

Raamwerk risicomodel voor funderingen

TNO-2026-17211 – 8 juli 2026

Raamwerk risicomodel voor funderingen

Auteurs	Dr.ir. C.P.W. (Chris) Geurts Dr.ir. M. (Mandy) Korff Dr. -Ing. E. (Elham) Mahmoudi Dr. N. (Nicoletta) Nappo Dr. D. (Dawn) Wong Dr. A. (Alfonso) Prosperi
Rapportclassificatie	Publiek
Titel	Risicomodel voor funderingen
Rapporttekst	Publiek
Rapporttekst	51 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	0
Projectnaam	VRO Nationale Aanpak Funderingen
Projectnummer	060.63564 (TNO) en 11213043 (Deltares)

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO en Deltares.

© 2026 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Begrippen en definities	6
2.1	Risico	6
2.2	Bedreiging	6
2.3	Blootstelling.....	7
2.4	Kwetsbaarheid.....	7
2.5	Schade	8
2.6	Gevolgen	8
3	Technische achtergrondprocessen	10
3.1	Processen in bodem, fundering en gebouw.....	10
3.2	Vervorming en schade aan gebouwen	12
4	Bestaande methodes voor risicobeoordeling	14
4.1	Deltares Funderings Inzicht & Risico Model voor Nederland (FIRM-NL)	16
4.2	TNO-model voor schade door bodemdaling	19
4.3	KCAF - Inspectierichtlijn	22
4.4	FunderMaps	25
4.5	RVO Funderingsviewer	29
4.6	Sensar: Pandzakingskaart op buurtniveau.....	30
4.7	Lokale benaderingen	31
5	Opzet voor landelijk risicomodel	34
5.1	Risicobeheer voor funderingen en gebouwschade	34
5.2	Modeluitvoer	34
5.3	Model raamwerk	36
5.4	Omgevingsdata	37
5.5	Bedreigingenmodule.....	38
5.6	Blootstellingsmodule.....	39
5.7	Kwetsbaarheidsmodule	40
5.8	Risicomodule	46
5.9	Handelingsperspectief	46
5.10	Ontwikkelstappen	47
6	Referenties.....	50
7	Ondertekening	51

1 Inleiding

De bestaande woningvoorraad in Nederland is in de loop van meerdere decennia en in veel gebieden zelfs gedurende eeuwen geleidelijk ontstaan. De Nederlandse slappe ondergrond, het grondwaterbeheer en veranderingen in de omgeving, samen met de typische Nederlandse bouwgeschiedenis, hebben gezamenlijk geleid tot een situatie zoals beschreven in het RLI-rapport *Goed Gefundeerd* [1] en in *Olifant onder de kamer* [2]. Naar schatting lopen momenteel ongeveer 425.000 gebouwen met een woonfunctie risico op funderingsschade, en dit aantal zal in de toekomst waarschijnlijk toenemen (Deltares/TNO, 2024).

Verschillende partijen hebben al stappen gezet om problemen rond funderingsaantasting en vershilzetting aan te pakken. Er is echter een bredere en beter gecoördineerde inspanning nodig om deze initiatieven te versterken en op te schalen.

Het ministerie van BZK/VRO is een programma gestart met als doel de situatie rond funderingsgerelateerde risico's te verbeteren. Dit programma (de Nationale Aanpak Funderingen, kortweg NAF) bestaat uit verschillende activiteiten waarbij alle relevante stakeholders worden betrokken. Een van de belangrijkste onderdelen van het programma is het opzetten van een landelijke voorziening voor funderingsinformatie, zodat alle woningeigenaren en andere publieke en private stakeholders in de toekomst over gevalideerde informatie kunnen beschikken over hun fundering, de staat daarvan en de bijbehorende risico's.

Als onderdeel van de landelijke datavoorziening kan een geïntegreerd en toekomstgericht kader voor risicobeoordeling en risicobeheer van funderingen bijdragen aan de benodigde handelingsperspectieven voor huiseigenaren en andere stakeholders. Binnen zo'n kader maakt een uniform risicomodel zichtbaar waar kwetsbaarheden optreden, kwantificeert het mogelijke effecten en ondersteunt het keuzes en prioritering van interventies.

Opbouw

Dit document biedt een raamwerk voor het opzetten van een gemeenschappelijk en uniform kader van definities en concepten voor de beoordeling en het beheer van risico's die samenhangen met gebouwschade als gevolg van bodemdaling en funderingsaantasting.

Afbakening

Dit rapport richt zich op risico's voor woongebouwen die samenhangen met fysische processen zoals consolidatie, veenoxidatie, krimp/zwel-gedrag van klei en schommelingen van grondwaterstanden door droogte en klimaatschommelingen. Deze processen kunnen leiden tot schade, functieverlies en aanzienlijke maatschappelijke en economische gevolgen.

Dit document heeft als doel:

- a) terminologie te definiëren en te harmoniseren die betrekking heeft op de risicocomponenten van funderingsschade; dit wordt beschreven in hoofdstuk 2.
- b) de mechanismen te beschrijven die horen bij de problematiek van funderingsschade; dit wordt beschreven in hoofdstuk 3.
- c) bestaande modellen en methodieken te inventariseren en te classificeren die worden gebruikt voor de beoordeling van bedreiging, blootstelling, kwetsbaarheid, schade, verlies en risico; dit wordt beschreven in hoofdstuk 4.
- d) een toekomstig kader voor risicomodellering te conceptualiseren, waarin de belangrijkste componenten worden geïntegreerd in een samenhangend en schaalbaar systeem; dit wordt beschreven in hoofdstuk 5.

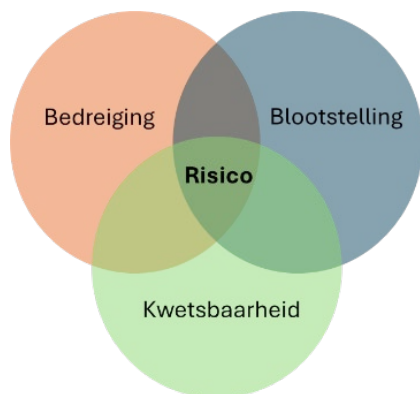
2 Begrippen en definities

Dit hoofdstuk beschrijft de begrippen en definities die worden gebruikt bij de ontwikkeling van het NAF-informatiemodel voor de beoordeling van het risico dat gebouwen lopen als gevolg van bodem-, klimaat-, en verouderingsprocessen. De processen worden beschreven in hoofdstuk 3.

2.1 Risico

Risico betreft de verwachte waarde van de consequenties (schade/gevolg), gegeven de intensiteit van de bedreiging, de blootstelling en de kwetsbaarheid (en soms het vermogen tot aanpassing).

Het risico wordt daarmee bepaald door de drie elementen **Bedreiging**, **Blootstelling** en **Kwetsbaarheid** zoals schematisch weergegeven in figuur 1. Deze termen worden hierna toegelicht. De gebruikte kleuren in deze figuur komen later in dit rapport terug bij de verdere bespreking van risicomodellen.



Figuur 1 Bedreiging, Blootstelling, Kwetsbaarheid bepalen tezamen het risico.

In wiskundige termen is risico de integraal over de kansdichtheidsfunctie van de bedreiging vermenigvuldigd met de kwetsbaarheidsfuncties en dit resulteert in de verwachtingswaarde van het verlies (de gevolgen) gegeven een gebouwtypologie op een locatie met een bepaalde bedreiging (blootstelling).

Risico kan zowel kwalitatief als kwantitatief worden beoordeeld. De uitkomst kan worden geformuleerd in termen van kansen op schade (en daarbij horende gevolgen), risicoscores, geschatte levensduur, herstelkosten enzovoort.

2.2 Bedreiging

Een bedreiging verwijst naar een potentieel schadelijk fysisch proces, een toestand of gebeurtenis, gekarakteriseerd door intensiteit, frequentie, duur en ruimtelijke omvang.

In de context van gebouwschade en funderingsproblemen zijn relevante bedreigingen bijvoorbeeld: bodemdaling als gevolg van processen zoals consolidatie, veenoxidatie en krimp/zwel-gedrag van klei, evenals schommeling van de grondwaterstand door droogte en klimaatschommelingen. Ook door menselijk handelen veroorzaakte veranderingen (bijvoorbeeld keuzes in grondwaterpeilbeheer) kunnen deel uitmaken van een bedreiging.

Kwantitatieve indicatoren van deze bedreigingen die momenteel worden gebruikt zijn onder meer zakkingsnelheid (mm/jaar), cumulatieve zetting (mm), kromming en horizontale rekken, variatie in grondwaterstand (m), en maten voor droogteduur of droogte-intensiteit. Gegevens voor de karakterisering van bedreigingen worden afgeleid uit InSAR- of LiDAR-waarnemingen, modellen voor bodemdaling en grondwater, digitale hoogtemodellen en klimaatprojecties.

2.3 Blootstelling

Blootstelling duidt de bezittingen, mensen of systemen aan die zich bevinden in gebieden waar bedreigingen kunnen optreden, en hun kenmerken (ouderdom, waarde, aantal bewoners enz.). Het betekent **niet** dat alle blootgestelde objecten ook kwetsbaar zijn; zie paragraaf 2.4. Een ongevoelig gebouw (zoals een gebouw gefundeerd op betonnen palen) in een gebied met bodemdaling is beperkt kwetsbaar voor schade en loopt derhalve weinig risico. Andersom is een gevoelig gebouw in een gebied zonder bodemdaling of lage grondwaterstand wel kwetsbaar maar niet blootgesteld.

In de NAF-context betreft de relevante blootstelling gebouwen die zich bevinden in gebieden met bodemdaling of met grondwaterschommeling waar funderingen gevoelig voor kunnen zijn. Typische indicatoren van blootstelling zijn het aantal gebouwen binnen bepaalde gebieden, het gebouwoppervlak of vloeroppervlak en het aantal getroffen bewoners. Veelgebruikte databronnen zijn onder meer gebouw- en adresregistraties (BAG), kadastrale en gemeentelijke databases (WOZ) en bevolkingsstatistieken.

2.4 Kwetsbaarheid

Kwetsbaarheid staat voor de gevoeligheid van blootgestelde objecten om schade en gevolgen te ondervinden wanneer zij worden blootgesteld aan een bepaalde bedreigingsintensiteit. Dit hangt af van de fysieke en constructieve kenmerken van het object, zoals funderingstype, bouwpraktijk en materiaal, geometrie en onderhoudstoestand. Kwetsbaarheid wordt ook beïnvloed door de interactie tussen de constructie en de omringende bodem (bodem-constructie-interactie).

Kwantificering van kwetsbaarheid kan gebeuren met schadefuncties (in Engels *fragility functions*), die de kans weergeven dat bij een bepaald bedreigingsniveau een specifieke schadedrempel wordt overschreden, of met kwetsbaarheidsfuncties (in Engels *vulnerability functions*), die de bedreigingsintensiteit relateren aan het verwachte economische verlies.

Het concept van schadefuncties is wereldwijd veel gebruikt voor de beoordeling van gebouwen onder aardbevingen. Er is veel literatuur ontwikkeld, met name voor aardbevingsgevoelige gebieden. De dreigingsmaat voor deze functies is gerelateerd aan de eigenschappen van een aardbeving, in termen van versnellingen. Doorgaans zijn meerdere schadetoestanden beschouwd, waarbij het bij aardbevingen vrijwel uitsluitend gaat over gedeeltelijk of geheel instorten van gebouwen en andere vormen van schade niet of nauwelijks aan de orde komen. Voor de problematiek waar dit rapport over gaat, is zeer weinig literatuur beschikbaar.

Informatie rondom kwetsbaarheid kan worden verkregen uit gemeentelijke

funderingsregistraties en bouwarchieven, veldinspecties, schadedatabases, expertbeoordelingen en toepassing van probabilistische analyses zoals Monte Carlo- of Bayesiaanse methoden.

2.5 Schade

De waarneembare of meetbare negatieve verandering in fysieke of functionele toestand van een object door de bedreiging. Schade kan op vele manieren worden beschreven. Een mogelijkheid is om schadeklassen te gebruiken die de toenemende ernst van de schade vertegenwoordigen.

Veelvoorkomende vormen van door zetting of funderingsdegradatie veroorzaakte schade zijn scheuren in wanden of vloeren, verschilzettingen, scheefstand, vervorming van raam of deuropeningen, breuk van nutsvoorzieningsaansluitingen, verminderde toegankelijkheid van het gebouw en verminderde draagkracht van houten funderingen.

Relevante indicatoren zijn onder meer scheurwijdte en scheurlengte, verschilzetting (mm/m), vervormingen en rotaties (mm/m), horizontale rekken en scheefstand (‰). Databronnen omvatten veldinspecties, constructieve beoordelingen, meldsystemen van burgers en hoge-resolutiemonitoring zoals laserscanning of fotogrammetrie.

2.6 Gevolgen

Gevolgen staan voor de directe en indirecte impact van schade, waaronder economische, maatschappelijke, functionele en veiligheidsgerelateerde effecten. Wanneer deze meetbaar zijn, kunnen ze worden opgevat als verlies.

Voorbeelden zijn herstel- en vervangingskosten, tijdelijke onbewoonbaarheid, waardedaling van vastgoed, sociale ontwrichting, psychologische stress en verlies van vertrouwen in overheden. Schattingen van verlies worden gebaseerd op financiële gegevens, verzekeringsclaims, sociaaleconomische indicatoren en kostenmodellen.

Tabel 1: Terminologie

Term	Definitie	Operationalisatie (met voorbeelden)	Typische indicatoren	Primaire databronnen & hulpmiddelen
Risico	De verwachte waarde van de consequenties (schade/gevolg), gegeven de intensiteit van de bedreiging, de blootstelling en de kwetsbaarheid (en soms het vermogen tot aanpassing).	Ruimtelijke risicokaarten die bedreiging, blootstelling en kwetsbaarheid combineren. Kans op schade en verwacht verlies per perceel of buurt, onder huidige en toekomstige (klimaat)scenario's.	Risicoklassen; Verwacht jaarlijks verlies (€/jaar); Kan worden gebruikt om kosten-batenverhoudingen van mitigatiemaatregelen af te leiden	Geïntegreerd GIS-platform: bedreiging-kaarten + gebouw typologieën + kwetsbaarheidscurves + waardering; Monte-Carlo- en/of Bayesiaanse raamwerken voor onzekerheidsanalyse
Bedreiging	Een potentieel schadelijk fysiek proces, toestand of gebeurtenis, gekenmerkt door intensiteit, frequentie, duur en ruimtelijke omvang.	Bodemdaling (bijv. consolidatie, kruip, veenoxidatie, klei-krimp/zwel); Daling van grondwaterpeil tijdens (Klimaatverandering-gerelateerde) droogte	Bodemdalingssnelheid (mm/jaar); Cumulatieve zetting (mm); Grondwaterpeildiepte; Duur van lage GW stand (dagen/jaar); Klimaat-droogte-indexen; Krimp/zwel-index	InSAR/LiDAR; Bodemdalingsmodellen (zoals Atlantis); Digitaal hoogtebestand (AHN); GWL-monitoring (BRO), Bodemkaartmodellen (BRO); Sonderingen (BRO); KNMI-klimaatprojecties; Lokale/pilotmetingen
Blootstelling	De objecten, mensen of systemen en hun plaats in gebieden waar bedreigingen kunnen optreden en hun kenmerken (leeftijd, waarde, hoogte, lengte, etc.).	Aantal, locatie, typologie en economische waarde van woningen op slappe bodem (veen/klei) en/of met gevoelige funderingen	Aantal gebouwen per grid/kadastraal gebied; Vloeroppervlak; Aantal bewoners	BAG (Basisregistratie Adressen en Gebouwen); Kadastrale gegevens; Gemeentelijke waardering (WOZ); Bevolkingsstatistieken
Kwetsbaarheid	De intrinsieke gevoeligheid van blootgestelde gebouwen/constructies voor schade en verlies bij een bepaalde bedreigingsintensiteit.	Schadekans/economisch verlies per intensiteit per gebouwtypologie; Typologie o.a. afhankelijk van funderingstype, leeftijd, geometrie	Schadefuncties per typologie; Kwetsbaarheidsfuncties	Bouwarchieven, funderingshersteldatabases; Schadedatabases (claims) of literatuur; Visuele inspecties, expertbeoordelingen; Monte Carlo / Bayesiaanse methoden
Schade	De waarneembare of meetbare negatieve verandering in fysieke of functionele toestand van een object door de bedreiging	Scheuren in muren/vloeren; verschilzetting; scheefstand; klemmende deuren/ramen; breuk van leidingen; paalrot	Scheurbreedte/lengte (mm); verschilzetting (mm/m); scheefstand (‰); verlies van bruikbaarheid; reparatiekostenklasse	Veldinspecties; Expertise-rapporten; Meldingsloketten; Sensoren; Lintvoegmetingen/laserscans; Fotodatabases (beeldherkenning)
Gevolgen	Directe en indirecte impact van schade (economisch, sociaal, functioneel, veiligheid)	Reparatie-/vervangingskosten; (Tijdelijke) onbewoonbaarheid; Waardeverlies; Maatschappelijke onrust; Veiligheidsrisico's; Psychologische stress; Vertrouwensverlies in overheid	Verwachte/feitelijke reparatiekosten; Uitvalduur (dagen); Aantal verplaatste bewoners; Waarde-risico; Veiligheidsklasse; Sociale impactindicatoren	Verzekerings-/claimdatabases; Gemeentelijke financiële gegevens; Sociaaleconomische data; Kostenmodellen

