond droger en steviger. Maar ze hadden ook tot gevolg dat de bodem daalde. Vooral door de ontwatering van veen- en kleigebieden is er bodemdaling opgetreden. En ook het belasten van slappe grond met een ophooglaag heeft gezorgd voor bodemdaling.

Als gevolg van de bodemdaling kwam het maaiveld weer dichterbij de grondwaterstand te liggen, wat het landgebruik hinderde. In reactie daarop zijn deze gebieden nog dieper ontwaterd of opnieuw opgehoogd. Dit had opnieuw bodemdaling tot gevolg. Deze cyclus is de afgelopen duizend jaar diverse keren doorlopen, met als resultaat dat de veengebieden gemiddeld genomen bijna twee meter zijn gedaald en dat in de stedelijke gebieden tot meters dikke ophooglagen voorkomen. Het gevolg is ook dat met name in het landelijk gebied de oppervlaktewaterpeilen en de grondwaterstanden de afgelopen duizend jaar steeds lager zijn komen te liggen, terwijl ook het maaiveld is gedaald.

Ook in de hoger gelegen gebieden van Nederland zorgt de ontwatering voor diepere grondwaterstanden. In deze landschappen is minder bodemdaling opgetreden, maar het landschap is er wel veel droger dan in de uitgangssituatie.

### Huidige menselijke ingrepen met effecten op fundering van gebouwen

Tot op de dag van vandaag vinden er onder invloed van menselijk handelen veranderingen plaats op en in de Nederlandse bodem. Sommige van de veranderingen resulteren in effecten vanuit de ondergrond waarvoor gebouwen en andere constructies gevoelig zijn.



Figuur 2.2. Veranderingen in de omgeving die bodemprocessen in gang kunnen zetten of kunnen versnellen.

De veranderingen die we hieronder opsommen kunnen indirect aanleiding geven tot funderingsproblematiek, doordat ze bodemprocessen in gang zetten of versnellen (zie § 2.2). Ze kunnen ook direct aanleiding geven tot schade aan funderingen (zie § 2.3).

#### Grondwaterstandverlagingen

De stand van het grondwater kan dalen door:

- Droogte als gevolg van sterke verdamping en neerslagtekort (de voorspelling in de KNMI-scenario's 2023 is dat droogteperiodes langduriger en extremer zullen worden bij een

verder opwarmend klimaat; niet alleen de grondwaterstand wordt hierdoor lager, maar ook het bodemvochtgehalte neemt af door sterke verdamping).

- Oppervlaktewaterpeilverlagingen (oppervlaktewaterpeilen worden veelal verlaagd in reactie op bodemdaling, om de draagkracht te behouden).
- Grondwateronttrekking (bij het onttrekken van grondwater, bijvoorbeeld voor drinkwater of voor beregening, kan de grondwaterstand of grondwaterdruk in de directe omgeving van de winning of bronnering dalen).
- De aanwezigheid van bomen (met name in droge periodes kunnen bomen zorgen voor extreem lage grondwaterstanden doordat wortels bodemvocht en grondwater onttrekken).
- De aanwezigheid van drainerende elementen (dit betreft bijvoorbeeld drainagebuizen die nieuw worden aangelegd of vervangen, maar er zijn ook voorbeelden van lekkende riolering die drainerend werkt en zorgt voor grondwaterstandverlaging).

#### *Grondwaterstandverhoging*

De stand van het grondwater kan stijgen bij vernattingsprojecten of bijvoorbeeld na vervanging van riolering of kademuren.

#### *Aanleg of aanpassing van infrastructuur of objecten*

Bij aanleg van nieuwe infrastructuur of inrichting van openbare ruimte op slappe grond wordt vaak een ophooglaag aangebracht die een belasting vormt voor de ondiepe ondergrond. Bij vervanging of renovatie van infrastructuur of herinrichting van openbare ruimte kunnen de belastingen op de ondergrond worden verhoogd als nieuwe ophooglagen worden aangebracht ter compensatie van bodemdaling.

#### *Trein-, wegverkeer of heiwerkzaamheden:*

Zwaar verkeer en bouwwerkzaamheden kunnen zorgen voor trillingen in de ondergrond. Door deze trillingen kan een fundering of gebouw schade oplopen. Verder leiden deze trillingen mogelijk lokaal tot verdichting van de bodem en daarmee tot zettingsverschillen.

#### *Mijnbouw en delfstoffenwinning:*

Het onttrekken van materialen aan de bodem zorgt voor bodemdaling in de diepe ondergrond via processen zoals samendrukking (consolidatie) en kruip. Indirect kan deze bodemdaling aanleiding geven tot oppervlaktewaterpeilverlagingen (zie hierboven).

Er zijn ook nog autonome processen die aanleiding kunnen geven tot bodemdaling. Hierbij gaat het om:

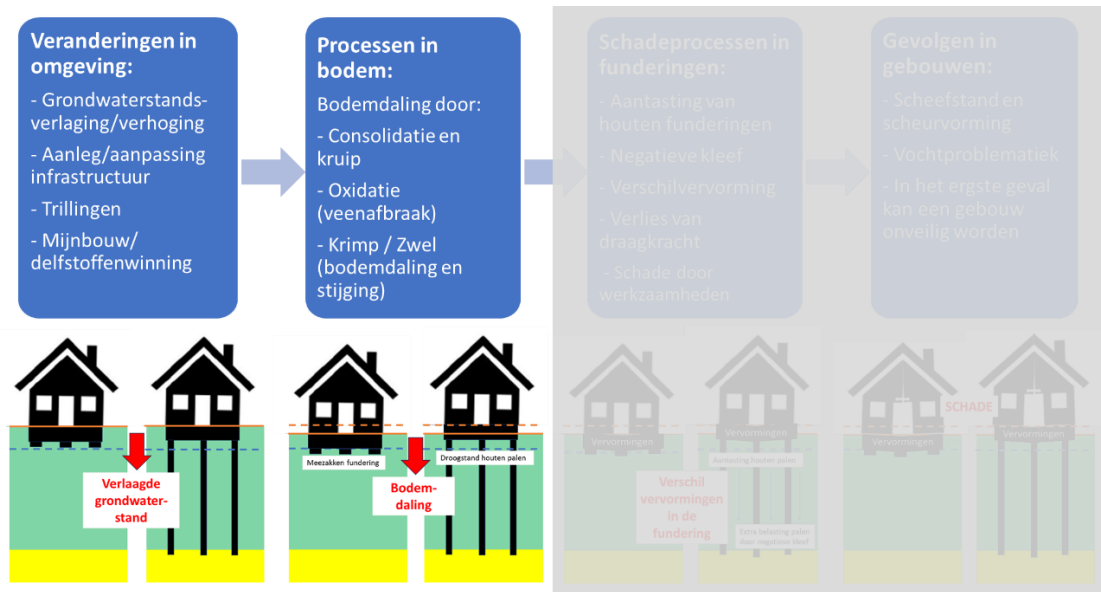
- *Tektoniek* of beweging van aardplaten (bijvoorbeeld de kantelende beweging van het Noordzeebekken).
- *Isostasie* door belasting of ontlasting van de aardplaat door ijs, sediment of water.
- *Autocompactie* van afzettingen (samendrukking onder invloed van het eigen gewicht).

Dit soort inklinkingsprocessen spelen in heel Nederland, maar ruimtelijk verschilt de bijdrage ervan. De resulterende bodemdaling is echter klein (veel minder dan 1 mm per jaar). De invloed van deze processen op de funderingsproblematiek in Nederland is verwaarloosbaar.

## 2.2 Processen in ondergrond en watersysteem

De hiervoor besproken veranderingen in de omgeving kunnen processen in de bodem in gang zetten die leiden tot bodemdaling of bodembeweging (bijvoorbeeld krimp/zwel-gedrag van de bodem). In deze paragraaf geven we een nadere beschrijving van deze processen. Voor de volledigheid merken we op dat bodemdaling slechts één van de factoren is die een rol speelt bij het ontstaan van funderingsproblematiek. Zoals besproken in paragraaf 2.1

kunnen immers grondwaterstandverlagingen ook *rechtstreeks* leiden tot funderingsschade. Datzelfde geldt voor trillingen in de bodem als gevolg van bijvoorbeeld werkzaamheden of zwaar verkeer. Niet alle funderingsschade komt dus door bodemdaling. En bodemdaling heeft méér gevolgen dan alleen funderingsschade. In veel beleidstrajecten zijn de dossiers bodemdaling en funderingsproblematiek niettemin aan elkaar gekoppeld. En ook onderzoeksmatig is er grote overlap.



Figuur 2.3. Het ontstaan van processen in de bodem ten gevolge van veranderingen in de omgeving.

### Bodemdaling

Processen in de bodem die kunnen leiden tot bodemdaling en funderingsproblemen zijn:

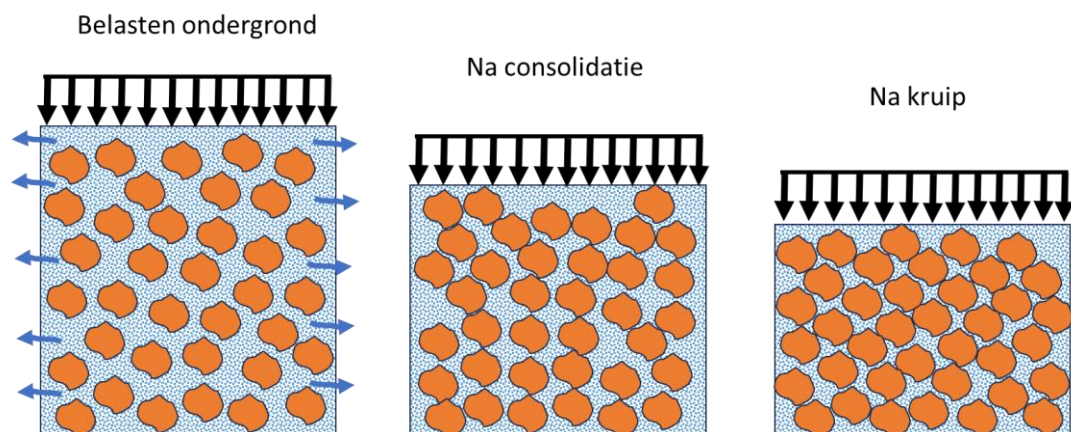
- Consolidatie en kruip.
- Oxidatie van organisch materiaal (veenafbraak).
- Krimp.

We lichten hieronder de werking van deze processen toe.

*Consolidatie* treedt op in verzadigde grond onder de grondwaterstand. Het wordt in gang gezet bij het belasten van de ondergrond, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een ophooglaag en/of bij grondwaterstandverlagingen. Ook het winnen van delfstoffen kan leiden tot consolidatie (en kruip; zie hierna) op grotere diepte. De ondergrond wordt dan samengedrukt onder invloed van het uitstromen van grondwater uit de poriën. Het is te vergelijken met het uitknijpen van een spons. De snelheid waarmee dit proces optreedt hangt af van de doorlatendheid van de grondsoort.

*Kruip* ontstaat door een langzaam optredende herschikking van het korrelskelet. Kruip treedt tegelijk met consolidatie op, maar kan nog lange tijd doorgaan nadat de consolidatie voltooid is.

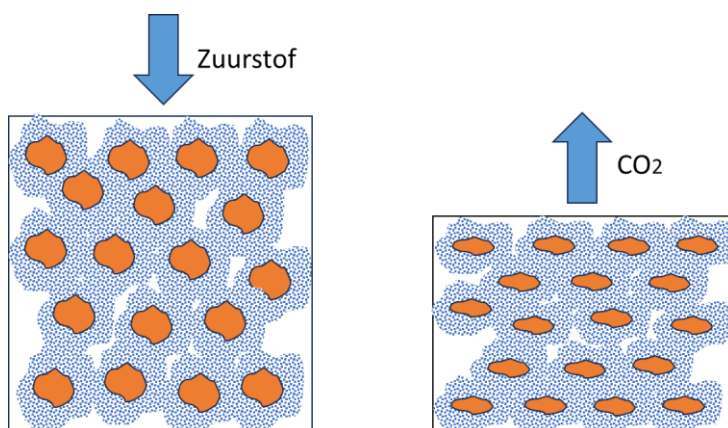
Figuur 2.4 brengt de werking van consolidatie en kruip vereenvoudigd in beeld.



Figuur 2.4. Vereenvoudigde weergave van de werking van consolidatie en kruip.

De hoeveelheid consolidatie en kruip hangt af van de samendrukbaarheid van de ondergrond. In zand is de samendrukbaarheid en kruip laag en gaat consolidatie snel. Ve en klei zijn veel meer samendrukbaar; consolidatie en kruip verlopen hierin langzaam. De samendrukking die optreedt als gevolg van consolidatie en kruip is onomkeerbaar.

*Oxidatie* (afbraak) van organisch (planten)materiaal is een proces dat in lagen rondom en boven de grondwaterstand kan plaatsvinden. Ve en bestaat hoofdzakelijk uit organisch materiaal. Het wordt langzaam afgebroken door micro-organismen (bacteriën en schimmels). De invloed van zuurstof versnelt dit proces. Bij het afbreken van het organisch materiaal wordt de organische stof (uiteindelijk) omgezet in onder andere water en het broeikasgas CO<sub>2</sub>; zie Figuur 2.5



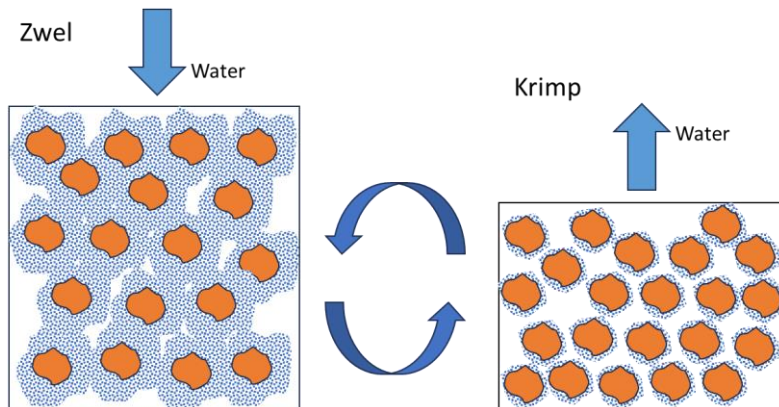
Figuur 2.5. Vereenvoudigde weergave van de werking van oxidatie.

Bij de afbraak verliest het veen sterkte en dit kan leiden tot samendrukking en bodemdaling. Veenafbraak en de resulterende bodemdaling zijn onomkeerbaar. De mate en snelheid van veenafbraak is afhankelijk van de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de bodem, de hoeveelheid en toestand van de organische stof, de pH (zuurgraad) van de bodem, het bodemvochtgehalte, de bodemtemperatuur en vooral de aanwezigheid van zuurstof. Bij verlaging van de grondwaterstand komt het veen meer in contact met zuurstof. Daarom is grondwaterstandverlaging een bepalende parameter voor het optreden van veenafbraak.

*Krimp* is een proces van bodemdaling dat optreedt als het vochtgehalte van de grond afneemt boven de grondwaterstand. De krimpbeving is meestal omkeerbaar (zwell, zie hierna), maar soms ook (in meer of mindere mate) onomkeerbaar. Dat laatste draagt bij aan



permanente bodemdaling. Krimp neemt toe bij ontwatering, drainage en grondwaterstandverlagingen, maar met name bij sterke verdamping en een neerslagtekort (uitdroging van klei). Verdamping door vegetatie speelt een belangrijke rol bij krimp, doordat wortels vocht aan de grond onttrekken. Bij sterke krimp kan scheurvorming optreden, waarbij via de scheuren zuurstof dieper de bodem in kan komen. Dat leidt dan mogelijk weer tot veenafbraak (zie hierboven). Zie Figuur 2.6.



Figuur 2.6. Vereenvoudigde weergave van de werking van krimp-zwel.

Omdat uitdroging *naast* een gebouw en onder een gebouw over korte afstand sterk kan verschillen, geldt dat ook voor de krimpbeweging. Dit gegeven draagt sterk bij aan schaderisico's als gevolg van krimp (en zwel) (zie ook § 2.3 over verschilvorming).

### Bodemstijging

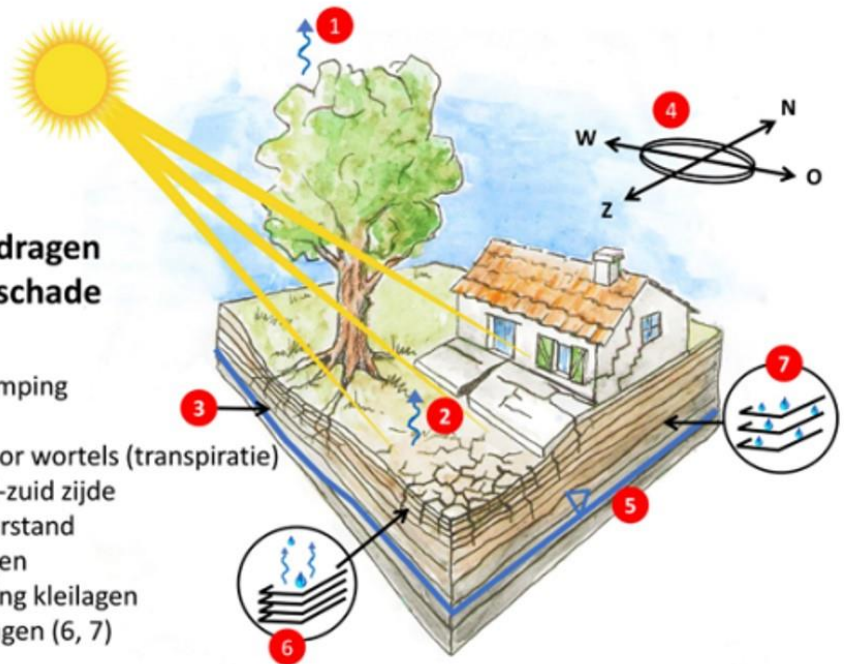
De tegenhanger van krimp is zwel. Dit is een proces dat leidt tot bodemstijging. Zwel treedt normaliter op na krimp, in zogenoemde krimp-zwelcycli over de seizoenen. Seizoenmatige krimp-zwelbewegingen van het maaiveld kunnen gemakkelijk verscheidene centimeters bedragen. Los van de krimp-zwelcycli kan zwel ook structureel zijn. Dit is aan de orde wanneer de ondiepe bodem door veranderingen in de omgeving blijvend natter wordt. Doordat de Nederlandse bodem als gevolg van intensieve en efficiënte drainage/ontwatering sterker uitdroogt en doordat de kans op (sterkere) droogte toeneemt, groeit in natte tijden (als de bodem weer natter wordt) de kans op sterke zwel.

