

Verdiepende analyse en kennisontwikkeling funderingsproblematiek

Hoe verder na advies Rli?



Verdiepende analyse en kennisontwikkeling funderingsproblematiek
Hoe verder na advies Rli?

Mandy Korff (Deltares)
Chris Geurts (TNO)
Otto Levelt (Deltares)

Verdiepende analyse en kennisontwikkeling funderingsproblematiek

Hoe verder na advies Rli?

Opdrachtgever	Ministerie VRO – Afdeling Bouwen en Energie
Contactpersoon	Thuy Thanh Do
Referenties	
Trefwoorden	Funderingsproblematiek, kennisontwikkeling

Documentgegevens

Versie	1
Datum	25 april 2025
Projectnummer	11211749
Document ID	
Pagina's	34
Classificatie	
Status	definitief

Samenvatting

In de afgelopen jaren is er na terugkerende droogte en een toename in schadegevallen hernieuwde aandacht voor funderingsproblemen in Nederland, zoals ook blijkt uit het Rli rapport Goed Gefundeerd (Rli, 2024). Het ministerie van VRO, Directie Bouwen en Energie heeft Deltares en TNO gevraagd om naar aanleiding hiervan een verdieping te maken van de aard, omvang en verspreiding van de funderingsproblematiek en daarnaast inzicht te geven in de noodzakelijke kennisontwikkeling door middel van toegepast onderzoek. Dit rapport moet in samenhang met het Rli advies worden gelezen.

Orde van grootte en verspreiding van de funderingsproblematiek in Nederland

In dit rapport is een uitsplitsing gegeven van de funderingsproblematiek naar bouwjaar en type gebouw en fundering en van de verspreiding over Nederland. Circa 425.000 gebouwen zoals aangegeven in het Rli rapport hebben nu al een funderingsrisico van matig, hoog of zeer hoog (D3, D4 en D5). Hiervan zijn 75.000 gebouwen gefundeerd op houten palen en 300.000-350.000 hebben een ondiepe fundering. Het grootste deel van de 425.000 gebouwen valt in de schadeklasse matig (D3). In de hoogste klasse (zeer hoog, D5) vallen respectievelijk circa 2.500 gebouwen op houten palen en circa 25.000 op ondiepe funderingen. De oudste gebouwen hebben de hoogste risicoscores. Gebouwen tot 1930 hebben een duidelijk hoger funderingsrisico dan gebouwen na 1930. Gebouwen met betonpalen hebben juist nauwelijks risico.

Het totale aantal gebouwen met funderingsrisico is gebaseerd op een schatting. De onzekerheden in deze schatting zijn benoemd in het Rli advies. De twee grootste onzekerheden zijn het risico van krimp/zwel van kleilagen en het ontbreken van informatie over het funderingstype van gebouwen. Aanbevolen wordt zo spoedig mogelijk te beginnen met het centraal verzamelen en opslaan van funderingsdata van gebouwen. Tot die tijd kan begonnen worden met wijken waar de fundering goed bekend is. Aanbevolen wordt een aparte aanpak te ontwikkelen voor gebouwen met houten palen en apart daarvan een voor gebouwen met ondiepe fundering, omdat de onderliggende oorzaken verschillen en houten palen in aantal geringer zijn dan ondiepe funderingen, terwijl de oplossingsrichting veelal onvermijdelijk het aanbrengen van een nieuwe fundering is.

Een aanpak gebaseerd op gebouwgroepen (typologieën) is kansrijk om vast te stellen welke gebouwen het meest kwetsbaar zijn, en waar de hoogste prioriteit moet worden gelegd. Een eerste indeling op typologieën gaat uit van bouwtype en funderingskenmerken. Voor verdere uitwerking van de risicoanalyses is betrouwbare informatie nodig van deze eigenschappen.

Kennisontwikkeling

Om specifiek inzicht te kunnen geven in de problematiek (uiteindelijk ook op gebouwniveau) alsmede bij te dragen aan het handelingsperspectief geven Deltares en TNO in deze rapportage een overzicht van de meest urgente kennisvragen rondom de technische aspecten van de funderingsproblematiek. Deze zijn gericht op drie thema's: informatievoorziening over risico's; verfijning van aard, omvang en spreiding; en versterking van het handelingsperspectief.

Inhoudsopgave

Samenvatting		4
Inhoudsopgave		5
1	Introductie	6
2	Nadere duiding aard, omvang en spreiding van de funderingsproblematiek	7
2.1	Omvang	7
2.2	Invloed bodemprocessen (nadere duiding krimp zwel)	9
2.3	Ruimtelijke spreiding	10
2.4	Gebouwkaracteristieken, Ontwikkeling gebouwtypologieën	13
2.5	Kwetsbaarheidsmodellen	21
2.6	Handelingsperspectief	22
2.7	Conclusies en Aanbevelingen	23
3	Kennisontwikkeling voor een effectieve aanpak funderingsproblematiek	24
3.1	Introductie	24
3.2	Informatievoorziening	25
3.3	Aard, omvang, spreiding: Omgevingsinvloeden	26
3.4	Aard, omvang, spreiding: Bodemprocessen	27
3.5	Aard, omvang, spreiding: Schadeprocessen in funderingen	28
3.6	Aard, omvang, spreiding: Gevolgen in gebouwen	28
3.7	Handelingsperspectief	30
4	Conclusies	32
5	Referenties	34

1 Introductie

In de afgelopen jaren is er na terugkerende droogte en een toename in schadegevallen hernieuwde aandacht voor funderingsproblemen in Nederland. Dit was ook de aanleiding voor het in het voorjaar van 2024 verschenen Rli Rapport “Goed gefundeerd” (Rli, 2024).

Op verzoek van de directie Bouwen en Energie van het Ministerie van VRO hebben Deltares en TNO enkele aanvullende analyses uitgevoerd ter voorbereiding op implementatie in beleid. Daarnaast wordt in dit rapport inzicht gegeven in de noodzakelijke kennisontwikkeling middels toegepast onderzoek. Dit rapport kan het best in samenhang met het Rli Rapport worden gelezen.

In dit rapport richten we ons eerst op een nadere analyse van de kennis – en informatiebasis over funderingsproblemen in Nederland. We komen hiermee tot een verdere uitsplitsing van de analyses uit het Rli rapport, zoals destijds aangeleverd door Deltares en TNO, voornamelijk gericht op meer inzicht in de ernst, omvang en spreiding over Nederland.

Om specifieker inzicht te kunnen geven in de problematiek (uiteindelijk ook op gebouwniveau) alsmede bij te dragen aan het handelingsperspectief geven Deltares en TNO in deze rapportage een overzicht van de meest urgente kennisvragen rondom de technische aspecten van de funderingsproblematiek. Deze zijn gericht op drie thema's:

- Informatievoorziening over risico's.
- Verfijning van aard, omvang en spreiding van de funderingsproblematiek.
- Versterking van het handelingsperspectief.

We richten ons in deze studie uitsluitend op de technische aspecten van de funderingsproblematiek gerelateerd aan bodem, fundering en gebouw. Integratie van technische met socio-economische en governance-aspecten van de (aanpak van) funderingsproblematiek, inclusief de relatie van funderingsproblematiek tot de bredere problematiek op de woningmarkt, zoals veroudering, energietransitie, klimaatadaptatie en woningtekorten is mogelijk in een volgende fase.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de bevindingen ten aanzien van de nadere analyse van aard, omvang, en ruimtelijke spreiding van de problematiek over het land als verdieping van deel II van het Rli advies. Hoofdstuk 3 bevat de input voor de noodzakelijke kennisontwikkeling. Hoofdstuk 4 bevat een samenvatting en conclusies.

2 Nadere duiding aard, omvang en spreiding van de funderingsproblematiek

Het Rli advies “Goed Gefundeerd” beschrijft in deel II uitgebreid de aard, omvang en spreiding van de funderingsproblematiek. Dit rapport dient dan ook in samenhang met het Rli advies te worden gelezen. In dit hoofdstuk worden enkele verdiepende analyses gerapporteerd naar aanleiding van vragen van het Ministerie van VRO rondom de preciezere omvang van de problematiek (onderverdeling naar hoogte van het risico) en spreiding (aanduiding meest risicovolle gebieden en typen gebouwen).

2.1 Omvang

Voor het Rli advies becijferden Deltares en TNO (Deltares/TNO, 2024) dat naar schatting circa 75.000 gebouwen op houten palen en 300.000-350.000 gebouwen met ondiepe funderingen verspreid over Nederland een matig tot zeer hoog risico lopen op funderingsschade of al schade hebben.

Om te komen tot nadere duiding van de ruimtelijke spreiding (waar zitten de grootste risico's?) zijn de analyses zoals gemaakt voor Rli geactualiseerd met de volgende nieuwe uitgangspunten:

- Selectie van gebouwen >30 m² conform Rli advies, maar nu ook geselecteerd op woonfunctie. Het gaat dus nu om alleen woningen, of gebouwen met een gecombineerde functie met wonen en gebouwen met maatschappelijke functie of bedrijven zijn uitgesloten. De woonfunctie komt uit BAG2024, de overige gegevens uit het funderingsrisicomodel van 2018. In totaal zijn in plaats van bijna 7 miljoen nu circa 5,5 miljoen gebouwen meegenomen. Let op: het aantal woningen is groter, want er kunnen meerdere woningen per gebouw zijn.
- Van enkele regio's zijn nieuwe gegevens over de funderingen verkregen van de lokale overheden (onder meer van de gemeente Haarlem).

Let op: de nieuwe KNMI klimaatscenario's en daaruit volgende effecten op bodemdalings- en grondwaterstandvoorspellingen zijn nog niet in deze analyse opgenomen, omdat deze effecten nog niet beschikbaar zijn.

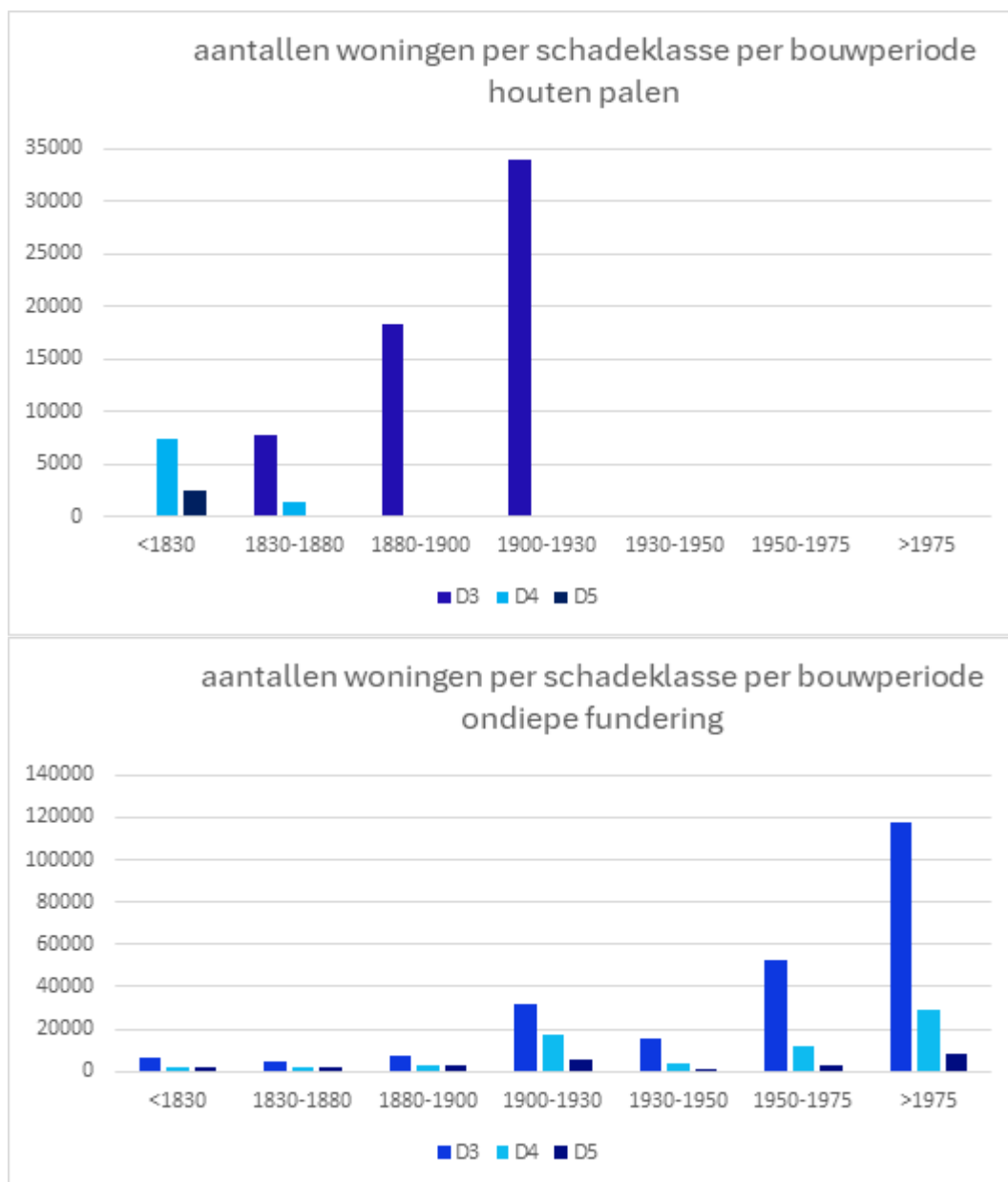
In het Rli advies wordt gesproken over gebouwen met een risico op funderingsschade. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de schadeklassen D0-D5, waarbij D0 geen schade betekent (verwaarloosbaar) en D5 ernstige tot zeer ernstige schade, noodzaak voor herbouw. De schadeklassen zijn gebruikt als indicatoren voor het risico per gebouw (D3 is matig risico, D5 is zeer hoog risico).

