



AFBEELDING 1. | Overzichtsfoto vanuit de groeve Jansen, Wilsum, in 1986. Uitzicht vanaf de stuwwal in noordwestelijke richting op het lager gelegen glaciale dal van het Wilsum-glaciale bekken. In de jaren 80 van de vorige eeuw waren er meer dan 20 van dit soort groeves in de stuwwallen van Itterbeck-Uelsen aanwezig. Foto: S.J. Kluiving, 1986.

AFBEELDING LINKS. | Een "clastic dike" in een ontsluiting in het beschreven gebied (voor uitleg zie pagina 27). Foto S.J. Kluiving.

Glaciale tektoniek van de Itterbeck-Uelsen-stuwwallen, Duitsland

SJOERD KLUIVING^{1, 2, 3}
& RONALD VAN BALEN^{1, 4}

^{1.} VRIJE UNIVERSITEIT, FACULTEIT
DER AARD- EN LEVENSWETENSCHAPPEN
DE BOERLELAAN 1085
1081 HV AMSTERDAM
S.J.KLUIVING@VU.NL

^{2.} VRIJE UNIVERSITEIT, FACULTEIT
DER LETTEREN, AMSTERDAM

^{3.} GEO-LOGICAL AARDWETEN-
SCHAPPELIJK ONDERZOEK & ADVIES,
DELFT

^{4.} TNO, UTRECHT

Aan het einde van de jaren tachtig van de vorige eeuw boden ongeveer twintig groeves t.b.v. de commerciële zand- en grindwinning in Itterbeck-Uelsen een spectaculaire blik in de opbouw van de gelaagdheid en de stand van glaciotektonische structuren in het stuwwallencomplex (Afb. 1).

Ook tegenwoordig is het nog steeds mogelijk om sedimenten, fossielen en structuren in actieve groeves in de stuwwallen te bekijken, hoewel in veel mindere mate dan voorheen.

De Itterbeck-Uelsen-stuwwallen maken deel uit van de zogenoemde "Rehburger" fase-eindmorenen in Duitsland en zijn ongeveer 150.000 jaar geleden gevormd gedurende het Drente Stadiaal van het Saalien, de zogenaamde "Older Saalian Glaciation" (Ehlers, 1990). Deze tijd staat ook wel bekend als de "voorlaatste ijstijd" in Nederland. Het stuwwallencomplex bestaat uit twee ruggen die loodrecht op elkaar staan (Afb. 2A).



Inleiding

De noord-zuid georiënteerde Uelsen-stuwwal is ongeveer 5 km breed en bereikt een maximale hoogte van 90 meter boven zeeniveau (Afb. 2B). De stuwwal flankiert het Nordhorn-glaciale bekken (bekkenbodem 75 meter beneden maaiveld) aan de westzijde en kan zuidwaarts vervolgd worden in de Ootmarsum-stuwwal op Nederlands grondgebied. Ook de naburige Oldenzaal- (NL), Emsbüren- (D), en Lohne- (D) ruggen zijn verbonden met structuren die het Nordhorn-glaciale bekken omringen (Afb. 2A).

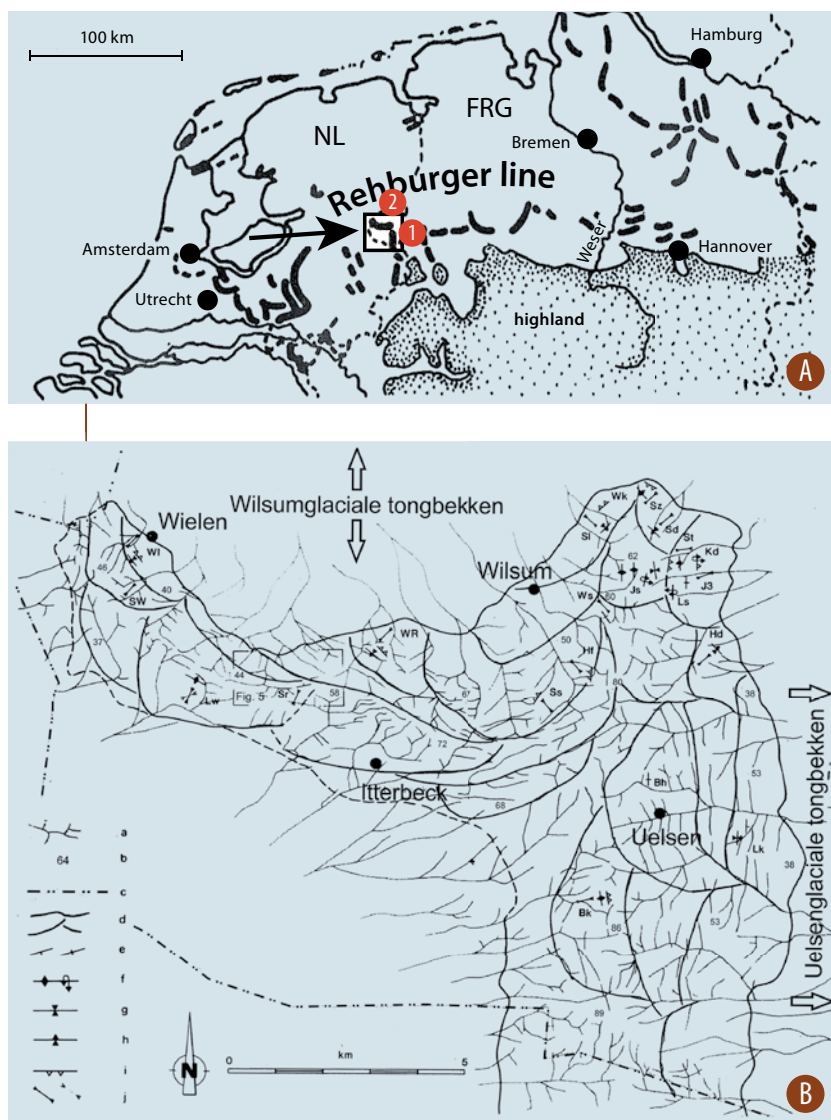
Ten tweede flankiert de Itterbeckstuwwal het kleinere Wilsum-glaciale bekken (bekkenbodem 50-75 meter beneden maaiveld) aan de zuidzijde en bestaat uit een 2-3 km brede, maximaal 70 meter hoge, oost-west lopende, licht gebogen rug (Afb. 2B). Deze stuwwal is in het oosten verbonden aan de Uelsen-stuwwal en ligt in westelijke richting vast aan de stuwwal van Sibculo-Kloosterhaar, net over de grens in Nederland. De Itterbeck-Uelsen-stuwallen en de aangrenzende stuwwal van Sibculo-Kloosterhaar worden in paleontologische kringen ook wel

het WWW-gebied (Wilsum, Wielen, Westerhaar-gebied) genoemd (zie diverse andere bijdragen elders in dit nummer van G&H).

