

AFBEELDING 1. | AHN – hoogtebeeld van de Zuid-Veluwe. Bron: www.ahn2.nl.

De sandr van de Zuid-Veluwe

EDUARD KOSTER
WARD-KOSTER@PLANET.NL

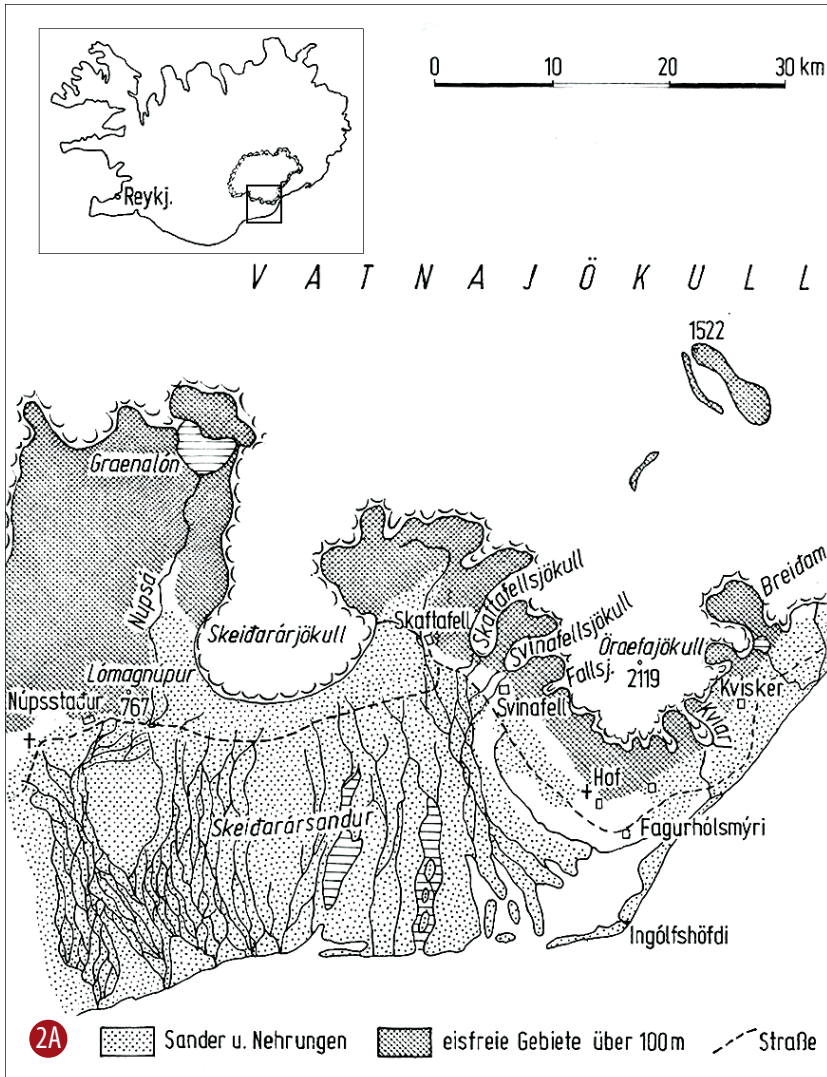
In de noordelijke helft van Nederland komen aan of nabij de oppervlakte op diverse plaatsen ijssmeltwaterafzettingen uit de Saale-ijstijd voor. De ontstane terreinvormen staan bekend als kames, kameterrassen, eskers en sandrs. Eén van de grootste aaneengesloten terreinvormen van glacio-fluviatiele origine is de sandr van de Zuid-Veluwe (Afb. 1). De ouderdom, morfogenese, sedimentsamenstelling en interne structuur van de stuwwallen, die de sandr begrenzen, is veelvuldig onderwerp van onderzoek geweest. Van de sandrafzettingen zelf is minder bekend. Bovendien, vonden veel studies – op een enkele uitzondering na – geruime tijd geleden, in de jaren 1950–80 plaats. Een flink deel van deze onderzoeksresultaten is niet in digitale vorm beschikbaar en daardoor ook relatief weinig bekend. Vandaar dat ik in de reeks geologisch/geomorfologisch interessante gebieden van Nederland hieraan aandacht wil besteden.

Terminologie

Een sandr (ook wel geschreven als sandur [enkv.] of sandar [meerv.]) of spoelzandvlakte/-waaier is een waaier-

vormige afzettingenvorm, die voor het front van een ijskap of een gletsjer door ijssmeltwater gevormd is. Engelse equivalenten zijn 'outwash





AFBEELDING 2. | Kaartuitsnede (A) en foto (B) van de Skeiðarársandur; die het smeltwater van de Skeiðarárjökull afvoert. Bron: M. Schwarzbach, *Geologenfahrten in Island, 1975*; foto J.J.M. van der Meer.

plain' of 'outwash fan'. De sedimenten die door smeltwater vanuit het ijs en vanuit de lokale ondergrond zijn aangevoerd worden aangeduid als glacio-fluviatiele afzettingen of 'stratified drift' (vroeger gebruikt synoniem) of glaciolacustriene (meer)afzettingen. Het begrip sandur is ontleend aan de enorme, circa 1300 km² grote smeltwaterwaaiers – de Skeiðarársandur – die ligt tussen de ijskappen Vatnajökull en de Zuid-IJslandse kust (Afb. 2A en B). In het IJslandse voorbeeld worden de periodiek optredende enorme smeltwatermassa's, die waterafvoeren van 40 à 50 000 m³/s kunnen bereiken en die bekend staan als 'jökulhlaups', gevoed door uitbarsten van subglaciale meren. In IJsland ontstaan die meren meestal tijdens subglaciale vulkaanuitbarstingen als in korte tijd enorme volumes ijs smelten.

De sandur van de Zuid-Veluwe

Het proefschrift van Teunissen (1961) behandelt de kennisontwikkeling van



het ontstaan van de Midden-Nederlandse heuvelruggen oftewel stuwwallen en aangrenzende gebieden in de periode 1860-1960 (van Staring – Maarleveld c.s.). Een geactualiseerde versie van deze kennis is te vinden in het proefschrift van Bakker (2004). Ondanks veel ouder Nederlandse onderzoek, komt de Duitse Kwartairgeoloog J. Keilhack de eer toe in 1915 als eerste de tot dan toe door Nederlandse onderzoekers als (rivier)Hoogterras beschouwde afzettingen aan de flanken van stuwwalmorenes of stuwwallen in Midden-Nederland te herkennen als ijssmeltwater oftewel sandrafzettingen (Afb. 3). Vervolgens werd – naar analogie van een expeditie verslag van K. Gripp (zie van der Meer, 2004) over actuele stuwwalvorming op Spitsbergen – eindelijk in de jaren na 1930 de vorming van stuwwallen en sands in Noordwest-Europa – en dus ook in Nederland – door landijs in de Saale-tijd voor het eerst afdoende verklaard. Bovendien vormde deze laatste studie de aanzet tot het begrip dat periglaciaire verschijnselen, zoals de vorming van droge dalen, vorstspelen, kryoturbate verschijnselen ('Brodelboden') e.d. gerelateerd kunnen worden aan het al dan niet permanent bevroren zijn van de ondergrond (permafrost).