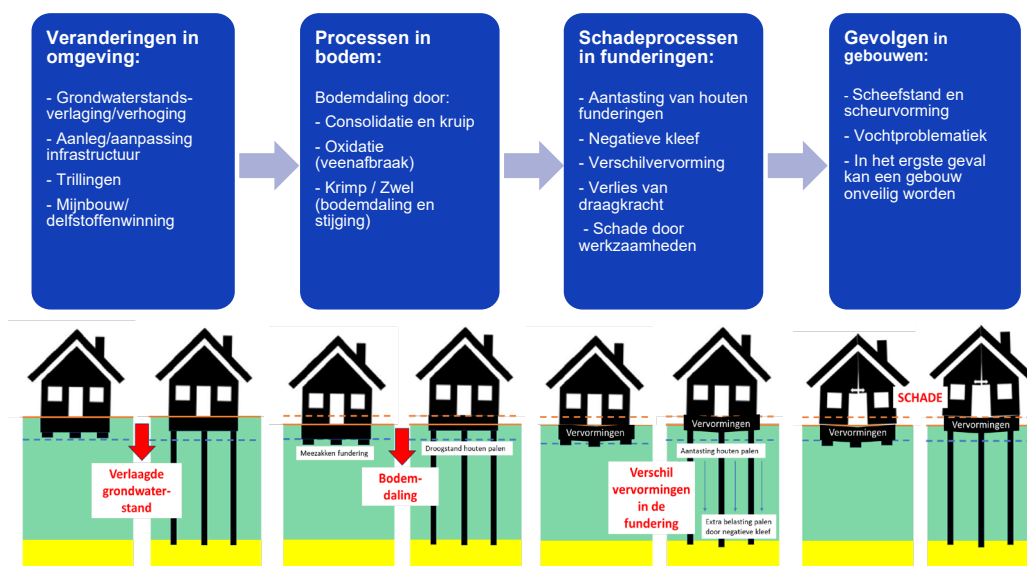
3 Technische achtergrondprocessen

Dit hoofdstuk schetst de belangrijkste processen die leiden tot schade aan gebouwen gerelateerd aan funderingen. Dit betreft vooral grondwaterfluctuaties, bodemdaling en biologische processen die kunnen leiden tot aantasting van funderingen.

3.1 Processen in bodem, fundering en gebouw

De belangrijkste schade-mechanismen van woningen als gevolg van funderingsproblemen kunnen worden gezien als routes waarlangs bedreigingen schade veroorzaken. Zo kunnen bodemdaling of consolidatie negatieve kleeft op palen en verschilzetting bij ondiepe funderingen veroorzaken; verhoogde grondwaterstanden kunnen tot wateroverlast leiden; verlaging van de grondwaterstand kan houten palen blootstellen aan aantasting, zorgen voor krimpen van kleilagen en veenoxidatie.

Figuur 2 laat de keten van processen zien die leidt tot schade aan gebouwen door bodemdaling en funderingsproblemen. Deze processen ontstaan uit veranderingen in de omgeving en door menselijk handelen, die het gedrag van de bodem, de prestaties van de fundering en uiteindelijk de staat van het gebouw beïnvloeden.



Figuur 1 Processen in omgeving, bodem en fundering die leiden tot schade aan gebouwen, aangepast van [1].

De lijst in deze afbeelding is niet volledig, maar geeft een overzicht van de externe invloeden die vervorming, degradatie of instabiliteit in funderingen kunnen veroorzaken. Niet al deze invloeden zullen (of kunnen) worden meegenomen in het nationale risicomodel.

In de diepere ondergrond kunnen mijnbouwactiviteiten bodemdaling veroorzaken. Voorbeelden hiervan zijn olie- en gaswinning, geothermische energie en zoutcavernes. Dit rapport richt zich nu uitsluitend op de ondiepe bronnen en effecten (ook mijnbouw kan - indirect- effecten hebben in de ondiepe ondergrond).

3.1.1 Processen die ondiepe funderingen beïnvloeden

Veranderingen in grondwaterstanden, vochtgehalte van de bodem en belastingcondities kunnen verschillende fysische mechanismen in de ondiepe ondergrond activeren, waaronder:

- Consolidatie en kruip van samendrukbare lagen;
- Oxidatie en afbraak van organische gronden zoals veen;
- Krimp/zwel-cycli in klei door variaties in vochtgehalte.

Deze processen leiden tot bodemdaling en verschilzetting onder gebouwen. Ondiepe funderingen reageren direct op deze vervormingen, waarbij de uitkomst wordt beïnvloed door het funderingstype, de afmetingen en de stijfheid van gebouw en fundering. Aanvullende externe invloeden zijn onder meer:

- Lokale veranderingen in vochtgehalte of bodemspanning door klimaateffecten (bijvoorbeeld temperatuur- of neerslagveranderingen), grondwaterbeheer, lekkende riolen, bestratingswerkzaamheden of nabijgelegen ontgravingen; verandering van vegetatie.
- Indringing van oppervlaktewater of overstroming.
- Trillingen door verkeer of bouwwerkzaamheden.

Zie het rapport van [1] voor meer informatie.

Momenteel wordt onderzocht wat de effecten van krimp/zwel op ondiepe funderingen zijn en welke risico's daarmee samenhangen. Hierover wordt afzonderlijk gerapporteerd. Dit risico kan worden bepaald wanneer seizoensgebonden variaties in bodemvocht, het type, de diepte en de dikte van kleilagen en de diepte van de fundering bekend zijn. Dat betekent dat voor het inschatten van het risico op schade door krimp/zwel veel invoerparameters nodig zijn. In dit kader werkt Deltares momenteel aan een kaart die een indicatie geeft van gebieden waar krimp/zwel op kan treden en in welke mate (dreigingskaart).

3.1.2 Processen die diepe funderingen beïnvloeden

Voor diepe funderingen (zowel beton als hout) beïnvloeden veranderingen in de ondergrond de mechanische en materiële eigenschappen van palen. Belangrijke mechanismen zijn onder meer:

- Negatieve kleef, die optreedt wanneer de omringende bodem sneller zakt dan de paal, waardoor de belasting op de paalschacht toeneemt.
- Mogelijke buiging in de palen door horizontale verplaatsingen als gevolg van effecten in de bodem.

Voor houten palen is het gedrag van het grondwater van cruciaal belang:

- Langdurige verlaging van de grondwaterstand stelt hout bloot aan zuurstof, wat leidt tot schimmelaantasting.
- Als de houten paal afwisselend nat en droog is, versnelt dit de achteruitgang in de bovenste paalzone.

Verder is bekend dat bij grenenhoutenpalen anaërobe bacteriële activiteit kan optreden die het hout verzwakt ook als het hout onder water staat.

Het mechanisme van bacteriële aantasting kan niet eenvoudig voor het hele land worden vastgesteld. Er zijn lokale ervaringen beschikbaar, maar algemeen inzicht in de bacteriële activiteit en de relatieve gevoeligheid per type hout en het effect daarvan in de tijd ontbreekt grotendeels.

3.2 Vervorming en schade aan gebouwen

Het type en de omvang van gebouwschade hangen af van de mate en vorm van de grondvervorming onder een constructie en van de interactie met de constructie en haar fundering. Doorgaans kunnen vier typen vervorming aan verschillende schadetypen worden gekoppeld; zie Tabel 2.

Schade is een onderdeel van kwetsbaarheid en het begrijpen hoe processen in de ondergrond zich vertalen naar deze vervormingspatronen is essentieel voor het verbeteren van (voorspellende) risicomodellen.

Tabel 2: Overzicht van funderingsproblemen en bijbehorende verplaatsingspatronen van gebouwen

	Gelijkmatige zakking	Rotatie/ scheefstand	Kromming (neer-of opwaarts)	Horizontale rekken
Schuinstand vloeren		X	X	
Scheuren			X	X
Klemmende deuren/ramen		X	X	X
Problemen met aansluitingen/voorzieningen	X	X	X	
Overstroming	X			
Schimmel door vocht	X			



Figuur 2 Schematische weergaven van gebouwvervormingen gerelateerd aan funderingen.

De vervormingen kunnen door een gebouw en haar onderdelen tot op zekere hoogte worden opgenomen door de vervormingscapaciteit van de gebruikte materialen. Steenachtige materialen hebben een zeer kleine vervormingscapaciteit, en als deze wordt overschreden zal het materiaal gaan scheuren. Als de vervormingen niet worden verhinderd kunnen constructiedelen gaan roteren waardoor scheefstanden van bijvoorbeeld wanden ontstaan. Andere mechanismen kunnen bijvoorbeeld zijn het optreden van optrekkend vocht, als een gebouw zakt in gebieden met hoge grondwaterstanden, of het ontstaan van verschillen

tussen binnen en buiten bij aansluitingen met omliggende infrastructuur, zoals die voor gas, water en riolering.

In welke mate een gebouw met deze funderingsgerelateerde problemen te maken krijgt, hangt af van de gevoeligheid van het gebouw en de grootte van de bedreiging. Voor constructieve schade (meestal beoordeeld aan de hand van het ontstaan en de toename van scheuren) kan deze gevoeligheid worden beschreven met schadefuncties (fragility functions) die de kans weergeven dat bij een bepaald bedreigingsniveau een specifieke schadedrempel wordt overschreden.

Zulke drempels kunnen bijvoorbeeld worden gedefinieerd in termen van esthetische schade, functionele schade of constructieve schade, of via meer gedetailleerde onderverdelingen.

Bedreigingsmaten voor ondiepe funderingen verschillen van die voor diepe funderingen; deze bedreigingen worden immers door verschillende processen bepaald, zoals beschreven in 3.1.1 en 3.1.2. Voor ondiepe funderingen gaat het om maatstaven voor bodemdaling, zoals de omvang van de bodemdaling, de snelheid van de bodemdaling, de mate van vershilzetting (wat vertaald kan worden in krommingsgerelateerde maten) en horizontale rekken. Voor houten paalfunderingen die gevoelig zijn voor paalrot worden bedreigingsmaten gebruikt die samenhangen met de grondwaterstand. De cumulatieve tijd dat de bovenkant van het funderingshout boven de grondwaterstand ligt wordt gebruikt voor het mogelijk optreden van schimmelaantasting. Deze cumulatieve tijd correleert met de mate van aantasting van de paal, wat neerkomt op een afname van de effectieve paaldiameter. Dit hangt rechtstreeks samen met verlies aan draagkracht van de paal. Voor deze bedreiging zijn momenteel nog geen schadefuncties in probabilistische zin beschikbaar. De relatie tussen bedreiging en schade wordt bepaald via expert judgement op basis van waarnemingen uit het verleden. Impliciet wordt aangenomen dat overschrijding van een bepaalde drempelwaarde voor de cumulatieve droogteduur tot schade leidt. Voor bacteriële aantasting zijn geen vastgestelde relaties tussen bedreiging en schade bekend. A priori worden alle houten palen van grenenhout beschouwd als potentieel gevoelig voor dit type aantasting.

4 Bestaande methodes voor risicobeoordeling

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van bestaande methodes om risico's voor de gebouwde omgeving in Nederland beoordelen ten gevolge van funderingsproblemen. Het doel van deze paragraaf is om systematisch vast te leggen en te analyseren hoe huidige methoden de kerncomponenten van funderingsrisico binnen hun eigen kaders conceptualiseren en operationaliseren, voortbouwend op de in de voorgaande paragrafen gedefinieerde terminologie.

In de beschrijving van elke methode ligt de nadruk op het vaststellen van:

- Hoe de intensiteit van de bedreiging en de blootstelling worden beschreven en ruimtelijk worden geaggregeerd (en gebruikt als input voor de modellen).
- Hoe kwetsbaarheid en schadetoestanden worden gekarakteriseerd.
- Welke risicomaatstaf uiteindelijk als output wordt opgeleverd.

Door deze modellen systematisch te projecteren op een consistente set risicodefinities (zie Tabel 4), maakt deze inventarisatie methodologische aannames, data-afhankelijkheden, aggregatieniveaus en beoogde toepassingsdomeinen inzichtelijk. Daarmee vormt deze paragraaf de analytische basis voor de daaropvolgende synthese, vergelijking en het identificeren van hiaten die relevant zijn voor de ontwikkeling van een geïntegreerd kader voor risicobeoordeling.

De mate van detail voor elk model hangt af van de beschikbare informatie.

Naast de in dit hoofdstuk beschreven methodes zijn er andere risicomodellen in ontwikkeling (al dan niet voor intern gebruik, en al dan niet commercieel). De inhoudelijke achtergrond van deze modellen zijn niet beschikbaar. Deze worden daarom in dit hoofdstuk niet benoemd.

Tabel 3 : Overzicht van bestaande risicobeoordelingsmethoden

Product	Type	Input	Uitvoer	Schaal-niveau	Focus	Toegang
FIRM-NL	Model	Kaarten: Bodem/ondergrond, Grondwaterpeil (GLG), bodemdaling (model/InSAR), Eigenschappen van gebouwen/funderingen (BAG), KNMI-klimaatsscenario's	Fundering Risico kaarten (scenarios) [laag tot hoog] Herstelkosten [€]	Wijk/ buurt/ regio	Panden, Houten palen en ondiepe funderingen	Publieke viewer; downloadbare resultaten
TNO Bodemdaling model	Model	Bouwkundige eigenschappen (per typologie), bodemeigenschappen, grondwatergegevens, InSAR-gegevens	Kaarten met overschrijdingskans schade niveaus	Wijk/ buurt	(Woon)gebouwen met ondiepe fundering	In-house
KCAF	Richtlijn en Risico-kaart	grondeigenschappen, grondwaterpeil (GLG), verschil zettingen	Funderings-ricokaart	Buurt	Gebouwen voor 1970 Houten palen en ondiepe funderingen	Publieke web viewer
FunderMaps	Model met viewer	BAG, BRO, archieven, tekeningen, funderings-onderzoek (et al)	Schade-verwachting, funderingstype Risico-indicatie	Gebouw	Woningen Diepe en ondiepe funderingen	Commercieel
RVO – Funderings-viewer	Model/viewer, (2022)	BAG (bouwjaar), indicatie voor bodemdaling, zie KCAF	Indicatieve aandachtsgebieden	Post-code gebied	Gebouwen voor 1970 op Houten palen	Publieke ArcGIS StoryMap
Sensar	Model/viewer	InSAR-zakkingssnelheden (mm/jaar), gebouwinventaris (BAG)	De Pand Risico Index (PRI) voor funderingsrisico	Buurt	Gebouwen van vóór 1975. Ondiepe funderingen	Commercieel / RVO-viewer
Gemeenten en woning-corporaties	Model/viewer	Divers (gebouwinformatie, grondwater, InSAR)	Divers	Gebouwen binnen hun eigen vastgoedportefeuille		In-house

In de volgende paragrafen worden deze methoden besproken.

4.1 Deltares Funderings Inzicht & Risico Model voor Nederland (FIRM-NL)

Het Deltares Funderings Inzicht en Risico Model voor Nederland (FIRM-NL) is een model op nationale schaal dat is ontwikkeld om funderingsgerelateerde risico's voor gebouwen te beoordelen onder huidige en toekomstige klimaatomstandigheden. Voortbouwend op eerdere studies en publiek beschikbare achtergrondinformatie over bodemdaling, droogte en funderingskwetsbaarheid in Nederland, integreert het model bedreiging, blootstelling, kwetsbaarheid en schade in één samenhangend risicokader.

FIRM-NL beschouwt twee dominante mechanismen voor funderingsschade in Nederland: aantasting van houten palen door lage grondwaterstanden en verschilzetting van ondiepe funderingen als gevolg van bodemdaling. Door geotechnische gegevens, gebouwkenmerken uit de BAG en scenario-gebaseerde klimaatprojecties te combineren, biedt het model inzicht in waar, en in welke mate funderingsschade kan optreden.

FIRM-NL toont relatieve risico's op grotere aggregatieniveaus (bijvoorbeeld buurt) in kwantitatieve vorm om nationale en regionale beleidsstudies te ondersteunen. FIRM-NL wordt intern bij Deltares gehost, maar resultaten zijn publiek beschikbaar. De beschrijving van het model is terug te vinden in verschillende publicaties (kaartverhaal Klimaat-effectatlas, [1], [2] [3]. Risico's op pandniveau zijn berekend maar worden niet getoond vanwege onzekerheden.

4.1.1 Bedreiging

De bedreigingscomponent wordt gedefinieerd via twee hoofdprocessen:

- Verlaging van de grondwaterstand (droogtecondities), waardoor paalkoppen van houten palen aan zuurstof worden blootgesteld en schimmelaantasting (paalrot) kan optreden.
- Bodemdaling, die zetting en mogelijke verschilvormingen in ondiepe funderingen veroorzaakt.

