opdrachtgever

Provincie Gelderland
Dienst Milieu en Water
Postbus 9090
6800 GX ARNHEM

project Onderzoek zettingsgevoeligheid
code en nummer OPGA-4683, nr. 1
titel Schadegevoeligheid van de bebouwing in de provincie Gelderland voor een verlaging van de grondwaterstand

datum oktober 1990

samengesteld door ir. M.J. Hamilton-Huisman
ir. J.G. Hulsbergen

onder verantwoording van ABT Adviesbureau voor Bouwtechniek BV
Arnhemsestraatweg 358 6881 NK VELP
Postbus 82 6800 AB ARNHEM

gezien ir. J.G. Hulsbergen
Raadgevend Ingenieur

20847341

COLOFON

SCHADEGEVOELIGHEID VAN DE BEBOUWING IN DE PROVINCIE GELDERLAND VOOR EEN VERLAGING VAN DE GRONDWATERSTAND.

Rapport van het Adviesbureau voor Bouwtechniek (ABT), opgesteld in opdracht van het provinciaal bestuur van Gelderland. Het onderzoek is uitgevoerd door mw. ir. M.J. Hamilton-Huisman en ir. J.G. Hulsbergen van het ABT.

Het onderzoek is begeleid door een Begeleidingscommissie.
De samenstelling van deze Begeleidingscommissie was als volgt:

dr.ir. Th.J. van de Nes (voorzitter)	Provincie Gelderland, dienst Milieu en Water (MW)
ing. H.F.J. Kempen (secretaris)	Provincie Gelderland, dienst MW
ir. R.H.C.M. Awater (projectleider tot 31/12/1989)	Provincie Gelderland, dienst MW
ir. J.W. Kooiman (projectleider vanaf 1/4/1990)	Provincie Gelderland, dienst MW
ing. J.P. van der Rest	Gelderse Waterschapsbond
ing. P.P. van Berkum	Vereniging van Nederlandse Gemeenten, afdeling Gelderland
drs. J.P. Weijers	Rijks Geologische Dienst
drs. F. Schokking	Rijks Geologische Dienst
H.J. Brinkhof	Provincie Gelderland, dienst MW
ing. G.P. Meijers	Provincie Gelderland, dienst MW
ing. J. Feringa	Provincie Gelderland, dienst MW
W. Schoof	Provincie Gelderland, dienst MW

Het rapport is vastgesteld in de vergadering van de Begeleidingscommissie op 13 september 1990.

REDACTIE
mw. ir. M.J. Hamilton-Huisman
ir. J.G. Hulsbergen

UITGAVE
ABT Adviesbureau voor Bouwtechniek BV - Velp

SCHADEGEVOELIGHEID VAN DE BEBOUWING IN DE PROVINCIE GELDERLAND
VOOR EEN VERLAGING VAN DE GRONDWATERSTAND

INHOUD Pag.nr.

1.	INLEIDING	1
2.	PROBLEEMSTELLING	3
2.1	Inleiding	
2.2	Relatie tussen daling van de grondwaterstand en schade aan de bebouwing	
2.3	Factoren die van invloed zijn op de schade-verwachting	
3.	BODEMOPBOUW	9
3.1	Inleiding	
3.2	Geologisch overzicht	
3.3	Bodemprofielen	
4.	BEBOUWING	11
4.1	Inleiding	
4.2	Inventarisatie	
4.2.1	Uitgangspunten	
4.2.2	Werkwijze	
4.3	Bouwtechnische staat	
4.4	Fundering	
4.5	Boerderijen	
4.6	Woningen	
4.7	Conclusies	
5.	MAAIVELDDALING EN GEBOUWZAKKING	21
5.1	Inleiding	
5.2	Berekening maaiveldddaling	
5.3	Relatie maaiveldddaling - gebouwzakking	
5.4	Bepaling van de verschilzakking	

		Pag.nr.
6.	SCHADENORMEN	25
6.1	Inleiding	
6.2	Vervormingen en funderingn	
6.2.1	Algemeen	
6.2.2	Toelaatbare zakking en vervorming van nieuwbouw	
6.2.3	Toelaatbare zakking en vervorming van bestaande gebouwen	
6.3	Frequentie-verdeling schadevoorkomen	
6.4	Grenswaarden	
6.5	Uitwerking grenswaarden Provincie Gelderladn	
7.	SCHADEGEVOELIGHEIDSKAARTEN	50
8.	SAMENVATTING	53
9.	LITERATUUR	57

BIJLAGEN

3.A	Bodemprofielen
3.B	Bodemparameters t.b.v. berekening maaiveldaling
4.A	Onderverdeling Provincie t.b.v. inventarisatie bebouwing
4.B	Vragenlijst gemeenten t.b.v. inventarisatie bebouwing
6.A	Grenswaarden maaiveldaling per deelgebied
6.B	Grenswaarden maaiveldaling per bodemprofiel
7.A	Schadegevoeligheidskaart 1; verlaging grondwaterstand 1 m
7.B	Schadegevoeligheidskaart 2; verlaging grondwaterstand 0,5 m

1. INLEIDING

In het grondwaterplan van de provincie Gelderland zijn beleidslijnen uitgestippeld voor het grondwaterbeheer. Ter ondersteuning van dit beleid is o.a. besloten om een onderzoek te doen naar de invloed van een verlaging van de grondwaterstand op de ondergrond (zettingsgevoeligheid) en op de bebouwing (schadegevoeligheid).

Het onderzoek naar bodemopbouw en zettingsgevoeligheid is uitgevoerd door de Rijks Geologische Dienst te Haarlem/Lochem. Hiertoe is de ondergrond van de provincie ingedeeld in 26 bodemprofielen. Voor alle coördinaatpunten in het gebied is vervolgens de maaivelddaling (zetting) berekend die op zal treden ten gevolge van een (fiktieve) verlaging van de grondwaterstand van 1 meter (ref. 1,2).

Het onderzoek naar de schadegevoeligheid van de bebouwing is door de Provincie opgedragen aan het Adviesbureau voor Bouwtechniek te Velp. Hiertoe is een globale inventarisatie van de voorkomende bebouwing uitgevoerd, waaruit een representatief modelpand kon worden opgesteld. Aan de hand van het door ABT ontwikkelde model voor het ramen van schade aan bebouwing (ref. 3) is vervolgens voor alle coördinaatpunten bepaald welke schade op zou treden indien:

- de grondwaterstand met 1 meter verlaagd zou worden en
- de bebouwing op dat punt een modelpand zou zijn.

Op deze manier wordt een vergelijkingsbasis gekregen, waaruit blijkt wat de meest schadegevoelige gebieden zijn.

In dit rapport is de door ABT gehanteerde methodiek beschreven. Hoofdstuk 2, probleemstelling, geeft een overzicht van het schademodel en de diverse factoren die daarin een rol spelen. De gegevens over de bodemopbouw, hoofdstuk 3, zijn overgenomen uit het onderzoek van de Rijks Geologische Dienst. In hoofdstuk 4 zijn de inventarisatie van de bebouwing en de kenmerken van het modelpand beschreven. Aan de hand van de berekende maaivelddalingen is in hoofdstuk 5 voor elk bodemprofiel de resulterende gebouwzakking bepaald. Hoofdstuk 6 geeft eerst een algemeen overzicht van schadenormen en de manier waarop deze in de praktijk gehanteerd worden. Vervolgens zijn voor het modelpand grenswaarden vastgesteld. Op basis van deze grenswaarden is de provincie onderverdeeld in gebieden met gelijke schadegevoeligheid.

Dit is weergegeven in hoofdstuk 7. De bijbehorende kaarten zijn door de Provincie vervaardigd.

De resultaten van dit onderzoek kunnen door de Provincie gebruikt worden om bij aanvragen voor het onttrekken van grondwater (bijv. drinkwater of bouwputbemalingen) een eerste indicatie te geven van de schadegevoeligheid van de (model)bebouwing. Voor de verdere beoordeling van de aanvraag moet dan ook gekeken worden naar de werkelijk aanwezige bebouwing. Het op de kaart vermelde schadegebied kan bijv. gebruikt worden om te bepalen hoe gedetailleerd de inventarisatie van de bebouwing in dat gebied moet zijn.

2. PROBLEEMSTELLING

2.1 Inleiding

Voor het beoordelen van de gevolgen van een grondwaterstandsverlaging op de bebouwde omgeving is het van belang allereerst inzicht te hebben in de relatie tussen grondwaterstandsverlaging en de daaruit voortvloeiende gebouwschade en in de factoren die deze relatie bepalen.

In paragraaf 2.2 worden eerst de voornaamste factoren besproken. Vervolgens wordt in een schema de onderlinge samenhang getoond. Daarna worden in 2.3 de overige factoren toegelicht, die van zijdelingse invloed zijn op het schademodel.

2.2 Relatie tussen daling van de grondwaterstand en schade aan de bebouwing

In hoofdzaak wordt het schademodel beheerst door de volgende factoren:

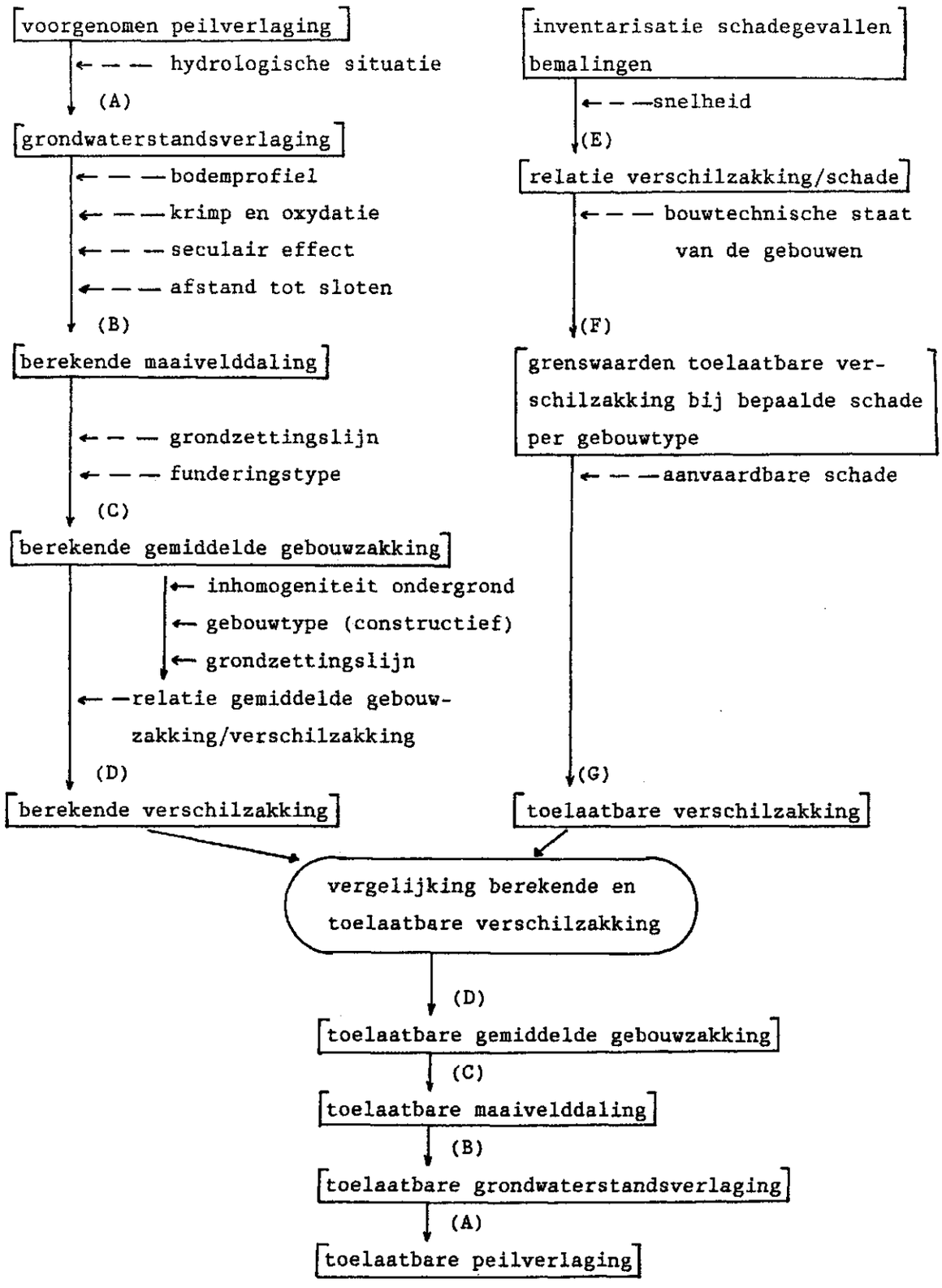
* Peilverlaging (Δp)
* Grondwaterstandsverlaging ($\Delta \varphi$)
* Maaiveldaling (ρ_{mv})
* Gemiddelde gebouwzakking (ρ_{gem})
* Verschilzakking (δ_{max})
* Gebouwschade.

De hoofdfactoren worden kort toegelicht.

* peilverlaging (Δp)
  In gebieden waar het peil kunstmatig beheerst wordt kan een aanpassing van het streefpeil uitgangspunt zijn voor een onderzoek naar de schadeverwachting.
* Grondwaterstandsdaling ($\Delta \varphi$).
  De daling van de grondwaterstand kan een gevolg zijn van een voorgenomen peilverlaging van het oppervlaktewater of van een grondwateronttrekking voor drinkwater of voor een bouwputbemaling. In stedelijke gebieden kan de grondwaterstand ook veranderen onder invloed van (reparatie van) lekke riolen of een toenemende mate van verharding.

* Maaiveldaling (ρ_{mv}).
  Ten gevolge van de daling van de grondwaterstand treedt een verlaging van de waterspanningen en daarmee een verhoging van de korrelspanningen in de ondergrond op. Bij samendrukbare grondsoorten, zoals klei en veen, treedt hierdoor een samendrukkingsproces op, waaruit na verloop van tijd een daling van het maaiveld resulteert.
* Gemiddelde gebouwzakking ($\rho_{gem.}$).
  Bij een daling van het maaiveld zal de bebouwing ook een zakking ondergaan. De grootte van de gemiddelde gebouwzakking is o.a. afhankelijk van het type fundering dat is toegepast.
  Bij een fundering op staal is de gemiddelde gebouwzakking ongeveer gelijk aan de zetting van de grondlagen onder het aanlegniveau; het gebouw zakt met het maaiveld mee. Bij een fundering op palen met het basisniveau in het vrijwel niet samendrukbare pleistocene zand zal het gebouw in eerste instantie niet zakken; de grond zakt onder het gebouw uit. Door de toenemende neerwaartse wrijving tussen de grond en de palen neemt de totale paalbelasting toe (negatieve kleef), waardoor toch een, veelal geringe, gebouwzakking kan ontstaan.
* Verschilzakking (δ_{max}).
  Als voornaamste indicatie voor de schadeverwachting wordt de maximale verschilzakking tussen twee punten van een gebouw gehanteerd. Het blijkt namelijk dat een gebouw zelden gelijkmatig zakt. Door druk- en stijfheidsverschillen in het gebouw en/of door een verschil in zettingsgevoeligheid van de ondergrond ter plaatse van een gebouw zullen bepaalde punten meer zakken dan andere punten. Het hierdoor optredende verschil in zakking is maatgevend voor de schadeverwachting.

In figuur 2.1 wordt het stroomschema van het schademodel weergegeven. In het linkerbovendeel staan de vijf genoemde hoofdfactoren, die onderling verbonden zijn door de relaties (A), (B), (C) en (D). Het vaststellen van deze relaties wordt later toegelicht. Naast het berekenen van de optredende verschilzakking moet ook de toelaatbare verschilzakking bepaald worden. Dit wordt weergegeven in het rechterbovendeel van het schema. Uit de vergelijking van berekende en toelaatbare verschilzakking blijkt of en in welke mate schade wordt verwacht. Zoals te zien is in het onderste deel van het schema kan de toelaatbare verschilzakking via de relaties (D), (C), (B) en (A) weer omgerekend worden naar toelaatbare peilverlaging.



Figuur 2.1 Stroomschema bepaling schadeverwachting

2.3 Factoren die van invloed zijn op de schadeverwachting

Bij de uitwerking van de schadeverwachting spelen een aantal secundaire factoren mee, die invloed hebben op de onderlinge relaties tussen de bovengenoemde factoren.

* Hydrologische situatie

  De relatie (A) tussen de verlaging van het polderpeil en de verlaging van de grondwaterstand ter plaatse van de bebouwing is afhankelijk van de hydrologische situatie. Bij een kleine afstand tot de sloot zal de grondwaterstand het peil grotendeels volgen, maar bij een grote afstand tot de sloot is de invloed van het peil op de grondwaterstand geringer. Een soortgelijke redenatie gaat ook op bij aan- of afwezigheid van een drainagesysteem.

  De hydrologie speelt ook een rol bij het bepalen van de relatie tussen wijzigingen in de grondwaterstand en in de stijghoogte van het diepe grondwater. Berekeningen op het gebied van de hydrologie worden besproken in hoofdstuk 4.

* Bodemopbouw

  De bodemopbouw is bepalend voor de relatie (B) tussen de grondwaterstandsverlaging en de maaiveldaling. Hierbij speelt met name de aanwezigheid en dikte van samendrukbare klei- en veenlagen een grote rol. Het gebied wordt daarom onderverdeeld in deelgebieden met een kenmerkend bodemprofiel. Dit wordt nader uitgewerkt in hoofdstuk 3.

  De gemiddelde gebouwzakking (C) is ook afhankelijk van de grondzettingslijn, waarbij aangegeven wordt op welke diepte de grondlagen met de grootste zettingen liggen.

  De verspreiding van de diverse bodemprofielen over het gebied moet ook een indicatie geven van de homogeniteit van de bodemopbouw, met andere woorden de kans dat over korte afstanden (5-15 m) grote verschillen in bodemopbouw en daarmee zettingsgevoeligheid zullen optreden (D). In hoofdstuk 5 worden de berekening van de maaiveldaling en de omrekening naar gebouwzakking behandeld.

* Bebouwing

  Van de bebouwing zijn drie aspecten van invloed op de schadeverwachting; het gebouwtype, het funderingstype en de huidige bouwtechnische staat.

  Het gebouwtype geeft een indicatie voor de schadegevoeligheid (D). Hierbij wordt onderscheid gemaakt in woning/boerderij, vrijstaand/rijtjespand, onderkelderd of niet, groot/klein.

Het funderingstype is bepalend voor de relatie (C) tussen maaiveld-daling en gemiddelde gebouwzakking. Een fundering op staal zal over het algemeen meezakken met de grondlagen onder het aanlegniveau, zodat de gemiddelde gebouwzakking bijv. 80% van de maaivelddaling bedraagt. Een fundering op lange palen ondervindt alleen invloed van toename van negatieve kleef langs de paal, zodat hier de gemiddelde gebouwzakking heel gering zal zijn, bijv. 5%.

De huidige bouwtechnische staat (F) wordt onderverdeeld in slecht, matig en goed. Uitgaande van een bepaalde toelaatbare totale schade zal de toelaatbare grondwaterstandsverlaging (en dus de nog te verwachten schade) voor een slecht pand kleiner zijn dan voor een goed pand.