Ingeklemd door de stuwwallen van Ede-Wageningen, Oud-Reemst, Oost-Veluwe en Arnhem ligt de uitgestrekte sandr van de Zuid-Veluwe. Deze sandr is eerder benoemd als de sandr van Wolfheze (en incidenteel ook als de sandr van Schaarsbergen). Aangezien beide plaatsen echter een perifere positie innemen, wordt de voorkeur gegeven aan de hier gebruikte algemene benaming. Door Gerard Gonggrijp is de gehele sandrvlakte op de Zuid-Veluwe in zijn landelijke inventarisatie van Gea-objecten (1968, RIN), alleen al vanwege de grootte, aangeduid als zeldzaam en zeer waardevol geomorfologisch element. De sandr bestaat uit omvangrijke natuurgebieden met bos en heidevelden onderbroken door enkele kleinere landbouwenclaves. Vanwege de relatief vlakke ligging, de ondergrond bestaande uit grove, grindhoudende zanden en de goede drainage is de sandr overigens ook geschikt gebleken voor de aanleg van de vliegvelen van Deelen en Terlet.



AFBEELDING 3. | Fragment van de geologische kaart van Nederland, 32 Amersfoort, Kwartblad IV, schaal 1:50 000 (P. Tesch, 1929).

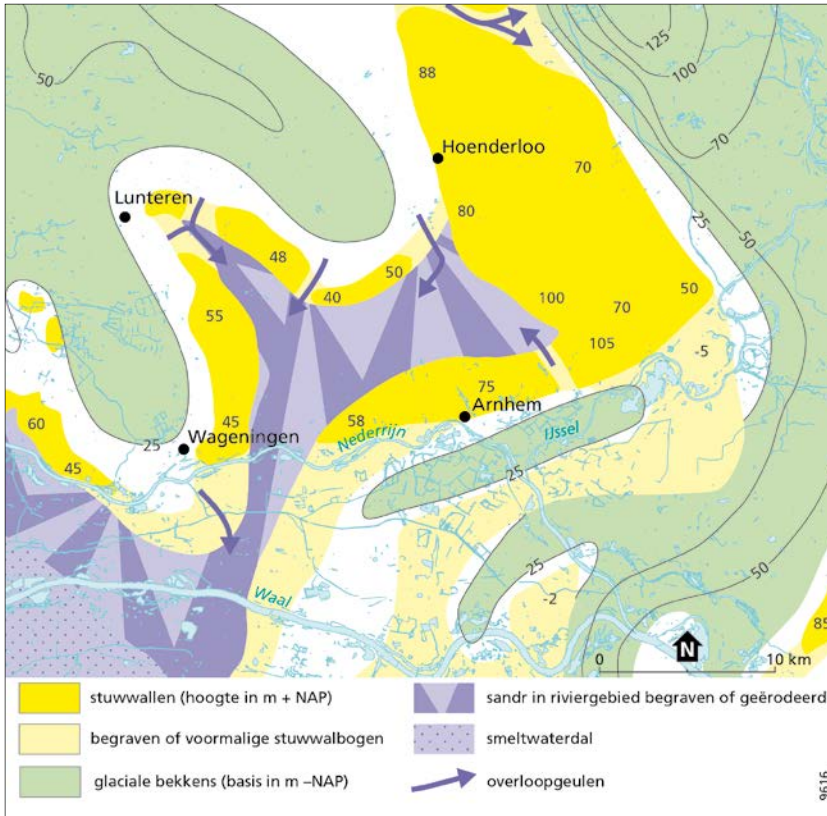
'De Veluwe is van Maarleveld'

In de twintigste eeuw bestond er een soort 'gentlemen's agreement' tussen de geologisch-fysischgeografisch-bodemkundige instituten in Nederland, waarbij men afgesproken had elkaar wat onderzoeksgebieden in Nederland niet voor de voeten te lopen. Uitvloeisel hiervan was onder andere de geveugelde uitdrukking 'de Veluwe is van Maarleveld'. In de periode 1950-70 verscheen een reeks van meer dan 25 artikelen van de hand van G.C. Maarleveld over de kwartaire geomorfologie en geologie van de Veluwe (een complete lijst van zijn geschriften is te vinden in het Geografisch Tijdschrift XV/5, 1981). Onze kennis van de samenstelling, structuur en ouderdom van de door ijs- en sneeuwmeltwater gevormde terreinen op de Veluwe, inclusief de sandr van de Zuid-Veluwe, is grotendeels ontleend aan zijn publicaties (Crommelin & Maarleveld, 1949/51; Edelman & Maarleveld, 1951; Maarleveld, 1949/51, 1951, 1953, 1955, 1981/83), later aangevuld door studies van Bakker (2004), van der Meer *et al.* (1985) en Ruegg *et al.*, (1991).

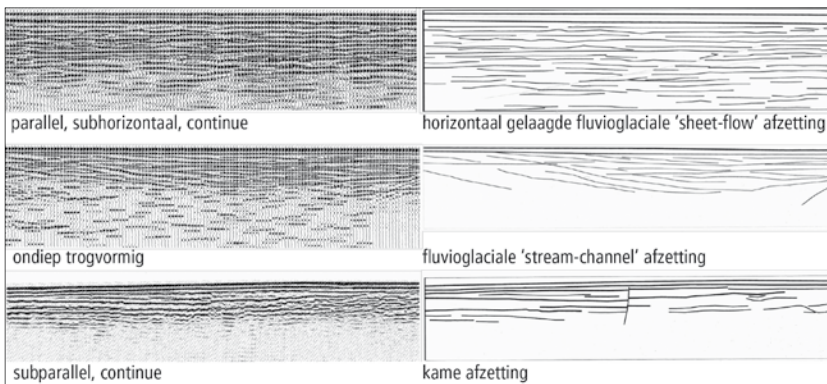
Fasering van stuwwalvorming

Op grond van veldwaarnemingen in circa 250 gegraven profielkuilen (uitgevoerd in 1947), het voorkomen van zgn. 'grindstralen' (evenwijdige reeksen gegraven grindgaten) in de stuwwallen, en oude luchtfoto's (van de RAF in W.O.II) konden de strekkingsrichtingen van de gestuwde eenheden in de stuwwallen gereconstrueerd worden. Op grond daarvan werd tevens de volgorde in stuwingsfasen van de stuwwalbogen, die de sandr van de Zuid-Veluwe begrenzen, vastgesteld (Crommelin & Maarleveld, 1949/51; Maarleveld, 1981/83); Afbeelding. 4. In fase (a) werd de stuwwal van Ede-Wageningen als de oostelijke begrenzing van de ijslob in de Gelderse Vallei opgebouwd, naar verwachting tegelijkertijd met de vorming van de stuwwal van Garderen op de Noord-Veluwe. De stuwwalboog van Arnhem is waarschijnlijk van dezelfde ouderdom.