Voor paalfunderingen wordt de bedreiging gekwantificeerd met behulp van **grondwaterstandsindicatoren (GLG – gemiddeld laagste grondwaterstand)** onder meerdere klimaatscenario's (geen verandering, gematigd, warm), die huidige en toekomstige droogteomstandigheden representeren. Bacteriële aantasting en negatieve kleeft maken geen deel uit van de bedreiging in de huidige modellen.

Voor ondiepe funderingen is de bedreiging **bodemdaling**, gekwantificeerd als zakkingsnelheden die voornamelijk het gevolg zijn van veenoxidatie en samendrukking van slappe grond, onder meerdere huidige en toekomstige klimaatscenario's (geen verandering, gematigd, warm). Het effect van krimp/zwel is momenteel slechts beperkt meegenomen.

4.1.2 Blootstelling

Blootstelling wordt weergegeven voor alle gebouwen in de BAG die zijn aangemerkt met een woonfunctie of een gecombineerde woonfunctie. Voor elk gebouw wordt de **kans op het voorkomen van een funderingstype geschat met een kansverdeling**, in plaats van deze deterministisch toe te wijzen, tenzij het funderingstype in een lokale database is vastgesteld.

- Het funderingstype (houten palen, betonnen palen of ondiepe funderingen) wordt afgeleid op basis van **locatie, bouwperiode en ondergrondcondities**, met gebruik van regionale classificaties op basis van expertkennis.

- Zandgebieden worden uitgesloten van blootstelling aan paalgerelateerde risico's, omdat houten palen daar niet of nauwelijks voorkomen.

Op aggregatieniveau (bijvoorbeeld buurt) wordt blootstelling uitgedrukt als het **aandeel gebouwen met bepaalde funderingstypen of het absolute aantal gebouwen per type**.

4.1.3 Kwetsbaarheid

Kwetsbaarheid wordt weergegeven met **mechanisme-specifieke indicatoren**:

Voor funderingen op houten palen geldt dat het afnemen van de sterkte van de palen is gekoppeld aan de mate waarin het hout van de palen is weggerot. Deze mate van wegrotten wordt bepaald door de combinatie van:

- de bedreiging, zoals beschreven in 4.1.1: duur en mate van aanwezigheid van zuurstof rondom de paal; deze wordt afgeleid uit de relatie tussen grondwaterstand en diepte van de paalkop. De maat hiervoor is het aantal droogstanddagen over de levensduur van de paal.
- de kwetsbaarheid van de paal (afhankelijk van het type hout en het bodemtype ter hoogte van de paalkop (zand, klei, veen). Het bodemtype beïnvloedt de aantastingssnelheid, waarbij in zandige omstandigheden een snellere achteruitgang wordt verwacht. Deze beide aspecten worden als (indirecte) maat voor de kwetsbaarheid gezien.

Voor ondiepe funderingen hangt de gevoeligheid af van een combinatie van:

- de grondconstructie interactie kenmerken (bijvoorbeeld aanwezigheid van klei, heterogeniteit, dikte van ophooglagen), die een rol spelen bij de interactie tussen bodem en gebouw.
- Fundering- en gebouwkenmerken (ouderdom, kwaliteit van de fundering, aanwezigheid van een kelder of souterrain).

Deze factoren worden meegenomen via **correctiefactoren op zakkingsnelheden**, die zowel geotechnische als constructieve invloeden weerspiegelen.

4.1.4 Schade

Schade wordt uitgedrukt in **discrete schadeklassen (D0–D5, gekoppeld aan de Burland-indeling)** die een toenemende ernst weergeven, van geen schade tot volledig constructieve schade (instortingsgevaar). Deze zijn gekoppeld aan de mate waarin funderingsherstel nodig is.

- Voor aantasting van palen ontwikkelt schade zich als functie van **cumulatieve blootstelling (duur van droogte in de tijd)** en de ouderdom van het gebouw, waarbij wordt uitgegaan van **een lineaire schadeontwikkeling**.
- Voor ondiepe funderingen wordt schade gerelateerd aan **gecorrigeerde zakkingsnelheden**, waarbij wordt aangenomen dat er een **relatie bestaat tussen zakkingsnelheid en schadeklasse**.

Schade-inschattingen in het model dat is gebruikt voor RLi Rapport [1] en de Klimaat-effectatlas [5] vertegenwoordigen **cumulatieve effecten vanaf het bouwjaar tot de huidige datum of een moment in de toekomst**. Ook andere toekomstige tijdstippen kunnen worden gebruikt.

4.1.5 Risico

Het model berekent een **risicoscore per gebied** die het aandeel blootgestelde gebouwen en de verwachte ernst van schade integreert (gewogen met herstelkosten). De risicoscore per gebied is als volgt uitgedrukt:

$$\text{Risico Score} = \frac{\text{Risico}_{hout} * \%hout + \text{Risico}_{ondiep} * \%ondiep + \text{Risico}_{beton} * \%beton}{100}$$

De risicoscore voor elk funderingstype wordt als volgt gedefinieerd:

$$\text{Risico}_f = \frac{\text{equivalente gewogen schade}_f}{\text{equivalent aantal gebouwen}_f}$$

En de verhouding tussen gebouwen en funderingstypes is als volgt:

$$\%f = \frac{\text{equivalente schade}_f}{\text{totaal aantal gebouwen per gebied}} * 100$$

Waar:

f het funderingstype aangeeft (d.w.z. houten palen of ondiepe funderingen);

Risico_{beton} is het risico voor betonnen paalfundering, dit risico wordt verondersteld nul te zijn en wordt buiten beschouwing gelaten;

$\text{equivalente gewogen schade}_f$ is de gewogen som van gebouwen met een bepaald funderingstype en schadeklasse (D0-D5);

$\text{equivalent aantal gebouwen}_f$ is het aantal gebouwen met een bepaald funderingstype, gecorrigeerd voor de waarschijnlijkheid van hun funderingstype;

$\text{equivalente schade}_f$ is de som van gebouwen met een bepaald funderingstype en schadeklasse (D0-D5).

4.1.6 Gevolgen

Gevolgen worden impliciet weergegeven via:

- Schadeklassen die lopen van kleine cosmetische reparaties tot volledige funderingsvervanging. De schadeklassen zijn gekoppeld aan het gemak (of de complexiteit) van herstelmaatregelen en weerspiegelen daarmee indirect de bijbehorende kosten; zie Tabel 1.
- Geaggregeerde risicoscores die de mogelijke economische impact op buurniveau weerspiegelen en prioritering en beleidsbeslissingen ondersteunen.

Omdat het model resultaten op gebiedsniveau presenteert (bijvoorbeeld op buurniveau in De Klimaatschadeschatter), is het vooral geschikt voor strategische planning en screening, en minder voor gedetailleerde besluitvorming op objectniveau.

Op vergelijkbare wijze als het risico kunnen ook de kosten per gebied worden bepaald:

$$\text{Totale Kosten} = \text{equivalente kosten}_{\text{hout}} + \text{equivalente kosten}_{\text{ondiep}}$$

Waar de equivalente kosten de som zijn van de verwachte herstelkosten voor gebouwen met een bepaald funderingstype over alle schadeklassen (D0–D5). De verwachte reparatiekosten worden toegewezen aan de bijbehorende schadecategorieën.

Tabel 4 Overzicht van herstelwerkzaamheden per schadeklasse, uitgaande van de gemiddelde inhoud per pand 200 m³ in Nederland. Bron inschatting KCAF

Schadeklasse	Vereiste herstelwerkzaamheden
D0	Geen schade
D1	Schilderwerk binnen
D2	Schilderwerk binnen, opvullen/ herstel scheuren (buiten), huur van steigers
D3	Schilderwerk binnen, opvullen/ herstel scheuren (buiten), huur van steigers, herstel pleisterwerk
D4	Schilderwerk binnen, opvullen/ herstel scheuren (buiten), huur van steigers, herstel pleisterwerk, herstel kozijnen, vloeren
D5	Schilderwerk binnen, opvullen/ herstel scheuren (buiten), huur van steigers, herstel pleisterwerk, herstel kozijnen, vloeren, herstel fundering

4.1.7 Uitvoer

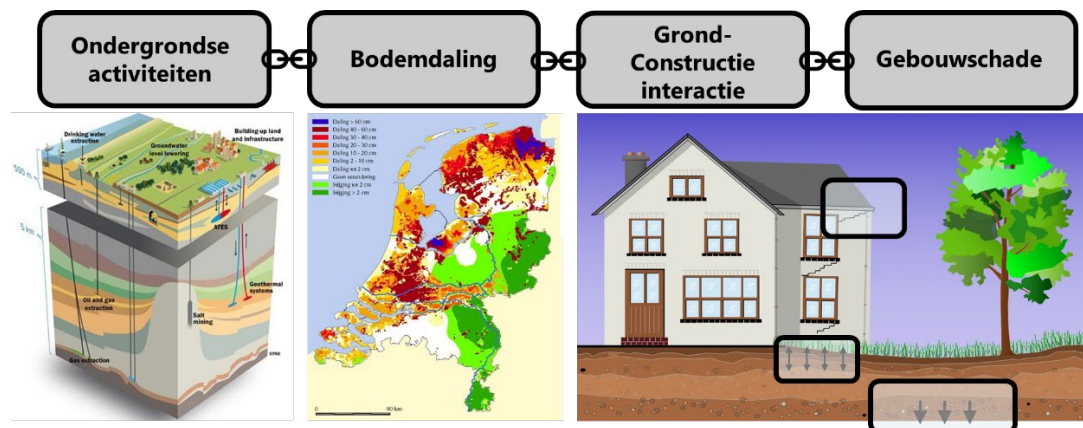
Resultaten worden gepresenteerd als kaarten (bijvoorbeeld op buurtniveau in de Klimateffectatlas) met:

- kwalitatieve risicoklassenkaarten, waarbij de risicoscore voor visualisatie- en prioriteringsdoeleinden wordt ingedeeld in vijf niveaus (zeer laag tot zeer hoog);
- aandeel funderingstypen (in de Klimateffectatlas aangeduid als blootstellingskaarten);
- kwetsbaarheids-/schadekaarten (verwacht schadeniveau voor een bepaald funderingstype).

In de Klimaatschadeschatter worden op basis van FIRM-NL ook kostenkaarten gepresenteerd in euro per inwoner, met een brede bandbreedte van minimum- en maximumwaarden.

4.2 TNO-model voor schade door bodemdaling

TNO ontwikkelt een zogenoemde modelketen om de bijdragen van verschillende oorzaken van bodemdaling aan de kans op schade van gebouwen met een ondiepe fundering te beoordelen. Daarbij worden zowel ondiepe als diepe oorzaken (denk aan gaswinning, geothermie of andere mijnbouw) van bodemdaling meegenomen. Deze modelketen is schematisch weergegeven in figuur 4. Effecten van aantasting of aanwezigheid van paalfunderingen worden niet gemodelleerd. Het model is tot op dit moment alleen intern gebruikt.



Figuur 4: schematische opbouw van het TNO model.

4.2.1 Bedreiging

In het TNO-model voor schade door bodemdaling wordt de bedreiging gedefinieerd als de vervorming van de bodem die zowel door ondiepe oorzaken, zoals grondwaterbeheer, als door diepe oorzaken, zoals olie- en gaswinning, wordt veroorzaakt.

Een belangrijke eigenschap van dit model is de expliciete scheiding van deze vaak gelijktijdig optredende processen in de ondergrond, zodat de bijdrage van elke bron onafhankelijk kan worden gekwantificeerd.

De bedreiging wordt weergegeven in termen van ruimtelijke variaties in de totale verticale verplaatsing. Hiermee worden bodemdalingsverschillen op de schaal van gebouwen gemodelleerd. Deze verschillen zijn de voornaamste oorzaak van gebouwschade. Relevante intensiteitsmaten voor de bodemvervorming zijn gerelateerd aan krommingen als gevolg van verschilverplaatsingen. Deze worden afgeleid uit de modellering van de ruimtelijk variabele verplaatsingen.

De bedreiging wordt berekend op basis van op fysica gebaseerde modellen die zijn gekalibreerd op geodetische waarnemingen, waaronder waterpassing en InSAR-data. Invoergegevens zijn de beschikbare data van bodemopbouw en grondwater. De resultaten worden probabilistisch (in termen van kansen) weergegeven om onzekerheden in ondergrondcondities en modelparameters mee te nemen. Het model richt zich momenteel met name op de zettingen in de periode dat er ook satellietdata beschikbaar zijn. De modellen kunnen worden ingezet om ontwikkelingen in de toekomst door te rekenen, aan de hand van gedefinieerde scenario's, bijvoorbeeld voor grondwaterbeheer of exploitatie van mijnbouwactiviteiten. In ontwikkeling is nog de modellering van de periode voordat INSAR data beschikbaar waren, om een volledig beeld van de bedreiging voor oudere gebouwen te krijgen.

4.2.2 Blootstelling

Blootstelling verwijst naar de eigenschappen van gebouwen in het gebied die mogelijk door bodemdaling worden beïnvloed.

In de huidige implementatie van het model wordt uitgegaan van de aanwezigheid van een vooraf gedefinieerde typologie gebouwen. Resultaten worden gedefinieerd onder aanname van de aanwezigheid van gebouwen van de betreffende typologie binnen de gedefinieerde ruimtelijke eenheid en hun indeling in verschillende bouwtypologieën.

Dit kader maakt het mogelijk om blootstelling te onderscheiden naar gebouwtypologieën. Dat betekent dat voor een gegeven locatie verschillende gebouwtypologieën tot verschillende risicoutkomsten leiden, bij verder gelijke bodemdalingsomstandigheden. [4] geeft de opzet van de typologiedefinities, inclusief een overzicht van de relevante gebouwvariabelen. De definitie van typologieën komt in het model terug via de invloed op het gebouwgedrag en de schadekans (kwetsbaarheid). De ontwikkeling en verfijning van typologieën is nog gaande. Het model richt zich thans primair op gemetselde gebouwen met ondiepe funderingen in Nederland.

4.2.3 Kwetsbaarheid

Kwetsbaarheid wordt weergegeven met schadefuncties die de reactie van gebouwen op door bodemdaling veroorzaakte grondvervorming beschrijven. De schadefuncties leveren als output de kans op overschrijding van vooraf gedefinieerde schadetoestanden bij een bepaald niveau van de intensiteitsmaat (dus door bodemdaling veroorzaakte vervorming). Het model richt zich op gemetselde gebouwen en karakteriseert hun gevoeligheid voor schade via mechanismen van grond-constructie-interactie. Deze respons wordt afgeleid met eindige-elementensimulaties, die rekening houden met het stijfheidscontrast tussen bodem en constructie. De verwachte vervorming onder gebouwen wordt uitgedrukt met intensiteitsmaten zoals relatieve hoekverdraaiingen.

Binnen elke gebouwtypologie wordt variatie in gebouweigenschappen zoals materiaalkenmerken, geometrie en configuratie expliciet meegenomen. Dit betekent dat de kwetsbaarheid ook variaties kent binnen een typologie. De schadefuncties vertegenwoordigen daarom een bandbreedte aan mogelijke gebouwreacties in plaats van één deterministisch gedrag. De probabilistische aard van kwetsbaarheid representeert daarmee zowel onzekerheid in de input voor bodemdaling als de variabiliteit in gebouweigenschappen binnen de beschouwde typologie.

4.2.4 Schade

Schade in dit model wordt gekwantificeerd als de **kans op overschrijden van** vooraf gedefinieerde **schadetoestanden** met behulp van schadefuncties. De schadetoestanden zijn gedefinieerd met een discreet classificatiesysteem met vijf niveaus, dat toepasbaar is in zowel numerieke modellering als praktische beoordeling. De definities leggen de nadruk op waarneembare kenmerken (zoals scheurwijdte, aantal en lengte), zodat modelvoorspellingen eenduidig kunnen worden vergeleken met veldwaarnemingen. De gehanteerde schadeniveaus zijn primair gebaseerd op de Burland-criteria [5], waarbij scheurwijdte en aantal als bepalende maatstaf wordt gebruikt voor de classificatie.

4.2.5 Gevolgen

Gevolgen in termen van kosten worden in de huidige implementatie van het model niet expliciet gekwantificeerd. Het model richt zich alleen op het schatten van de kans op schade, zonder deze uitkomsten direct te vertalen naar economische of maatschappelijke effecten. De schadeniveaus kunnen worden gekoppeld aan de gevolgen voor functioneren van het gebouw (bijvoorbeeld esthetische, functionele of constructieve consequenties) en de daarbij benodigde technische maatregelen. Deze maatregelen kunnen zo nodig worden gekoppeld aan inschattingen van kosten per type schade, met name herstelkosten. In principe kan elk schadeniveau op deze manier worden verbonden aan een bandbreedte van herstelkosten, waardoor een indirecte schatting van economische gevolgen mogelijk is.

4.2.6 Risico

Risico wordt in deze modellering gekwantificeerd als de kans op schade veroorzaakt door bodemdaling voor het beschouwde gebied, gegeven de bedreiging én de bouwtypologie. Dit risico kan in de vorm van een kaart worden getoond, waarbij per schadeklasse, en per typologie, een kans op schade kan worden weergegeven.