Glaciotektonische processen kunnen afgezette sedimenten verstoren en deformer. Meer dan zestig jaar geleden, in 1951, waren Richter *et al.* de eersten die de glaciotektonische structuren van Itterbeck-Uelsen beschreven op basis van o.a. gedetailleerde geologische karteringen. De zichtbare ontsluitingen en kaartpatronen in die tijd leidden tot de conclusie, dat beide stuwallen van Itterbeck-Uelsen uit een aantal steilstaande en diep gewortelde, gestapelde structuren bestonden (Duits: *Schuppen*). Sinds dit werk dienden de Itterbeck-Uelsen-stuwallen voor vele decennia als het standaardmodel van een klassieke, geïmbriceerde stuwwal (geïmbriceerd = met dakpansgewijs op elkaar liggende lagen).

Onderzoek in Itterbeck-Uelsen in de jaren tachtig van de vorige eeuw was erop gericht om glaciaal gestuwde sedimenten te bestuderen vanuit een structureel geologisch oogpunt (Kluiving, 1989, 1994), in plaats van alleen maar op basis van stratigrafische of sediment-petrografische criteria (Richter *et al.*, 1951; Bijlsma, 1981). Modern glaciotektonisch onderzoek van de laatste decennia heeft laten zien dat imbricatie van steilstaande schubben een veel te simpel model is om de interne structuur van stuwwallen te beschrijven. Veldonderzoek in Nederland en Duitsland heeft zelfs aangetoond dat stuwwallen gewoonlijk zijn opgebouwd uit min of meer vlakliggende eenheden (Van der Wateren, 1981, 1987; Van Gijssel, 1987; Kluiving, 1994).

Het onderhavige artikel beschrijft het onderzoek van de eerste auteur (Sjoerd Kluiving) in de jaren tachtig, aangevuld met waarnemingen gedaan tijdens de laatste twee decennia door voornamelijk de tweede auteur (Ronald van Balen). Op deze plaats wordt ook



AFBEELDING 2. | A. Overzichtskartaat Nederland en Duitsland met de ligging van stuwwallen (dikke zwarte lijnen), de positie van het Duitse "Mittelgebirge" (highland) en positie van de stuwwallen en glacial tongbekkens van Itterbeck-Uelsen (kadertje). Legenda: 1, Nordhorn-glaciale tongbekken; 2, Wilsum-glaciale tongbekken; naar: Van der Wateren, 1987. B. Structurele kaart van de stuwwallen van Itterbeck-Uelsen met tektonische metingen en ligging van ontsluitingen. Legenda: a, drainage, voornamelijk droge dalen; b, hoogte (in meters boven zeeniveau); c, staatsgrens Nederland-Duitsland; d, begrenzingen van glaciotektonische dekbladen en stuwwallen; e, helling en strekking van sedimentaire gelaagdheid; f, antidinale plooï, overkiepte plooï; g, synclinale plooï; h, monodinale plooï; i, overschuiving; j, richting van maximale verkorting (compressie); zand- en grindgroeves en ontsluitingen (situatie 1986-1989): Bk, Brönninkhuis; Bh, Bauernhausen; Hd, Hinderink; Hf, Hopfenberg; J3, Jansen 3; Js, Jansen 1 en 2; Kd, Kwade; Ls, Liesen; Lw, Langs de weg 2; Sd, Schröder; SI, Scholten; Sz, Sietzen; Sr, Stort; Ss, Schaensken; St, Straaten (Wilsum); SW, Straaten (Wielen); W1, Wielen 1; W4, Wielen 4; Wk, Warrink (Wilsum); Ws, Wilsum; WR, Warrink (Ratzel); naar: Kluiving, 1994.



over nog niet eerder gepubliceerde data van “clastic dikes” gerapporteerd, en wordt verslag gedaan van het onderzoek naar gedeformeerde graafgangen van wormen door beide auteurs in het begin van de jaren negentig. Beide onderzoeken hebben plaatsgevonden in de stuwwallen van Itterbeck-Uelsen.

Methoden

Beschrijvingen van sedimentaire secties gingen hand in hand met korrelgrootte- en petrografische grindanalyse, aangevuld met kompasmetingen van structuren als plooiën, breuken, standen van gelaagdheid, tot richtingen van vervormde graafgangen. De hier gepresenteerde laagopeenvolging is gebaseerd op de samenstelling van het zand en grind, en de sedimentaire en tektonische structuren. In sommige gevallen bepalen structurele gegevens de lithostratigrafie, zoals bij *syntektonische* fluvioglaciale afzettingen (Van der Wateren, 1987, 1992). Dit type afzettingen wordt door smeltwater aan de rand van het landijs afgezet terwijl het proces van stuwing doorgaat, waardoor ze naast sedimentaire gelaagdheid ook (lichte) plooivorming en breuken laten zien (vandaar de term *syntektonisch*; *syn* = samen).

Laagopeenvolging

De sedimenten die voorkomen in het Itterbeck-Uelsen stuwwalcomplex bestaan uit zowel Tertiaire als Kwartaire afzettingen (Tabel 1).



AFBEELDING 3. | “Schuurpapier-zand” in de groeve Jansen; afwisselend fijnere en grofkorreliger zandlagen die zijn afgezet tijdens een fluvioglaciale periode, met veel smeltwater en landijs nabij (Ruegg, 1991). Foto: S.J. Kluiving.