In de nadere analyse is de verdeling van de panden gegeven over de schadeklassen van het totaal aantal panden met funderingsproblematiek zoals genoemd in Rli 2024. De percentages zijn afkomstig uit de nieuwe analyse.

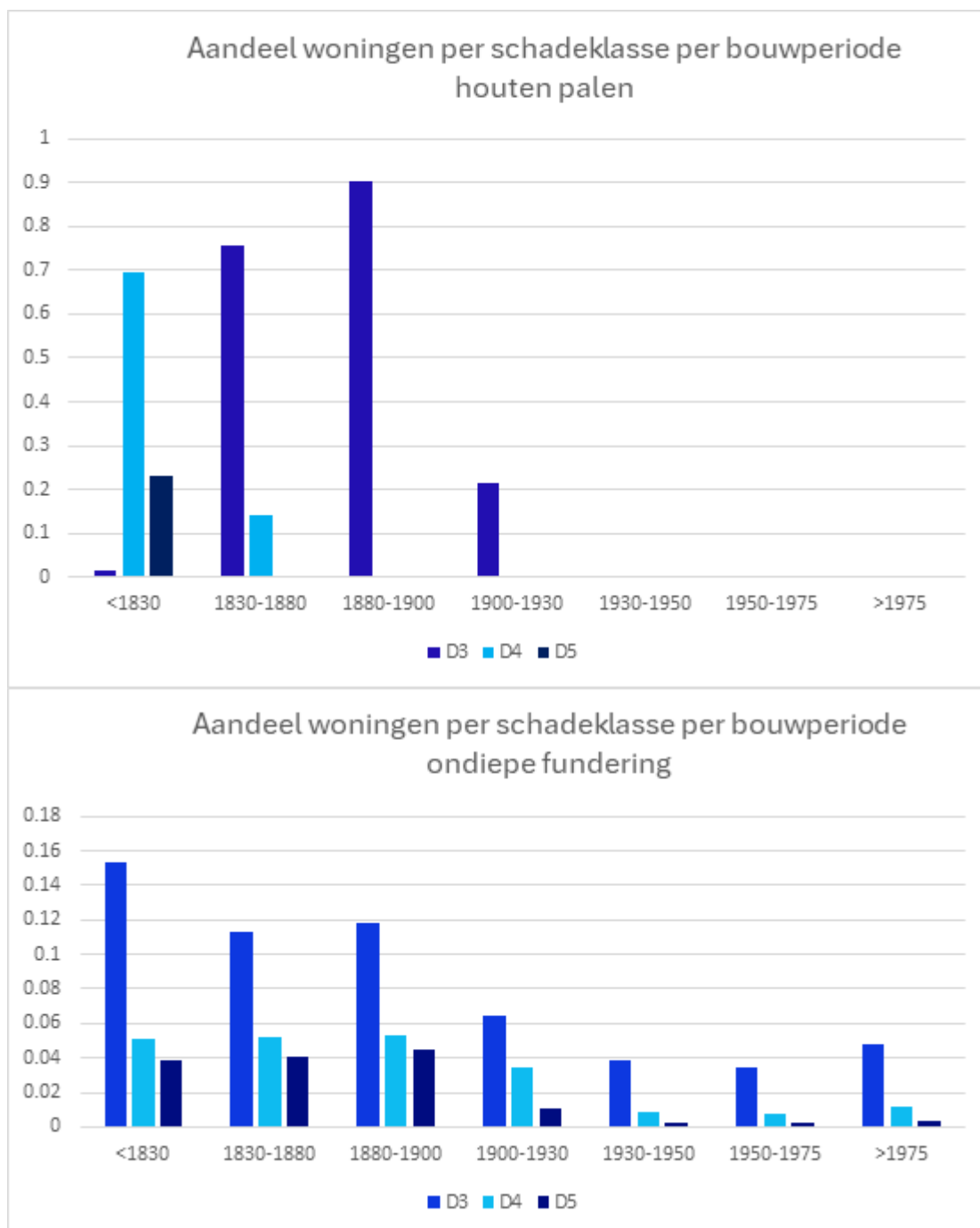
Funderingstype	Totaal Rli (2024) matig- zeer hoog	Schadeklasse (D3) risico matig	Schadeklasse (D4) risico hoog	Schadeklasse (D5) risico zeer hoog
Houten palen	Ca 75.000	84%	12%	3%
Ondiepe funderingen	Ca 300.000 – 350.000	72%	21%	7%

Het grootste deel van de gebouwen op ondiepe en houten funderingen valt dus naar verwachting in de schadeklasse matig. In de hoogste klasse (D5) vallen respectievelijk circa 2.500 gebouwen op houten palen en circa 25.000 op ondiepe funderingen.

Er is duidelijk een correlatie tussen de schadeklasse en het bouwjaar van de gebouwen. Oudere gebouwen hebben vaker een hogere schadeklasse (de schade is erger). Deze gebouwen hebben gemiddeld de minste kwaliteit fundering en bij houten palen speelt de duur van de aantasting ook een rol. Zie voor de verdeling over de schadeklassen Figuur 2.1 en 2.2 voor respectievelijk absolute aantallen en relatieve percentages/ aandelen per bouwperiode.



Figuur 2-1 Aantal gebouwen met schadeklasse matig (D3) tot zeer hoog (D5) voor houten palen (boven) en ondiepe funderingen (onder) per bouwjaar gebaseerd op het model scenario 2018 met woonfunctie volgens BAG 2024.



Figuur 2-2 Aandeel gebouwen met schadeklasse matig (D3) tot zeer hoog (D5) voor houten palen (boven) en ondiepe funderingen (onder) per bouwjaar gebaseerd op het model scenario 2018 met woonfunctie volgens BAG 2024.

Uit figuren 2.1 en 2.2 kan duidelijk worden opgemaakt dat gebouwen tot 1930 een duidelijk hogere kans hebben op funderingsschade dan gebouwen na 1930, waarbij met name gebouwen op houten palen de hoogste risico's hebben.

2.2 Invloed bodemprocessen (nadere duiding krimp zwel)

Een belangrijke oorzaak van schade die nu ontbreekt in de schattingen van de Rli (2024) zijn de krimp-zwel mechanismen van klei. Er is veel onbekend over de effecten hiervan op gebouwen en de (potentiële) omvang van dit verschijnsel. Een toename van de aantallen

schadegevallen ten opzichte van de Rli (2024) getallen wordt hierdoor verwacht. In deze rapportage wordt een kwalitatieve uitspraak gedaan over waar de risico's van dit bodemproces het meest aanwezig zijn.

Vanaf de droge zomer van 2018 worden op verschillende plaatsen in Nederland op grote schaal schades gemeld aan ondiep gefundeerde panden in gebieden waar voornamelijk klei in de ondergrond zit. Dit is opvallend aangezien zich in deze gebieden tot die tijd nauwelijks schades voordeden. Ook na de droge zomers die volgden op die van 2018 bleven zich nieuwe schadegevallen voordoen.

Onderzoek van Deltares wijst erop dat deze recente schades vooral te maken hebben met sterkere uitdroging en *krimp* van klei onder funderingen tijdens zeer droge zomers. Vernatting van klei in zeer natte perioden leidt (vervolgens) veelal tot *zwell*, hetgeen kan bijdragen aan schades (Stuurman e.a., 2021). Vergelijkbare problemen doen zich voor in naburige landen (België, Frankrijk, Engeland) en zijn in het verleden ook onderzocht in landen als de VS, Nieuw Zeeland en Australië.

Naar verwachting treedt schade als gevolg van krimp en zwel van de ondergrond het meest op in het rivierengebied, het noorden van het land en lokaal in gebieden op de zandgronden waar ook klei in de ondergrond aanwezig is. Deze verwachting is gebaseerd op enerzijds de nu beschikbare kennis omtrent de eigenschappen van klei en anderzijds de verspreiding van de bij het KCAF gemelde schadegevallen, die mogelijk verband houden met krimp en zwel.

Met de voorspelde veranderingen in het klimaat, waarin extreme droge en natte perioden vaker zullen optreden, is het waarschijnlijk dat de schadeproblemen door *krimp en zwel* zullen verergeren. Behalve klimaatverandering kunnen veranderingen en ingrepen in het (grond)watersysteem leiden tot versterkte vernatting of verdroging van klei, wat de schadeproblematiek door het krimp-zwel-mechanisme kan verergeren.

Naar verwachting treedt schade als gevolg van krimp en zwel van de ondergrond het meest op in het rivierengebied, het noorden van het land en lokaal in gebieden op de zandgronden waar ook klei in de ondergrond aanwezig is. Deze verwachting is gebaseerd op enerzijds de nu beschikbare kennis omtrent de eigenschappen van klei en anderzijds de verspreiding van de bij het KCAF gemelde schadegevallen, die mogelijk verband houden met krimp en zwel.

Gezien de aard en mogelijke omvang van de problematiek is het belangrijk dat in Nederland op zo kort mogelijke termijn kennis en van daaruit handelingsperspectief wordt ontwikkeld over de krimp-zwel-problematiek en daaruit volgende gebouwschade. Een aanzet hiervoor is gegeven in Hoofdstuk 3. Het is aannemelijk dat de effecten van krimp en zwel van kleigronden zullen verergeren bij de verwachte toenemende klimaatveranderingen met grotere en langdurige extremen in droogte en neerslag.

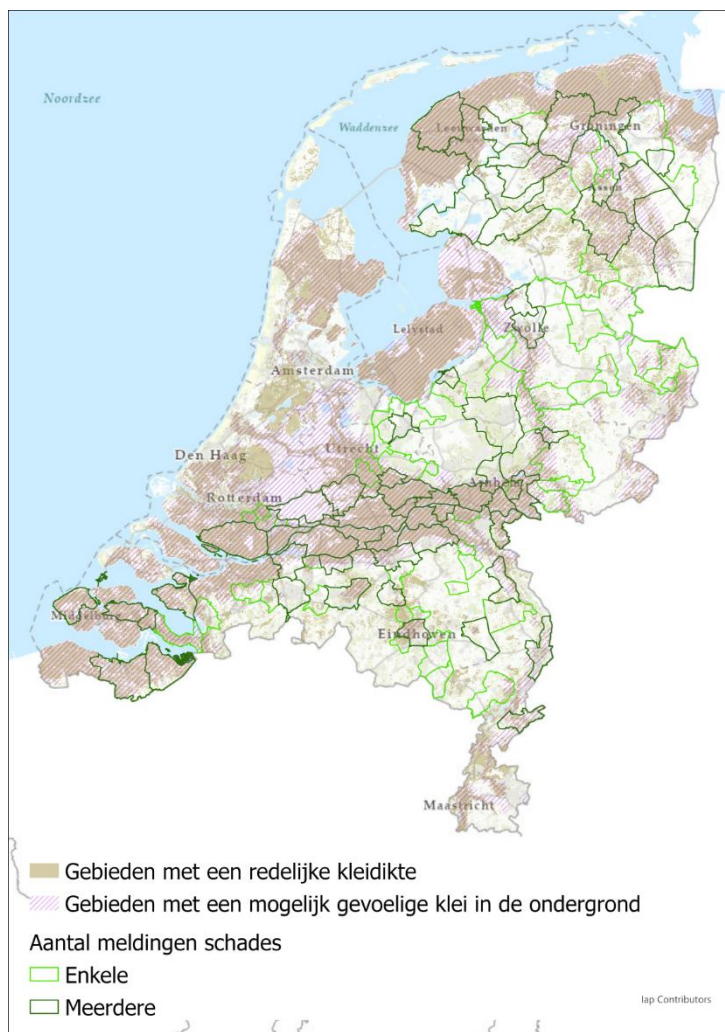
2.3 Ruimtelijke spreiding

Voor de ruimtelijke spreiding van het funderingsrisico wordt verwezen naar het Rli advies deel II. Op verzoek van VRO beschrijven we hier de gemeenten met de hoogste risicoscores per provincie.

