



dr. Ir. C. (Cock) Blom
UHD (gepensioneerd)
Technische Natuurkunde,
Universiteit Twente



Ing. K.O. (Kees) van der Werf
Onderzoeker (gepensioneerd)
Technische Natuurkunde
Universiteit Twente



Drs. R.J. (Roelof) Stuurman
Stedelijk water- en
bodemdeskundige
Deltares, Utrecht



Dr. H (Henk) Kooi
sr. Adviseur/onderzoeker
Deltares, Utrecht

KLIMAATVERANDERING, KLEI EN FUNDERINGS- PROBLEMEN, EEN CASE STUDIE (DEEL 1)

Inleiding

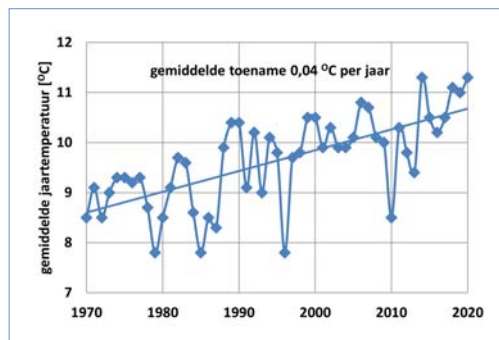
Ook in Nederland zijn de gevolgen van klimaatverandering zichtbaar. Zo is in Twente de gemiddelde jaartemperatuur van 1970 tot 2020 met 2 °C gestegen, zie figuur 1. Misschien nog wel belangrijker voor Oost-Nederland en deze case is dat er in de periode tussen 2008 en 2010 een behoorlijke toename van het neerslagtekort is ontstaan (ref 2). Verder zijn de drie zomers 2018, 2019 en 2020 zowel extreem warm als droog geweest. Dit heeft onder andere geleid tot een lage grondwaterstand in de zomer van 2018 en 2019. In figuur 2 is het langjarig grondwaterpeil op een locatie in de Achterhoek te zien.

Wat hebben deze veranderingen te maken met klei en funderingsproblemen? Klei is een grondsoort met bijzondere eigenschappen. Klei krimpt als het

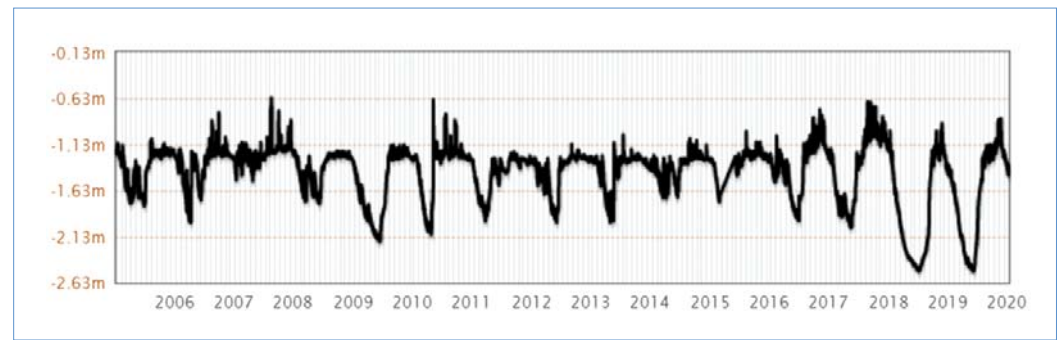
vocht verliest door uitdroging en zwelt vervolgens weer als er weer water beschikbaar is. Het volume van (droge) klei kan wel met 50 % toenemen bij wateropname (zie figuur 10). In Nederland zijn veel huizen direct op een kleiondergrond gebouwd, d.w.z. 'op staal' zonder paalfundering. De klei onder een fundering kan met de seizoenen door uitdroging en bevochtiging krimpen en zwellen. Dat hoeft geen probleem te zijn als het maar onder de gehele fundering van het gebouw hetzelfde is. Dan beweegt het gehele gebouw op en neer, zonder dat er schade hoeft te ontstaan. Problemen ontstaan vooral als er een verschil in zwel of krimp onder verschillende delen van het gebouw ontstaat. Alleen al het feit dat uitdroging hoofdzakelijk plaats vindt onder de buitendelen van een gebouw en veel minder onder centrale delen, kan hier sterk aan bijdragen. Andere facto-

ren die naar verwachting bijdragen aan verschilzetting/-heffing door krimp en zwel zijn b.v. een kelder onder een gedeelte van het gebouw, ongelijke verdeling van de belasting van het gebouw over de fundering, sterkere uitdroging aan de zuid- dan de noordzijde door verschillen in microklimaat of onttrekking van vocht door bomen e.d. Vooral de laatste droge jaren is schade aan huizen en gebouwen ontstaan. Deltares (ref 4) schat dat de totale schade aan gebouwen in Nederland bij onveranderd klimaat tot 2050 door paalrot en verschilzetting van panden gefundeerd op staal tussen 5 en 39 miljard euro ligt. In tegenstelling tot schade door paalrot bij funderingen op houten palen, is over schade bij funderingen op staal door krimp en zwel minder bekend.

