# Glaciale afzettingen in Nederland

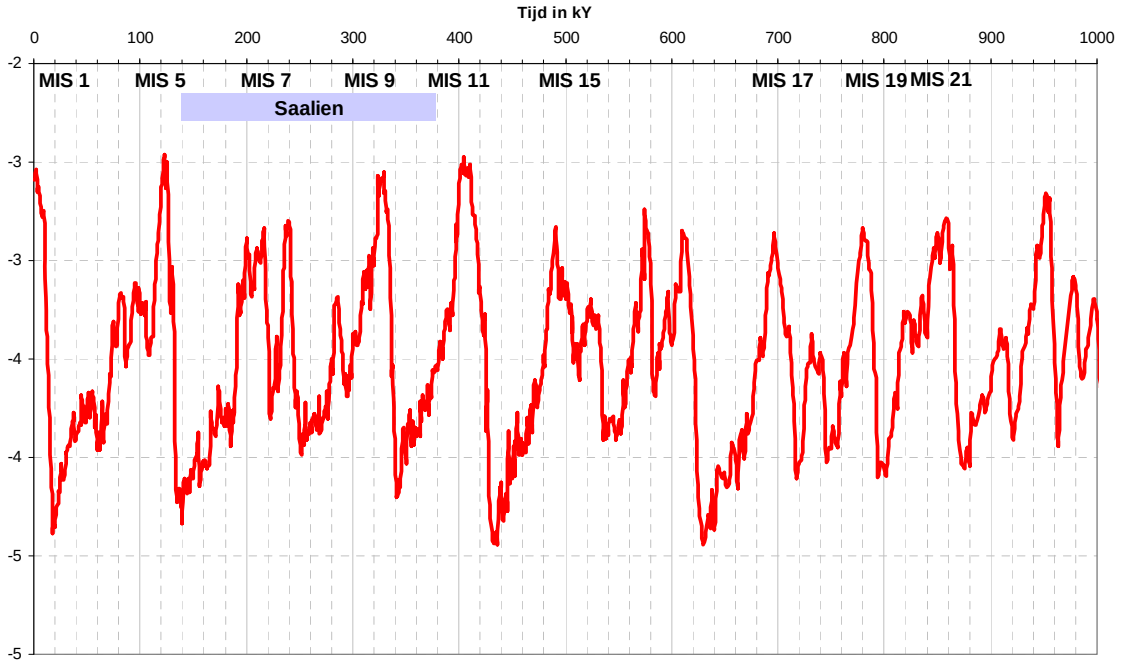
*5-3-2012*

*D. Edelman*

## 1 Inleiding

In Nederland worden in sedimenten uit verschillende tijdvakken kenmerken gevonden van de nabijheid van landijs in ijstijden (*o.a. Doppert, 1975)*. Veel van deze glaciaal gerelateerde verschijnselen worden aan de ijsbedekking in het Saalien (MIS 6/10, 400-120 Ka) toegeschreven.

Dit Saalien is zelf een een complex tijdvak met minimaal 2 warmere perioden (MIS 7 en MIS 9) en 3 koudere perioden (MIS 6, MIS 8 en MIS 10), zoals goed naar voren komt in de $O^{16}/O^{18}$ curve van Lisiecki (*Lisiecki, 2005*):




In de eerste helft van de 20e eeuw werd aangenomen dat het landijs slechts eenmaal tot Nederland was gekomen. Dit was de reden dat in die tijd alle keilemen, stuwwallen, glaciale bekkens etc. aan het Saalien zijn toegeschreven. Dit is mijns inziens als adagium terrecht gekomen in de latere beschrijvingen over de Nederlandse ondergond. In de jaren 60 is hiernaast het voorkomen van de potkleien onder Noord-Nederland toegeschreven aan een landijsbedekking uit het Elsterien (MIS 12, 480-440 Ka).

Voorliggende notitie gaat in op:

- Het aantal tot dusver herkende (aan de hand van geomorfologische verschijnselen) ijstijden in de laatste 1 miljoen jaar
- Het soort geomorfologische verschijnsel
- Mogelijke consequenties voor de inzichten in de geologie van Nederland

# 2 Glaciale verschijnselen

## 2.1 Inleiding

Afzettingen die gelieerd zijn aan landijs en gletschers worden in deze notittie ingedeeld naar lithologie en facies (§ 2.2) . Hiernaast kunnen de geomorfologische verschijnselen worden beschreven (§ 2.3). Sequence stratigraphy van glaciale afzettingen lijkt een relatief weinig bestudeerd onderwerp te zijn.