De inventarisatie en schematisatie van de bebouwing in de provincie Gelderland wordt beschreven wordt beschreven in hoofdstuk 4.

* Krimp en oxydatie

  In gebieden waar de bovenste grondlagen uit veen of klei bestaan, moet rekening worden gehouden met oxydatie van het organisch materiaal en krimp van veen en klei waardoor ook een daling van het maaiveld optreedt. Het oxydatieproces is afhankelijk van de drooglegging en kan 2 tot 5 mm per jaar bedragen. In de onderzoeken naar schadeverwachting voor de bebouwing wordt het effect van krimp en oxydatie buiten beschouwing gelaten, omdat dit ter plaatse van de bebouwing geen rol speelt en dus geen invloed op de schadeverwachting heeft.

* Seculair effect

  Bij de berekening van de maaivelddaling wordt uitgegaan van de zogeheten 'eindzetting', dit is de theoretisch berekende zetting na een periode van ca. 30 jaar. Omdat het samendrukkingsproces gepaard gaat met een geleidelijke afvoer van water, zal bij slecht doorlatende grondsoorten zoals veen en klei de zetting langzaam tot zeer langzaam verlopen. In principe zal het proces zich blijven voortzetten, het seculair effect (seculair=eeuwigdurend), maar voor de berekening wordt een grens gelegd bij 30 jaar. In zandgronden verloopt het zettingsproces veel sneller. Door dit tijdsafhankelijke verloop van de zetting kan het ook voorkomen dat een schadeonderzoek gestart wordt in een gebied, waar nog een zettingsproces ten gevolg van eerdere peilaanpassingen in gang is. Bij de schadeverwachting moet hiermee rekening worden gehouden (B).

* Snelheid van de maaiveldaling
  Uit inventarisatie van schadegevallen die zijn opgetreden bij o.a. een aantal grote bemalingen (ref. 3) is gebleken dat de snelheid van de maaiveldaling een directe invloed (E) heeft op de schadeverwachting. Bij een geringe snelheid is de verwachte schade kleiner dan bij een hoge snelheid. Aan de hand van de beschikbare gegevens over gebouwzakkingen, verschilzakkingen en gebouwtype zijn relatiegrafieken opgesteld waaruit bij een bepaalde verschilzakking kan worden afgelezen welke soort schade verwacht kan worden.
* Aanvaardbare schade
  Bij de schadeverwachting wordt onderscheid gemaakt in geen schade, architectonische schade en matige schade. Voor elk onderzoek moet worden nagegaan welke schadecategorie nog als aanvaardbaar (G) wordt beschouwd. Hierbij worden ook de ervaringen in de huidige bouwpraktijk betrokken. In hoofdstuk 6 wordt de bepaling van de grenswaarden voor de schadecategoriën geen schade, architectonische schade en matige schade uitgebreid toegelicht.

Aan de hand van de op deze manier verzamelde gegevens wordt in hoofdstuk 7 aangegeven welke schadeverwachting hoort bij de veronderstelde verlaging van de grondwaterstand met 1 meter. De schadeverwachting is door de Provincie verwerkt op een kaart. Ter verduidelijking van het meest schadegevoelige gebied is ook een variantberekening gemaakt voor een kleinere verlaging van de grondwaterstand, met een bijbehorende kaart.

3. BODEMOPBOUW

3.1 Inleiding

De bodemopbouw in de provincie Gelderland is ten behoeve van dit onderzoek geïnventariseerd door de Rijks Geologische Dienst. De resultaten van dit onderzoek staan vermeld in de rapporten BP 10627 en BP 10698 (ref. 1 en 2). In dit hoofdstuk worden de voornaamste resultaten samengevat, waarbij het accent ligt op de gegevens die van belang zijn voor het schadegevoeligheidsonderzoek.

3.2 Geologisch overzicht

De afzettingen in de ondergrond van Nederland kunnen worden ingedeeld op grond van hun lithologische samenstelling, ontstaanswijze en ouderdom. De lithologische samenstelling en de voorkomende variaties worden in sterke mate bepaald door de geologische ontstaanswijze. De oudste afzettingen worden in Oost-Gelderland dicht onder het maaiveld aangetroffen. Het betreft hier in de meeste gevallen vast gesteente. Dit gesteente duikt in westelijke richting onder jongere afzettingen weg. Het onderste deel hiervan bestaat uit zand en/of zeer compacte klei die in zee is afgezet. Het bovenste deel bestaat uit rivierafzettingen, voornamelijk zand. Het zijn met name deze afzettingen, die gedurende de voorlaatse ijstijd (het Saalien) door het landijs zijn verplaatst, waardoor ter plaatse van de Gelderse vallei en de Gelderse IJssel diepe glaciale bekkens zijn ontstaan. Het verplaatse materiaal ligt nu aan de randen van de bekkens in de vorm van stuwwallen. In de bekkens werden na het afsmelten van het ijs fijnkorrelige sedimenten gedeponeerd. Op enkele plaatsen in Oost-Gelderland ligt keileem aan of dichtonder het maaiveld. Gedurende het Saalien en de laatste ijstijd (Weichselien) werden buiten het bereik van het landijs zandige riviersedimenten afgezet. In de warmere tijd tussen de twee ijstijden werd op N.A.P.-niveau fijnkorrelig en/of venig materiaal afgezet in met name de Gelderse Vallei en het IJsseldal. Uit de laatste ijstijd stammen de in Oost-Gelderland en in de Gelderse vallei aan het maaiveld liggende zanden, waaronder ook de dekzanden. De warmere periode na de laatste ijstijd wordt het Holoceen genoemd.

In deze periode werd door de rivieren zand en klei afgezet. In het rivierengebied en langs het IJsselmeer vond buiten het directe bereik van de riviersedimentatie veenvorming plaats.

3.3 Bodemprofielen

Op grond van de verzamelde gegevens over bodemopbouw, boringen en bodemparameters is door de Rijks Geologische Dienst een lithologische indeling gemaakt. Uitgaande van 7 voorkomende hoofdgroepen is de bodemopbouw verder onderverdeeld in 26 bodemprofielen. Als hoofdgroepen zijn aangehouden:

Zk	zandig kleidek op zand
K	kleidek op zand
V	veen op zand
KVK	klei en veen op klei op zand
KV	klei op veen op zand
Z	zand
C	complexe opbouw.

In de diverse bodemprofielen is een variatie in opeenvolging en dikte van de lagen aangenomen. Een overzicht van de gebruikte bodemprofielen wordt gegeven in bijlage 3A. De bodemprofielen zijn toegekend aan coördinaatpunten met een raster van 250 * 250 meter, dat over de hele provincie gelegd is. Per coördinaatpunt zijn ook gegevens verzameld over de grondwaterstand in de uitgangssituatie. Hiervoor is de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (G.L.G.) aangehouden zoals vermeld op de grondwatertrappenkaart van de STIBOKA. Door de Rijks Geologische Dienst is op deze manier een databestand gemaakt met per coördinaatpunt een bodemprofiel en een uitgangsgrondwaterstand.

Voor de berekening van de maaiveldaling ten gevolge van een verlaging van de grondwaterstand met 1 meter moeten per bodemlaag de volgende parameter bekend zijn: volumegewicht nat/droog γ_n / γ_d, vertikale waterdoorlatendheid k_v, samendrukkingsconstante $1/C_p$. De hiervoor aangehouden waarden staan vermeld op bijlage 3B (ref. 2).

4. BEBOUWING

4.1 Inleiding

De mate waarin door een maaivelddaling schade aan een gebouw optreedt is, naast de grootte van de zakkingsverschillen, afhankelijk van de gevoeligheid van dat gebouw voor schade. De gevoeligheid voor schade is onder meer afhankelijk van de wijze van funderen, de gebouwconstructie (stijfheid) bouwperiode (d.w.z. ouderdom) het al of niet aanwezig zijn van kelders en de bouwtechnische staat. Gelet op de omvang van de bebouwing in de provincie Gelderland en de wens van de Provincie Gelderland om de kaart als signalering van probleemgebieden te gebruiken, is voor dit onderzoek afgezien van een complete inventarisatie van de bebouwing. De inventarisatie heeft derhalve een globaal verkennend karakter, waarbij grootte, ouderdom, funderingstype en gebouwtype van de representatieve bebouwing in een aantal gebieden met een kenmerkende bodemopbouw zijn geïnventariseerd. Aan de hand van de verzamelde gegevens betreffende de bebouwing kan een kenmerkend referentiepand per gebied en vervolgens voor de hele provincie samengesteld worden.

4.2 Inventarisatie

4.2.1 Uitgangspunten

Gelet op het eerder genoemde globale karakter van de inventarisatie is het bepalen van een aantal uitgangspunten en aannames, alvorens met de daadwerkelijke inventarisatie zou worden begonnen, belangrijk. Deze worden onderstaand in het kort genoemd:

- De provincie wordt in een aantal gebieden opgedeeld met een overwegend kenmerkende bodemopbouw in elk gebied. Voor de schadegevoelige bebouwing kan op deze manier ook een eventueel streekgebonden verschil in schadegevoeligheid meegenomen worden.
- Het schadegevoelige referentiepand zal samengesteld worden aan de hand van de kenmerkende facetten (ouderdom, grootte, constructietype, funderingswijze, bouwtechnische staat) van de bebouwing in de genoemde gebieden. (zie Tabel 4.2)

- Voor het doel van dit onderzoek wordt aangenomen dat nieuwbouw "goed" gefundeerd is, waardoor de inventarisatie zich toe zal spitsen op de voor schade maatgevende oudere bebouwing bijv.: oude dorpskernen, oude boerderijen en dijkwoningen, oude arbeiderswoningen/buurten, enz.
  De facetten van deze bebouwing zullen maatgevend zijn voor het referentiepand.
  Laatstgenoemde aanname betekent niet dat als toch schadegevoelige nieuwbouw aanwezig is, deze dan niet wordt meegenomen.
- De karakterisering en gemiddelde bouwtechnische staat van de bebouwing van vóór 1945 wordt representatief gesteld voor de schadegevoeligheid van een bepaald gebied (schadegevoeligheidsgrens). Als ondergrens wordt uitgegaan van een bouwtechnisch als "slecht" te kwalificeren relatief schadegevoelig referentiepand en als bovengrens van een als "goed" te kwalificeren weinig schadegevoelig referentiepand.

4.2.2 Werkwijze

De inventarisatie heeft uit drie delen bestaan, namelijk een literatuur studie, een vragenlijst gericht aan de gemeentelijke instanties gevolgd door een persoonlijk gesprek en het uitvoeren van een optische beoordeling van de bebouwing in elk van de gebieden.

De inventarisatie is gestart met het opdelen van de provincie in 7 gebieden. Aan de hand van de door de Rijks Geologische Dienst opgestelde lithologische overzichtskaart van Gelderland en de maaivelddalingskaart (ref.1, 2) zijn de in Tabel 4.1 aangegeven gebieden gekozen als gebieden met kenmerkende bodemopbouw. Het is uiteraard niet mogelijk om in één gebied slechts één bepaalde bodemopbouw te vinden. Wel is gepoogd om de gebieden dusdanig af te bakenen dat er overwegend één type bodemopbouw zou voorkomen, bijvoorbeeld gebied 1 - de Veluwe, met overwegend een zandige bodemgesteldheid. In elk van de 7 gebieden is daarna weer één gemeente gekozen als representatief voor dat specifieke deelgebied. De onderverdeling in gebieden is weergegeven op bijlage 4A.

Het kriterium bij de bepaling van een representatieve gebiedsgemeente is geweest dat deze middelgroot moet zijn en ongeveer dezelfde bodemopbouwvariatie heeft als het betreffende gebied.

Deel 1 inventarisatie - literatuurstudie.

Aan de hand van gegevens uit archieven, publicaties en kaarten zijn inlichtingen omtrent de huidige bebouwings-situatie in de provincie Gelderland ingewonnen. De gegevens zijn ontleend aan:

a) Topografische kaarten.
b) kaarten, funderingsadviezen, bemalingsrapporten en grondonderzoekgegevens uit de ABT-archieven.
c) Publicaties van het Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening.
d) Publicaties van het CBS.
e) Publicaties van de Provincie Gelderland dienst ROV.
g) publicaties, stadsplattegronden, monumentenlijsten e.d.; uitgegeven door Gelderse gemeenten.

Deel 2 inventarisatie - vragenlijst en gesprekken.

Aan elk van de 7 gebiedsgemeenten is een door ABT opgestelde vragenlijst gestuurd (zie bijlage 4B). De vragenlijst werd gericht aan die afdeling en/of persoon binnen de gemeente, die geïnformeerd zou zijn over de bouwkundige en civiel-technische toestand van de in de betreffende gemeente voorkomende bebouwing. De vragenlijst richtte zich met name op grondgebruik, bebouwingstype, funderingswijze, toestand van de bebouwing, gebieden die in het kader van dit onderzoek nadere aandacht behoeven en de in het verleden uitgevoerde bemalingen, inclusief de invloed hiervan op de omgeving. Na beantwoording van de vragenlijst, volgde een gesprek met deze gemeentelijke instanties om een nadere toelichting te verkrijgen omtrent de bebouwing. In vele gevallen konden uitgebreide gegevens worden verkregen omtrent de funderingswijze, bouwtechnische problemen enz. betreffende de bebouwing in het gebied. Bij geen der gemeenten was informatie voorhanden over de in het verleden opgetreden zettingen c.q. de hieruit voortkomende schadelijke gevolgen.

Verdere bruikbare gegevens zoals het al dan niet voorkomen van onderkeldering, het percentage oudere schadegevoelige bebouwing t.o.v. de totale bebouwing, enz. tesamen met de uit de vragenlijst bekende gegevens, zijn verwerkt tot één geheel waardoor een representatief modelpand per gebied kon worden samengesteld.

TABEL 4.1 - INDELING DEELGEBIEDEN (zie bijlage 4A)

Gebied nr.	Kenmerkende bodemopbouw	Zettings-klasse	Representatieve Gemeente	Streeknaam	Overige Gemeenten in dit gebied.
1	overwegend zandgronden	overwegend: 1 ook: 3	Nunspeet	Veluwe - Noordwest-Veluwe - Oost-Veluwe - West-Veluwe - Zuid-Veluwezoom	Oldebroek, Hattem, Heerde, Elburg, Epe, Voorst, Apeldoorn, Harderwijk, Ermelo, Brummen, Rheden, Rozendaal, Arnhem, Renkum, Ede, Scherpenzeel, Barneveld, Hoevelaken, Putten, Wageningen.
2	zandgronden met tussenlagen van klei, leem of veen.	overwegend: 3 ook: 4	Ruurlo	Oost-Gelderland - Gebied van Zutphen - Oost-Achterhoek - Oude-IJsselstreek	Gorssel, Zutphen, Warnsveld, Lochem Neede, Borculo, Eibergen, Groenlo Vorden, Steenderen, Hengelo, Zelhem, Lichtenvoorde, Aalten, Dinxperlo, Wisch, Doetinchem.
3	Variabel; Zandgronden met tussenlagen van zware klei en veen.	1 t/m 3	Didam	Midden- en Oost-Gelderland - Oude-IJsselstreek - Rijk van Nijmegen - Over-Betuwe	Doesburg, Steenderen, Hummelo, Doetinchem, Genderingen, Bergh, Wehl, Angerlo, Zevenaar, Rijnwaarden, Millingen a/d Rijn, Ubbergen, Gendt, Bemmel, Elst, Valburg, Nijmegen, Groesbeek, Heumen, Wijchen.
4	Zand op keileem/kalksteen.	2	Winterswijk	Oost-Gelderland - Oost Achterhoek	Eibergen, Winterswijk, Lichtenvoorde, Aalten.
5	veen en kleilagen op zand	overwegend: 7 ook: 5, 6	Nijkerk	Veluwe - West-Veluwe	Putten
6	Rivierafzettingen, zware klei op zand.	overwegend: 4 ook: 2, 3	West Maas en Waal	Rivierenland - West-Betuwe - Midden-Betuwe	Zevenaar, Duiven, Westervoort, Arnhem, Huissen, Bemmel, Gendt, Elst, Heteren, Valburg, Wageningen, Kesteren, Lienden, Dodewaard, Beuningen, Wijchen, Druten, Echteld, Tiel, Neerijnen, Rossum, Maasdriel, Hedel, Ammerzoden, Kerkwijk.
7	Veen op klei en zware klei op veenlagen	overwegend: 5 ook: 4, 6	Lingewaal	Rivierenland - West-Betuwe - Bommelerwaard	Lienden, Maurik, Buren, Culemborg, Geldermalsen, Brakel, Neerijnen, Zaltbommel, Kerkwijk, Rossum.

ZETTINGSKLASSE

(Ontleend aan zettingenkaart ref. 2 bijlage 1).

1... < 1 mm 5... 50 - 100 mm
2... 1 - 10 mm 6...100 - 150 mm
3... 10 - 25 mm 7...150 - 200 mm
4... 25 - 50 mm

Deel 3 inventarisatie - optische beoordeling.

Teneinde een indruk te krijgen van de bouwtechnische staat, het percentage gerenoveerde oudere bebouwing, de grootte van de woningen alsmede de ouderdom is een optische beoordeling per gebied uitgevoerd. Gezien de omvang van de bebouwing per gebied is aan de hand van de verzamelde gegevens van de representatieve gemeenten een zo omvattend mogelijke optische beoordeling opgezet.
Van veelvoorkomende gebouwtypen, schadegevoelige gebouwen (oude dijkwoningen, slecht gefundeerde oude bebouwing enz.) zijn foto's gemaakt om zodoende het generalisatieproces tot één modelpand te vergemakkelijken. De verzamelde gegevens van de inventarisatie zijn weergegeven in Tabel 4.2. Hierin zijn per gebied de volgende aspecten verzameld: functie, ouderdom, grootte, konstruktietype, restauratie, fundering, bouwtechnische staat en percentage oude bebouwing.

4.3 Bouwtechnische staat

Bij het optisch beoordelen van de bouwtechnische staat van de bebouwing zijn de gebouwen als slecht, matig of goed geklassificeerd. Onder de klassificatie "slecht" wordt verstaan doorgaande scheurvorming ten gevolge van gebreken in de fundering, die relatief snel kan leiden tot constructieve schade. In tegenstelling hiermee wordt "goed" geklassificeerde bebouwing beschouwd als bebouwing met weinig of geen scheurvorming, goed gefundeerd en daardoor relatief weinig schadegevoelig. De als "matig" geklassificeerde bebouwing valt tussen laatstgenoemde klassificaties in; hieronder wordt verstaan lichte scheurvorming die relatief snel kan leiden tot enige architectonische schade. Uit de resultaten van de optische beoordeling blijkt dat de bouwtechnische staat van de schadegevoelige bebouwing (d.w.z. oudere bebouwing, voornamelijk van vóór 1945) overwegend als matig geklassificeerd kan worden. In de niet zandige klei- en veen gebieden (West Maas en Waal, Nijkerk) wordt de in bouwtechnische zin "slechte" bebouwing aangetroffen, daarentegen wordt in de rest van de provincie bouwtechnisch "matige" bebouwing aangetroffen terwijl op de Veluwe en in de Achterhoek de bebouwing als "goed" kan worden geklassificeerd. (zie Tabel 4.2).