Ouderdom (MY BP)	Ouderdom	Lithologie	Nederlandse lithostratigrafie	Omgeving van afzetting
0,20-0,15	Laat Pleistoceen: Saalien	Keileem, zand en grind, leem en klei	Drente Fm.	Glaciaal, fluvioglaciaal, glaciolacustrien, o.a.: ‘schuurpapier’ en ‘tunnel’ afzettingen
0,40-0,80	Midden Pleistoceen	Zand en grind	Appelscha Fm.	Fluviatiel, o.a. ‘Hattemlagen’
3,0-5,0	Pliocene	Fijnzand	Oosterhout Fm./Scheemda Fm.	Marien, kustnabij
15-20	Mioceen	Lemig fijnzand	Breda Fm.	Marien
25-30	Oligoceen	Klei	Rupel Fm.	Marien, ‘Septariënton’

TABEL 1 | Litho- en chronostratigrafie in de Itterbeck-Uelsen stuwwallen

De oudste voorkomende afzetting is een mariene blauwe zware klei met kalkhoudende concreties (*Septariën*) die als banden in de klei voorkomen. Op grond van beschrijvingen uit de literatuur is deze klei als de Oligocene Rupel Formatie geïnterpreteerd die is afgezet in een zee, en in Duitsland ook bekend is onder de naam *Septariënton*. Boven de klei komt een glauconitische laag voor die een afzettingshiaat van 10 miljoen jaar vertegenwoordigt (Ellerman, 1963). De laag vormt de basis van glauconitische, zandige kleien en wordt zandiger naar boven toe. Deze eenheid heeft eveneens een mariene oorsprong en wordt in verband gebracht met de Breda Formatie. De beide formaties, Rupel en Breda, zijn zelden of nooit in ontsluiting in Itterbeck-Uelsen aangetroffen.

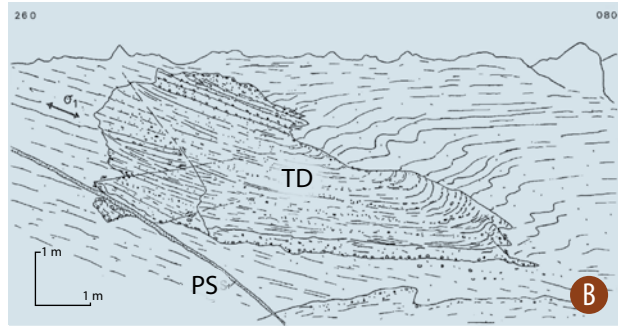
In het Pliocene bevond het gebied van Itterbeck-Uelsen zich aan de rand van de toenmalige Tertiaire zee, waar in het oosten lichtgroene, soms lemige, fijnzanden zijn afgezet, met karakteristieke wormgangen die een zekere waterdiepte aangeven. Deze afzettingen zijn ook bekend als de Pliocene Oosterhout Formatie. In het westen werden fijne en grove witte kwartszanden met veel glimmers afgezet, resp. ook wel bekend als *Glimmerfeinstande* en *Glimmergrobsande*. In deze laatste zijn ook eb- en vloedstructuren waargenomen. Deze beide afzettingen worden ingedeeld in de Pliocene Scheemda Formatie.

In het Midden-Pleistoceen van 800.000 tot 400.000 jaar geleden stond het gebied onder sterke invloed van rivieraanvoer uit het oosten. Het oostelijk grind bestaat uit kwarts met een karakteristieke witte kleur, met bijmenging van o.a. bontzandsteen, lydiet en Thüringer-Wald-porfieren. In Nederland en daarbuiten staat dit riviersysteem bekend als het Eridanossysteem, en in de Nederlandse lithostratigrafie worden de afzettingen ervan ingedeeld als de Appelscha Formatie en Peize Formatie. In de basis van deze rivierafzettingen, met karakteristieke trogvormige sedimentaire structuren, komen grindlagen voor met onderdelen van duidelijke Fennoscandische herkomst, die ook wel bekend staan als “Hattemlagen” (De Mulder *et al.*, 2003).

Op de Midden-Pleistocene afzettingen komen erosief Laat-Pleistocene fluvioglaciale afzettingen uit het Saalien voor. De afzettingen bestaan uit zand en grind die door sterk stromend smeltwater zijn afgezet; fijnzandige afzettingen, ook wel bekend als “schuurpapier”-afzettingen, zijn geïnterpreteerd als een afzetting in een smeltwatermeer (Afb. 3). Deze fluvioglaciale afzettingen zijn voorafgaand aan, tijdens de stuwing en na afloop van de stuwing afgezet. Van onder tot boven vertonen ze een afnemende graad van deformatie. Ze worden gerekend tot de Drente Formatie (Tabel 1).

Fluvioglaciale afzetting was actief tijdens het stuwingsproces, waarbij geërodeerde sedimenten als delta’s en kleine uitspoelingwaaiers werden afgezet. Plaatselijk verbinden deze afzettingen zich met *sandr*-afzettingen ten zuiden en ten westen van de stuwwallen. De fluvioglaciale afzettingen hebben een wijdverbreid voorkomen in de stuwwallen van Itterbeck-Uelsen. De sedimenten kunnen grof grindhoudend of juist heel fijn zijn. Plaatselijk en tijdelijk moet de bodem ook bevroren zijn geweest tijdens de stuwing en de fluvioglaciale sedimentatie, getuige de spectaculaire “tunnel”voorkomens (Afb. 4). De “tunnel”afzetting bestaat uit





AFBEELDING 4. | A. Tunnelafzettingen in de groeve Jansen, Itterbeck-Uelsen. Foto: S.J. Kluiving. B. Schets van tunnelafzettingen in de groeve Jansen, Itterbeck-Uelsen, waarbij te zien is dat de tunnelafzettingen (TD) afwijkende lithologie en sedimentaire structuren vertonen t.o.v. het omringende fijne zand. Na insnijding is er zowel (lichte) plooiing en breukvorming in een zogenaamde conjugate set opgetreden. Als laatste fase is een clastic dike (PS) door zowel het tunnellichaam als het omringende zand heengesneden. Uit: Kluiving, 1989.

gelaagd, grof zand en grind, ingebed in een fijnkorrelige, homogene afzetting. Na afzetting is de fluvioglaciale tunnelafzetting ook weer licht verzet, hetgeen valt af te leiden uit breukvorming en lichte plooiing als gevolg van het doorgaande stuwingsproces (Afb. 4B).