In landen met een droog klimaat komt zwel schade op uitgebreide schaal voor. In Nederland is krimpschade zeer waarschijnlijk dominant, omdat vooral lagen die voorheen verzadigd waren, nu droger worden. Over dit krimp-zwelproces is in Nederland nog relatief weinig bekend. In het buitenland, onder meer in de Verenigde Staten, Australië, het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk, wordt al langer aandacht gegeven aan het voorkómen van schade door dit fenomeen (zie Figuur 2.7). Er wordt rekening mee gehouden bij constructies en er worden bijvoorbeeld adviezen gegeven over de afstand van bomen ten opzichte van bebouwing.

Uit buitenlandse literatuur blijkt dat krimp-zwelgedrag in kleigronden sterk wordt bepaald door het type kleimineraal waar de klei uit bestaat. In Nederland zijn ook kleien aangetroffen die sterk krimp-zwel gedrag vertonen. Dit werd ook al duidelijk door de optredende schadegevallen gedurende de droge zomers in afgelopen jaren. De kans op sterk krimp-zwelgedrag is afhankelijk van de dikte van de kleilaag in de bodemlaag tussen maaiveld en het grondwater. In de Nederlandse ondergrond komen dikke kleilagen veelvuldig boven de grondwaterstand.

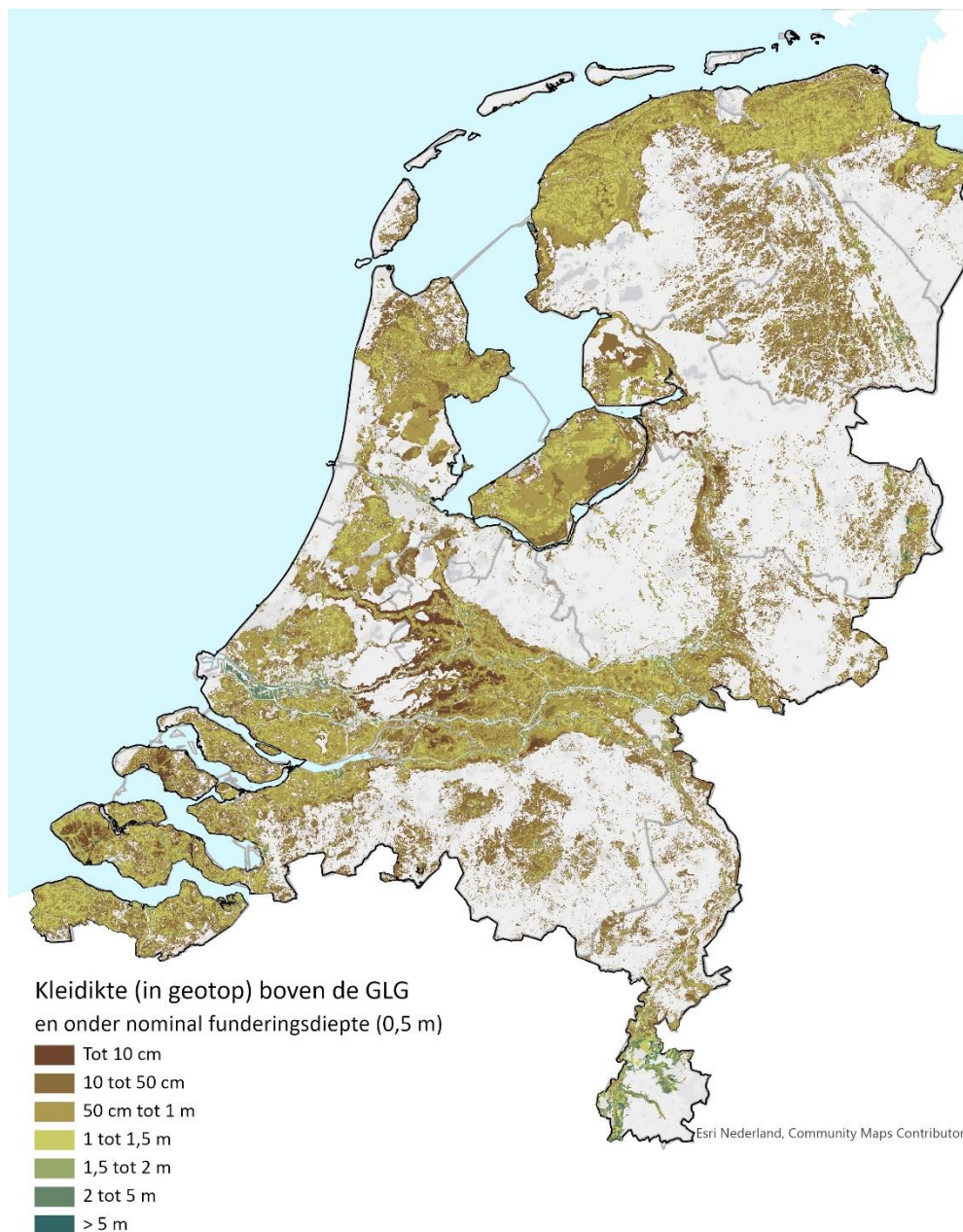
## Factoren die bijdragen aan krimp-zwelschade

1. Interceptie verdamping
2. Verdamping
3. Wateropname door wortels (transpiratie)
4. Verschillen noord-zuid zijde
5. Daling grondwaterstand
6. Uitdroging kleilagen
7. Beperkte uitdroging kleilagen
8. Mineralogie kleilagen (6, 7)



Figuur 2.7. Factoren waarmee rekening gehouden moet worden in krimp-zwelgevoelige gebieden Bron: Stuurman et al., 2021; voor Nederlandse situatie aangepaste figuur van Franse Geologische Dienst.

Deltares (2021) heeft bij het in kaart brengen van de gevoeligheid voor krimp/zwel gebruikgemaakt van de kleidikte tussen de toplaag (0,5 meter onder maaiveld, diepte van de fundering) en de GLG-waarde (GLG: gemiddeld lage grondwaterstand). Hoe dikker de klei in deze zone, hoe groter de gevoeligheid voor mogelijk krimp/zwelgedrag; zie Figuur 2.8.



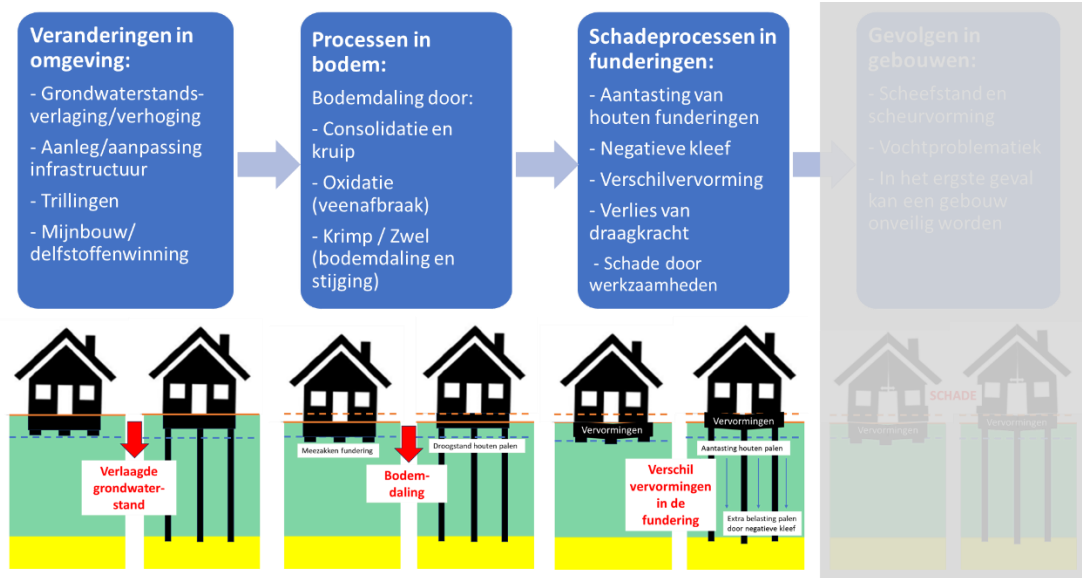
Figuur 2.8. Kleidikte in de Nederlandse bodem tussen toplaag en GLG-waarde.

Opvallend op deze kaart is dat de kleilagen niet alleen voorkomen in het traditionele bodemdalingsgebied (grootweg Zuid-Holland, Noord-Holland, westelijk Utrecht, laag Overijssel, Friesland en Groningen), maar ook daarbuiten: de (zee)kleipolders in Zeeland en Flevoland, de rivierkleigronden in Gelderland en het oosten van Utrecht en kleiafzettingen in Drenthe, Twente, de Achterhoek, Noord-Brabant en Limburg.

## 2.3 Schadeprocessen in funderingen

Of de in § 2.2 genoemde processen in de bodem en het watersysteem invloed hebben op gebouwen, hangt af van de interactie met de fundering. Bijna altijd is er sprake van een combinatie van invloeden én van een lange ontwikkeling van de processen over de tijd. De belangrijkste fysieke mechanismen/processen die kunnen leiden tot schade zijn samengevat in de nu volgende subparagrafen. Of deze schade ook echt zal optreden, hangt onder andere

af van het ontwerp van de fundering, de belastingen en de mate van veranderingen in de omgeving die optreden.



Figuur 2.9. Het ontstaan van schade aan de fundering als gevolg van processen in de bodem veroorzaakt door veranderingen in de omgeving.

### Aantasting van houten funderingen

Het (effectieve) draagvermogen van houten palen kan afnemen als gevolg van aantasting van de houten paal door schimmels of door bacteriën (dit laatste is voornamelijk bij grenenhouten palen een probleem). Schimmelvorming in houten palen ontstaat als het funderingshout (tijdelijk of altijd) droog komt te staan, bijvoorbeeld door verlaging van de grondwaterstand of door droogte.

Schimmelaantasting begint vaak aan de bovenzijde van de houtconstructie. Dit betekent dat eerst de kespen en het langshout worden aangetast en daarna de palen. Dit proces kan vrij snel verlopen; bij een optellende droogstand van twee tot vijf jaar kunnen de eerste vervormingen al optreden.

Door schimmelaantasting wordt de dragende doorsnede van de paal, die bepaalt hoeveel gewicht deze kan dragen, kleiner. Als de doorsnede van een paal kleiner wordt, zal deze meer vervormen (korter worden) door het gewicht wat erop staat. Dit proces kan lange tijd door blijven gaan, wat uiteindelijk zorgt dat óf de funderingsbalk bezwijkt, óf (grote) scheuren in de muren ontstaan. Schimmelaantasting stopt zodra de paal onder water komt te staan en gaat verder bij nieuwe droogstand. In totaal is er een totale periode van zo'n tien tot twintig jaar droogstand nodig om een fundering volledig te laten bezwijken. Aantasting van funderingshout door bacteriegroei (bij grenenhouten funderingspalen) is een veel trager proces, dat over de gehele hoogte van de paal optreedt. Het gaat ook door als palen onder water staan. Het duurt verscheidene decennia voordat de draagkracht zover is afgenomen dat de fundering bezwijkt.

In beide processen hangt de snelheid van de aantasting af van vele factoren, waardoor we hierover geen algemene conclusie kunnen geven.

Schimmelaantasting komt vooral in Zuid- en Noord-Holland voor. Bekende probleemgebieden zijn Rotterdam, Gouda, Dordrecht, Haarlem, Schiedam, Amsterdam en Zaanstad. Grenenhouten palen, die gevoelig zijn voor bacterieaantasting, zijn met name gebruikt in Noord- en Zuid-Holland (bijvoorbeeld in de Zaanstreek, Haarlem en Gouda) en rond het IJsselmeer en Friesland.

### **Negatieve kleeft**

Overbelasting van funderingspalen (zowel bij houten als betonnen palen) kan optreden als tijdens bodemdaling de grond meer wil vervormen dan de funderingspalen. Doordat de grond aan de paal kleeft en als het ware aan de paal gaat hangen, ontstaat een extra belasting op de funderingspalen. Dit proces noemen we 'negatieve kleeft'. Het ontstaat vaak bij het aanbrengen van een extra belasting op het maaiveld, bijvoorbeeld door een zandpakket/ophoging van de straat naast de fundering.

Tot ongeveer 1970 werd met dit effect niet of nauwelijks rekening gehouden. Na die datum zijn constructies erop ontworpen in de zin dat de fundering bij voorbaat al sterker wordt gemaakt om ook de extra belasting door negatieve kleeft te kunnen opnemen. Hierdoor zal de schade in principe niet meer ontstaan. De snelheid waarmee negatieve kleeft optreedt, hangt af van de snelheid van de bodemdaling. Zie ook § 2.2.

### **Verschilvervorming (bodemdaling)**

Vervormingen van de grond zijn vaak het gevolg van wisselingen in de grondwaterstand; hierbij kan het gaan om zowel zakking (bij een afname van de grondwaterstand) als stijging (bij een toename van de grondwaterstand); zie § 2.2.

Ondiepe funderingen zijn gevoelig voor vervormingen van de ondergrond. Omdat een ondiepe fundering het gewicht van het gebouw direct op de grond afdraagt, vervormt dit type fundering (gedeeltelijk) mee met de grond. Als er in de ondergrond ongelijkmatige vervormingen optreden, moet dit door de fundering worden opgevangen. Afhankelijk van de sterkte en stijfheid van de fundering, die weer afhangt van de materiaaleigenschappen, kan de fundering een bepaalde mate van ongelijkmatige vervorming opvangen. Een moderne gewapende betonnen funderingsstrook kan deze vervormingen beter opnemen dan een gemetselde fundering. Deze laatste zal eerder beschadigen, waardoor ook het gebouw kan beschadigen. Verschilvervormingen kunnen ook ontstaan (of verergeren) door verzwaringen of verbouwingen van het gebouw die (ongelijkmatige) belastingen veroorzaken op (delen van) de fundering.

In bijzondere gevallen ontstaan verschilvervormingen doordat er een verschil is in funderingstypen onder hetzelfde gebouw: deels een ondiepe fundering en deels een paalfundering. Dit eerste funderingstype vervormt mee met de grond, terwijl het tweede type niet vervormt. Dit kan leiden tot grote verschillen in vervormingen die zich in de loop van jaren ontwikkelen. In de praktijk komt combinatie van funderingstypen onder eenzelfde gebouw weinig voor. Wel kunnen bijvoorbeeld houten paalfunderingen op verschillende wijze zijn aangetast, wat verschilvervormingen kan veroorzaken bij gebouwen die in een rij staan, bijvoorbeeld rijtjeshuizen.

Kenmerken van verschilvervorming zijn:

- De snelheid hangt af van het proces in de bodem (zie § 2.2).
- De vervorming en bijbehorende scheuren verergeren met de tijd.
- Moderne funderingen, ontworpen volgens recente normen, zijn er meestal goed tegen bestand, uitgezonderd krimp/zwel-gedrag.

### **Verlies van draagkracht ondiepe fundering**

Bij ondiepe funderingen kan ook een verhoging van de grondwaterstand tot schade leiden, doordat fundering op een natte ondergrond draagkracht verliest. Door dit verlies in draagkracht zullen er (verschil)vervormingen ontstaan, die weer tot schade kunnen leiden in het gebouw. Deze vervormingen treden vrij direct op bij verhoging van de grondwaterstand. Moderne ondiepe funderingen zijn hiertegen bestand.

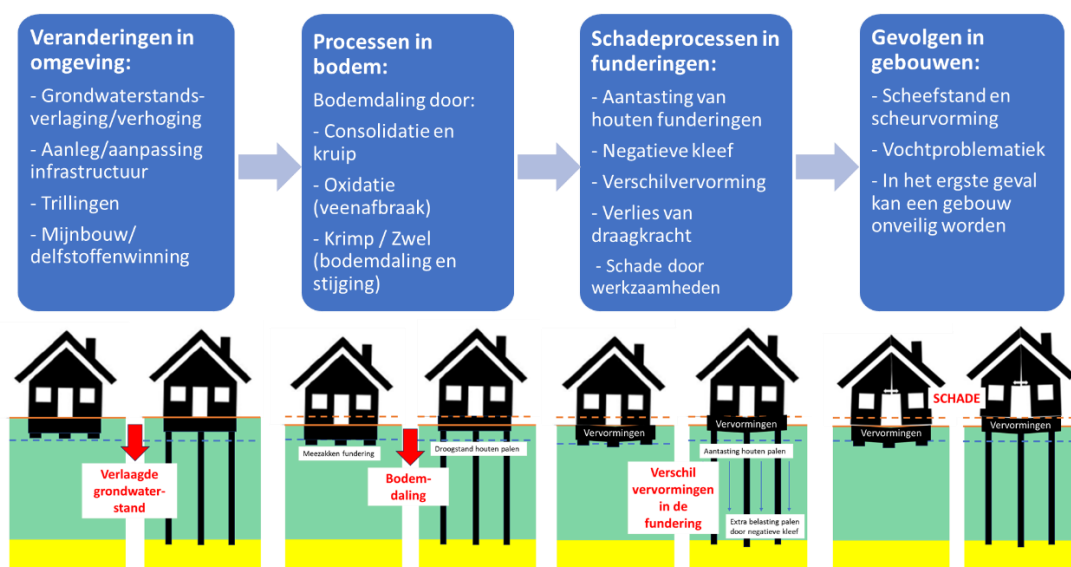
## Schade door werkzaamheden

Door bouwwerkzaamheden, bijvoorbeeld de aanleg van een bouwput voor een parkeergarage, kunnen verticale of horizontale vervormingen optreden in de bodem, die direct tot schade kunnen leiden aan de fundering van nabijgelegen gebouwen. Als gevolg van de bouwwerkzaamheden kan ook op een indirecte manier schade optreden, bijvoorbeeld door beïnvloeding (verlaging of verhoging) van de grondwaterstand.

Door bouwwerkzaamheden, zwaar verkeer, maar ook door mijnbouw (zoals in Groningen) of natuurlijke aardbevingen (zoals in Limburg), kunnen trillingen optreden in de bodem die direct (via de constructie) tot scheurvorming leiden. De bodem kan ook zakken door deze trillingen. Dan is het schademechanisme gelijk aan dat van verschildzetting.

## 2.4 Gevolgen voor gebouwen

Gevolgen van de schadeprocessen voor funderingen van gebouwen zijn te herkennen als scheurvorming en/of scheefstanden. Deze gevolgen kunnen variëren van licht tot zeer ernstig en van esthetisch tot constructief. Ernstige constructieve gevolgen kunnen een gebouw onbewoonbaar maken. Daarnaast kunnen door verandering van de grondwaterstand ten opzichte van de fundering natte kelders of natte muren ontstaan (natschade, optrekkend vocht) met eventueel gezondheidsschade als gevolg.