## 2.2 Lithologie

IJsgerelateerde afzettingen getuigen vaak van een hoog-energetische, catastrofale ontstaanswijze. Het leeglopen van sub- of supraglaciale meren, het optreden van een “glacial surge”, een plotselinge versnelling van de bewegingssnelheid van de gletscher, het voorkomen van een jökulhaup (een soort ijsflashflood van grote omvang) etc., zijn in staat naast fijnkorrelige sedimenten ook grote blokken gesteente te verplaatsen. Het weer afgezette sediment kent soms weinig structuur. Wel kan een afname van de korrelgrootte in de stroomafwaartse richting worden geconstateerd. De dichtheid van puinstromen is gerelateerd aan de hoeveelheid water ten opzichte van de hoeveelheid sediment. Een mogelijke indeling naar lithologie (*naar Eyles, 1984*) zou als volgt kunnen zijn:

| **Lithologie** | **Type sequentie** | **Interpretatie** | **Facies** |
|---|---|---|---|
| | | | |
| Diamicton | Massief | Puinstroom (=Debris flow)<br>Grondmorene | Subglaciale afzetting, plaatsing direct bij de gletschervoet |
| | Gelaagd | Puinstroom | Gletscherrand, hoog energetisch, periodiek (Jökulhaup o.i.d.) |
| Grind | Massief, gesorteerd | Puinstroom | Gletscher nabij, hoog-energetisch, periodiek, onder water aan de oppervlakte |
| | Massief, ongesorteerd | Hoge dichtheid puinstroom, of glaciofluviaal | |
| | Fine-up | Lage dichtheid puinstroom | |
| | Coarse-up | Puinstroom | |
| Zand | Massief | Hyperconcentrated flow | Relatief hoge snelheid, turbulente stroming, puinwaaiers met lokaal stroombanen |
| | Gelaagde cross bedding | Puinwaaier afzettingen | |
| | Trogvormige cross bedding | Stroomgeul afzettingen | |
| Silt en klei | Massief | Hyperconcentrated flow | Distale versie van ijsnabije uitstroom |
| | Gelaagd | Bekkenkleien | Kalm water afzettingen, relatief lage sedimentatiesnelheid |

## 2.3 Indeling naar geomorfologie

### *2.3.1 Subglaciaal*

#### *2.3.1.1 Keileemplateau*

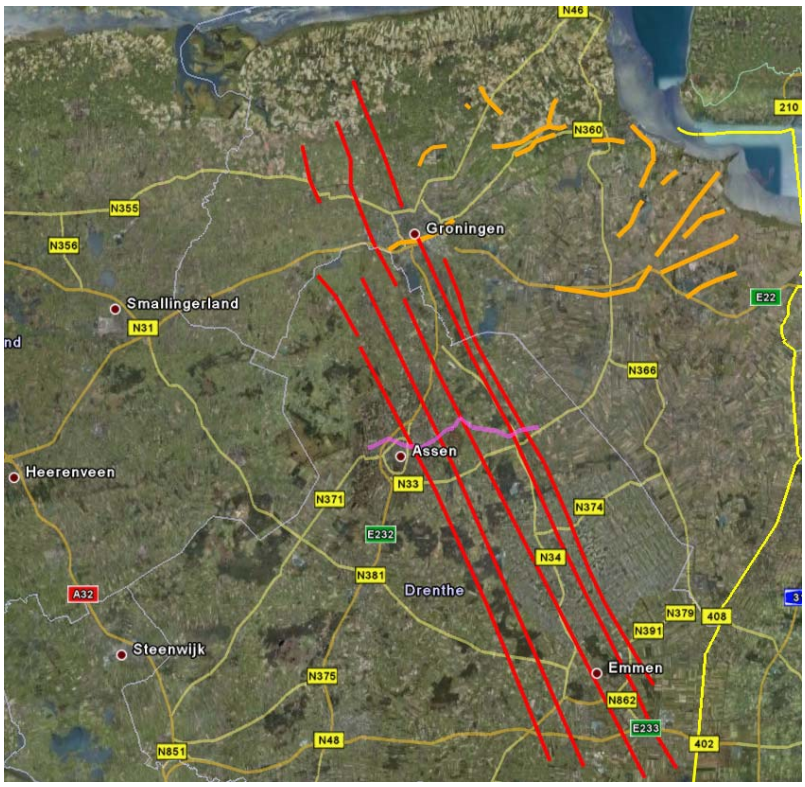
Onder een gletscher kan de bodem aan de gletscher zijn vastgevroren (cold-based) of niet (warm-based). In het laatste geval kan een waterlaag voorkomen tussen de (bevroren) ondergrond en de gletscher wat de stroomsnelheid van de gletscher sterk kan doen oplopen. In het eerste geval kan de gletscher delen uit de bevroren ondergond “plukken” en mengen in een laag tussen de gletscher en de ondergrond. Dit laatste kan zich na smelt van het ijs afzetten als grondmorene, in Nederland de zogenaamde keileem in Noord-Nederland. Op onderstaande figuur is de rand van het keileemplateau weergegeven met een stippellijn. Met een dikke lijn is aangegeven waar keileem in gestuwde positie voorkomt volgens de heersende opvattingen (o.a. Atlas van Nederland, hoofdstuk 13, Geologie)

#### 2.3.1.2 Drumlin

Onder een gletscher kan een ophoping ontstaan die in de lengterichting van de ophoping informatie in zich draagt over de stroomrichting van het ijs. Ze zijn gevormd uit grondmorene en geralateerd aan een verandering in de stroomrichting van de gletscher en/of de gedeeltelijke smelt van de gletscher. Het zijn over het algemeen kleinschalige structuren (tot 500 meter lang en 50 meter hoog). In de Nederlandse glaciale afzettingen zijn ze (nog niet gevonden). Reden dat ze hier genoemd worden dat een vervolgvorm, de MSGL (zie hieronder) wel zijn aangetroffen.