De genoemde gemeenten hebben minimaal één wijk (soms meer dan één) met een hoog risico, dit kan in absolute zin zijn (wijken in gemeenten met per provincie de meeste panden in D3-D5) of relatief (wijken in gemeenten met een hoge risicoscore). De gemeenten genoemd bij ondiepe funderingen en houten palen zijn afkomstig uit het funderingsrisicomodel van Deltares, de gemeenten genoemd bij krimp/zwel zijn extra

genoemde gemeenten, die nog niet blijken uit het funderingsrisicomodel voor ondiepe funderingen.

De inschatting van de risico's op het optreden van krimp-zwel is gebaseerd op de aanwezigheid van mogelijk gevoelige klei in de ondergrond, en de eerdergenoemde schadegevallen bij KCAF. Ten aanzien van de verspreiding van krimp-zwel is op basis van de beschikbare informatie per provincie gekeken waar de gemeentes met de meeste schadegevallen samenvallen met gebieden waar er rivierklei voorkomt of kleisoorten in de hogere zandgronden. Voor provincies waar geen meldingen gedaan zijn of waar ook al risico's op zettingsschades bij ondiepe funderingen in de Klimaateffectatlas zijn opgenomen, is aangenomen dat zich niet of nauwelijks (extra) krimp-zwel problematiek voordoet. Aannames over de gevoeligheid van kleisoorten moeten getoetst worden na verder onderzoek.



Figuur 2-3 Kaart die toont waar in de ondergrond klei met een dikte van tenminste 25cm aanwezig is (op basis van GeoTop), waar in de ondergrond belangrijke kleiformaties liggen (op basis van geologische kaart en Geotop) en waar meldingen van fundering-gerelateerde schades bij KCAF gedaan zijn na de zomers van 2018 en 2020.

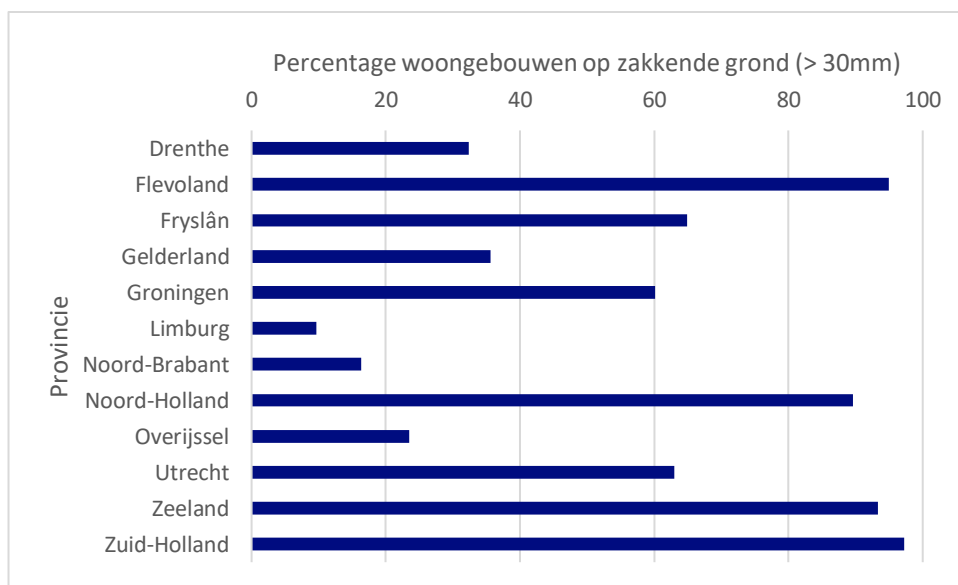
Provincie	Hoogste risico voor gebouwen op houten palen	Hoogste risico voor gebouwen op ondiepe fundering	Hoogste risico krimp zwel (extra t.o.v. kolom ondiep)	Opmerking
Noord-Holland	Amsterdam, Hilversum, Heemstede Haarlem	Uithoorn, Diemen, Waterland, Hilversum, Heemstede Haarlem	Voorlopig geen	
Zuid-Holland	Rotterdam, Delft, Leiden, Den Haag, Schiedam	Barendrecht, Hendrik-Ido Ambacht, Lansingerland, Ridderkerk en vele anderen	Voorlopig geen	Voor ondiepe funderingen zijn in ZH vele gemeenten met hoog risico aanwezig
Groningen	Groningen, Eemsdelta, Midden-Groningen, Stadskanaal, Veendam	Veendam, Eemsdelta, Groningen, Stadskanaal	Westerkwartier, Midden-Groningen	
Friesland	De Fryske Marren, Sudwest-Fryslân, Heerenveen, Leeuwarden, Harlingen	Heerenveen, Leeuwarden, Harlingen, Waadhoeke, Fryske Marren, Súdwest-Fryslân,	Opsterland, Smallingerland	
Drenthe	Meppel, Emmen, Assen, Noordenveld, Aa en Hunze, Westerveld	Meppel, Emmen, Assen, Borger-Odoorn, Aa en Hunze, Noordenveld	Midden-Drenthe, Tynaarlo, Coevorden	
Overijssel	Kampen, Deventer, Zwolle, Hengelo, Tubbergen, Zwartewaterland, Haaksbergen	Zwartewaterland, Kampen, Steenwijkerland, Zwolle, Deventer, Hengelo	Tubbergen, Hardenberg, Dinkelland, Oldenzaal	
Gelderland	Lochem, Epe, Brummen, Ede, Arnhem, Nijmegen, Rheden, Apeldoorn	Overbetuwe, West Betuwe, Nijmegen, Apeldoorn, Rheden	Lingewaard, Arnhem, Maasdriel, Berg en Dal, Tiel, Zevenaar en vele anderen	
Zeeland	Middelburg, Schouwen-Duiveland, Borsele, Terneuzen, Hulst, Vlissingen, Sluis	Reimerswaal, Veere, Middelburg, Schouwen-Duiveland, Borsele, Hulst, Sluis	Terneuzen	
Utrecht	Utrecht, Amersfoort, De Bilt, Baarn, Soest, Veenendaal, Zeist	Utrecht, Amersfoort, Zeist, Vijfheerenlanden, Stichtse Vecht, De Ronde Venen	Wijk bij Duurstede, Houten, Utrechtse Heuvelrug Waarschijnlijk beperkte risico's	
Flevoland	Urk, Noordoost-polder	Almere, Dronten, Urk, Noordoost-polder	Voorlopig geen	Zeer beperkte risico's in deze provincie
Noord-Brabant	Breda, Bergen op Zoom, 's-Hertogenbosch, Halderberge,	Moerdijk, Altena, Bergen op Zoom, Breda, 's-Hertogenbosch	Oss, Land van Cuijk, Eindhoven, Tilburg,	Lage risico's op basis funderingsrisico

Provincie	Hoogste risico voor gebouwen op houten palen	Hoogste risico voor gebouwen op ondiepe fundering	Hoogste risico krimp zwel (extra t.o.v. kolom ondiep)	Opmerking
	Helmond, Land van Cuijk, Heusden		Boxtel	del, krimp/zwel nog onbekend
Limburg	Venlo, Leudal, Maasgouw, Maastricht, Roermond	Maastricht, Echt-Susteren, Stein, Roermond, Venlo, Roerdalen, Weert	Onbekend	Geen volledige informatie i.v.m. bodeminput, beperkte risico's

Er is ook een vergelijking gemaakt met de focus gebieden van het Nationaal Programma Leefbaarheid en Veiligheid (NPLV). De focusgebieden laten gemiddeld niet meer of minder risico zien dan naastgelegen gebieden op dezelfde ondergrond of bouwperiode. Er is dus geen duidelijke link tussen de NPLV focusgebieden en een eventueel hoger funderingsrisico.

Naar aanleiding van Kamervragen is tevens een analyse gemaakt van het aantal gebouwen per provincie dat zich op zakkende bodem bevindt. Hiervoor is gebruik gemaakt van de voorspellingskaart van de bodemdaling in 2050 uit Klimaat-effectatlas.nl (Deltares, 2020). Alle gebouwen in een gebied met een cumulatieve zetting van de bodem (!) groter dan 30 mm zijn hierin meegeteld.

De resultaten zijn weergegeven in Figuur 2.4. Let op: hier is geen onderscheid gemaakt naar het type fundering van het gebouw. Ook gebouwen met betonpalen, die niet gevoelig zijn voor bodemdaling, zijn dus meegeteld. Zo is de verwachting dat in de provincie Flevoland verreweg de meeste gebouwen op betonnen heipalen zijn gefundeerd. Deze cijfers zeggen in die zin weinig over de risico's op funderingsschade.



Figuur 2-4 Percentage woongebouwen op zakkende grond (op basis van kaart Klimaat-effectatlas.nl).

2.4 Gebouwkaracteristieken, Ontwikkeling gebouwtypologieën

Gezien de grote aantallen woningen of gebouwen waarvan wordt geschat dat er een verhoogd risico op funderingsschade aanwezig is, is het zinvol om de problematiek via zogenaamde typologieën uit te werken. Dit maakt het mogelijk snel voor een groot aantal gebouwen de schaderisico's in te schatten, en daarnaast is het een manier om voor een groot aantal gebouwen tot eenduidige maatregelen te komen, en die te toetsen. Hierbij is het van belang allereerst te definiëren wat in dit kader onder een typologie wordt verstaan:

Een typologie is een verzameling gebouwen met vergelijkbaar gedrag als gevolg van veranderingen in de ondergrond en of vervormingen in de fundering

De typologie, ofwel de verzameling van gebouwen, wordt gedefinieerd door typologiekenmerken (op basis waarvan een gebouw aan een typologie wordt toegedeeld), en door een model dat het gedrag van het gebouw, en daarmee de kans op schade voorspelt (een kwetsbaarheidsmodel). Dit model houdt rekening met variaties die er altijd binnen een typologie kunnen zijn en is gevalideerd aan de hand van experimentele data. Zonder een goed kwetsbaarheidsmodel is het niet mogelijk op uniforme wijze schaderisico's vast te stellen of generieke maatregelen te toetsen. Het kwetsbaarheidsmodel is daarnaast ook nodig om vast te stellen of de gekozen typologie-indeling voldoende fijn is gekozen; ofwel of de variaties niet te groot zijn om zinnige uitspraken te kunnen doen.

Op dit moment worden geen gegevens van gebouwen in publieke databases opgeslagen die gerelateerd zijn aan het funderingsrisico, anders dan het bouwjaar in de BAG en enige informatie rondom de afmetingen en hoogte van het gebouw (3D BAG). Dit is onvoldoende om iets te kunnen zeggen over eventuele funderingsrisico's. Hiervoor is meer specifieke informatie nodig van enerzijds de fundering (deel van het gebouw onder de grond) en anderzijds de bovenbouw (deel van het gebouw boven de grond). Hieronder is een overzicht gegeven van de eigenschappen die van belang zijn:

Algemene informatie over de fundering (meest noodzakelijke informatie):

- Type fundering (houten palen, houten palen met oplanger, betonpalen, stalen palen funderingsherstel gepleegd (inclusief jaar), ondiepe fundering).
- Diepte van de fundering (i.v.m. aantasting hout danwel invloed bodemdaling).
- Is er sprake van een kelder, zo ja in hoeverre deze kelder in zijn geheel of gedeeltelijk overeenkomt met de afmetingen van de begane grond.

Specifiek voor ondiepe fundering:

- Afmetingen fundering.
- Materiaal van de fundering.
- Kwaliteit fundering (gerelateerd aan bouwperiode, materialen).
- Opbouw en samenstelling van de ondergrond.
- Snelheid van bodemdaling/zetting.

Specifiek voor fundering op houten palen:

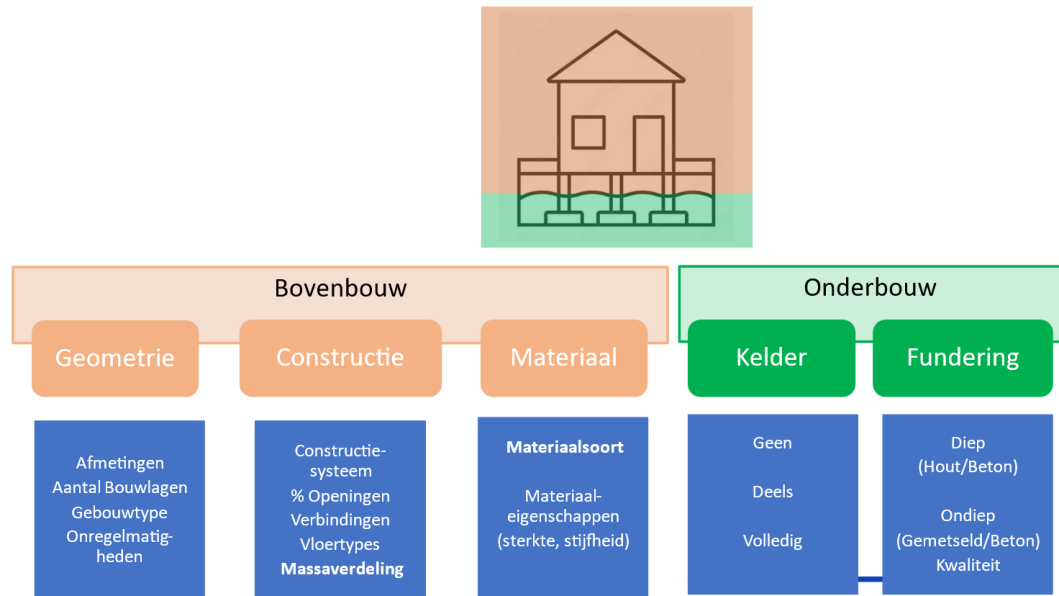
- Diameter en lengte van de palen.
- Type hout.
- Mate van aantasting.