Tabel 4.2 GEGEVENS OPTISCHE BEOORDELING REPRESENTATIEVE SCHADEGEVOELIGE BEBOUWING

Gemeente	Nunspeet 1		Ruurlo 2		Didam 3		Winterswijk 4	
	Kernen	Buitengebied	Kernen	Buitengebied	Kernen	Buitengebied	Kernen	Buitengebied
Functie	woonhuis	woonhuis boerderij	woonhuis	woonhuis boerderij	woonhuis	woonhuis boerderij	woonhuis	woonhuis boerderij
Ouderdom	± 100 jr.	± 100-120 jr.	± 80 jr.	± 120 jr.	± 80 jr.	± 80 jr.	± 70 jr.	± 100 jr.
Grootte	- klein tot normaal	- hallenhuis boerderij - groot	- normaal	- hallenhuis boerderij - groot	- klein tot normaal	- groot	- normaal tot groot	- groot
Konstruktie-type/restauratie	- trad. - laagbouw - ca. 90% gerest	- trad. - ca. 75% gerest.	- trad.	- trad. - ca. 70% gerest.	- trad. - laagbouw	- trad. - ca. 20% op terpen. - 90% gerest.	- trad. - vrij-staand	- trad. - ongerest.
Fundering	- op staal - kelders	- op staal	- op staal - ondiepe kelders	- op staal	- op staal - geen kelders	- op staal - geen kelders	- op staal - deels onder-kelderd	- kleine kelders met opkamers
Bouwtechn. staat	- goed	- goed	- slecht tot matig	- matig	- matig tot goed	- matig tot goed	- goed	- goed
Percentage van voor 1945	15%	60%	30%	60%	20%	10%	25%	90%

Gemeente	Nijkerk 5		West Maas en Waal 6		Lingewaal 7	
	Kernen	Buitengebied	Kernen	Buitengebied	Kernen	Buitengebied
Functie	woonhuis/winkel	woonhuis/boerderij	woonhuis	woonhuis/boerderij	woonhuis	woonhuis/boerderij
Ouderdom	± 150 jr.	± 100 tot 150 jr.	± 60 jr.	± 150 jr.	± 100 jr.	± 150 jr.
Grootte	klein	- hallenhuis type - groot	normaal	- dijkboerderijen - hallenhuizen - groot	normaal	- dijkboerderijen - groot
Konstruktie type/restauratie	- traditioneel - laagbouw - veel gerest.	- traditioneel - ca. 20% gerest.	- traditioneel - laagbouw	- 2 lagen aan dijk - ook op terpen - traditioneel	- trad. - ca. 80% gerest.	- traditioneel - ca. 80% gerestaureerd.
Fundering	- op staal - ca. 60% met kelders	- op staal	- op staal met grindbed - gedeeltelijk onderkelderd	- op staal met kleine kelders	- op staal - zandruggen - niet onder-kelderd	- op staal - kleine boogkelders. - op dijken
Bouwtechn.-nische staat	- slecht tot matig - veel scheefstand	- matig tot goed	- slecht	- slecht	- matig	- slecht tot matig
Percentage van voor 1945	20%	85%	40%	75%	50%	60%

4.4 Fundering

Uit de gesprekken gevoerd met de gemeenten en de resultaten van het vragenformulier blijkt dat tot ca. 1945 nagenoeg alle bebouwing in de provincie Gelderland op staal is gefundeerd. In de meer zettingsgevoelige gebieden (gebieden 5, 6 en 7) bestaat de na-oorlogse funderingswijze uit diepere funderingen in de vorm van houten palen en later betonpalen; de betonnen palen hebben veelal een schachtafmeting van 250 mm met een toelaatbare belasting van 200 à 300 kN.

Uitgaande van de resultaten kan de representatieve fundering van de schadegevoelige bebouwing als volgt worden omschreven.

- de funderingen bestaan uit gemetselde of betonnen stroken.
- het gemiddelde aanlegniveau ligt op 60 cm tot 70 cm - M.V.
- kelders komen wel voor, zijn vrij klein maar dienen in het algemeen niet specifiek als funderingselement.

In sommige gebieden komen grondverbeteringen onder de funderingstroken voor, sporadisch maakte men ook gebruik van een vleilaag bestaande uit oude dakpannen (Nijkerk).

4.5 Boerderijen

De boerderijen van voor 1945 bestaan uit een woning met schuur onder één dak. Dit soort boerderijen staat bekend als hallenhuis-boerderijen en komen zeer regelmatig voor in de provincie. Gezien het grote oppervlak van het geïnventariseerde gebied zijn ook uiteraard andere typen boerderijen aanwezig, met name in de riviergebieden waar de oudere boerderijen tegen dijken aan zijn gebouwd. Deze boerderijen hebben een woongedeelte van twee lagen, deels gelegen op de dijk, waardoor de bovenste verdieping van het woongedeelte op dijkniveau ligt, met daarachter een aangebouwd schuurgedeelte dat binnendijks op hetzelfde aanlegniveau ligt als het begane grondgedeelte van de woning.

Deze schuren zijn over het algemeen vrij groot en zijn in het algemeen niet gerestaureerd, terwijl het woongedeelte vaak wel gerestaureerd is. De gevels zijn van metselwerk. De buitenmuren van de woongedeelten van de boerderijen bestaan uit steensmetselwerk, terwijl de buitenmuren van de schuren uit halfsteensmetselwerk bestaan. Het metselwerk van oude boerderijen heeft over het algemeen voegen van kalkmortel.
Sommige boerderijen hebben kleine ondiepe kelders met opkamers, de kelders dienen niet specifiek als funderingselement.
De dijkboerderijen tonen over het algemeen veel scheurvorming en scheefstand, en worden doorgaans bouwtechnisch geklassificeerd als "slecht" (zie tabel 4.2; West Maas en Waal - buitengebied; Lingewaal - buitengebied).

4.6 Woningen

Woningen kunnen onderverdeeld worden naar grootte. Kleine woningen, meestal vroegere arbeiderswoningen, komen in veel gemeenten voor. Deze huisjes zijn gerestaureerd en zijn nu derhalve over het algemeen in een "goede" bouwtechnische staat terug te vinden. Het metselwerk bestaat uit steens buitenmuren met halfsteens binnenmuren. Niet uit te sluiten is dat renovatie noodzakelijk was vanwege een slechte fundering en daardoor opgetreden schade in het verleden.

De tweede groep zijn de woningen van normale grootte. Deze groep is ook het meest vertegenwoordigd en komt vooral voor in de kernen in de provincie. Vaak is de begane grond verdieping omgebouwd tot bedrijfs/-winkelpand. Deze woningen zijn soms "onderkelderd" maar staan doorgaans op staal. In de dorpskernen staan de woningen over het algemeen tegen elkaar aangebouwd. Gezien het feit dat deze groep woningen het meest voorkomt loopt de bouwtechnische staat uiteen van slecht tot goed, maar het gros kan als matig worden geklassificeerd.
De grotere woningen, bestaande uit vroegere herenhuizen en villa's, zijn over het algemeen goed gefundeerd en tonen derhalve minder tekenen van schade door zettingen. Deze woningen kunnen bouwtechnisch gezien doorgaans als "goed" worden geklassificeerd.

4.7 Conclusies

De verzamelde gegevens over de schadegevoelige bebouwing in de provincie Gelderland zijn gebruikt om de kengetallen van een referentiepand samen te stellen. Hierbij is uitgegaan van het onderzoek naar de effecten van peilverlagingen en de aanleg van de Markerwaard op de bebouwing dat door ABT is uitgevoerd (ref. 3,12) Voor ca. 20 in Noord-Holland voorkomende bebouwingstypen is een schematisatie opgesteld en zijn sterkte- en kostenberekeningen gemaakt. Deze basisgegevens zijn nu ook gebruikt om de bebouwing in Gelderland te analyseren op schadegevoeligheid.
Uit de resultaten van de bebouwings-inventarisatie blijkt dat de schadegevoeligheidsgrens voor de maatgevende bebouwing wordt gerepresenteerd door een modelpand gebaseerd op de voor-oorlogse bebouwing in de provincie Gelderland. Na oorlogse bebouwing is in het algemeen beter gefundeerd en toont duidelijk minder schade door zettingen.

Zoals verwacht toont de bebouwing in de zettingsgevoelige gebieden, d.w.z. tussen de rivieren en in de Gelderse vallei, een duidelijke tendens tot scheurvorming als gevolg van zettingen, er zijn in deze gebieden namelijk vroeger geen extra maatregelen genomen om gebouwzakking te voorkomen (dieper funderen, paalfunderingen e.d.).
Over het algemeen kan worden gesteld dat alle vooroorlogse bebouwing op staal is gefundeerd met een gemiddeld aanlegniveau van de funderingstroken van ca. 60 cm tot 70 cm - m.v. In sommige gebieden, waar de grondwaterstand redelijk diep onder maaiveld voorkomt, zijn de vooroorlogse gebouwen onderkelderd, maar de onderkeldering werd hier niet specifiek toegepast als funderingselement; wel zijn zij daardoor schadegevoeliger door verschilzetting tussen het niet en wel onderkelderde gedeelte.
Boerderijen hebben in laatstgenoemde gebieden over het algemeen een ondiepe kelder in het woondeel met opkamer.

Constructief gezien zijn bij ca. 85% van alle vooroorlogse bebouwing de buitenmuren opgetrokken uit een massieve eensteensmuur of spouwmuur, met binnenmuren bestaande uit halfsteens metselwerk. Wat de toegepaste dakconstructie betreft, blijkt dat het merendeel een dakconstructie met gordingen en spanten heeft, bedekt met keramische dakpannen. Boerderijen hebben soms een ander type dakbedekking, zoals riet.

Om na te gaan in hoeverre het nu verkregen beeld van de bebouwing representatief is voor de provincie, is een vergelijking gemaakt met beschikbare gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek en van de provincie Gelderland (ref. 4 en 5). Hieruit is als vergelijkbaar kenmerk de verhouding vooroorlogse bebouwing/totale bebouwing genomen. Uit tabel 4.3 blijkt dat volgens de optische beoordeling het percentage vooroorlogse bebouwing t.o.v. de totale bebouwing ca. 33% bedraagt, terwijl het provinciale gemiddelde voor deze verhouding op ca. 25% ligt.

Dit verschil kan worden verklaard uit het feit dat de optische beoordeling heeft plaats gevonden in de plattelandsgemeenten, waardoor de verhouding oud/totale bebouwing hoger zal liggen dan in de groeigemeenten zoals Arnhem, Nijmegen, Ede-Wageningen enz. Als de grotere groeicentra worden meegerekend zal de verhouding oude/totale bebouwing een lager niveau bereiken. Naar verwachting zal voor de schadegevoeligheid de nadruk minder op de groeicentra liggen, zodat de verhouding redelijk representatief lijkt te zijn.

TABEL 4.3 - VERHOUDING OUDE BEBOUWING/TOTAAL

Representatieve Gemeente	Nunspeet	Ruurlo	Didam	Winterswijk	Nijkerk	West Maas en Waal	Lingewaal
Woningen totaal	7765	2350	5055	10088	8165	5673	3542
Vóór 1945 (geschat)	1780	928	974	3372	2410	2760	1466
Percentage oud	23%	39%	19%	33%	29%	49%	41%

Provinciale gemiddelde oude bebouwing t.o.v. totale bebouwing: 25%.
Totaal aantal woningen : 630227 (Bron - Provincie Gelderland dienst ROV, ref. 4)
Totaal woningen vóór 1945: 154803 (Bron - CBS, ref. 5)

Provinciale gemiddelde (oud/totaal) volgens optische beoordeling: 33%.

5. MAAIVELDDALING EN GEBOUWZAKKING

5.1 Inleiding

Voor het zettingsgevoeligheidsonderzoek van de provincie Gelderland is als uitgangspunt aangenomen dat de grondwaterstand overal 1 meter verlaagd wordt. Ten gevolge van deze verlaging van de grondwaterstand komen bodemlagen, die eerst onder water lagen, nu boven water te liggen. De opwaartse druk, die deze bodemlagen in de oude situatie ondervonden van het grondwater, vervalt zodat de onderliggende lagen zwaarder belast worden. De drukverhoging in de onderste lagen leidt tot een samendrukking. Omdat de bodem met water verzadigd is, treedt de samendrukking niet direkt op, maar pas na verloop van tijd als het overspannen water is afgestroomd. Dit langzaam verlopende zettingsproces wordt consolidatie genoemd en zal resulteren in een daling van het maaiveld. In zandgronden is de consolidatie na korte tijd (ca. 1 jaar) beëindigd, in veen- en kleigronden kan dit zeer lang duren. Bij het onderzoek wordt gewerkt met de totale zetting die na 30 jaar zal zijn opgetreden, de rekenkundige eindzetting. Een indicatie van de snelheid waarmee het proces verloopt wordt gegeven door de grootte van de hydrodynamische periode, die door de Rijks Geologische Dienst per coördinaatpunt is bepaald en verzameld op een kaart (ref. 2).

5.2 Berekening maaiveldaling

De berekening van de maaiveldaling per bodemprofiel is door de Rijks Geologische Dienst uitgevoerd met behulp van een computerprogramma gebaseerd op de zettingsformule van Terzaghi-Buisman. Voor elk bodemprofiel is een berekening gemaakt van de zetting bij twee situaties: een hoge grondwaterstand in de uitgangssituatie (hoogste G.L.G.) en een lage grondwaterstand in de uitgangssituatie (laagste G.L.G.). In het databestand is aan elk coördinaatpunt een uitgangsgrondwaterstand toegekend die ligt tussen de hoogste en de laagste G.L.G., zodat daarmee voor elk punt de maaiveldaling berekend kan worden.

De resultaten van de zettingsberekeningen zijn toegeleverd aan ABT ten behoeve van het schadegevoeligheidsonderzoek. De eindzettingen zijn ook verwerkt in een rasterkaart van het onderzoeksgebied. Een grote eindzetting treedt op in het westelijk rivierengebied en langs het IJsselmeer. De grootte van de zetting is hier sterk afhankelijk van de dikte van de veenlagen en neemt in oostelijke richting af. De zandige stroomruggen in het rivierengebied tekenen zich af door een geringere zetting. Met name bij deze stroomruggen kunnen over korte afstanden grote zettingsverschillen ontstaan.
Grote delen van de Gelderse Vallei, de Veluwe en de Achterhoek bestaan hoofdzakelijk uit zand, waarbij de berekende zetting klein is. Dit geldt ook voor het meest oostelijke deel van de Achterhoek waar oudere klei en keileemlagen aan het oppervlak liggen. In deze gebieden geldt bovendien dat in veel mindere mate rekening hoeft te worden gehouden met zettingsverschillen over korte afstanden. Over het gehele gebied genomen geldt dat 30% geen zetting van enige betekenis vertoont en dat voor 90% de berekende maaiveldaling kleiner is dan 50 mm.
In tabel 5.1 wordt een overzicht gegeven van de berekende maaiveldaalingen per bodemprofiel bij de hoogste en bij de laagste G.L.G.

5.3 Relatie maaiveldaling - gebouwzakking

Zoals vermeld in de probleemstelling zal een maaiveldaling een gebouwzakking tot gevolg hebben. De grootte van de gemiddelde gebouwzakking is afhankelijk van een aantal faktoren:
- de grootte van de berekende maaiveldaling
- het verloop van de zetting met de diepte
- het funderingstype

De grootte van de berekende maaiveldaling is voor elk coördinaatpunt bekend. Het verloop van de zetting met de diepte is af te leiden uit de zettingsberekeningen. Hierbij is vooral van belang of het grootste deel van de zetting dicht onder het maaiveld optreedt of dat er een gelijkmatige verdeling over de diepte is. Uit de inventarisatie van de bebouwing (hoofdstuk 4) is gebleken dat de representatieve schadegevoelige bebouwing op staal gefundeerd is. Bij een fundering op staal wordt de belasting vanuit het gebouw via funderingsstroken direkt aan de ondergrond afgedragen. De gebouwzakking zal daarom gelijk zijn aan de zetting van de grondlagen beneden het aanlegniveau.

De gebouwzakking in relatie tot de daling van het maaiveld is berekend volgens de zettingstheorie van Terzaghi, rekening houdend met een korrelspanningsafhankelijke samendrukkingsconstante, spanningsspreiding onder de fundering en de hogere korrelspanning in de ondergrond ter plaatse van de bebouwing.
De grootte van de gemiddelde gebouwzakking, uitgedrukt in procenten van de vrije maaivelddaling, is afhankelijk van het aanlegniveau en het verschil in korrelspanning in de verschillende grondlagen onder het gebouw en in het vrije maaiveld. Per bodemprofiel is deze verhouding berekend (tabel 5.1 rechterkolom).

Tabel 5.1 Berekening maaivelddaling en gebouwzakking

Bodem profiel	Situatie hoge G.L.G. gws t.o.v. mv	berekende maaiveld daling	Situatie lage G.L.G. gws t.o.v. mv	berekende maaiveld-daling	verhouding gebouw-zakking/ maaiveld-daling hoge G.L.G.	lage G.L.G.
	m-mv	mm	m-mv	mm	%	%
A.	0,8	8	1,6	4	70	70
B.	0,0	36	1,6	5	30	50
C.	0,8	13	1,6	7	54	61
D1.	0,5	49	1,6	28	75	83
D2.	0,8	23	1,6	13	63	71
D3.	0,8	23	1,6	13	63	71
E.	0,0	179	1,6	5	3	67
F.	0,5	125	1,2	40	38	48
G1.	0,8	80	1,6	34	76	80
G2.	0,5	71	1,6	22	71	77
G3.	0,8	39	1,6	22	62	67
G4.	0,5	70	1,6	41	74	80
G5.	0,8	32	1,6	18	64	67
H1.	0,5	122	1,6	68	56	67
H2.	0,5	99	1,2	74	73	80
I.	0,0	171	1,6	16	27	45
J.	0,5	41	15,0	0	59	59
K.	0,0	28	40,0	0	70	70
L.	0,8	10	1,6	4	67	80
M.	0,0	0	30,0	0	95	95
N.	0,0	0	1,6	0	95	95
O.	0,5	0	1,6	0	95	95
P.	0,5	0	40,0	0	95	95
Q.	0,0	16	1,6	9	61	83
R.	1,6	0	50,0	0	95	95
ZZ.	0,0	0	1,6	0	95	95

5.4 Bepaling van de verschilzakking

Bij een langzaam verlopende gelijkmatige zakking zal er weinig schade ontstaan aan een woning. In de praktijk blijkt echter dat de gebouwzakking meestal niet gelijkmatig is. Bepaalde punten van het gebouw zullen meer zakken dan andere punten. Dit wordt veroorzaakt door variatie in de belasting op funderingsniveau en/of door variatie in de bodemopbouw onder het gebouw. De invloed van de variatie in bodemopbouw is afhankelijk van de afstand tussen de meest zettingsgevoelige lagen en het aanlegniveau van de fundering. Per bodemprofiel is aan de hand van de grondzettingslijn bepaald wat de relatie is tussen de maximale verschilzakking en de gemiddelde gebouwzakking voor een op staal gefundeerd referentiepand. De hiervoor toegepaste berekeningsmethode is door ABT ontwikkeld voor het onderzoek naar de effecten van peilverlagingen en is gebaseerd op modelberekeningen, literatuurgegevens en ervaring (ref. 3). In par. 6.2.3. zijn onder punt 4 enkele waarden genoemd.