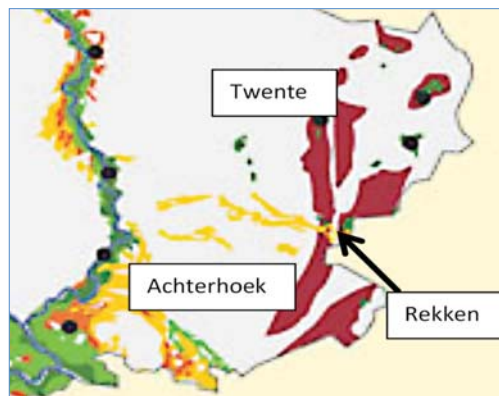
In dit artikel wordt de schade aan een huis ge-



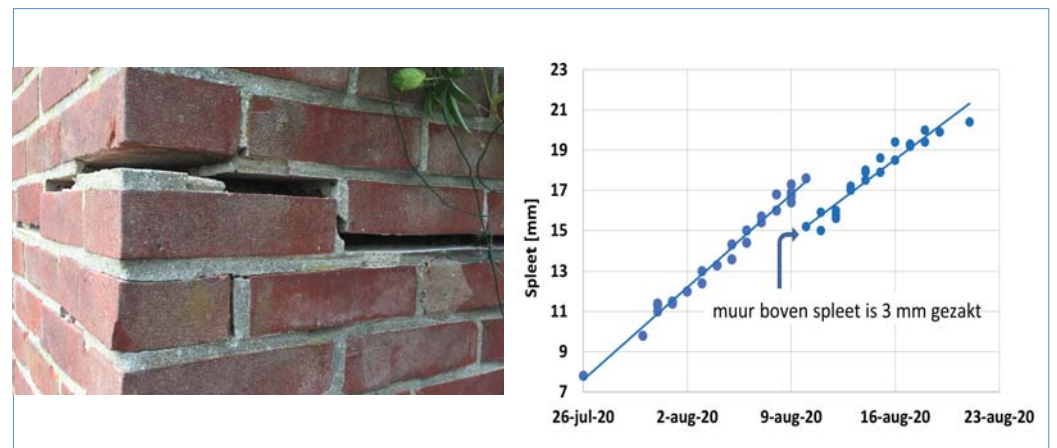
Figuur 1 – Gemiddelde jaartemperatuur gemeten in station Twenthe (KNMI, ref 1).



Figuur 2 – Grondwaterpeil t.o.v. maaiveld in Eibergen (ref 3).



Figuur 3 – Bodemkaart Twente en Achterhoek met gebieden met tertiaire klei tot 10 m onder maaiveld (ref 5).



Figuur 4 – Foto van een scheur in het woonhuis en de grootte van de scheur als functie van de tijd.

SAMENVATTING

In de zomer van 2020 is er grote schade ontstaan aan een woonhuis in Rekken. Deze zomer was de derde opeenvolgende droge en warme zomer. Als gevolg hiervan is de kleiondergrond waarop het huis staat (erg) uitgedroogd. Metingen laten zien dat het volume van deze klei sterk afhangt van het watergehalte. Dit zwel- maar vooral krimpgedrag is waarschijnlijk de oorzaak van de ontstane schade. Op verschillende plaatsen rond het huis zijn peilbuizen geplaatst

waarmee het waterniveau als functie van de tijd is gemeten. Met gegevens uit de literatuur is een mogelijke oplossing van het probleem geformuleerd. Door in het voorjaar van 2021 plaatsen van horizontale en verticale vochtbarrières rond het huis zou schade in de toekomst voorkomen kunnen worden. Met verschillende sensoren wordt het effect hiervan gemonitord.



Figuur 5 – Scheur in muur en kozijn aan de binnenkant van de probleenhoek.



Figuur 6 – Het gestutte woonhuis in Rekken.

bouwd op klei in de Achterhoek beschreven. Na analyse van de ondergrond, de mogelijke oorzaak en een bespreking van literatuur op het gebied van het zwel- en krimpgedrag van klei, worden aanpassingen voorgesteld waarmee toekomstige schade aan het huis voorkomen zou kunnen worden. Deze aanpassingen zijn in het voorjaar van 2021 uitgevoerd. Om het effect hiervan te zichtbaar te maken worden onder andere de (hoogte)veranderingen op verschillende plaatsen op het huis en de omliggende grond als functie van de tijd gemeten. Het is de bedoeling dat de resultaten van deze monitoring in een vervolgartikel beschreven worden.

De situatie

Het huis is een oude boerderij in Rekken uit 1860 met een in 1952 aangebouwde woonruimte. De woning heeft een ondiepe fundering (op staal). In de ondergrond bevindt zich een dikke laag klei van Tertiaire ouderdom (Rupel formatie/ Boomse klei), in roodbruin aangegeven in figuur 3. In een bijgebouw (het tegenwoordige museum “Sfeer van Weleer”) zijn in 2009 en 2010 al problemen opgetreden. Dit waren zomers met een laag grondwaterpeil (figuur 2). In de zomer van 2009 ontstonden er scheuren in een muur, die in de daaropvolgende winter weer vrijwel verdwenen. Er zijn enkele aanpassingen aan de fundering aangebracht, maar een fundamentele analyse en een oplossing van dit probleem is toen niet gemaakt.