Deze kansen kunnen worden gecombineerd met kostenfuncties per schadetoestand om daarmee per typologie 1 kaart te kunnen afleiden voor het risico. Dit is nog niet ontwikkeld.

Een belangrijk kenmerk van het model is de toerekening van risico aan specifieke ondergrondprocessen door bijdrage van verschillende oorzaken van bodemdaling uit elkaar te trekken. De resultaten zijn ruimtelijk expliciet en maken het mogelijk om schadekansen onder verschillende bodemdalingsscenario's te beoordelen (bijvoorbeeld toekomstige grondwatercondities).

4.2.7 Uitvoer

De resultaten worden weergegeven in de vorm van kaarten waarin gegeven een typologie de kans op het overschrijden van een bepaald schadeniveau ruimtelijk wordt afgebeeld. Deze kaarten combineren de bedreiging op de locatie met de kwetsbaarheidseigenschappen van de beschouwde typologie. Voor vijf onderscheiden schadeniveaus, gedefinieerd volgens de gangbaar toegepaste Burland-schadeclassificatie kunnen afzonderlijke kaartlagen worden gegenereerd.

De weergegeven kanswaarden geven de waarschijnlijkheid dat een specifiek schadeniveau, zoals gedefinieerd binnen de Burland-classificatie, wordt overschreden, gebaseerd op de uitgevoerde kwetsbaarheidsanalyse in combinatie met de toegepaste blootstellings- en gevaarkaarten. Indien een gebouw aanwezig is, fungeren deze uitkomsten als een indicatieve weergave van het te verwachten risico.

4.3 KCAF - Inspectierichtlijn

Het Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek (KCAF) functioneert als een onafhankelijk platform dat richtlijnen, standaarden en methodieken voor funderingsbeoordeling, risicobeoordeling en beslissingsondersteuning ontwikkelt, onderhoudt en verspreidt. FunderMaps (zie 4.4), eveneens ontwikkeld onder auspiciën van KCAF, fungeert als data- en visualisatieplatform, terwijl de KCAF-richtlijn [6] het methodologische en interpretatieve kader biedt voor de wijze waarop de toestand en het risico van funderingen moeten worden beoordeeld, geclassificeerd en gerapporteerd.

4.3.1 Bedreiging

Binnen de KCAF-richtlijn worden bedreigingen beschreven via fysische en omgevingsprocessen die de prestaties van funderingen kunnen aantasten.

Benoemde bedreigingsmechanismen zijn:

- Daling van de grondwaterstand die leidt tot droogstand en aantasting van houten palen.
- Bacteriële aantasting en paalrot van houten funderingen.
- Bodemdaling en consolidatie die zetting en negatieve kleef veroorzaken.
- Onvoldoende draagvermogen of aantasting van ondiepe funderingen.

Bedreigingen worden beoordeeld met een combinatie van locatieonderzoek, historische gegevens en waargenomen constructieve respons, zoals voorgeschreven in de richtlijn.

4.3.2 Blootstelling

In de KCAF-richtlijn wordt blootstelling impliciet meegenomen via beoordeling op objectniveau, waarbij ieder gebouw (of iedere bouweenheid) afzonderlijk wordt beoordeeld.

De beschrijving hiervan is gebaseerd op:

- gebouwspecifieke informatie (constructietype, ouderdom, geometrie);
- ruimtelijke context (bodemcondities, grondwaterregime);
- beschikbaarheid van archiefgegevens en onderzoeksinformatie.

In tegenstelling tot FunderMaps, dat systematisch grote aantallen gebouwen bestrijkt, zijn beoordelingen op basis van de KCAF-richtlijn doorgaans casusgedreven en onderzoeksgestuurd en gericht op gebouwen waarvoor al risicosignalen of concrete beslisvragen bestaan.

4.3.3 Kwetsbaarheid

Kwetsbaarheid wordt in de KCAF-richtlijn gerepresenteerd door het **funderingssysteem en de conditie daarvan**, vastgesteld door onderzoek. Dit onderzoek omvat:

- funderingstype (houten palen, betonnen palen, ondiepe funderingen);
- materiaalconditie en mate van aantasting;
- constructief gedrag van het gebouw (bijvoorbeeld vervormingspatronen).

Het tweede en derde punt geeft een beeld van de kwetsbaarheid, gegeven het vastgestelde funderingstype (eerste punt).

De KCAF-richtlijn legt nadruk op **directe of indirecte evaluatie op basis van metingen**, ondersteund door expertinterpretatie.

4.3.4 Schade

De richtlijn schrijft systematische observaties en metingen van schade-indicatoren voor, waaronder:

- scheurpatronen in gevels en constructieve elementen;
- vershilzetting en vervorming;
- scheefstand (gemeten via loodmeting);
- vervorming van metselwerkvoegen (bijvoorbeeld lintvoegmetingen);
- paal degradatie.

In de QuickScan worden deze schade-indicatoren verzameld via **visuele inspectie en eenvoudige metingen**, wat een snelle indicatie geeft van de funderingsprestatie. Meer gedetailleerde onderzoeken omvatten inspecties boven en onder maaiveld en monsternamen.

4.3.5 Gevolgen

De gevolgen worden in de richtlijn niet altijd expliciet gekwantificeerd, maar zijn impliciet gekoppeld aan de **ernst van funderingsfalen en de benodigde interventies**. Daarbij gaat het onder meer om:

- constructief herstel of volledige funderingsvervanging;
- verminderde bruikbaarheid of veiligheid van gebouwen;
- financiële gevolgen voor eigenaren en andere stakeholders.

De richtlijn ondersteunt besluitvorming door waargenomen schade en risicoklassen te koppelen aan **aanbevolen vervolgstappen**, variërend van monitoring tot nader onderzoek of directe interventie.

4.3.6 Risico

Risico wordt binnen de KCAF-richtlijn gerepresenteerd door een **gestandaardiseerd kwalitatief classificatiesysteem**, uitgedrukt als:

- Groen: geen of verwaarloosbare aanwijzingen voor funderingsproblemen.
- Oranje: aanwijzingen voor mogelijke of zich ontwikkelende funderingsproblemen; nader onderzoek aanbevolen.
- Rood: sterke aanwijzingen voor ernstige funderingsproblemen; interventie waarschijnlijk nodig.

Deze classificatie wordt afgeleid uit een combinatie van gemeten vervormingsindicatoren, waargenomen schadepatronen, contextinformatie (bodem, grondwater, historische gegevens) en expert judgement, ondersteund door modelmatige consistentiecontroles.

4.3.7 Uitvoer

KCAF-richtlijn [6] geeft de volgende indeling voor de classificatie van het risico:

Tabel 5: Risicoclassificatie KCAF richtlijn

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.

4.3.8 QuickScan

De QuickScan is een uitbreiding van de KCAF-richtlijn, bedoeld voor een snelle eerste beoordeling van funderingsrisico op pand- of blokniveau.

De methodiek bestaat uit:

- Dossieronderzoek en archiefonderzoek (inschatting van het funderingstype).
- Visuele inspectie van gevels en constructieve elementen.
- Meting van scheefstand en vervorming.
- Eventueel gebruik van monitoringsgegevens van bodemdaling, bijvoorbeeld uit satellietdata.

De resultaten worden beoordeeld volgens de KCAF-richtlijn en opgeslagen in de FunderMaps-database, waardoor terugkoppeling tussen onderzoekspraktijk en datagedreven modellering wordt geborgd.

Resultaten van de QuickScans worden uitgedrukt in de volgende risico-indicatie:

- Laag (Geen of lichte indicaties van funderingsproblemen).
- Gemiddeld (Indicaties van verhoogd risico).
- Hoog (Significante structurele schade en verhoogd risico).

4.4 FunderMaps

FunderMaps [7] is een dataplatform dat door het KCAF is ontwikkeld om funderingsrisico's te identificeren en de uitkomsten daarvan te beheren. Daarnaast biedt FunderMaps ook nog aanvullende analyse- en viewfunctionaliteiten voor afnemers. De informatie in dit hoofdstuk is ontleend aan de website [KCAF.nl/fundermaps](https://www.kcaf.nl/fundermaps) en de wiki van FunderMaps op GitHub. FunderMaps is alleen beschikbaar met een abonnement. Het model integreert meerdere databronnen, waaronder inspectierapporten, monitoringsgegevens en nationale registraties, om funderingstypen te classificeren en funderingsrisico op gebouwniveau te beoordelen. Een belangrijk onderdeel van het systeem is de procedure voor identificatie van het funderingstype. Funderingstypen kunnen worden bepaald op basis van drie niveaus van informatiebetrouwbaarheid: direct vastgestelde gegevens uit inspecties of archiefstukken, afgeleide classificaties op basis van naburige gebouwen binnen dezelfde bouweenheid, en indicatieve classificaties die worden ingeschat op basis van gebouwenkenmerken en omgevingsinformatie.

4.4.1 Bedreiging

De bedreigingen die in FunderMaps worden beschouwd, hebben betrekking op fysische processen die kunnen leiden tot aantasting of instabiliteit van gebouwfunderingen. Hieronder vallen grondwatergerelateerde processen, zettingsmechanismen in de bodem en biologische aantasting van funderingselementen. De bedreigingen die door FunderMaps worden beschreven (daar aangeduid als 'risico's') zijn:

- 1: bedreigingen gerelateerd aan houten palen:
 - Aantasting van hout door schimmels (paalrot).
 - Aantasting van hout door bacteriële activiteit (palenpest).
 - Negatieve kleeft.
- 2: bedreigingen gerelateerd aan ondiepe funderingen:
 - Optrekkend vocht in de constructie door hoge grondwaterstanden.
 - Verschilzetting.
 - Kans op water in het pand bij (hevige) neerslag.

Bedreigingen worden beoordeeld met behulp van grondwaterinformatie, ondergrondgegevens, zettingswaarnemingen en historische bouwenkenmerken. In sommige gevallen worden gegevens van bedreiging en kwetsbaarheid gecombineerd gebruikt bij de beoordeling.

De koppeling tussen de bedreigingen en de kwetsbaarheid is (deels) beschreven in [10].

De GitHub-wiki van FunderMaps beschrijft de output voor aantasting van houten palen door schimmels en voor optrekkend vocht; zie paragraaf 4.4.7 (Output.).

4.4.2 Blootstelling

Blootstelling in het FunderMaps-systeem wordt beschreven als **gebouwen die potentieel door funderingsgerelateerde bedreigingen worden beïnvloed**. De analyse wordt uitgevoerd op het niveau van individuele gebouwen met een geregistreerd adres en een actieve status in de BAG-database. Gebouwen worden gekenmerkt door attributen zoals bouwjaar, hoogte, aantal adressen en geografische ligging. Ter ondersteuning van afleiding van funderingstypen en ruimtelijke analyse worden gebouwen gegroepeerd in bouweenheden of clusters, meestal als aangrenzende gebouwen

die in dezelfde periode zijn gebouwd en constructieve kenmerken delen. Informatie die is afgeleid uit onderzoeken aan één gebouw binnen zo'n cluster kan worden gebruikt om de classificatie van naburige gebouwen te verbeteren.

4.4.3 Kwetsbaarheid

De kwetsbaarheid wordt weergegeven door **funderingskenmerken**, in het bijzonder het funderingstype (dus ondiepe fundering, houten paalfundering en betonnen paalfundering) en de gevoeligheid daarvan voor specifieke bedreigingen. Zo kunnen houten paalfunderingen worden aangetast door biologische activiteit wanneer grondwaterstanden dalen, terwijl ondiepe funderingen kwetsbaar kunnen zijn voor verschilzetting. Aspecten van de kwetsbaarheid van de gebouwconstructie of typologie zijn niet beschreven.

Voor ondiepe funderingen beschrijft Fundermaps in [10] de kwetsbaarheid van gebouwen op basis van de afstand tussen grondwater tot drempelniveau/ dorpelniveau van gebouw:

- I > 0,90 m
- II 0,70 m – 0,90 m
- III 0,50 m – 0,70 m
- IV 0,25 – 0,50 m
- V < 0,25 m

Voor de kwetsbaarheid met betrekking tot neerslag is het drempelniveau in relatie tot de waterstand bij regen (de bedreiging) bepalend.

Voor ongelijkmatige zakkingen wordt gebruik gemaakt van satellietdata of lintvoegmetingen op pandniveau uitgedrukt in de standaarddeviatie van de zakkingssnelheid in mm per jaar over een bouweenheid.

4.4.4 Schade

Schade in FunderMaps correspondeert met **waargenomen of afgeleide aantasting van de fundering of de bovenbouw**. Bewijs van schade kan afkomstig zijn uit gedetailleerde funderingsonderzoeken, QuickScan-inspecties, constructieve metingen of monitoringsgegevens. Voorbeelden zijn scheuren en aantasting van funderingsmaterialen. De schadefunctie in [10] voor ongelijkmatige zakking hangt af van de mate van verschilzakking (tot 0,1m kans op schade minimaal, > 0,4 m groot risico op structurele schade).

Genoemde schadevormen in [10] zijn: vochtige vloeren en muren, vorming van schimmels, aantasting van de constructie, beschadiging van vloeren en muren, beschadiging van meubels en benodigde schoonmaak.

4.4.5 Gevolgen

De **gevolgen van funderingsschade die opgenomen zijn**, zijn de noodzaak van funderingsherstel en financiële kosten die samenhangen met constructief herstel. FunderMaps bevat indicatieve schattingen van herstelkosten. Details van de kosten zijn publiek beschikbaar in de KCAF Funderingsherstelcalculator.

4.4.6 Risico

Risico wordt in FunderMaps uitgedrukt via **risicoclassificaties op gebouwniveau**, afgeleid uit bedreigingsindicatoren, funderingskenmerken en beschikbare inspectiegegevens. Het

systeem beoordeelt verschillende typen funderingsrisico en kent aan elk gebouw een risicolabel toe op een schaal van **A (laagste risico)** tot **E (hoogste risico)**.

Elke risicoclassificatie gaat vergezeld van een betrouwbaarheidsindicator die aangeeft of de beoordeling is gebaseerd op gemeten gegevens, afgeleide informatie of modelmatige schattingen. Resultaten kunnen worden geaggregeerd naar buurt- of gemeentelijk niveau om gebieden met verhoogd funderingsrisico te identificeren en monitoring, nader onderzoek en mitigatiestrategieën te sturen.

4.4.7 Uitvoer

Fundermaps heeft verschillende uitvoerresultaten, afhankelijk van het specifieke of algemene risico, zie tabellen hieronder waar ook de uitleg per klasse is gegeven.

Tabel 6: Risicoindeling voor Houten palen bij Fundermaps

Droogstand	Ontwateringsdiepte
Risicolabel A – Geen risico	
Houten fundering staat structureel onder grondwater	Grondwaterstand structureel onder ontwateringsdiepte
Of: fundering is hersteld / betreft betonpalen	Geen risico op optrekkend vocht of funderingsbelasting
Kans op schade: verwaarloosbaar	Kans op schade: < 1%
Risicolabel B – Laag risico	
Hout staat doorgaans onder water	Grondwaterstand meestal onder ontwateringsdiepte
Geen signalen van droogstand	Incidentele hoge standen mogelijk, maar zonder structurele impact
Kans op schade: < 1%	Kans op schade: < 10–15%
Risicolabel C – Matig risico	
Hout bevindt zich in de marge van de grondwaterstand	Grondwaterstand bevindt zich regelmatig in de marge
Gevoelig voor fluctuaties	Verhoogde gevoeligheid voor: • Optrekkend vocht • Langzame degradatie
Kans op schade: circa 15–65%	Kans op schade: ± 40–65%
Risicolabel D – Hoog risico	
Hout staat doorgaans boven de grondwaterstand	Grondwaterstand structureel te hoog t.o.v. ontwateringsdiepte
Reëel risico op paalrot	Reëel risico op: • Vochtproblemen • Versnelde funderingsveroudering • Samenloop met zetting
Kans op schade: > 65%	Kans op schade: > 80–90%
Risicolabel E – Zeer hoog risico	
Hout staat boven water én: • Vastgestelde schade door droogstand, of • Verhoogde pandzakkingssnelheid	Te hoge grondwaterstand én: • Vastgestelde schade door optrekkend vocht, of • Aantoonbare verhoogde zakkingssnelheid
Kans op schade: > 95%	Kans op schade: > 95%

Daarnaast wordt een overall risicolabel gegeven:

Tabel 7: Overall risicolabel funderingen door Fundermaps

Risicolabel	Kans op schade
Null – Geen risico	verwaarloosbaar
Geen relevante risicoanalyses van toepassing	
Geen gevoelig funderingstype	
A – Geen verhoogd risico	< 1%
Duurzame fundering of aantoonbaar hersteld	
Geen negatieve signalen uit modellen of metingen	
B – Geen verhoogd risico, wel gevoelig	< 15%
Funderingstype is theoretisch kwetsbaar	
Geen signalen van schade of verhoogde zakkings	
C – Licht verhoogd risico	> 65%
Verhoogde kwetsbaarheid op basis van: - Funderingstype - Bodem- en grondwatercondities - Bouwperiode - Nog geen of beperkte schade-indicatoren	
D – Hoog risico	> 95%
Meerdere consistente signalen van funderingsproblematiek:	
Afwijkend zakkingsgedrag	
Schade-indicatoren	
Vastgesteld probleem bij nabijgelegen panden	
Onderzoeksresultaten	

Fundermaps toont volgens hun github wiki ook de direct afgeleide risicoclassificaties (A t/m E) uit uitgevoerde funderingsonderzoeken volgens onderstaande tabel. De relatie tussen de verschillende risicoscores is niet beschreven en daarmee is onduidelijk hoe de verschillende risicoscores samenhangen.