6. SCHADENORMEN EN SCHADEVERWACHTING

6.1 Inleiding

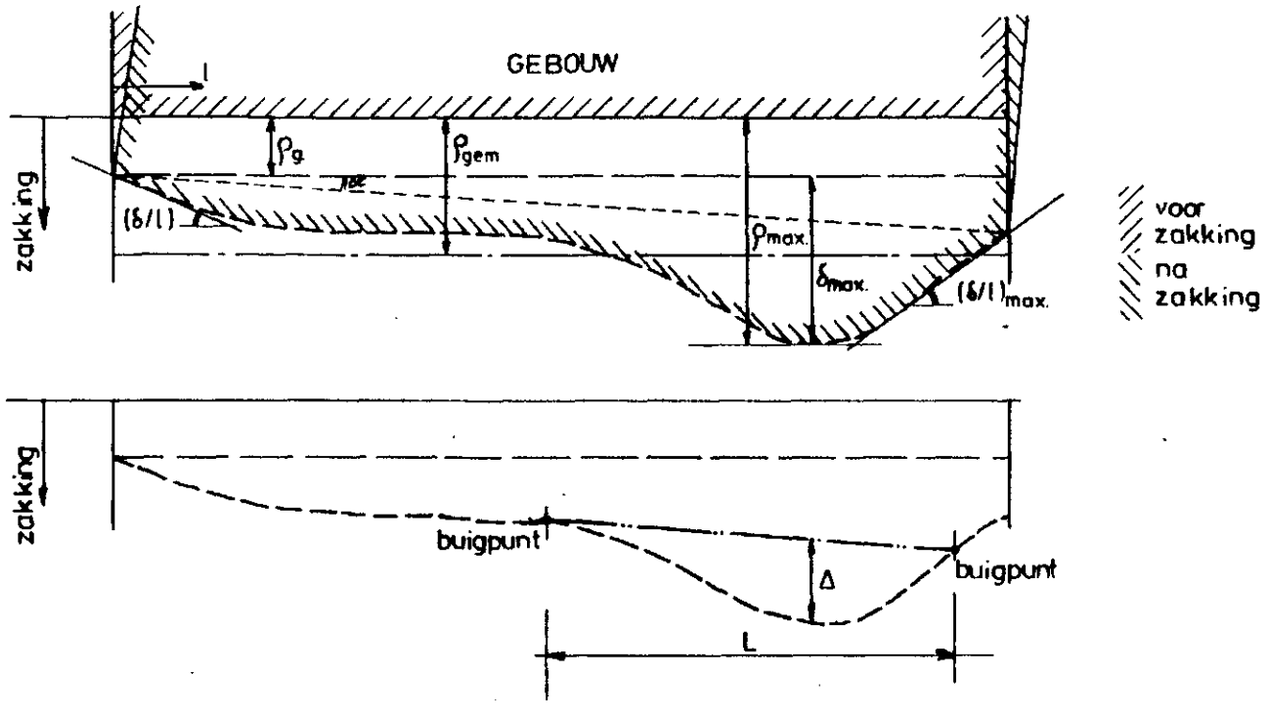
In dit hoofdstuk wordt aangegeven op welke wijze de toelaatbare waarden voor gebouwzakking bepaald worden. Voor een schematisch overzicht wordt verwezen naar het rechterdeel van het stroomschema (figuur 2.1) dat bij de probleemstelling besproken is. Aan de hand van de berekende waarden kan dan voor elke situatie de schadeverwachting worden opgesteld. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van de gekozen modelsituatie.

6.2. Vervormingen van funderingen

6.2.1 Algemeen

In de praktijk blijkt dat de gebouwzakking zoals die in 5.3 berekend is, zelden gelijkmatig is. Door een niet homogene bodemopbouw en een niet gelijke belasting op funderingsniveau zullen bepaalde punten van het gebouw meer dan gemiddeld of minder dan gemiddeld zakken. Bovendien speelt de gebouwstijfheid een belangrijke rol. Reeds opgetreden scheurvorming en discontinuïteiten in de constructie, zoals ramen en deuropeningen, veroorzaken een geringere mogelijkheid tot spanningsspreiding en dus een grotere verschilzakking.

Het blijkt dat het optreden van schade aan bebouwing vaak een funktie is van de maximale verschilzakking tussen twee punten en/of van de afstand tussen die twee punten. In onderzoeken naar schade aan bebouwing wordt daarom, behalve met de gemiddelde gebouwzakking ook gewerkt met een aantal andere parameters. In figuur 6.1 zijn deze schematisch weergegeven.



Figuur 6.1 Maatgevende parameters gebouwzakking

- Minimale of gelijkmatige gebouwzakking ρ_g
- Maximale zakking ρ_{max}
- Gemiddelde zakking $\rho_{gem} = (\rho_{max} + \rho_g)/2$
- Scheefstand α, met name van belang voor bruikbaarheidseisen van leidingen.
- Maximum verschilzakking tussen twee punten δ_{max}
- Relatieve hoekverdraaiing (δ/l)

  Door Skempton en Mac Donald is gebruik gemaakt van de maximale helling van de doorbuigingscurve $(\delta/l)_{max.}$ om zakking en schade te correleren.
- Buigingsverhouding (Δ/L)

  Hierbij worden buigpunten (momentnulpunten) in de doorbuigingscurve verbonden door een rechte lijn. In geval van zuivere buiging zal de lengte L vaak overeenkomen met de lengte van het gebouw ($L = l_{gebouw}$). In dat geval is $\Delta = \delta$ en $(\Delta/L) = 0{,}5 \times (\delta_{max}/l_{gebouw})$; de maximale hoekverdraaiing $(\delta/l)_{max}$ is meestal iets groter.

Reeds bij het ontwerp van een draagconstructie moet rekening worden gehouden met een opgelegde vervorming ten gevolge van het zakken van de fundering. Meestal is dit een gecompliceerde berekening en blijft het beperkt tot benaderende berekeningen waarvan het gedrag van de constructie in de praktijk in vele gevallen afwijkt.
Meerdere onderzoekers hebben hierin aanleiding gezien om een groot aantal schadegevallen systematisch te analyseren. (ref. 6-9)Hiernavolgend zullen de belangrijkste conclusies uit die onderzoeken worden aangegeven. Wel moet worden opgemerkt dat uit de literatuur naar voren komt dat de onderzoekers het onderling niet altijd eens zijn. De hier vermelde conclusies worden dan ook niet door alle onderzoekers gedeeld. Wel is dit een illustratie van het feit dat toevallige of lokale omstandigheden sterk bepalend blijven voor de vraag welke gebouw (verschil) zakking toelaatbaar is.

6.2.2 Toelaatbare zakking en vervorming van nieuwbouw

In de nieuwe concept-richtlijnen voor nieuwbouw, zoals de TGB 1986 "Belastingen en vervormingen" (ref. 10) en SBR-rapport 149 "Richtlijnen voor paalfunderingen" (ref. 11) zijn toelaatbare waarden gegeven voor gebouw (verschil)-zakkingen. Zoals ook in de TGB nader aangegeven is, zijn deze waarden richtwaarden en geen exact afgeleide grootheden. Aanbevolen wordt dan ook van geval tot geval na te gaan of er aanleiding bestaat de eisen aan te passen. In overeenstemming met wat internationaal gebruikelijk is, wordt onderscheid gemaakt in architectonische schade waarbij het uiterlijk van het gebouw aangetast wordt en constructieve schade waarbij essentiële onderdelen van de draagconstructie in hun functioneren aangetast worden. Voor normale gebouwen met wanden van metselwerk (in skeletbouw of in stapelbouw), wordt voor architectonische schade uitgegaan van een toelaatbare relatieve hoekverdraaiing ($\delta/1$) van 1:300 à 1:500. Dit wordt hieronder nader uitgewerkt.

Skeletbouw

Bij skeletbouw wordt de draagstructuur gevormd door kolommen en balken. Binnen het aldus gevormde skelet worden binnen- en buitengevels aangebracht, die in principe geen dragende funktie vervullen. Over het algemeen worden voor skeletbouw met metselwerk scheidingswanden de grenswaarden aangehouden zoals vastgesteld door Skempton en Mac Donald; $\delta/l < 1:300$ als grenswaarde voor architectonische schade en $\delta/l < 1:150$ als grenswaarde voor constructieve schade (ref. 6). In tabel 6.1 zijn een aantal grenswaarden voor architectonische schade weergegeven, afhankelijk van het toegepaste funderingstype en de ondergrond.

Tabel 6.1. Toelaatbare zakking en vervorming skeletbouw volgens Skempton en Mac Donald.

Funderingstype Grondslag	Palen en poeren op zand	op klei	Plaat en stroken op zand	op klei
Max. zakking ρ_{max} (mm)	50	75	50-75	75-125
max. verschil-zakking δ_{max} (mm)	30	45	30	45

Stapelbouw

Bij stapelbouw wordt de belasting afgedragen via vloeren en wanden. In dat geval is er sprake van dragende gevels. Voor gebouwen bestaande uit dragend metselwerk lopen de meningen betreffende de toelaatbare waarden sterk uiteen. De toelaatbare waarden ($\delta/l < 1:300$) van Skempton en Mac Donald zijn niet voor deze situatie afgeleid.

Over het algemeen is de toelaatbare verschilzakking voor dragend metselwerk kleiner dan voor skeletbouw.
Bovendien wordt het als zinvol ervaren om bij de grenswaarden rekening te houden met de verhouding tussen de lengte en de hoogte (L/H) van het gebouw en om onderscheid te maken tussen neerwaartse buiging (⌣) en opwaartse buiging (⌒).

Dit laatste geval is bijzonder schadegevoelig omdat de neutrale buigingsas onder in de muur zit waardoor, bij een zelfde hoekverdraaiing, de scheuren in de muur groter zijn. De scheurvorming zal in het midden aan de bovenzijde van de muur optreden.
Over het algemeen wordt in beperkte mate rekening gehouden met de afneme van optredende spanning door kruip wanneer de zettingen geleidelijk in de tijd optreden. Voor oudere bebouwing, die gemetseld is met zachte steen en kalkspecie, geldt dat veel grotere hoekverdraaiingen kunnen optreden zonder dat er sprake is van schade.
Als indicatie zijn in tabel 6.2 enkele door onderzoekers gevonden toelaatbare waarden aangegeven voor de relatieve hoekverdraaiing bij architectonische schade.
Hieruit blijkt dat in zijn algemeenheid bij neerwaartse buiging een toelaatbare waarde van (δ/l) = ca. 1:750 redelijk goed overeenkomt met het gemiddelde van de verschillende onderzoeksresultaten.

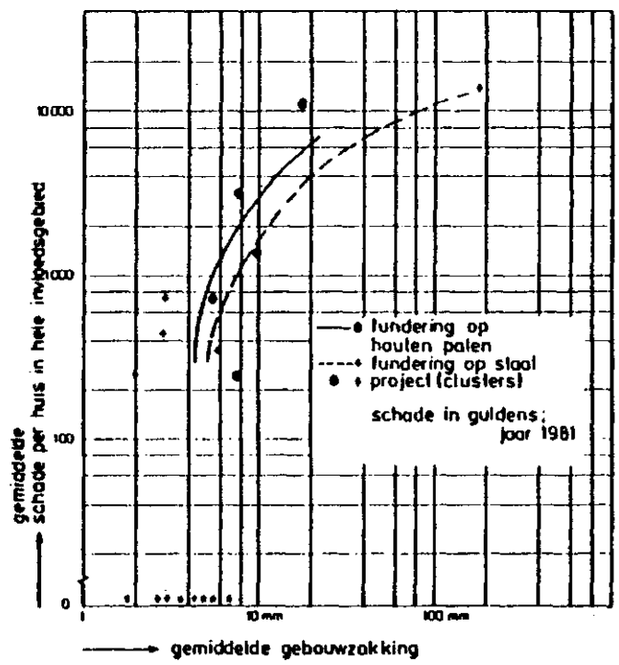
Tabel 6.2 Toelaatbare vervorming stapelbouw

Auteurs	Toelaatbare waarden relatieve hoekverdraaiingen (δ/l) voor fundering op palen en staal; architectonische schade
Grant et al.	1 : 300
Sowers	1 : 1000
Polshin	1 : 920 ($L/H \leq 3$; $\Delta/L = 0{,}0004$)
	1 : 580 ($L/H \geq 5$; $\Delta/L = 0{,}0006$)
Burland	1 : 600* (neerwaartse buiging)
	1 : 1200* (opwaartse buiging)
* $(\delta/l) = (\delta/l)_{max}$.	

6.2.3 Toelaatbare zakking en vervorming van bestaande gebouwen

De eerder genoemde richtlijnen (ref. 10, 11) zijn opgesteld voor het ontwerpen van nieuwbouw en gebaseerd op veilige grenzen. Bij zakking van een reeds bestaand pand zal niet altijd worden voldaan aan de huidige voorschriften.

In het kader van een onderzoek naar de gevolgen van de aanleg van de Markerwaard op de bebouwing in Noord-Holland is daarom een schademodel ontwikkeld (ref. 12). Dit model is verder uitgewerkt voor de Landinrichtingsdienst (ref. 3). Aanvullend is door ABT het model bijgewerkt op basis van nader onderzoek en opgedane ervaringen. Ten behoeve van het Markerwaardonderzoek zijn de schadelijke gevolgen van een aantal grote bemalingsprojecten onderzocht. Totaal zijn hierbij ca. 5000 woningen in beschouwing genomen. Circa 12% hiervan had schade (fig. 6.2). In het onderzoek naar de gevolgen van de aardgaswinning in Slochteren is een constructief rekenmodel opgezet om na te gaan wat de invloed van bodemdaling op geschematiseerde rijtjeswoningen zal zijn (ref. 13).

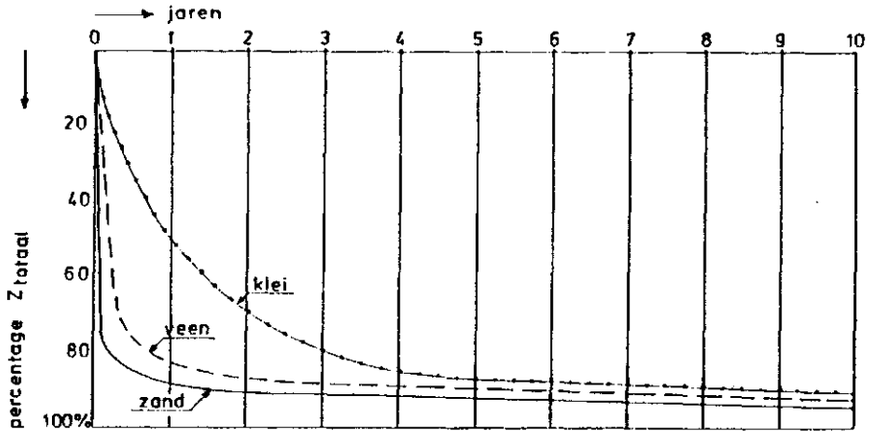


Figuur 6.2 Resultaten inventarisatie schadegevallen bemalingen.

Uit voornoemde recente onderzoeken kunnen met betrekking tot toelaatbare zakkingen en vervormingen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De toelaatbare gebouwzakking is voor bebouwing op palen niet wezenlijk anders dan voor bebouwing op staal (figuur 6.2). Bij een fundering op palen heeft de samendrukking van de ondergrond, door een extra paalbelasting in de vorm van negatieve kleef, een indirecte invloed op de gebouwzakking. Bij een fundering op staal is wel sprake van een directe invloed. Op grond daarvan is de toelaatbare maaiveldaling bij een fundering op palen veel groter dan bij een fundering op staal.

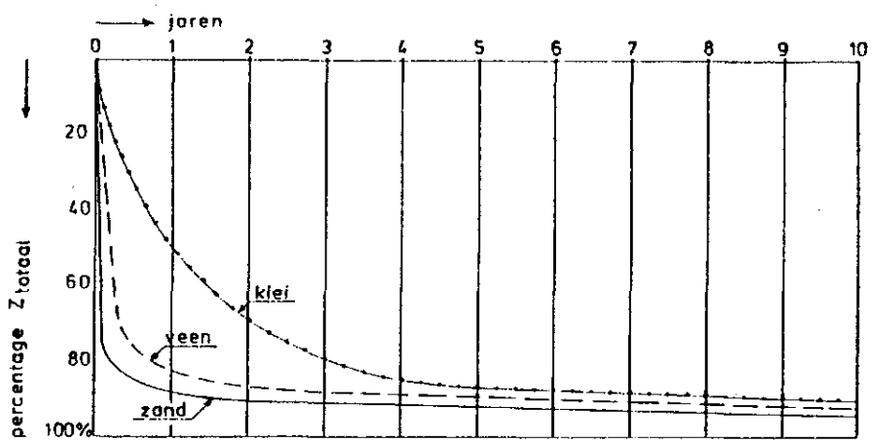
2. Wanneer de vervorming langzaam optreedt neemt de toelaatbare gebouwdeformatie duidelijk toe. De schadeverwachting is afhankelijk van de zettingssnelheid. De snelheid waarmee het zettingsproces optreedt hangt af van de snelheid van de doorgevoerde verlaging (bijv. 400 mm ineens of 50 mm per jaar) en van de bodemopbouw. Over het algemeen zal in zandige gronden de zetting zeer snel optreden, zodat na 1 jaar ca. 80% van de eindzetting bereikt is.
   In klei en veenhoudende gronden is het zettingsproces tijdsafhankelijk (fig. 6.3). Voor een 'gemiddelde' zettingssnelheid is aangenomen dat in 1 jaar 35-50% van de eindzetting bereikt is. Voor een 'geringe' zettingssnelheid is aangenomen dat in 1 jaar 10 à 15% van de eindzetting bereikt is. In het geval van een geringe zettingssnelheid heeft de bebouwing meer tijd om zich door kruip en herverdeling aan te passen aan de gewijzigde omstandigheden, zodat minder kans op schade bestaat. Eenzelfde effekt treedt op bij gebouwen met voegen van kalkmortel, die een grotere vervormingscapaciteit hebben dan gebouwen met voegen van cementmortel.



Figuur 6.3 Tijd-zakkingsverloop

3. Bij een extreem langzame gebouwzakking is niet zozeer de totale gebouwzakking maatgevend maar veeleer de snelheid waarmee de zakking optreedt. Indien bijvoorbeeld de verlaging van de grondwaterstand gelijk is aan de maaivelddaling kan gesproken worden van een extreem langzame gebouwzakking. Dit het geval wanneer in veenweidegebieden sprake is van een continue peilaanpassing.