AFBEELDING 4. | Vereenvoudigd geologisch kaartje van de Zuid-Veluwe.
Bron: Kaart van glaciële afzettingen en morfologie uit het Saalien in Nederland
(red. M.W. van den Berg et al., 1986, RGD).



AFBEELDING 5. | Georadar (GPR) beelden, facies (links) en interpretatie (rechts).
Bron: Bakker, 2004, pag. 55.

De lage stuwwal van Oud-Reemst is van een jongere fase (B), die waarschijnlijk gerelateerd kan worden aan de stuwwal van Kootwijk. Deze lage stuwwallen vormden waarschijnlijk de begrenzing van een ijslob in het bekken van Otterlo als zijtak van de grote ijslob in de Gelderse Vallei. De grote stuwwal van de Oost-Veluwe ten slotte heeft mogelijk in twee fasen (A en B) de afsnijding van de bestaande stuwwallen van Oud-Reemst en Arnhem veroorzaakt. Maarleveld (1981) suggereert op grond van de locaties en aard van de droge dalsystemen dat de opbouw van de sandr voornamelijk plaats vond gedurende de tweede fase, waarbij ijssmeltwaterafzetting afkomstig van de ijslob in het Otterlo bekken gelijktijdig of later dan dat van de IJsselijslob plaatsvond.

Structuur van de stuwwallen

Op grond van georadar onderzoek ('ground-penetrating radar') met aanvullende analyses van boormateriaal is de kennis van de inwendige structuur van

de stuwwallen sterk verbeterd (Bakker, 2004). Zo is gebleken dat aanzienlijke delen van de stuwwallen van Arnhem en de Oost-Veluwe bestaan uit glacio-fluviatiële afzettingen, veel meer dan vroeger gedacht werd. Wat betreft de huidige hoogtes van de stuwwallen moet wel bedacht worden dat deze aanzienlijk lager zijn (geschat op 15-20 m) dan oorspronkelijk, veroorzaakt door relaxatie processen kort na de vorming in de Saale-tijd, en door periglaciële erosie, windwerking en hellingafspoeling gedurende de Weichsel-tijd (Bakker, 2004). Glacio-fluviatiële sedimentpakketten blijken goed herkend te kunnen worden met georadartechnieken. Zowel parallelle, (sub)horizontaal gelaagde 'sheet-flow' als geulvormig gelaagde 'stream-channel' afzettingen vertonen specifieke radarbeelden (Afb. 5). Op basis van de relatieve dichtheid en de oriëntatie van het drainagepatroon (van thans droge dalen) in de stuwwallen van Arnhem en de Oost-Veluwe heeft Bakker (2004) een aantal geomorfologische eenheden (1 t/m 18) onderscheiden (Afb. 6); tevens worden in deze figuur een aantal kleinere en grote (A t/m F) overloopgeulen ('glacial meltwater outlets') getekend via welke smeltwaterstromen zijn afgestroomd richting Midden- en Zuid-Veluwe.

Het is trouwens nog steeds onbekend hoeveel tijd er tussen de verschillende stuwingsfasen is verlopen. Er zijn wel tijdsintervallen van honderden tot duizenden jaren gesuggereerd. Bakker (2004) neemt in zijn proefschrift een geheel ander standpunt in; hij suggereert tijdsintervallen die eerder in jaren tot tientallen jaren gerekend moeten worden. Hoe dan ook, er zijn evenmin indicaties gevonden voor het compleet afsmelten van het ijs in de glaciële tongbekkens tussen de veronderstelde fasen op de Veluwe. Met andere woorden, het is ook denkbaar dat het een min of meer continue proces was ten gevolge van veranderingen in ijsstroom- en stuwingsrichtingen.

Terreinvormen

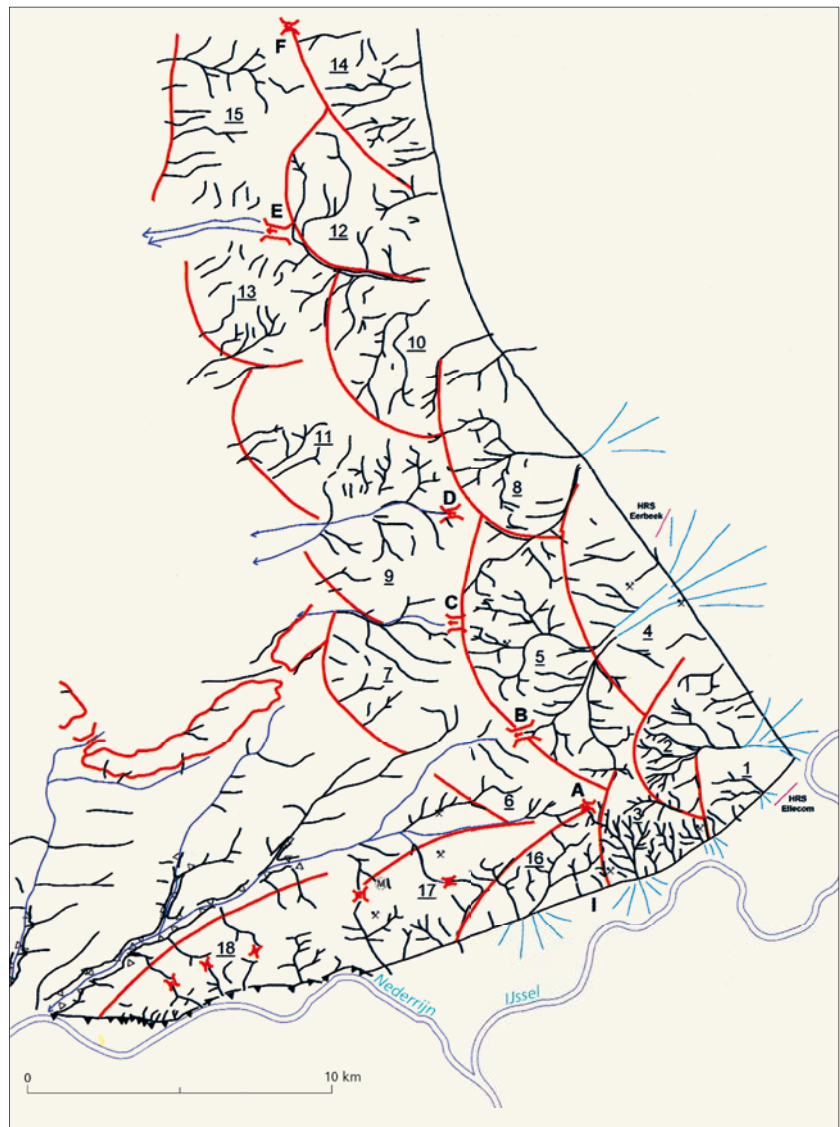
De sandr heeft een overwegend vlak golvend reliëf met een hoogte van 40 á 60 m in de NO-hoek (nabij Terlet) tot 8 á 10 m ter weerszijden van Renkum bij de uitstroom van de Renkumse en Heelsumse beken in de