In de zomer van 2020 kwamen er echter ook grotere problemen bij het aangebouwde woonhuis tevoorschijn. In de muren op de zuidhoek van het woonhuis ontstonden in korte tijd grote scheuren. Als voorbeeld een scheur, die met een snelheid van 10 mm in 2 weken groter werd, zie figuur 4. In figuur 5 is een scheur aan de binnenkant te zien. Bij navraag in de omgeving bleek dat er bij meerdere huizen in Rekken schade was ontstaan. Het leek dus geen opzichzelfstaand probleem te zijn. Omdat de scheuren wel tot 40 mm groot werden en delen van de muren instabiel werden, is als noodmaatregel de zuidhoek van het huis gestut en ondersteund, zie figuur 6. Voor een groot deel zijn de scheuren in het woonhuis in de winter van 2020/2021 weer dicht gegaan. In het najaar van 2020 begon ook een scheur in de dorpel van het museum dicht te trekken, zie figuur 7. De snelheid van het dichttrekken van de scheur ging vervolgens met ongeveer 4 mm per maand. Het sluiten gaat dus aanmerkelijk langzamer dan het ontstaan ervan (20 mm per maand).

Grondanalyse en waterniveau metingen

Op zes plaatsen rond het huis zijn sonderingen gedaan en op twee plaatsen handboringen, zie figuur 8. De verkregen grondmonsters zijn visueel gekarakteriseerd. Deze data laten zien dat de ondergrond bestaat uit een laag leem (volgens de nieuwe ISO norm wordt dit silt genoemd) van

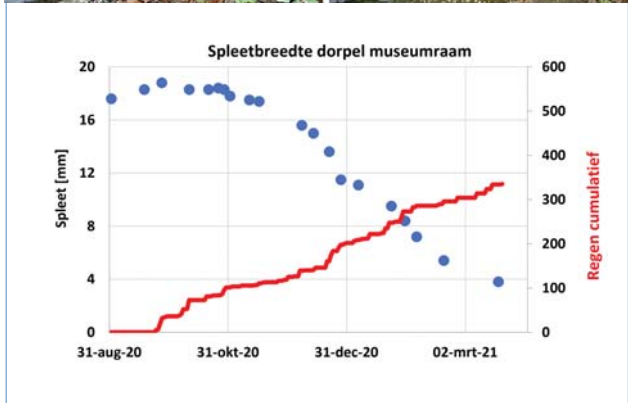
variabele dikte (1 à 2 m) met daaronder ten minste 10 m zware klei. Alle sonderingen en grondanalyses laten hetzelfde beeld zien, een voorbeeld daarvan is in figuur 9 te zien. De aanzetdiepte van de fundering is 0,7 m, zie figuur 18.

Op 1,5 m diepte bij de probleenhoek is een cilindervormig monster getrokken (lengte 8,5 cm diameter 2,5 cm). Met tussenposen is op dit monster water gedruppeld en zijn na enige tijd het gewicht en de afmetingen gemeten. Vervolgens is het monster op kamertemperatuur gedroogd en werden ook op regelmatige tijden het gewicht en afmetingen gemeten. Nadat er geen gewichtsverandering meer optrad, is het monster in een oven verder gedroogd. Hierdoor nam het gewicht nog wel af, maar bleef het volume constant, zie figuur 10. Gezien de grote volume verandering als functie van het watergehalte wordt deze klei aangeduid als “expansive soil”. Ook een monster dat op 0,9 m diepte getrokken is, in de grondboring aangeduid met leem, vertoont hetzelfde gedrag maar is wat minder “expansive”.

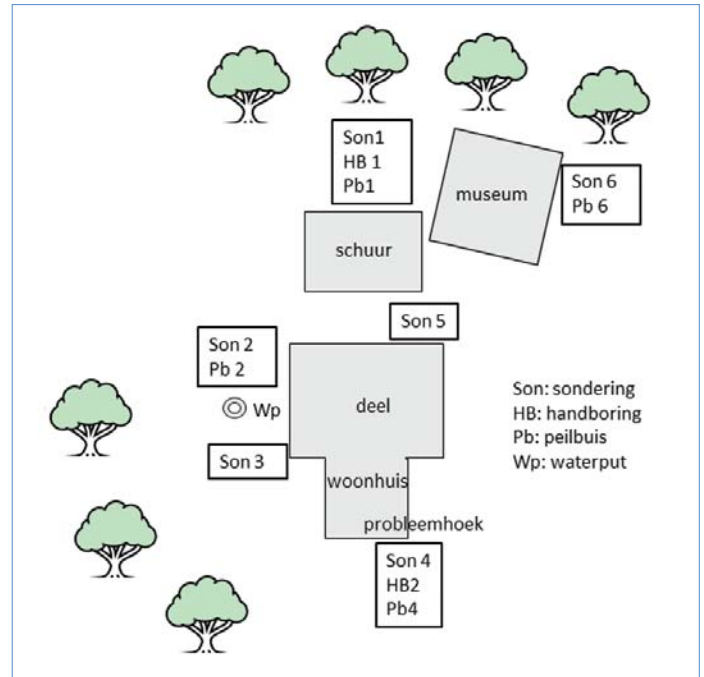
Twee van de sondeergaten (14 m diep) en de twee handboorgaten (3 m diep) zijn benut om er peilbuizen in te plaatsen, zie figuur 8. De uitvoering van de gebruikte peilbuizen is schematisch weergegeven in figuur 11. Eén peilbuis (nr. 2) bevindt zich op 3 m van een waterput met een diameter van 1,6 m. Het niveau van deze 6 meter diepe waterput werd



