



Verzakingsstructuren in Saalien smeltwater- afzettingen

SANDER KOOPMAN
S.KOOPMAN19@GMAIL.COM

In 2011 was in de gemeente Hilversum aan de Schapenkamp hoek Prins Bernhardstraat (Afb. 1) een bouwput ontsloten waarin bijzondere structuren te zien waren. Hierbij gaat het om verzakkingen met een opvulling die duidelijk afwijkt van de direct omringende sedimenten. Dit artikel beschrijft deze structuren en gaat nader in op de ontstaanswijze en de mogelijke oorzaakmechanismen voor het ontstaan. Ook worden uitspraken gedaan over de ouderdom van de structuren.

Geologische en geomorfologische context

De bebouwde kom van Hilversum heeft een ondergrond die is ontstaan tijdens de laatste twee ijstijden, het Saalien en het Weichselien (Ruegg,

1995). Kenmerkend voor Hilversum is de grote mate van afwisseling in de aard van de ondiepe ondergrond. Dat heeft te maken met de positie van Hilversum aan de proximale zijde (ijszijde) van een stuwwal, op de over-



gang naar het glaciële bekken (Koopman, 2018) (Afb. 2). Het westelijke deel van de bebouwde kom ligt grotendeels op de stuwwal, het uiterste zuidoosten ligt op de dekzandvlakte. Hier tussenin ligt nog een lage stuwwal, die in een latere stuwingsfase is ontstaan. In het gebied tussen deze stuwwallen ligt een lager gelegen zone met afzettingen uit een kamemilieu (het gebied tussen de ijsrand en de stuwwal) variërend van parallel gelaagde fluvioglaciële afzettingen tot kleiige glaciolacustriene afzettingen en keileem (Ruegg & Koopman, 2010). De in dit artikel behandelde ontsluiting Schapenkamp (zie tabel 1 voor de metagegevens) ligt aan de rand van deze zone precies tussen de twee stuwwallen in (Afb. 3). Het betreft een rechthoekige bouwput met afmetingen van ongeveer



AFBEELDING 1. | Locatiekaartje met aanduiding van de ontsluiting Schapenkamp. Bron: Kadaster, 2011.



AFBEELDING 2. | Uitsnede geologische kaart van Hilversum (de zwarte lijn is een profiellijn uit de oorspronkelijke afbeelding). Bron: Koopman, 2018.

| Metagegevens van de ontsluiting Schapenkamp | |
|---|---------------------------------------|
| Gemeente | Hilversum |
| Locatiennaam | Schapenkamp hoek Prins Bernhardstraat |
| Datum veldonderzoek | 28-10-2011 |
| RD-coördinaat X | 140,90 |
| RD-coördinaat Y | 470,65 |
| Maaiveldhoogte (m) | 5,0 |

TABEL 1. | Metagegevens van de ontsluiting Schapenkamp.

| Overzicht lithologische eenheden in de ontsluiting Schapenkamp | | |
|--|--|---|
| Nr. | Omschrijving | Interpretatie lithostratigrafie |
| 1. | Verstoorde (scheefgestelde en geplooid) klei- en siltlagen met zandlagen ertussen | F. van Drenthe, gestuwde glaciolacustriene afzettingen |
| 2. | Matig grof goed gesorteerd zand met verspreid grind, vrijwel geen gelaagdheid waarneembaar | F. van Drenthe, fluvioglaciële afzettingen |
| 3. | Geïsoleerd voorkomende lagen van klei en silt | F. van Drenthe, kleinschalige glaciolacustriene afzettingen |
| 4. | Slecht gesorteerd grof zand en grind, plaatselijk met parallel gelaagdheid | F. van Drenthe, fluvioglaciële afzettingen |
| 5. | Matig fijn goed gesorteerd zand, parallel gelaagd | F. van Boxtel, dekzand |

TABEL 2. | Overzicht van de lithologische eenheden in de ontsluiting Schapenkamp en lithostratigrafische interpretatie. De eenheden zijn genummerd op de veronderstelde volgorde van afzetting.