uiterwaarden van de Nederrijn (Afb. 7). Op de glaciaal-geologische kaart (1986, Afb. 4) worden enkele, veronderstelde, door Saale-ijssmeltwater geërodeerde overloopgeulen in de omringende stuwwallen ingetekend. Het betreft laagtes in de kop van de stuwwallen van Ede-Wageningen en Oud-Reemst bij Lunteren, in het midden van de stuwwal van Oud-Reemst tussen Mossel en Nieuw-Reemst, en daar waar de stuwwal van de Oost-Veluwe contact maakt met de stuwwal van Oud-Reemst in het noorden en met de stuwwal van Arnhem in het zuiden. Van deze beide laatste doorbraakgeulen is overigens in het terrein weinig tot niets te zien. De sandr zelf bestaat uit een elkaar overlappende, zwak hellende puinwaaiers, die vanuit verschillende richtingen door een complex systeem van vlechtende rivieren en stroompjes zijn opgebouwd. De sandr en de omringende stuwwallen worden doorsneden door een fijnmazig, dendritisch patroon van droge dalen (Maarleveld, 1949/51), die in veel gevallen een opvallende asymmetrische dwarsdoorsnede vertonen met steile oosthellingen en minder steile westhellingen (Edelman & Maarleveld, 1949/51). De ouderdom en eigenschappen van de op de sandr liggende dekzand- en stuifzandafzettingen en terreinvormen zijn al in eerdere afleveringen van G&H uitvoerig aan bod gekomen, zie bijvoorbeeld de Zandspecial (G&H 65-3/4, 2011). Deze afzettingen bestaan uit lokaal verstoven glaciofluviaal materiaal.

Geologische doorsnedes

Voor de komst van het landijs bestond de ondergrond van het Zuid-Veluwse gebied overwegend uit een 20-30 m dik pakket van Rijn-Maasafzettingen (Formaties van Urk en Sterksel) gelegen op oudere sedimenten van oostelijke herkomst, zoals ook blijkt uit de door Bakker (2004) gereconstrueerde doorsnedes van de distale delen van de stuwwal van de Oost-Veluwe. In de diepere ondergrond van de Zuid- en Midden-Veluwe worden mariene afzettingen (Formatie van Maassluis) pas bereikt op een diepte van 150 à 200 m. In de op het GeoTOPmodel gebaseerde, ca W-O georiënteerde, geologische doorsnede door de sandr van de Zuid-Veluwe (Afb. 8) is dit ook goed te zien. Ter



AFBEELDING 6. | *Geomorfologische eenheden, drainage patronen en overloopgeulen van de stuwwallen van de Oost-Veluwe en Arnhem.*
Bron: Bakker, 2004, pag. 93.

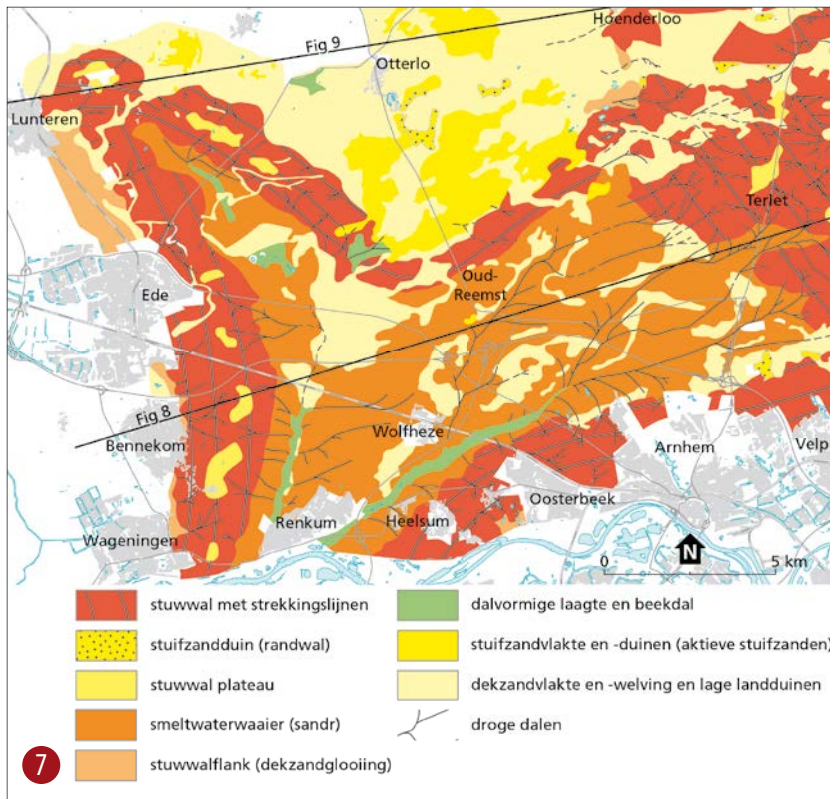
weerszijden daarvan bestaan de stuwwallen uit een complexe mix van gestuwde fluviaal afzettingen. Tussen de stuwwallen ligt een 25-30 m dik pakket glaciofluviaal, de eigenlijke sandr. In de huidige lithostratigrafische indeling wordt het sandr materiaal gerekend tot het Laagpakket van Schaarsbergen als onderdeel van de Formatie van Drente. Daarop ligt een relatief dunne bestrooiing met overwegend laat-glaciaal dekzand en lokaal holocene stuifzanden. De verbreiding hiervan is weergegeven in Afbeelding 7.

In de GeoTOP doorsnede, iets ten noorden van de stuwwal van Oud-Reemst, (Afb. 9) is een opmerkelijk verschil te zien met de zuidelijker gelegen doorsnede van Afbeelding 8. De glaciofluviaal en/of glaciaal afzettingen van de Formatie van Drente blijven beperkt tot een dunnere laag op de flanken van de stuwwallen en in de laagte daartussen, terwijl de dekzanden en stuifzanden van de Formatie van Boxtel een veel grotere dikte bereiken. Kennelijk fungeerde het Centraal-Veluwse gebied als een gigantische zandvanger. Dergelijke tientallen meters dikke, grotendeels eolische zandpakketten komen wel meer voor in Nederland, bij voorbeeld in delen van de Roerdalslenk.