Figuur 2.10. Het ontstaan van schade aan gebouwen als gevolg van schade aan de fundering veroorzaakt door processen in de bodem na veranderingen in de omgeving.

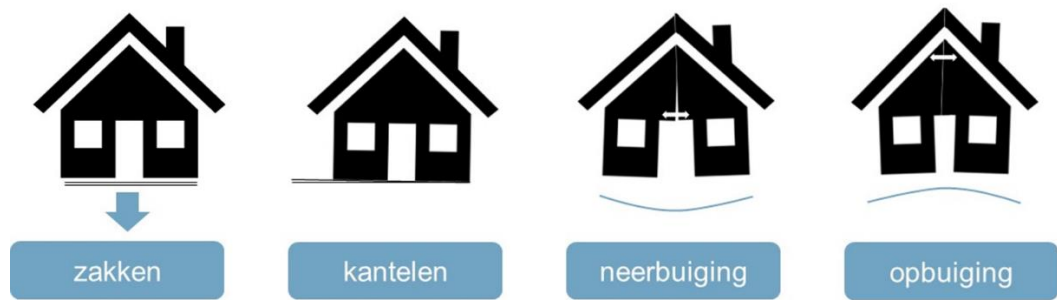
## Scheefstand en scheurvorming

Schades aan gebouwen als gevolg van vervormingen van de fundering manifesteren zich in de vorm van scheefstanden of het ontstaan van scheuren.

Door funderingsschade vervormt de fundering. De bovenbouw (het deel van het gebouw dat zich boven de fundering bevindt) moet deze vervormingen kunnen opnemen en zal daarom óók vervormen. Hierdoor ontstaan scheefstanden (rotaties) van de bovenbouw en spanningen in het materiaal van de bouwconstructie. Als deze spanningen groter worden dan de sterkte van het bouw materiaal, zal het materiaal gaan scheuren.

Funderingsschades zijn in Nederland doorgaans het gevolg van een geleidelijk proces; ze manifesteren zich pas na verloop van tijd. De schade wordt doorgaans opgemerkt als er sprake is van zichtbare scheuren. Vaak betekent dit dat de onderliggende oorzaak al enige tijd aanwezig is geweest en dat het proces dat de schade veroorzaakt, al langer actief is.

Bepalend voor het ontstaan van schades aan de bovenbouw is de mate waarin de opgelegde vervorming ongelijkmatig is. Als een fundering gelijkmatig zakt en verder niet vervormt, ontstaan er geen spanningen in de bovenliggende constructie en daarmee ook geen schade. Het linker plaatje in Figuur 2.11 illustreert dit.



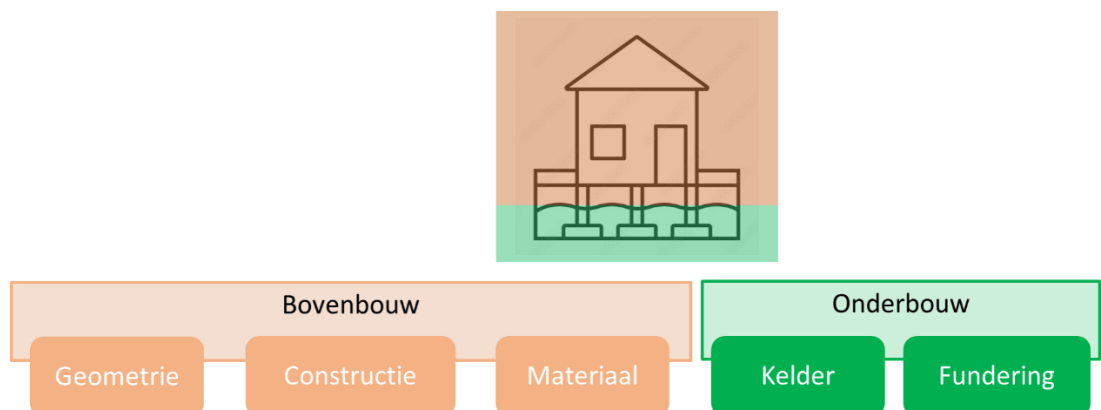
Figuur 2.11. Beweging van gebouwen bij vervormingen van bodem en fundering.

Als de fundering in zijn geheel kantelt, is er sprake van scheefstand. Er treedt dan geen vervorming op van de bouwconstructie zelf. Pas als de scheefstand groter wordt, zal dit vaak als hinderlijk worden ervaren. Bij grotere scheefstanden kunnen spanningen ontstaan in de gebouwconstructie en mogelijk scheurvorming.

Schade ontstaat vooral wanneer de fundering ongelijkmatig zakt. De twee rechter plaatjes in Figuur 2.11 illustreren dat. Het gebouw vervormt om deze zakking te volgen. Vaak zijn deze gebouwvervormingen een eerste indicatie dat er iets met de fundering aan de hand is. Bij metselwerkgevels kan de vervorming via lintvoegmetingen worden gevolgd.

Als de vervormingen te groot worden, kunnen er scheuren optreden. De scheurpatronen verschillen, afhankelijk van de vraag of er sprake is van opbuiging dan wel neerbuiging. Alle typen funderingsschade (zoals besproken in § 2.3) kunnen leiden tot dergelijke verschilvervormingen. In geval van alleen daling van bodem neemt de schade continu toe met de daling, bij krimp/zwel-cycli ontstaan scheuren die met de seizoenen openen en weer (deels) sluiten.

De mate waarin een gebouw gevoelig of kwetsbaar is voor funderingsschade, wordt bepaald door zowel eigenschappen van de fundering als van de bovenbouw. Schematisch is dit weergegeven in Figuur 2.12.



Figuur 2.12. Kenmerken van fundering (onderbouw) en bovenbouw die een rol spelen bij de gevoeligheid voor funderingsschade.

Belangrijke gebouwkenmerken die invloed hebben op de aard en ernst van mogelijke schades zijn de gebouwgeometrie (afmetingen, massaverdeling), eigenschappen van de

constructie (constructiemateriaal, type constructie), materiaaleigenschappen (materiaalsoort, sterkte, stijfheid), de aanwezigheid van kelders en aanbouwen en eventuele verbouwingen.

Ontwerp en bouw van zowel het gebouw als de fundering zijn mede gebaseerd op gegevens over de ondergrond en de ontwerpnormen zoals die bij de bouw bekend waren.

### **Classificatie van schades**

Burland et al. (1975) hebben een schade classificatie ontwikkeld die ook in Nederland veel wordt gebruikt om de relatie tussen vervormingen in de bodem en mogelijke schades aan gebouwen te beschrijven. Deze schadecategorieën hebben betrekking op schade in het algemeen. Hierbij maakt het dus niet uit hoe de schade ontstaan is.

Burland et al. verdelen de schade over zes categorieën: categorie D0 tot en met D5. Deze schade classificatie hanteert de mate waarin reparaties nodig zijn ('ease of repair') als uitgangspunt en koppelt daaraan (a) een beoordeling van de aard van de schade (in termen van esthetisch, functioneel of constructief) en (b) per klasse een omschrijving van de kenmerken. Een veel-gebruikte (initiële) input hiervoor is de grootte van scheuren in de muren.

Deze schade classificatie is ontwikkeld voor metselwerkgebouwen, die het meest kwetsbaar blijken voor schades. De classificatie kan dus niet worden gebruikt voor bijvoorbeeld gebouwen met betonnen muren. De classificatie is in de afgelopen decennia in diverse rapporten en richtlijnen overgenomen, soms in licht gewijzigde vorm, waarbij de beschrijvingen van de klassen in de basis niet zijn veranderd. Tabel 2.1 geeft een Nederlandse vertaling van de schadeklassen.



Tabel 2.1. Schadeklassen van Burland et al. (1975), vertaald op basis van Driscoll (1995).

Schade-categorie	Schade-klasse	Omschrijving	Scheurwijdte (metselwerk)	Karakterisering schadebeeld	Relatieve Hoekverdraaiing (indicatief)
	0	Verwaarloosbaar	< 0,1 mm	Haarscheurtjes, nauwelijks zichtbaar met het blote oog	< 1:1600 – 1:500
Esthetisch	1	Zeer licht	0,1 tot 1 mm	Enige scheurvorming in metselwerk. Kleine scheuren, meestal beperkt tot pleisterwerk, die eenvoudig kunnen worden weggewerkt.	1:1600 – 1:300
	2	Licht	tot 5 mm	Scheuren kunnen aan de buitenzijde zichtbaar zijn en kunnen tot vochtdoorslag leiden. Deuren en ramen klemmen licht. Geringe scheurvorming, kan eenvoudig hersteld worden.	1:1600 – 1:300
Functioneel	3	Matig	5 tot 15 mm, of meerdere scheuren > 3 mm	Deuren en ramen klemmen. Mogelijke schade aan nutsaansluitingen. Vochtdoorslag mogelijk. Scheuren zijn zodanig dat metselwerk dient te worden hersteld	1:1600 – 1:100
	4	Ernstig	15-25 mm, Ook afhankelijk van het aantal scheuren	Bruikbaarheid en toegankelijkheid ernstig aangetast. Voelbare scheefstand. Herstel vergt vervanging van muurdelen en andere constructieve elementen.	1:1600 – 1: 100
Constructief	5	Zeer ernstig	> 25 mm, hangt van aantal scheuren af	Instortingsgevaar. Volledige renovatie noodzakelijk.	> 1:300

De classificatie in Tabel 2.1 zegt niets over de oorzaak van de schade of hoe snel de schade zich ontwikkelt. Het ontstaan van schade aan funderingen is, normaal gesproken, een langzaam proces. Ook verschilt de oorzaak van de schade per type fundering. Bij een houten paalfundering is een (effectieve) afname in draagvermogen van de palen vaak het probleem, terwijl bij een ondiepe fundering vaak vervorming van de grond het probleem is. Schade aan een gebouw die te maken heeft met funderingsschade zal zich vanwege de lage snelheid van de onderliggende processen geleidelijk ontwikkelen van klasse D0 via klasse D1 naar hogere klassen. Er is daarbij niet direct sprake van een veiligheidsprobleem en er is tijd om tot adequate maatregelen te komen.

## Vochtproblematiek

Een ander aspect van schade betreft het effect van vocht op de funderingen en het gebouw. Ook andere bouwdelen naast de fundering kunnen daardoor worden aangetast.

Als het grondwater stijgt tot een niveau waarop het in aanraking komt met de onderkant van de bovenbouw (opgaand werk), of als het gebouw zakt richting het grondwater, dan is er kans op vochtschade. De effecten hangen af van hoelang de situatie duurt. Als de grondwaterstijging kort duurt en de fundering voldoende tijd heeft om te drogen, zijn er geen nadelige gevolgen voor fundering en gebouw te verwachten. Als de situatie regelmatig terugkeert, kan aantasting ontstaan aan het gebouw door optrekkend vocht. Dit laatste is echter opnieuw sterk afhankelijk van de duur van de hoge en de lage grondwaterstand. Als het grondwater lange tijd op hetzelfde hoge niveau blijft, worden funderingen en mogelijk ook het opgaand werk langdurig blootgesteld aan water.

De mate van schade en nadelige effecten is daarnaast sterk afhankelijk van de uitvoering van de fundering en van het opgaand werk (materialen, detailleringen, aanwezigheid kruipruimte, aanwezigheid ventilatie, status van bouwkundig onderhoud, leeftijd constructie enzovoort). De problemen kunnen zowel bij metselwerk als bij betonnen funderingen optreden.

Indien grondwater in contact komt met de funderingsbalk/-strook, zal de fundering het water opnemen. Als er voldoende tijd is, zal de fundering volledig verzadigd raken met water. Dit geldt voor zowel voor uitvoeringen in metselwerk als voor uitvoeringen in beton. Bij beton kan het proces van verzadiging wat langer duren, afhankelijk van de kwaliteit van het beton. Via de fundering zal de stroom van het water verder trekken naar de bovenbouw (metselwerk, kalkzandsteen of beton). Ook deze bovenbouw zal water absorberen en dit water verder omhoog brengen in de constructie.

Een belangrijke factor bij vochtschade is een eventuele kruipruimte. Dit hoort een open droge ruimte te zijn die goed is geventileerd, waardoor de lucht relatief fris is (ook bij betonnen vloeren). In de praktijk kunnen er echter verschillende omstandigheden zijn die ervoor zorgen dat dit niet het geval is:

1. Er ligt bouwafval of andere materialen in de kruipruimte, waardoor de ventilatie nadelig wordt beïnvloed.
2. Er is onvoldoende of geen ventilatie, waardoor de lucht muf en vochtig is (condensatie).
3. Er is lekkage vanuit oude leidingen (water/riolering).

Water en vocht beïnvloeden materialen negatief. Hoe dit gebeurt, op welke termijn, in welke mate en met welke gevolgen, verschilt per materiaal:

- **Hout**  
Hout gaat onder invloed van water rotten, waardoor schimmels kunnen ontstaan. De constructieve sterkte neemt af. Bij houten vloeren zullen doorgaans de opleggingen van de dragende balken het eerste worden aangetast en mogelijk bezwijken. Deze staan in direct contact met de natte fundering. Schimmels beïnvloeden de lucht in de kruipruimte en mogelijk de rest van het gebouw.
- **Metselwerk (baksteen)**  
Er kan onder invloed van water degradatie van het metselwerk optreden, waardoor de constructieve sterkte afneemt. Dit is een zeer langzaam proces, dat sterk afhankelijk is van de kwaliteit van het metselwerk (metselspecie). De thermische eigenschappen van het metselwerk nemen af. Er zal vanuit de grond koude in het gebouw worden gebracht. Wanden van metselwerk zijn doorgaans afgewerkt met een stuclaag. Deze zal afbladderen en mogelijk schimmels opnemen. Door de aanwezigheid van water kan er ook zoutuitslag in de wanden ontstaan; dit veroorzaakt witte vlekken op het metselwerk. Dit laatste heeft alleen een esthetisch effect.

- **Beton**  
De vochtopname van het beton is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de beton en de toegepaste toeslagmaterialen. In het verleden zijn voor strokenfunderingen doorgaans lage kwaliteit betonsoorten (stampbeton) toegepast. Door de aanwezigheid van water kan er corrosie van de wapening ontstaan. Dit is ook weer sterk afhankelijk van de uitvoering en toegepaste beton. Door corrosie van wapening wordt de sterkte van de betonconstructie aangetast. Ook bij beton worden de thermische eigenschappen verlaagd door water.
- **Staal**  
Stalen elementen in de constructie zullen door het vocht corroderen en hun sterkte verliezen. De stalen onderdelen kunnen bezwijken. Denk hierbij aan ankers voor de ophanging van leidingen, wapening, spouwankers, stalen mantelpijpen in de gevels enzovoort.
- **Isolatiematerialen**  
Sinds het begin van de jaren zeventig wordt er isolatiemateriaal in spouwmuren toegepast. Dit wordt ook aangetast door vocht. De isolerende kwaliteit neemt dan sterk af. Mogelijk is het isolatiemateriaal zelf niet bestand tegen vocht. Dit geldt evenzeer voor isolatiemateriaal onder de begane grondvloer. Ook hier heeft vocht een negatieve invloed op de thermische eigenschappen.

Een vermindering van de thermische eigenschappen leidt tot meer energieverbruik en de vermindering van de sterkte-eigenschappen noopt tot meer onderhoud. Vocht in de constructie verhoogt de kans op vorstschade als gevolg van het bevriezen van water. Bevroren water expandeert en dit gaat gepaard met grote krachten, waardoor constructies kunnen bezwijken. Deze worden dan letterlijk kapot gedrukt. Vocht leidt vaak ook tot schimmelvorming. Schimmels verlagen de luchtkwaliteit in het gebouw en kunnen vergaande gevolgen hebben voor de gezondheid van de bewoners.

## 2.5 Gevolgen voor infrastructuur en openbare ruimte

### **Infrastructuur**

Alle infrastructuur die gefundeerd is op palen (brughoofden, viaducten, kademuren en dergelijke) kent in principe dezelfde problematiek en schadesoorten als gebouwen. Het Nederlandse spoorwegennet bevat bijvoorbeeld een groot aantal oude bruggen met een fundering op houten palen. Deze funderingen kunnen worden aangetast of overbelast door negatieve kleeft.

Bij veel infrastructuur speelt mee dat de belastingen in de loop der tijd (door toename van verkeer en door zwaardere voertuigen) hoger zijn geworden. Een fundering die oorspronkelijk voldoende sterkte had, kan daardoor op een later moment te weinig draagvermogen hebben. Bij (spoor)wegen gefundeerd op een verdichte zandlaag (cunet) kan schade optreden door verschildzetting, met als gevolg een ongelijkmatige ligging. Ook kan bijvoorbeeld extreme neerslag de sterkte van de fundering verminderen, waardoor aanvullende vervormingen kunnen ontstaan. Door vervormingen van de (spoor)weg wordt, in extremere situaties, de rijveiligheid beïnvloed en moet het verkeer langzamer rijden. Als gevolg is ook meer onderhoud nodig met vaker (gedeeltelijke) afsluitingen van spoor of weg. Bij (spoor)wegen treedt de schade vaak als eerste op bij de overgangen van aardebanen ('zachte' fundatie) naar bruggen en tunnels ('harde' fundatie).

De problematiek van verschildzetting doet zich ook voor bij (nuts)kabels en leidingen. Bij dit soort ondiep gefundeerde infrastructuur treden vaker breuken op; soms moeten ze een diepere fundering krijgen. De problematiek is ook zeer relevant voor rioleringen. Waar normaal gesproken rioleringen in zestig jaar worden afgeschreven, is die levensduur in

gemeenten met slappe bodems significant korter. Dit leidt tot hoge extra kosten voor de betreffende gemeenten.

### **Openbare ruimte**

Onder openbare ruimte verstaan we alle publieke ruimtes in bebouwd gebied die geen weg zijn: parken, sportvelden, pleinen, groenstroken enzovoort. Op slappe grond heeft de openbare ruimte vaak een fundering in de vorm van een ophooglaag. Bij nieuwbouw wordt ook wel gewerkt met een integrale ophoging, waarbij het hele terrein wordt opgehoogd – dus zowel onder de gebouwen als onder de openbare ruimte en wegen.

Schade aan de openbare ruimte kan bestaan uit ongelijkmatige zakkings van pleinen of verharding, die daardoor bijvoorbeeld een barrière kunnen vormen voor minder valide inwoners. Parken kunnen laag te komen te liggen, waardoor er waterschade optreedt. Een algemeen beeld is dat de openbare ruimte door zakkingschade verloedert. In veel gemeenten op slappe bodem zijn de standaarden voor ruimtelijke kwaliteit vanwege de problematiek lager dan in gemeenten op stevige bodems. Voor gemeenten is de (her)inrichting van openbare ruimte een belangrijke schadepost.