Risico	Omschrijving
A	Geen verhoogd risico (< 0,1%)
B	Geen verhoogd risico, maar mogelijk gevoelig in de toekomst (< 1%)
C	Licht verhoogd risico (< 10%)
D	Verhoogd risico (< 30%)
E	Zeer hoog risico / aangetoonde schade (> 30%)

4.5 RVO Funderingsviewer

4.5.1 Bedreiging

De RVO funderingsviewer [11] heeft betrekking op de funderingsproblematiek voor houten palen. De bedreiging wordt gerelateerd aan de aanwezigheid van een minder draagkrachtige bodem. Er wordt geen beschrijving van de bedreiging gegeven in termen van grondwaterstanden of bacteriële aantasting.

Er wordt door RVO onderscheid gemaakt tussen kwetsbaar¹ gebied, niet kwetsbaar gebied en stedelijk gebied.

Kwetsbare gebieden volgens RVO zijn gebieden met minder draagkrachtige bodem. Dat zijn in deze kaart met name:

- laagveengebied;
- rivierengebied;
- zeekleigebied;
- afgesloten zeearmen en getijdengebieden.

Deze gebieden worden in deze viewer onderscheiden. In steden is deze indeling niet altijd te maken door de ontstane bodemdiversiteit. In het algemeen geldt dat met name steden in West- en Noord-Nederland bodemdalingsgevoelige gebiedsdelen kennen. Ook daar is aandacht voor eventuele tekenen van funderingsproblematiek dus van belang.

4.5.2 Blootstelling

Gebouwen met een bouwjaar van voor 1970 op een minder draagkrachtige laag worden weergegeven. De viewer geeft op postcodeniveau het aantal panden weer met een bouwjaar van vóór 1970.

4.5.3 Kwetsbaarheid

Voor de kwetsbaarheid wordt het bouwjaar van voor 1970 als eigenschap gebruikt. De funderingsviewer doet geen uitspraken over de aard noch de staat van funderingen in specifieke gebieden noch van specifieke panden.

4.5.4 Schade

Er zijn geen gegevens over schade gegeven. De kaart is alleen bedoeld als indicatief beeld om gebieden te duiden met mogelijke problemen.

4.5.5 Gevolgen

Er zijn geen gevolgen weergegeven. De kaart is alleen bedoeld als indicatief beeld om gebieden te duiden met mogelijke problemen.

¹ Let op dat de term kwetsbaar zoals door RVO gehanteerd iets anders betekent dan in dit rapport wordt aangehouden; RVO doelt op gebieden waar bodemdaling optreedt.

4.6 Sensar: Pandzakingskaart op buurniveau

4.6.1 Bedreiging

In het Sensarproduct Pandzakingskaart, opgesteld in opdracht van RVO [12] is de bedreiging gelijk aan de gebouwbeweging (verticale verplaatsing) zoals gedetecteerd met InSAR gegevens van de European Ground Motion Service (EGMS). Deze worden gebruikt om jaarlijkse zakkingssnelheden (mm/jaar) van daken te schatten. Sensar corrigeert voor diepe geologische bewegingen die niet relevant zijn voor funderingen, zodat alleen zetting in ondiepe lagen overblijft die constructieve en funderingsproblemen kan veroorzaken. De intensiteit van de bedreiging wordt ingedeeld in discrete klassen op basis van drempelwaarden voor zakkingssnelheid ($<0,5$ mm/jaar tot >4 mm/jaar), in lijn met de KCAF-richtlijn en NEN 8707.

4.6.2 Blootstelling

Hier betreft de blootstelling gebouwen met een woonfunctie uit de BAG die vóór 1975 zijn gebouwd. De aanname hierbij is dat deze panden het meest gevoelig zijn voor bodemdalingssgerelateerde schade. De ruimtelijke eenheid voor aggregatie van de blootstelling (voor visualisatie) is CBS-buurniveau, en elk gebouw binnen die grenzen wordt gelijk beoordeeld in de analyse. Daarnaast is er ook informatie beschikbaar op gemeentelijk niveau via combineren van de informatie per buurt.

4.6.3 Kwetsbaarheid

Sensar- modelleert kwetsbaarheid niet expliciet in termen van constructieve capaciteit of via schadefuncties. In plaats daarvan veronderstelt het een inherente kwetsbaarheid voor de gekozen blootstellingsset: woongebouwen van vóór 1975. Deze worden beschouwd als gevoeliger voor bodemdaling-gerelateerde schade. Dit is een categorische aanname over kwetsbaarheid die in de selectiecriteria is ingebed en niet wordt berekend op basis van gemeten conditiegegevens of materiaaleigenschappen.

4.6.4 Schade

Sensar behandelt gemeten zakkingssnelheid als een proxy-indicator voor schadepotentieel, en legt geen directe fysieke schade zoals scheuren of vervorming vast. De risicoklassen (1 tot en met 5) (zie Tabel 4) zijn in wezen klassen van bedreigingsintensiteit die ook kunnen worden opgevat als potentiële schade-indicatoren, uitgaande van de aanname dat hogere zakkingssnelheden samenhangen met een grotere kans op en ernst van funderingsschade voor alle gebouwen in de focus van dit product.

4.6.5 Gevolgen

Het Sensar-model berekent geen geldelijk verlies, veiligheidseffecten of maatschappelijke gevolgen, maar de gedefinieerde schadetoestanden vormen wel een basis voor gevolgbeoordeling, omdat zij kunnen worden gekoppeld aan overeenkomstige herstel- en saneringsmaatregelen.

4.6.6 Risico en uitvoer

Sensar rapporteert de Pand Risico Index (PRI): een gewogen score die de verdeling van gebouwen over klassen van zakkingssnelheid weergeeft. Deze PRI wordt gebruikt als

vergelijkende indicator tussen buurten en gemeenten, maar schat niet direct herstelkosten of functieverlies.

De **PRI** van Sensor is een relatieve risico-indicator, berekend als een gewogen som van percentages gebouwen in elke klasse van zakkingsnelheid.

$$PRI = \sum_i (\% \text{ gebouwen in klasse } i) \times \text{gewicht}_i$$

De kaart is ingekleurd op buurt- en gemeentelijk niveau, met een schaal van 0 (geen risico) tot 250 (100% van de panden met zeer hoog risico). Hoewel de kaart bedreiging (zakkingsnelheden) en blootstelling (aantallen gebouwen per klasse) omvat, wordt kwetsbaarheid alleen indirect meegenomen via de gebouwselectie (woningen van vóór 1975).

Dit is een semi-kwantitatieve, op een index gebaseerde risicomaatstaf die ruimtelijke vergelijking ondersteunt (welke buurten meer risico lopen).

Tabel 8: Risicoklassen met de bijbehorende classificaties, weegfactor en zakkingsnelheid

Risicoklasse	Risiconiveau	Weegfactor	Zakkingsnelheid (mm/jaar)
RK1	Verwaarloosbaar	0	<0.5
RK2	Laag	1	0.5 -2
RK3	Matig	1.5	2-3
RK4	Hoog	2	3-4
RK5	Zeer hoog	2.5	>4

4.7 Lokale benaderingen

Naast de hiervoor beschreven algemene methoden hebben verschillende lokale en regionale partijen in Nederland hun eigen benaderingen ontwikkeld om funderingsgerelateerde risico's te beoordelen en te beheren. Daaronder vallen gemeenten, woningcorporaties en andere stakeholders die verantwoordelijk zijn voor het beheer van de gebouwvoorraad. Deze benaderingen verschillen in reikwijdte en mate van uitwerking, variërend van conceptuele beoordelingskaders en archiefgebaseerde evaluaties tot meer operationele systemen waarin beperkte monitoringsgegevens zijn opgenomen. In veel gevallen maken deze systemen gebruik van lokaal beschikbare informatie, zoals historische bouwdoSSIers, bekende funderingstypen en eerdere inspectierapporten.

Sommige van deze lokale initiatieven zijn verder ontwikkeld door archiefinformatie systematisch te digitaliseren en in gestructureerde databases op te nemen of schade danwel herstel meldingen op te nemen waardoor een meer consistente analyse van funderingscondities binnen vastgoedportefeuilles mogelijk wordt. Andere richten zich, in gebieden waar funderingsproblemen al bekend zijn of worden verwacht, vooral op het identificeren van prioritaire aandachtsgebieden en gebouwen. Op basis van beschikbare kennis over funderingstypen, waargenomen schade en lokale omstandigheden worden soms vereenvoudigde beslisregels of conceptuele modellen toegepast om prioritering van interventies, zoals renovatie of funderingsvervanging, te ondersteunen. Hoewel deze benaderingen over het algemeen minder gestandaardiseerd zijn dan richtlijnen en risicomodellen, leveren zij waardevolle, contextspecifieke inzichten op en ondersteunen zij operationele besluitvorming. Hieronder worden kort twee voorbeelden beschreven: het

gemeentelijke initiatief van het Rotterdamse Funderingsloket en het Zaanse Funderingsloket, die illustreren hoe dergelijke lokale systemen in de praktijk worden toegepast. Meerdere gemeenten hebben vergelijkbare systemen, waar achtergrondinformatie is verzameld, kaarten worden gepresenteerd en handelingsperspectieven worden gepresenteerd.

4.7.1 Rotterdam Funderingsloket

Het Rotterdamse Funderingsloket wordt door de gemeente Rotterdam beheerd als onderdeel van een breder beleid om de omvangrijke funderingsproblematiek in de stad aan te pakken.

Het platform fungeert als centraal aanspreekpunt voor particuliere woningeigenaren en andere stakeholders die op zoek zijn naar betrouwbare informatie en advies.

Het Funderingsloket genereert geen openbare kwantitatieve output, maar voor professionals zijn wel risicokaarten beschikbaar. Op dit moment hebben wij geen inzicht in de onderliggende risicomodellen.

De openbare gegevens van het Rotterdamse Funderingsloket bieden praktische hulpmiddelen zoals de Rotterdamse Funderingskaart, waarop huiseigenaren op adres kunnen zoeken om bekende informatie te zien over het type en de staat van hun fundering. De kaart laat zien of onderzoeken zijn uitgevoerd, welk funderingstype aanwezig is en welke risico's zijn gedocumenteerd. Daardoor kunnen bewoners snel beoordelen of hun pand kwetsbaar kan zijn voor bodemdaling of aantasting van houten palen.

Het platform biedt ook stapsgewijze begeleiding bij funderingsonderzoek en -herstel, waaronder informatie over subsidies voor bloksgewijze onderzoeken, advies over het inschakelen van gecertificeerde inspectiebureaus en uitleg over gemeentelijke ondersteuningsinstrumenten zoals leningen voor funderingsherstel. Daarnaast organiseert het Funderingsloket projecten op buurtniveau om groepen huiseigenaren gezamenlijk te informeren en te ondersteunen en fungeert het als schakel tussen de gemeente en getroffen eigenaren. Voorbeelden van lopende en eerdere projecten zijn Hillegersberg-Noord, Molenlaankwartier-Zuid, Edelstenenbuurt, Gravenbuurt, Bloemenbuurt en het Quickscan Rotterdam-project. De primaire focus ligt op woonhuizen van vóór 1970 op houten palen, die bijzonder gevoelig zijn voor problemen zoals paalrot door schommellende grondwaterstanden.

4.7.2 Zaanstad Funderingsloket

Het Funderingsloket van Zaanstad is een ander voorbeeld van een gemeentelijk systeem om funderingsgerelateerde risico's te beheren en te communiceren. De Funderingskaart biedt adresniveau-informatie over de conditie van funderingen van gebouwen die voornamelijk vóór 1951 zijn gebouwd. De gemeente onderhoudt en actualiseert deze database met informatie uit funderingsinspecties, herstelregistraties en monitoringsprogramma's. Op de kaart is te zien of een fundering is onderzocht of hersteld, en de conditie wordt geclassificeerd met gestandaardiseerde kwaliteitsklassen op basis van inspectieresultaten. Deze klassen geven een indicatie van de resterende levensduur van de fundering, al hangt de interpretatie af van het jaar waarin de beoordeling is uitgevoerd. Naast inspectiegegevens brengt de gemeente ook meetbouden aan in geselecteerde gebouwen en registreert zij periodiek zakkingsgegevens door de gebouwhoogte te monitoren, zodat voortgaande bodemdaling kan worden vastgesteld. Deze hoogtemonitoring wordt vooral toegepast bij oudere gebouwen, maar in sommige gevallen ook bij nieuwere.

Terwijl inspecties een directe beoordeling van de fundering omvatten (bijvoorbeeld door ontgraving om de paalconditie te beoordelen en de resterende levensduur te schatten), richt monitoring zich op het volgen van vervorming aan het maaiveld als indirecte indicator van funderingsprestaties. Samen geven deze gegevensbronnen een completer beeld van het gedrag van de fundering.

De resultaten worden via een online portaal (ZAMO) beschikbaar gesteld aan huiseigenaren, zodat doorlopend inzicht in de prestaties van gebouwen in de tijd wordt ondersteund. Tegelijkertijd benadrukt de gemeente dat de informatie in het Zaanse Funderingsloket indicatief is, en worden huiseigenaren aangemoedigd om gegevens te verifiëren en onjuistheden te melden.

Behalve dit openbare deel is er ook een, nog niet in dit rapport in kaart gebracht, afgesloten systeem van risicoidentificatie.

5 Opzet voor landelijk risicomodel

5.1 Risicobeheer voor funderingen en gebouwschade

Effectief risicobeheer voor gebouwschade en funderingsgerelateerde problemen vereist een risicomodel dat:

- Gestructureerd, modulair en volledig is, zodat een systematische en transparante aanpak ontstaat die objectieve vergelijking tussen gevallen mogelijk maakt;
- Op maat gemaakt is, zodat recht wordt gedaan aan de specifieke geotechnische, omgevings- en sociale context van het te beoordelen gebied;
- Inclusief is, waarbij het belang van betrokkenheid van relevante stakeholders wordt erkend, zodat uiteenlopende kennis en perspectieven worden meegenomen;
- Aanpasbaar en uitbreidbaar is, zodat het zich voortdurend kan aanpassen aan veranderende omgevings-, klimaat- en infrastructuuromstandigheden;
- Eenduidig is, zodat vergelijkbare gevallen ook tot vergelijkbare uitkomsten leiden;
- Gebaseerd is op de best beschikbare informatie, met gebruik van betrouwbare, diverse en actuele databronnen en modellen, waarbij onzekerheden en beperkingen expliciet worden meegenomen.

Deze principes vormen de basis voor de ontwikkeling van een samenhangend en adaptief kader voor risicobeoordeling. Ze dienen als referentie voor het ontwerp van een model dat de relaties tussen bedreiging, blootstelling, kwetsbaarheid, schade en gevolgen in de context van de funderingsproblematiek kan beschrijven.

Deze principes kunnen worden toegepast op verschillende uitkomsten, waaronder risicokartering, prioritering van investeringen en ontwikkeling van adaptatiestrategieën.

Het model en de onderdelen daarvan worden in dit hoofdstuk functioneel beschreven. Er worden geen uitspraken gedaan over verantwoordelijkheden voor de realisatie en uitvoering van de verschillende modules.

5.2 Modeluitvoer

5.2.1 Behoeften van stakeholders

Verschillende gebruikers van het model (huiseigenaren, woningcorporaties, gemeenten, financiële dienstverleners, inspectie en herstelbedrijven, ministeries) hebben behoefte aan uitvoer op uiteenlopende ruimtelijke schaalniveaus (object, buurt, wijk, enzovoorts) en voor verschillende doelen (kosten, waardevermindering, resterende levensduur, maatregelen, enzovoorts). We maken daarom in elk geval onderscheid tussen:

- Een uitvoer van het risicomodel voor individuele panden/eigenaren en betrokkenen,

- Uitvoer van het risicomodel voor beleidsmakers, banken, verzekeraars en andere derden.

De modeluitvoer kan in verschillende termen worden geformuleerd. Voorbeelden zijn kans op schade, resterende levensduur, geschat schadeniveau, instandhoudingstermijn en geschatte herstelkosten. Dit kan aan de hand van getalswaarden vanuit numerieke uitkomsten of door indeling van de uitkomsten in risicoklassen. Eén van de doelen van een algemeen model is om een duidelijke koppeling tussen deze uitvoergegevens aan te brengen, zodat consistentie wordt gewaarborgd.