Voor *betonnen palen* wordt niet verwezen naar specifieke informatie omdat het risico op funderingsschade voor gebouwen die op betonnen funderingspalen zijn gebouwd als verwaarloosbaar klein wordt gezien.

Bovenbouw:

- Aantal verdiepingen, gewicht en gewichtsverdeling van het gebouw.
- Afmetingen (Lengte, hoogte, diepte en bijbehorende verhoudingen).
- Materiaal van de draagconstructie, met name van gevels, zijmuren, vloeren.
- Hoeveelheid of % gevelopeningen (ramen, deuren).
- Aanwezigheid van bestaande schade.

Figuur 2.5 geeft een overzicht van de genoemde relevante eigenschappen voor een individueel gebouw.

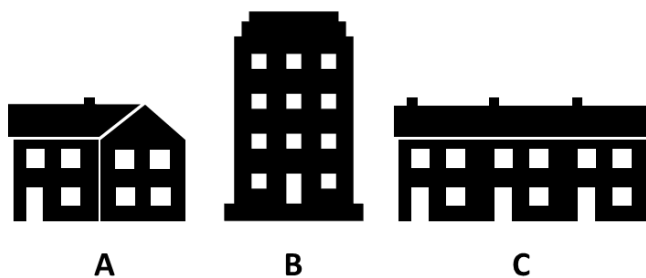


Figuur 2-5 Funderings- en gebouwkenmerken.

Op basis van deze kenmerken kan gewerkt worden aan een indeling in (sub)typologieën om de risico's sneller inzichtelijk te krijgen. Als echter alle hiervoor genoemde parameters daarin mee worden genomen, wordt een onpraktisch groot aantal typologieën gevonden. Daarom wordt een stapsgewijze aanpak voorgesteld, die hieronder verder is omschreven.

Typologie Indeling: Stap 1: Gebouwtype

Voorgesteld wordt om te starten met een indeling van typologieën op basis van gebouwtypen. CBS maakt onderscheid tussen vrijstaand, 2-onder-1 kap, rijwoningen en meergezinswoningen. Omdat vanuit de bouwtechniek een vrijstaande woning of 2-onder-1 kap woning vergelijkbaar zijn, wordt voorgesteld deze als één categorie te beschouwen.



Figuur 2-6 Indeling op basis van gebouwtypen: A: Vrijstaand en 2-onder-1-kap, B: Meerlaagse bouw, C: Geschakelde bouw (rijwoningen).

Voor deze onderverdeling in typologieën is het interessant om te kijken naar de verdeling van de bestaande woningvoorraad in Nederland. Vanuit analyses van het CBS (gebaseerd op BAG data) is af te leiden dat momenteel (per 1 januari 2024) in totaal zo'n 8,2 miljoen woningen zijn geregistreerd. Deze zijn onderverdeeld in 5,2 miljoen eengezinswoningen (grondgebonden woningen, zowel vrijstaand als rijwoningen) en 3 miljoen meergezinswoningen (niet grondgebonden woningen, appartementen).

Een nadere onderverdeling naar bouwtype, waarbij ook naar eigendom is gekeken is hieronder geven. De aantallen zijn gebaseerd op een database van enkele jaren geleden, dus de totalen wijken iets af van de aantallen uit het Rli Advies, maar het beeld op hoofdlijnen is waarschijnlijk niet veranderd.

Voor vrijstaande en 2 onder 1 kap woningen is de overgrote meerderheid particulier woningbezit. Bij zowel rijwoningen als woningen in appartementen is dit beeld gemengd. Opgemerkt moet worden dat bovenstaande aantallen betrekking hebben op het aantal woningen. Dit betreft de adressen met een woonfunctie. Het aantal gebouwen, en daarmee het aantal funderingen waarop dit betrekking heeft, verschilt hiervan. Voor grondgebonden woningen (vrijstaand, 2 onder 1 kap, rijwoningen) heeft iedere eigenaar een fundering, die in geval van geschakelde bouw (2 onder 1 kap, rijwoningen) gedeeld kan zijn met de burens. Bij meergezinswoningen is de fundering van alle eigenaren van het gebouw. Het aantal eigenaren kan variëren van 2 tot enkele tientallen of zelfs meer dan 100 per gebouw (en dus per fundering).

In tabel 2.1 zijn deze gegevens voor Nederland als geheel gegeven, maar deze zijn ook beschikbaar te maken op niveau van provincies, gemeentes of buurten. Dat kan helpen bij het inzichtelijk maken van specifieke lokale situaties.

Tabel 2.1 Verdeling woningtypes naar eigendom voor heel Nederland (peil 1-1-2023).

Aantal	Eigendom	Woningtype	Percentage
4.197	WoonCorp	vrijstaand	0.41
47.791	PartHuur	vrijstaand	4.65
976.214	Koop	vrijstaand	94.94
64.437	WoonCorp	2 onder 1 kap	9.20
22.882	PartHuur	2 onder 1 kap	3.27
613.398	Koop	2 onder 1 kap	87.54
264.054	WoonCorp	rijwoning hoek	7.86
44.736	PartHuur	rijwoning hoek	1.33
718.722	Koop	rijwoning hoek	21.38
600.560	WoonCorp	rijwoning tussen	17.87
116.725	PartHuur	rijwoning tussen	3.47
1.616.574	Koop	rijwoning tussen	48.09
686.298	WoonCorp	meergezins: laag en midden	24.42
402.806	PartHuur	meergezins: laag en midden	14.33
379.670	Koop	meergezins: laag en midden	13.51
641.578	WoonCorp	meergezins: hoog	22.83
478.041	PartHuur	meergezins: hoog	17.01
221.926	Koop	meergezins: hoog	7.90

Clustering naar typologieën

In tabel 2.2 zijn de cijfers van tabel 2.1 cijfers samengevat en ingedeeld naar de voorgestelde indeling naar gebouwtypen uit figuur 2.5. Binnen deze drie gebouwtypen kunnen typologieën worden gedefinieerd, onderscheid makend naar eigenschappen van de fundering (zoals type en materiaal) en eigenschappen van het gebouw (zoals bouwwijze, materiaal).

Eengezinswoningen en 2 onder 1 kapwoningen worden bij elkaar gezien als 1 bouwtechnisch gebouwtype (A in figuur 2.5). Voor het ontwikkelen van handelingsperspectief kan bij deze typologie de eigenaar/bewoner als uitgangspunt worden genomen. Dit dekt ruim 90% van deze (gecombineerde) categorie af.

Bij rijwoningen (gebouwtype B) is er bouwtechnisch geen onderscheid gemaakt tussen hoek- en tussenwoningen. Vanuit de bouwtechnische aspecten is ook hier onderscheid naar funderingseigenschappen relevant, en daarnaast naar eigenschappen van het gebouw. Hier speelt ook mee of er sprake is van een rij die in hetzelfde bouwjaar met dezelfde bouwwijze (seriematig) is gerealiseerd of niet. Als dit wel het geval is kan met grote zekerheid worden gesteld dat sprake is van dezelfde eigenschappen van funderingen en gebouw. Dit uiteraard los van eventuele grootschalige verbouwingen tijdens de levensduur.

Hier zien we dat er sprake is van ongeveer 70% eigenaar/bewoners. Uit deze cijfers is nog niet af te leiden of deze verhouding bij recentere woningen (waarin meer seriematige rijwoningen zijn gebouwd) anders is.

Bij meergezinswoningen (gebouwtype C) is sprake van meerdere woningen op 1 adres. Deze woningen delen dus per definitie de fundering. Voor de bouwtechnische beschrijving zijn de eigenschappen van fundering en bovenbouw relevant. In de categorie meergezins/laag is het aannemelijk dat daar woongebouwen toe behoren die bouwtechnisch overeenkomen met rijwoningen (bijvoorbeeld maisonnettewoningen). Dit onderscheid is op basis van de nu voorliggende data niet te maken.

Hier zien we een beperkt aandeel koopwoningen, ongeveer 80% is huur, met een groot aandeel particuliere huur. In deze gebouwen is vaak sprake van meerdere eigendomsvormen door elkaar (zogenoemd gespikkeld bezit).

Tabel 2.2 Verdeling woningtypes naar eigendom per typologie.

Eigendom	Aantallen	Percentage
Vrijstaand + 2 onder 1 kap		
WoonCorp	68.634	3.97
PartHuur	70.673	4.09
Koop	1.589.612	91.94
Totaal Vrijstaand + 2-1kap	1.728.919	
Rijwoningen		
WoonCorp	864.614	25.72
PartHuur	161.461	4.80
Koop	2.335.296	69.47
Totaal Rijwoningen	3.361.371	
Meergezins		
WoonCorp	1.327.876	47.25
PartHuur	880.847	31.34
Koop	601.596	21.41
Totaal Meergezins	2.810.319	

Op basis van de CBS database kan een adres dus aan een gebouwtype worden toegekend, echter, op basis van meer technische informatie over de gebouwen, bijvoorbeeld uit inspecties, kunnen gebouwen alsnog in een andere typologie worden ingedeeld, bijvoorbeeld in het geval van maisonnettewoningen. Het is niet de verwachting dat dit leidt tot een extra type gebouw, naast de genoemde typen A, B en C.

Stap 2: Eigenschappen van de fundering

Het is van belang dat per gebouw, c.q. bouwkundige eenheid wordt vastgesteld of er sprake is van een ondiepe of diepe fundering (op staal, dan wel op palen), en welk materiaal voor die fundering is toegepast. Bij paalfunderingen gaat het dan om onderscheid tussen

betonnen en houten palen (met voor houten palen het onderscheid in grenen- en vurenhout, en een klein deel met betonnen oplanger). Bij ondiepe funderingen gaat het om het verschil in gemetselde dan wel betonnen funderingen. Een onderzoeksvraag is in hoeverre er verschil is in kwetsbaarheid voor specifieke typen ondiepe funderingen.

In deze stap moeten dus de volgende 2 kenmerken worden bepaald:

1. Type fundering, met als keuze diep of ondiep.
2. Materiaal fundering, afhankelijk van kenmerk 1: voor ondiep: metselwerk of beton, voor diep: beton of hout (c.q. grenen of vuren).

Bronnen die gebruikt kunnen worden om deze gegevens te bepalen zijn archieven van gemeenten en gebouweigenaren, gegevens van bouwkundige en funderingsinspecties, en indirecte data over bouwjaar, opbouw van de ondergrond en aantal bouwlagen.

Stap 3: Eerste indeling in typologieën.

Op basis van de geschetste stappen 1 en 2 is hieronder voor het gebouwtype vrijstaand een eerste uitwerking gegeven op basis waarvan typologieën kunnen worden gedefinieerd.

Hierbij zijn de eigenschappen van de bovenbouw niet meegenomen (ofwel, de indeling gaat er impliciet van uit dat de bovenbouw geen invloed heeft op het gedrag van een typologie).

Dit leidt tot in eerste instantie 5 mogelijke typologieën per gebouwtype

Gebouwtype	Funderingstype	Materiaal
VRIJSTAAND	Diep	Beton
		Vuren
		Grenen
	Ondiep	Beton
		Metselwerk

Een eerste aanname die kan worden gedaan is dat gebouwen met diepe funderingen op betonnen palen niet kwetsbaar zijn. Dit zou inhouden dat een verdere onderverdeling van een typologie met betonnen palen niet nodig is.

Voor houten palen geldt dat de kwetsbaarheid van vurenhouten palen sterk gerelateerd is aan de grondwaterstanden, en daarmee aan de omgevingsaspecten. Bij grenen palen is deze afhankelijkheid minder of niet aanwezig. Bij het verminderen van de draagkracht van houten palen ontstaan een probleem dat vermoedelijk zeer beperkt afhangt van de eigenschappen van het gebouw. Hooguit kunnen verschillen in gewicht, stijfheid en afmetingen sneller het probleem zichtbaar maken.

Voor ondiepe funderingen moet de gevoeligheid voor schade van een gemetselde en een betonnen fundering nader in kaart gebracht worden. In het Rli advies is daar geen onderscheid in gemaakt.

Naar aanleiding van deze overwegingen wordt onderstaande versimpelde indeling in typologieën gevonden.