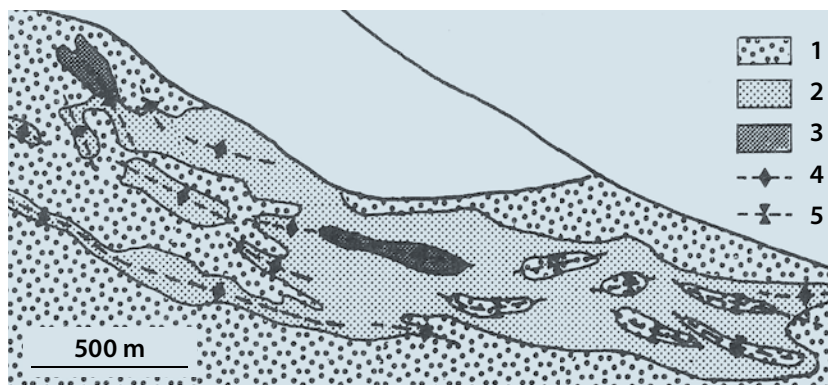
Lokaal zijn er op de stuwwal enkele *diamictische* lagen aangetroffen die als keileem geïnterpreteerd zijn (Rappol *et al.*, 1991). Diamictisch materiaal is sediment van uiteenlopende korrelgrootten, waarbij klei, silt, zand en grind vermengd door elkaar voorkomen, zoals, bijvoorbeeld in keileem. Uit karteringen is bekend dat aan de zuidzijde van de Itterbeck-stuwwal grote keileemoppervlakken getuigen van de “overrijding” (= opnieuw door landijs bedekt raken) van de stuwwal na de vorming ervan (Richter *et al.*, 1951). Hetzelfde beeld zien we aan de zuidelijke “staart” van de Uelsenstuwwal in Nederland, bij Ootmarssum waar zelfs keileemafzettingen tot 20 meter dikte voorkomen (Van den Berg & Beets, 1987; Van den Berg & den Otter, 1993).

Glaciotektonische structuren

Geologische patronen uit het kaartbeeld

Een gedetailleerde morfologische kartering bracht Richter *et al.* (1951) tot de conclusie dat de binnenste structuur van het stuwwalcomplex het best beschreven kan worden als een zeer steilstaande schubbenstructuur. Schubben zijn in deze interpretatie de bouwstenen die de opbouw en ontstaanswijze van de stuwwal verklaren. Een alternatief voor de interpretatie van het geologische kaartpatroon kan ook een geplooid structuur zijn. Een dergelijke geplooid structuur is ook bevestigd in het stuwwalcomplex tijdens dit onderzoek (Afb. 5).

De droge dalen op de stuwwal laten een enigszins rechthoekig en tralievormig patroon zien (Afb. 2B). Dit rechthoekige patroon suggereert een relatie tussen het afvoerpatroon met (glacio)tektonische structuren. Het patroon van de droge dalen, de geologische kaartjes van Richter *et al.* (1951) en de resultaten van het veldonderzoek laten ondermeer de grenzen van de grootschalige structurele eenheden zien waaruit de stuwwal is opgebouwd (Afb. 2B). Plooiën en schubben vervormen deze grootschalige structuren, die ook als (glaciotektonische) dekbladen bekend zijn (Van der Wateren, 1987, 1992).



Structuren in de stuwwallen

1. Dekbladen

In het noordoostelijke scharnierpunt van de twee stuwwallen was – in de voormalige groeve Janse – een regelmatig geplooid dekblad ontsloten (Afb. 6B). Dit was in de stuwwal van Uelsen het hoogst voorkomende dekblad met een dikte van ongeveer 40 meter. Groene Tertiaire fijnzanden van de Oosterhout Formatie vormen de basis (ook wel: *décollement*) van het dekblad. Dit dekblad is over een afstand van minstens één kilometer over grofkorrelige Kwartaire afzettingen heen geschoven in westelijke richting en daarna verplooid en op enkele plaatsen verbroken (Afb. 6B). In het oostelijke deel van het dwarsprofiel zijn twee structureel hogerliggende (en eerder gevormde) dekbladen aangetroffen met schuifvlakken in de Oosterhout Formatie.

Aan de oostkant van de Uelsen-stuwwal is de zware klei van de Midden-Oligocene Rupel Formatie tot aan het oppervlak geschoven, zoals bv. bij de *Ziegelei* van Lemke. In het overgrote deel van de Uelsen-stuwwal zijn grootschalige schuifvlakken van glaciotektonische dekbladen gezien in de lemige fijnzanden van de Oosterhout Formatie.

AFBEELDING 5. | De geologische kaart laat het voorkomen van een geplooid dekblad zien voor het front van twee glaciotektonische dekbladen in de Itterbeck-stuwwal ten westen van Itterbeck. Zie voor locatie kaart Afb. 2B; Geologie naar Richter *et al.*, 1951; Legenda: 1, Pleistoceen grof zand en grind (Appelscha en/of Drente Formatie); 2, Pliocene fijnzanden (Scheemda Formatie); 3, Miocene lemige fijnzanden (Breda Formatie); 4, Plooi: anticline; 5, Plooi: syncline; uit: Kluiving, 1994.



In de Itterbeck-stuwwal, in de voormalige Warrinck-Ratzelgroeve, was het bovenste deel van een vlakliggend glaciotektonisch dekblad ontsloten van ongeveer 75 meter dik (Afb. 6A). Fijnkorrelige Tertiaire zanden, behorende tot de Breda Formatie, zijn overschoven, terwijl grootschalige plooïing is waargenomen in het bovenste dekblad. De overschuiving in de Scheemda Formatie in het noordoostelijk van de sectie vervormt het bovenste dekblad, waarbij de overschuiving jonger is dan het onderliggende schuifvlak (Afb. 6B).