2. Wanneer de vervorming langzaam optreedt neemt de toelaatbare gebouwdeformatie duidelijk toe. De schadeverwachting is afhankelijk van de zettingssnelheid. De snelheid waarmee het zettingsproces optreedt hangt af van de snelheid van de doorgevoerde verlaging (bijv. 400 mm ineens of 50 mm per jaar) en van de bodemopbouw. Over het algemeen zal in zandige gronden de zetting zeer snel optreden, zodat na 1 jaar ca. 80% van de eindzetting bereikt is.
   In klei en veenhoudende gronden is het zettingsproces tijdsafhankelijk (fig. 6.3). Voor een 'gemiddelde' zettingssnelheid is aangenomen dat in 1 jaar 35-50% van de eindzetting bereikt is. Voor een 'geringe' zettingssnelheid is aangenomen dat in 1 jaar 10 à 15% van de eindzetting bereikt is. In het geval van een geringe zettingssnelheid heeft de bebouwing meer tijd om zich door kruip en herverdeling aan te passen aan de gewijzigde omstandigheden, zodat minder kans op schade bestaat. Eenzelfde effekt treedt op bij gebouwen met voegen van kalkmortel, die een grotere vervormingscapaciteit hebben dan gebouwen met voegen van cementmortel.



Figuur 6.3 Tijd-zakkingsverloop

3. Bij een extreem langzame gebouwzakking is niet zozeer de totale gebouwzakking maatgevend maar veeleer de snelheid waarmee de zakking optreedt. Indien bijvoorbeeld de verlaging van de grondwaterstand gelijk is aan de maaivelddaling kan gesproken worden van een extreem langzame gebouwzakking. Dit het geval wanneer in veenweidegebieden sprake is van een continue peilaanpassing.

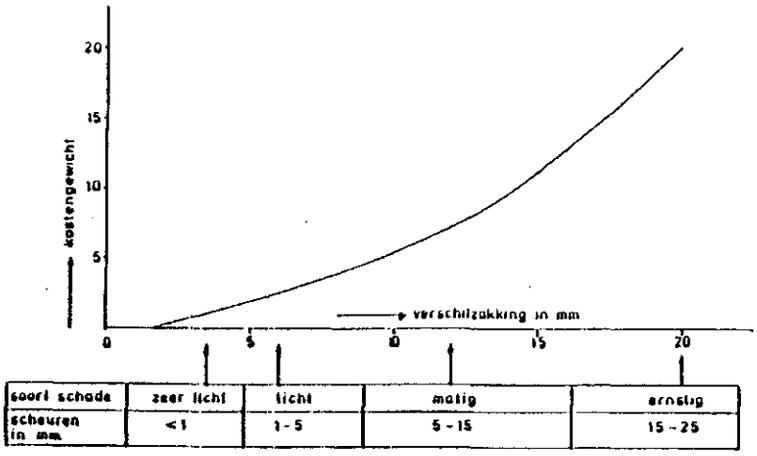
4. De relatie tussen de maximum verschilzakking δ_{max} en de maximum relatieve hoekverdraaiing $(\delta/l)_{max}$ is niet eenduidig door de sterk variërende waarde voor l. Voor constructieve schade geeft het maximale zakkingsverschil δ_{max} een betere indicatie van de te verwachten schade dan de hoekverdraaiing $(\delta/l)_{max}$.

Voor de relatie tussen δ_{max} en de gemiddelde gebouwzakking ρ_{gem} wordt onderscheid gemaakt in laagbouw en middelhoog/hoogbouw.
Voor laagbouw kan als indicatie worden uitgegaan van δ_{max} = 0,25 à 0,5* ρ_{gem}, zowel voor funderingen op staal als op palen. Indien de samenwerking van de ondergrond relatief dicht onder het aanlegniveau van de fundering ligt, is de verschilzakking relatief groot. Wanneer de samendrukbare lagen diep liggen is deze laag.
Bij funderingen op staal wordt de verhouding tussen δ_{max} en ρ_{gem} in belangrijke mate bepaald door de afstand tussen het aanlegniveau van de fundering en het niveau van de grondlagen waarin de grootste zetting optreedt. Indien de samendrukking van de ondergrond relatief dicht onder het aanlegniveau van de fundering optreedt, is de verschilzakking relatief groot. Wanneer de samendrukbare lagen diep liggen is deze laag.
Bij funderingen op houten palen wordt de verhouding beïnvloed door de variatie in paalafmeting, puntdraagvermogen en negatieve kleef. Gemiddeld zal de verhouding δ_{max}/ρ_{gem} = 0,4 zijn. Als ρ_{gem} kleiner is dan 10% van de maaiveldaling wordt de verhouding 0,5 en als ρ_{gem} groter is dan 25% van de maaiveldaling dan wordt de verhouding δ_{max}/ρ_{gem} = 0,3.
Middelhoogbouw en hoogbouw wordt gekenmerkt door een grotere stijfheid en een betere mogelijkheid tot spanningsherverdeling. Voor deze gebouwen is de verhouding tussen δ_{max} en ρ_{gem} kleiner dan 0,25. Wanneer ρ_{gem} bekend is, kan δ_{max} worden bepaald aan de hand van de grondzettingslijn. Hieruit kunnen de maatgevende vervormingen worden afgeleid (paragraaf 5.4). (ref. 3).

5. De schadegevoeligheid van een vrijstaande woning is over het algemeen groter dan een rijtjeswoning. Bij vrijstaande woningen bevinden zich in de gevel vaak veel discontinuïteiten zoals ramen en deuren. Wanneer onder zo'n gevel enkele palen een geringer draagvermogen hebben, kan dat snel leiden tot scheuren. Bij rijtjeswoningen staan de palen onder de stijve tussenmuren. Wanneer hier enkele palen een geringer draagvermogen hebben, wordt de belasting wel door de andere palen overgenomen. Bij rijtjeswoningen blijft de schade meestal beperkt tot de voor- en achtergevel. Bij vrijstaande woningen kan ook schade optreden aan de zijmuren (invloed 30 à 40% op de toelaatbare gebouwzakking)
   Bij sterk inhomogene bodemopbouw ten gevolge van bijv. oude stroomgeulen kan bij rijtjeswoningen wel een relatief grote schade ontstaan wanneer een bouwmuur ten opzichte van de naast gelegen muur sterk verzakt. In dat geval spreekt met van een zgn. scharnierpand.

6. De kans op schade is afhankelijk van de huidige bouwtechnische staat van het pand. Hierbij wordt op grond van de aanwezige scheurvorming onderscheid gemaakt in slecht, matig en goed.
   Uit berekeningen en de inventarisatie van schadegevallen blijkt dat een pand dat bouwtechnisch slecht is bij een bepaalde gebouwzakking eerder en mogelijk meer schade hoeft dan een pand dat bouwtechnisch goed is; het inkasseringsvermogen voor een extra gebouwzakking is veel geringer. Voor de geïnventariseerde bebouwing in Noord-Holland (ref. 12) bleek de schadegevoeligheid van de oude bebouwing drie - tot viermaal zo groot te zijn als van de naoorlogse rijtjeswoningen.

7. Globaal blijkt dat bij een verdubbeling van de verschilzakking zeer lichte schade overgaat in lichte schade, lichte in matige en matige in ernstige schade.
   Bovendien is de relatie tussen soort schade en kosten niet lineair (fig. 6.4).



Figuur 6.4 Indicatie gemiddelde relatie tussen verschilzakking en schade

8. Uit de resultaten blijkt dat voor een gemiddelde laagbouw woning, als indicatie, bij een gemiddelde zakkingssnelheid, de grenswaarde voor architectonische schade kan worden gesteld op een gemiddelde gebouwzakking van ca. 7 à 15 mm (afhankelijk van de bouwtechnische staat).

   In dit verband moet worden opgemerkt dat in de buitenlandse literatuur als ontwerp-grenswaarde voor architectonische schade aan nieuwbouw een gemiddelde gebouwzakking van 30 tot 60 mm wordt aangehouden. Uit de geïnventariseerde schadegevallen is wel gebleken dat deze normen zeker niet toegepast mogen worden voor het beoordelen van de kans op schade aan bestaande Nederlandse woonbebouwing ten gevolge van een maaiveldaling.

   Enerzijds wordt dit veroorzaakt door de relatief geringe stijfheid van een woning ten opzichte van de stijfheid van de onderzochte gebouwen, die overwegend in skeletbouw uitgevoerd waren. Anderzijds kunnen in Nederland de zettingsverschillen als gevolg van een inhomogene bodemopbouw over een relatief korte afstand sterk verschillen. Bovendien speelt de tijd waarin de gebouwzakking optreedt een niet onbelangrijke rol.

   Bij nieuwbouw bestaat de gebouwzakking uit twee onderdelen: de elastische samendrukking van constructie en (paal)fundering onder invloed van toenemende belasting en de tijdsafhankelijke samendrukking van de bodemlagen onder het funderingsniveau. Een gedeelte van de berekende gebouwzakking zal zeker gelijkmatig zijn en treedt op tijdens de bouw wanneer het gebouw nog flexibel is en de toelaatbare deformatie van metselwerk het grootst. In dat stadium zijn, bij skeletbouw, de scheidingsmuren vaak nog niet gemetseld.

De uiteindelijk door de definitieve constructie op te nemen resterende gebouwzakking is dan kleiner dan de genoemde 30 tot 60 mm.

Uit voorgaande conclusies blijkt dat met betrekking tot toelaatbare vervormingen van bestaande gebouwen en toelaatbare gebouwzakkingen een genuanceerde benadering noodzakelijk is. Op basis van literatuur, geïnventariseerde schadegevallen en aanvullende berekeningen zijn relaties opgesteld tussen maaivelddaling, gebouwzakking en gemiddeld te verwachten schade (ref. 3). Met behulp van deze relaties is het mogelijk grenzen vast te stellen voor gebouwzakking en maaivelddaling waarbij een bepaalde mate van schade aan de bebouwing wordt verwacht. Deze grenzen bepalen tevens de toelaatbare verlaging van de grondwaterstand. Wanneer de toelaatbare verlaging bekend is, is ook aan te geven in welke situatie of in welke mate compenserende maatregelen moeten worden genomen om schade te voorkomen. In navolgende paragrafen wordt nader ingegaan op de schadenormen die kunnen worden aangehouden.

6.3 Frequentie-verdeling schadevoorkomen

Bij het opstellen van de schadeverwachting wordt onderscheid gemaakt in 2 soorten schaden: A-schade en B-schade.

De A-schade omvat de schadesoorten die optreden ten gevolge van vervorming van onderdelen van het gebouw, dat wil zeggen de bouwtechnische schade.

Deze schadesoort wordt bepaald door de grootte van de maximale verschilzakking (δ_{max}). Hieronder vallen voornamelijk scheuren in wanden, klemmende deuren en ramen, alsmede de hieruit voortvloeiende secundaire schade. De secundaire schade omvat de gevolgschade, zoals compensatie voor vermindering van de duurzaamheid van het gebouw, kosten voor technisch advies en rechtsbijstand. Gemiddeld betreft de secundaire schade circa 15% van de directe schade.

Indien de schadeafhandeling via een juridische procedure verloopt, kunnen de secundaire kosten hoger oplopen, soms tot een veelvoud van het primaire schadebedrag.

De B-schade omvat de schadesoorten, waarvan de schadegevoeligheid met name is gerelateerd aan de maximale zakking van het gebouw (ρ_{max}), de daling van het vrije maaiveld (ρ_{mv}) en het verschil tussen de vrije maaivelddaling en de gemiddelde bebouwzakking ($\rho_{mv} - \rho_{gem}$).

Hieronder valt bijvoorbeeld schade aan leidingen en rioleringen. Ook de schade die ontstaat door een eventuele scheefstand ten gevolge van buiging in het gebouw valt onder de B-schade.

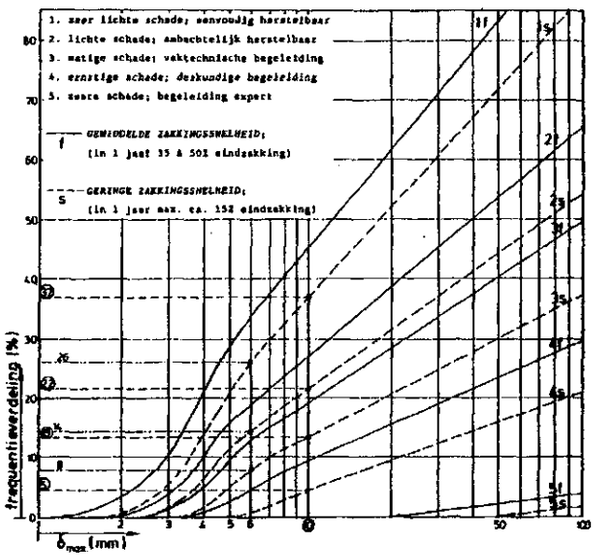
In de internationale literatuur over schade aan gebouwen worden de beide genoemde schadesoorten naar de ernst van de opgetreden schade en naar de moeilijkheidsgraad van herstel onderverdeeld in 5 schadeklassen. De schadeklassen lopen op van zeer lichte tot zeer ernstige schade. Per schadeklasse is een indicatie van het bijbehorende scheurenpatroon te geven. Zie hiervoor tabel 6.3.

Tabel 6.3 Indeling in schadeklassen.

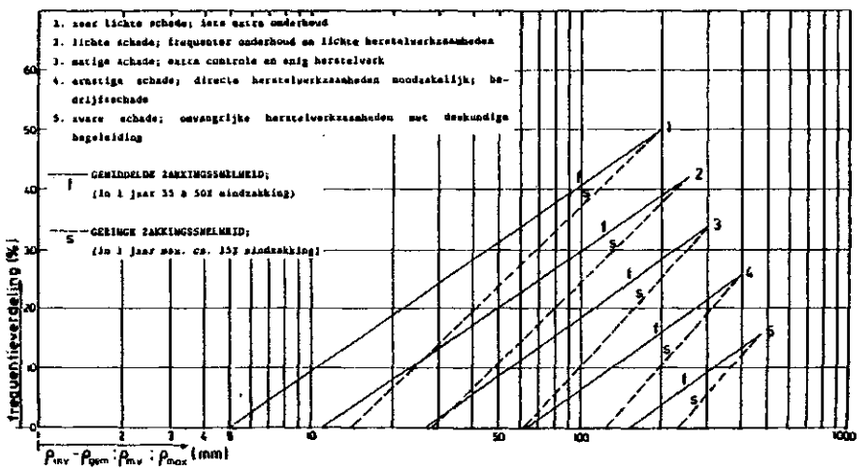
Klasse 0:	verwaarloosbare schade:
	- haarscheuren ter wijdte van max. 0,1 mm
Klasse 1:	zeer lichte schade:
	fijne scheuren ter wijdte van max. 1 mm
Klasse 2:	lichte schade:
	- scheuren ter wijdte van max. 5 mm
	- licht vervormde raam- en deurkozijnen
Klasse 3:	matige schade:
	- scheuren ter wijdte van max. 15 mm
	- vervormde raam- en deurkozijnen
	- lekkages
	- gescheurde dienstleidingen
Klasse 4:	ernstige schade:
	- scheuren ter wijdte van max. 25 mm
	- sterk vervormde raam- en deurkozijnen
	- merkbaar hellende vloeren (> 1:100)
	- muren bol of uit het lood (> 1:100)
	- enkele balken verliezen opleghoogte
	- afgebroken dienstleidingen
Klasse 5:	zeer ernstige schade:
	- scheuren ter wijdte van min. 25 mm
	- balken verliezen oplegging
	- muren zwaar uit het lood; moeten worden gestut
	- gebroken ramen
	- gevaar van instabiliteit

De klassen 1 en 2 zijn aan te merken als architectonische schade. De klassen 3 t/m 5 zijn aan te merken als constructieve schade. De kwalificatie 'reden tot amotie, instortingsgevaar' wordt het beste weergegeven met klasse 5.

De aldus omschreven theoretische schadeklassen zullen in een praktijkgeval altijd gecombineerd voorkomen. Het blijkt dat bij een bepaalde maaivelddaling/gebouwzakking een bepaalde frequentieverdeling bestaat tussen de diverse schadeklassen. In plaats van frequentieverdeling kan ook kansverhouding worden gelezen. De frequentieverdelingen voor de A-schaden als funktie van de maximale verschilzakking (δ_{max}) en voor de B-schaden als funktie van de maximale zakking van een gebouwonderdeel (ρ_{max}), de verschilzakking tussen maaiveld en gebouw ($\rho_{mv} - \rho_{gem}$) en de maaivelddaling (ρ_{mv}) zijn weergegeven in de figuren 6.5 en 6.6.

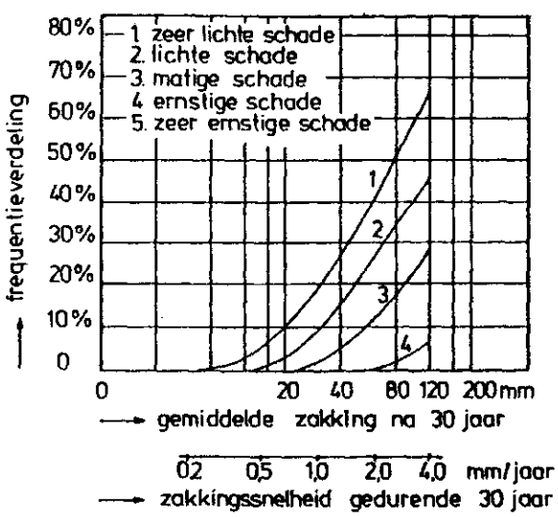


Figuur 6.5 Frequentieverdeling schadevoorkomen; norm A



Figuur 6.6 Frequentieverdeling schadevoorkomen; norm B.

De schadeverwachting is afhankelijk van de zettingssnelheid. De invloed van de zettingssnelheid is in de frequentiegrafieken verdisconteerd door verschillende schadelijnen bij verschillende zettingssnelheden te tekenen. (f = fast, s = slow). Voor metselwerk met kalkmortel en een 'gemiddelde' zettingssnelheid moet worden aangehouden de schadelijn die behoort bij een 'geringe' zettingssnelheid. In figuur 6.7 is de frequentieverdeling weergegeven in geval er sprake is van een extreem langzame zakkingssnelheid.



Figuur 6.7 Percentage verwachte schade bij extreem langzame zakkingssnelheid.

Binnen de grafieken wordt onderscheid gemaakt naar de 5 schadeklassen. Als voorbeeld kan in figuur 6.5 worden afgelezen dat bij een maximale verschilzakking (δ_{max}) van 10 mm en snelheid 's' de volgende kwalitatieve schade wordt verwacht:

100 - 37 = 63%	van de gebouwen geen schade (< A1)
37 - 22 = 15%	van de gebouwen zeer lichte schade (A1 - A2)
22 - 13 = 9%	van de gebouwen zeer lichte schade (A2 - A3)
13 - 5 = 8%	van de gebouwen zeer lichte, lichte en matige schade (A3- A4)
5 - 0 = 5%	van de gebouwen zeer lichte, lichte, matige schade en ernstige schade (> A4).

De grafiek kan ook als volgt worden vertaald:

kans op zeer lichte schade	= 37%	(A1)
kans op lichte schade	= 22%	(A2)
kans op matige schade	= 13%	(A3)
kans op ernstige schade	= 5%	(A4)

De frequentiegrafieken zijn opgesteld voor de zogenaamde 'standaardwoning' met een bouwtechnische staat die als matig tot goed kan worden omschreven. De invloed van de bouwtechnische staat en het type gebouw (boerderij, woning, historisch pand) op de schadeverwachting is niet in de frequentiegrafieken af te lezen.