Typologieën: gebouwtype en funderingskenmerken

- | | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• VRIJSTAAND<ul style="list-style-type: none">• Ondiepe fundering, gemetseld• Ondiepe fundering, beton• Diepe fundering, hout• Diepe fundering, beton | <ul style="list-style-type: none">• RIJWONINGEN<ul style="list-style-type: none">• Ondiepe fundering, gemetseld• Ondiepe fundering, beton• Diepe fundering, hout• Diepe fundering, beton | <ul style="list-style-type: none">• MEERLAAGSBOUW<ul style="list-style-type: none">• Ondiepe fundering, gemetseld• Ondiepe fundering, beton• Diepe fundering, hout• Diepe fundering, beton |
|---|--|--|



Figuur 2-7 Illustratie van typologieën op basis van gebouwtype en funderingskenmerken.

Stap 4: Gebouwkenmerken

De vervolgstap bij het indelen van typologieën is het vaststellen van de eigenschappen van de gebouwkenmerken die een rol spelen bij de beschrijving van de kwetsbaarheid. Dit betreft informatie over het materiaal van de draagconstructie (onderscheid metselwerk, beton, en ander materiaal), en geometrische kenmerken.

Deze eigenschappen zijn vanuit archiefonderzoek of via visuele inspecties te verkrijgen. Materiaaleigenschappen van metselwerk van bestaande gebouwen zijn niet zonder nader onderzoek te bepalen. Deze kunnen worden doorgaans worden gerelateerd aan bouwjaar. In het kader van de analyses van gebouwen in Groningen is een driedeling gebruikt: bakstenen metselwerk van voor 1945 en van na 1945, en kalkzandsteen. Daar is destijds materiaalonderzoek gedaan om praktijkwaarden en de bijbehorende spreiding vast te leggen. Deze indeling kan als basis dienen voor nadere uitwerking van de typologieën en eventuele onderverdeling in subtypologieën.

Vervolgens is van belang dat vastgelegd wordt welke bijzonderheden aanwezig zijn, waarbij gedacht moet worden aan aanbouwen en verbouwingen waarbij mogelijk dragende delen zijn veranderd.

Voorgesteld wordt deze volgende eigenschappen in elk geval vast te leggen:

1. Materiaal van de hoofddraagconstructie.
2. Aantal bouwlagen- dit kan worden gekoppeld aan het gebouwtype.
3. Geometrie gebouw in termen van vorm en afmetingen van zowel plattegrond als aanzichten.

Deze gegevens kunnen worden bepaald via archiefonderzoek bij gemeentes en gebouweigenaren, visuele inspecties, eventueel streetviewdata en BAG gegevens.

Nader onderzoek is nodig of de in figuur 2.7 getoonde typologieën nader onderverdeeld kunnen worden afhankelijk van de gebouweigenschappen.

2.5 Kwetsbaarheidsmodellen

2.5.1 Inleiding

Wat tot nu toe ontbreekt zijn kwetsbaarheidsmodellen die kunnen worden gekoppeld aan de hiervoor genoemde typologieën, al dan niet nader onderverdeeld op basis van gebouwkenmerken, naar analogie van 'fragility functions' voor beoordeling van gebouwen onder aardbevingsbelastingen. Dergelijke modellen koppelen een mate van belasting (bijvoorbeeld in termen van vervorming van maaiveld of funderingen) aan kansen op schade aan gebouwen. Kwetsbaarheidsmodellen verrekenen de invloed van variaties binnen een typologie, in materiaaleigenschappen, constructiewijzen, geometrie, etcetera. Voor de ontwikkeling van de typologieën en kwetsbaarheidsmodellen staan de volgende methoden tot beschikking: literatuuronderzoek, ervaring en kennis (expert judgement), experimenten en modelonderzoek. Al deze methoden hebben we nodig om tot eenduidige typologiedefinities te komen. Hieronder is een beknopt overzicht gegeven van de stand van zaken.

2.5.2 Literatuurscan

Een scan van literatuur is door Deltares/TNO gedaan, gericht op de Nederlandse situatie. Onderzoek uit de jaren 80 voor de commissie bodemdaling geeft eerste resultaten die als basis kunnen dienen voor een kwetsbaarheidsmodel.

Momenteel wordt er door TU Delft (in het kader van NWA-LOSS) en door TNO onderzoek uitgevoerd naar de ontwikkeling van kwetsbaarheidsmodellen. Dat wat er nu is heeft betrekking op gebouwen met ondiepe funderingen. Deze modellen zijn op termijn noodzakelijk om duiding te geven aan waargenomen schades, en kunnen bijdragen aan het ontwikkelen en beoordelen van oplossingen. In de internationale literatuur zijn zeer beperkt data beschikbaar, vaak zijn die gekoppeld aan regionale bouwwijzen die niet of beperkt van toepassing zijn voor Nederland.

De methodiek van kwetsbaarheidskrommen is uitgebreid beschreven en gedocumenteerd voor seismische analyses van bouwwerken, en ook voor Groningen uitgewerkt. TNO en TU Delft hebben de afgelopen jaren gezamenlijk typologieën ontwikkeld voor de seismische problematiek in Groningen en die ervaring kan als basis dienen voor ontwikkeling van kwetsbaarheidsmodellen voor de hier genoemde typologieën.

Methodisch kan voor de ontwikkeling en toepassing van kwetsbaarheid worden aangesloten bij die achtergronden. Inhoudelijk betreft het verschillende fenomenen ('bedreigingen') en verschillend bouwgedrag ('gevolgen'), ofwel de resultaten en bijbehorende typologieën uit seismische analyses zijn niet 1-op-1 geschikt voor de funderingsproblematiek. Seismische analyses zijn daarnaast gericht op veiligheidsvraagstukken (instorten van gebouwen), waarbij de funderingsproblematiek zich allereerst richt op het ontstaan van schades zonder dat acuut de veiligheid in gevaar hoeft te zijn. Een verdere verdieping op basis van literatuurstudie is wenselijk, maar is - gezien de te verwachten bruikbare gegevens - geen grote onderzoeksinspanning.

Bij de houten palen (grenen en vuren) spelen andere processen een rol dan voor ondiepe funderingen. De beschikbare kwetsbaarheidsmodellen zijn op deze processen niet toegesneden. In hoeverre die processen kunnen worden opgenomen in de vorm van een kwetsbaarheidsmodel is nog niet onderzocht. Het is te overwegen om uiteindelijk 1 typologie met grenen en 1 typologie met vuren paalfunderingen te definiëren en bij die typen de kwetsbaarheid specifiek te kwantificeren, maar dit zal nog nader uitgewerkt moeten worden.

2.5.3 Kennis en ervaring uit het veld

Bij discussies over schades worden door schade-expertise bureaus bouwkundige opnames gemaakt, bureau analyses uitgevoerd op basis waarvan een advies over oorzaak en eventuele reparaties worden geformuleerd. Vaak gebeuren deze analyses op basis van

expert judgement, soms ondersteund door berekeningen of testen. Hoewel er veel van dit soort data moet zijn, is dit niet of moeilijk ontsluitbaar of bruikbaar. Dit heeft te maken met de vertrouwelijkheid van gegevens. Dergelijke rapporten worden voor specifieke opdrachtgevers gemaakt met een specifiek doel, vaak gerelateerd aan een schuldvraag en financiële genoegdoening, wat niet die data oplevert die voor een onderzoeksdoel van belang kan zijn.

De afgelopen jaren heeft het IMG (Instituut Mijnschade Groningen) gewerkt aan een eenduidige wijze van vastleggen van schades en het koppelen aan mogelijke oorzaken. Hiervoor is onder meer een shadebibliotheek ontwikkeld en processen om de persoon die de schade opneemt zo goed mogelijk te helpen. Doel was om dit proces voor de schadeopnemers te uniformeren, om tot eenduidige uitkomsten te komen voor vergelijkbare situaties. IMG heeft inmiddels een grote database opgebouwd op basis van deze methode. Technisch inhoudelijk biedt dit mogelijkheden om onderzoeksvragen mee op te pakken. Een punt betreft hier de privacygevoelige informatie waarmee wordt gewerkt. Als hier een oplossing voor is, is het zinvol te inventariseren welke informatie er kan worden opgehaald, die als input kan dienen voor verdere ontwikkeling van kwetsbaarheidsmodellen.

2.5.4 Experimentele data

Het uitvoeren van experimenten draagt bij aan het begrip van het gedrag van bodem en constructies. Ten behoeve van de ontwikkeling van kwetsbaarheidskrommen kan gedacht worden aan laboratoriumexperimenten op gevels of andere onderdelen van gebouwen. Ook in-situ testen en lange termijn monitoring van gebouwgedrag kan bruikbare gegevens opleveren. Momenteel zijn er enkele monitoringsites gestart of in voorbereiding, waar zowel data over grondwater en bodembeweging als van het gebouwgedrag worden gemeten. Een belangrijke stap is om deze data, die locatie- en gebouw-specifiek zijn zo te verwerken dat deze ook generieke waarde krijgen. Een belangrijk middel daarvoor is om het te gebruiken om modellen te ontwikkelen dan wel valideren. Een manier om het te onderzoeken is om van de betreffende locatie en gebouw een digital twin te maken, en de meetdata op specifieke punten te gebruiken om ook het gedrag in andere locaties vast te leggen. Hiermee wordt direct het gebruikte model getest, en waar nodig aangepast. Deze strategie is momenteel nog niet uitgewerkt of ingezet in de lopende monitoringinitiatieven.

2.6 Handelingsperspectief

Een aparte aanpak voor funderingen op houten palen en voor ondiepe funderingen wordt aanbevolen, om de volgende redenen:

- Het inzicht in en de zekerheid over de aanwezigheid van houten palen is veel groter dan voor ondiepe funderingen.
- De aantallen gebouwen op houten palen geringer is.
- De oplossingsrichting voor houten palen is veelal duidelijker is: Het aanbrengen van een nieuwe fundering, hoewel kostbaar, zal ongeacht of deze vroeger of later wordt toegepast, zeer effectief zijn.

Daarnaast lijkt een aparte aanpak gericht op eigenaren voor vrijstaande woningen en 2 onder 1 kappers logisch, ten opzichte van een meer op het collectief gerichte aanpak voor rijwoningen en appartementen. Hier spelen woningcorporaties een belangrijke rol, maar zijn ook particuliere verhuurders en eigenaar-bewoners een substantiële doelgroep.

In hoofdstuk 3 wordt verder ingegaan op de verdere ontwikkelingen in relatie tot het handelingsperspectief.

2.7 Conclusies en Aanbevelingen

De aantallen gebouwen zoals aangegeven in het Rli rapport (75000 op houten palen en 300000 tot 350000 op ondiepe funderingen) hebben nu al een funderingsrisico van van matig, hoog of zeer hoog (D3, D4 en D5). Het grootste deel van die gebouwen valt in de schadeklasse matig (D3). In de hoogste klasse (zeer hoog, D5) vallen respectievelijk circa 2.500 gebouwen op houten palen en circa 25.000 op ondiepe funderingen.

Er is duidelijk een correlatie met het bouwjaar van de gebouwen. De oudste gebouwen hebben de hoogste risicoscores. Gebouwen tot 1930 hebben een duidelijk hoger funderingsrisico dan gebouwen na 1930.

Het totale aantal gebouwen met funderingsrisico is een schatting met onzekerheden die in het Rli advies benoemd zijn. De twee grootste onzekerheden zijn het risico van krimp/zwel van kleilagen en het ontbreken van informatie over het funderingstype van gebouwen.

Aanbevolen wordt zo spoedig mogelijk te beginnen met het centraal verzamelen en opslaan van funderingsdata van gebouwen. Tot die tijd kan begonnen worden met kijken waar de fundering goed bekend is.

Een aparte aanpak voor funderingen op houten palen en voor ondiepe funderingen wordt aanbevolen, omdat het inzicht in en de zekerheid over de aanwezigheid van houten palen veel groter is dan voor ondiepe funderingen en houten palen in aantal geringer zijn terwijl de oplossingsrichting veelal het aanbrengen van een nieuwe fundering is.

Voor de ondiepe funderingen is onbekend hoe groot het verschil in risico's is bij toepassing van verschillende materialen: historische gemetselde ondiepe funderingen versus moderne funderingen uit gewapend beton. Er wordt aangenomen dat moderne ondiepe funderingen alleen op zandgronden voorkomen (en daarom geen of verwaarloosbaar risico kennen) maar dit zal nader in kaart moeten worden gebracht.

Een aanpak gebaseerd op typologieën is kansrijk om vast te stellen welke gebouwen het meest kwetsbaar zijn, en waar de hoogste prioriteit moet worden gelegd.