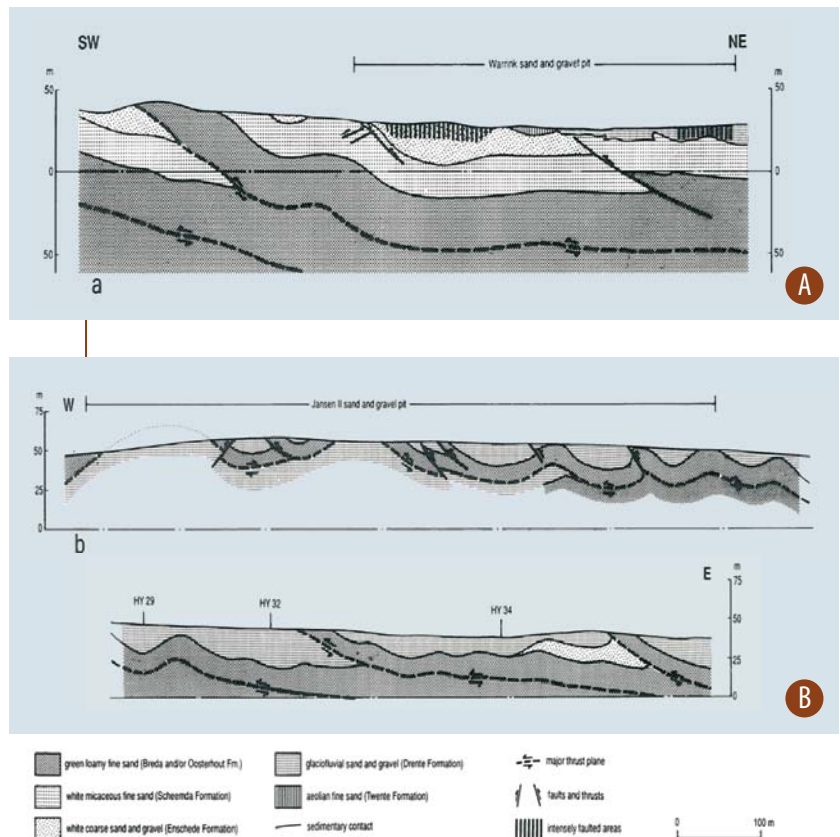
In de Itterbeck-stuwwal bevatten de glaciotektonische dekbladen de fijnzandige Scheemda Formatie, waarbij grootschalige schuifvlakken zijn aangetoond in de onderliggende Breda Formatie (Afb. 6B). Als gevolg van dit verschil in lithostratigrafie hebben de dekbladen in de Uelsen-stuwwal een dikte van 40-50 meter, terwijl in de Itterbeck-stuwwal de dekbladen een dikte van 50-75 meter hebben. De oppervlakte van de dekbladen in beide stuwwallen zijn vast te stellen in de grootte-orde van 1 tot 5 km² (Afb. 2B).

2. Plooïen en breuken

Het algemene kenmerk van de Itterbeck-Uelsen-stuwwallen is dat de meerderheid van de gestuwde structuren horizontaal gelegen zijn. Dit wordt met name duidelijk in het noordoostelijk deel, waar vlakliggende laagopvolgingen worden afgewisseld met geplooide en imbricate structuren.

In de ontsluiting is waargenomen dat de dekbladen zijn vervormd. Op de structurele kaart van de stuwwallen zijn metingen en waarnemingen van structuren aangegeven (Afb. 2B) die representatief zijn voor verschillende typen van deformatie (plooïing, breukvorming) en de richting van de “maximale verkorting”, d.w.z. de richting van het stuwingsproces dat verantwoordelijk is voor de beweging vanuit het glaciële tongbekken (Afb. 2B: j).

Waarneembare structuren in de ontsluiting in Itterbeck-Uelsen kunnen in ruwweg twee typen worden onderverdeeld: 1. *Brosse* deformatie (breukvorming) van grove sedimenten; 2. *Ductiele* plooïing in alle (= grove en fijne) lithostratigrafische eenheden. [NB: *ductiele* plooïing kan worden opgevat als een “vloeiend” gedrag van



AFBEELDING 6. | Dwarsprofielen gebaseerd op ontsluitingen en spaarzame boorgegevens, A. Itterbeck-stuwwal, B. Uelsen-stuwwal. Uit: Kluiving, 1994.

het sediment dat wordt gedeformeerd, i.t.t. het “brekende” karakter bij deformatie van brosse sedimenten.] De onderlinge afhankelijkheid van de twee structuurtypen wordt bepaald door lithologie en deformatiesnelheid (“strain rate”). Een grofkorrelige laag, rustend op fijnkorrelige afzettingen, kan onder glaciële stuwning makkelijker een brosse stijl van deformatie vertonen, zoals breuken. Wanneer dat grofkorrelige dek ontbreekt of relatief dun is, zal eerder plooïing optreden. Bij onderzoek in stuwwallen op Spitsbergen is aangetoond dat bij een dikkere sedimentbedekking de plooïgolflengte (= plooïgrootte) zal toenemen en dat de plooïen dan meer open i.p.v. gesloten zijn (Boulton & Van der Meer, 1989; Van der Wateren, 1992).

Plooïing in Itterbeck-Uelsen komt voor waar grofkorrelige afzettingen uit het Kwartair relatief dun zijn (minder dan 20 meter) en het grootste deel van de geplooide eenheden uit Tertiaire fijnzanden bestaat. Op de structuurkaart is te zien dat de plooïen een wijde verbreiding hebben over de dekbladen van de stuwwallen (Afb. 2B: f, g en h). Anticlinale en synclinale structuren worden plaatselijk vervormd door schuifvlakken en/of geïmbriceerde eenheden (Afb. 6B, 7).

Monoclinale of “stapsgewijze” structuren zijn waargenomen aan de rand van glaciotektonische dekbladen, zoals bij de groeves Scholten en Schröder (Afb. 2B: h). *Monoclinale* plooïen laten in feite een “halve” plooï zien, waarbij een laag door een ombuiging stapsgewijs op een lager of hoger niveau wordt vervolgd. Dit type plooïen markeert bv. de overgang van een glaciotektonisch dekblad naar een hoger niveau. Bijna vlakke schuifvlakken worden vaak begeleid door liggende plooïen, zoals in verscheidene ontsluitingen is te zien was. Dit type liggende plooïen wordt verklaard doordat aan de “voorkant” van overschuivende dekbladen de energie van de beweging wordt overgedragen naar plooïen die in ontwikkeling zijn (Dahlstrom, 1970; Van der Wateren, 1992).

De steilste schuifvlakken en steilst-scheefgestelde sedimentaire gelaagdheid zijn op de locaties Hopfenberg en Schaensken aangetroffen, plaatsen die dicht tegen de overgangszone tussen de stuwwallen van Itterbeck en Uelsen gelegen zijn.



In andere, meer westelijke locaties, zoals Langs de Weg en Warrinck-Ratzel, zijn de gestuwde lagen meer horizontaal in positie, met een geplooid karakter en verbonden aan relatief vlak gelegen basale schuifvlakken (Afb. 5).