Aan de hand van opgestelde kostennormen wordt deze invloed, voor een gemiddelde situatie, meegenomen bij de bepaling van de grenswaarden zoals weergegeven in volgende paragraaf.

Voor het verantwoord toepassen van de schadenormen en grenswaarden is het wel noodzakelijk te beschikken over voldoende ervaring op het gebied van bouwkundige constructies, kostencalculatie, opgetreden schade ten gevolge van gebouwzakkingen en de in dit rapport genoemde factoren die van invloed zijn op schadegevoeligheid van een gebouw. In dat geval kan ook een omrekening plaatsvinden naar kostennormen op grond van opgestelde kostenramingen per schadesoort/klasse.

6.4 Grenswaarden

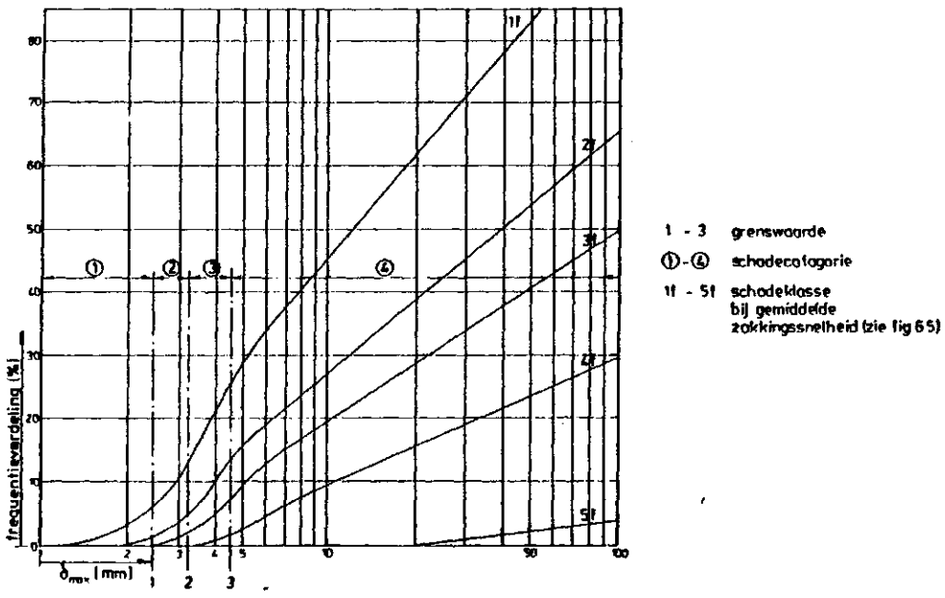
Met behulp van de frequentiegrafieken wordt het complete zettings-/schadebereik onderverdeeld in 4 schadecategoriën, gescheiden door 3 grenswaarden.
Per schadecategorie zal sprake zijn van een bepaalde combinatie van schadesoorten met ieder een verschillende kans van optreden. Voor de vaststelling van de grenswaarden tussen de schadecategoriën wordt een aantal criteria aangehouden. Dit wordt hieronder nader toegelicht.

De 3 grenswaarden worden benoemd aan de hand van het bijbehorende schadebeeld.

1. grenswaarde voor geen schade
2. grenswaarde voor architectonische schade
3. grenswaarde voor matige schade.

De schadecategoriën worden als volgt omschreven:

- categorie 1: de verschilzakking is kleiner dan de grenswaarde voor geen schade
- categorie 2: de verschilzakking ligt tussen de grenswaarde voor geen schade en de grenswaarde voor architectonische schade
- categorie 3: de verschilzakking ligt tussen de grenswaarde voor architectonische schade en de grenswaarde voor matige schade
- categorie 4: de verschilzakking is groter dan de grenswaarde voor matige schade



Figuur 6.8 Schematische weergave grenswaarden en schadecategoriën.

86.005

Bij iedere schadecategorie voor bebouwing hoort een kwalitatief schadebeeld, zoals onderstaand aangegeven.

1. De verschilzakking is kleiner dan de grenswaarde waarbij geen schade zal optreden. Theoretisch kan al schade optreden wanneer de verschilzakking van een gebouw circa 0,5 mm à 1,0 mm bedraagt.
   Als praktische grens geldt dat met geen enkele schade rekening behoeft te worden gehouden indien de grenswaarde voor geen schade niet wordt overschreden (categorie 1). Als gemiddelde per pand geldt dan het volgende schadebeeld:
   - geen matige schade (A3);
   - verwaarloosbare kans op lichte schade (A2);
   - zeer geringe kans op zeer lichte schade (A1).

2. De verschilzakking is groter dan de grenswaarde voor geen schade maar kleiner dan de grenswaarde voor architectonische schade. In dat geval is de gemiddelde schadeverwachting per pand:
   - geen ernstige schade (A4);
   - verwaarloosbare kans op matige schade (A3);
   - zeer geringe kans op lichte schade (A2);
   - geringe kans op zeer lichte schade (A1).

3. De verschilzakking is groter dan de grenswaarde voor architectonische schade, maar kleiner dan de grenswaarde voor matige schade. In dat geval is de gemiddelde schadeverwachting per pand:
   - geen zware schade (A5);
   - verwaarloosbare kans op ernstige schade (A4);
   - zeer geringe kans op matige schade (A3);
   - geringe kans op lichte schade (A2);
   - enige zeer lichte schade te verwachten (A1).

   Wanneer de grenswaarde voor architectonische schade wel wordt overschreden, maar de grenswaarde voor matige schade niet, bestaat een zeer geringe kans op constructieve schade (A3) en een geringe kans op architectonische schade (A2).
   De oorzaak moet meestal worden gezocht in niet van te voren te onderkennen schadegevoeligheid van een pand. In dat geval kan enige schade niet worden uitgesloten.
   In de huidige bouwpraktijk wordt deze niet voorzienbare schade dan ook algemeen geaccepteerd als verzekerbaar risico. Wel zal rekening moeten worden gehouden met schadevergoedingen.

4. De verschilzakking is groter dan de grenswaarde voor matige schade. In dat geval moet rekening worden gehouden met enige constructieve schade (A3) wat kan leiden tot niet meer verwaarloosbare schadeclaims.
   Van belang is hierbij wel de mate waarin de grenswaarde wordt overschreden (zie ook fig. 6.5) Wanneer derhalve de grenswaarde voor matige schade wordt overschreden is nader onderzoek naar compenserende maatregelen noodzakelijk of moet een geschat schadebedrag in de totale begroting worden opgenomen.

De grootte van de grenswaarden uitgedrukt in maaivelddaling, wordt in sterke mate bepaald door bodemopbouw en grondzettingslijn (relatie tussen maaivelddaling, gemiddelde gebouwzakking ρ_{gem} en verschilzakking δ_{max}), en door de bouwtechnische staat van een pand (relatie frequentieverdeling schadevoorkomen, gemiddelde gebouwzakking en verschilzakking).

De invloed van bodemopbouw en grondzettingslijn kan als gemiddelde voor een gebied met een bepaald bodemprofiel worden aangehouden. De invloed van de bebouwing wordt in rekening gebracht door onderscheid te maken in grenswaarden voor panden die bouwtechnisch slecht, matig of goed zijn.

De grenswaarde voor matige schade ligt voor een slecht pand lager dan voor een goed pand om in beide gevallen te kunnen spreken van een 'zeer geringe kans op matige schade'. Derhalve zijn de genoemde drie grenswaarden tussen de schadecategoriën afhankelijk van de schadegevoeligheid van de bebouwing in een bepaald gebied en dus zowel van de bebouwing als van het betreffende bodemprofiel.

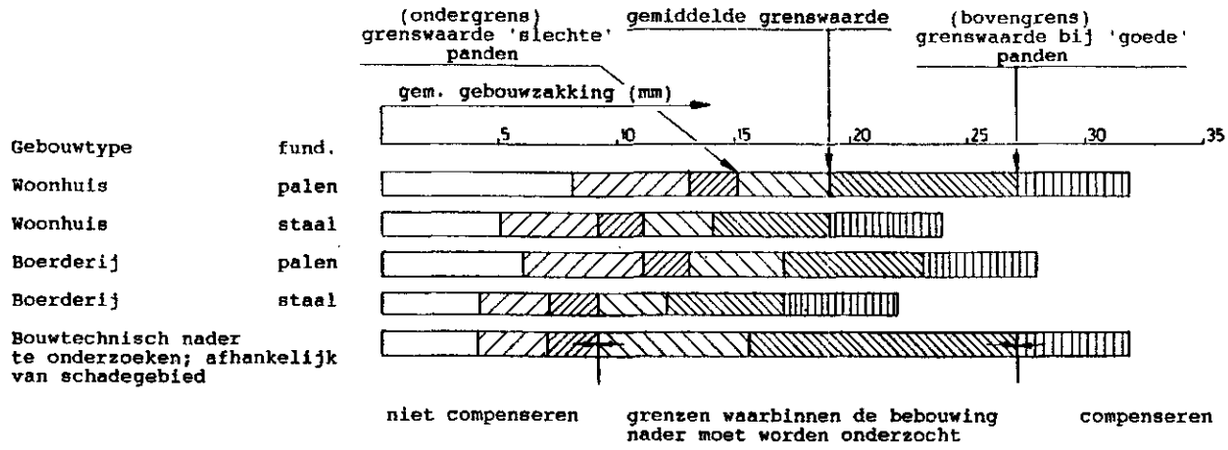
Bij een verkennend vooronderzoek worden gewoonlijk de volgende grenswaarden voor matige schade vastgesteld, een en ander gebaseerd op een globale beoordeling van de bebouwing in een bepaald gebied:
- als ondergrens de grenswaarde behorend bij een voor de schadegevoeligheid als representatief te beschouwen slecht pand;
- als bovengrens de grenswaarde behorend bij een goed pand;

- als gemiddelde de grenswaarde behorend bij de gemiddelde schadegevoeligheid in een gebied. Daardoor ontstaat een beeld van de gemiddelde schadegevoeligheid in een bepaald gebied, afgestemd op de karakteristieke eigenschappen van de bebouwing in dat gebied. Soms kan dit beeld per deelgebied sterk verschillen.

Geografisch kan op deze manier een gebied worden verdeeld in zogenaamde schadegebieden (figuur 6.9).

Als de berekende gebouwzakking kleiner is dan de ondergrenswaarde voor gebouwen met een bouwtechnisch slechte staat, wordt geen of alleen architectonische schade (A1/A2) verwacht: nader onderzoek is dan niet noodzakelijk.
Als de berekende gebouwzakking ligt tussen de ondergrenswaarde en de bovengrenswaarde voor een bouwtechnisch goed pand, is er een geringe kans op matige schade (A3) bij alle panden die bouwtechnisch minder dan 'goed' zijn. In dit gebied is een nader onderzoek van de bebouwing noodzakelijk om vast te stellen waar slechte/goede bebouwing voorkomt en dus wel of geen compenserende maatregelen moeten worden getroffen om schade te voorkomen. Als de berekende gebouwzakking groter is dan de bovengrenswaarde moet bij alle panden, ook bij de goede, rekening worden gehouden met de kans op matige schade (A3). Een onderzoek naar de bouwtechnische staat van de bebowing is dan niet nodig.
Het vervolgonderzoek in dit gebied zal zich moeten richten op de mogelijkheden van compenserende maatregelen of regeling van de schadevergoeding.

In figuur 6.9 zijn als voorbeeld voor enkele gebouwtypen met een fundering op staal of kleefpalen de grenswaarden voor de gemiddelde gebouwzakking grafisch weergegeven. Daarnaast is aangegeven in welke situaties nader onderzoek van de bebouwing of compenserende maatregelen gewenst is.
Deze benadering is ook gevolgd bij de bijgevoegde schadegevoeligheidskaarten (bijlagen 7A, 7B).



SCHADEVERWACHTING/SCHADEGEBIEDEN	Nader onderzoek naar compenserende maatregelen en bouwtechnisch onderzoek
geen schade	niet noodzakelijk
enige architectonische schade	niet noodzakelijk
enige schade bij zeer slechte panden	niet noodzakelijk
enige schade bij slechte panden	alleen bij zeer slechte en slechte panden compenseren; nader bouwtechnisch onderzoek
enige ernstige schade bij slechte panden en matige schade bij matige panden	alleen bij matige, slechte en zeer slechte panden compenseren; nader bouwtechnisch onderzoek
enige ernstige schade bij slechte en matige panden en matige schade bij goede panden	gewenst zijn compenserende maatregelen

Figuur 6.9 Voorbeeld van grafische weergave van grenswaarden.

6.5 Uitwerking grenswaarden provincie Gelderland

Voor dit onderzoek zijn de grenswaarden voor matige schade uitgewerkt voor de volgende situaties:

- Gebouwtype: resp. woonhuis en boerderij per deelgebied
- Fundering: staal
- Voor de grenswaarden per deelgebied zijn de gemiddelde grondzettingslijn, zakkingssnelheid en de gemiddelde relatie tussen maaiveldaling en gebouwzakking in het betreffende deelgebied aangehouden.
- Voor de grenswaarden per bodemprofiel is uitgegaan van de gemiddelde bouwtechnische staat van de oude bebouwing in de maatgevende deelgebieden voor de schadegevoeligheidsgrens, van de representatieve 'slechte' oude bebouwing (woning en boerderij) voor de signaleringsgrens en van een 'relatief' goede woning voor de bovengrens. Deze grenswaarden zijn uitgangspunt bij de schadegevoeligheidskaart.

- Zakkingssnelheid behorend bij een direkt optredende verlaging van de potentiaal; dit heeft invloed op de grenswaarden.
- De verlaging van de diepe potentiaal is gelijk aan de verlaging van de freatische grondwaterstand. De invloed hiervan op de relatie tussen maaivelddaling-gebouwzakking en op de grondzettingslijn en daarmee tevens op de grenswaarde is meegenomen.
- Per bodemprofiel zijn grenswaarden opgesteld voor de situatie met een hoge G.L.G. en voor de situatie met een lage G.L.G. analoog aan de variatie zoals die bij de zettingsberekeningen is toegepast door de RGD.

De grenswaarden voor matige schade zijn op de volgende bijlagen weergegeven:

Bijlage 6A: grenswaarden per deelgebied
Bijlage 6B: grenswaarden per bodemprofiel
Deze grenswaarden zijn verwerkt in de schadegevoeligheidskaarten.

Aan de hand van de grenswaarden voor maaivelddaling kunnen ook de grenswaarden voor de gebouwzakking bepaald worden m.b.v. de relatie gebouwzakking-maaivelddaling. Als voorbeeld wordt de ondergrens voor bodemprofiel D2 genomen: 8 mm maaivelddaling voor de slechte oude bebouwing. (zie bijlage 6B).
De gebouwzakking bedraagt voor dit profiel 71% van de maaivelddaling (Tabel 5.1), zodat de grenswaarde voor de gebouwzakking 0,71 * 8 = 6 mm is. Als gemiddelde kan worden uitgegaan van de gemiddelde grenswaarde voor gemiddelde schadegevoeligheid: 25 mm (bijlage 6B) en de gemiddelde verhouding gebouwzakking-maaivelddaling: 66% (Tabel 5.1). Dit levert een grenswaarde voor de gebouwzakking van ca. 17 mm.

Voor de zogenaamde B-schaden (leidingbreuk etc.) kan als indicatie worden uitgegaan van de grenswaarden volgens Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Indicatie toelaatbare verschilzakking tussen maaiveld en gebouw.

Grenswaarde	Zakkingssnelheid gemiddeld	langzaam
geen schade	20 mm	30 mm
architectonische schade	30 mm	50 mm
matige schade	50 mm	80 mm

OPMERKINGEN

- Per bodemprofiel is uitgegaan van een verlaging van zowel de freatische grondwaterstand als van diepe potentiaal. In geval de maaivelddaling wordt veroorzaakt door alleen een verlaging van de diepe rondwaterpotentiaal of alleen de freatische grondwaterstand gelden weer andere grenswaarden. Voor een gemiddelde bebouwing op staal ontstaat bijv. bij het bodemprofiel G4 als indicatie het navolgende beeld (Tabel 6.5). Het verschil wordt veroorzaakt door een verschil in grondzettingslijn.

Tabel 6.5 Grenswaarden maaivelddaling afh. verlaging grondwaterstand.

Verlaging grondwaterstand	Grenswaarde maaivelddaling voor "matige" schade
- alleen freatisch	ca. 14 mm
- zowel freatische als diepe potiaal	ca. 20 mm
- alleen diepe potentiaal	ca. 26 mm

- Aangenomen is dat zowel de freatische grondwaterstand als de diepe grondwaterstand nagenoeg direkt wordt verlaagd c.q. er veelal sprake is van een "gemiddelde" zakkingssnelheid. Bij enkele sterk kleihoudende bodemprofielen resulteert ook een direkte potentiaaldaling in een "geringe" zakkingssnelheid. Dit effect is in de tabellen verdisconteerd. De situatie van een direkte verlaging zal zich gewoonlijk voordoen bij bronbemalingen waarbij de verlaging veel groter is dan de in het verleden opgetreden verlagingen.

In geval van uitsluitend een verlaging van de freatische grondwaterstand of bij een geringe verlaging van de potentiaal zal de ondergrond vooral samendrukken gedurende de periode dat de grondwaterstand lager ligt dan in het verleden. Mede door de van nature sterke schommeling van de freatische grondwaterstand is, in geval van een peilverlaging of geringe potentiaaldaling, de langzame zakkingssnelheid meer representatief dan de gemiddelde zakkingssnelheid. Ditzelfde is gewoonlijk ook het geval bij het onttrekken van grondwater voor de drinkwatervoorziening.

Wanneer er sprake is van een "langzame" zakkingssnelheid zijn de grenswaarden ca. 30% hoger.

- Uit de voorbeelden blijkt dat de grenswaarden genuanceerd benaderd moeten worden. In dit verband kan worden opgemerkt dat uitgegaan is van gemiddelde situaties voor bebouwing, bodemopbouw, grondzettingslijn en zakkingssnelheid die in werkelijkheid wel eens anders kunnen liggen. Belangrijk is dan ook zich steeds af te vragen of er in een concrete situatie sprake is van factoren die de kans op schade beïnvloeden. Deze factoren zijn in het kort genoemd in par. 2.3 en nader uitgewerkt in par. 6.2.3

- Door de aard van de schade en de meer subjectieve factoren die hierbij een niet onbelangrijke rol kunnen spelen, kan met de opgestelde schadenormen alleen een indicatie van de meest aannemelijke schadeverwachting in een geheel gebied worden berekend en kan niet per individueel pand een exact gemiddelde met een statistisch betrouwbaarheidsinterval bepaald worden. In de praktijk komt naar voren dat de spreiding relatief groot is (zie ook figuur 6.2). Bovendien blijkt vaak dat slechts aan enkele panden schade optreedt omdat er altijd sprake is van specifieke omstandigheden.