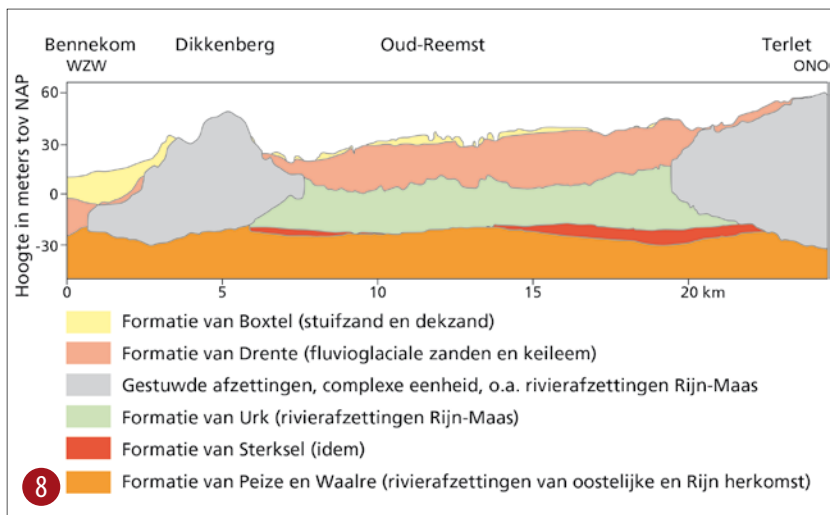
Sedimentsamenstelling

De samenstelling van het sandsediment bestaat uit een mix van door het gletsjerijs over grotere afstand aangevoerd materiaal en lokaal materiaal, dat

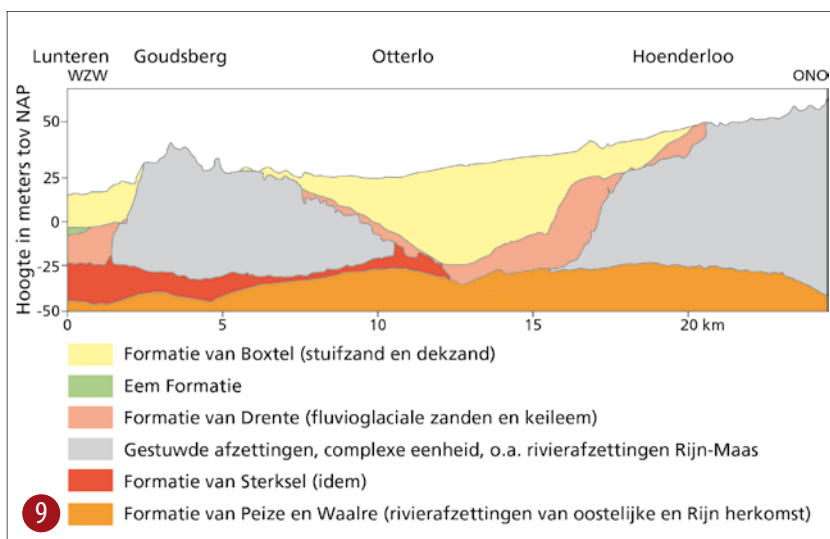




door het smeltwater van de omliggende stuwwallen is geërodeerd. In het geval van de Zuid-Veluwse sandr is het aandeel aan lokaal materiaal relatief groot, aangezien het smeltwater tijdens een fase van maximale ijsuitbreiding een weg moest vinden over en door de stuwwallen. Noordelijke kristallijne gesteenten en niet-gerolde vuursteen van Scandinavische herkomst in de grindfractie bedragen veelal $< 1\%$. Dit in tegenstelling tot het glaciale en glaciofluviale materiaal, dat de smeltende gletsjertongen aan de voorzijde van de stuwwallen heeft gedeponereerd. Aldaar is de component subglaciaal (onderin het gletsjerijs) en englaciaal (in het gletsjerijs) vervoerd materiaal, zoals keileem en gesteentepuin van noordelijke herkomst, veel groter (lokaal $> 20\%$). Volgens de studies van Maarleveld behoort het grind in de sandsedimenten tot het kwartshoudende tot kwartsrijke type met (weinig) bestanddelen van de kristallijne restgroep; subtype veel melkkwarts.



Bovenstaande waarnemingen versterken de gedachte dat de stuwwallen rondom de sandr nooit geheel door het landijs zijn overreden. Dit geldt zelfs voor de lage stuwwal van Oud-Reemst. Aangezien op de hoogste delen van de stuwwal van de Oost-Veluwe slechts geringe restanten van een bestrooiing met noordelijk grind en stenen of keileem zijn aangetroffen (Maarleveld, 1951) en dat op een hoogte van meer dan 70 m op de stuwwal van Arnhem geen bestrooiing meer is aangetroffen (de Zanger, 1980), wijst erop dat het ijs de hoogste delen van de stuwwallen niet of hooguit slechts kort bereikt heeft. Maarleveld (1953) sluit overigens de mogelijkheid, dat relatief vlakke



AFBEELDING 7. | Geomorfologische kaart van de Zuid-Veluwe. Bron: Geomorfologische kaart van de Veluwe 1:100 000 (G.W. de Lange & G.C. Maarleveld, 1977, RIN).

AFBEELDING 8. | Geologische doorsnede ten zuiden van de stuwwal van Oud-Reemst (Bennekom-Terlet). Bron DINOLOket, GeoTOP.

AFBEELDING 9. | Geologische doorsnede ten noorden van de stuwwal van Oud-Reemst (Lunteren-Hoenderloo). Bron: DINOLOket, GeoTOP.

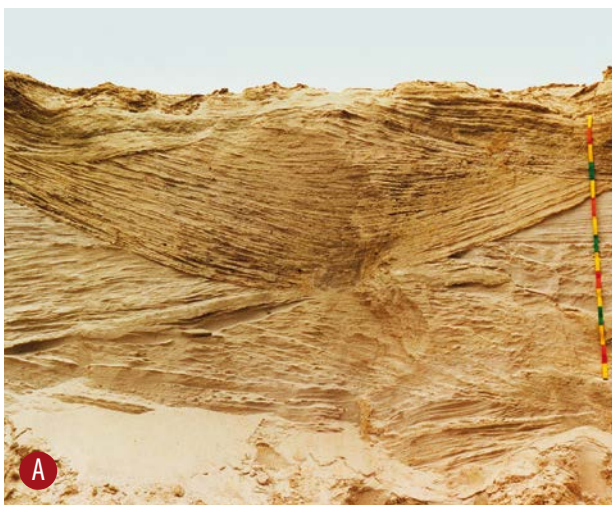




AFBEELDING 10. | Subhorizontale gelaagdheid in grindhoudend, grofzandig materiaal; links van het midden onderbroken door een asymmetrisch, van links naar rechts, opgevulde geul met een longitudinale en verticale gradering naar fijner materiaal (A) en grof grindrijk subhorizontaal gelaagd zand op grootschalig, scheefgelaagde eenheden (B). Bron: Augustinus & Riezebos (1971).