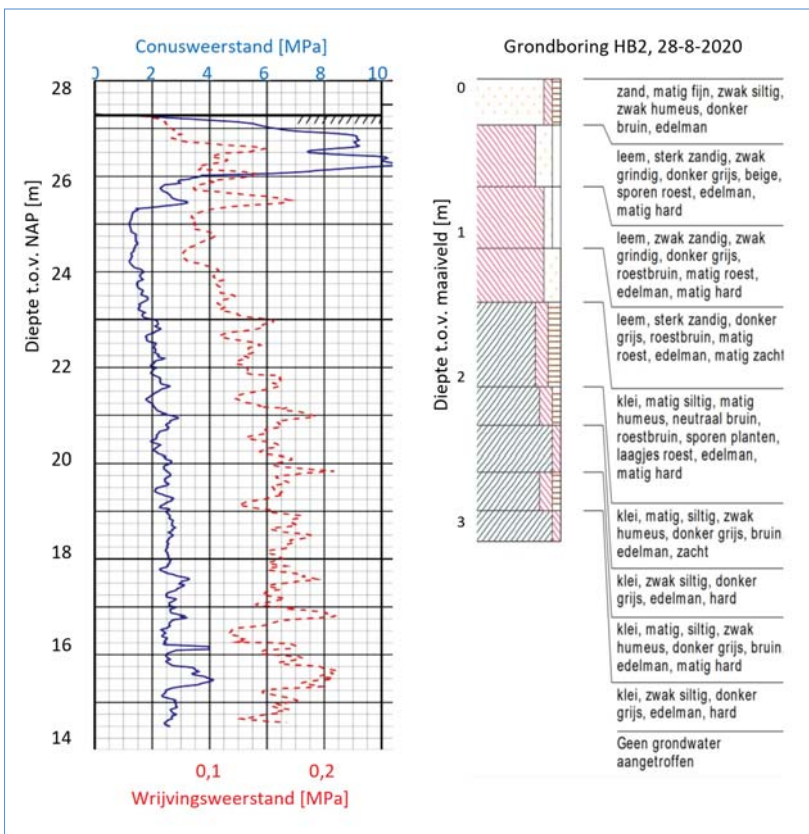
Figuur 7 – Scheur in een dorpel van het museum ontstaan in de zomer (links) en weer vrijwel dichtgetrokken in de winter (rechts), in de grafiek met de cumulatieve hoeveelheid regen.



Figuur 8 – Plaatsen van sonderingen, handboringen, peilbuizen en de waterput.

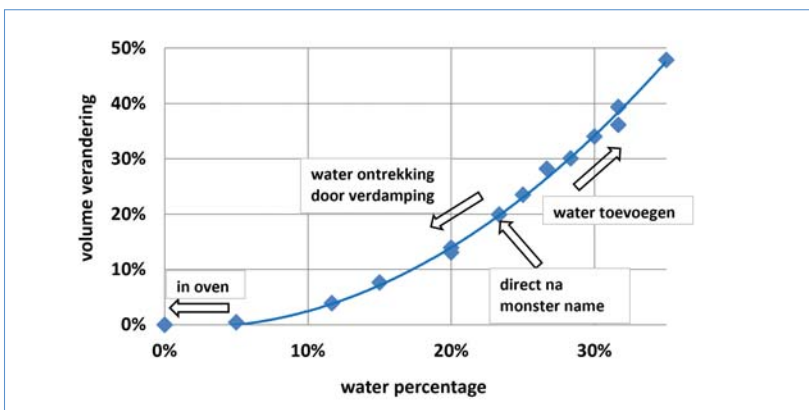


Figuur 9 – Son 4 en grondanalyse dicht bij de probleemhoek van het huis.



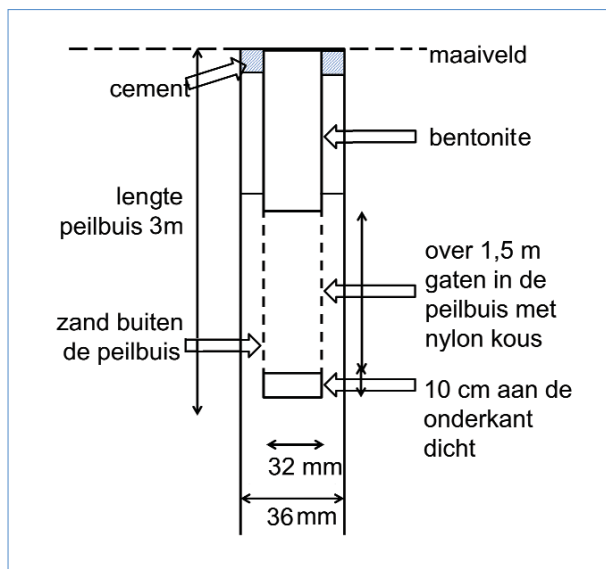
door de jaren heen al regelmatig gemeten. In figuur 12 is te zien dat het niveau in de waterput, ondanks de zeer droge zomer van 2020, in het voorjaar van 2021 weer op hetzelfde niveau is als een jaar eerder (zoals ook het geval is met het niveau van het water in peilbuis 2, figuur 12). Verder is te zien dat het waterpeil van de peilbuis 2 bij de put en het niveau van de waterput ongeveer hetzelfde verloop tonen. In figuur 12 is ook de cumulatieve hoeveelheid regen vanaf begin september weergegeven.

Het herstel van het waterniveau in de peilbuizen na de droge zomer van 2020 varieert met de plaats op het erf. In figuur 13 is het verloop van de niveaus in de vier peilbuizen als functie van de tijd gegeven. Het waterniveau in peilbuis 4, op de probleemhoek van het huis komt in begin december boven de 300 cm onder maaiveld en peilbuis 6 bij het museum, met veel bomen in de nabijheid, pas in begin februari 2021. Hiervoor stonden de buizen droog (zie schema peilbuizen in figuur 11). De uitdroging van de kleigrond en als gevolg daarvan ook het waterniveau in de peilbuizen, kan dus sterk verschillen over korte afstanden. Aan het einde van de natte periode in het voorjaar lijkt het waterniveau op de vier locaties naar hetzelfde niveau te gaan.