Toch wordt de betrouwbaarheid van de methodiek voldoende groot geacht om uitgangspunt te kunnen zijn bij de beoordeling in welke situaties compenserende maatregelen noodzakelijk zijn om praktisch gesproken schade te voorkomen, waar de bebouwing nader moet worden beoordeeld op z'n bouwtechnische staat of schadegevoeligheid (een slecht pand kan duiden op een onvoldoend draagvermogen van de fundering of inhomogeniteiten van de bodem), waar de grondzettingslijn en zakkingssnelheid moet worden berekend, of wanneer diepgaander bouwtechnisch of geotechnisch onderzoek noodzakelijk is. Verder geeft de methode inzicht in de factoren die van invloed zijn op de schadeverwachting.

In veel gevallen zal bij de beoordeling in eerste instantie worden uitgegaan van een maatgevende situatie. Wanneer de verwachte maaiveldaling c.q. gebouwzakking kleiner is dan de daarbij behorende grenswaarde (ondergrens) wordt, praktisch gesproken geen schade verwacht. Toch kan het optreden van enige onvoorzienbare lichte schade nooit geheel worden uitgesloten. Deze ondergrenswaarde c.q de grenswaarde voor matige schade bij bouwtechnisch slechte en schadegevoelige panden heeft daarmee de functie van signaleringswaarde.
Wanneer deze signaleringswaarde wordt overschreden is het belangrijk, gebruikmakend van de invloedsfactoren op de schadegevoeligheid, in het betreffende gebied juist die panden te localiseren die extra schadegevoelig zijn. Ter plaatse zijn eventueel compenserende maatregelen mogelijk. Bovendien kan de staat van deze panden worden vastgelegd in een proces-verbaal van opname (van binnen en buiten of alleen van buiten).
Wanneer de gebouwzakking groter is dan de grenswaarde voor matige schade behorend bij nader te bepalen schadegevoelige panden (b.v. relatief goede woningen) wordt aanbevolen de verlaging van de grondwaterstand te beperken door middel van compenserende maatregelen. Wanneer dat niet mogelijk is wil dat niet zeggen dat altijd schade optreedt, alleen de kans dat er schade optreedt is zodanig dat het beoordelen van de mogelijkheid van compenserende maatregelen wordt geadviseerd.

- Voor het vaststellen van de grenswaarden voor een individueel pand met bekende eigenschappen zal het in voorkomende gevallen noodzakelijk zijn nauwkeurigere berekeningen te maken. De in dit rapport opgenomen methode kan als indicator worden gebruikt of een dergelijk onderzoek gewenst is.

7. SCHADEGEVOELIGHEIDSKAARTEN

Zoals aangegeven in 6.5 is de provincie Gelderland onderverdeeld in schadegebieden. De resultaten hiervan zijn weergegeven op bijlage 7A en 7B.

Hierbij zijn als uitgangspunten gehanteerd:

- de grondwaterstand én de stijghoogte worden direct en permanent 1 meter resp. 0,5 meter verlaagd.
- per kaartvakje is de maaiveldaling en de zettingssnelheid (hydrodynamische periode) berekend door de RGD (ref. 2).
- per bodemprofiel zijn de grenswaarden voor maaiveldaling van bijlage 6B aangehouden.
  - ondergrens: variërend van 8 tot 26 mm met een gemiddelde waarde van 16 mm.
  - schadegevoeligheidsgrens: variërend van 11 tot 36 mm met een gemiddelde van 24 mm.
  - bovengrens: variërend van 15 tot 46 mm met een gemiddelde van 31 mm.
- uit de combinatie van grenswaarde en maaiveldaling per kaartvakje volgt dan een indeling in 4 schadegebieden.

Per schadegebied is de volgende schadeverwachting gedefinieerd.

* In schadegebied 1 (groen) is de maaiveldaling kleiner dan de grenswaarde voor relatief zeer schadegevoelige bebouwing (8-26 mm). Praktisch gesproken is er in dit gebied, bij de voorgenomen grondwaterstandsverlaging, geen schade te verwachten. Er bestaat slechts een geringe kans op niet voorzienbare lichte schade. De optredende zetting is toelaatbaar en er is geen aanleiding om in dit gebied nader onderzoek uit te voeren.
* In schadegebied 2 (geel) wordt alleen voor zeer schadegevoelige bebouwing (bijv. bouwtechnisch slechte panden) de toelaatbare zetting overschreden. Er bestaat een geringe kans op constructieve schade aan deze panden.

De grootte van de maaivelddaling ligt, afhankelijk van het bodemprofiel, tussen 8-26 mm en 11-36 mm.
Om de zeer schadegevoelige bebouwing te lokaliseren is in dit geval nader bouwtechnisch en eventueel geotechnisch onderzoek noodzakelijk. Ter plaatse van deze bebouwing kunnen eventueel compenserende maatregelen worden genomen.

* In schadegebied 3 (oranje) wordt ook voor matig schadegevoelige bebouwing (bijv. bouwtechnisch matige panden) de grenswaarde voor constructieve schade overschreden. De grootte van de maaivelddaling ligt, afhankelijk van het bodemprofiel tussen 11-36 en 15-46 mm. Nader bouwtechnisch onderzoek is nodig om de schadegevoelige panden te lokaliseren. Nagegaan moet worden of compenserende maatregelen mogelijk zijn.
* In schadegebied 4 (rood) is de maaivelddaling zo groot (groter dan 15-46 mm) dat bij alle panden rekening moet worden gehouden met de kans op constructieve schade. Dit geldt dan ook voor de goede, weinig schadegevoelige bebouwing. In dit geval worden in eerste instantie de mogelijkheden van compenserende maatregelen onderzocht. De mate waarin gecompenseerd wordt, kan eventueel afhankelijk gesteld worden van de schadegevoeligheid van de bebouwing ter plaatse.

De schadegevoeligheidskaarten zijn uitgetekend voor twee situaties:
- verlaging van de grondwaterstand 1 meter (bijlage 7A)
- verlaging van de grondwaterstand 0,5 meter (bijlage 7B)

Bij de grootste verlaging van de grondwaterstand is te zien dat de minder schadegevoelige gebieden (schadegebied 1 en 2) in hoofdzaak bestaande uit de Veluwe, de Achterhoek en het gebied ten zuiden van Nijmegen. De gebieden met een meer dan gemiddelde schadegevoeligheid (schadegebieden 3 en 4) liggen langs het Veluwemeer en in de Betuwe.
Om in de schadegebieden 3 en 4 wat meer differentiatie aan te brengen is de tweede schadegevoeligheidskaart getekend voor een kleinere verlaging van de grondwaterstand (0,5 meter i.p.v. 1 meter). Uit een vergelijking blijkt dat wat eerst schadegebied 2 was nu vrijwel overal schadegebied 1 geworden is. In de Betuwe is nu een verdere onderverdeling te zien in de schadegebieden 1 t/m 4. Het zullen hier met name de oude riviergeulen zijn die een geringere schadegevoeligheid hebben.

Bij het gebruik van de kaarten moet rekening worden gehouden met de gehanteerde uitgangspunten en schematisaties. De kaarten kunnen niet gebruikt worden om voor een individuele lokatie de schadeverwachting af te lezen. Aan de hand van de schadegebieden is wel na te gaan hoe gedetailleerd het nader onderzoek moet zijn en of dit gericht moet worden op lokaliseren van schadegevoelige panden en/of op de mogelijkheden van compenserende maatregelen.

Bij het beoordelen van een te verwachten gebouwzakking is het noodzakelijk rekening te houden met factoren die de kans op schade in ongunstige resp. gunstige zin beïnvloeden; het verschil tussen bovengrens en ondergrens kan wel een factor 3 à 4 bedragen.
De navolgende omstandigheden vergroten de kans op schade:

* Gebouw met een geringe stijfheid c.q. mogelijkheid tot spanningsherverdeling waardoor een relatief grote verschilzakking kan optreden (reeds scheuren in metselwerk; laagbouw; vrijstaande woning).
* Groot pand (grote woning; boerderij).
* Bedrijfsgebouw met een niet op palen gefundeerde werkvloer (bedrijfsschade).
* Bodemopbouw waarbij, over korte afstand, een groot verschil in zettingsgevoeligheid kan worden verwacht (zandige stroomruggen in het rivierengebied; leemschollen; veenlagen; gedempte sloten).
* Bouwtechnisch matig of slecht pand; de scheurvorming vermindert de stijfheid en kan duiden op een slechte fundering of op een groot verschil in samendrukbaarheid van de ondergrond ter plaatse.
* Bebouwing in het talud van een dijk of gedeeltelijk onderkelderd.
* Snel optredende zakking (bronbemalingen; korte hydrodynamische periode).
* Wanneer de zakking met name wordt veroorzaakt door het samendrukken van grondlagen die relatief dicht onder het aanlegniveau van de fundering liggen (verlaging van alleen de freatische grondwaterstand bij een ondiepe bemaling of lokale peilverlaging; samendrukbare lagen dicht onder het aanlegniveau van de fundering).
* In het geval dat alleen de stijghoogte van het diepe grondwater verlaagd wordt, is het schadebeeld meestal gunstiger dan bij de aangenomen gelijktijdige verlaging van de freatische grondwaterstand en stijghoogte (zie tabel 6.5). Bij uitsluitend een verlaging van de freatische grondwaterstand is het schadebeeld ongunstiger, afhankelijk van de bodemopbouw.

8. SAMENVATTING

In opdracht van de provincie Gelderland is door ABT Adviesbureau voor Bouwtechniek BV een onderzoek gedaan naar de schadegevoeligheid van de bebouwing. Uitgangspunt bij dit onderzoek is een veronderstelde verlaging van de grondwaterstand van 1 meter. Het onderzoek naar de schadegevoeligheid is uitgevoerd volgens het door ABT ontwikkelde model voor het ramen van schade aan bebouwing (ref. 3).

In hoofdstuk 2, Probleemstelling, wordt het schademodel beschreven. De hoofdfactoren die hierin een rol spelen zijn peilverlaging en/of grondwaterstandsverlaging en de daardoor veroorzaakte maaivelddaling. Hierdoor zal een gebouwzakking optreden, waarbij onderscheid gemaakt wordt in de gemiddelde gebouwzakking en de verschilzakking tussen twee punten van het gebouw. Aan de hand van een stroomschema (figuur 2.1) wordt toegelicht op welke manier het schademodel gebruikt wordt en welke factoren daar directe en indirecte invloed op uitoefenen.

De bodemopbouw in de provincie, hoofdstuk 3, is geïnventariseerd door de Rijks Geologische Dienst (ref. 1). Op grond van lithologische kenmerken zijn in totaal 26 bodemprofielen onderscheiden (zie bijlage 3A). Het gebied is onderverdeeld in kaartvakjes van 250 bij 250 meter waarbij voor elk kaartvakje gegevens zijn opgeslagen over bodemprofiel en startgrondwaterstand (G.L.G.).

De mate waarin door een maaivelddaling schade aan een gebouw optreedt is afhankelijk van de grootte van de zakkingsverschillen en van de schadegevoeligheid van het gebouw. Gezien de omvang van het onderzoeksgebied is slechts een globale inventarisatie van de bebouwing uitgevoerd (hoofdstuk 4). Hierbij is met name gelet op factoren die de schadegevoeligheid van een gebouw bepalen: ouderdom, grootte van het pand, constructietype, funderingswijze en huidige bouwtechnische staat. Onder bouwtechnisch "slecht" wordt verstaan doorgaande scheurvorming ten gevolge van gebreken in de fundering die relatief snel kan leiden tot constructieve schade. In tegenstelling hiermee wordt goed gefundeerde bebouwing met weinig of geen scheurvorming als bouwtechnisch "goed" en relatief weinig schadegevoelig geclassificeerd.

De bouwtechnisch "matige" bebouwing valt tussen beide classificaties in en heeft lichte scheurvorming die relatief snel kan leiden tot enige architectonische schade.
De verzamelde gegevens zijn gebruikt om de kengetallen van een referentiepand samen te stellen. Hierbij is uitgegaan van het door ABT uitgevoerde onderzoek naar de gevolgen van peilverlagingen en de aanleg van de Markerwaard (ref. 3,12). De hiervoor opgestelde 20 standaardbebouwingstypen met bijbehorende schadegevoeligheden zijn gebruikt om de bebouwing in Gelderland te analyseren op schadegevoeligheid.

Ten gevolge van de aangenomen verlaging van de grondwaterstand zal een samendrukkingsproces optreden dat resulteert in een maaivelddaling (hoofdstuk 5). De berekening van de maaivelddaling per combinatie van bodemprofiel en startgrondwaterstand (G.L.G.) is uitgevoerd door de Rijks Geologische Dienst (ref. 2) en verzameld in een databestand. Op basis van de maaivelddaling is door ABT de gebouwzakking van een op staal gefundeerd referentiepand bepaald. Als laatste stap in het schademodel wordt de verschilzakking tussen twee punten van het gebouw berekend.

In hoofdstuk 6 wordt uitgebreid ingegaan op de schadenormen.
Uit de literatuur zijn een aantal ontwerprichtlijnen bekend die aangeven wat toelaatbare vervormingen zijn (bijv. een verschilzakking van 30 à 45 mm en een hoekverdraaiing van 1 : 300 tot 1 : 750). Onderzoeken naar de gevolgen van de aanleg van de Markerwaard, de gevolgen van peilverlagingen en de effecten van aardgaswinning in Slochteren (ref. 12,3, 13) geven echter aan dat voor schade aan bestaande bebouwing ten gevolge van een maaivelddaling niet de gegeven ontwerpwaarden gebruikt kunnen worden.
Op basis van literatuur, geïnventariseerde schadegevallen en aanvullende berekeningen zijn door ABT relaties opgesteld tussen maaivelddaling, gebouwzakking en gemiddelde schadeverwachting (ref. 3). Met deze "frequentieverdeling schadevoorkomen" kan worden bepaald in welke mate, bij een bepaalde gebouwzakking, de verschillende soorten schade in een relatief grootschalig gebied zullen optreden. De invloed van de zakkingssnelheid is in de grafieken verdisconteerd door verschillende schadelijnen.

De frequentiegrafieken zijn opgesteld voor de zogenaamde "standaardwoning" met een bouwtechnische staat die als matig tot goed kan worden omschreven. De invloed van de bouwtechnische staat (slecht/matig/goed) en het type gebouw (boerderij/woning/historisch pand) op de schadeverwachting is niet uit de frequentiegrafieken af te lezen. Aan de hand van de opgestelde kostennormen worden deze invloeden meegenomen bij het vaststellen van de grenswaarden.

Ten aanzien van de schadeverwachting wordt onderscheid gemaakt in architectonische schade, waarbij het uiterlijk van het gebouw aangetast wordt en constructieve schade waarbij essentiële onderdelen van de draagconstructie in hun funktioneren aangetast worden. Om te kunnen spreken van "niet voorzienbare schade" moet de kans op architectonische schade gering zijn en de kans op constructieve schade moet zeer gering zijn. Op basis van dit uitgangspunt zijn per bodemprofiel drie grenswaarden voor maaiveldddaling opgesteld:

- ondergrens (relatief slechte bebouwing): indien de maaiveldddaling minder bedraagt dan 8-26 mm (gemiddeld 16) wordt praktisch gesproken geen schade verwacht.
- schadegevoeligheidsgrens (gemiddelde bebouwing): indien de maaiveldddaling minder bedraagt dan 11-36 mm (gemiddeld 24) bestaat er een geringe kans op constructieve schade aan zeer schadegevoelige panden.
- bovengrens (relatief goede bebouwing): indien de maaiveldddaling meer bedraagt dan 15-46 mm (gemiddeld 31) bestaat er voor alle panden kans op constructieve schade.

In het gebied tussen de ondergrens en de bovengrens zal nader onderzoek nodig zijn om de bouwtechnische staat te inventariseren. Daarnaast moet gekeken worden welke compenserende maatregelen getroffen kunnen worden ter beperking van de verlaging. In het gebied boven de bovengrens is de uitwerking van de compenserende maatregelen in mindere mate afhankelijk van de bouwtechnische staat; immers ook voor goede panden bestaat dan een kans op schade.

Aan de hand van de drie genoemde grenswaarden is een onderverdeling gemaakt in vier schadegebieden. Deze zijn uitgewerkt op twee schadegevoeligheidskaarten (hoofdstuk 7) die als bijlage 7 zijn bijgevoegd. De eerste kaart geeft de schadegebieden bij 1 meter verlaging van de grondwaterstand en de tweede kaart bij 0,5 meter verlaging.

Uit de kaarten blijkt dat de meest schadegevoelige gebieden langs het Veluwemeer en in de Betuwe liggen.

Bij het gebruik van de kaarten moet rekening worden gehouden met de gehanteerde uitgangspunten en schematisaties. In elke concrete situatie moet nagegaan worden of er sprake is van factoren die de kans op schade in gunstige of ongunstige zin beïnvloeden (zie par. 6.2.3).
In de praktijk blijkt dat met deze methode wel een schadeverwachting voor een gebied kan worden vastgesteld, maar dat door de grote spreiding en de invloed van specifieke omstandigheden geen schadeverwachting voor een individueel pand kan worden opgesteld.

De methodiek van schaderaming en de hieruit voortgekomen schadegevoeligheidskaarten kunnen als uitgangspunt dienen bij de beoordeling in welke situaties compenserende maatregelen noodzakelijk zijn om, praktisch gesproken, schade te voorkomen, waar de bebouwing nader moet worden beoordeeld op zijn bouwtechnische staat of schadegevoeligheid, waar de grondzettingslijn en zakkingssnelheid moet worden berekend, of wanneer diepgaander geotechnisch of bouwtechnisch onderzoek noodzakelijk is.

9. LITERATUUR

1. Toelichting op de lithologische kaart van de provincie Gelderland, BP 10627, Rijksgeologische Dienst, Haarlem juni 1989.

2. Toelichting op de zettingsgevoeligheid van de provincie Gelderland, BV 10698, Rijksgeologische Dienst, Lochem, maart 1990.

3. Boels D., Hulsbergen J.G. e.a., Een methode voor het ramen van schade aan bebouwing door polderpeilverlaging en grondwateronttrekking, ICW en ABT, 1984.

4. Inwoners en woningen per 1 januari 1988/Ontwikkeling van de woningvoorraad in 1987/Plancapaciteit per 1 januari 1988/ In de Gelderse gemeenten, per kern en buitengebied, Provincie Gelderland ROV, september 1988.

5. Maandstatistiek bouwnijverheid, Centraal Bureau voor de Statistiek, jaargang 31, no. 5 's Gravenhage, mei 1989.

6. Skempton A.W. en Mac Donals D.H., The allowable settlement of buildings, Proc. Inst. Civil. engrs. part 3, vol. 5., 1956.

7. Burland J.B. en Wroth C.P., Settlement of buildings and associated damage, Building Research Current Paper 33/75.

8. Burland J.B., Broms B.B., de Mello V.F.B., Behaviour of foundations and structures, Building Research Current Paper 51/78.