AFBEELDING 11. | Massief, grof grindrijk, glaciofluviaal sediment, (door Postma, 1983; idem in G&H 51/6, 1997) aangeduid als 'mass-flow' afzetting; (A) met grote, hoekig begrensde, waarschijnlijk in bevroren toestand getransporteerde, gelaagde zandbrokken; (B) idem, detail (foto G.C. Maarleveld); locatie Ullerberg nabij Ermelo.



AFBEELDING 12. | Fijn- tot grofzandige, grootschalig scheef tot subhorizontaal gelaagde, smeltwaterafzetting; (A) met min of meer symmetrisch opgevulde smeltwatergeul; (B) met een smalle vorstwig; locatie Rastede nabij Oldenburg (BRD).





AFBEELDING 13. | *De Renkumse en Heelsumse beken; Fragment van de Kaart van de Neder-Rhyn en Leck Stroom; schaal ca 1:30 000. Rechts in de bosrand stroomt een 'opgeleide beekloop'.
Bron: Engelman, Jacob. & F.W. Conrad (ca. 1794).*

stuwwalplateaus het resultaat zijn van afvlakking door het ijs, niet uit. Hiervoor werd vroeger wel de term 'glaciplanatie' gebruikt. Bakker (2004) komt overigens op grond van de hoogteligging van overloopgeulen tot de conclusie, dat dit onterecht is.

In de vorige eeuw waren er in de Zuid-Veluwse stuwwallen een aantal grote zandgroeves, die uitvoerig onderzocht zijn. Hierdoor is de stratigrafische en sedimentologische kennis van de gestuwde sedimenten groter dan die van de glaciofluviaatiele sedimenten. Op diverse plaatsen werden overigens wel omvangrijke glaciofluviaatiele sedimenten in gestuwde positie aangetroffen, onder andere in de groeve de Fransche Kamp bij Bennekom (Ruegg *et al.*, 1991) en de groeve de Vink bij Lunteren (van der Meer *et al.*, 1985). Ook in deze studies werd benadrukt dat het landijs de stuwwallen niet geheel heeft 'overreden'. De sandr van de Zuid-Veluwe is opgebouwd uit een aantal grote sedimentwaaiers ('outwash fans'), die corresponderen met grote overloopgeulen in de omringende stuwwallen (zie Afb. 4 en 6). De puinwaaiers bestaan uit een afwisseling van fijn- tot grofzandige, soms grindhoudende laagpakketten. Klei- en leemlagen komen weinig voor en bestaan meestal uit geresedimenteerd stuwwal materiaal. De gelaagde sandsedimenten bestaan overwegend uit scherp, matig tot slecht gesorteerd, grindhoudend tot grindrijk zand, hetgeen uiteraard het gevolg is van de samenstelling van het herkomstmateriaal en de relatief korte transportweg. De korrelgrootte van sandrmateriaal kan sterk variëren met een mediaan van de zandfractie tussen de 200 en 500 μm (Ruegg, 1977). Augustinus & Riezebos (1971) rapporteren tevens een stroomafwaartse afname in korrelgrootte in de sandr van Soesterberg. Aangenomen wordt dat dezelfde, algemene trend in korrelgrootte en sorteringgraad aanwezig is in de afzettingen van de sandr van de Zuid-Veluwe.

Sedimentaire structuren

Aangezien er thans geen groeves meer op de Veluwe voorkomen, komen de hiernavolgende afbeeldingen van ijssmeltwaterafzettingen noodgedwongen uit

andere, al dan niet nu verdwenen locaties. De locaties zijn wel zodanig gekozen dat ze vergelijkbaar zijn met de situatie op de Zuid-Veluwe door hun ligging in de directe nabijheid van stuwwallen. Sedimentologische studies van sandsediment in Nederland zijn voor het eerst uitgevoerd door Augustinus & Riezebos (1971) en Ruegg (1977, 1983). De eerste studie betreft de smeltwaterwaaier aan de ijsvrije, zuidwestelijke zijde van de stuwwal van Amersfoort in de omgeving van Soesterberg. Ruegg (1977) vat de kennis van sandrafzettingen in Midden-Nederland samen aan de hand van foto's van sedimentaire laagpakketten en structuren afkomstig uit 26 groeves en wegontluitingen (A12 en A50) in Midden-Nederland, waarvan er thans voor zover ik weet geen één meer zichtbaar is.

Ruegg (1977) maakt een onderscheid tussen 'sheet-flow' en 'stream-channel' afzettingen. Het eerste type komt veruit het meeste voor en is het resultaat van hoogenergetische smeltwaterstromen met een vlechtend patroon en een vaak zware sedimentlast, waardoor grote verschillen in lokale afzettingsrichtingen ontstaan. Onder deze omstandigheden vallen ook jökulhlaups, waarbij alle korrelgroottes van klei, zand tot en met grind en stenen tegelijkertijd vervoerd worden. In het proximale deel van de sandrpuinwaaiers nabij de overloopgeulen van ijssmeltwater (de zgn. 'feeder channels') komen vooral de meest uitgebreide en grootschalige 'stream channel' afzettingen voor (Ruegg, 1983). Een bruikbare indicatie voor de paleo-stroomrichting in vaak grotendeels parallel- of horizontaal gelaagde, grove sandrafzettingen vormt de imbricatie (dakpansgewijze opstapeling) van afgeplatte grinddeeltjes of stenen, die soms kan worden waargenomen. Ruegg (1977) maakt tevens een onderscheid tussen 'parallel-bedded' en 'parallel-laminated' structuren, die volgens hem het resultaat zijn van afzetting tijdens hoge, respectievelijk lage stroomsnelheden. Fijn-gelamineerde eenheden zijn overigens ver in de minderheid in sandsedimenten behalve op die locaties waar de stroomsnelheid sterk afnam, bij voorbeeld in (glaciolacustriene) meersedimenten.