Particuliere gronden (stoepen, tuinen) kunnen vergelijkbare schade krijgen door bodemdaling. Waterschade is in dit verband een belangrijke schadepost. Particulieren met op palen gefundeerde huizen in een gebied met een slappe bovengrond (ook bij nieuwbouw!) moeten vaak hun tuin herhaaldelijk ophogen en opnieuw aanleggen – een grote schadepost.

## **2.6 Multicausaliteit**

In dit hoofdstuk hebben we diverse factoren beschreven die van invloed zijn op het ontstaan van funderingsproblematiek. We hebben toegelicht dat er sprake is van een opeenvolging van oorzaken en gevolgen. Menselijk handelen is daarbij relevant, in combinatie met de eigenschappen van de ondergrond.

Gezien de lange geschiedenis van de vorming van Nederland en de leeftijd en bouwwijze van de gebouwen is er bijna altijd een lange historie van oorzaken en gevolgen. Deze historie zorgt ervoor dat de meeste oudere gebouwen al wel enige vorm van (lichte) schade hebben. De beschreven oorzaken en gevolgen treden vaak gelijktijdig en in combinatie met elkaar op en kunnen elkaar versterken. Dat betekent dat de oorzaken en gevolgen meestal niet meer exact van elkaar zijn te onderscheiden.

Bij nieuwere gebouwen zijn de problemen veel minder groot en soms verwaarloosbaar, tenzij er sprake is van duidelijke externe oorzaken zoals schade door werkzaamheden. De effecten van mijnbouw bijvoorbeeld, kunnen groot zijn (zie kader).

### **Effecten van mijnbouw op grote diepte**

De funderingsproblematiek in Nederland is voornamelijk gerelateerd aan veranderingen in bodem en grondwater waarvan de oorzaken dicht tegen het aardoppervlak liggen (grofweg in de bovenste dertig meter).

Daarnaast is er echter ook funderingsproblematiek gerelateerd aan mijnbouwactiviteiten.

Die vinden in Nederland voornamelijk plaats op dieptes tot 3.000 meter. Het gaat daarbij onder meer om de winning van zout, olie en gas, opslag van gas (en mogelijk in de toekomst van CO<sub>2</sub> en waterstof), om de toepassing van geothermie en om warmte-koudeopslag. Deze activiteiten kunnen leiden tot bewegingen van de bodem: aardbevingen, bodemdaling en bodemstijging. Deze bewegingen kunnen op hun beurt leiden tot schades aan gebouwen en infrastructuur. Verder zijn er specifieke funderingsproblemen in Limburg, die zijn ontstaan door het stijgen van het grondwater na het sluiten van de mijnen.

Vanuit verschillende gebieden in Nederland worden de laatste jaren meldingen gedaan van schades aan gebouwen die zijn toe te schrijven aan mijnbouwactiviteiten, meer in bijzonder aan bodemdaling en trillingen. De aard van de gemelde schades varieert van heel licht (nauwelijks zichtbare scheurvorming) tot zwaar.

In de gebieden met mijnbouwactiviteiten kunnen diverse direct en indirecte oorzaken tegelijkertijd een rol spelen. Zo kan schade aan gebouwen ontstaan door bodembewegingen die het gevolg zijn van mijnbouwactiviteiten. Deze activiteiten veroorzaken diepe bodemdaling, die aanpassing van het oppervlaktewaterpeil nodig maakt. Zo'n aanpassing kan op haar beurt leiden tot ondiepe bodemdaling en tot schades aan funderingen. Dit zijn dan indirecte effecten van diepe bodemdaling.

In gebieden met mijnbouwactiviteiten kunnen ook funderingsproblemen aan de orde zijn met andere oorzaken, zoals in de vorige paragrafen beschreven. Dit geldt bijvoorbeeld voor klei- of veengebieden in de provincie Groningen.

In gebieden met mijnbouwactiviteiten worden schademeldingen afgehandeld door daartoe speciaal ingerichte organisaties zoals de Technische Commissie Bodembewegingen (TCBB), het Instituut Mijnbouwschade Groningen (IMG), de Commissie Mijnbouwschade (CMS) en het Calamiteitenfonds Mijn(water)schade Limburg.

Uit gegevens van de TCBB, het Calamiteitenfonds Mijn(water)schade Limburg en de CMS over erkende schademeldingen komt het beeld naar voren dat maximaal enkele tientallen schadegevallen per jaar mogelijk een relatie hebben met bodembeweging. Over deze schades is niet vastgelegd of er ook sprake was van funderingsschade.

In het gebied rond het Groningenveld is voor schadeafhandeling de Wet bewijsvermoeden gaswinning Groningen van toepassing. Op basis daarvan worden alle schademeldingen bij het IMG toegeschreven aan de mijnbouw, tenzij er een eenduidige en uitsluitende andere oorzaak is gevonden. In de praktijk betekent dit dat veel schades worden toegeschreven aan mijnbouwactiviteiten (gaswinning en gasopslag). In Groningen is bekend dat oppervlaktewaterpeilaanpassingen en ook de droge zomers vanaf 2018 een rol kunnen hebben gespeeld in funderingsschade. In dit gebied zijn geen problemen bekend met houten funderingspalen. De funderingsproblematiek lijkt vooral ondiepe funderingen te betreffen.

## 3 Huidige omvang funderingsproblematiek en toekomst verwachtingen

Op nationaal niveau is niet bekend hoeveel funderingen van bestaande gebouwen gevoelig zijn voor problemen, hoeveel er in het verleden al hersteld zijn, wat de huidige kwaliteit van funderingen is en hoe de problematiek zich zou kunnen ontwikkelen. Enkele gemeenten, zoals Rotterdam, Dordrecht, Zaanstad, Gouda en Schiedam, werken aan het in kaart brengen van de huidige problematiek – bijvoorbeeld door zettingen van gebouwen te monitoren met satellietgegevens – maar in het algemeen is er op nationaal niveau geen beeld van de kwaliteit van funderingen. Bekende gevallen van funderingsproblemen worden ook niet structureel op gemeentelijk of landelijk niveau bijgehouden. Wel beheert het Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek (KCAF) het landelijk loket funderingsproblematiek, waar problemen of klachten vrijwillig kunnen worden gemeld<sup>1</sup>

Deltares heeft in 2019 een funderingsrisicomodel ontwikkeld dat inzicht biedt in de spreiding van (een deel van de) funderingsproblematiek over Nederland (Deltares et al., 2019)<sup>2</sup>. Het model combineert kennis van bodemdaling en grondwaterstanden met klimaatgerelateerde schade die kan ontstaan bij ondiep gefundeerde gebouwen en gebouwen met een houten paalfundering (Costa et al., 2020; Korff et al., 2023). Een van de meest onzekere factoren in het model is het type fundering. In Nederland worden kenmerken van gebouwen opgeslagen in de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). De BAG bevat echter geen eigenschappen van de fundering. Op basis van ouderdom van het gebouw en type ondergrond kan wel een eerste inschatting gemaakt worden van het type fundering.

De schattingen in het funderingsrisicomodel van Deltares gaan over gebouwen van minimaal 30 m<sup>2</sup> en nemen de invloed mee van bodemdaling en grondwaterstandsveranderingen (op kortere en langere termijn). Niet alle bodem- en schadeprocessen zijn in het model gekwantificeerd. Alleen verschilzetting<sup>3</sup> (bij ondiepe funderingen) en aantasting (bij houten palen) zijn meegenomen. Effecten van krimp/zwel zijn zeer beperkt meegenomen en negatieve kleeft of andere effecten die zijn besproken in hoofdstuk 2, zijn niet opgenomen in het model. In dit hoofdstuk geven we voor zowel gebouwen, infrastructuur als de openbare ruimte schattingen van de verspreiding en omvang van de problematiek in Nederland. We kijken in dit hoofdstuk ook vooruit: in de slotparagraaf bespreken we fysieke effecten die in de toekomst de funderingsschade zouden kunnen doen toe- of afnemen.

### 3.1 Schatting verspreiding funderingsproblematiek bij gebouwen in Nederland

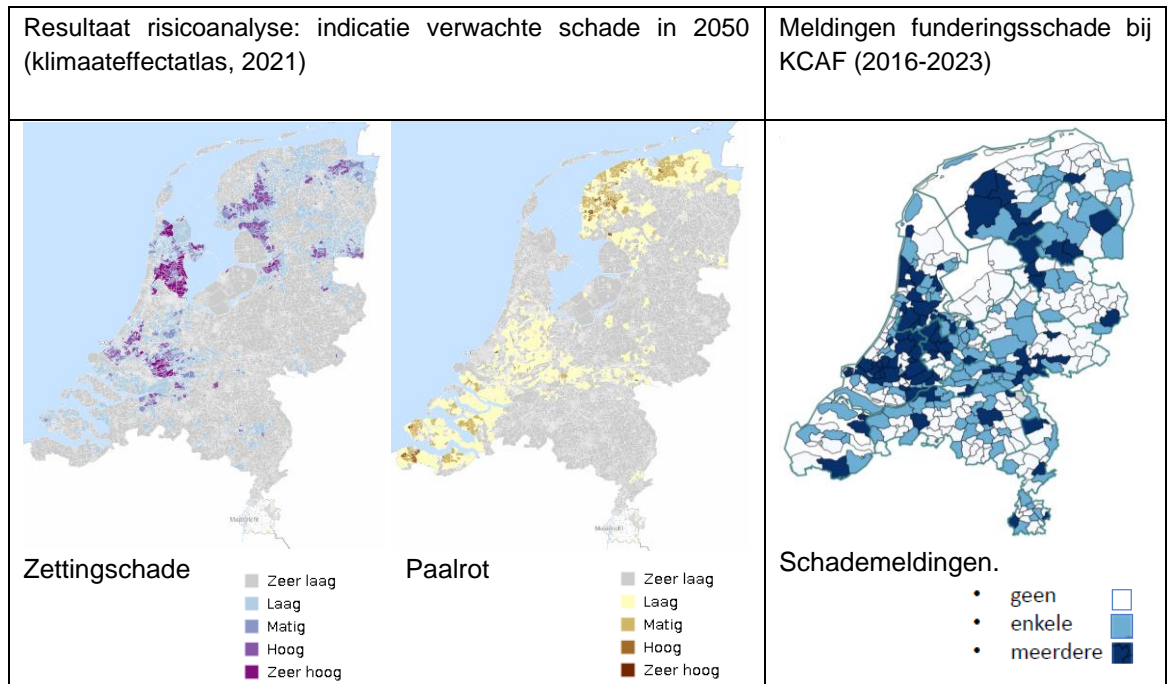
Uit het funderingsrisicomodel van Deltares blijkt dat een groot deel van de gemeenten in Nederland een bepaalde mate van risico loopt. De spreiding hiervan blijkt redelijk overeen te komen met meldingen bij het KCAF; zie Figuur 3.1 voor een overzicht van het resultaat van de risicoanalyse voor verschilzetting voor ondiepe funderingen en aantasting van houten palen ('paalrot') in vergelijking met de meldingenkaart funderingsschade van het KCAF.

---

<sup>1</sup> Zie <https://www.kcaf.nl/landelijk-loket-funderingsproblematiek>

<sup>2</sup> Zie <https://www.klimaatschadeschatter.nl> en <https://www.klimaat-effectatlas.nl>

<sup>3</sup> Verschilzetting: verschillen in zakking tussen twee of meer onderdelen van een fundering.



Figuur 3.1. Ruimtelijke spreiding funderingsproblematiek over het land.

Het linkerdeel van Figuur 3.1 toont het resultaat van de risicoanalyse in 2021 voor paalrot en verschilzetting van gebouwen met ondiepe fundering. Het rechterdeel van de figuur toont de meldingenkaart van het KCAF (uit maart 2023).

## 3.2 Schatting aantal kwetsbare gebouwen

In deze paragraaf lichten we toe hoe we tot schattingen van het aantal kwetsbare gebouwen in Nederland zijn gekomen aan de hand van het Deltares-funderingsrisicomodel. De resultaten van deze schattingen kunnen als volgt worden samengevat:

- Uitgaande van gebouwen groter dan 30 m<sup>2</sup> zijn er op korte termijn tussen de 375.000 en 425.000 gebouwen met een verwachte technische levensduur korter dan vijftien jaar. Een klein kwart hiervan is gefundeerd op houten palen; de overige gebouwen hebben een ondiepe fundering. Gebouwen met betonnen funderingen zijn meestal niet kwetsbaar.
- Op langere termijn (in de komende 25 jaar) kan dit aantal verdubbelen tot ongeveer 730.000 a 780.000 gebouwen, vooral door een toename van gebouwen met ondiepe fundering die kwetsbaar worden door klimaatverandering.
- De onzekerheid in deze schattingen is groot. Onder andere door het ontbreken van inzicht in krimp/zwel, negatieve kleef en de nieuwste klimaatscenario-consequenties is een toename van de aantallen met een factor 2 niet ondenkbaar.

### Deltares-funderingsrisicomodel

Deltares heeft in 2023 door middel van een nieuwe uitlezing van het funderingsrisicomodel een specifieke schatting gemaakt van het aantal kwetsbare gebouwen. In dit model zijn onder andere gegevens gebruikt over aantallen gebouwen en bouwjaar uit de BAG 2018. Ook is informatie gebruikt over ondergrond en grondwater. In deze laatste informatie zijn de gegevens over verwachte bodemdaling en veranderingen in grondwaterstanden verwerkt uit de KNMI-klimaatsscenario's van 2014.

In de BAG 2018 staan in totaal 7 miljoen gebouwen met een oppervlakte van minimaal 30 m<sup>2</sup>. Hiervan zijn 3,5 miljoen gebouwen gebouwd voor 1975 en 3,5 miljoen gebouwen na 1975. Dit betreft gebouwen met en zonder woonfunctie.

Uit expertschattingen in combinatie met gegevens over de bodemopbouw volgt dat 70% van alle gebouwen ondiep gefundeerd is, 5-6% op houten palen en de rest op (moderne) betonnen palen. Dit zijn naar schatting dus 400.000 gebouwen op houten palen en 5 miljoen ondiep gefundeerde gebouwen.

Niet alle gebouwen op een ondiepe of houten paalfundering lopen een hoog risico.

Kwetsbaar noemen we gebouwen met een restlevensduur van minder dan vijftien jaar, wat we voor deze schatting hebben gelijkgesteld aan een reeds aanwezig schadeniveau van matige schade volgens Burland et al. (1975) (zie ook § 2.4), met daarbij de aanname dat het schadeproces zich zal voortzetten. Voor ondiepe funderingen zijn alle gebouwen meege-  
nomen met een zakkingsnelheid (na modelcorrecties) van meer dan 2 mm/ jaar. (Zie ook hoofdstuk 5 over het beoordelen van restlevensduur).

Op dit moment (referentiejaar 2020) schatten we dat tot 75.000 gebouwen met een fundering van houten palen nu al te maken hebben met een hoog risico, oftewel een levensduur korter dan vijftien jaar. De overige gebouwen zullen op termijn ook moeten worden hersteld, maar het aantastingsproces (droogstand) gaat langzaam.

Bij de gebouwen met ondiepe funderingen valt circa 6% in de categorie risicovol. Dit zijn in totaal 300.000 tot 350.000 gebouwen.

Als we dezelfde inschatting maken voor 2050, nemen de aantallen gebouwen op houten palen die een hoog risico hebben relatief weinig toe (tot 80.000), maar de gebouwen op ondiepe funderingen met een hoog risico verdubbelen in aantal tot 650.000 à 700.000. Dit komt vooral door effecten van lagere grondwaterstanden als gevolg van droogte. Belangrijk uitgangspunt is dat hier voor de mate van droogte is gerekend met het KNMI-scenario 'sterke opwarming' uit 2014.

De hiervoor genoemde getallen zijn samengevat in Tabel 3.1. Let op: er zijn veel onzekerheden bij de bepaling van de getallen; zie ook die tekst hierna onder het kopje 'Onzekerheden'.

Tabel 3.1. Geschatte aantallen hoogrisicogegebouwen in 2020 en 2050 op basis van funderingsrisicomodel Deltares.

Totaal ~7 miljoen gebouwen	Jaar	Ondiepe fundering (~70%)	Op houten palen (~6%)	Op betonnen palen (~24%)
<b>Aantal gebouwen</b>	2020	4.900.000	400.000	1.700.000
<b>In hoogste schadeklassen D3 – D5</b>	2020	300.000 a 350.000	tot 75.000	nihil
<b>In hoogste schadeklassen D3 – D5</b>	2050 (KNMI'14 sterke droogte)	650.000 a 700.000	tot 80.000	nihil

### Onzekerheden

Er zijn veel onzekerheden bij de bepaling van de hiervoor genoemde aantallen. Relevante onzekerheden zijn:

- De expertschattingen voor het type fundering per gebouw zijn gemaakt op basis van gemiddelde percentages funderingstype per regio en per bouwjaar en ondergrondtype. Veranderingen in deze schattingen betekenen veranderingen in aantallen schadegevallen per klasse en type fundering. Naar verwachting is het percentage gebouwen met ondiepe funderingen wat te hoog ingeschat en is een deel hiervan op palen gefundeerd.



- Een belangrijk uitgangspunt is verder dat ten aanzien van droogte is gerekend met het KNMI-scenario 'sterke opwarming' uit 2014. Bekend is inmiddels dat in de KNMI-scenario's voor 2023 de voorziene droogte in de zomer aanzienlijk is toegenomen. Hierdoor zullen de berekende schadegevallen toenemen; hoeveel is nu nog onduidelijk.
- Ook toepassing van de meest recente BAG 2023 in plaats van de nu gehanteerde 2018-versie zal invloed hebben op de aantallen, al zullen de nieuwste gebouwen vooral op betonnen palen zijn gefundeerd of (in geval van een ondiepe fundering) van betere kwaliteit zijn dan oude funderingen.
- Niet alle relevante schademechanismen zijn opgenomen in het funderingsrisicomodel (krimp/zwel beperkt, bacteriële aantasting van houten palen niet, negatieve kleef niet en vochtschade niet).

Al deze aannames en uitgangspunten hebben impact op de aantallen. Hoe groot de impact is, kunnen we nog niet zeggen; een factor 2 op de aantallen hoogrisicogebouwen is zeker niet ondenkbaar.

Het proces om tot een geactualiseerde versie van het funderingsrisicomodel te komen is al in gang gezet, maar dit vergt tijd en het zal ook niet alle effecten in detail mee kunnen nemen. Pas in de loop van 2024 komen updates van deze aantallen beschikbaar.