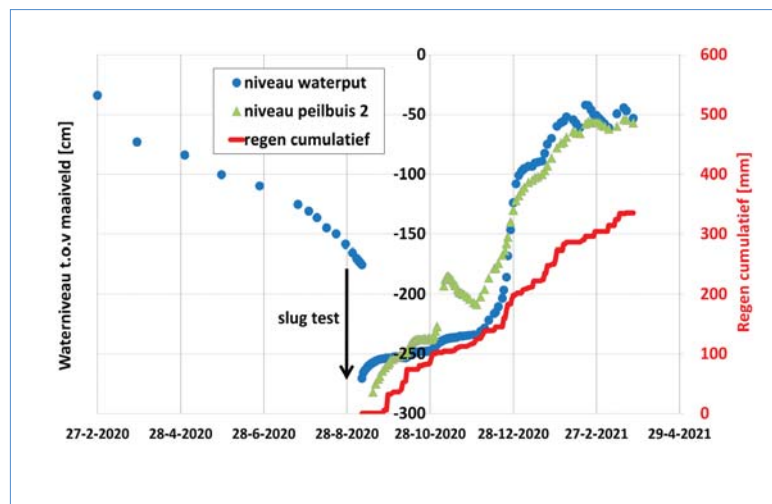


Figuur 10 – Volume verandering kleimonster als functie van het waterpercentage.

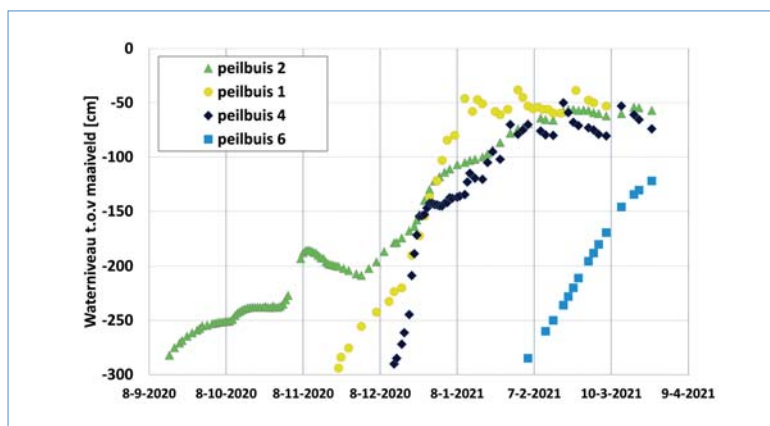
De plotselinge verlaging van het niveau van het water in de put op 8 september 2020, die in figuur 12 te zien is, is het gevolg van een experiment waarbij door water uit de put te halen het niveau met 95 cm verlaagd werd (slugtest). De tijdconstante waarmee het niveau zich daarna herstelde was ongeveer 8 dagen, zie figuur 14. In deze periode was er geen neerslag. De vergelijk-



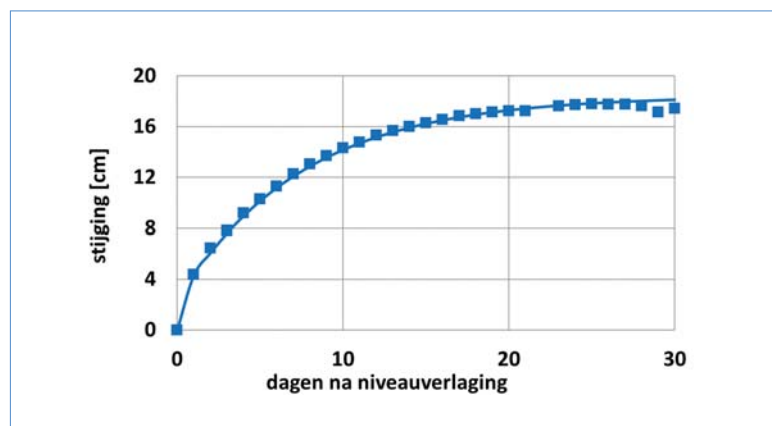
Figuur 11 –
Peilbuis
schematisch.



Figuur 12 – Waterniveau in de waterput en de bijliggende peilbuis met vanaf de zomer de cumulatieve hoeveelheid regen (ter plaatse gemeten).



Figuur 13 – Waterniveau als functie van de tijd, gemeten met peilbuizen op vier verschillende plaatsen.



Figuur 14 – Reactie na een plotselinge verlaging van het waterniveau in de put.

king van Hvorslev (ref 6) geeft een schatting van de doorlatendheidscoëfficiënt (k) van de grond rond de put van ca. 0,01 [m/dag]. Deze waarde komt overeen met een siltige kleisoort.

Literatuur

In Nederland lijkt er nog maar weinig kennis te zijn van funderingsproblemen veroorzaakt door het zwel- en krimpgedrag van expansieve kleien en van de mogelijke aanpak daarvan. In de VS, Australië en het VK is er meer literatuur op dit gebied. In het review artikel van Jones en Jefferson (ref 7) over expansive soils is een uitgebreid literatuuroverzicht te vinden. De volgende twee artikelen zijn vooral interessant omdat daarin langjarige (veld)metingen van groundbewegingen worden beschreven.