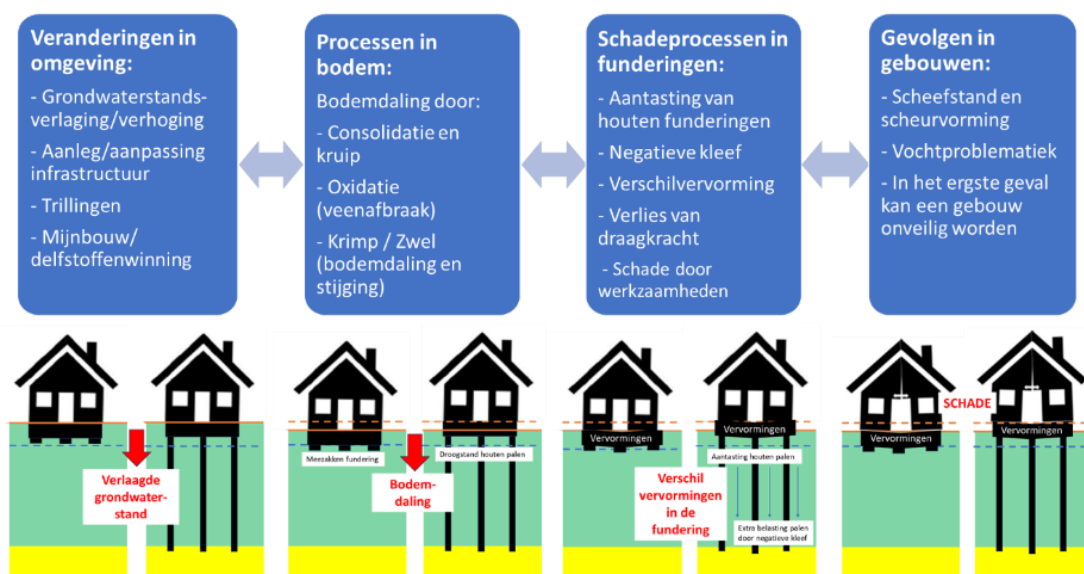
Een eerste indeling op typologieën gaat uit van bouwtype en funderingskenmerken. Voor verdere uitwerking van de risicoanalyses is betrouwbare informatie nodig van deze eigenschappen. Een vervolgstap is om de bouwkenmerken toe te voegen en op basis van nader onderzoek te onderzoeken of een verdere onderverdeling in (sub) typologieën nuttig en mogelijk is.

3 Kennisontwikkeling voor een effectieve aanpak funderingsproblematiek

3.1 Introductie

Bij het opstellen van dit hoofdstuk is naast het Rli rapport gebruik gemaakt van eerdere documenten, zoals een aanzet tot een kennisagenda die TNO en Deltares in 2021 al maakten met partijen uit de sector voor RVO (Deltares/TNO, 2021) en van de resultaten van de studie van TKI Bouw en Techniek voor de funderingsproblematiek (TKI BT, 2024). Enkele onderdelen van de kennisagenda 2021 zijn geactualiseerd en opnieuw opgenomen.

Zoals beschreven in Rli, 2024 liggen verschillende oorzaken ten grondslag aan de funderingsproblematiek in Nederland, zie figuur 3.1.



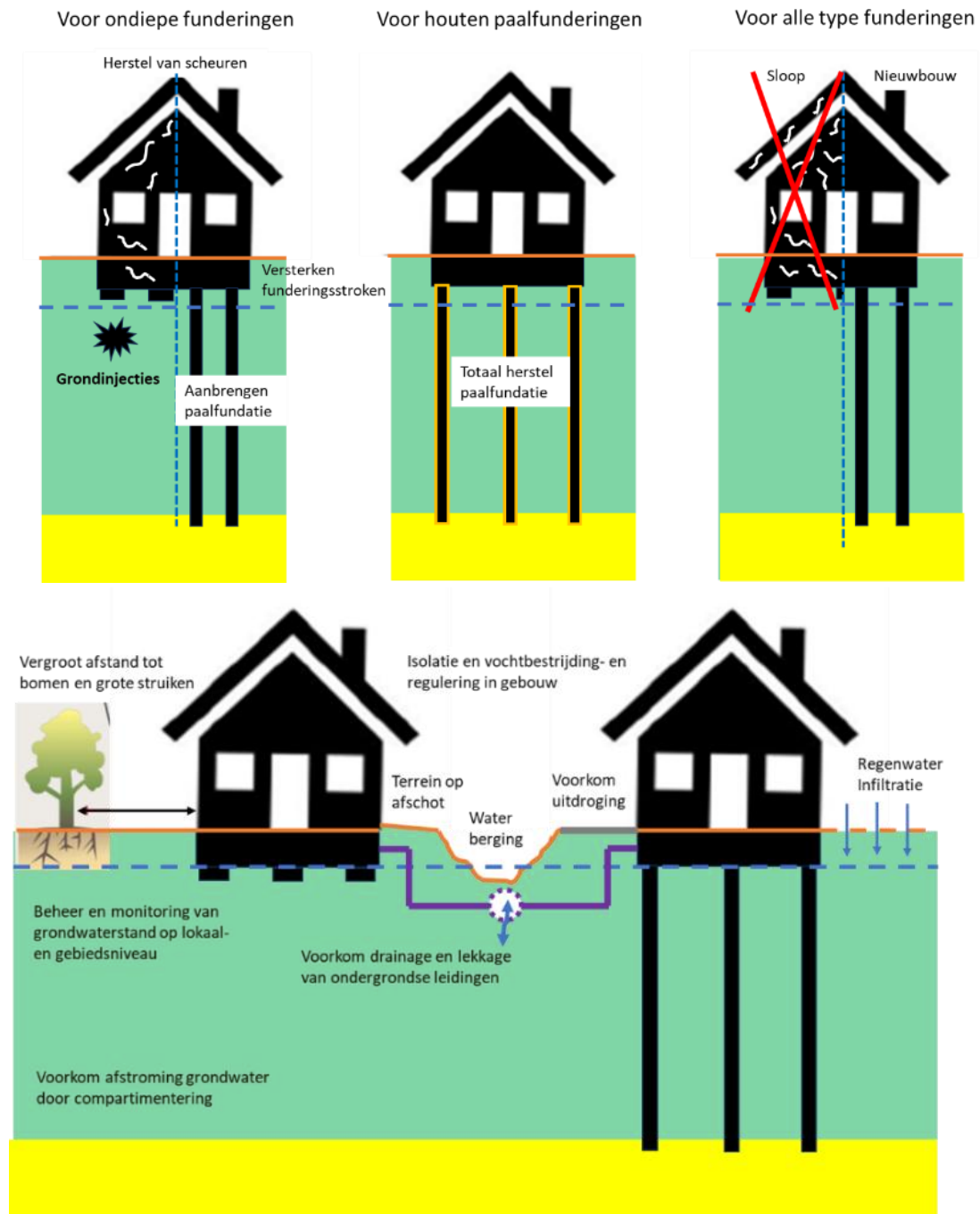
Figuur 3-1 Verbeteren inzicht in processen funderingsschade (figuur uit Rli, 2024).

Om specifiekere inzicht te kunnen geven in de problematiek (uiteindelijk ook op gebouwniveau) alsmede bij te dragen aan het handelingsperspectief stellen Deltares en TNO de volgende urgente kennisontwikkelingen voor. We beperken ons daarbij op dit moment vooral tot technische aspecten. De activiteiten dienen te worden gezien in samenhang, maar zijn voor de diepgang opgedeeld in drie hoofdonderdelen, met subonderdelen:

1. Voorbereiding informatievoorziening; (door)ontwikkelen modeltrein, standaardisatie, effectiviteit en invloed van eigenschappen (paragraaf 3.2).
2. Verbetering van inzichten in de aard, omvang en spreiding van de problematiek:
 - a. Omgevingsinvloeden: laatste inzichten in omgevingsinvloeden zoals bodemdaling, grondwaterstanden en klimaateffecten, (paragraaf 3.3).
 - b. Bodemprocessen: Vergroten van inzicht in krimp zwel (paragraaf 3.4).
 - c. Schadeprocessen funderingen: Vergroten van inzicht in nog ontbrekende schademechanismen (negatieve kleeft); robuust en toegankelijk maken risicomodel; nieuwe technieken om data en informatie te verzamelen en ontsluiten (paragraaf 3.5).
 - d. Gevolgen in gebouwen: Ontwikkeling van kwetsbaarheidsmodellen: Gevalideerde voorspellingsmodellen voor schadechansen voor relevante typologieën (paragraaf 3.6).

3. Handelingsperspectief:
 - a. Nieuwe concepten voor herstel en preventieve interventie (paragraaf 3.7).

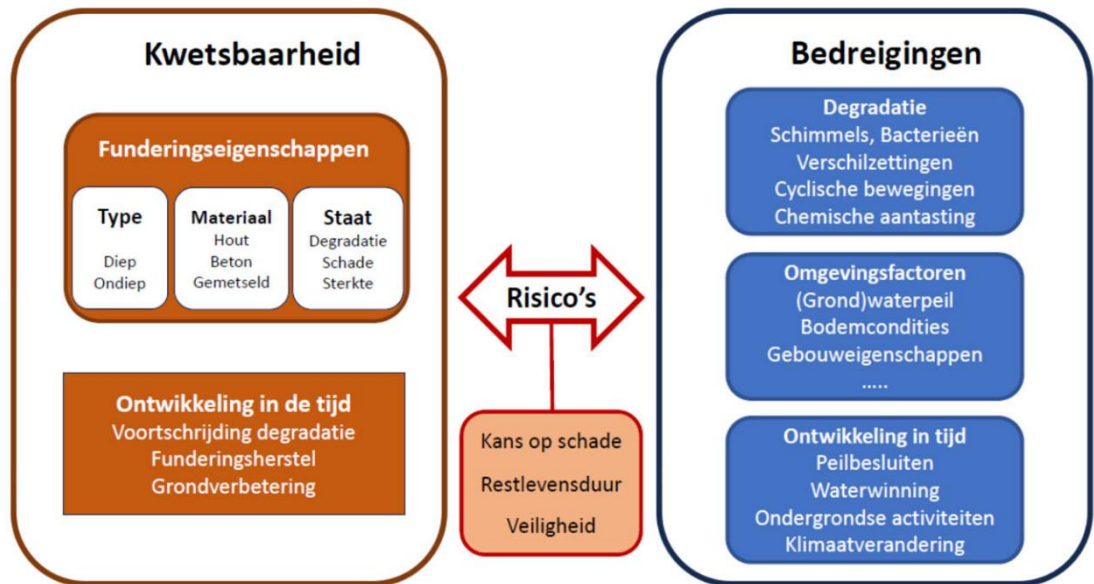
Behalve het toegepaste onderzoek zoals benoemd in dit hoofdstuk is het ook essentieel dat fundamenteel onderzoek (aan universiteiten) wordt uitgevoerd naar de dieperliggende mechanismen en oorzaken van de problematiek op de verschillende onderdelen.



Figuur 3-2 Handelingsperspectief (figuur overgenomen uit Rli, 2024).

3.2 Informatievoorziening

De informatievoorziening aan burgers en professionals draait om de risico's, welke opgebouwd zijn uit object-gebonden informatie en omgevingsinvloeden, die respectievelijk input geven in de kwetsbaarheid van gebouwen danwel de bedreigingen, zie Figuur 3.3.



Figuur 3-3 Funderingsrisico's opgebouwd uit kwetsbaarheid (object-gebonden) en bedreigingen (omgeving-gebonden).

Om een landelijke informatievoorziening mogelijk te maken zijn er activiteiten nodig die kennis vereisen van de funderingsproblematiek:

- Beschrijving van het complete technische model, met uitsplitsing in object-gebonden en omgeving-gebonden informatie.
- Prioritering van de meest relevante eigenschappen van gebouwen en omgevingsinvloeden die nodig zijn voor een goede inschatting van het funderingsrisico op basis van gevoeligheidsanalyse.
- Praktische (on)mogelijkheden voor het bepalen van die eigenschappen danwel het verkrijgen ervan via het ontsluiten en zo nodig vertalen van bestaande data naar de gevraagde gegevens.
- Standaardisatie van de definitie van het funderingsrisico; welke vorm van “output” geeft inzicht en een snelle koppeling naar handelingsperspectief.
- Verkenning mogelijkheden van combinatie van beschikbare modellen in het publieke en private domein.
- Maken van vertaalslag van informatiebronnen naar input voor het technische model (bvb van BRO informatie naar relevant bodemkenmerken en van gebouwinformatie naar kwetsbaarheid).
- Verantwoording van data en betrouwbaarheden.
- Bouwen, onderhouden en door ontwikkelen van risicomodel(len) en validatie, inclusief implementatie van de kennisontwikkeling zoals genoemd in paragraaf 3.3 tot en met 3.6.

3.3 Aard, omvang, spreiding: Omgevingsinvloeden

Op dit moment is er een redelijk beeld van welke omgevingsinvloeden bepalend zijn voor het funderingsrisico. De belangrijkste hiervan hangen samen met de grondwaterstand en de optredende bodemdaling.

De grondwaterstand in stedelijke gebieden is echter veel minder goed bekend dan die in landelijke gebieden. Dit heeft direct invloed op de inschatting van het funderingsrisico, net als op de bodemdaling die hiervan (mede) het gevolg is. Nauwkeurigere bepaling van grondwaterstanden en bodemopbouw/geschiedenis in stedelijk gebied is dus essentieel. De voorspelling van de omgevingsinvloeden voor de toekomst zijn van belang voor de toekomstige scenario's en om te bepalen waar en in welke mate preventieve maatregelen

mogelijk effectief kunnen zijn. Vertaling van de nieuwe klimaatscenario's naar gevolgen voor grondwaterstanden en bodemdaling is hiervoor nodig.