De hier gepresenteerde aantallen komen qua ordegrootte redelijk overeen met in het verleden gemaakte schattingen, zeker als rekening wordt gehouden met verschillen in definitie van woningen/gebouwen en mate van kwetsbaarheid:

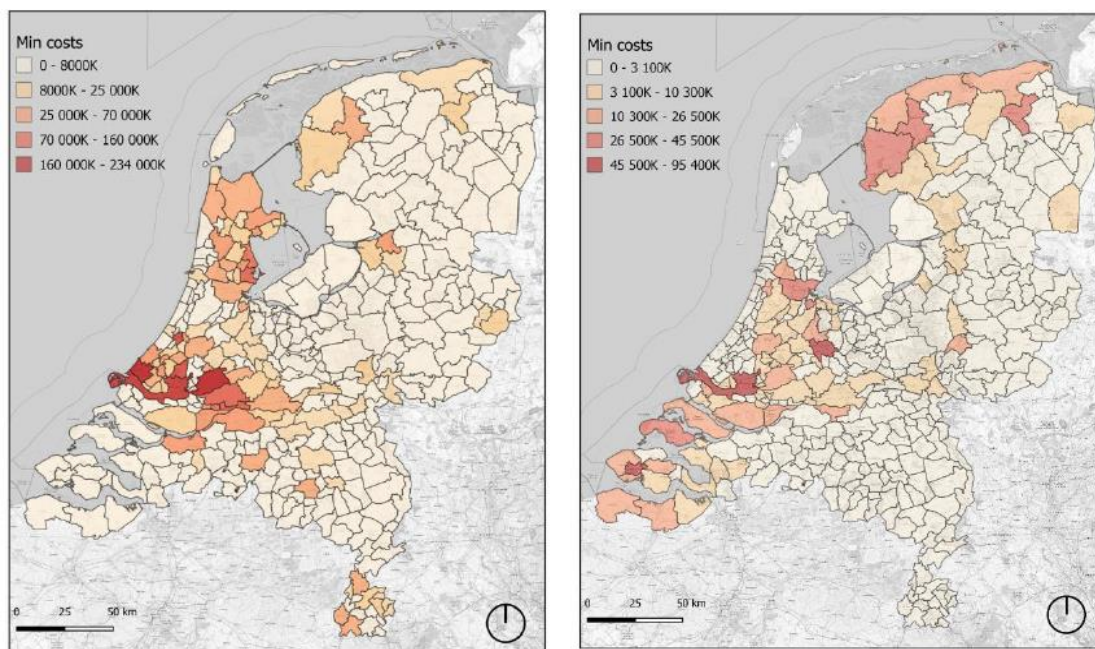
- AFM Trendzicht 2022: mogelijk 800.000 tot 1 miljoen woningen.
- Deltares en TNO 2021: 500.000 à 750.000 gebouwen tot 2050 (inschatting door experts); waarvan 80.000 met een complete herstelopgave.

Deltares & TNO (2021) noemen een aantal verklaringen voor de uiteenlopende schattingen van de beschikbare studies: schademechanismen en de ernst ervan zijn verschillend meegenomen, een beeld van de ontwikkeling van de schade over de tijd ontbreekt (klimaatverandering), terminologie wordt niet altijd eenduidig toegepast ('woningen' versus 'gebouwen'), er is variatie in risicobenadering en de gehanteerde herstelkosten zijn niet eenduidig.

### 3.3 Schatting verwachte kosten funderingsschade aan gebouwen

De meest recente beschikbare (globale) schattingen van de schadekosten aan gebouwen en de ruimtelijke spreiding van deze schattingen worden behandeld in Kok et al. (2021); zie Figuur 3.2.

De kaart links geeft de geschatte schadekosten weer voor gebouwen met ondiepe funderingen, de kaart rechts geeft de geschatte schadekosten weer voor gebouwen met houten palen.



Figuur 3.2. Ruimtelijke spreiding schadeverwachting tot 2050 zonder (verdere) klimaatverandering, overgenomen uit Kok et al, 2021. Links voor ondiepe funderingen, rechts voor houten palen.

De schattingen van Kok et al. (2021) zijn mede gebaseerd op het bovengenoemde funderingsrisicomodel van Deltares en kennen derhalve dezelfde onzekerheden. Daarnaast geldt dat het hier gaat om kosten voor het herstel van gebouwen. Er zijn geen kosten meegeteld voor het vernieuwen van de fundering. In de figuur staat het totaal per deelgebied vermeld. Verder dient te worden afgewogen dat het blijvend repareren en herstellen mogelijk niet duurzaam is. In plaats daarvan kan vernieuwing worden overwogen, waarna de problematiek verdwijnt.

De schattingen van de in totaal te verwachten kosten door funderingsschade zijn gebaseerd op de geschatte aantallen hoogrisicogebouwen zoals vermeld in § 3.2, maar daarbij komt de onzekerheid over de herstelkosten. Uit de rapporten van Kok et al. (2020) en Kok et al. (2021) in opdracht van Verbond van Verzekeraars volgt een bandbreedte van de totale schadekosten van € 5 tot € 39 miljard voor de mechanismen paalrot en zettingsverschillen bij ondiep gefundeerde gebouwen, in een situatie zonder verdere klimaatverandering. De totale schadekosten nemen met € 3 tot € 15 miljard toe in een situatie met toenemende droogte door klimaatverandering. De mate waarin mitigerende maatregelen worden genomen heeft een groot effect op de totale schadekosten.

Het is op dit moment niet mogelijk om een nauwkeuriger schatting te maken. In 2024 zal de Deltares-schatting worden vernieuwd met nieuwe klimaatscenario's en kostenramingen voor schadeherstel. Hieruit zal geen alomvattend beeld ontstaan, omdat wederom niet alle mechanismen kunnen worden meegenomen vanwege een gebrek aan informatie.

### 3.4 Schade aan infrastructuur en openbare ruimte

Bodemprocessen zorgen in verschillende gebieden in Nederland voor schade aan openbare ruimte en infrastructuur (wegen, riolering, parken, kades, waterkeringen enzovoort). De totale omvang en precieze locatie van deze schades is niet goed bekend, maar ze zullen veelal optreden in de gebieden die in Figuur 3.2 zijn weergegeven.

Behalve dergelijke directe effecten zijn er ook indirecte effecten. Gedacht kan worden aan schade en extra kosten voor beheer en onderhoud aan systemen voor waterbeheer:

bijvoorbeeld voor het ophogen van kades en keringen en voor het beheer en onderhoud van sluizen en gemalen. Hieronder is een kort overzicht opgenomen van relevante recente studies naar schadekosten bij infrastructuur.

#### **PBL-studie (2016)**

Uit een studie van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) (2016) volgt dat in een aantal *veenweidegebieden* in Nederland (dus niet nationaal) de extra kosten en schade aan infrastructuur door bodemzetting tot 2050 € 1,7 miljard tot € 5,2 miljard zullen bedragen. De funderingsherstelkosten in het onderzochte stedelijk gebied als gevolg van slappe bodems en onvoldoende adequate fundering zullen minimaal € 16 miljard bedragen (prijsspeil 2016). Naar schatting worden de kosten voor zowel infrastructuur als bebouwing in het landelijk gebied maximaal € 1 miljard (prijsspeil 2016).

Het PBL stelt ook dat bij nieuwbouw kosten door bodemdaling kunnen worden beperkt of vermeden door goed te bekijken welke locaties het best kunnen worden ontwikkeld, dat wil zeggen tegen de laagste investerings- en onderhoudskosten op de langere termijn.

De PBL-studie schat de kosten van kades en keringen en van het beheer en onderhoud van sluizen en gemalen op € 200 miljoen tot 2050 (prijsspeil 2016). Door de Raad voor leefomgeving en infrastructuur is al eerder geconstateerd (Rli, 2020) dat dit een relatief voorzichtige schatting is. Ophogingen van de kades en keringen wordt met 30 cm gedaan en moet bij 1 cm bodemdaling per jaar dus ongeveer elke dertig jaar plaatsvinden. Dit zou neerkomen op minimaal € 1 miljard in de komende dertig jaar.

#### **Sweco-studie (2018)**

In 2018 heeft Sweco onderzoek gedaan naar de kosten van *gemeentelijke infrastructuur* op slappe bodem (Van Woerden, 2018). Uit het onderzoek blijkt dat de levenscycluskosten van een weg met een traditionele fundering (zandlaag) in zeer zettingsgevoelig gebied twee keer zo hoog zijn als levenscycluskosten van een weg in een niet-zettingsgevoelig gebied. Dit is het gevolg van de optredende schade door bodembeweging. Hierdoor zou het onderhoudsbudget voor wegen in zeer zettingsgevoelig gebied twee keer zo hoog moeten zijn als een weg op vaste bodem. Ook bleek dat investeren in levensduurverlengende technieken leidt tot significante besparingen in de toekomstige aanleg, beheer en onderhoud. Voor *spoorwegen* ontbreekt een overkoepelende schatting. De lengte van het Nederlandse spoornetwerk bedraagt circa 3.200 km. Ongeveer de helft van het netwerk is gevoelig voor de effecten van extreme neerslag en lange natte en droge perioden.

#### **Stichting RIONED & STOWA-studie (2023)**

De problematiek voor *leidingen en nutsinfrastructuur* en *openbare ruimte* is vooral zichtbaar in stedelijk gebied door grote druk op ruimte in de ondergrond. Uit een studie van Stichting RIONED & STOWA (2023) blijkt dat bij persleidingen ongeveer 20% van de gemelde schades wordt veroorzaakt door verschilzettingen. Verder zijn hiervan op dit moment geen inschattingen bekend.

## 3.5 Toekomstverwachtingen

#### **Effecten van klimaatverandering**

Het KNMI (2023) schetst in zijn recente klimaatscenario's een toekomst waarin het mogelijk 15% tot 35% droger wordt in de zomer en juist natter in de winter. In de drogere zomers neemt het neerslagtekort toe. Dit leidt tot een verlaging van de gemiddelde lage grondwaterstand en nieuwe records voor laagste grondwaterstand bij een extreem droge zomer. De toename van droge perioden in deze scenario's zal leiden tot een versnelling van bodemdaling en tot hogere risico's op droogstand van houten paalfunderingen. Dit zal het

geval zijn in gebieden die nu al te maken hebben met de funderingsproblematiek. Daarnaast komen er gebieden bij waar nu geen tot weinig bodemdaling is, maar door toenemende droogte, afgewisseld met natte periodes, vaker een sterke krimp en zwel kan optreden. Het is dus te verwachten dat klimaatverandering de funderingsproblematiek verder gaat versterken en dat deze problematiek vaker zal voorkomen in gebieden waar dit nu nog niet of beperkt het geval is: in Oost-Nederland bijvoorbeeld, waar veel gebouwen ondiep zijn gefundeerd en waar regelmatig klei in de ondergrond voorkomt die door afwisseling van droog en nat krimp en zwel kunnen vertonen. De problematiek wordt dus meer omvattend en urgenter.

Een tweede invloed van klimaatopwarming is dat de bodemtemperatuur toeneemt. Bij hogere temperaturen is er meer microbiële afbraak van organische stof (oxidatie) en via bodemdaling of afbraak van houten funderingspalen kan dit leiden tot aanvullende funderingsschade.

### **Vernattingsopgave**

Om broeikasgasuitstoot uit veengebieden te verminderen zijn er plannen om delen van het veenweidegebied te vernatten. De gemiddelde grondwaterstand gaat dan omhoog ten opzichte van het maaiveld. Deze vernatting heeft een gunstig effect op de funderingsproblematiek, omdat het de bodemdaling vermindert en daarmee ook het ontstaan van funderingsschade afremt bij ondiepe funderingen. Een hogere grondwaterstand is ook gunstig voor funderingen op houten palen, omdat het droogstand van de houten palen vermindert. Het kabinet zet met het beleidsvoornemen 'Water en bodem sturend' (IenW, 2022) ook in op vernatting van slappe grond om zo de bodemdaling te beperken. Ook dit zal leiden tot hogere grondwaterstanden.

Een nadeel van een hogere grondwaterstand is dat dit in bepaalde gevallen kan leiden tot een afname van de draagkracht van ondiepe funderingen en tot vochtschade.

### **Veroudering en vernieuwing gebouwen en gebieden**

Er zullen in de toekomst naar verwachting twee tegengestelde effecten merkbaar zijn als het gaat om de funderingen zelf. Enerzijds zullen bestaande constructies en funderingen verder verouderen, waardoor het probleem wordt versterkt. Anderzijds zijn nieuwe funderingen beter bestand tegen funderingsproblemen en zal het probleem hierdoor in de toekomst juist afnemen (als er bestaande constructies worden vervangen door nieuwbouw).

Nieuwe funderingen van gebouwen hebben minder of geen last van funderingsproblematiek. Dit geldt niet voor de infrastructuur, kabels en leidingen en de openbare ruimte. Door het aanleggen van nieuwe woongebieden in gebieden met slappe bodem worden in die gebieden door klimaatverandering de risico's voor infrastructuur, kabels, leidingen en openbare ruimte groter.

In gebieden waar risico's door krimp en zwel van klei toenemen, worden ook nu nog ondiepe funderingen toegepast. Als er meer duidelijkheid is over de vraag waar dit speelt, kunnen hier gericht maatregelen worden genomen.

### **Effecten van kennisontwikkeling**

De in dit hoofdstuk geschatte huidige en toekomstige omvang van de funderingsproblematiek is gebaseerd op de meest actuele rapportages. In die rapportages is gerekend met enkele inmiddels verouderde gegevens; onder andere klimaatscenario's uit 2014. Daarnaast zijn in de rapportages niet alle schadeveroorzakende effecten meegenomen. Bij meenemen van de meest actuele gegevens en met verdere kennisontwikkeling, onder andere over krimp en zwel, zullen de geschatte schadeaantallen toenemen.

Door uitvoering van het beleidsvoornemen 'Water en bodem sturend' kan in het landelijk gebied de verwachte toename van schade (als gevolg van krimp/zwel en verdere klimaatopwarming) waarschijnlijk deels worden weggenomen. Het gaat bij dit voorgenomen beleid om een andere waterhuishouding, waarbij (a) meer water wordt vastgehouden om

hogere grondwaterstanden mogelijk te maken en (b) bij extreme neerslag ook extra water wordt afgevoerd om overlast te voorkomen.

De ruimte om de grondwaterpeilen in de stad actief te beheren is beperkter en de effectiviteit hiervan is waarschijnlijk ook beperkt. Het is dan ook niet te verwachten dat verdere kennisontwikkeling hierover zal leiden tot een verkleining van de huidige schadeverwachtingen, maar wel tot een gerichter inzicht in de precieze gebieden waar de problematiek het grootst is.

## 4 Preventie- en herstelmaatregelen

In dit hoofdstuk geven we een (technisch) overzicht van bestaande maatregelen en technieken:

- Voor het herstellen of verkleinen van bestaande schade.
- Ter voorkoming/beperking van nieuwe schade (aan bestaande gebouwen).
- Voor het uitsluiten van schade bij nieuwbouw.
- Ter voorkoming/beperking van schade aan openbare ruimtes.

Tot slot bespreken we aspecten van de funderingsproblematiek waarover meer kennis en inzicht zal moeten worden verzameld en ontwikkeld om in de toekomst beter te kunnen beoordelen welke maatregelen waar nodig zijn.

### 4.1 Maatregelen op gebouwniveau voor herstel of verkleinen van bestaande schade

Onderstaande maatregelen en technieken zijn erop gericht om schade te herstellen dan wel te verkleinen. (Bijna) alle maatregelen en technieken dragen ook bij om nieuwe schade te voorkomen dan wel te beperken.

#### **Maatregelen voor ondiepe funderingen**

Bij gebouwen op een ondiepe fundering neemt de schade in de loop van de tijd steeds een beetje toe en is herstel mogelijk in de vorm van reparatie van scheurvorming. Soms is een nieuwe (paal)fundering nodig, maar zeker niet altijd.

- *Scheuren herstellen.* Het is mogelijk om bestaande scheuren te repareren. De mate van schade die al is opgetreden (zie § 2.4) bepaalt hoe eenvoudig dit kan. Als de vervorming daarna verder gaat, zullen de scheuren weer zichtbaar worden.
- *Aanbrengen paalfundering.* Door het aanbrengen van een diepe fundering op palen in plaats van een bestaande ondiepe fundering, kan de invloed van ondiepe bodemdaling worden gestopt.
- *Grondinjecties.* Op zandgronden kunnen injectiemethoden voor grondverbetering worden gebruikt. Bij grondinjectie worden er materialen in de grond ingebracht om de sterkte, de draagkracht of de stabiliteit van de grond te verbeteren. Deze methoden zijn echter in de meeste klei- of veengronden niet toepasbaar dan wel niet effectief. Door middel van injecties kunnen in sommige gevallen ook verzakte funderingsplaten weer (gedeeltelijk) worden rechtgezet.
- *Versterken/verstijven van gevels en constructies.* Het is mogelijk om door het versterken dan wel verstijven van gevels en relevante constructies van het gebouw ervoor te zorgen dat deze zakking en rotaties kan opnemen. Dit komt weinig voor en vraagt om specifieke aanpassingen.

#### **Maatregelen voor houten paalfunderingen**

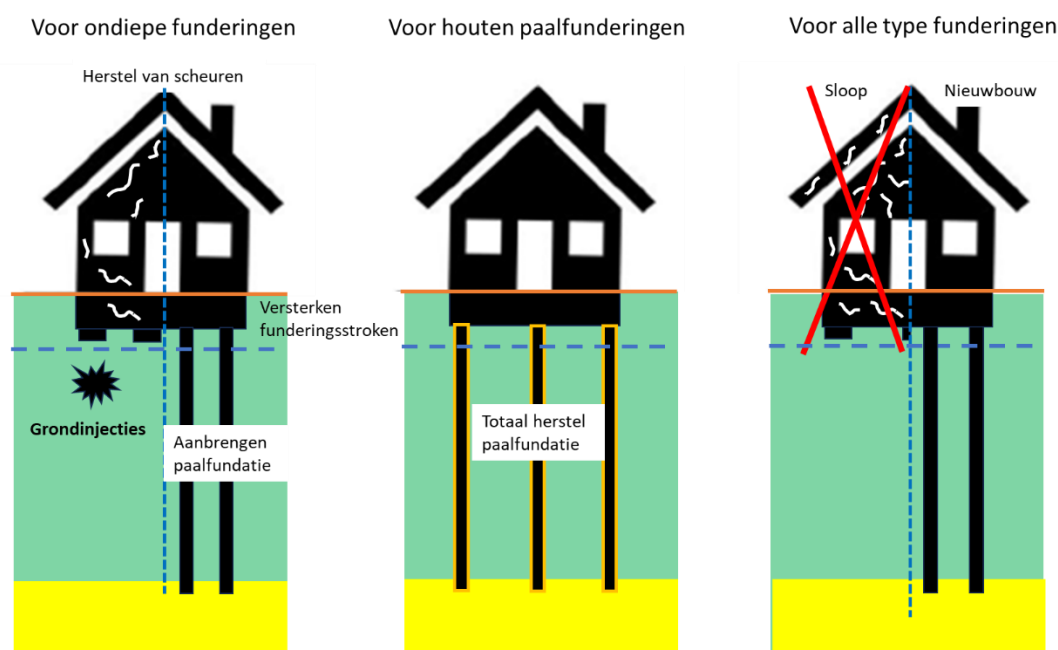
- *Totaal herstel van paalfundering.* Als bij gebouwen op houten palen de fundering is gedegradeerd (ernstig aangetast), is eigenlijk alleen het vervangen van de fundering een optie. Het totaal vervangen van de fundering betekent bij oude gebouwen in binnensteden vaak dat er nieuwe kleine stalen palen worden aangebracht, die met balken of een nieuwe betonvloer (bekend als 'tafelconstructie') aan de bestaande muren worden bevestigd. Deze nieuwe funderingspalen zijn langer dan de oude palen en worden doorgezet tot in diepere zandige lagen voor meer draagkracht. De methode met de tafelconstructie is momenteel de meest gangbare en effectieve methode.