15 x 25 meter en een diepte van ruim 2,5 meter. In de put was op het moment van het onderzoek reeds een betonnen casco geplaatst waardoor alleen in de wanden waarnemingen gedaan konden worden (Afb. 4).

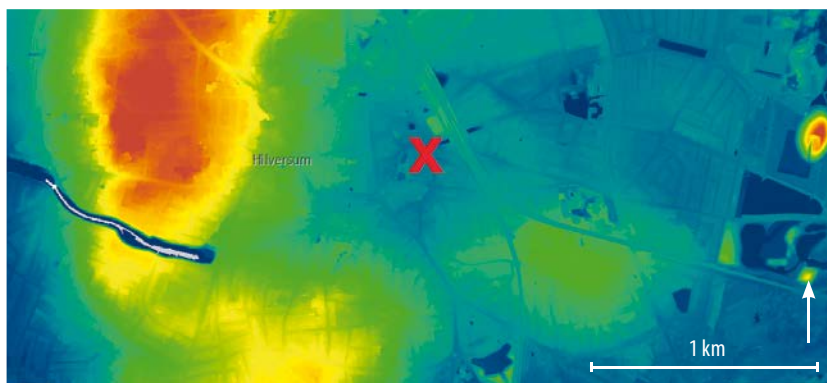
Beschrijving van de waargenomen profielen, lithologie & structuren

Er zijn in drie wanden waarnemingen gedaan, te weten de zuidwand, noordwand en oostwand, waarbij de eerste twee wanden het meest uitgebreid zijn onderzocht. De waarnemingen worden hierna besproken waarbij eerst de zuidwand wordt behandeld, maar de nadruk zal uiteindelijk liggen op de noordwand omdat de bijzondere structuren in die wand het duidelijkst ontwikkeld zijn. De waargenomen lithologische eenheden zijn samengevat in tabel 2. In de zuidwand bevinden zich in de onderste 1,5 meter gedeformeerde blauwgrijze klei- en siltlagen met een verstoorde interne gelaagdheid en lagen van lichtgrijs, kwartsrijk zand ertussen, plaatselijk



verkleurd door roest (Afb. 5) (lithologische eenheid 1). In dit pakket zijn verschubde structuren en plooien te zien die hellen naar het westen. De interpretatie is dat het hier gaat om gestuwde glaciolacustriene afzettingen behorend tot de Formatie van Drenthe. Hier bovenop ligt een pakket matig grof goed gesorteerd zand met verspreid voorkomend grind, dikte zo'n 30-50 cm, waarin vrijwel geen gelaagdheid is te zien (lithologische eenheid 2). Waarschijnlijk betreft het fluvioglaciale afzettingen, Formatie van Drenthe, die na afzetting gehomogeniseerd zijn waardoor de oorspronkelijke gelaagdheid is verdwenen. Plaatselijk komen hierin verzakkingsstructuren voor met een vulling grotendeels bestaand uit slecht gesorteerd grind en grof zand. Over de gehele lengte van het profiel bevindt zich bovenop het matig grove zand een laagpakket met hetzelfde slecht gesorteerde grind en grof zand, plaatselijk parallel gelaagd en met een dikte van 30-50 cm (lithologische eenheid 4). De interpretatie is dat het hier gaat om grove fluvioglaciale afzettingen, eveneens Formatie van Drenthe. Op basis van de sterke lithologische overeenkomst is het aannemelijk dat de vulling van de verzakkingsstructuren afkomstig is uit dit bovenliggende pakket (eenheid 4). Bovenop het grind-