3. “Clastic dikes”

In het bijzonder in het noordoostelijk deel van het stuwallencomplex komt een speciaal verschijnsel voor, namelijk horizontaal tot vertikaal georiënteerde spleet-opvullingen van fijn tot grof zand, die dwars door alle lithostratigrafische eenheden heensnijden, inclusief de fluvioglaciale afzettingen (Afb. 8). De lithologie van deze spleetopvullingen, “clastic dikes”, bestaat uit fijn tot grof, overwegend roze gekleurd zand. Veelvuldig komen losse zwevende grindjes in het zand voor. Sporadisch komt klei voor in het midden van de *dikes*. Bij één *dike* is waargenomen dat platte, centimetersgrote fragmenten van licht verkitte Oosterhout/Breda Formatie in de *dike* opgenomen waren. Op ten minste twee plaatsen is waargenomen dat het zand in de *clastic dike* opgenomen is in de fluvioglaciale zanden.

Dit betekent dat de *dikes* actief waren tijdens deze fase in de vorming van de stuwwal (=syntektonische afzetting). Het uniforme karakter (zowel in kleur als korrelgrootte) van het roze zand, het ontbreken van grove grindopvullingen en de opname in de fluvioglaciale afzettingen betekenen dat het zand van onderaf geïnjecteerd is, en niet van bovenaf in de spleet gestroomd is. De spleten zijn daarom rekspleten die door (grond)water onder druk gevormd zijn, waarbij de stroomsnelheid hoog genoeg was om de grindjes mee omhoog te transporteren. Twee mechanismen kunnen die druk verklaren: 1. een gradiënt in de grondwaterspiegel van de ijskap naar de stuwwal, vergelijkbaar met een artesisch grondwatersysteem, of 2. compactie en uitdrijving van water door de druk van het ijs en de stuwwal op de ondergrond.

Er werden gedurende de onderzoeksperiode (1990–2012) verschillende metingen ($n=29$) verzameld. Vrijwel alle *dikes* zijn óf op het zuidwesten óf op het noordoosten gericht. Slechts op één plaats is waargenomen dat de beide richtingen genetisch bij elkaar horen (d.w.z. dat ze zijn *conjugaat* zijn). Het merendeel van de *dikes* helt naar het zuidwesten, met een gemiddelde hoek van ongeveer 45 graden. De betekenis hiervan is dat de spleten samenhangen met de vorming van de jongste stuwwal: de compressieve druk kwam toen uit de richting van het Wilsum-glaciale tongbekken (zie ook discussie), waardoor de stuwwal in noord-oost-zuidwestelijke richting uit elkaar ging bewegen. De opvulling van de rekspleten (roze zand, grindjes, klei) komt uit een stuk sediment-openvolging die niet is waargenomen in de groeves. Het is tot nu toe onbekend tot welke formatie ze moet worden gerekend. Wel geeft het roze gekleurde zand aan dat het om een rivierafzetting moet gaan, waarbij Bontzandsteenafzettingen (Trias) in het bovenstroomse drainagegebied als bron in aanmerking komen.

4. Gedeformeerde graafgangen

Een specialistisch onderzoek is uitgevoerd naar de graad van deformatie van graafgangen die voorkomen in de Oosterhout en Scheemda Formaties. Beide formaties hebben zones van intensieve graafgangen, zoals in de Jansen- en Warrinck-Ratzelgroeves. In de uitgevoerde *strain analyse* (= analyse m.b.t. de deformatie in een sediment) zijn van 15 locaties *strain-ellipsoïden* bepaald door metingen aan graafgangen (Afb. 9A). Een *strain-ellipsoïde* laat zien hoe een imaginaire, oorspronkelijke bolvorm vervormd zou zijn door de deformatie die het sediment heeft ondergaan. De methode maakt gebruik van de aanname dat de graafgangen ooit in willekeurige richtingen gemaakt zijn, en dat de huidige afwijking daarvan het gevolg is van vervorming van het sediment.

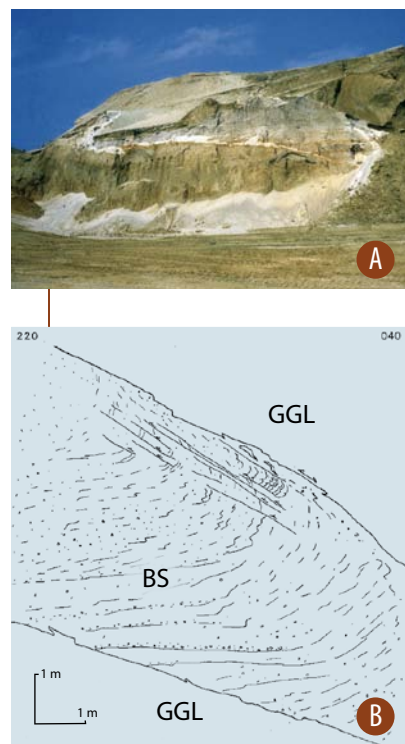
De langste assen van de gevonden ellipsoïden zijn ruimtelijk mooi verdeeld over NNO- tot ZZW-richtingen, variërend van steilstaand tot horizontaal. In feite geven deze ellipsoïden een soortgelijk beeld als de *clastic dikes*, namelijk dat de stuwwal in de genoemde richting vergroot is, en dat de compressieve druk uit de richting van het Wilsum-glaciale bekken kwam. De verlenging (d.i. het uitrekken van de ellipsoïde) bedraagt ongeveer een factor 1,3. Een complicerende factor is dat de kleinste assen van de ellipsoïden volgens ONO- tot WZW-richtingen verdeeld zijn, met overwegend steile standen (70 graden). Dit betekent dat de compressieve druk niet van de zijkant kwam, maar schuin van boven.

Een verklaring hiervoor kan zijn dat we hier het effect van overrijding van de stuwwal zien (Afb. 9B).

Discussie

Twee verschillende ijslobben zijn verantwoordelijk geweest voor de vorming van de stuwwallen van Itterbeck-Uelsen. In het bijzonder het noordelijke deel van de Uelsenstuwwal is beïnvloed door beide stuwwallen en is daarmee uitermate geschikt om de volgorde van gebeurtenissen in de stuwwalvorming uit te zoeken.

Het dekblad in de groeves Jansen 1 en 2 heeft perfect N-Z georiënteerde plooiassen die altijd loodrecht op de algemene verkortingsrichting staan (Van der Wateren, 1992; Afb. 2B). Samen met de op het oosten hellende opschuivingen en imbricate structuren, bewijzen de plooiassen dat dit glaciotektonische dekblad van oost naar west is



AFBEELDING 7. | A. Overschuiving van fijnkorrelige Oosterhout Formatie over grofkorrelige fluvioglaciale afzettingen van de Drente Formatie, groeve Jansen. Foto: Freek Rehbergen 1987. B. Schets van plooï en ombuiging in gelaagdheid van de fluvioglaciale afzettingen (BS). Vlak onder het overschuivingsvlak van de Oosterhout Formatie (GGL) gaat de plooïingsbeweging over in kleinere schuifvlakken (breuken). Uit: Kluiving, 1989.