Driscoll en Chown (ref 8) hebben (klei)grondbewegingen in het Verenigd Koninkrijk gedurende vele jaren en in verschillende situaties gemeten. In het open veld gaat het grondoppervlak met de seizoenen ongeveer 30 mm verticaal op en neer. In de nabijheid van bomen werd een dubbele variatie gemeten. Op een diepte van 2 m was er in beide situaties (vrije veld en onder de bomen) vrijwel geen verticale seizoensgrondbeweging

meer te meten. Ook wordt in dit artikel het effect van de kap van een bomengroep beschreven. De hoogte $H(t)$ van de grondoppervlak en twee verschillende dieptes (Δh_1 en Δh_2) bij de kapplaats is gedurende ruim zeven jaar gemeten, zie figuur 15. Met twee verschillende tijdconstanten hebben we dit gedrag als volgt beschreven (fit parameters in tabel 1, fit weergegeven in figuur 15).

$$H(t) = \Delta h_1 (1 - e^{-t/\tau_1}) + \Delta h_2 (1 - e^{-t/\tau_2})$$

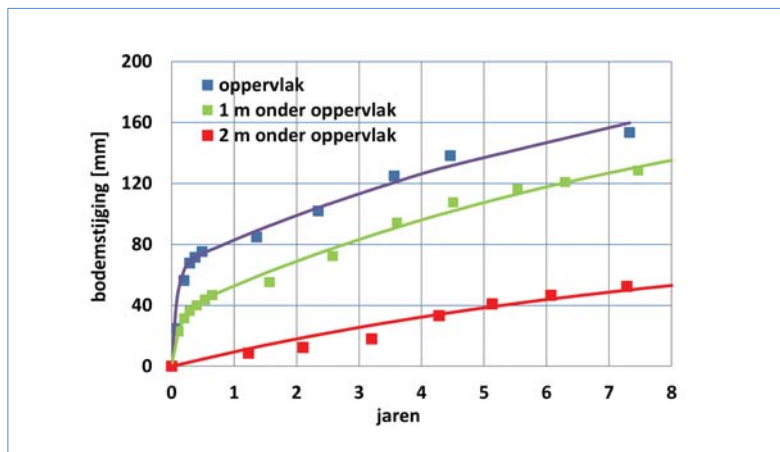
Tabel 1 – Fit parameters op basis van de datapunten in figuur 15

	τ_1 Maand	Δh_1 mm	τ_2 jaar	Δh_2 mm
Oppervlak	1	65	9	170
1m onder oppervlak	1,6	35	9	170
2m onder oppervlak	-	0	9	90

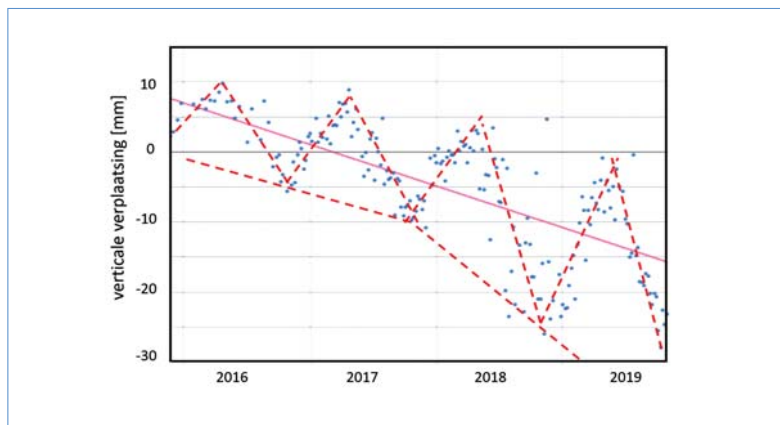
De korte tijdconstante (τ_1) is in de orde grootte van 1 maand en de lange tijdconstante (τ_2) in de orde van 9 jaar. Er is in de droge periode gekapt en gestart met de metingen. Het gedrag met de korte tijdconstante is het gevolg van de eerste daaropvolgende natte periode. Het effect van deze korte tijdconstante is niet meer te zien op een diepte van 2 m. In de metingen van Driscoll en Chown is de korte tijdconstante ook terug te zien

in de variatie van het grondoppervlak met de seizoenen. De lange tijdconstante is waarschijnlijk gerelateerd aan de langjarige onttrekking van vocht door de bomen en het herstel daarvan na de bomenkap. Twee verschillende tijdconstanten geven aan dat we te maken hebben met twee verschillende fysische fenomenen. Verder in dit artikel wordt hier nader op ingegaan.

Fityus e.a. hebben in Australië inspirerende langjarige veldexperimenten uitgevoerd (Expansive soil test site near Newcastle, ref 9). Zo werd gedurende 7 jaar de groundbeweging in een open veld gemeten. Het grondoppervlak ging daar met de seizoenen met ongeveer 35 mm op en neer. Ook beschrijft Fityus een experiment waarbij met een waterdichte cover een oppervlak (op een klei ondergrond) van 10 bij 10 m² werd afgedekt, zie figuur 16. Aan de zijkanten van de cover zijn verticale barrières van 0,5 m diep aangebracht. Na aanbrengen van de cover is de verticale groundbeweging onder en naast de cover vele jaren gemeten. Buiten de cover werden seizoensvariëaties gemeten tot maximaal 70 mm. Onder de cover steeg het bodemoppervlak met een tijdconstante van enkele jaren (vergelijkbaar met de lange tijdconstante bij de metingen van Driscoll) naar een



Figuur 15 – Stijging van het grondoppervlak en op twee verschillende dieptes na bomenkap, ref 8.