- *Paalkopverlaging.* Soms is gedeeltelijke vervanging van de houten fundering mogelijk door middel van paalkopverlaging. De houten paal wordt dan voor een deel ontgraven en op een veel lager niveau afgezaagd. Het tussenstuk wordt voorzien van een vijzel en gewapend beton. De houten fundering moet hiervoor dan wel voldoende draagvermogen hebben. Deze herstmethode wordt alleen toegepast indien droogstand de oorzaak van het funderingsprobleem is. Dit is het geval bij schimmelaantasting. De methode is niet geschikt bij bacteriële aantasting. Verder geldt dat paalkopverlaging geen verbetering geeft van het totale draagvermogen, dus dit lost het eventuele probleem met negatieve kleef niet op. Paalkopverlaging wordt dan ook alleen toegepast in heel specifieke situaties.

#### Maatregelen voor alle type funderingen

- *Sloop-nieuwbouw.* Bij gebouwen met zeer grote funderingsschade, al dan niet in combinatie met andere tekortkomingen zoals een laag energielabel en noodzaak tot groot onderhoud, kan worden overwogen om over te gaan tot sloop en nieuwbouw.
- *Herstellen van vochtschade.* Als vochtschade ontstaat via lekkages in de kelder, is het mogelijk om deze (weer) waterdicht te maken met injecties. Het herstellen van vochtschade zal in de praktijk neerkomen op het ventileren en laten drogen van het gebouw en de kruipruimte. Waar nodig kunnen daarna delen van de gebouwen worden hersteld door bijvoorbeeld te verven. Zolang de oorzaak van de vochtschade niet wordt aangepakt, zal de vochtschade terugkeren.

In Figuur 4.1 zijn de zojuist besproken maatregelen in beeld gebracht.



Figuur 4.1. Constructieve maatregelen op gebouwniveau gericht op herstel, verkleinen van bestaande schade of voorkomen van nieuwe schade.

## 4.2 Maatregelen om nieuwe schade te voorkomen aan bestaande gebouwen

In deze paragraaf sommen we maatregelen en technieken op die betrekking hebben op de waterhuishouding. Ze dragen bij aan een zo stabiel mogelijke bodemvocht- en grondwatersituatie. Hierdoor zal de kans op nieuwe schade aan gebouwen afnemen. Een

stabielere bodemvocht- en grondwatersituatie zal ook helpen bij het beperken van bodemdaling. In algemene zin geldt dat het beperken van bodemdaling het risico op funderingsschade zal verminderen (zie § 2.2).

#### **Maatregelen om de waterhuishouding op gebiedsniveau beter te beheersen**

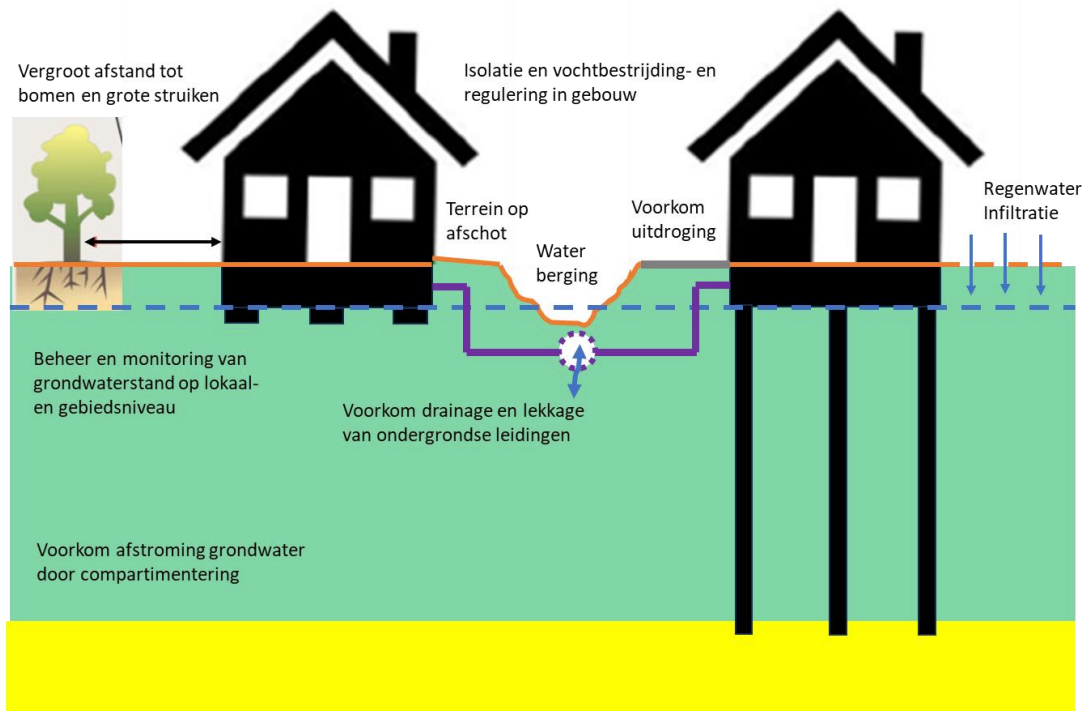
- *(Grond- en oppervlakte)waterstandbeheer*. Deze maatregel behelst het hanteren van een stabiel en voor de aanwezige funderingen geschikt (grond- en oppervlakte)waterstand per gebied.
- *Compartimenteren van gebieden*. Deze maatregel behelst het plaatsen van bijvoorbeeld stalen damwanden of van kleiwanden waarmee de grondwaterstroming (en daarmee de grondwaterstand) kan worden beïnvloed en gestabiliseerd.
- *Waterretentie in bekkens*. Deze maatregel behelst het aanleggen van grote waterbekkens die kunnen worden gebruikt voor de stabilisatie van de (grond)waterstand, voor waterberging tijdens (extreme) regenval en voor waterinfiltratie in de ondergrond tijdens (extreme) droogte.
- *Regenwaterinfiltratie*. Deze maatregel behelst het toepassen van open verharding voor een betere infiltratie van regenwater of het toepassen van een systeem van geperforeerde rioleringsbuizen die water vanuit de openbare ruimte en van daken van gebouwen verzamelen en herverdelen in de ondergrond (in plaats van afvoer van regenwater via de vuilwaterriolering).

#### **Maatregelen om de lokale waterhuishouding rondom een gebouw beter te beheersen**

- *Grondwaterstand lokaal reguleren/verlagen*. Om vochtoverlast te voorkomen is een lage grondwaterstand wenselijk. Dit kan echter negatieve effecten hebben: houten palen kunnen gaan rotten als gevolg van droogstand en gebouwen met een ondiepe fundering kunnen vervormen als gevolg van de bodemdaling. Een tijdelijke verlaging van het oppervlaktewaterpeil in de winter kan helpen grondwateroverlast te voorkomen. Daarnaast kan het drainage/infiltratie-riool worden ingezet om lokaal het grondwater te reguleren. Bij gebouwen met een kwetsbare fundering moeten dergelijke ingrepen wel nauwgezet worden gemonitord.
- *Plaatsen van een infiltratiedrain*. Een infiltratiedrain is een horizontale geperforeerde buis waarmee water in de bodem wordt geïnfiltreerd. Van belang is om onbeheerste drainage of lekkage via (kapotte) ondergrondse leidingen of rioleringen te voorkomen.
- *Toepassen van retourbemaling*. Met behulp van retourbemaling wordt elders opgepompt grondwater weer in de bodem teruggebracht. Deze maatregel wordt vooral toegepast bij tijdelijke bemalingen.
- *Toepassen van folie tegen bodemuitdroging*. Door reductie van de verdamping van het bodemvocht met een in de bodem aangebrachte folie kan uitdroging door verdamping worden voorkomen.
- *Gebouw vrijhouden van bomen en grote struiken*. Als bomen en grote struiken te dicht bij een gebouw staan, beïnvloeden ze de vochthuishouding door lokaal veel vocht aan de bodem te onttrekken.
- *Gebouw grondwaterproof maken*. Door middel van isolatie en vochtbestrijding is schade als gevolg van hoog grondwater te voorkomen.
- *Luchtvochtigheid reguleren*. Schade aan gezondheid is te voorkomen door een hoge luchtvochtigheid in huis te voorkomen.
- *Controleren of aanpassen van terrein rond gebouw*. Het terrein moet op afschot van de buitenmuren van het gebouw liggen en/of goed afwateren.

Met bovenstaande maatregelen zal de kans op nieuwe schade aan bestaande gebouwen afnemen. In Figuur 4.2 zijn ze in beeld gebracht.





Figuur 4.2. Maatregelen op lokaal en gebiedsniveau voor een zo stabiel mogelijke bodemvocht- en grondwatersituatie bij zowel ondiepe als diepe funderingen.

### Constructieve maatregelen en technieken

De volgende lijst met constructieve maatregelen en technieken draagt bij aan het voorkomen van nieuwe schade bij bestaande gebouwen, aanvullend op de maatregelen genoemd in § 4.1.

- *Versterken fundering.* Wanneer een gebouw wordt verzwaard, bijvoorbeeld door het inbrengen van betonnen vloeren, is het soms mogelijk de extra belasting op te vangen door de bestaande funderingsstroken te verbreden/versterken en/of enkele extra palen te heien en daarmee de gemiddelde belasting op de bestaande palen niet te verhogen. Hiermee wordt nieuwe schade beperkt dan wel voorkomen.
- *Verminderen negatieve kleeft bij paalfundering.* Door het verwijderen van grond rond de palen kan de paalfundering worden ontlast van negatieve kleeft. Verder kan bij geplande ophogingen rond het gebouw relatief zwaar ophogingsmateriaal, zoals zand, worden vervangen door een relatief licht materiaal, zoals schuimbeton of een lichtgewicht granulair product.
- *Flexibele huisaansluitingen.* Voor zowel bestaande als nieuwe gebouwen is het toepassen van flexibele huisaansluitingen zinvol in het geval significante verschilvormingen kunnen optreden tussen het gebouw en de openbare ruimte en tuinen rond het gebouw.

### Maatregelen in geval van infrastructurele activiteiten in de nabijheid

In geval van infrastructurele ingrepen nabij bestaande gebouwen/funderingen kunnen de volgende maatregelen worden genomen om nieuwe schade te voorkomen:

- *Risico-inschattingen en voorspellingen maken* van potentiële schade aan gebouwen/funderingen en de juiste maatregelen treffen om deze schade te voorkomen.
- *Robuust ontwerp maken* van de infrastructurele ingreep.
- *Vooropname uitvoeren* van het gebouw.
- *Gebouwgedrag monitoren* voorafgaand, tijdens en na de uitvoering, inclusief controle of vastgestelde interventiewaarden niet zijn overschreden

### 4.3 Maatregelen tegen funderingsschade bij nieuwbouw

Nieuwbouw op slappe, samendrukbare grond wordt voorzien van funderingen met betonnen palen, die tot in de draagkrachtige zandlaag worden aangebracht. Ondiepe bodemdaling heeft door de diepe fundering geen invloed op het gebouw. De funderingen zijn evenmin gevoelig voor negatieve kleeft, in de zin dat de palen zijn ontworpen op deze extra belasting. Daarnaast zijn de betonnen palen niet gevoelig voor droogstand.

Nieuwbouw op een meer draagkrachtige bodem wordt voorzien van een ondiepe fundering, bestaande uit betonnen funderingsbalken. Deze zijn aanmerkelijk stijver en sterker dan de gemetselde funderingsstroken die onder oudere gebouwen zijn toegepast. Hierdoor leiden eventuele zettingsverschillen minder snel tot schades.

Het is onduidelijk of en in hoeverre er schades zijn gemeld aan gebouwen met een betonnen fundering, bijvoorbeeld als gevolg van het krimpen en zwellen van klei. Vooralsnog lijkt er geen aanleiding om funderingsschade te verwachten bij nieuwe gebouwen. De zakkingsproblematiek heeft bij nieuwbouw voornamelijk betrekking op de aansluitingen met het omliggende terrein (tuinen, de oprit, openbaar gebied, straatniveau). De aansluitingen van de nutsvoorzieningen vragen speciale aandacht als het openbare gebied zakt en de gebouwen op hoogte blijven.

### 4.4 Maatregelen tegen gevolgen van bodemdaling in de openbare ruimte

In nieuwe gebieden of bij herontwikkeling van de openbare ruimte kan worden gekozen voor diverse technische maatregelen om (te grote) maaiveldzakkingen van de direct omliggende openbare ruimte en tuinen te voorkomen. Dit betreft bijvoorbeeld:

- *Voorbelasten door integrale ophoging met zand.* Met deze aanpak worden de toekomstige vervormingen 'versneld' en toekomstige (verschil)vervormingen geminimaliseerd. Het verlies in maaiveldhoogte wordt direct gecompenseerd met de ophoging. Een recent voorbeeld is het gebied Westergouwe te Gouda. Voorbelasten betreft echter een zeer dure maatregel, gezien de benodigde hoeveelheid materiaal (zand) maar ook gezien de benodigde tijd (mogelijk verscheidene jaren). Hierdoor is (en wordt) vaak niet gekozen voor deze aanpak. Of er wordt gekozen voor alleen een voorbelasting van de toekomstige wegen in het nieuw te ontwikkelen gebied. Hierdoor blijven (verschil)zakkingen optreden tussen de gebouwen (met moderne fundering) en de omliggende openbare ruimte en tuinen.
- *Ophogen met licht ophogmateriaal.* Door de openbare ruimte op te hogen met licht ophogmateriaal, worden zettingen voorkomen of sterk verminderd.
- *Verdichting.* In geval van zandlagen met een losse pakking kan verdichting worden toegepast. Hierbij wordt het korrelskelet van de zandlagen actief herschikt en dichter gemaakt door middel van bijvoorbeeld een trilplaat. Dit voorkomt vervormingen op een later moment ten gevolge van verdichting door bijvoorbeeld zwaar verkeer.
- *Soil mixing of injectie.* In slappe klei- en veenlagen kan de grond worden gestabiliseerd en versterkt met het inbrengen van materiaal via 'soil mixing' of injectie. De methode is vrij kostbaar en wordt vooral toegepast in Scandinavische landen.
- *Geheel of deels onderheien van het openbaar gebied.* De gemeente Woerden heeft in het buurtschap De Kanis een woonwijk in zijn geheel onderheid. Er is een tafelconstructie aangebracht met daarop de nutsvoorzieningen, een zandpakket, wegen en openbaar gebied.

In § 4.3 hebben we aangegeven dat bij dalend openbaar gebied aandacht nodig is voor de aansluitingen van de nutsvoorzieningen (vooral rioolaansluitingen zijn kwetsbaar). Met behulp van flexibele aansluitingen kan voor een beperkte periode het verschil in zakking worden opgevangen, maar dit zal met enige regelmaat moeten worden aangepast.

Eigenaren van gebouwen in gebieden met slappe bodem zijn vaak eraan gewend dat zij met enige regelmaat hun oprit, stoep, tuin enzovoort moeten ophogen.

## 4.5 Ontwikkelen van kennis en inzicht

Aanvullend op de hiervoor genoemde bestaande technische maatregelen voor herstel en preventie van schade is het zinvol om op onderstaande aspecten meer kennis en/of inzicht te ontwikkelen. Hierdoor kan in de toekomst beter worden beoordeeld welke maatregelen waar nodig zijn.

### **Verzamelen informatie over type fundering per gebouw**

De grootste onzekerheid rond aard en omvang van funderingsrisico's betreft het type fundering dat per gebouw aanwezig is. Vaak is dit onbekend. Tot op heden verzamelde data en ervaringen uit gemeenten zoals Rotterdam en Gouda en data van het KCAF kunnen behulpzaam zijn om meer inzicht te verkrijgen.

Om een beeld van de funderingen te krijgen kan ook gebruik worden gemaakt van vervormingsmetingen via satellieten en van al ontwikkelde methoden voor risicobepaling. Daarnaast kunnen gegevens worden verzameld uit bouwarchieven, historische verordeningen of bouwkundige opnamen. Bij het vergaren van informatie is het van belang om ook vast te leggen welke funderingen zijn hersteld of vervangen.

### **Reguleren en modelleren van grondwater**

De grondwaterstand is een zeer bepalende factor in de funderingsproblematiek. De grondwaterstand hangt van veel factoren af, waaronder ook keuzes die die door het bevoegd gezag worden gemaakt. Denk bijvoorbeeld aan het repareren van lekkages in de riolering, het doorvoeren van oppervlaktewaterpeilveranderingen, het aanleggen van infiltratiesystemen en het vasthouden en afvoeren van water wanneer dit nodig is. Maatregelen die de bodemdaling of lage grondwaterstanden tegengaan dienen eveneens op gebiedsniveau te worden genomen, dus door de betrokken gemeente(n) en/of het waterschap. Het verder ontwikkelen van grondwatermodellen, vooral in stedelijk gebied, kan worden gebruikt om inzicht te krijgen in de effectiviteit van maatregelen en daarmee het bevoegd gezag ondersteunen.

### **Beperken van bodemdaling en modelleren van effecten van maatregelen**

Door onder meer peilindexatie wordt er steeds weer nieuwe bodemdaling veroorzaakt, wat tot nieuwe of verergerde schade aan gebouwen leidt. Het beperken van de peilindexatie zou deze bodemdalingscyclus kunnen doorbreken. Dit helpt om de funderingsproblematiek te verminderen. Door het modelleren van maatregelen om bodemdaling te beperken kunnen gekwantificeerde risicoanalyses worden gemaakt die inzicht geven in de effecten van mogelijke ingrepen in de ondergrond en grondwater.