AFBEELDING 8. | “Clastic dike” in een ontsluiting in het beschreven gebied. Foto S.J. Kluiving.

getransporteerd vanuit het Nordhorn-glaciale bekken. Dit komt overeen met O-W georiënteerde richtingen van maximale verkortingen zoals weergegeven op de structuurkaart (Afb. 2B: j).

Herplooing van sedimentaire gelaagdheid rond NO-ZW georiënteerde plooiassen op verscheidene locaties in de noordelijke Uelsen-stuwwal geeft aan dat de laatste drukrichting uit het noordwesten kwam, vanaf de Wilsumer-ijslob. *Strain analyse* van gedeformeerde graafgangen van wormen bevestigt een NW-ZO overrijding van het landijs. Ook de metingen aan de *clastic dikes* wijzen op een laatste overrijding van het ijs uit NW richting. Dit houdt in dat gedurende het stuwingsproces eerst de Nordhorn-ijslob actief was en in tweede instantie de Wilsumer-ijslob.

In het oostelijke deel van de Itterbeck-stuwwal, in de verbinding met de Uelsen-stuwwal, heeft de Wilsumer-ijslob steile structuren geproduceerd die hellen op het NW. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het feit dat stuwing plaatsvond in combinatie met het “obstakel” van de bestaande Uelsen-stuwwal. Het midden- en oostelijke deel van de Itterbeck-stuwwal laten op het noordoosten hellende structuren zien.

In groeve Straaten bij Wielen aan de westelijke punt van de Itterbeck-stuwwal is keileem aangetroffen op gestuwde afzettingen. Fijngrind-analyse geeft aan dat de keileem gecorrelleerd kan worden met de Tweede Oostbaltische Keileem. “*Clast fabric*”,

d.w.z. de gemeten richtingen van de langste assen van fijngrind, geven een N-Z oriëntatie. Dit is afwijkend van de noordelijk gelegen Hondsrug, net als in de zuidelijk gelegen locatie de Lutte, waar de *clast fabrics* van de Tweede Oostbaltische Keileem een NW-ZO oriëntatie hebben (Kluiving *et al.*, 1991; Rappol *et al.*, 1991).

Uit het afsnijden van structuren kan opgemaakt worden dat na de vorming van de stuwwallen gemiddeld een erosie van 10–20 meter van het reliëf heeft plaatsgevonden sinds het Saalien. Het noordelijke deel van de Uelsen-stuwwal heeft een erosie in de orde van 25 meter op zijn hoogste punt ondervonden. Deze erosie is deels het gevolg van smeltwater van het landijs in het Saalien en ten dele van periglaciale erosie in het Weichselien.

Bij het onderzoek in stuwwallen moet vaak naar sporen van grootschalige structuren van dekbladen gezocht worden. In Itterbeck-Uelsen waren deze grootschalige structuren zeer goed waarneembaar, in het bijzonder door de grootschalige zand- en grindwinning die daar heeft plaatsgevonden. Doorgaans worden in de groeves eerder de secundaire structuren waargenomen, zoals plooiën en breuken die het grotere dekblad vervormd hebben.

De vraag waarom de stuwwallen van Itterbeck-Uelsen op de plek liggen waar ze liggen, kan beantwoord worden als we de verbreidingskaart van de Midden-Oligocene Rupel Formatie in de ondergrond bekijken. De locatie van de Uelsen-stuwwal komt rechtstreeks overeen met de zone waar de Rupel Formatie in de ondergrond voorkomt (Ellerman, 1963; Kluiving, 1994). De zware kleien van deze formatie verschaffen het perfecte glijvlak waarover de eerste dekbladen zich vormden. Later blijken ook hogere stratigrafische niveau's, zoals de Oosterhout Formatie geschikt om dekbladen te “ontkoppelen”. In de Itterbeck-stuwwal ontbreekt een dergelijke ondergrondsituatie. Het is duidelijk uit de structuren dat de Itterbeck-stuwwal zich pas vormde toen de Uelsen-stuwwal al gevormd was. De stratigrafie van de Itterbeck-stuwwal laat de grofkorreliger Scheemda Formatie zien i.p.v. de Oosterhout Formatie. Hierdoor ligt in Itterbeck het *décollement* (= het ontkoppelingsniveau) dieper dan in Uelsen. In Itterbeck is zelfs nergens de onderkant van het dekblad waargenomen. Er wordt aangenomen dat het *décollement* in de dieperliggende Breda Formatie is gelegen.

Conclusie

Veldobservaties in Itterbeck-Uelsen hebben geen steilstaande schubstructuren opgeleverd die 100–150 meter diep vanaf de oppervlakte voorkomen, zoals gesuggereerd door Richter *et al.* (1951). In plaats daarvan zijn vlak liggende, ondiep wortelende schuifvlakken waargenomen. De dikte van glaciotektonische dekbladen verschilt regionaal en bedraagt 40 meter in de Uelsen-stuwwal tot bijna het dubbele, 75 meter, in de Itterbeckstuwwal.

Een combinatie van lokale geologische en geohydrologische factoren die resulteren in verhoogde poriënwaterdruk onder belasting, reduceert de wrijvingskracht, hetgeen het opschuivingsproces bevoordeelt. Een goed supra-regionaal voorbeeld wordt gevormd door de Rehburgerfase van stuwwallen in Duitsland en Polen die



AFBEELDING 9. | Gedeformeerde graafgangen. A. meetlocatie van gedeformeerde graafgangen in de Oosterhout formatie. In de uitgespitte, kubusvormige kuil werden in drie oriëntaties ellipsen van graafgang-doorsneden gemeten, B. duidelijke oriëntatie van gedeformeerde graafgangen (zie de pijltjes voor een voorbeeld) wijst op deze locatie in de Jansen groeve op een sterke (subglaciale) deformatie en op overrijding van het landijs uit NW richting. Foto's: S.J. Kluiving.



corresponderen met een gebied waar fijnkorrelige Tertiaire en Krijt-afzettingen dicht aan het oppervlak komen (Afb. 2A). Er lijkt geen noodzaak te bestaan om de rol van permafrost in te roepen als het om het proces van stuwing gaat.