9. Wahls H.E., Tolerable Settlement of Buildings, ASCE, Nov. 1981.

10. NEN 6702, TGB 1986 Belastingen en vervormingen.

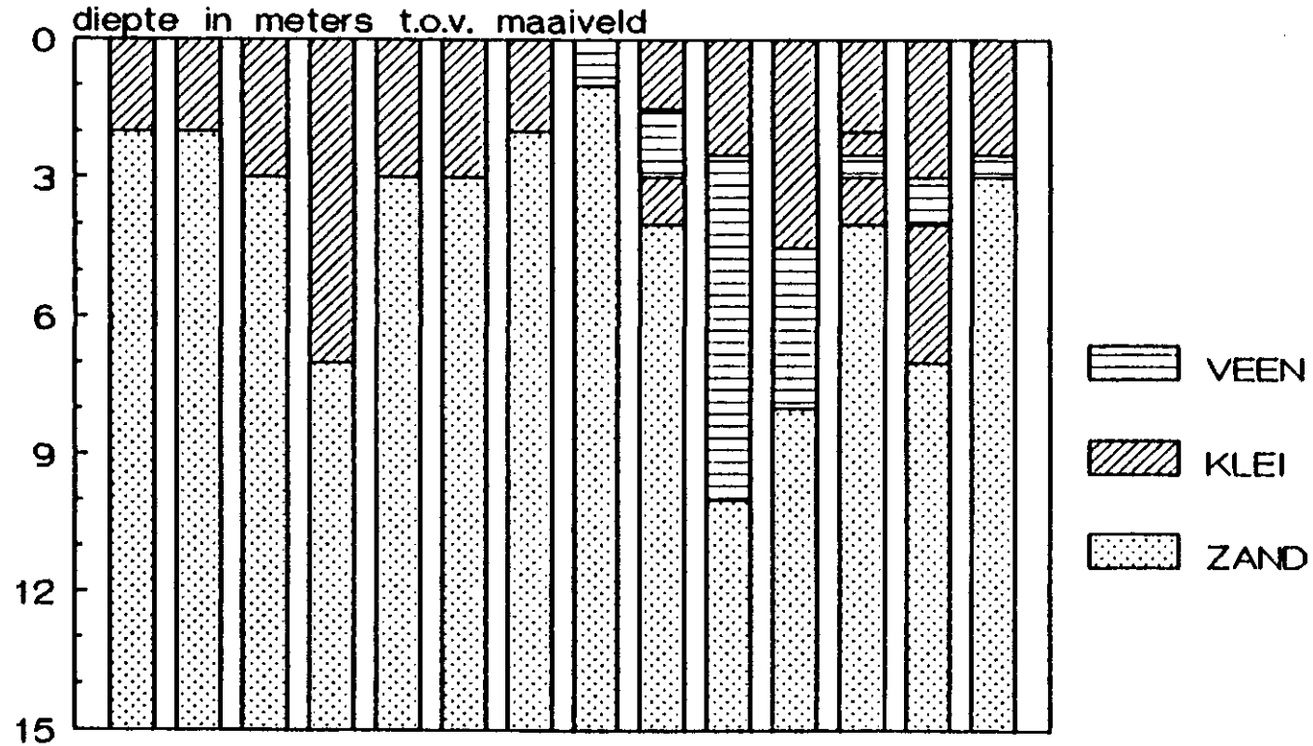
11. SBR rapport 149, Richtlijnen voor paalfunderingen.

12. Carree G.J. en Hulsbergen J.G., Schadeverwachting aan stedelijke-, dorps- en lintbebouwing van 24 gemeenten in Noord-Holland, ABT, 1983.

13. Beranek W.J., Hannink G., Van der Maarel A.J.G. e.a., Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen.
Grondmechanica Delft, TNO-IBBC en Tauw Infra Consult B.V., 1986.

BODEMOPBOUW PROVINCIE GELDERLAND

op basis van lithologische ind. RGD

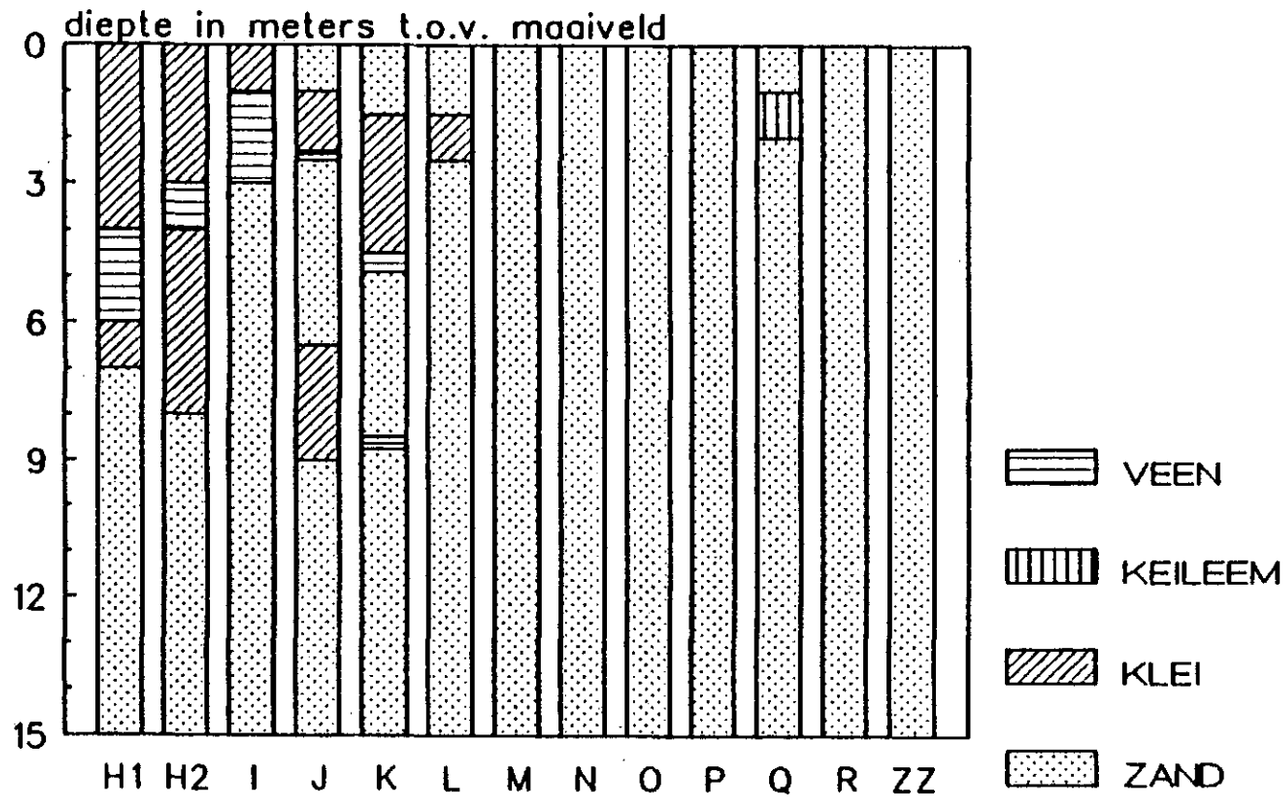


zie R.G.D.- rapport BP 10627

BIJLAGE 3A1

BODEMOPBOUW PROVINCIE GELDERLAND

op basis van lithologische ind. RGD

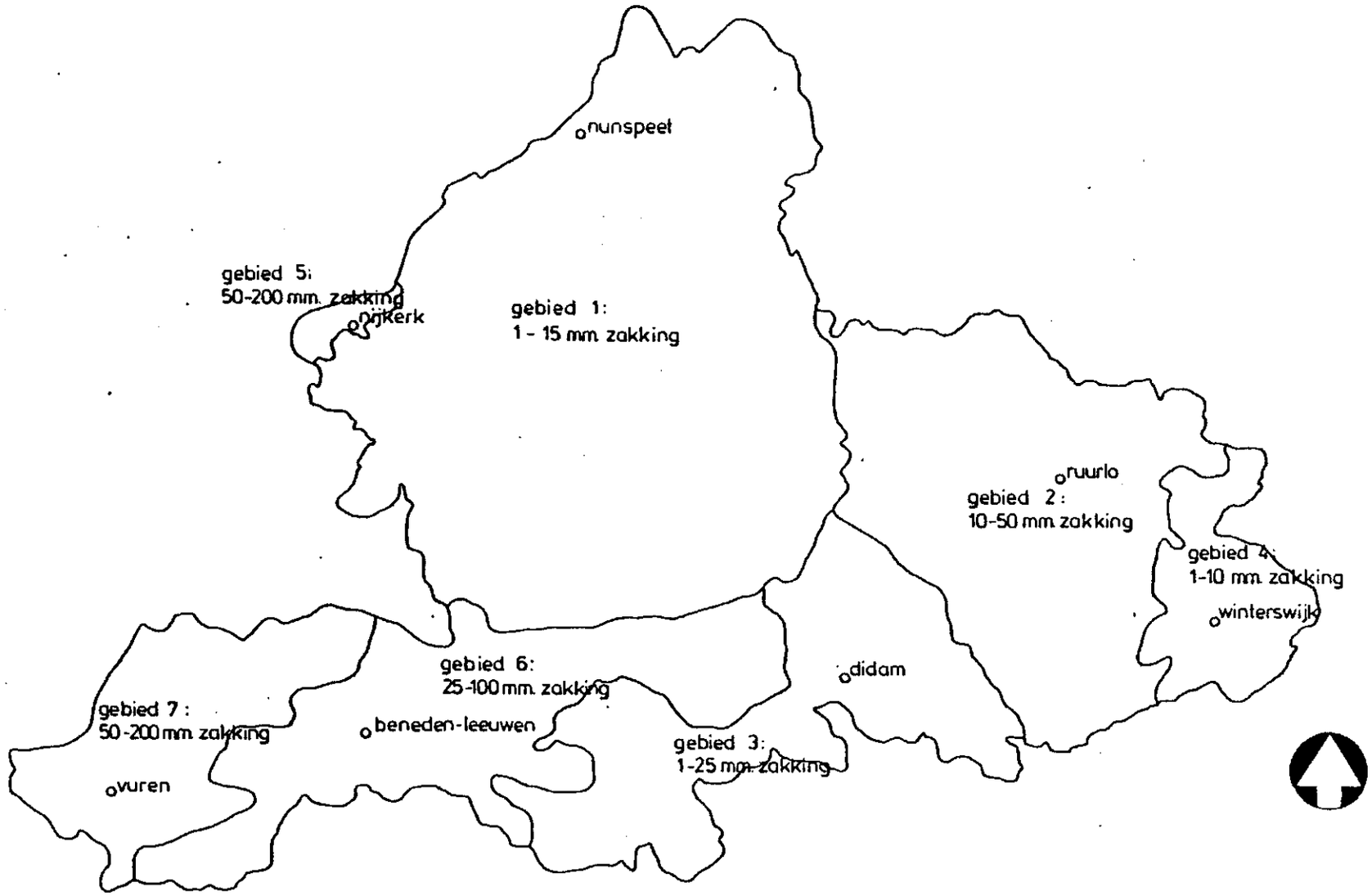


zie R.G.D.– rapport BP 10627

BIJLAGE 3A2

GRONDSOORTEN PROVINCIE GELDERLAND BIJLAGE 3B
bron: RGD-rapport BP 10698

lithologie	droog vol. gewicht	nat vol. gewicht	1/Cpl	Kv (m/s)
veen	2.10/5.00	10.70/13.10	0.05/0.17	1E-9/5E-6
klei/veen	7.20	14.70	0.03	5E-7
klei	8.20/16.00	15.00/18.70	0.01/0.085	7E-9/5E-7
zandige klei	14.60	18.70	0.02	3.5E-8
zand	15.00/16.00	19.00/20.00	0.005	1E-6/1E-5
keileem	17.00	21.00	0.01	5E-6



datum 14 mei 1990 werkcode OPGA tek.nummer blad

adviesbureau voor bouwtechniek bv

BIJLAGE 4A

1	ADMINISTRATIEVE GEGEVENS	
a	Naam Gemeente	
b	Korrespondentie-adres, postcode, telefoon	
c	Tot de Gemeente behorende plaatsen en buurtschappen	
d	Kontaktpersonen Gemeente, algemene zaken/voorlichting technische zaken.	
e	Adres Bouw- en Woningtoezicht, kontaktpersoon	
2	BEVOLKING	
a	Aantal inwoners	
b	Verhouding platteland-bevolking/stedelijke bevolking	
3	GEMEENTE GROOTTE	
a	Totale oppervlakte in ha.	
b	Oppervlakte in ha. van de bebouwde kom	
c	Totale oppervlakte industriegebied in ha.	
4	GEBOUWTYPEN IN OPPERVLAKKEN	
a	Woningbouw	
	- laagbouw	
	- hoogbouw	
b	Openbare gebouwen	
c	Industrie gebouwen	
e	Gebouwen van historische waarde	
e	Agrarische bebouwing	
5	TECHNISCHE INFORMATIE T.A.V. GEBOUWEN	
a	Algemene informatie over de funderingswijze naar gebouwtype indien van toepassing.	

werk	OPGA	Blad 1
onderwerp	Onderzoek zettingsgevoeligheid Provincie Gelderland	

adviesbureau voor
Arnhemsestraatweg 368 Tel:085-683111
6881 NK Velp
Postbus 82 Fax:085-636326
abt

BIJLAGE 4B1

b	Gebieden waar veel funderings gebreken voorkomen.	
c	In het verleden opgetreden schadegevallen	
d	Welke gebieden of bouwwerken verdienen in dit kader nadere bijzondere aandacht.	
6	DOKUMENTATIE	
a	Plattegrond van de gemeente	
b	Stadsplattegrond/stratenplan	
c	Monumentenlijst	
d	Bijzondere kaarten/luchtfoto's	
e	Historische kaarten/grachten/stadswallen	

werk	OPGA	Blad 2	Opm.
onderwerp	Onderzoek zettingsgevoeligheid PROVINCIE GELDERLAND		

adviesbureau voor bouwtechniek bv
Arnhemsestraatweg 358 Tel:085-663111
6881 NK Velp
Postbus 82 Fax:085-635326

abt

BIJLAGE 4B2

GRENSWAARDEN MAAIVELDDALING PER DEELGEBIED

Gebied	deel	bebouwing	GRENSWAARDEN (mm)					
			ondergrens; relatief slechte bebouwing		gemiddeld; schadegevoeligheidswaarde		bovengrens; relatief goede bebouwing	
			G.L.G.		G.L.G.		G.L.G.	
			hoog	laag	hoog	laag	hoog	laag
1	kern	woning	22	20	34	31	38	34
	buiten	boerderij	17	15	28	25	30	27
	geheel	gemiddeld	19	17	30	27	33	29
2	kern	woning	22	18	28	25	38	34
	buiten	boerderij	18	16	23	21	30	27
	geheel	gemiddeld	19	17	25	22	35	30
3	kern	woning	20	18	28	25	35	32
	buiten	boerderij	17	15	24	21	30	27
	geheel	gemiddeld	18	18	27	25	34	31
4	kern	gemiddeld	15	17	24	26	26	29
	buiten	boerderij	14	17	23	28	25	30
	geheel	gemiddeld	15	16	24	26	26	28
5	kern	gemiddeld	82	16	109	22	142	28
	buiten	boerderij	70	14	96	19	121	24
	geheel	gemiddeld	78	15	103	21	135	27
6	kern	gemiddeld	10	9	12	11	16	15
	buiten	boerderij	9	9	11	11	16	16
	geheel	gemiddeld	10	10	12	12	18	18
7	kern	gemiddeld	13	14	17	17	24	25
	buiten	boerderij	15	17	19	21	26	29
	geheel	gemiddeld	16	18	20	21	28	31
geheel Gelderland	kern	gemiddeld	19	16	27	22	32	31
	buiten	boerderij	16	15	23	22	28	26
	geheel	gemiddeld	17	16	25	24	30	29

GRENSWAARDEN MAAIVELDDALING PER BODEMPROFIEL

Bodem-profiel	Lithologische beschrijving (ref. 1)	GRENSWAARDEN (mm)					
		ondergrens; relatief slechte bebouwing		gemiddeld; schadegevoeligheidswaarde		bovengrens; relatief goede bebouwing	
		G.L.G.		G.L.G.		G.L.G.	
		hoog	laag	hoog	laag	hoog	laag
A	zandige klei (1 á 2 m) op zand	11	17	14	21	20	31
B	zware klei (0,5 á 2 m) op zand	14	11	18	15	25	20
C	zware klei (2 á 3 m) op zand	11	11	15	14	21	19
D1	zware klei (> 5 m) op zand	16	17	20	20	29	30
D2	zware klei (3-5 m) op zand	9	8	12	11	16	15
D3	zware klei (3-5 m) op zand	9	8	11	10	15	14
D4	zware klei (< 3 m) op zand	12	22	18	32	23	40
E	veen (0,5 á 2 m) op zand	123	20	170	28	225	37
F	zware klei op veen op klei op zand	17	14	28	23	30	26

Bodem-profiel	Lithologische beschrijving (ref. 1)	GRENSWAARDEN (mm)					
		ondergrens; relatief slechte bebouwing		gemiddeld; schadegevoeligheidswaarde		bovengrens; relatief goede bebouwing	
		G.L.G.		G.L.G.		G.L.G.	
		hoog	laag	hoog	laag	hoog	laag
G1	zware klei (< 3 m) op veenlaag (> 5 m) op zand	28	27	44	43	49	48
G2	zware klei (3-5 m) op veenlaag (3-5 m)op zand	14	15	22	23	24	26
G3	zware klei (3-5 m) met veenlaag (< 1 m) op zand	9	9	11	11	16	15
G4	zware klei (5-7 m) met veenlaag (1 m) op zand	13	14	19	20	23	24
G5	zware klei (< 3 m) op veen (1 m) op zand	8	8	10	11	15	15
H1	klei (< 5 m) op veen (1 á 2 m) op klei (1 m) op zand	26	29	32	36	46	52
H2	klei (< 3 m) op veen (1 á 2 m) op klei (3-5 m) op zand	21	20	25	25	37	36

Bodem-profiel	Lithologische beschrijving (ref. 1)	GRENSWAARDEN (mm)					
		ondergrens; relatief slechte bebouwing		gemiddeld; schadegevoeligheidswaarde		bovengrens; relatief goede bebouwing	
		G.L.G.		G.L.G.		G.L.G.	
		hoog	laag	hoog	laag	hoog	laag
I	klei (1 á 2 m) op veen (0,5 á 2 m) op zand	14	12	21	18	26	22
J	fijn zand met inschakelingen van zandige klei, zware klei en veen op zand	16	17	22	23	30	32
K	fijn zand met dunne veen en leemlagen (0,5 m) op zand	22	20	32	29	41	37
L	zand (< 1 m) op klei (< 1 m) op zand	8	10	12	14	15	17
M	zand en grind	16	15	24	22	30	27
N	zandige klei en zand, sterke variatie	16	14	24	21	29	27
O	zand op diep gelegen warvenklei	16	15	26	24	31	28

Bodem-profiel	Lithologische beschrijving (ref. 1)	GRENSWAARDEN (mm)					
		ondergrens; relatief slechte bebouwing		gemiddeld; schadegevoeligheidswaarde		bovengrens; relatief goede bebouwing	
		G.L.G.		G.L.G.		G.L.G.	
		hoog	laag	hoog	laag	hoog	laag
P	zand, grind, compacte klei en leem, gestuwd	18	15	26	23	31	28
Q	zand op keileem en/of compacte tertiaire klei	14	19	23	31	25	34
R	niet nader uitgewerkt i.v.m. G.L.G. dieper dan 10 m	18	15	26	23	31	28
gem.		17	16	25	24	32	31