rijke pakket ligt ongeveer 50 cm matig fijn zand, parallel gelaagd en onverstoord, geïnterpreteerd als dekzand (lithologische eenheid 5, Formatie van Boxtel). Daar bovenop ligt tot aan het maaiveld een laag omgewerkte zwarte aarde. In de noordwand (Afb. 6), schematisch weergegeven in afbeelding 7, is een identieke laagopvolging aanwezig alleen hier ontbreekt eenheid 1, de gestuwde afzettingen. Het onderste pakket betreft in deze wand eenheid 2, het matig grove zand met verspreid grind, die hier dikker is dan in de zuidwand en reikt tot aan de vloer van de put. In eenheid 2 zijn in de noordwand twee zeer markante verzakkingsstructuren aangetroffen waarvan de meest oostelijke hier in detail wordt besproken (Afb. 8, rechts in Afb. 7). Onderin bevindt zich een schotelvormige klei- en silthoudende laag (vanaf nu: klei-siltlaag, lithologische eenheid 3), blauwgrijs van kleur en met een scherpe begrenzing ten opzichte van het omringende zand. De begrenzing wordt nog extra geaccentueerd door oranjebruine roestverschijnselen. De bovenzijde van eenheid 3 vertoont golfvormige vervormingen, waarschijnlijk gaat het hier om loadingstructuren die zijn ontstaan door de druk die het bovenliggende pakket uitoefende. Aan de beide zijken van de verzakkingsstructuur bevindt zich eenheid 2. In deze eenheid is alleen enige structuur



AFBEELDING 3. | AHN hoogtebeeld van de omgeving van de ontsluiting Schapenkamp. Links en rechts onder zijn de stuwwallen zichtbaar. Bron: AHN-Viewer AHN3 maaiveld.



AFBEELDING 4. | Overzichtsbeeld van de bouwput aan de Schapenkamp, diepte zo'n 2,5 meter, kijkrichting noordoost. Foto: Sander Koopman.

zichtbaar in de vorm van naar de klei-siltlaag afbuigende en convergerende “lijnen”. Dit is vooral aan de rechterzijde goed te zien. Bovenop de klei-siltlaag ligt een ongeveer 1 meter dik pakket met een chaotisch mengsel van grind, zand en enkele stenen. Gelaagdheid ontbreekt vrijwel en de grindpartikels hebben geen voorkeursoriëntatie. De samenstelling van het grind is divers, het bevat zowel typisch zuidelijke componenten als kwarts, kwartsiet en lydiet, maar ook noordelijke gesteenten (vooral granieten) komen frequent voor. In deze opvulling is een brok zand waargenomen dat onvervormd is en bij afzetting zeer waarschijnlijk in bevroren toestand is geweest (ijszandsteen; zie afbeelding 8). Aan de bovenzijde is de verzakingsstructuur bedekt met een pakket grind en grof zand (lithologische eenheid 4), die eenheid is qua lithologie en samenstelling identiek aan de hiervoor beschreven opvulling. Het lijkt er dus op dat eenheid 3 (de klei-siltlaag) in het onderliggende zand van eenheid 2 is gezakt, waarbij het bovenliggende sediment van eenheid 4, grof zand en grind, eveneens naar beneden is gezakt. Bovenop de verzakingsstructuren is in eenheid 4 plaatselijk een horizontale gelaagdheid zichtbaar, die sterk contrasteert met het chaotische karakter van de eronder liggende opvullingen (zie Afb. 6).



AFBEELDING 5. | *Profiel in de zuidwand. Blauwgrijze kleiige en siltige afzettingen met zandlagen ertussers, glaciolacustrien van oorsprong en vervormd door glaciële stuwning. Daar bovenop fluvioglaciële afzettingen met boven de troffel een met grind opgevulde verzakking. Foto: Sander Koopman.*