Figuur 17 – Satelliet (InSAR) metingen van de bodembeweging bij de Appelhofweg in Rekken.

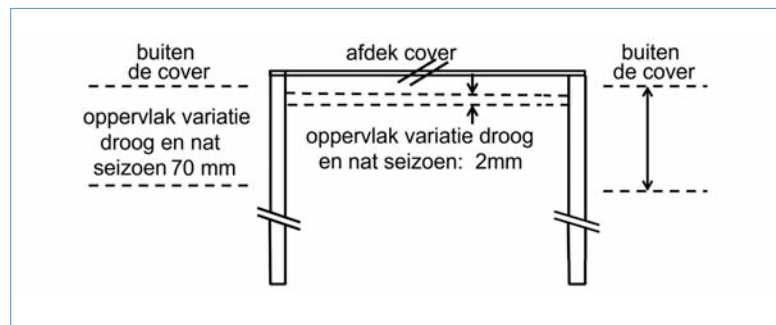
stabiel niveau, waarna er nog nauwelijks seizoensvariaties te zien waren. De stijging van het bodemniveau onder de cover is het gevolg van het feit dat de cover in het droge seizoen is aangebracht. In het droge seizoen is het grondoppervlak immers het laagst. Uit het feit dat deze stijging traag verliep en dat daarna er nauwelijks nog seizoensinvloeden te zien waren kan geconcludeerd worden dat de invloed van het vochttransport in horizontale richting onder het niveau van de barrières gering is. En ook dat het vochttransport in verticale richting onder de cover gering is. De snelheid waarmee water zich verplaatst in de klei hangt, naast de doorlatendheid, af van de gradiënt van de waterpotentiaal. Door uitdroging of bij regen op een (vrij) oppervlak ontstaan dicht onder het oppervlak wel grote verticale gradiënten. Op enige diepte echter zal in horizontale richting niet snel een grote gradiënt ontstaan.

Uit bovengenoemde literatuur en experimenten kan het volgende geconcludeerd worden. De belangrijkste factor, die voor de verticale beweging van het oppervlak zorgt, is de uitdroging door verdamping en vochtaanvulling vanuit neerslag in de bovenste kleilaag. De tijdconstante waarmee de invloed van uitdroging en neerslag zichtbaar wordt in een verandering van de hoogte van het

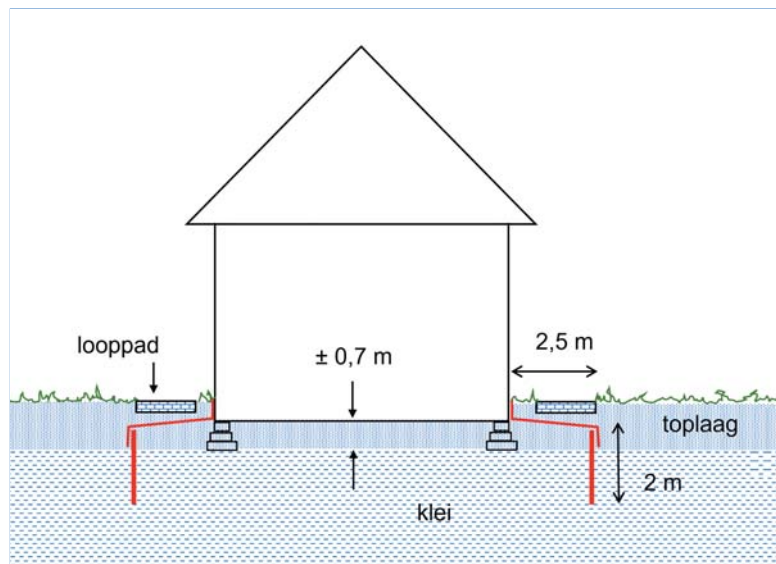
oppervlak is in de ordegrrootte van een maand. Daarom zijn de seizoensinvloeden ook zichtbaar. De verklaring van de lange tijdconstante (vijf tot tien jaar), is voornamelijk onduidelijk.

Satelliet-gebaseerde bodembewegingsmetingen

Het optreden van schade ontstaat vrijwel altijd (aan het eind van) een droge periode, door uitdroging en dus krimp van de kleilaag onder (delen) van de fundering. Als het zomerse dieptepunt samenvalt met een aantal jaren van extreme droogte, verergeren de problemen. Nu zijn de laatste jaren 2018-2020 extreem droog geweest. Op de bodemdalingskaart (ref 10) zijn satelliet metingen te vinden van bodembewegingen ook in de directe omgeving van een boerderij met schade in Rekken, zie figuur 17. Te zien zijn de seizoensvariaties, waarvan de amplitude steeds groter wordt en vooral na de winter van 2016 ook een daling van het gemiddelde bodemniveau. De seizoensveranderingen zijn van de ordegrrootte van 30 mm per jaar, de trend is een stuk kleiner, orde grootte 4 mm per jaar. Hier lijken ook twee verschillende tijdconstanten een rol te spelen. In het verloop van het grondwaterpeil (figuur 2) is in de laatste jaren ook een grotere amplitude te zien. Het grondwaterpeil komt in de winter echter nog steeds



Figuur 16 – Schematische weergave van het experiment van Fityus, ref 9.