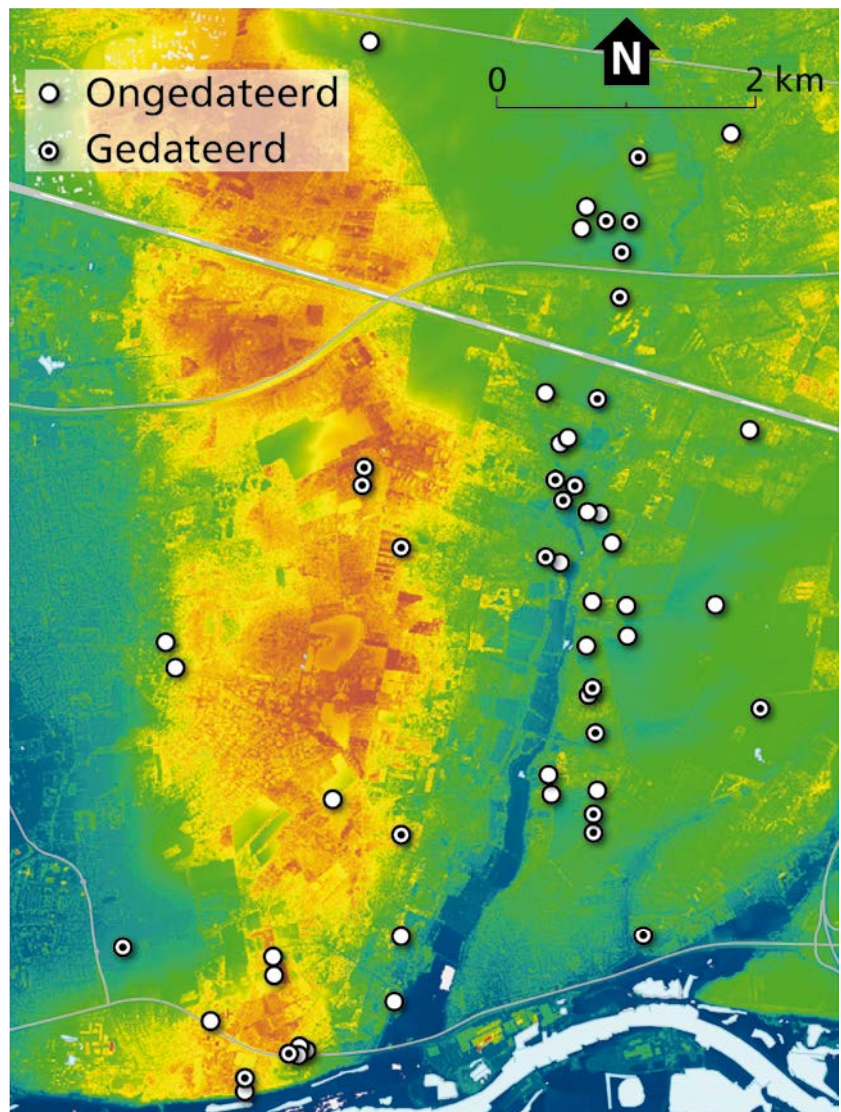
Afbeeldingen 10A en B tonen de chaotische afwisseling van groot- en

kleinschalige, horizontaal- en scheefgelaagde eenheden, variërend van fijnzandige, tot grofzandige en grindrijke lagen. De geul in het midden van de foto is van links naar rechts min of meer symmetrisch opgevuld ('trough' of 'festoon' cross-bedding; tegenwoordig liever aangeduid als 'channel-fill cross-bedding'). Tussen de strak gelaagde eenheden in Afbeelding 10A komen ook enkele min of meer structuurloze eenheden voor, die mogelijk het resultaat zijn van snelle sedimentatie door 'sheet-flow' in ondiep snelstromend water. Een bijzonder fenomeen is het soms voorkomen van zandige blokken sediment met een inwendige gelaagde structuur in een matrix van grof grindrijk materiaal (Afb. 11A en B; zie ook Koster & van der Meer, G&H 67, 4/5, 2013). Deze blokken zijn kennelijk het gevolg van ondergraving van een afkalvende geulover in een gebied met permafrostcondities en transport in een bevroren toestand. Afb. 12 ten slotte toont voorbeelden van fijn- tot grofzandig, subhorizontaal en grootschalig scheefgelaagd glaciofluviaal met een grote symmetrisch opgevulde geul (A) en een smalle (syndimentaire ?) vorstwig (B).

Beekdalen

De sandr wordt doorsneden door een fijnmazig, dendritisch systeem van geulvormige laagten, dat op veel plaatsen gekoppeld is aan de droge dalsystemen in de aangrenzende stuwwallen (Afb. 7). Op dit moment zijn alleen de Renkumse en Heelsumse beken over afstanden van ca. 12,5 km resp. ca. 11 km nog watervoerend. De Renkumse Beek (of Kortenburgse Beek of Molenbeek) loopt dicht langs de oostflank van de stuwwal van Ede-Wageningen (Afb. 13). Oorspronkelijk was het brongebied van dit beekstelsel te vinden in de omgeving van de Ginkel nabij de Hindekamp en de Kreelse Plas op een hoogte van ca. 25 m. Het verloop van de beek is in de loop van de tijd sterk aangepast aan de vele watermolens, die langs de beek zijn gebouwd. Hiertoe zijn ook een hele reeks korte sprengbeken loodrecht op het beekdal in de flank van de stuwwal ingegraven tot op het lokale grondwaterniveau (zie Schaafsma, 2012, pag. 76).

Een soortgelijke kunstmatige vorm vertoont het huidige beekpatroon van



AFBEELDING 14. | Laat-Neolithische grafheuvels in de omgeving van de Renkumse Beek. Bron: vereenvoudigd naar Doorenbosch, 2013, pag. 226/227.

de Heelsumse Beek (of (Papiermolen)beek), die dicht langs de noordflank van de stuwwal van Arnhem loopt. Het dal van de Heelsumse Beek is voor een groot deel opgevuld met dekzand. Het beekstelsel, waarvan de loop thans tot iets voorbij Wolfheze (hoogte ca. 25 m) te vervolgen is, kan zoals te zien is in het hoogtepatoon (Afb. 1) en de geomorfologische kaart (Afb. 7) oorspronkelijk ver doorgelopen zijn in de door sneeuwsmeltwater uitgesleten droge dalen in de zuidoostelijke flank van de stuwwal van de Oost-Veluwe in de richting van de Terletse Heide, de Rheder en Worth-Rheder Heide en het Rozendaalse Veld, gelegen op een hoogte van meer dan 90 m, ten noorden van Velp. Ook dit beekstelsel is volledig aangepast aan de vele watermolens door het graven van 'opgeleide' beeklopen voor het verkrijgen van voldoende verval voor watermolens en door de aanleg van vele sprengen (zie Schaafsma, 2012, pag. 136). De vele ingrepen in het beekstelsel, ten behoeve van de aanleg van 15 á 20 watermolens, vooral ten behoeve van de papierfabricage, vonden al plaats vanaf het begin van de zeventiende eeuw.