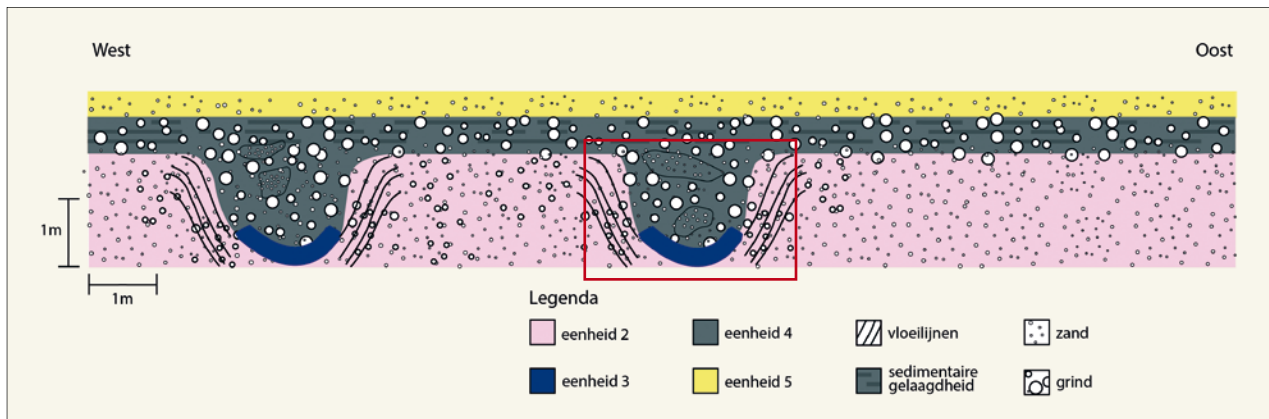
AFBEELDING 6. | *Overzicht van de noordwand, kijkrichting noordoost. Er zijn twee verzakingsstructuren te zien (aangeduid met pijlen) waarvan één bij de troffel (links). Foto: Sander Koopman.*

Mogelijke ontstaansmechanismen van de verzakingsstructuren

Voor het ontstaan van de beschreven structuren zijn diverse mechanismen denkbaar. De navolgende beschrijving hiervan is gebaseerd op discussies hierover met dr. A. Fortuin & prof. dr. R.T. van Balen. Allereerst is het van belang om een onderscheid te maken tussen enerzijds de sedimentaire processen en anderzijds de processen die na sedimentatie kunnen optreden (soft sediment deformation). Structuren zoals in dit artikel beschreven, blijken door beide typen processen veroorzaakt te kunnen worden. Daarbij is het vrijwel onmogelijk om alleen op basis van de kenmerken van de ontsluiting een definitieve uitspraak te kunnen doen over het ontstaansmechanisme. Redenerend vanuit sedimentaire processen zou de structuur ontstaan kunnen zijn als een doodijsgat en dit is ook de oorspronkelijke interpretatie die –zij het met de nodige voorzichtigheid– ten tijde van de waarneming aan het fenomeen is gegeven (Koopman & Pfeifer, 2014). De ontstaanswijze hiervan staat schematisch weergegeven in afbeelding 9. Een blok ijs blijft achter in reeds eerder afgezette fluvioglaciële afzettingen (eenheid 2; zie paneel 1 in Afb. 9)) en smelt steeds verder af. In het rustige milieu van het gat treedt sedimentatie op van silt- en lutumdeeltjes waarbij de klei-siltlens van eenheid 3 ontstaat (paneel 2). Nadat het ijs grotendeels is gesmolten raakt tijdens een plotselinge aanvoer van fluvioglaciële sedimenten het gat opgevuld met een mengsel van ontdooide en bevroren sediment-brokken (paneel 3). Daarna treedt doorgaande sedimentatie van fluvioglaciële afzettingen op waardoor het doodijsgat bedekt raakt met parallel gelaagd grof zand en grind (eenheid 4; paneel 4). Als de verzakingsstructuren inderdaad als doodijsgaten zijn ontstaan, dient er nog wel een verklaring te worden gezocht voor het homogene karakter van lithologische eenheid 2, de fluvioglaciële afzettingen waarin het doodijsgat is ontstaan. Dat zou veroorzaakt kunnen worden door massabeweging, waarbij het ijs al aanwezig was of juist onderdeel was van de massabeweging, of door liquefactie (vervloeiing).