Het hoofdschuifvlak van de glaciotektonische dekbladen in Itterbeck-Uelsen is gelegen in de Oosterhout en Breda Formaties. De stuwwallen van Itterbeck-Uelsen zijn opgebouwd uit een aantal geplooid en gebroken structurele eenheden, die deels van opzij, deels frontaal vanuit de glaciële bekkens zijn geschoven. Het zijn grote, min of meer horizontaal liggende dekbladen, die minstens één kilometer geschoven zijn. Geplooid dekbladen komen voor in de centrale en distale delen van de stuwwal, terwijl in de frontale delen (tegen de stuwendende ijskap aan) meer steile, scheefstaande structuren voorkomen, met name daar waar de Itterbeck- en de Uelsen-stuwwal samenkomen. In het scharnier van de twee stuwwallen is sprake van "tektonische interferentie": de Nordhorn-ijskap was de eerste die het stuwingsproces aanging, waarna de resulterende structuren opnieuw zijn gedeformeerd door de Wilsumer-ijskap. Volgend op het stuwingsproces werd de gehele stuwwal daarna vanuit het Noordwesten door landijs "overreden", hetgeen valt af te leiden uit de oriëntatie van de *clastic dikes*, evenals uit de gereconstrueerde *strain-ellipsoïde* van de gedeformeerde graafgangen van wormen.

Tot op de dag van vandaag worden er waarnemingen gedaan in actieve groeves in de stuwwallen van Itterbeck-Uelsen tijdens excursies voor studenten, terwijl in de zuidwesthoek van het gebied, aan de zuidflank van de Itterbeck-stuwwal, ook nog steeds aan zandwinning wordt gedaan. Voor Kwartair-geologen en paleontologen blijft het nog altijd aantrekkelijk om in het WWW-gebied, Itterbeck-Uelsen en de "Wilsumer Berge" onderzoek te verrichten.

Dankbetuiging

Onze dank gaat uit naar Bert Bolkenstein, Henk Hofland en Don van den Biggelaar voor hun hulp bij het vervaardigen van de afbeeldingen.

LITERATUUR

Berg, M.W. van den & Beets, D.J., 1987. Saalian glacial deposits and morphology in The Netherlands. IN: van der Meer, J.J.M. (ed.), Tills and Glaciotectonics: pp. 235-251. Balkema, Rotterdam.

Berg, M.W. van den & Otter, C.J. den, 1993.

Toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1 : 50.000. Blad Almelo Oost (28 0) en Denekamp (29). R.G.D., Haarlem

Bijlsma, S., 1981.

Fluvial sedimentation from the Fennoscandian area into the north-west European Basin during the Late Cenozoic. Geol. & Mijnb. 60: pp. 337- 345.

Boulton, G.S. & Meer, J.J.M. van der (eds), 1989.

Preliminary Report on the Glaciotect '84 Expedition to Spitsbergen. Report no. 37, Fys-Geogr. & Bodemk. Lab., Univ. Amsterdam.

Dahlstrom, C.D.A., 1970.

Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains. Bull. of Canad. Petr. Geol., 18: pp. 332-406.

Ehlers, J., 1990.

Reconstructing the dynamics of the north-west European Pleistocene ice sheets. Quat. Sc.Rev., 9: pp. 71-83.

Ellerman, C., 1963.

Beitrag zur Gliederung und Verbreitung des Tertiars in West-

Emsland. Neues Jahrb. Geol. u. Palaont., 117: pp 111-129.

Gijssels, K. van, 1987.

A lithostratigraphic and glaciotectonic reconstruction of the Lamstedt Moraine, Lower Saxony (FRG). In: Meer, J. J. M. van der (ed.), Tills and Glaciotectonics, pp. 145-155. Balkema, Rotterdam.

Kluiving, S.J., 1989.

Glaciotektoniek in de stuwwal van Itterbeck-Uelsen (BRD). Unpub. MSc thesis, Univ. Amsterdam: 117 pp.

Kluiving, S.J., 1994.

Glaciotectonics in the Itterbeck-Uelsen push moraines, Germany. J. Quat. Sc., 9: pp. 235-244.

Kluiving, S.J., Rappol, M. & F.M. van der, 1991.

Till stratigraphy and ice movements in eastern Overijssel, The Netherlands. Boreas, 20: pp. 193-205.

Meer, J.J.M. van der, 1989.

Les moraines de poussé, une étude comparative de ces formations en Hollande, au Spitzberg et dans les Alpes. Bull. Soc. Neuchâtel. Geogr., 321.

Mulder, E.F.J. de, Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E. & Wong, T.E., 2003.

De Ondergrond van Nederland. Geologie van Nederland, deel 7. Ned. Ins. v. Toegep. Geowet. TNO, Utrecht. 379 pp.

Rappol, M., Kluiving, S.J. & Wateren, F.M. van der, 1991.

Over keileemstratigrafie en ijsbewegingsrichtingen in oostelijk Overijssel. G & H., 45: pp. 55-62.

Richter, W., Schneider, H. & Wager, R., 1951.

Die Sadleiszeitliche Stauchzone von Itterbeck - Uelsen (Graftschaft Bentheim). Zeits. Deut. Geol. Gesell., 102: pp. 60-75.

Ruegg, G.H.J., 1991.

Pleistocene fluvial deposits in ice-pushed deposition, Wageningen, The Netherlands. IN: Ruegg, G. H. 1. (ed.), Geology and Archaeology of ice-pushed Pleistocene deposits near Wageningen (The Netherlands). Med. R.G.D., 46: pp. 3-25.

Wateren, F.M. van der, 1981.

Glacial tectonics at the Kwintelooijen sandpit, Rhenen, The Netherlands, IN: Ruegg, G.H.J. and Zandstra, J.C. (eds.), Geology and Archaeology of Pleistocene Deposits in the Ice Pushed Ridge near Rhenen and Veenendaal. Med. R.G.D., 35: 252-268.

Wateren, F.M. van der, 1987.

Structural geology and sedimentology of the Dammer Berge push moraine, FRG. IN: van der Meer, J. J. M. (ed.), Tills and Glaciotectonics, 157-182. Balkema, Rotterdam.

Wateren, F.M. van der, 1992.

Structural geology and sedimentology of push moraines. PhD thesis, Univ. Amst., 230 pp.