Dat het gebied van de zuidelijke Veluwerand ook al in prehistorische tijd relatief dicht bewoond moet zijn geweest, blijkt uit het indrukwekkende aantal grafheuvels uit het Laat-Neolithicum tot Midden-Bronstijd (2900-1100 cal. voor Chr.) in de directe omgeving van de dalen van de Renkumse en Heelsumse beken (Schaafsma, 2012; Doorenbosch, 2013). Op grond van palynologisch onderzoek heeft Doorenbosch (2013) aangetoond dat de grafheuvels op open



plekken, die bedekt waren met heide, werden gebouwd. Vaak werden deze grafheuvels ook op rijen gelegd ('alignments'), zoals te zien is in de reconstructie van alle bekende grafheuvels van diverse ouderdom in en nabij het dal van Renkumse Beek (Afb. 14). De cirkels geven in schematische vorm de omvang (diameter variërend van 100-1000 m) van de open plekken in het boreale bos aan. Een andere indicatie voor vroege bewoning zijn de prehistorische raatakkers ('Celtic fields'), die zowel op de stuwwallen als op de sandr – onder andere nabij Wekerom als in de buurt van Wolfheze – zijn aangetroffen.

Als geologische bijzonderheid kan nog vermeld worden dat op enkele plaatsen in de beekdalen afzettingen van zoetwater-diatomeeën (silicium-skeletjes van kiezelwieren) zijn aangetroffen; deze tamelijk kleine vondsten zijn overigens in de eerste Wereldoorlog gewonnen onder andere als grondstof voor de fabricage van dynamiet (zie het interessante artikel van Cees Laban, in G&H 41/2, 1987).

Naschrift

De landschappelijke en cultuurhistorische waarden van het stroomgebied van de Renkumse en Heelsumse beken, met bijzondere aandacht voor de bijzondere betekenis van dit gebied voor de vroegere papierindustrie, worden uitvoerig en

fraai geïllustreerd besproken in het boek van Schaafsma (2012).

Dankwoord

Ook deze keer ben ik veel dank verschuldigd aan de volgende (oud) collega's voor advies, hulp en het kritisch doornemen van het manuscript: Kim Cohen (UU, Afb. 1), Jaap van der Meer (Univ. of London, Afb. 2B), Marco van Egmond (UB-UU, Afb. 3 en 13), Cees Laban (MGA, Afb. 8 en 9), Pieter Augustinus (UU, Afb. 10A en B) en Janrik van den Berg (UU). 'Last but not least': Ton Markus (Geo-Media, UU) was wederom verantwoordelijk voor de vervaardiging van de kaarten en doorsnedes.

LITERATUUR

- Augustinus, P.G.E.F. & H.Th. Riezebos, 1971. *Some sedimentological aspects of the fluvio-glacial outwash plain near Soesterberg (The Netherlands)*. *Geologie en Mijnbouw* 50/3, pp. 341-348.
- Bakker, M.A.J., 2004. *The internal structure of Pleistocene push moraines. A multidisciplinary approach with emphasis on ground-penetrating radar. Thesis (Proefschrift) University of London, TNO Geological Survey of the Netherlands, 177 pp.*
- Crommelin, R.D. & G.C. Maarleveld, 1949/51. *Een nieuwe geologische kartering van de zuidelijke Veluwe*. *Tijdschrift K.N.A.G.* 66, pp. 41-56/ *Boor en Spade IV*, pp. 138-154.
- Doorenbosch, M., 2013. *Ancestral heaths: reconstructing the barrow landscape in the Central and Southern Netherlands*. *Proefschrift RUL*, 279 pp.
- Edelman, C.H. & G.C. Maarleveld, 1951. *De asymmetrische dalen van de Veluwe*. *Boor en Spade IV*, pp. 165-168.
- Maarleveld, G.C., 1949/51. *Over de erosiedalen van de Veluwe*. *Tijdschrift K.N.A.G.* 66/2, pp. 133-142/ *Boor en Spade IV*, pp.155-165.
- Maarleveld, G.C., 1951. *Iets over de verspreiding van noordelijke zwerfstenen op en nabij de stuwwallen in Midden-Nederland*. *Boor en Spade IV*, pp. 169-178.
- Maarleveld, G.C., 1953. *De geologische geschiedenis van de zuidelijke Veluwe*. *Boor en Spade VI*, pp. 105-112.
- Maarleveld, G.C., 1955. *Fluvio-glaciale afzettingen in Midden-Nederland*. *Tijdschrift K.N.A.G.* 72, pp. 48-58.
- Maarleveld, G.C., 1981/1983. *The sequence of ice-pushing in the Central Netherlands*. In: *Meded. Rijks Geol. Dienst* 34/1-11, pp. 2-6/ J.Ehlers, *Glacial deposits in North-West Europe*. *Balkema*, pp. 393-397.
- Meer, J.J.M. van der (ed.), 2004. *Spitsbergen push moraines. Incl. translation of K. Gripp 'Glaciological and geological results of the Hamburg Spitsbergen-Expedition of 1927'*. *Developments in Quaternary Science* 4, Elsevier, Amsterdam, 200 pp.
- Meer, J.J.M. van der, M. Rappol & J. Semeijn, 1985. *Sedimentology and genesis of glacial deposits in the Goudsberg, Central Netherlands*. *Meded. Rijks Geol. Dienst* 39/2, 29 pp.
- Postma, G., T.B. Roep & G.H.J. Ruegg, 1983. *Sandy-gravelly massflow deposits in an ice-marginal lake (Saalien, Leuvenumsche Beek Valley, Veluwe, The Netherlands), with emphasis on plug-flow deposits*. *Sedimentary Geology* 34, pp. 59-82.
- Ruegg, G.H.J., 1977. *Features of middle Pleistocene Sandur deposits in the Netherlands*. *Geologie en Mijnbouw* 56, pp. 5-24.
- Ruegg, G.H.J., 1983. *Glaciofluvial and glaciolacustrine deposits in the Netherlands*. In: Jürgen Ehlers (ed.) *Glacial deposits in North-West Europe*. *Balkema, Rotterdam*, pp. 379-392.
- Ruegg, G.H.J., (ed.) 1991. *Geology and archaeology of ice-pushed Pleistocene deposits near Wageningen (The Netherlands)*. *Meded. Rijks Geol. Dienst* 46, 99 pp.
- Schaafsma, R., 2012. *De Renkumse en Heelsumse beekdalen. Een cultuurhistorische wandelgids*. *Uitg. Matrijs, Utrecht*, 184 pp.
- Teunissen, D., 1961. *Het Middennederlandse heuvelgebied*. *Proefschrift RUU*. 153 pp.
- Zanger, F.A.P. de, 1980. *Die Höhenlage des Eises des Gletscherlobus während der Formung des Stauchwalles von Arnheim (Niederlande)*. *Eiszeitalter und Gegenwart* 30, pp. 19-28.