Redenerend vanuit soft sediment deformation processen zou liquefactie





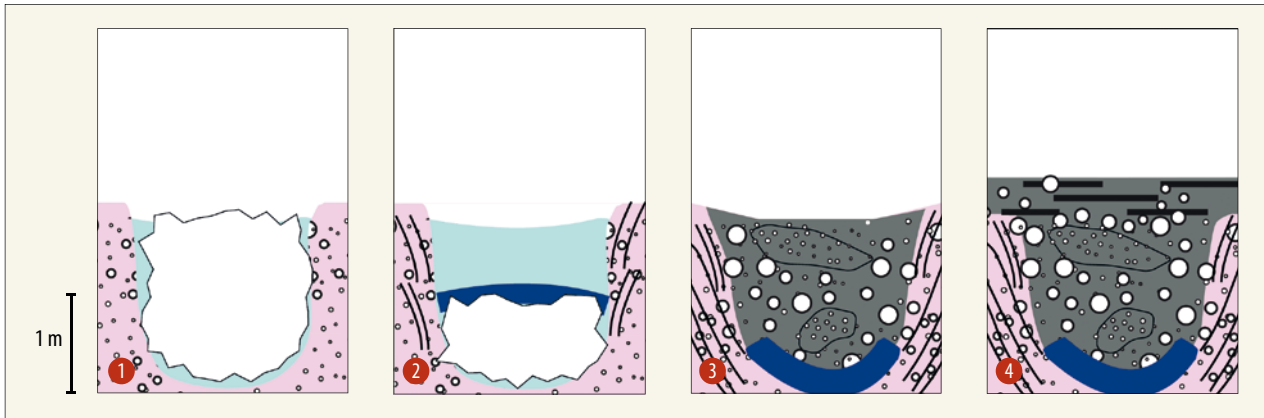
AFBEELDING 7. | Schematische tekening van het profiel in de noordwand. De omkaderde structuur is nader onderzocht en in detail te zien op de afbeeldingen 8 en 9. Tekening: drs. A. E. Pfeifer.

ook een op zichzelf staande oorzaak kunnen zijn van de verzakingsstructuren. Liquefactie is een proces waarbij door een oorzaak van buitenaf de poriëndruk van het water tussen de zandkorrels plotseling toeneemt en de zandkorrels het onderlinge contact verliezen (Obermeier, 1996). Daardoor verliest het sediment zijn draagkracht en kunnen bovenliggende sedimentpakketten met een hoger soortelijk gewicht naar beneden zakken, waarbij typische verzakingsstructuren (“loading structures”) ontstaan. Om dit te kunnen laten gebeuren moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan (Obermeier, 1996; Obermeier *et al.*, 2005). Deze zullen hierna worden besproken in relatie tot de specifieke kenmerken van de ontsluiting Schapenkamp. Allereerst moet er sprake zijn van waterverzadiging van het sediment. De ontsluiting Schapenkamp ligt relatief laag in een bekken tussen twee stuwwallen waardoor –bijvoorbeeld in geval van de aanwezigheid van permafrost en/of landijs in de buurt– stagnatie van (smelt)water makkelijk kon optreden en er waterverzadigde condities konden ontstaan. Een tweede voorwaarde is de aanwezigheid van een sedimenttype dat gevoelig is voor liquefactie. Met name goed gesorteerd matig fijn tot matig grof zand is gevoelig voor het optreden van liquefactie. In de ontsluiting Schapenkamp betreft het de eenheid 2 die –weliswaar met enig grind erin– aan deze kenmerken voldoet. In combinatie met de aanwezigheid van een minder gevoelig pakket bovenop het zand kunnen door liquefactie verzakingsstructuren ontstaan. In de besproken ontsluiting komen grindlagen en plaatselijk klei-

siltlagen voor die oorspronkelijk op het zand lagen; zowel grind als klei en silt zijn beduidend minder gevoelig voor liquefactie en zullen dus niet vervloeiden, maar verzakken in het onderliggende vervloede zand. Tot slot neemt de gevoeligheid voor liquefactie af met de diepte. Hoe dieper het sediment ligt, des te groter de druk is die de bovenliggende lagen uitoefenen en des te lastiger het wordt om een positieve poriëndruk te laten ontstaan. Liquefactie treedt vaak op zo tussen de 1,5 en 2 meter diep, en dat is ook precies de diepte waarop het



AFBEELDING 8. | Dubbelfoto (boven frontaanzicht (A), onder oblique aanzicht (B)) van de meest oostelijke verzakingsstructuur in de noordwand. Blok ijszandsteen aangeduid met pijltje. Foto: Sander Koopman.