Behalve technische invloeden is het ook mogelijk om te onderzoeken of andere omgevingsfactoren, zoals eigenschappen van gebouwen of wijken, een relatie hebben met de funderingsproblematiek. Als dit het geval is kan hiermee rekening worden gehouden bij het handelingsperspectief. Te denken valt aan:

- Vaststellen of er relaties zijn tussen woningtype, energielabel en funderingsrisico's zodat een aanpak in samenhang mogelijk is.
- Vaststellen of er een relatie is met sociale status van de wijken, zodat een wijkgerichte aanpak effectief kan worden ingezet.

3.4 Aard, omvang, spreiding: Bodemprocessen

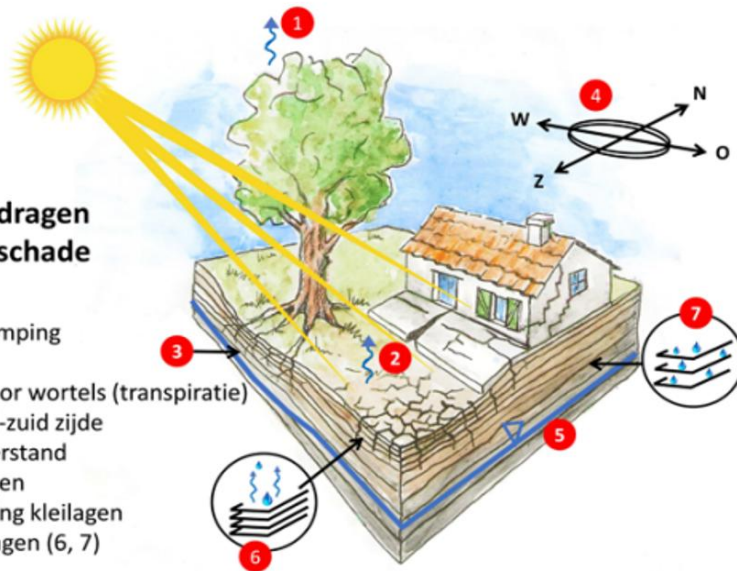
Om te komen tot een betere inschatting van de omvang van de krimp-zwel-problematiek, zowel met betrekking tot reeds opgetreden schade als ten aanzien van de toekomstverwachting zijn de volgende inzichten noodzakelijk:

- Fundamentele kennis over het krimp-zwel als verschijnsel, de processen die daarbij van belang zijn en hoe die onder Nederlandse omstandigheden bijdragen aan dit verschijnsel. Hiervoor is het nodig de verschillende kleisoorten in Nederland te karakteriseren voor de gevoeligheid voor krimp-zwel en op basis hiervan te komen tot de vorming van modellen.
- Blootstelling (van gebouwen) aan krimp en zwel. Waar is het blootstellingsrisico groot, matig en klein, en hoe wordt dat bepaald door lokale omgevingsfactoren¹, (zie figuur 1)? Hiervoor is het nodig de verspreiding van de krimp-zwel gevoelige kleilagen over Nederland in kaart te brengen. Hiermee kan een krimp-zwel kaart worden gemaakt, die inzicht geeft in waar zich (op termijn) schades als gevolg van krimp en zwel van klei kunnen gaan voordoen en in welke gebieden bij nieuwbouw rekening gehouden moet worden met dit verschijnsel.
- Gevoeligheid van gebouwen voor krimp-zwel bewegingen. Hiervoor wordt nu al onderzoek gedaan via monitoringsites. Door deze inzet op monitoringsites krijgen we een beter beeld van de interactie tussen ondergrond en bebouwing en de mogelijke schade. Ook kunnen op locatie de effecten van mogelijke maatregelen onderzocht worden. Uitbreiding naar meerdere sites (type gebouw, type ondergrond) is nodig. Bij het inrichten en monitoren van meetsites zoeken we samenwerking met RVO, KCAF en indien relevant ook met RCE. Monitoring van bodem- en gebouwbeweging levert alleen iets op als er jarenlang wordt gemeten (>5 jaar).
- Oplossingen/maatregelen: onderzoek naar effectiviteit / kosten-baten. Op basis van bovenstaande kennis komen risicogebieden in beeld en kunnen we lokaal en regionaal passende maatregelen en beleid ontwikkelen (handelingsperspectief). Hierbij moet ook de invloed van omgevingsfactoren (bestrating, invloed van bomen (en grote struiken) en vochthuishouding onder gebouwen) worden meegenomen.

¹ Lokale omgevingsfactoren zijn bijvoorbeeld weer, type klei, samenstelling van de grond, bodemopbouw, grondwaterregime en vegetatie

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 3-4 Omgevingsfactoren die van invloed zijn op het optreden van krimp en zwel (voor Nederlandse situatie aangepaste figuur van de Franse geologische dienst (BRGM) uit Stuurman, et al. (2021)).

3.5 Aard, omvang, spreiding: Schadeprocessen in funderingen

Bij paalfunderingen bevinden kennisvragen zich met name op het vlak van de invloed van omgevingsfactoren op het ontstaan van funderingsproblemen. Daarbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan de gevoeligheid van palen (zowel betonnen palen als houten palen) voor negatieve kleeft onder invloed van bodemdaling/droogte, invloed van niveau en samenstelling grondwater en ondergrond op degradatie van het hout over de tijd, en het schadeverloop in relatie tot degradatie van panden. Beter begrip van de schademechanismen komt zowel landelijke/ generieke prognoses ten goede als lokaal funderingsonderzoek.

Andere schademechanismen die gerelateerd zijn aan lage kwaliteit of veroudering van funderingen, en lokale omstandigheden als trillingen of ondergrondvervorming of grondwaterstandsverlaging door nabije ingrepen (bronbemaling bv) zijn niet op landelijk niveau te beoordelen.

Ook het inbedden van innovatieve/ nieuwe meet- en monitoringstechnieken en het aanleggen van een grotere database kan de snelheid en kwaliteit van funderingsonderzoek ten goede komen en meer inzicht genereren in de onderliggende schademechanismen en kwetsbaarheidscurves.

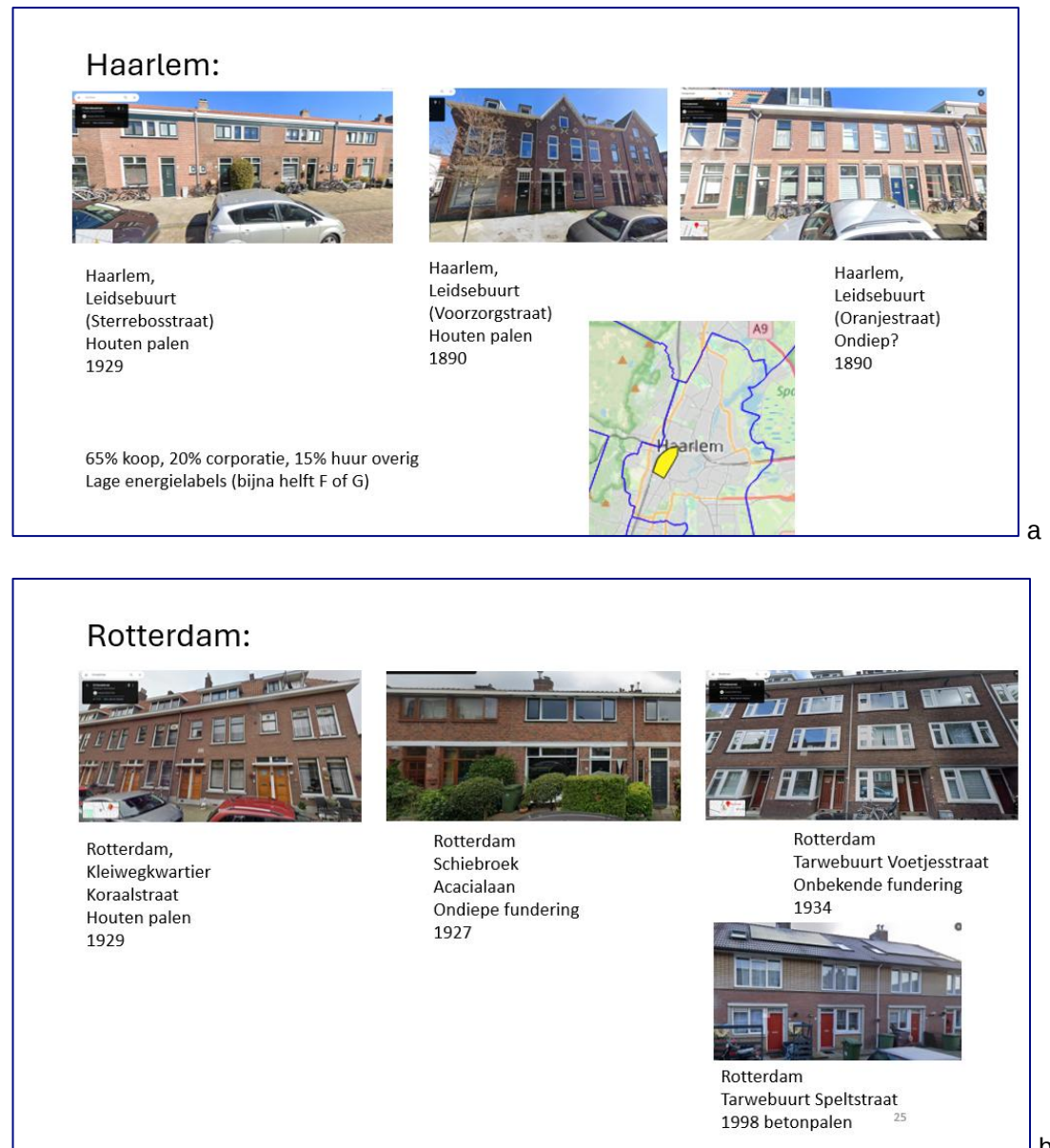
Ook kan gebruik worden gemaakt van radarsatellietmetingen. De verwachting is dat in veel gevallen de situatie minder slecht is dan nu wordt geschat. InSAR kan bijvoorbeeld gebruikt worden om onderscheid te maken tussen diepe en ondiepe funderingen, de zakking in de tijd mee te nemen en sneller gebieden te onderscheiden met specifieke problematiek (grondwater, krimp zwel, bouwwerkzaamheden etc.).

3.6 Aard, omvang, spreiding: Gevolgen in gebouwen

De kwetsbaarheid van funderingen en gebouwen is nog zeer beperkt onderzocht. Ten behoeve van gekwantificeerde en betrouwbare uitspraken over schaderisico's is verder onderzoek hierin nodig, gekoppeld aan de ontwikkeling van typologieën, zoals in 2.4 is beschreven. Voorzien wordt in 4 onderzoeksactiviteiten:

1. Praktijkevaluatie typologie indelingen.
2. Onderzoek naar invloed gebouweigenschappen op de kwetsbaarheid.
3. Ontwikkeling kwetsbaarheidskrommen voor de typologieën.
4. Ontwikkeling van snelle scanningstechnieken voor de staat van een gebouw.

Ad 1: De eerste typologie indeling die in hoofdstuk 2 (zie figuur 2.6) is gegeven, dient te worden uitgetest in de praktijk. Dit kan door een 'reality check' te doen aan de hand van een aantal geselecteerde wijken of buurten waar informatie over de fundering bekend is (zoals in Rotterdam, Schiedam, Haarlem, Zaanstad, Dordrecht). Nagegaan wordt of de voorgestelde indeling toegevoegde waarde heeft in deze gebieden. Vervolgens worden de gebruikte typologieën geëvalueerd en waar nodig worden de definities aangescherpt. Splitsen of samenvoegen van typologieën behoort ook tot de mogelijkheid.



Figuur 3-5 Voorbeeld wijken om typologie aanpak te testen en door te ontwikkelen; a: Haarlem (boven) of b: Rotterdam (onder) (ter indicatie, foto's van Google Streetview).

Ad 2: De typologie indeling uit hoofdstuk is gebaseerd op generieke kenmerken voor gebouw en fundering. Om het gedrag, en daarmee de gevoeligheid of kwetsbaarheid, van een gebouw te kunnen inschatten is meer kennis en kwantitatieve informatie nodig. Die informatie is nodig om tot een kwetsbaarheidsmodel (fragility function) te komen waarmee de schadekans kan worden berekend. Dit is onder meer relevant om schaderisico's op basis van toekomstscenario's voor grondwaterpeil en bodemgedrag te kunnen bepalen.