### **Monitoren van bodem- en gebouwbewegingen**

Monitoring van bodemdaling gebeurt op dit moment in Nederland niet structureel. Hierdoor is er geen inzicht in de ontwikkeling van bodemdaling in ruimte en tijd. Welke acties nodig zijn om bodemdaling te verminderen en zo funderingsschade te voorkomen, is daarmee onduidelijk. Dat maakt het leveren van maatwerk ondoenlijk.

Het is belangrijk om bodemdaling te meten, de onderliggende processen te begrijpen en het optreden van bodemdaling en schade bij de verschillende mogelijke maatregelen goed te kunnen voorspellen. Dit zal het handelingsperspectief sterk vergroten. Ook monitoring van gebouwbewegingen is van belang. Dit maakt validatie van risicobeoordelingen voor gebouwen mogelijk met behulp van (satelliet)metingen en andere technieken.

### **Verbeteren van technische kennis over krimp, zwel en paaldegradatie**

Door een betere inschatting te maken van de verspreiding van *krimp en zwel* op landelijke schaal wordt duidelijk waar zich de risicogebieden bevinden. Inzicht in de effecten van krimp en zwel van kleilagen op gebouwen en de funderingen van gebouwen kan beter inzicht geven in de restlevensduur van de fundering.

Op dit moment wordt onderzoek gedaan naar het krimp-zwelgedrag van Nederlandse kleisoorten. Beschikbare gegevens over de minerale samenstelling van Nederlandse kleien geven een aanwijzing dat krimp-zwelgevoeligheid vrij algemeen aanwezig is, onder andere in Zeeland, in het rivierengebied en in Oost- en Noord-Nederland. Ook landbouwkundige laboratoriummetingen van kleikrimp uit de jaren tachtig van de vorige eeuw wijzen daarop. Dat er na de droge zomer van 2018 een sterke toename was van schademeldingen in deze delen van het land – waar volgens het KCAF (2022a) niet of nauwelijks sprake is van langjarige bodemdaling – versterkt het beeld dat schade door versterkte krimp-zwelcycli in grotere delen van het land voorkomt.

In Rekken (Gelderland) is met zekerheid vastgesteld dat een schadepand onderhevig was aan grote krimp-zwelvormingen, omdat de scheuren in de muren met de seizoenen opengaan en weer dicht worden gedrukt (Blom et al., 2022). Bij het pand zijn seizoenmatige maaiveldbewegingen van ruim 5 cm gemeten. Door het aanbrengen van een folie in de bodem rond het pand tot twee meter buiten de gevel (ter voorkoming van uitdrogen van de bodem), zijn de krimp-zwelcycli vrijwel volledig verdwenen (Blom et al., 2023). Kostbare versterking van de fundering bleek daardoor niet nodig. Uitbreiding van dit soort monitoring is essentieel om inzichten verder te vergroten in (a) het krimp-zwelgedrag van verschillende kleien, (b) de invloed van omgevingsfactoren zoals gebouwen, vegetatie en grondwaterstand en (c) de effectiviteit van mogelijke maatregelen.

Recent ontwikkelde, gestandaardiseerde laboratoriumproeven moeten helpen om het krimp-zwelgedrag van verschillende Nederlandse kleien uitgebreider geotechnisch te karakteriseren. Eerste resultaten laten onder andere zien dat de klei in Rekken een zeer grote zwelkracht kan ontwikkelen, voldoende om een groot flatgebouw omhoog te drukken. De karakterisering biedt belangrijke input voor de ontwikkeling en geleidelijke verfijning en verbetering van een nationale krimp-zwel-gevoeligheidskaart.

Behalve het verkrijgen van meer inzicht in krimp en zwel is ook het verbeteren van inzicht in de ontwikkeling van *paaldegradatie* als functie van lokale omstandigheden belangrijk. Dit inzicht kan helpen om betere voorspellingen te maken van de restlevensduur van gebouwen met houten paalfunderingen.

### **Ondersteunen van particuliere gebouweigenaren**

Er is een gebrek aan inzicht in de problematiek bij gedupeerden van funderingsschade, vooral onder particulieren. Dat de technische levensduur van gebouwen beperkt is, beseft niet iedere gebouweigenaar. Het ondersteunen van deze eigenaren bij het treffen van de juiste maatregelen is dan ook van belang.

Technische maatregelen zoals funderingsherstel zijn voor diepe funderingen van houten palen vrij algemeen bekend, maar vaak complex (zeker als er sprake is van gedeelde funderingen tussen naast elkaar gelegen gebouwen) en kostbaar voor individuele eigenaren. Technische maatregelen voor ondiepe funderingen zijn veel minder bekend. Deze funderingen bevinden zich vaak in gebieden waar voorheen geen funderingsschade werd verwacht. Lokaal wordt in deze gebieden geëxperimenteerd met maatregelen, zoals het afdekken van kleilagen of het aanbrengen van infiltratiesystemen, maar de effectiviteit en toepasbaarheid ervan op grotere schaal zijn veelal onbekend.

In sommige gevallen zijn de preventie maatregelen niet eenduidig. Bijvoorbeeld wanneer huizen met een houten paalfundering zich naast of in de buurt van huizen met (kwetsbare) ondiepe funderingen bevinden. Voor de houten paalfundering is een hoge grondwaterstand gewenst om droogstand te voorkomen, terwijl voor de ondiepe fundering mogelijk juist een lagere grondwaterstand gewenst is om vochtschade te voorkomen.

Dan is er nog de complexe situatie waarin processen van derden private eigendommen beïnvloeden. Het onderscheiden van de verschillende mogelijke oorzaken van funderingsschade en de bijbehorende verantwoordelijkheden, is vaak niet mogelijk. Het is een illusie te denken dat het ooit mogelijk wordt deze wirwar 'met een schaarstje te knippen'. Eigenaren die schade willen voorkomen zullen dus rekening moeten houden met gedeelde en overlappende verantwoordelijkheden en soms ook met conflicterende belangen op korte afstand, bijvoorbeeld tussen burens.

### **Experimenteren met en evaluatie van (innovatieve) maatregelen**

In de 'Challenge Houten Funderingen' (zie [www.challengehoutenfunderingen.nl](http://www.challengehoutenfunderingen.nl)) hebben vier woningcoöperaties in Amsterdam innovaties uitgevraagd voor funderingsherstel. Verschillende innovaties worden nu onderzocht, waaronder infiltratietechnieken om houten palen te beschermen tegen bacteriële aantasting (door Stichting Hout Research) en minder invasieve technieken voor funderingsherstel.

## 5 Beoordelen restlevensduur bestaande funderingen

Om de technische restlevensduur van een fundering te kunnen bepalen en om vast te stellen of er maatregelen nodig zijn, dient de huidige situatie van fundering en gebouw te worden beoordeeld. In de beoordeling wordt bekeken hoe lang het gebouw en de fundering nog voldoet aan de in Nederland geldende eisen. Er kunnen ook andere/aanvullende redenen zijn om maatregelen te treffen aan een fundering. Deze dienen in samenhang met de technische levensduur te worden beoordeeld.

Alle constructies in Nederland moeten een minimale betrouwbaarheid hebben. Hiervoor zijn bouwnormen geformuleerd. De te stellen eis is afhankelijk van het type constructie en of het bestaande bouw of nieuwbouw is. Hoe strenger de eis, des te veiliger of betrouwbaarder de constructie. Aan de constructie van een bestaande schuur zonder woonfunctie wordt een lagere betrouwbaarheidseis gesteld dan aan de constructie van een nieuw te bouwen flatgebouw

Om vast te stellen hoelang een bestaande fundering nog voldoet aan de gestelde eisen, dient de fundering te worden beoordeeld volgens de normen. Daarnaast zijn er richtlijnen met een meer gedetailleerde handleiding voor degene die de beoordeling uitvoert. Alle aspecten en criteria uit de normen zijn daarin verwerkt. In dit hoofdstuk lichten we het stelsel van normen en richtlijnen voor funderingen nader toe.

### 5.1 Normenserie voor bestaande bouw

De normenserie voor bestaande bouw (NEN 8700) is van toepassing voor het beoordelen van bestaande bouw<sup>4</sup>. Deze normenserie beschrijft op hoofdlijnen welke aspecten in de inspectie en in het (archief)onderzoek over een gebouw moeten worden meegenomen. Voor elk aspect (bijvoorbeeld kwaliteit van de palen, zakkingsnelheid of scheefstand) moeten de observaties worden getoetst aan criteria. De combinatie van alle resultaten leidt tot een eindoordeel over de verwachte restlevensduur waarbinnen de constructie nog voldoet aan de gestelde betrouwbaarheidseis.

In de gestelde eis wordt onderscheid gemaakt tussen criteria voor het betrouwbaarheidsniveau van een bestaande constructie en criteria voor het betrouwbaarheidsniveau van een verbouwde constructie. Als is besloten tot een verbouwing, worden strengere eisen gesteld aan het betrouwbaarheidsniveau – dit vanuit de gedachte dat met relatief beperkte extra bouwkosten een hoger veiligheidsniveau kan worden bereikt en daarmee een langere restlevensduur.

In principe zou elk bestaand gebouw moeten voldoen aan de minimale betrouwbaarheidseisen van de NEN 8700-serie, oftewel de 'afkeureisen'. Belangrijk om te vermelden is dat er geen actief handhavingsbeleid bestaat op dit punt. Alleen als er gereede aanleiding is om te twijfelen aan de veiligheid van een gebouw, wordt er getoetst aan de afkeureisen. Bij een verbouwing moet de constructie altijd getoetst worden aan de NEN 8700-serie.

---

<sup>4</sup> Zie <https://www.nen.nl/bouw/constructieve-veiligheid/constructieve-veiligheid-bestaande-bouw>

De NEN 8707 is de deelnorm specifiek voor het beoordelen van funderingen<sup>5</sup>. In deze norm is de toetsing in belangrijke mate gebaseerd op archiefonderzoek, inspecties en de observatiemethode – en minder op rekenkundige exercities, zoals in de normen voor nieuwbouw. Actuele kennis op het gebied van bijvoorbeeld de duurzaamheid van houten palen is opgenomen in deze deelnorm. Uit de toetsing volgt een restlevensduur. Dit is “de veronderstelde periode gedurende welke een bestaande of verbouwde constructie of een deel ervan is te gebruiken voor het beoogde doel.” Er wordt onderscheid gemaakt tussen de toetsing van ondiepe funderingen en de toetsing van funderingen op palen. Dit onderscheid werken we verder uit in de nu volgende secties.

### Beoordelingscriteria voor ondiepe funderingen

NEN 8707 beschrijft de toetsing van de restlevensduur van ondiepe funderingen. Hierbij wordt gebruikgemaakt van berekeningen en van inspecties van vervormingen. Als er berekeningen worden gemaakt, worden bijvoorbeeld de materiaalspanningen vergeleken met de toelaatbare materiaalsterkte.

De NEN 8707 stelt ook eisen aan de inspectie van de fundering en het gebouw. Van scheuren in het gebouw dient bijvoorbeeld het aantal, de lengte en het patroon te zijn vastgelegd.

Daarnaast moeten de gemeten vervormingen van het gebouw worden getoetst. Voor deze toetsing is een tabel met waarden opgenomen in de NEN 8707 voor metselwerkgebouwen. Deze tabel is hieronder weergegeven als Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Beoordelingscriteria voor fundering van metselwerkgebouwen uit norm NEN8707\*

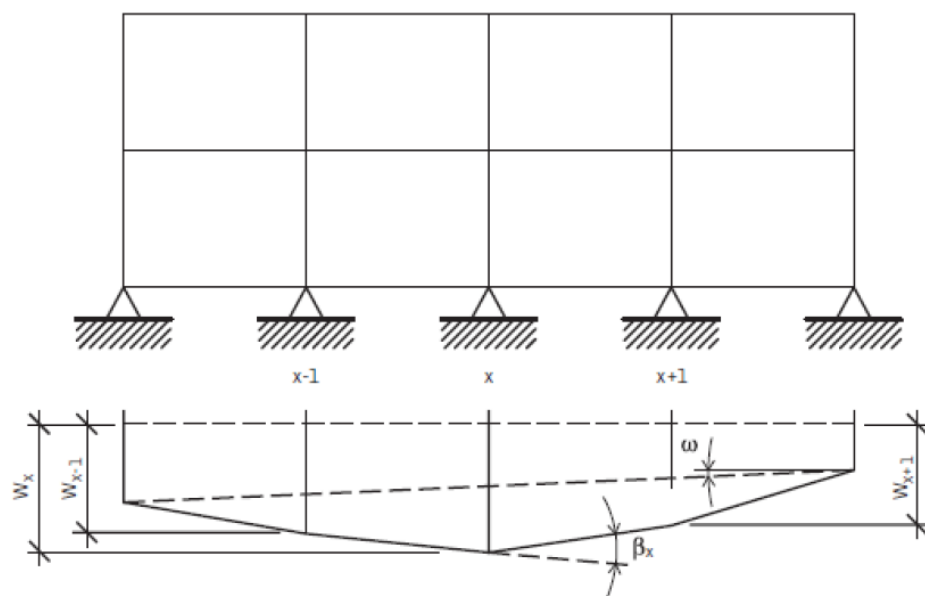
Restlevensduur in jaren	Relatieve rotatie [-]	Zakkingsnelheid [mm per jaar]	Verskil in zakkingsnelheid** [mm per jaar]	Toename relatieve rotatie [mm/m per jaar]
≥ 30	< 0,01 (1/100)	< 2	< 1	< 0,2
≥ 15	< 0,015 (1/67)	< 3	< 1,5	< 0,3
1	≥ 0,015 (1/67)	≥ 3	≥ 1,5	≥ 0,3

\* De relatieve rotatie (kolom 2) kan worden bepaald met bijvoorbeeld een lintvoegmeting (meting van de voegen van het metselwerk) of een vloerwaterpassing (meting van de stand van de vloeren). Als eerste indicatie of de fundering mogelijk een kortere levensduur heeft, wordt vaak de zakkingsnelheid (kolom 3) gebruikt, maar deze is minder nauwkeurig dan de relatieve rotatie.

\*\* Dit betreft het verschil tussen het meetpunt met de grootste zakkingsnelheid en het meetpunt met de kleinste zakkingsnelheid.

Een eerste schatting van de relatieve rotatie is verplicht. De overige grootheden (zakkingsnelheid, verschil in zakkingsnelheid en toename van de relatieve rotatie in de tijd) mogen worden gebruikt om deze eerste schatting eventueel bij te stellen. Zie Figuur 5.1 voor een definitie van de genoemde grootheden.

<sup>5</sup> Zie <https://www.nen.nl/nen-8707-2018-nl-246554>



Figuur 5.1. Definitie van de relatieve rotatie ( $\beta_x$ ), zakkingen ( $w_x$ ) en scheefstanden ( $w$ )

De uitkomst van de beoordeling kan zijn dat de fundering in de categorie 'restlevensduur meer dan dertig jaar' valt, de beste categorie. Als de fundering in de categorie 'restlevensduur 1 jaar' valt, de slechtste categorie, betekent dit dat de veiligheid in het geding is. Er is ook een tussencategorie: 'restlevensduur van minimaal vijftien jaar'.

### Beoordelingscriteria voor paalfunderingen

Voor de inspectie van een gebouw met paalfundering gelden dezelfde eisen als voor de inspectie van een gebouw met ondiepe fundering. Bij een fundering op houten palen moet in geval van een 'Rotterdamse fundering' (enkele palenrij) minimaal 3% van de palen (met een minimum van drie palen) worden geïnspecteerd en ingemeten. Bij een 'Amsterdamse fundering' (dubbele palenrij) geldt eveneens een minimum van 3% van het aantal palen, maar is het minimum zes palen.

In geval van een fundering met houten palen moet daarnaast 1% van het aantal palen (minimaal twee palen) zijn onderzocht aan de hand van houtmonsters op houtsoort, kwaliteit en aantasting. Dit kan overigens in bepaalde gevallen achterwege blijven, onder andere op grond van de met een speciale hamer (inslaghamer) gemeten indringing.

De restlevensduur wordt bepaald aan de hand van de vervormingscriteria voor de fundering en het gebouw én aan de hand van de materiaalsterkte. Voor bruggen en viaducten gelden aanvullende eisen ten aanzien van houten palen.

## 5.2 Richtlijnen voor beoordelen bestaande funderingen

De geldende normen geven concrete eisen waaraan een fundering dient te worden getoetst. Daarnaast is er een richtlijn die refereert aan deze normen en die verdere invulling geeft aan de wijze van beoordeling. De hiervoor gebruikte richtlijn (KCAF, 2022b) wordt landelijk door de meeste partijen gebruikt voor beoordeling van funderingen. Onderdeel van deze richtlijn is een classificatiesysteem met kleurcodes; zie Figuur 5.2.



Classificatie	Omschrijving
Voldoende	Binnen 25 jaar zijn geen of geringe onderlinge zakkingsverschillen te verwachten, beperkte verhoging belasting mogelijk (wel rekentechnisch onderbouwen).
Redelijk	Binnen 25 jaar is door zakking, rotatie en/of andere factoren casco'schade aan het pand te verwachten; vervolgonderzoek zoals monitoring is wenselijk.
Matig	Binnen 15 jaar is door zakking, rotatie en/of andere factoren casco'schade aan het pand te verwachten, vervolgonderzoek zoals monitoring is wenselijk.
Onvoldoende	Binnen 5 jaar door grote zakking, grote rotatie en/of andere factoren casco'schade, funderingsherstel noodzakelijk.
Slecht	Door grote zakking, grote rotatie en/of andere factoren schade aan en/of instabiliteit van het casco; funderingsherstel noodzakelijk zo nodig direct stabiliserende maatregelen treffen aan het casco.

Figuur 5.2. Classificatietabel met groene, oranje en rode classificatie uit de KCAF-richtlijn.

Zoals de kleurcodes laten zien, zit er bij de invulling van de norm een grote bandbreedte tussen een fundering die wordt afgekeurd en een fundering die in orde is. Het KCAF-richtlijn werkt met vijf mogelijke classificaties, in plaats van de drie classificaties uit NEN8707. De hoogste en laagste categorie in de richtlijn komen min of meer overeen met NEN8707, maar de richtlijn heeft dus meer dan één tussenwaarde.