AFBEELDING 9. | Schematische tekening van de mogelijke ontstaanswijze van de verzakkingsstructuren als doodijsgat. Voor toelichting zie tekst. Tekening: drs. A. E. Pfeifer.

zandpakket in de ontsluiting Schapenkamp zich bevindt. Al met al moet er dus sprake zijn van een specifieke combinatie van factoren, die in deze ontsluiting toevalligerwijs “bij elkaar komen”. Een ontstaanswijze van de verzakkingsstructuren als gevolg van liquefactieprocessen staat schematisch weergegeven in afbeelding 10. Allereerst (paneel 1 in Afb. 10) is er sprake van twee sedimentpakketten met gelaagde fluvioglaciale afzettingen (eenheden 2 en 4) waarin plaatselijk lenzen van klei en silt voorkomen (eenheid 3). In een volgend stadium (paneel 2) raakt het sediment van eenheid 2 vervloeid. Hierdoor verliest het draagkracht en kunnen de erop liggende lenzen van klei en silt, met een hoger soortelijk gewicht, naar beneden zakken waarbij ook het grind en zand uit eenheid 4 meezakken. Na het inzakken van de klei-siltlenzen treedt opnieuw sedimentatie van fluvioglaciale afzettingen op waardoor de gehele structuur wordt afgedekt met horizontaal gelaagd zand en grind (paneel 3).

Mogelijke oorzaken van liquefactie

Wat zouden de oorzaken kunnen zijn van het optreden van liquefactie? Gezien de eerder besproken kenmerken van de opvulling in de verzakking moet de liquefactie vrij plotseling zijn opgetreden. In de literatuur worden verschillende oorzaakmechanismen genoemd die instantaan van aard zijn (zie b.v. Alfaro *et al.*, 2002; Bowman *et al.*, 2004; Moretti & Sabato, 2007), te weten een plotselinge bedekking met sediment (overloading), de werking van golven (stormgolven, tsunami's) of het optreden van een aardbeving. Maar naast deze instantaan optredende oorzaken kan er ook sprake zijn van langzame liquefactie samenhangend met permafrost. Bijvoorbeeld door waterverzadiging boven een degradende permafrostondergrond, of door toenemende druk in de actieve laag boven de permafrost als gevolg van bevroering van bovenaf tijdens de winterperiode. Wat zou in het geval van de ontsluiting Schapenkamp de meest waarschijnlijke oorzaak geweest kunnen zijn? Een plotselinge bedekking door sediment is in dit geval onwaarschijnlijk. Op plekken waar lithologische eenheid 4 (het laagpakket met grof zand en grind) niet is ingezakt vertoont dit laagpakket interne gelaagdheid, wat erop wijst dat het grind door water is afgezet. Ook de klei-siltlenzen van eenheid 3 vertonen interne gelaagdheid en zijn dus over langere tijd afgezet. Golfwerking als oorzaak kan voor de beschreven locatie geheel uitgesloten worden. Er zijn namelijk geen aanwijzingen dat er na de afzetting van eenheid 2 grootschalige meervorming is opgetreden op deze locatie. Een andere mogelijke oorzaak is het optreden van een aardbeving. Op de menselijke tijdschaal bezien komen aardbevingen in Nederland weinig voor, maar op de geologische tijdschaal zal dit vaker het geval zijn geweest. Naast de aardbevingen op de Peelrandbreuk van 1932 (Uden, magnitude 5,0 op de schaal van Richter) en 1992 (Roermond, magnitude 5,8) zijn er aanwijzingen voor zwaardere aardbevingen op deze breuk in het verdere verleden, bijvoorbeeld aan het eind van het Weichselien zo'n 14 KA geleden met een geschatte magnitude van $6,8 \pm 0,3$ (Van Balen *et al.*, 2019). De noordwestelijke uitlopers van het Peelbreuksysteem lopen door tot nabij het Gooi (Leenaers, 2009) waardoor er ook in deze omgeving aardbevingen opgetreden kunnen zijn. Liquefactie van zand kan optreden

vanaf een magnitude rond de 5,5 (Valera *et al.*, 1994) waarmee aardbevingen zoals die in Nederland optreden een oorzaak zouden kunnen zijn van de liquefactieverschijnselen in de ontsluiting Schapenkamp.