Omdat het bij de funderingsproblematiek om meerdere soorten risico's gaat die niet eenvoudig bij elkaar "op te tellen" zijn, zijn keuzes nodig in de risico's met de meeste prioriteit en voor kennisontwikkeling in de beoordeling van de bedreigingen en kwetsbaarheden van panden. Het risicomodel zal daarom ook geen statisch model zijn maar mee moeten groeien met de kennisontwikkeling en daarbij ook nieuwe bedreigingen met bij behorende schadeprocessen kunnen adresseren.

In een afzonderlijk rapport van Geonovum² is een uitgebreide lijst met gewenste invoer- en uitvoerparameters opgenomen, als resultaat van interviews met stakeholders en mede gebaseerd op de technische input die TNO/Deltares hebben geleverd.

5.2.2 Omgaan met onzekerheden

Een risicomodel is nooit absoluut, het geeft de best mogelijk inschatting van de kans dat nu of in de toekomst een pand te maken krijgt met de gevolgen van effecten van buiten (zoals bodemdaling, veranderende grondwaterstand, bacteriële aantasting) die kunnen leiden tot fysieke schade aan het pand in de vorm van scheuren, vochtproblemen of de gevolgen daarvan (zoals verminderd woongenot, spanning, verloedering, gezondheidsproblemen). De uitkomst van het risicomodel is daarmee een schatting die helpt bij het nemen van beslissingen rondom het al dan niet nemen van maatregelen. Een uitkomst van een risicomodel bevat daarmee altijd onzekerheden. Een hoge kans op schade betekent niet dat deze schade in een individueel gebouw altijd optreedt, evenzo betekent een kleine kans niet dat een individueel gebouw zonder schade zal blijven. Als sprake is van een groot aantal vergelijkbare gebouwen blootgesteld aan een vergelijkbare bedreiging, zal de kans op schade een maat zijn voor het percentage van die gebouwen dat schade zal ontwikkelen. Het is daarom ook niet aan te raden maatregelen te nemen alleen op basis van de uitkomsten van het risicomodel. De risicoinschatting zal bij verhoogd risico allereerst aanleiding zijn voor nader onderzoek. Dit nader onderzoek kost tijd en geld en kan met name in een aankoop/verkoop proces van een pand tot vertraging leiden.

Als ook uit het nader onderzoek een verhoogd risico blijkt, volgt de afweging tot ingrijpen. Voor (toekomstige) pandeigenaren kan dit gaan om direct handelen (nieuwe fundering, reparatie van scheuren of zelfs sloop-nieuwbouw). Het kan ook een maatregel in de toekomst zijn, of een financiële afweging (sparen voor vernieuwing, afwaarderen woning). Risicoinschattingen op gebiedsniveau kunnen overheden zoals gemeenten en waterschappen helpen bij het afwegen van omgevingsmaatregelen zoals in het grondwaterpeilbeheer, beheer van de openbare ruimte en planvorming bij stedelijke (her)ontwikkeling.

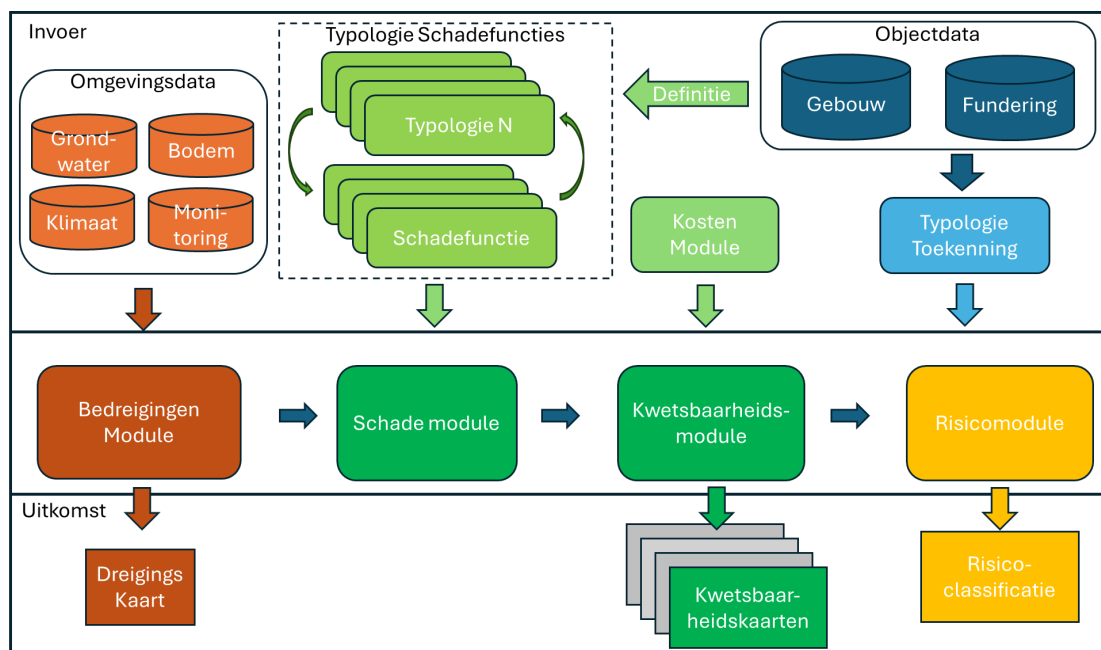
² Geonovum. (2026). Adviesrapport Informatiemodellering Funderingen – fase 1 (Versie 0.3, concept, 5 februari 2026)

5.3 Model raamwerk

Figuur 4 toont een eerste mogelijke opzet van het toekomstige landelijke model, dat wordt ontwikkeld door bestaande en nieuwe componenten samen te brengen. Voor het bepalen van risico's die verband houden met funderingen gebruiken we een modulaire opbouw, waarbinnen modellen en data worden gebruikt voor de bedreiging, de kwetsbaarheid en de blootstelling. De gebruikte kleuren in de modulaire opbouw komen overeen met de drie componenten die tezamen het risico bepalen zoals weergegeven in figuur 1: **Bedreiging**, **Kwetsbaarheid** en **Blootstelling**.

Elk van deze componenten wordt in de volgende subparagrafen nader beschreven. Binnen het raamwerk is het detailniveau en de exacte thematische invulling nog niet definitief bepaald, maar dit overzicht kan daarvoor als basis dienen. Door de modulaire opzet kunnen toekomstige verbeteringen, een hoger detailniveau of een bredere thematische reikwijdte worden opgenomen.

De beschikbaarheid en kwaliteit van invoergegevens zullen verschillen per regio, gebouwtype en modelcomponent. Het nationale model moet daarom expliciet rekening houden met datakwaliteit, onzekerheid en ontbrekende informatie. De modulaire structuur maakt dit mogelijk doordat afzonderlijke modules met verschillende detailniveaus en betrouwbaarheden kunnen werken, terwijl de resulterende onzekerheden transparant worden gemaakt.



Figuur 4 Modulaire opbouw van risicomodellering.

De risicomodellering bestaat uit invoergegevens (het bovenste vak), de modules (midden) en de gegenereerde uitkomsten. De invoer, de modules en de uitkomsten betreffen zowel de bedreigingen, de kwetsbaarheid als blootstelling. De risicomodule is met een andere kleur aangegeven, daar komen de drie elementen samen.

De risico modelketen is in figuur 4 in het middelste rechthoekige kader weergegeven. Deze keten bestaat uit meerdere modules die modellen omvatten.

5.4 Omgevingsdata

Om de risico's te kunnen bepalen zijn data nodig vanuit de omgeving. Hiervoor zijn enkele basismodules gedefinieerd (zie Figuur 4), waaronder een bodemmodule (als input voor geotechnische processen), een grondwatermodule en een klimaatmodule. Een module voor monitordata kan daaraan worden toegevoegd, bijvoorbeeld voor data over de gemeten beweging van de bodem aan de hand van satellietdata.

Bodemdatamodule

De bodemdatamodule bestaat uit een verzameling data die te maken heeft met de eigenschappen van de bodem. Deze module vormt de basis voor verschillende onderdelen van de bedreiging. Deze moet ten minste het volgende omvatten:

Factor	Beschrijving
Bodemopbouw / stratigrafie	Dikte van bodemlagen (GeoTOP)
Antropogene lagen (ophogingen door de mens gemaakt)	Bij homogene ophoging/ antropogene dikte is er minder verschilzetting te verwachten
Variabiliteit van de ondergrond	Meer variabiliteit leidt tot meer verschilzetting
Kleilaag / kleitype	Klei aanwezig leidt tot verhoogd risico op krimp/zwel, afhankelijk van het kleitype
Veenlagen en diepte van de veenlaag	Aanwezigheid van veen leidt tot verhoogd risico op oxidatie
Aanwezigheid en type vegetatie	Vegetatie heeft invloed op de vochthuishouding rondom funderingen door het onttrekken van water uit de bodem

Grondwaterdatamodule

Een grondwaterdatamodule is nodig om de grondwaterstand in ruimte, tijd en diepte te beschrijven. Afhankelijk van de beschikbare gegevens kan deze module freatische grondwaterstanden, stijghoogten in diepere watervoerende pakketten, bodemvochtcondities en indicatoren voor de mate van verzadiging in de onverzadigde zone omvatten. De bedreigingsmaat kan bestaan uit absolute grondwaterstanden, fluctuaties en veranderingen in de tijd, veranderingen in stijghoogte, bodemvochtgehalte boven de grondwaterstand, of combinaties daarvan. De grondwatermodule is invoer voor de bodemdalingsmodule, maar vormt ook direct inzicht in de bedreiging van schimmelaantasting voor houten palen.

Klimaatmodule

Deze module neemt de effecten van klimaatverandering mee voor toekomstige omstandigheden. Deze module zal gevoed worden met scenario's van klimaatverandering met speciale aandacht voor toenemende droogte.

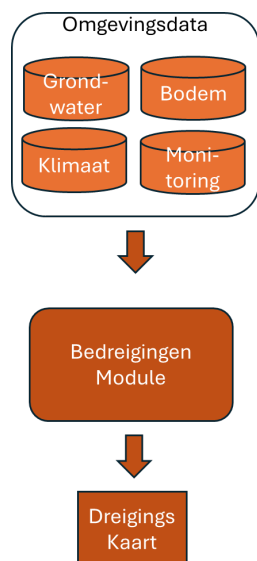
Monitormodule

De monitoringmodule verzamelt meetdata die zinvol zijn bij het bepalen van de bedreigingen, voor zover die nog niet in andere databronnen (voor bodem en grondwater) aanwezig zijn. Voorbeelden zijn bodembewegingsdata op basis van satellietdata of andere meetmethoden.

5.5 Bedreigingenmodule

De **bedreigingenmodule** beschrijft voor een gegeven locatie op basis van beschikbare data (grondwater, bodem, aangevuld met monitoring en eventuele klimaatscenario's) hoe groot de bedreiging is. Deze informatie kan in de vorm van een dreigingskaart worden gepresenteerd. Per beschouwde bedreiging is een andere kaart van toepassing.

Een dreigingskaart heeft alleen zin als de bedreiging gekwantificeerd kan worden. In sommige gevallen zal dat lastig zijn.



Veel verschillende bedreigingen spelen een rol bij gebouwschade die samenhangt met funderingsschade. De op dit moment best bekende bedreigingen voor een landelijk model zijn:

- Bodemdaling (alleen uit ondiepe bronnen; effecten van mijnbouw of bouwwerkzaamheden worden niet in het model meegenomen).
- Grondwaterstand en variaties daarin (waaronder langjarige daling en seizoensfluctuaties, relatieve grondwaterstand).
 - ➔ In het bijzonder droogte, die leidt tot veenoxidatie en krimp van klei.
 - ➔ Hoge grondwaterstanden, die mogelijk leiden tot optrekkend vocht in constructies en het ontstaan van schimmel en daarmee samenhangende gezondheidsproblemen in woningen.
- Biologische activiteit in houten palen (bacteriële groei).
- Negatieve kleeft op funderingspalen.

Bodemdaling

Het landelijke model heeft voor het hele land in ruimte en tijd schattingen van bodemdaling nodig. Bodemdaling in het verleden hangt samen met het huidige risico voor het gebouw, terwijl toekomstige snelheden van bodemdaling het toekomstige risico beïnvloeden, afhankelijk van aannames over klimaatverandering en mogelijke maatregelen die worden genomen. De module moet onderscheid maken tussen ondiepe en diepe bodemdaling, omdat diepe bodemdaling op gebouwniveau geen of nauwelijks directe invloed heeft op gebouwschade (hoewel indirecte effecten via de grondwatermodule kunnen worden meegenomen).

De bodemdalingsmodule moet rekening houden met alle relevante mechanismen (zie paragraaf 3.1). Bodemdaling kan worden gekwantificeerd met in-situ metingen (bijvoorbeeld waterpassing of GNSS) of worden geschat met geologische en geotechnische modellen. Voorbeelden zijn herhaalde metingen van referentiebouten op gevels van gebouwen, landmeetkundige opnamen in de openbare ruimte en monitoring van vaste infrastructuurelementen zoals putdeksels. Dergelijke datasets zijn al beschikbaar in gemeenten zoals Rotterdam, Amsterdam en Zaanstad. Daarnaast levert satellietgebaseerde InSAR een ruimtelijk beeld van objectbewegingen en maaiveldverplaatsingen. InSAR meet relatieve bewegingen die, onder passende aannames, kunnen worden geïnterpreteerd als indicatoren van bodemdaling. Deze metingen kunnen worden gebruikt als alternatief of aanvulling op lokale metingen of geologische/geotechnische modellering. Het is belangrijk op te merken dat metingen van bodemdaling aan het maaiveld rondom een gebouw verschillen van de bewegingen die op het gebouw zelf worden gemeten, omdat die laatste worden

beïnvloed door de interactie tussen het bodemdalingsproces en de aanwezigheid van het gebouw.

Voor bodemdaling kunnen verschillende maatstaven worden gebruikt, zoals absolute zetting, vershilzetting, zakkingsnelheid enzovoort.

Wanneer zowel metingen aan gebouwen als metingen in de openbare ruimte beschikbaar zijn, kunnen verschillen tussen maaiveldzettingen en gebouwbewegingen worden gekwantificeerd. Dit geeft inzicht in de interactie tussen funderingen en de omliggende bodem en maakt het mogelijk verschillen in zakkingsnelheid, gedrag van vershilzetting en cumulatieve zetting in de tijd te beoordelen.

Sommige van deze bedreigingen kunnen nu al op basis van beschikbare data in meer of minder gedetailleerde manier worden meegenomen. Andere vereisen nog nader onderzoek. Een belangrijk aspect van bedreigingen is hun tijdsafhankelijke gedrag. Het risicomodel zou bij voorkeur bedreigingen niet alleen ruimtelijk (x – y –diepte), maar ook in tijd karakteriseren met behulp van historische gegevens over bodemdaling en grondwater. Op dit moment zijn bestaande risicomodellen slechts in beperkte mate tijdsafhankelijk, doordat zij specifieke momenten in de tijd modelleren.

Funderings- en gebouwschadegerelateerde bedreigingen waarvan momenteel niet wordt voorzien dat zij deel uitmaken van het model, zijn onder meer:

- Piekneerslag die tot overstroming leidt.
- Overbelasting/fouten in ontwerp en uitvoering.
- Aardbevingen of andere trillingen, zoals door verkeer.
- Effecten van bouwwerkzaamheden.
- Temperatureffecten.

Van deze bedreigingen zou piekneerslag die tot overstroming kan leiden mogelijk indirect kunnen worden meegenomen door die te relateren aan de absolute zetting van gebouwen.

5.6 Blootstellingsmodule

Blootstelling duidt de bezittingen, mensen of systemen aan die zich bevinden in gebieden waar bedreigingen kunnen optreden, en hun kenmerken (ouderdom, waarde, aantal bewoners enzovoort), zoals beschreven in paragraaf 2.3 van dit rapport.

Op dit moment heeft de risicomodellering betrekking op gebouwen met een woonfunctie of gemengd woongebruik. Aangezien meer dan de helft van de nationale gebouwde voorraad uit woningen bestaat, die verschillen in vorm, afmeting, materiaal enzovoort, is het onmogelijk om elk gebouw afzonderlijk te beoordelen. Daarom wordt een typologische benadering voorgesteld (zie afzonderlijk TNO-rapport). Het toekomstige model zal zo worden opgezet dat dit het risico op schade voor een gebouw kan geven op basis van een beoordeling van de typologie waartoe het behoort. Deze methodiek kan ook toegepast worden voor gebouwen zonder woonfunctie, waarbij de variatie in typen gebouwen wel groter is dan voor alleen woongebouwen.

De blootstellingsmodule maakt gebruik van de objectdata, die bestaat uit gebouwdata en funderingsdata. Deze worden vertaald naar een gebouwtypologie waartoe het gebouw of de beschouwde gebouwen behoren.