De volgende onderzoeksvragen spelen een rol (zie ook paragraaf 2.4):

- Moet er binnen typologieën onderscheid worden gemaakt naar constructiemateriaal voor het gebouw (voorbeeld: is de kwetsbaarheid voor een betonnen gebouw erg afwijkend van een metselwerk gebouw)?
- Moet bij een ondiepe fundering onderscheid worden gemaakt in gemetselde danwel betonnen funderingen?
- Wat is de invloed van aantal bouwlagen op de kwetsbaarheid en is dit reden om typologieën nader onder te verdelen?
- Wat is de invloed van (grote) openingen in metselwerk gevels op de kwetsbaarheid?
- Hoe kunnen we degradatie van houten palen als variabele in deze modellen meenemen.
- Hoe past de invloed van kelders in de typologiekenmerken?
- Zijn er verschillen in uitkomsten van de methodieken en hoe zijn deze te overbruggen?

Ad 3: Tenslotte is onderzoek nodig naar de kwetsbaarheid van de typologieën en de vertaling daarvan naar risico's. Als eindbeeld is er voor elke gedefinieerde typologie een relatie afgeleid tussen een zogeheten intensiteitsmaat, bijvoorbeeld de absolute of de relatieve zetting (dit kan verschillen voor verschillende typen funderingen) en de kans op schade, waarbij onderscheid gemaakt kan worden in verschillende schadeklassen. Deze schadeklassen kunnen vervolgens worden gekoppeld aan een restlevensduur. Als deze relaties beschikbaar zijn, kan op basis van een voorspelling van het gedrag van grondwater, bodemvervorming en daarbij behorende degradatie van de fundering en inschatting worden gemaakt van de risico's in termen van tijd (bijvoorbeeld over 5, 10, 25 jaar), van schadeniveau, en in termen van verschillende toekomstscenario's. Deze voorspellingen zijn de basis voor handelingsperspectief, zowel voor eigenaren/bewoners (wat moet ik aan mijn woning doen) als voor partijen die invloed hebben op de omgevingsparameters.

Ad 4. Naast het bepalen van typologieën en bijbehorende kwetsbaarheidsmodellen is het inwinnen van informatie over de kwaliteit en eventueel bestaande schade aan panden van belang voor de risicoschatting en voor validatie van de modellen. Een ontwikkeling is de toepassing van digitale beeldverwerkingstechnieken om snel een groot gebied (buurt of wijk) te kunnen scannen op vervormingen van gebouwen. Deze gegevens over vervormingen kunnen een indicatie zijn voor schade aan funderingen, en kan helpen de risico's beter in kaart te brengen. Dit kan gemeentes en vastgoedeigenaren helpen om snel te bepalen waar de prioriteiten gelegd moeten worden.

3.7 Handelingsperspectief

Tot op heden is er relatief weinig kennisontwikkeling geweest rondom maatregelen voor preventie of herstel. Bestaand onderzoek is beperkt en alleen lokaal en versnipperd beschikbaar. Effectiviteit van maatregelen is niet altijd duidelijk en ook de afweging welke maatregel voor welk gebouw in welk gebied het meest effectief is ontbreekt. Op dit moment is er een relatief kleine markt met veel kleine bedrijven actief in herstel en interventie, vaak binnen een specifieke regio.

Herstel gaat over het repareren van schade zoals scheuren aan het casco en/ of het herstellen van de fundering zelf. De bestaande activiteiten op gebied van onderzoek naar herstel gaan met name over houten paalfunderingen: de problematiek speelt al decennia, en

er zijn over de tijd verschillende innovatieve technieken ontwikkeld en toegepast. Het effectief herstellen van ondiepe funderingen is relatief minder bekend, en is er ook gebrekkige kennisdeling tussen regio's: methoden die in een bepaalde regio goed werken, kunnen ergens anders minder goed passen: dit hangt sterk af van de constructie van een gebouw en de fysieke omstandigheden (ondergrond, grondwaterstand). Dit uit zich bijvoorbeeld in grote verschillen in aanbestedingen van aannemers uit verschillende regio's.

Interventie of preventie gaat over maatregelen die genomen kunnen worden om ernstige schade te voorkomen, aan of rondom het pand zelf, of in de omgeving, zoals het actief beheren van de grondwaterstand en het beïnvloeden van het bodemvochtprofiel. Ruimte voor ontwikkeling van nieuwe concepten voor herstel, interventie en toekomstbestendige nieuwbouw is beperkt, evenals de kennisdeling tussen regio's hierover.

Om ontwikkeling, monitoring en kennisdeling van nieuwe concepten in funderingsherstel te stimuleren, valt te denken aan:

- i. Meer regie op ontwikkeling van nieuwe concepten bijvoorbeeld ten aanzien van het verzamelen van onderzoeksdata en kennisdeling tussen bedrijven, verschillende regio's, en kennisdeling van technieken/ ervaringen bij monumenten naar normale gebouwen is wenselijk.
- ii. Los van ontwikkeling en kennisdeling is monitoring van nieuwe concepten in funderingsherstel – en ook van al iets oudere concepten die in de afgelopen decennia zijn toegepast – nodig om vast te stellen of het gewenste resultaat behaald is en de maatregelen daadwerkelijk (kosten) effectief zijn.
- iii. Tot slot is er behoefte aan het ontwikkelen van normering voor uitvoering van herstelwerkzaamheden en preventieve maatregelen/ interventies.

Voor houten palen is bekend dat bij schimmelaantasting actief grondwaterpeilbeheer – waarbij zowel de gemeente als individuele eigenaar een rol kan of moet spelen - de levensduur van de fundering kan verlengen. Voor bacteriële aantasting bestaan ook potentiële technieken om de palen te conserveren. Verdere ontwikkeling van dit soort technieken, kennis over de effectiviteit ervan en mogelijke voor- en nadelen (ook voor de omgeving) ervan en kennisdeling hierover zijn van meerwaarde. Met name voor ondiepe funderingen zijn preventieve maatregelen nog relatief onbekend gebied – hier kunnen actief grondwaterbeheer, groenbeheer of lokale maatregelen om verdamping te beperken in sommige gevallen wellicht schade voorkomen. Verder onderzoek en kennisdeling over in welke situaties, welke maatregelen genomen kunnen worden en hoe men deze goed dient te ontwerpen zou veel toekomstige funderingsproblemen kunnen voorkomen.

Funderingsproblematiek kan veel verschillende oorzaken hebben en een pand staat nooit los van zijn omgeving. In veel gevallen is een aanpak op systeemniveau wenselijk om het probleem te voorkomen, maar ook om de gevolgen van individuele maatregelen goed in kaart te brengen.

De woningbouwopgave voor de komende decennia is significant. Omdat de meeste 'stevige' grond in het westen van het land al bebouwd is of beschermd is als drinkwaterwingebied of natuurgebied, zullen nieuwe wijken veelal in bestaande stedelijke omgeving en op slappe gronden worden gebouwd. Zelfs als dat met betonnen palen gebeurt, kan dat op termijn problemen opleveren in relatie tot een wegzakkende omgeving. Ook de duurzaamheid van panden op betonnen palen is niet als vanzelfsprekend te beschouwen. Analyse van huidige funderingspraktijken en ontwikkeling van nieuwe, innovatieve funderingsconcepten – zoals lichte, 'drijvende' constructies die meezakken met de bodem – kan in het nieuwbouwdossier toegevoegde waarde bieden.

4 Conclusies

In de afgelopen jaren is er na terugkerende droogte en een toename in schadegevallen hernieuwde aandacht voor funderingsproblemen in Nederland, zoals ook blijkt uit het Rli rapport Goed Gefundeerd (Rli, 2024). Het ministerie van VRO, Directie Bouwen en Energie heeft Deltares en TNO gevraagd naar aanleiding hiervan een verdieping te maken van de aard, omvang en verspreiding van de problematiek en daarnaast inzicht te geven in noodzakelijke kennisontwikkeling middels toegepast onderzoek.

Orde van grootte en verspreiding van de funderingsproblematiek in Nederland

In dit rapport is een uitsplitsing gegeven van de funderingsproblematiek naar bouwjaar en type gebouw en fundering en van de verspreiding over Nederland.

Circa 425.000 gebouwen zoals aangegeven in het Rli rapport hebben nu al een funderingsrisico van matig, hoog of zeer hoog (D3, D4 en D5). Hiervan zijn 75.000 gebouwen gefundeerd op houten palen en 300.000-350.000 hebben een ondiepe fundering. Het grootste deel van de 425.000 gebouwen valt in de schadeklasse matig (D3). In de hoogste klasse (zeer hoog, D5) vallen respectievelijk circa 2.500 gebouwen op houten palen en circa 25.000 op ondiepe funderingen.

Er is duidelijk een correlatie met het bouwjaar van de gebouwen. De oudste gebouwen hebben de hoogste risicoscores. Gebouwen tot 1930 hebben een duidelijk hoger funderingsrisico dan gebouwen na 1930.

Het totale aantal gebouwen en de onderverdeling naar risiconiveau en bouwjaar zijn gebaseerd op een schatting. De onzekerheden in deze schatting zijn benoemd in het Rli advies. De twee grootste onzekerheden zijn het risico van krimp/zwel van kleilagen en het ontbreken van informatie over het funderingstype van gebouwen.

Aanbevolen wordt zo spoedig mogelijk te beginnen met het centraal verzamelen en opslaan van funderingsdata van gebouwen. Tot die tijd kan begonnen worden met wijken waar de fundering goed bekend is.

Aanbevolen wordt een aparte aanpak te ontwikkelen voor gebouwen met houten palen en apart daarvan een voor gebouwen met ondiepe fundering, omdat de onderliggende oorzaken verschillen en houten palen in aantal geringer zijn dan ondiepe funderingen, terwijl de oplossingsrichting veelal onvermijdelijk het aanbrengen van een nieuwe fundering is.

Een aanpak gebaseerd op typologieën is kansrijk om vast te stellen welke gebouwen het meest kwetsbaar zijn, en waar de hoogste prioriteit moet worden gelegd. Een eerste indeling op typologieën gaat uit van bouwtype en funderingskenmerken. Voor verdere uitwerking van de risicoanalyses is betrouwbare informatie nodig van deze eigenschappen.

Kennisontwikkeling

Om specifiek inzicht te kunnen geven in de problematiek (uiteindelijk ook op gebouwniveau) alsmede bij te dragen aan het handelingsperspectief geven Deltares en TNO in deze rapportage een overzicht van de meest urgente kennisvragen rondom de technische aspecten van de funderingsproblematiek. We beperken ons daarbij op dit moment vooral tot technische aspecten. De activiteiten dienen te worden gezien in samenhang, maar zijn voor de diepgang opgedeeld in drie hoofdonderdelen, met subonderdelen:

1. Voorbereiding informatievoorziening; (door)ontwikkelen modeltrein, standaardisatie, effectiviteit en invloed van eigenschappen, typologie aanpak.
2. Verbetering van inzichten in de aard, omvang en spreiding van de problematiek:
 - a. Omgevingsinvloeden: laatste inzichten in omgevingsinvloeden zoals bodemdaling, grondwaterstanden en klimaateffecten.
 - b. Bodemprocessen: Vergroten van inzicht in krimp zwel.
 - c. Schadeprocessen funderingen: Vergroten van inzicht in nog ontbrekende schademechanismen (negatieve kleeft); robuust en toegankelijk maken risicomodel; nieuwe technieken om data en informatie te verzamelen en ontsluiten.
 - d. Gevolgen in gebouwen: Gevalideerde voorspellingsmodellen voor schadechansen voor relevante typologieën.
3. Handelingsperspectief:
 - a. Nieuwe concepten voor herstel en preventieve interventie.

Behalve het toegepaste onderzoek zoals benoemd in deze rapportage is het ook essentieel dat fundamenteel onderzoek (aan universiteiten) wordt uitgevoerd naar de dieperliggende mechanismen en oorzaken van de problematiek op de verschillende onderdelen.

5 Referenties

Deltares (2020). "Klimaat-effectatlas." kaarten en toelichting funderingsrisico houten palen en verschilzetting.
<https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/>.

Deltares/TNO (2021) Naar een kennisagenda funderingsproblematiek - Duiding van de omvang en aard van de problematiek en kennisvragen daarbij; kenmerk 11206466-002-BGS-003 d.d. 28-06-2021

Deltares/TNO (2024). Nationale aanpak funderingsproblematiek Aard, omvang en technische maatregelen, kenmerk 11210049-002-GEO-0001, 29 februari 2024

Huijbregts, R., Geurts, C., Koster, K., Willems, M. (2024) Gebouwschade door bodemdaling voorspellen en voorkomen, Binnenlands Bestuur, 22 juli 2024 (<https://www.binnenlandsbestuur.nl/ruimte-en-milieu/tno/gebouwschade-bodemdaling-tno-modelketen>)

Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (2024). Goed gefundeerd: Advies om te komen tot een nationale aanpak van funderingsproblematiek. Den Haag. Digitale uitgave

Stuurman, R., Kooi, H., Melman, R., van der Werf, K., Blom, C. (2021). Krimp-zwel een groeiend probleem. *Land & Water*, 5, 34-35.

TKI Bouw en Techniek (2024). Funderingsproblematiek; Verdiepingsstudie naar innovatie- en opschalingsopgave; versie 4.0; 1 oktober 2024