De ouderdom van de verzakkingsstructuren

Een laatste onderzoeksvraag is nog wat de ouderdom zou kunnen zijn van de verzakkingsstructuren. In geval van een interpretatie als doodijsgat is er onmiskenbaar sprake van een laat-saalien ouderdom, namelijk de periode dat het landijs in Nederland afsmolt. Maar ook bij een interpretatie als liquefactiestructuur is het zeer waarschijnlijk dat de structuren een laat-saalien ouderdom hebben en wel om de volgende redenen. Er moet allereerst sprake zijn geweest van periglaciale condities: een bevroren ondergrond met een opdooilag van tenminste enkele meters dik, waardoor er stagnatie van water kon optreden en de bovengrond waterverzadigd raakte. De aanwezigheid van een brok ijszandsteen in de opvulling in combinatie met plastisch vervormde sedimenten vormt eveneens een aanwijzing voor de aanwezigheid van periglaciale condities tijdens het ontstaan van de structuren. Daarmee komen als kandidaten in beeld het eind van het Weichselien en het eind van het Saalien. De afzettingen waarin de liquefactie is opgetreden dateren uit het Saalien (DINOLoket; Rugg, 1995). Naarmate een sediment ouder wordt raakt het meer geconsolideerd en wordt het minder gevoelig voor liquefactie, als het sediment tenminste geruime tijd boven de grondwaterspiegel heeft gelegen (Obermeier, 1996).



Zeer waarschijnlijk heeft de liquefactie dan ook relatief kort na de afzetting van de fluvioglaciale afzettingen (lithologische eenheden 2 en 4) plaatsgevonden, dus aan het einde van het Saalien. Een Saalien-datering wordt verder ondersteund door het gegeven dat de bovenliggende sedimenten van de Formatie van Boxtel hier een onverstoord uiterlijk hebben, en delen van het grindrijke fluvioglaciaal (eenheid 4) boven de verzakingsstructuren eveneens onverstoord zijn.

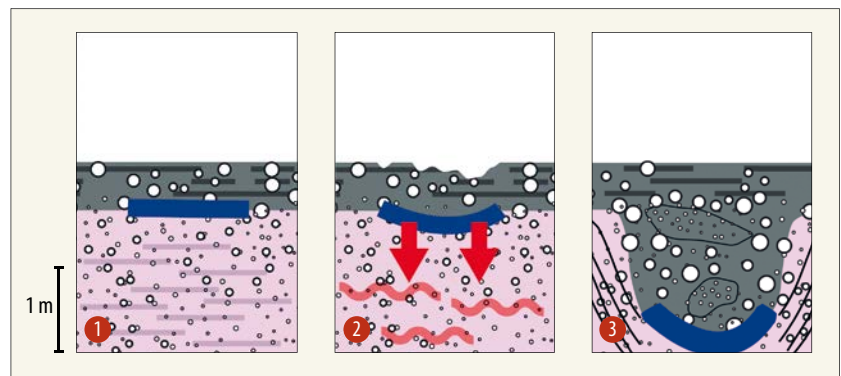
Conclusies

Tot besluit nog de volgende overwegingen. De ontsluiting aan de Schapenkamp is een goed voorbeeld van een profielwaarneming waarmee de geologische ontwikkelingen aan het eind van het Saalien gereconstrueerd kunnen worden. Hier komen echter ook de grenzen van zulke reconstructies in beeld daar er typen structuren zijn, zoals in dit artikel beschreven, waarvoor meerdere verklaringen mogelijk zijn. Voor definitieve uitspraken over het ontstaan ervan is meer informatie nodig over de bredere context, die hier helaas ontbreekt. Het hier beschreven onderzoek toont daarmee enerzijds het belang en de meerwaarde aan van een fijnmazig net van profielwaarnemingen van de ondiepe ondergrond. Zeker in het gebied tussen de stuwwallen en de ijsskap is de variatie in de ondergrond groot zowel qua lithologie als qua sedimentaire structuren en komt deze in boringen doorgaans onvoldoende tot uitdrukking. Anderzijds komen bij het in dit artikel beschreven onderzoek ook de beperkingen van relatief kleinschalige profielwaarnemingen aan het licht waarbij het ondanks een duidelijke expressie van structuren niet mogelijk is om eensluidende uitspraken te doen over het ontstaan ervan.