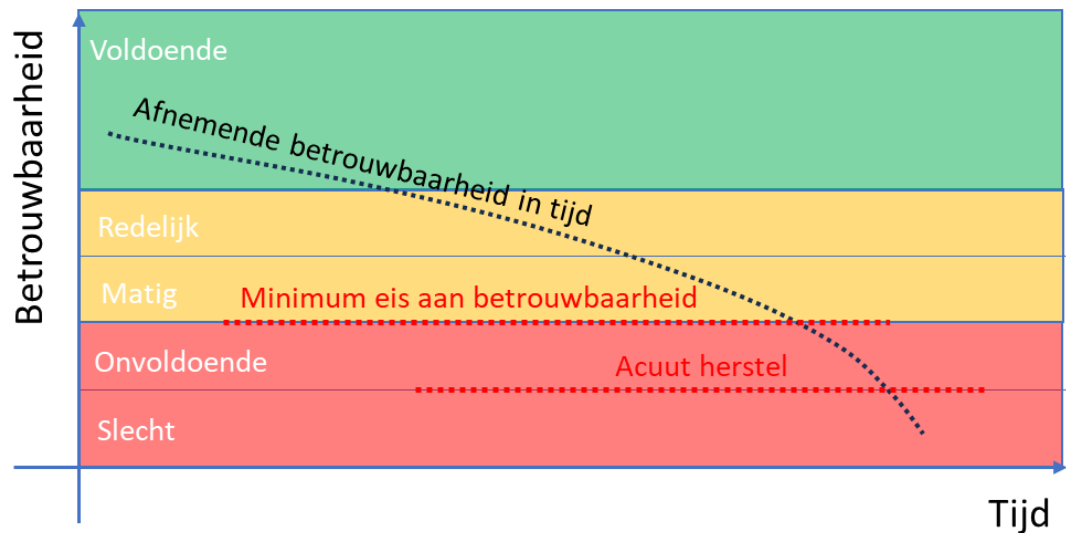
De richtlijn vermeldt:

*“De gemaakte analyse over het functioneren van de fundering dient helder en navolgbaar in de beoordelingsrapportage te zijn beschreven. [...] algemene richtlijnen voor de analyse zijn niet te geven omdat het wegen van het geheel aan factoren complex is en multidisciplinaire expertise vereist.” (KCAF, 2022b, p. 50)*

Hiermee verwoordt het KCAF dat de indeling van een fundering in een bepaalde (schade)klasse niet per definitie eenduidig is en door een deskundige dient te worden uitgevoerd. Het is dan ook niet te voorkomen dat verschillende deskundigen tot uiteenlopende oordelen komen. De richtlijn is onder meer bedoeld om deze verschillen zo klein mogelijk te houden.

Als een fundering verouderd, zal deze meestal minder sterk worden (bij houten palen bijvoorbeeld) of steeds meer vervormen (bij ondiepe funderingen in gebieden met bodembewegingen). Een fundering zal bij de bouw als het goed is sterker zijn geweest dan de norm, maar over tijd zal de betrouwbaarheid verminderen; zie Figuur 5.3. De snelheid waarmee dat gaat (de zwarte gestippelde lijn in de figuur) is afhankelijk van de fundering en de specifieke situatie. Sinds 1970 worden er pas eisen aan funderingen gesteld. De norm stelt een minimumeis, weergegeven als een rode gestippelde lijn.

Voor het bepalen van de omvang van de funderingsproblematiek hebben we een relatie gelegd tussen de schadeklassen uit hoofdstuk 2 en de classificatie uit Figuur 5.2. Deze relatie is niet absoluut; de schadeklassen zijn momentopnamen van al opgetreden schade en de te verwachten restlevensduur is een inschatting voor de toekomst, die ook rekening houdt met (veranderingen in) omgevingseigenschappen zoals de grondwaterstand.



Figuur 5.3. Samenhang tussen de minimale betrouwbaarheidseis volgens uit de norm (rode stippellijn), de afnemende betrouwbaarheid van een fundering in de tijd (zwarte stippellijn) en het door het KCAF geïntroduceerde classificatiesysteem met kleurcodes.

Wanneer aan de hand van de KCAF-richtlijn is geconcludeerd dat funderingsherstel nodig is, kan gebruik worden gemaakt van een andere richtlijn om dit funderingsherstel uit te voeren, namelijk het *Handboek Funderingsherstel; Op palen en 'op staal'* (SBRCURnet, 2012). In deze richtlijn is de bestaande kennis en ervaring op het gebied van funderingsherstel gebundeld. Niet alleen de verschillende technische herstelmethoden komen aan bod, maar ook alle andere relevante aspecten van funderingsherstel, zoals juridische, verzekeringstechnische en financiële aspecten. De technische herstelmethoden uit het *Handboek Funderingsherstel* zijn besproken in hoofdstuk 4 van dit deel 2.

### 5.3 Benodigde informatie voor het opstellen van een beoordeling

In deze paragraaf geven we inzicht in de informatie die nodig is voor het beoordelen van de staat, en daarmee de restlevensduur, van de fundering.

Gesteld kan worden dat in het algemeen veel informatie benodigd is voor beoordeling van één specifieke fundering volgens NEN8707 dan wel de KCAF-richtlijn. Het verzamelen van (monitoring)informatie vraagt lange tijd en/of ingrijpende maatregelen (bijvoorbeeld vrijgraven van delen van de fundering). In het algemeen wordt er van grof naar fijn gewerkt; afhankelijk van de behoefte wordt er meer informatie verzameld (zie § 5.4 hierna). Er is momenteel geen methode om een beoordeling op gebiedsniveau (of regionaal of landelijk zelfs) uit te voeren.

Als een inschatting moet worden gemaakt van de staat van de fundering, is het in principe mogelijk (en waarschijnlijk ook aan te bevelen) om dezelfde indeling te hanteren als de richtlijn van het KCAF. Zonder specifiek onderzoek aan de fundering is het bepalen van 'de juiste kleurcode' echter zeer onzeker. Voor de beoordeling zijn de volgende hoofdonderwerpen van belang:

- *Welk type fundering zit er onder het gebouw: ondiep, palen, welke afmetingen, diepte, type hout, enzovoort?* Bepaling van het type fundering is in alle gevallen de eerste benodigde stap. Idealiter kan dit aan de hand van archiefonderzoek worden vastgesteld. Is dit niet mogelijk, dan zal in-situ-onderzoek (vrijgraven) van de fundering noodzakelijk zijn. Dit is een ingrijpende stap. Indien tot deze stap wordt overgegaan, kan het zinvol zijn direct een iets uitgebreider onderzoek te doen om de staat van de fundering vast te stellen.

- *Wat is de staat van de fundering: houtsterkte, geotechnisch draagvermogen, leeftijd?* De bepaling van de staat van de fundering is meestal ook nodig om uitspraken te doen over de restlevensduur van de fundering.
- *Welke toekomstige veranderingen in de omgeving zijn te verwachten?* Denk bijvoorbeeld aan bodemdaling, veranderingen van grondwaterstanden of werkzaamheden rond het gebouw. Waar relevant dient de invloed van deze veranderingen te worden meegewogen in de bepaling van de restlevensduur.
- *Wat zijn de gebouweigenschappen: aantal bouwlagen, verbouwingen, aanbouwen, opbouwen, aanwezigheid van een kelder?* Het bepalen van de gebouweigenschappen is relatief eenvoudig en geeft de gevoeligheid aan van het gebouw voor vervormingen van de fundering en daarmee de potentiële schade. In alle gevallen dient wel eerst een idee te bestaan over type en staat van de fundering.

De beoordelingsresultaten kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt als input voor een funderingslabel of een funderingsparagraaf in een koopcontract.

## 5.4 Beoordeling van grof naar fijn: mogelijke stappen

Voor een beoordeling van de staat en restlevensduur van de fundering van een gebouw kan het beste van grof naar fijn worden gewerkt. Als bijvoorbeeld voor recente gebouwen al veel bekend is van de fundering, dan is het risico vaak eenvoudig in te schatten

### Brononderzoek

Een brononderzoek zal altijd de eerste stap zijn. Hierbij wordt gekeken naar:

Bouwtekeningen en archiefstukken
Informatie waaruit blijkt of en zo ja wanneer de fundering al vernieuwd is
Opbouw ondergrond, inclusief inzicht in aanwezigheid kleilagen rond de grondwaterstand in verband met krimp/zwel (informatie beschikbaar via DINOloket)
Satellietmetingen (indien beschikbaar)

Als uit deze gegevens blijkt dat het gebouw niet op houten palen is gefundeerd of (in geval van een ondiepe fundering) niet op kleilagen, dan is de staat van de fundering minimaal voldoende te beoordelen. Als uit satellietmetingen blijkt dat de fundering niet zakt (<1-2 mm/jaar) dan leidt dit ook tot de beoordeling voldoende.

Als houten palen worden aangetroffen in de bronnen, wordt er gekeken naar:

Type houten paal grenen/vuren, eventueel toegepaste betonnen oplangers
Diepte van het funderingshout
Grondwaterstand, inclusief inzicht in te verwachten toekomstige werkzaamheden (vervanging riolering, aanleg/vernieuwing infrastructuur) en rekening houdend met aanwezigheid van bomen

Als de bronnen wijzen op toepassing van grenen palen is een volgende stap nodig (zie hierna onder 'Schouw'). Maar als uit de bronnen blijkt dat het gaat om vurenhout dat altijd ruim (minimaal 20 cm) onder de grondwaterstand staat (ook in de zomer), is nader onderzoek niet nodig. In geval van twijfel of ontbrekende gegevens is een volgende stap nodig (zie hierna onder 'Schouw').

Als een ondiepe fundering op klei wordt aangetroffen in de bronnen, wordt er gekeken naar:

Grondwaterstand, inclusief inzicht in te verwachten toekomstige werkzaamheden (vervanging riolering, aanleg/vernieuwing infrastructuur) en rekening houdend met aanwezigheid van bomen
Afmetingen en diepte van de fundering volgens bronnen (breedte, diepte, materiaal)
Gebouweigenschappen (aantal bouwlagen, verbouwingen, aanbouwen, opbouwen, aanwezigheid van een kelder)

Op basis van deze gegevens kan een theoretische beschouwing worden gemaakt van de draagkracht en eventuele vervorming van de fundering. Als deze voldoet en krimp/zwel speelt geen rol, dan is de staat van de fundering minimaal voldoende. In geval van twijfel of in geval van ontbrekende gegevens is een volgende stap nodig (zie hierna onder 'Schouw').

### **Schouw**

Als tweede stap kan een schouw worden uitgevoerd zonder ontgraven van de fundering. Hierbij wordt gekeken naar:

Gebouweigenschappen (aantal bouwlagen, verbouwingen, aanbouwen, opbouwen, aanwezigheid van een kelder)
Staat van het gebouw (scheurvorming, scheefstand, lintvoegmeting)

Als de schouw aantoont dat het gebouw in goede staat is, kan met behulp van de metingen een inschatting van de kwaliteit van de fundering worden gemaakt volgens de norm en/of de richtlijn.

Bij houten palen is deze stap minder geschikt, omdat de aantasting gaande kan zijn zonder dat dit zichtbaar is in het gebouw. In geval van twijfel of ontbrekende gegevens is een volgende stap nodig (zie hierna onder 'Volwaardig funderingsonderzoek').

### **Volwaardig funderingsonderzoek**

De laatste stap is een beoordeling specifiek per gebouw of bouwblok, volgens NEN8707 en/of de richtlijn van KCAF. Zo'n volwaardig funderingsonderzoek geeft de meest betrouwbare resultaten, maar vergt wel de grootste inspanning.

## 6 Referenties

AFM (2021). *Trendzicht 2022*. Amsterdam: Autoriteit Financiële Markten. Te raadplegen via: <https://www.afm.nl/nl-nl/sector/actueel/2021/november/trendzicht-2022>.

Blom, C., Van der Werf, K.O., Stuurman, R.J. & Kooi, H. (2022) Klimaatverandering, klei en funderingsproblemen – een casestudie (deel 1). *Geotechniek, 2022 (2)*, 20-25.

Burland, J. & Wroth, C. (1975). *Settlement of Buildings and Associated Damage*. Paper presented at the British Geotechnical Society's Conference on the Settlement of Structures, Cambridge, April, 1974, and published in the Proceedings, 611-654. Garston (UK): Building Research Establishment. Te raadplegen via: [https://www.researchgate.net/publication/248646701/Settlement\\_of\\_Buildings\\_and\\_Associated\\_Damage](https://www.researchgate.net/publication/248646701/Settlement_of_Buildings_and_Associated_Damage)

Costa, A.L., Kok, S. & Korff, M. (2020). Systematic assessment of damage to buildings due to groundwater lowering-induced subsidence: Methodology for large scale application in the Netherlands. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 382*, 577-582. Te raadplegen via: <https://research.tudelft.nl/en/publications/systematic-assessment-of-damage-to-buildings-due-to-groundwater-l>

Deltares (2021a). *Gebiedsbreed schade onderzoek aan panden Almelo de Haandrik Kanaal*. Rapport in opdracht van de provincie Overijssel. Delft: eigen beheer. Te raadplegen via: <https://www.deltares.nl/expertise/projecten/onderzoek-kanaal-almelo-de-haandrik>

Deltares (2021b). *Verdiepend schade-onderzoek Kanaal Almelo-De Haandrik. Definitief eindrapport piping, veen schadeoorzaken, effect kanaalpeil*. Rapport in opdracht van de provincie Overijssel. Delft: eigen beheer. Te raadplegen via: <https://www.deltares.nl/expertise/projecten/onderzoek-kanaal-almelo-de-haandrik>

Deltares et al. (2019). *Klimatschadeschatter. Rapportage 2019*. Opgesteld in het kader van het Nationaal Kennis- en Innovatieprogramma Water en Klimaat, met medewerking van Wageningen Environmental Research, TNO, RIVM, Hogeschool van Amsterdam, Tauw, Arcadis, Sweco, KCAF, Aveco de Bondt en stichting Climate Adaptation Services. Bussum: Stichting CAS. Te raadplegen via: [https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/197842/klimatschadeschatter\\_rapportage\\_2019.pdf](https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/197842/klimatschadeschatter_rapportage_2019.pdf)

Dorland, R. van, Beersma, A.J., Bessembinder, J. & Bloemendaal, N. (2023). *KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands*. WR-23-02. De Bilt: KNMI.

Driscoll, R. (1995). Assessment of damage in low-rise buildings with particular reference to progressive foundation movement. *BRE Digest 251*. BRE Electronic Publications. Te raadplegen via: <https://files.knowledgepoint.org/uploads/14304828603790347.pdf>

lenW (2022). *Water en bodem sturend*. Brief van de minister en staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat aan de Tweede Kamer d.d. 25 november 2022. Tweede Kamer, vergaderjaar 2022-2023, 27 625, nr. 592.

KCAF (2022a). *Funderingsschade door droogte*. Webpublicatie van het Kenniscentrum Aanpak Funderingsproblematiek d.d. 18 augustus 2022. Te raadplegen via: <https://www.kcaf.nl/een-zeer-grote-kostenpost-door-de-droogte-is-funderingsschade-een-sterk-onderschat-probleem/>

KCAF (2022b). *Richtlijn Funderingen onder gebouwen. Onderzoek en beoordeling funderingen op staal en op houten palen*. Herziene versie, 22 november 2022. Utrecht: Kenniscentrum Aanpak Funderingsproblematiek. Te raadplegen via: <https://www.kcaf.nl/richtlijn-fundering-onder-gebouwen/>

Keijzer, M. (2023). *Wat rechtmatig is, is niet altijd ook rechtvaardig. Een concreet voorstel voor de shadeafhandeling, herstel van vertrouwen en toekomstperspectief. Kanaal Almelo-De Haandrik*. Rapport in opdracht van Provinciale Staten Overijssel. Z.pl.: Provincie Overijssel. Te raadplegen via: <https://overijssel.notubiz.nl/document/13089427/2/Rapport-Wat-rechtmatig-is-is-niet-altijd-ook-rechtvaardig-2>

Kok, S. & Angelova, L. (2020). *Impact droogte op funderingen*. Rapport in opdracht van het Verbond van Verzekeraars. Z.pl.: Deltares. Te raadplegen via: <https://www.verzekeraars.nl/media/7897/rapport-impact-droogte-op-funderingen-zonder.pdf>

Kok, S., Van der Putten, S. & Kraus, J. (2021). *Naar een kennisagenda funderingsproblematiek. Duiding van de omvang en aard van de problematiek en kennisvragen daarbij*. Rapport in opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Z.pl.: Deltares/TNO. Te raadplegen via: <https://www.deltares.nl/expertise/publicaties/naar-een-kennisagenda-funderingsproblematiek-duiding-van-de-omvang-en-aard-van-de-problematiek-en-kennisvragen-daarbij>

PBL (2016). *Dalende bodems, stijgende kosten. Mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied, beleidsstudie*. Beleidsstudie. PBL-publicatienummer 1064. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. Te raadplegen via: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-dalende-bodems-stijgende-kosten-1064.pdf>

Rli (2020). *Stop de bodemdaling in veenweidegebieden. Het groene hart als voorbeeld*. Den Haag: Raad voor de leefomgeving en infrastructuur. Te raadplegen via: <https://www.rli.nl/publicaties/2020/advies/stop-bodemdaling-in-veenweidegebieden-het-groene-hart-als-voorbeeld>

SBRCURnet (2012). *Handboek Funderingsherstel. Op palen en 'op staal'*. CURnet-publicatienummer 242. Te downloaden via: <https://www.kcaf.nl/wat-doet-het-kcaf/publicaties/>

Stichting RIONED & STOWA (2023). *STUIP: Standaard voor Uniforme Incidentenregistratie Persleidingen. Registreren van persleidingincidenten voor risicogestuurd beheer*. Rapportnummer 2023-18. Ede: eigen beheer. Te raadplegen via: [https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202023/STOWA\\_2023-18\\_STUIP.pdf](https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202023/STOWA_2023-18_STUIP.pdf)

Stuurman, R., Kooi, H., Melman, R., Van Meerten, H. & Van Essen, H. (2021). Krimp-zwel een groeiend probleem. *Land+Water nr. 5 mei 2021*, p. 34-35.

Woerden, A. van (2018). *Kosten in beeld. Studie naar de kosten van gemeentelijke infrastructuur op slappe bodem en de te besparen kosten bij het investeren in levensduurverlengende technieken*. Rapport in opdracht van Platform Slappe Bodem en Regio Midden-Holland. De Bilt: Sweco. Te raadplegen via: [https://www.slappebodem.nl/pics/uploads/152\\_Kosten-in-BeeldSwecoPlatform-Slappe-BodemManagementrapportage.pdf](https://www.slappebodem.nl/pics/uploads/152_Kosten-in-BeeldSwecoPlatform-Slappe-BodemManagementrapportage.pdf)

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)