Figuur 18 – Het aanbrengen van horizontale en verticale vochtbarrières.

terug op het langjarige niveau, misschien nog wel iets hoger. Het winterniveau van de bodem komt in tegenstelling hiermee niet terug op hetzelfde niveau. De correlatie gaat wel op voor de seizoensveranderingen, maar niet voor de langjarige trend. De wateropname van de klei (en dus de het zwelgedrag) gaat niet geheel in fase met de verandering van het grondwaterpeil. Dit zou ook het geval kunnen zijn bij de experimenten van Driscoll en Fytius. Veel is echter nog niet bekend en nader onderzoek op dit gebied is nodig.

Aanpak

In de VS en Australië zijn grote gebieden waar expansive soils schade aanbrengen aan wegen. Door het zwel-krimp gedrag van de ondergrond worden daar de wegen beschadigd en lopen de kosten van het onderhoud op. Een manier om dat te voorkomen is het aanbrengen van verticale vochtbarrières aansluitend aan de zijkanten van de weg zoals beschreven is in b.v. ref 11. De verticale barrières verhinderen het (horizontale) vochttransport in de bovenste laag. In het boek "Foundation Engineering for Expansive Soils" (ref 12), wordt in het hoofdstuk "Moisture control alternatives" het gebruik van zowel horizontale als verticale vochtbarrières behandeld. Samen met de hierboven beschreven bevindingen is er voor de

volgende aanpak van het Rekkense huis gekozen. Aan de zijkanten van het huis wordt zowel een horizontale als een verticale vochtbarrière aangebracht, zie figuur 18. De barrière bestaat uit HDPE folie met een dikte van 2 mm. De verwachting is dat op grond van de literatuurgegevens er onder het oppervlak van het huis inclusief de horizontale barrière geen seizoensinvloed van krimp en zwel meer zal zijn. De barrières zijn in het voorjaar van 2021 aangebracht. Dat is dus op het moment dat de bodemvochtigheid het hoogst is, zodat er ook geen grote veranderingen van het bodem niveau onder het huis inclusief de horizontale barrières te verwachten zijn. De verticale barrière fungeert tevens als wortelscherm voor een aantal bomen die op ongeveer 10 m afstand van het huis staan. Dit voorkomt vochtonttrekking door de bomen onder de barrière. De grootste hoeveelheid wortels van de bomen bevinden zich dicht onder het oppervlak en spreiden zich afhankelijk van de boomsoort uit tot meer dan de boomhoogte (ref 13).

Tot slot

Eind van de zomer 2020 waren er in de muren van het huis meerdere scheuren van de orde grootte van 40 mm. De taxatie was dat het herstel zou inhouden dat er delen van muren en fundering vervangen zouden moeten worden. Ook volgens de algemene studie van Deltares naar de impact

van droogte op funderingen (ref 4) zou deze schade in de hoogste schadeklasse vallen. Gedurende de natte periode werden de scheuren aanmerkelijk minder groot. Door te wachten tot de natte periode kan de schade met aanmerkelijk minder kosten hersteld worden. Tegelijkertijd moeten er wel voorzieningen getroffen worden om schade in de toekomst te voorkomen.

Er zullen metingen gedaan worden om bewegingen van delen van het woonhuis te monitoren. Met peilbuizen, vochtsensoren en bodembewegingsensoren (meerdere sensoren op verschillende dieptes) zowel binnen als buiten de barrières wordt het effect van de plaatsing hiervan gemeten. Hieruit moet duidelijk worden wat de oorzaak van het probleem was (ongelijkmatige zettingen, invloed van bomen e.d.) en of de gekozen aanpak ook het gewenste resultaat heeft opgeleverd en er geen verdere schade ontstaat. Het voornemen is dat de aanpak en resultaten in een vervolgplichting gerapporteerd worden.

Referenties

1. <https://tinyurl.com/2pxsrtk>
2. <https://tinyurl.com/583xh5k7>
3. <https://tinyurl.com/4wkrcef2>
4. Impact droogte op funderingen, Deltares, 9 sept 2020.

5. TNO Bouw en ondergrond Geological survey of the Netherlands.
6. Time lag and soil permeability in ground-water observations (1951), M.J. Hvorslev, Bull. No. 36, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, U.S. Army, 55 pp.
7. Expansive soils. L.D. Jones en I. Jefferson, ICE manual of geotechnical engineering: Vol 1, Chapter 33, 2012 (UK).
8. Shrinking and swelling of clays, R. Driscoll en R. Chown, Problematic Soils, Thomas Telford London 2001.
9. Expansive soil test site near Newcastle, S.G. Fityus, D.W. Smith en M.A. Allman, J. Geotech Geotenviro Eng, 2004, 130, 686-695.
10. www.bodemdalingskaart.nl
11. Construction of vertical moisture barriers to reduce expansive soil subgrade movement, R.P. Evans en K.J. McManus, Transportation research record 1652.
12. Foundation Engineering for Expansive Soils, John D. Nelson e.a., 2015 John Wiley & Sons, Inc, 275-283.
13. Imaging and monitoring tree-induced subsidence using electrical resistivity imaging, G.M. Jones e.a. Near Surface Geophysics, 2009, 191-206. ●

Gemeente Rotterdam
INGENIEURSBUREAU

Afdeling Geotechniek & Water
Dé adviseur voor stedelijk water en bouwen met grond in Rotterdam.

Afdeling Veldmeetdienst, Laboratorium & Geo-monitoring
Grond- & milieuonderzoek

Voor stabiele grond onder droge voeten!