Dankwoord

Allereerst gaat mijn dank uit naar dr. Anne Fortuin (Geologisch Museum Hofland) voor het aanzwengelen van de discussie over de ontstaanswijze van de in dit artikel besproken structuren, voor het verstrekken van uitgebreide literatuur over zaken als liquefactieprocessen, paleoseismiek en dergelijke, en voor het reviewen van de conceptversie van het manuscript. Voorts ben ik veel dank verschuldigd

aan prof. dr. Ronald van Balen (VU-Aardwetenschappen) voor het verstrekken van informatie over paleoseismiek in Nederland, voor het reviewen van twee conceptversies van het manuscript en voor het aandragen van suggesties voor aanpassingen in de tekst. Tot slot dank aan drs. A.E. Pfeifer voor het vervaardigen van de afbeeldingen 7, 9 en 10.



AFBEELDING 10. | Schematische tekening van de mogelijke ontstaanswijze van de verzakingsstructuren als involutie of eventueel getriggerd door een aardbeving. Voor toelichting zie tekst. Tekening: drs. A. E. Pfeifer.

LITERATUUR

- Alfaro, P., J. Delgado, A. Estévez, J.M. Molina, M. Moretti & J.M. Soria, 2002. *Liquefaction and fluidization structures in Messinian storm deposits (Bajo Segura Basin, Betic Cordillera, southern Spain)*. *International Journal of Earth Sciences* 91(3): p 505-513.
- Bowman D., A.M. Korjenkov & N. Porat, 2004. *Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk-kul, the Tien Shan range, Kyrgyzstan*. *Sedimentary Geology* 163 p 211-228.
- Balen, R.T. van, M.A.J. Bakker, C. Kasse, J. Wallinga en H.A.G. Woolderink, 2019. *A Late Glacial surface rupturing earthquake at the Peel Boundary fault zone, Roer Valley Rift System, the Netherlands*. *Quaternary Science Reviews* 218, p 254-266
- Koopman, S., en A.E. Pfeifer, 2014; *Geologische atlas van het Gooi*. AWN Naerdincklant.
- Koopman, S., 2018. *De glaciale geologie van Hilversum*. *Grondboor & Hamer* 2018-5/6, Nederlandse Geologische Vereniging.
- Leenaers, H., 2009. *De Bosatlas van ondergronds Nederland*. Noordhoff Uitgevers B.V.
- Moretti, M., & L. Sabato, 2007. *Recognition of trigger mechanisms for softsediment deformation in the Pleistocene lacustrine deposits of the Sant'Arcangelo Basin (Southern Italy): Seismic shock vs. overloading*. *Sedimentary Geology* 196 p 31-45.
- Obermeier, S. F., 1996. *Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis — An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes*. *Engineering Geology* 44 p 1-76.
- Obermeier, S.F., S. M. Olson & R.A. Green, 2005. *Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering geologic analysis of paleoseismic shaking*. *Engineering Geology* 76 p 209-234, *Science Direct, Elsevier B.V*
- Ruegg, G.H.J., 1995. *Kwartaire wordingsgeschiedenis van, en ontsluitingen in het Gooi*. *Grondboor & Hamer* 1995-3/4 p 82-89, NGV.
- Ruegg, G.H.J., & S. Koopman, 2010. *Stuwwallfasering en kame-afzettingen in het Gooi*. *Grondboor & Hamer* 2010-3 p 81-89, NGV.
- Valera, J. E., M.L. Traubenik, J.A. Egan en J.Y. Kaneshiro, 1994. *A practical perspective on liquefaction of gravels*. In: *Ground Failures Under Seismic Conditions*, ed. S. Prakash en P. Dakoulas. Vol. 44 p 241-257. *American Civil Engineers Geotechnical Special Publication*.