Huidige risicomodellen (zie hoofdstuk 4) gebruiken impliciet of expliciet doorgaans slechts één gebouwmodel, met drie categorieën voor het funderingstype (ondiep, houten palen of betonnen palen). De beschreven risico's worden per funderingstype ongeacht gebouw- en

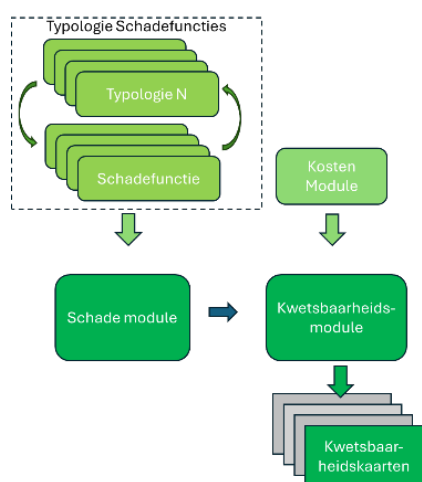
funderingseigenschappen gelijk gesteld. In sommige modellen worden expliciet gebouwen van na 1975 benoemd als laag of geen risico.

Een meer genuanceerde benadering kan zinvol zijn door het onderscheiden van meerdere typologieën. Hiertoe moeten eerst de kenmerken van de categorie worden bepaald, gevolgd door een procedure om gebouwen in deze families of groepen in te delen.

De belangrijkste aspecten die de blootstelling bepalen, vallen grofweg uiteen in drie categorieën: funderingscondities, constructieve condities en het type en de aard van de beschouwde bedreiging. Deze kenmerken hangen samen met de specifieke kwetsbaarheid van constructies en worden in de volgende paragraaf besproken.

Een eerste toekenningskenmerk van een gebouw is het type fundering (ondiepe fundering of diepe fundering met beton- of houten palen). Op dit moment is het funderingstype voor een groot deel van de gebouwenvoorraad onbekend, vooral voor gebouwen ouder dan 50 jaar. Het is mogelijk om te werken met een verondersteld of bekend funderingstype, opgegeven door de woningeigenaar (of de gebruiker van het nationale informatiesysteem), of met een geschat funderingstype op basis van expertregels. Hiervoor zal de funderingsmodule een kenmerk moeten bevatten die iets zegt over de basis van de toegekende eigenschappen.

5.7 Kwetsbaarheidsmodule



Kwetsbaarheid beschrijft de gevoeligheid van een gebouw voor schade en de (economische) gevolgen van deze schade wanneer het wordt blootgesteld aan de geïdentificeerde bedreigingen. De **kwetsbaarheid** bestaat uit twee onderdelen. Het eerste element bestaat uit de relatie tussen de dreigingsmaat en de kans op het optreden van schade, in de vorm van een vooraf gedefinieerde schademaat, bijvoorbeeld scheurwijdte of mate van scheefstand, hoeveelheid optrekkend vocht of een combinatie ervan. Deze component noemen we de fragiliteit of schademodule (zie 5.7.2). De tweede component betreft de consequenties van deze schade in economische termen (verliesmodule, zie 5.7.3). Beide onderdelen zijn als aparte modules weergegeven. De schademodule wordt gevoed vanuit schadefuncties

die worden ontwikkeld per gedefinieerde typologie. Het is van belang dat deze schadefuncties zijn afgestemd op de van toepassing zijnde bedreiging, ofwel de uitkomst van de bedreigingenmodule is gedefinieerd in termen van de dreigingsmaat gebruikt voor de schadefuncties. De kwetsbaarheidsmodule vertaalt vervolgens de kans op schade naar kosten (of equivalente kosten). Deze module wordt gevoed vanuit data en modellen voor de kosten (de kostenmodule).

Omdat in werkelijkheid er altijd verschillen zijn tussen gebouwen, kunnen voor individuele gebouwen de kansen of de kostenmaat lager of hoger liggen. Daarom wordt eerst onderscheid gemaakt tussen typen of families van gebouwen. Zodra van een gebouw is vastgesteld tot welke typologie het behoort wordt daar een risico voor bepaald volgens eigen schade en verliesfuncties.

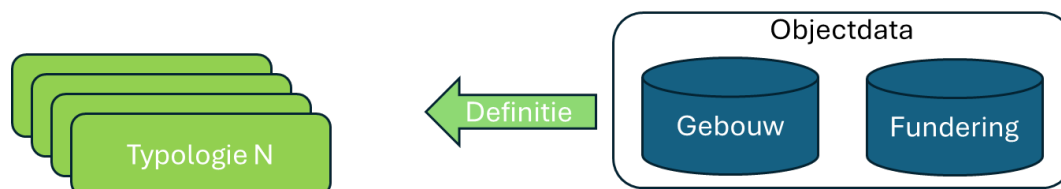
5.7.1 Typologieën van gebouwen

Belangrijke input voor de schademodule is de definitie van typologieën en de daarbij behorende schadefuncties. Een **typologie** is gedefinieerd als een verzameling gebouwen met vergelijkbare kenmerken die relevant zijn om het gedrag te beschrijven onder de bedreiging die wordt beschouwd.

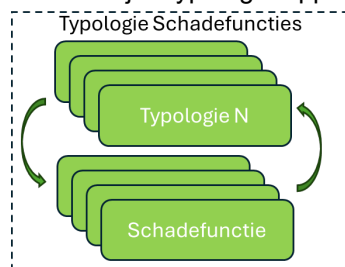
Het gedrag van de typologie onder de bedreiging wordt beschreven door schadefuncties (in Engels als *fragility functions* aangeduid). Deze functies geven de kans op het optreden van een schade, gegeven de optredende maat voor de bedreiging. Gebruikelijk is om meerdere curves voor een typologie te hebben voor oplopende schadetoestand (bijvoorbeeld: lichte schade, matige schade, ernstige schade, waarbij deze begrippen nader moeten worden ingevuld).

Er zijn in de praktijk en literatuur vrijwel geen schadefuncties beschikbaar gerelateerd aan funderingen. Er zijn wat internationale studies gedaan betrekking hebbend op specifieke situaties, maar deze zijn niet of zeer beperkt toepasbaar voor de Nederlandse gebouwen. Recent is door onderzoekers van TU Delft, Deltares en TNO via verschillende onderzoeken een basis gelegd voor schade aan constructies, die ten behoeve van de risicomodellering nader wordt uitgewerkt. Voor andere risico's zoals vochtschades of problemen met aansluitingen, zijn momenteel geen schadefuncties bekend.

De definitie van de **typologieën** gebeurt stapsgewijs.



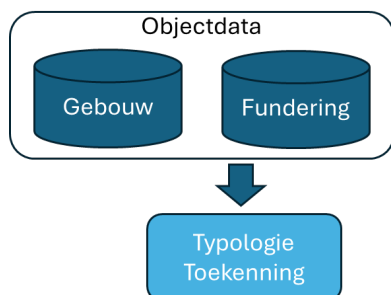
De eerste stap in de typologiedefinitie bestaat uit een analyse van de Nederlandse gebouwenvoorraad en de eigenschappen van die gebouwen en hun funderingen. Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van de objectdata die voor Nederland bekend zijn. Op basis van een statistische analyse van die eigenschappen, en kennis en ervaring over de relatie tussen de eigenschappen en de bedreiging wordt een eerste indeling in typologieën vastgesteld (voor de betreffende bedreiging). Voor een beschrijving van deze eerste stappen zie het afzonderlijke typologierapport.



Als tweede stap worden voor de typologieën schadefuncties opgesteld. Deze functies geven de kans op een vooraf gedefinieerde schade als functie van de dreigingsmaat. Deze kans op schade houdt rekening met de variaties in eigenschappen van de gebouwen binnen typologie, zoals materiaaleigenschappen, afmetingen en geometrie. Zodra deze schadefuncties zijn afgeleid, wordt geëvalueerd of de gedefinieerde typologie geschikt is voor de toepassing in de

schademodule. Als blijkt dat het effect van de variaties binnen een typologie leidt tot een grote spreiding in de schadefuncties is wellicht het splitsen van de typologie (waarmee de spreiding per typologie kleiner wordt) een goed idee. Namelijk, bij toepassing van schadefuncties met een grote spreiding is de kans groot dat voor een groot deel van de populaties die tot de typologie wordt toegekend een te hoog risico wordt berekend. Anderzijds, als het redelijkerwijs niet mogelijk is de typologie te splitsen moet wel met deze grote spreiding worden rekening gehouden.

De invulling ervan en de benodigde inspanning kan sterk verschillen per beschouwde bedreiging. Ook de mate van onderverdeling van de gebouwen naar typologieën kan per bedreiging sterk verschillen.



De laatste stap om tot een uitspraak te komen voor een bepaald gebouw is het toekennen van gebouwen aan een typologie. Met die toegekende typologie kan op basis van de ontwikkelde kwetsbaarheidskaart van die typologie snel een uitspraak over het risico worden gedaan. Hiermee wordt invulling gegeven aan het aspect blootstelling (ofwel, waar komt welke typologie gebouwen voor, en welke bedreiging is daar van toepassing).

Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de beschikbare objectdata voor dat gebouw. Op basis van de voor de typologie relevante objectdata wordt voor het gebouw vastgelegd tot welke typologie het behoort. Hiervoor is een module typologietoekenning gedefinieerd. Elke typologie is gedefinieerd aan de hand van een beperkte lijst van eigenschappen die op zo eenvoudig mogelijke wijze kunnen worden vastgesteld. Per typologie is vastgelegd binnen welke waarden deze eigenschappen moeten liggen. De module typologietoekenning kan worden ontwikkeld zodra de typologiedefinities met bijbehorende schadefuncties zijn vastgelegd.

5.7.2 Schademodule

De gevoeligheid van een gebouw voor schade hangt af van de constructieve en geotechnische kenmerken en van de manier waarop deze kenmerken interacteren met verschillende bedreigingsprocessen. *Fragility* (of schadegevoeligheid) beschrijft daarmee de schadeprocessen die de bedreigingsintensiteit, als uitkomst van de bedreigingsmodule, vertalen naar een inschatting van een bepaald schadeniveau. De bedreigingsintensiteit kan direct aan schade worden gekoppeld of eerst één of meer tussentransformaties vereisen voordat schade kan worden gekwantificeerd.

Funderings- en geotechnische factoren van *fragility* omvatten het funderingstype (ondiep of op palen) en het materiaal daarvan, de aanwezigheid of afwezigheid van een kelder, het type paal, de bodemcondities rondom de palen en de diepte en lengte van de palen. Deze eigenschappen bepalen hoe belastingen in de ondergrond worden overgedragen en hoe gevoelig het gebouw is voor veranderingen in de ondergrondcondities. Opgemerkt wordt dat het mogelijk is dat omgevingseigenschappen zowel voor de beschrijving van de bedreiging als voor de schademodule van belang kunnen zijn.

Belastingsgerelateerde factoren hebben betrekking op de verhouding tussen het gewicht van het gebouw en het draagvermogen van het funderingssysteem. Deze verhouding geeft aan hoe dicht de constructie bij haar geotechnische grenzen opereert en hoe zij kan reageren wanneer de bodemcondities verslechteren.

De constructieve factoren omvatten het type en het bouw materiaal van de draagconstructie (bijvoorbeeld gewapende beton draagconstructies of ongewapende metselwerk wanden), het aantal en de verdeling van openingen (ramen en deuren) en de vorm van het gebouw (waaronder lengte/hoogte verhouding). Deze kenmerken beïnvloeden de globale stijfheid, de vervormingstolerantie en de gevoeligheid voor verschilzetting.

Een overzicht van relevante kenmerken voor de schadegevoeligheid is gegeven in Tabel 9, geordend naar de hierboven genoemde typen.

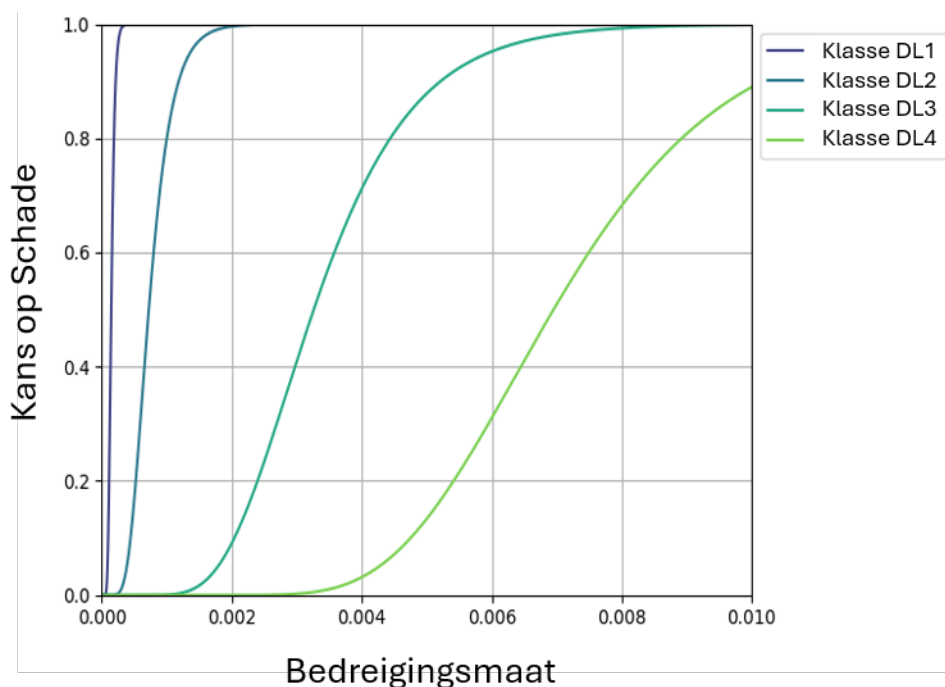
Tabel 9: Kenmerken van gebouwen voor schadegevoeligheid (kleuren vertegenwoordigen deelverzamelingen van kenmerken: paars indirect gekoppeld aan schadegevoeligheid, geel fundering en geotechnisch type, oranje belastinggerelateerd en blauw constructietype)

Gebouwkenmerk	Beschrijving
Bouwjaar	Nodig om de ouderdom van het gebouw te bepalen (Dit kan een indirecte indicator zijn voor staat van fundering, indirecte koppeling aan schadegevoeligheid)
Funderingstype	Ondiepe ("op staal") of diepe (met funderingspalen) funderingssystemen
Funderingsdiepte	Diepte van de ondiepe fundering (de onderkant van de fundering, waar deze rust op de draagkrachtige bodemlaag)
Type paal	Betonnen palen, houten palen
Paaldetails	Amsterdam/Rotterdam paalsystemen, oplanger, paalkop
Paalmateriaal	Type hout (grenen/vuren)
Bodemtype rond de paal	Aanwezigheid en diepte van veen of klei rond de paal
Diepte van de paalkop	Diepte van de paalkop ten opzichte van het maaiveld
Paallengte	Totale ingebrachte lengte van de paal (of evt puntniveau)
Gebouwbelasting versus paal draagvermogen	Verhouding tussen gebouwgewicht en funderingsdraagvermogen
Kelder	Aanwezigheid of afwezigheid van een kelderconstructie, geheel of gedeeltelijk, diep of ondiep
Type draagconstructie	Gestapelde dragende wanden, Raamwerkconstructie, Kolommen en vloeren, etcetera
Bouwmateriaal	Materiaal van de hoofddraagconstructie (metselwerk, hout, beton)
Openingen in het gebouw	Aantal en verdeling van openingen in de draagconstructie bij metselwerk (ramen, deuren)
Verhouding van gebouwafmetingen	Verhouding tussen hoogte en breedte, eventueel aantal bouwlagen
Niveau van de drempel	Hoogte ten opzichte van NAP voor beoordeling van risico op inwatering door regenwater

Op basis van deze invoer in combinatie met de informatie over de bedreiging kan het effect op de gebouwen worden bepaald voor elk van de schademechanismen. De belangrijkste schademechanismen zijn negatieve kleeft, vershilzetting, schimmeligroei bij houten palen (paalrot) en materiaaldegradatie. Deze mechanismen zijn op zichzelf geen bedreigingen, maar routes waarlangs bedreigingen schade veroorzaken. Zo kan bodemdaling negatieve kleeft op palen veroorzaken, verhoogde grondwaterstanden kunnen leiden tot overstrooming en verlaging van de grondwaterstand kan houten palen blootstellen aan aantasting, dit alles afhankelijk van gebouwkenmerken die bepalen hoe gevoelig het gebouw voor deze effecten is.

Schadegevoeligheid wordt gekwantificeerd met schadefuncties, die een bedreigingsmaat relateren aan de kans op overschrijding van een bepaalde schade. Zulke functies zijn nodig per bouwtypologie en voor de bedreigingsmaten die relevant zijn voor het beoordelen van de specifieke bedreiging in kwestie. Relevante bedreigingsmaten zijn onder meer kromming, rotatie, zetting bij bodemdaling gerelateerde schades. Voor houten palen aantasting gelden

weer andere bedreigingsmaten (cumulatieve droogstand bijvoorbeeld). Voor verschillende bedreigingen zijn verschillende maten nodig. Sommige bedreigingsmaten geven gebouwschade beter weer dan andere. Bovendien kunnen niet alle bedreigingsmaten eenvoudig of betrouwbaar worden bepaald. De gebouwkenmerken die in de typologiebeoordeling zijn vastgesteld, bepalen de vorm en ligging van deze functies.



Figuur 5 Voorbeeld van een schadefunctie voor verschillende schadeniveaus (uitsluitend indicatief ter illustratie) voor een bepaalde typologie.

In het risicomodel is het eerst nodig om de potentiële schadevormen vast te stellen waarvoor het landelijke model het risico moet schatten. De internationaal erkende Burland tabel kan als basis dienen van de schadeinschattingen in het risicomodel.

In de volgende paragrafen worden verschillende schadegevoeligheden in meer detail beschreven.

5.7.2.1 Schadegevoeligheid van gebouwen met houten palen

Voor houten palen en schimmelaantasting houdt de schadegevoeligheid verband met de **cumulatieve tijd dat de paalkoppen (of het funderingshout) droog hebben gestaan**. De beoordeling van deze bedreiging hangt af van de werkelijke hoogte van het funderingshout, historische gegevens over de grondwaterstand en een beoordeling van het bodemtype in de bovenste lagen in verband met doorlatendheid. Zie ook paragraaf 3.1.2.

Idealiter gebruikt het model tijdreeksen van grondwaterstanden en telt het in detail het cumulatieve aantal droogtedagen (grondwaterstand onder paalkopniveau). Ook het gebruik van voorspellingen van neerslagtekort voor toekomstige omstandigheden kan worden verkend.

Voor houten palen met bacteriële aantasting moet de schaderelatie nog worden vastgesteld.

Het is ook zinvol te onderzoeken hoe gebouwvervormingen van gebouwen op houten palen, gebaseerd op InSAR-metingen, kunnen worden gekoppeld aan schadetoestanden.

Een ander onderwerp om te onderzoeken is de invloed van het type hout van de palen en het materiaal van het langshout dat tussen de palen en de wand wordt gebruikt. Gebouwen met langshout lijken kwetsbaarder dan gebouwen met betonnen langsconstructies. Dit hangt samen met de hoogte van de bovenste houten delen, maar ook met de constructieve prestaties van beton ten opzichte van hout.

Ook het effect van negatieve kleeft (zetting van de bodem rond de paal, waardoor extra paalbelasting ontstaat) moet worden meegenomen.

5.7.2.2 Schadegevoeligheid van ondiep gefundeerde gebouwen

Gebouwen op ondiepe funderingen hebben doorgaans een funderingsdiepte van 0 tot 2 meter onder maaiveld. In tegenstelling tot paalfunderingen bevinden deze ondiepe systemen zich direct in de zone waar grondverplaatsingen optreden. Daardoor zijn zij gevoelig voor de effecten van ongelijkmatige zetting en horizontale rekken, die zich rechtstreeks in de constructie kunnen doorzetten. Gelijkmatige zetting van de bodem en daarmee uniforme verplaatsing van het gebouw leidt vooral tot bruikbaarheidsproblemen, verstoring van nutsvoorzieningen en vermindering van de drooglegging, waardoor het risico op indringing van oppervlaktewater toeneemt. Verschilzetting kan ertoe leiden dat een gebouw helt, buigt of relatieve rotatie ondergaat, wat vaak tot scheurvorming leidt. Wanneer het zettingsprofiel slechts een geringe kromming heeft en de constructie als een star lichaam reageert, kan het gebouw roteren zonder noemenswaardige interne vervorming. In die gevallen blijven de effecten meestal beperkt tot schuine vloeren, deuren die niet meer goed sluiten, lichte scheurvorming en enige vervorming van buitenwanden. Wanneer zettingen echter sterk ongelijkmatig zijn, nemen de resulterende rekken toe en kan meer uitgesproken constructieve scheurvorming optreden. Scheurvorming kan bovendien worden verergerd door horizontale bodemrekken. Voor meer informatie over ondiepe funderingen zie ook paragraaf 3.2.

5.7.2.3 Vochtschade

Het risico op vocht- en schimmelproblemen hangt vooral samen met huizen op ondiepe funderingen, omdat bij voortgaande zetting van het pand de drooglegging tussen fundering en grondwaterstand afneemt. De aanwezigheid van scheuren in wanden en funderingen kan hieraan bijdragen. KCAF hanteert een drooglegging van 0,6 m als laag risico (ongeveer 10% van de huizen kan dan vochtproblemen krijgen), terwijl bij minder drooglegging het risico toeneemt tot ongeveer 80%.

Het is echter niet eenvoudig om droogleggingsniveaus te bepalen, omdat daarvoor zowel hoogtes van funderingen als grondwaterstanden (minimaal relatief ten opzichte van elkaar) nodig zijn.

5.7.2.4 Aansluitingen en toegankelijkheid

Wanneer gebouwen minder (of meer) zakken dan de omliggende bodem of straat, kunnen aansluitingen van nutsvoorzieningen, zoals waterleidingen, elektriciteitsleidingen en riolering, beschadigd raken. Vooral oudere aansluitingen zijn niet ontworpen om verschilzettingen op te nemen en kunnen gevoeliger zijn voor schade. Het optreden van scheuren, lekkages of uitval van aansluitingen hangt echter niet alleen af van de ouderdom en het ontwerp van de aansluiting, maar ook van de grootte en (eventueel) de snelheid van de relatieve beweging tussen het gebouw en de omliggende bodem. In moderne gebouwen worden in gebieden met veel bodemdaling vaak flexibele aansluitingen toegepast, waardoor het risico op schade mogelijk afneemt, maar niet verdwijnt. Daarnaast kan de toegang tot het gebouw of tot

garages worden belemmerd en kunnen lokale maatregelen, zoals de aanleg van trappen, nodig zijn.

Op dit moment is geen richtlijn bekend die aangeeft bij welke mate van zetting welke aansluitingen uitvallen, maar verwacht wordt dat dit afhangt van het maximale verschil in zetting tussen het huis en de omliggende bodem. Het risico is daarom groter op zettingsgevoelige bodems en voor gebouwen op palen (gebouwen op ondiepe funderingen zakken ongeveer evenveel als de bodem). Andersom kan ook een ondiepe fundering naast een onderheid riool tot problemen leiden.

5.7.3 Gevolgmodule

De gevolgmodule combineert de kans op schade (in een bepaalde vorm of toestand), zoals gegeven door de schadefunctie, met de kosten die horen bij die schadetoestand (voornamelijk herstelkosten). De kosten kunnen per gebouw en per groep gebouwen worden bepaald, inclusief gebouweigenschappen.

Een mogelijke aanvulling is het meenemen van het effect van maatregelen die op een bepaald moment in de tijd kunnen worden genomen. Dit vereist een tijdsafhankelijk schademodel en inzicht in de effecten van herstel en preventieve maatregelen.

Het uiteindelijke doel van deze modellering is om een uitspraak te doen over het **risico**. De uitkomsten van de schademodule en de gevolgmodule leveren een kans op schade of een kostenmaat op die representatief is voor de typologie. Omdat in werkelijkheid er altijd verschillen zijn tussen gebouwen binnen een typologie, kunnen voor individuele gebouwen binnen die typologie die kansen of de kostenmaat lager of hoger liggen. Zodra van een gebouw is vastgesteld tot welke typologie het behoort, wordt daar een risico voor bepaald.

5.8 Risicomodule

Risico is het resultaat van de uitkomsten van alle hiervoor beschreven modules. Risico is in hoofdstuk 2 beschreven als de integraal over de kansdichtheidsfunctie van de bedreiging vermenigvuldigd met de kwetsbaarheidsfuncties en resulteert in de verwachtingswaarde van het verlies. Dit is typologie- en locatiegebonden (blootstelling). Het risico wordt voor elk schade-mechanisme afzonderlijk bepaald. Verschillende schade-mechanismen kunnen leiden tot verschillende gevolgen, zoals constructieve schade, aantasting van hout, vochtproblemen of verlies van toegankelijkheid. Omdat deze mechanismen verschillende oorzaken, tijdschalen, onzekerheden en effectmaten hebben, worden zij afzonderlijk beoordeeld. Het samenvoegen ervan tot één algemene risico-indicator is naar verwachting niet mogelijk. Daarom verdient het in toekomstige modelontwikkeling de voorkeur om aparte risicoscores per schade-mechanisme te gebruiken in plaats van één enkele risico-indicator.

5.9 Handelingsperspectief

Het is mogelijk het risicomodel direct te koppelen aan een mogelijk handelingsperspectief. Als meest basale indeling kan gedacht worden aan:

- Niveau 1 => niets doen, zeer laag risico
- Niveau 2 => monitoring, matig risico
- Niveau 3 => inspectie, hoog risico

Mogelijke uitkomsten van een risicobeoordeling

Twee uitersten worden onderscheiden: Het ene met een acuut veiligheidsrisico, en het andere waarbij er geen risico is:

A: Als de uitkomst van de risicoberekening inhoudt dat de constructieve veiligheid acuut in het geding is (criteria daarvoor moeten dan zijn ontwikkeld), dan kan het niet anders dan dat dit al enige tijd zichtbaar is aan het gebouw, door grote scheurvorming, schade aan constructiedelen, scheefstanden en dergelijke.

B: Een uitkomst die aangeeft dat het risico verwaarloosbaar is (verwaarloosbaar moet dan wel eenduidig worden geformuleerd) dan hoeven er geen vervolgacties op korte of langere termijn plaatsvinden. Alleen als er veranderingen zijn die invloed hebben op de bedreiging, of op de kwetsbaarheid, is ingrijpen wellicht nodig. Dergelijke veranderingen kunnen als scenario's in de risicomodellering nader worden uitgewerkt, waarmee bijvoorbeeld een inschatting mogelijk is over de tijd.

Een aantal keuzes zullen nader onderzocht moeten worden. Om te beginnen betreft het de criteria die ontwikkeld moeten worden op vast te stellen wanneer de constructieve veiligheid in het geding is. Dit geldt ook voor een criterium wanneer het risico verwaarloosbaar is.

Deze criteria kunnen gebaseerd zijn op de kansen op schade, maar kunnen ook gerelateerd zijn aan kosten, of iets anders. De criteria als zodanig hoeven niet naar buiten toe te worden gebruikt in de communicatie, maar wel zodanig zijn afgestemd op de uitkomst van de modellen dat een gebruiker hier op eenduidige manier mee omgaat.

De vervolgvraag is hoe om te gaan met risico uitkomsten die tussen de geschetste uiterste situaties A en B liggen.

5.10 Ontwikkelstappen

Spanningsveld op dit moment is de mate van zekerheid die gebruikers van het risicomodel nodig hebben ten opzichte van de kennisontwikkeling (inclusief dataverzameling) die nodig is om die mate van zekerheid te kunnen bieden. Een snel beschikbare maar onzekere risico-inschatting kan onbedoelde effecten hebben op de woningmarkt maar tegelijkertijd kan het niet geven van een risico-inschatting vanwege onzekerheden de kans op schade ook ongunstig beïnvloeden, bijvoorbeeld doordat kopers het risico over het hoofd zien of eigenaren later ingrijpen en het probleem ondertussen verergert.

Voorgesteld worden om niet alle combinaties van bedreiging en consequenties tegelijk in het risicomodel op te nemen. Van sommige combinaties is al meer bekend dan van andere en niet alle combinaties zijn even eenvoudig op te zetten. De beschikbaarheid van betrouwbare data c.q. de inspanning om deze beschikbaar te krijgen speelt hier ook nadrukkelijk een rol in.

Een eerste overzicht van bedreiging en schade/gevolgen is in onderstaande tabel gegeven. Nagegaan moet worden welke van deze risico's in de scope horen van een risicomodel, en op welke termijn onderdeel moeten gaan worden van het landelijk risicomodel en welke prioritering realiseerbaar is. In groen zijn zowel voor paalfunderingen als voor ondiepe funderingen twee combinaties weergegeven die als eerste worden uitgewerkt, gegeven de stand van kennisontwikkeling, de benodigde verdere methodische ontwikkeling en de beschikbaarheid van data.

Tabel 10: Overzicht van te beschouwen combinaties van bedreigingen en gevolgen

Combinatie van bedreiging en schade/gevolgen	Doorlooptijd verwachting	Verwachting complexiteit beschikbaar maken voor landelijk model
<i>Voor paalfunderingen</i>		
1. Paalrot (houten palen) met als gevolg scheuren scheefstand door lage grondwaterstand droogstand		Tijdafhankelijk maken, lokale grondwatergegevens, historische grondwatergegevens, verschillende soorten hout, lokale informatie top hout
2. Palenpest (bacteriële aantasting) met als gevolg scheuren scheefstand		Type funderingshout sterk bepalend maar vaak onbekend, voorkomen bacteriën weinig bekend, aannames mogelijk
3. Verschilzakking pand en omgevingen met gevolg negatieve kleeft (houten palen evt beton) leidend tot scheuren scheefstand		Vraagt gedetailleerde InSAR analyses van pand en omgeving, idealiter ook informatie over beheer openbare ruimte (ophogingen)
4. Verschilzakking pand en omgeving met gevolg problemen met toegankelijkheid		Zie 3 (secundair, kan gemaakt worden door bodemdalingsvoorspellingen te gebruiken in combinatie met elke paalfundering)
5. Verschilzakking pand en omgeving met gevolg schade aan nutsaansluitingen (m.n. riool)		Pand zakt minder dan aansluitingen, informatie over aansluitingen nodig (zoals riool op palen of niet), kan worden gemaakt door bodemdalingsvoorspelling te combineren met paalfundering, net als bij 4.
<i>Voor ondiepe funderingen</i>		
6. Ongelijkmatige zettingen (door bodemdaling) met als gevolg scheuren scheefstand		Tijdafhankelijk maken, gebouweigenschappen toevoegen, scans invoegen voor bepalen huidige staat
7. Krimp/zwel gerelateerde scheuren		Omzetten kaart gevoeligheid en uitbreiden tot landelijke inschatting
8. Optrekkend vocht met als gevolg schimmels en gezondheidsproblematiek door hoge relatieve grondwaterstand		Drooglegging van panden nodig en samenwerking met gezondheidsexperts
9. Optrekkend vocht met als gevolg schimmels en aantasting bouwmaterialen		Drooglegging van panden nodig, kennis van materialen is beschikbaar (?)

(m.n. hout) door hoge relatieve grondwaterstand		
10. Inwatering bij piekbuien met als gevolg waterschade door lage drempelliging tov straatniveau		Hoogteligging drempels en straat nodig en informatie over piekbuien bedreiging (gedetailleerde modellering)
11. Verschilzakking pand en omgeving met gevolg schade aan nutsaansluitingen (m.n. riool)		Pand zakt mogelijk meer dan aansluitingen, informatie over aansluitingen nodig (zoals riool op palen of niet)

Er kan ook worden overwogen om per combinatie (in volgorde van prioriteit) eerst een grove screening te maken (bijvoorbeeld het uitsluiten van de meeste risico's bij panden op betonnen palen of het uitsluiten van zakkingsproblemen in gebieden zonder bodemdaling) en daarna een meer gedetailleerde risico-inschatting.

6 Referenties

- [1] RLi, „Goed gefundeerd,” Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (RLi), 2024.
- [2] ABDTopconsult, „Olifant onder kamer _ Een nationale aanpak funderingsproblematiek vanuit drie benaderingen,” 2025.
- [3] A. L. Costa, S. Kok en M. Korff, „Systematic assessment of damage to buildings due to groundwater lowering-induced subsidence: methodology for large scale application in the Netherlands,” 2020.
- [4] S. Kok en A. L. Costa, „Schade aan panden door paalrot en verschilzetting in Nederland.,” 2019.
- [5] Deltares, „Klimaat-effectatlas,” Stichting Climate Adaptation Services, [Online]. Available: <https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/risicokaarten-funderingen>. [Geopend 06 10 2026].
- [6] TNO, „Gebouwtypologieën voor bodemdaling en funderingsproblemen opstellen,” TNO, Delft, 2026.
- [7] J. B. Burland, B. B. Broms en V. F. B. De Mello, „Behaviour of Foundations and Structures,” in *9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, 1977.
- [8] KCAF, „Funderingen onder gebouwen _ onderzoek en beoordeling van funderingen op houten palen en ondiepe fundering,” KCAF, 2022.
- [9] FunderMaps, „FunderMaps,” September 2022. [Online]. Available: <https://github.com/Laixer/FunderMaps/wiki/Risicoduiding>. [Geopend 30 05 2026].
- [10] F. & A. Advies, „risicobepaling ondiep ondiep gefundeerde bebouwing,” KBF, 2024.
- [11] RVO, „Voorkomen van (verdere) funderingsproblemen,” RVO, 2025. [Online]. [Geopend 2026].
- [12] SENSAR, „Pandzakkingskaart op buurtniveau,” 09 01 2025. [Online]. Available: <https://storymaps.arcgis.com/stories/ae0f610bfe694b97b0d352d60787ea48>. [Geopend 09 06 2026].

7 Ondertekening

TNO › Mobility & Built Environment › Delft, 8 juli 2026

Dr.ir. C.P.W. Geurts
Auteur

Dr.ir. M. Korff
Strategisch adviseur Deltares

I. Bakhmet
Bij afwezigheid van
C. Coppitz
Project manager

Ir. M. van Roermund
Research manager
Reliable Structures

Ir. A. Baaijens
Afdelingshoofd Deltares

Mobility & Built Environment

Molengraaffsingel 8
2629 JD Delft
www.tno.nl

TNO innovation
for life

Deltares