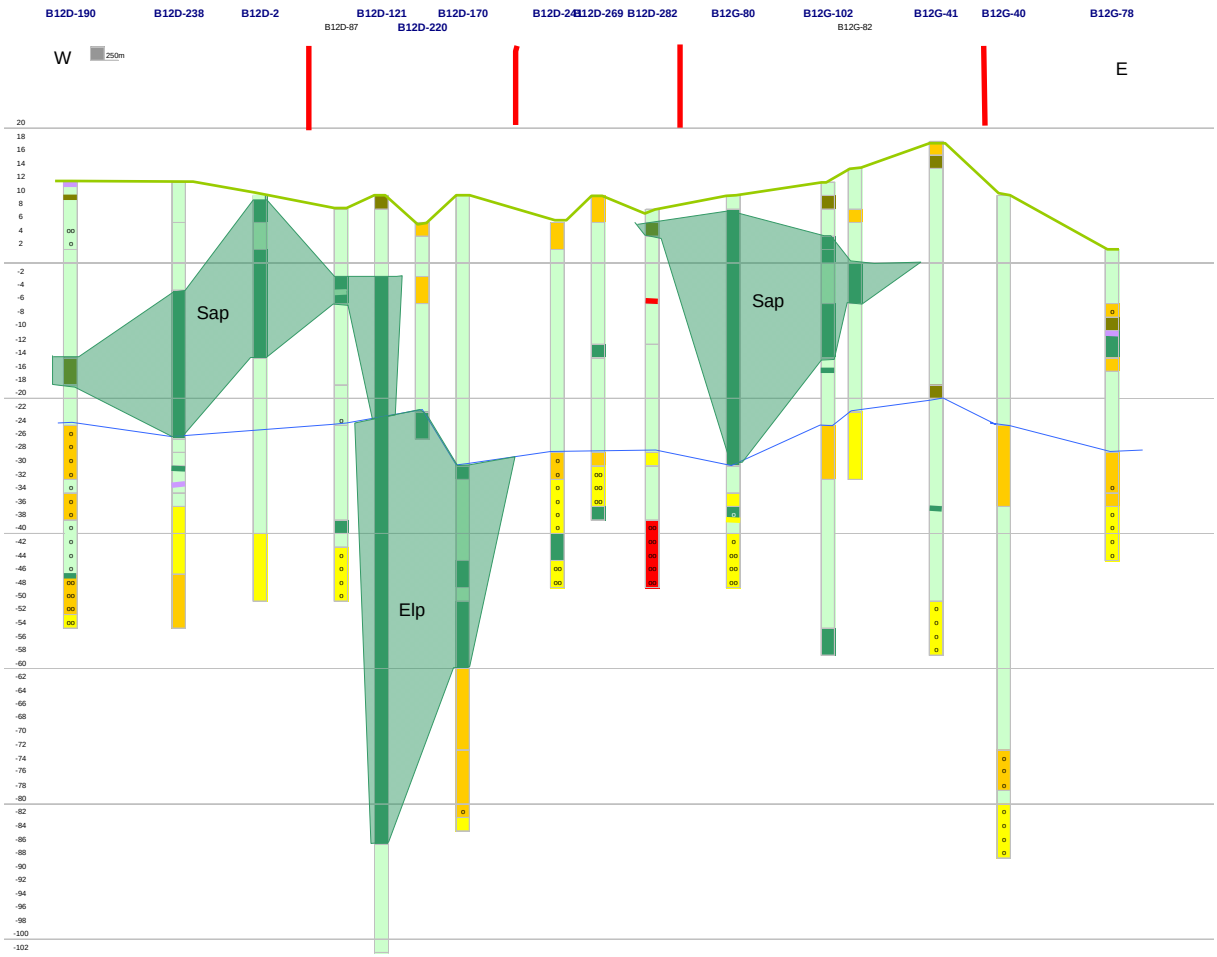
#### 2.3.1.3 MSGL

Indien het gletscherijs snel stroomt, mogelijk meer dan 0,5 km/jaar, kunnen drumlin systemen worden uitgerekt tot MSGL, een Mega Scale Glacial Lineation. Dit zijn structuren tot tientallen kilometer lang en een paar honderd meter breed. Ze zijn waarschijnlijk gevormd onder snelstromende gletschers, een fenomeen wat mogelijk optreedt in de laatste fase van de aanwezigheid van landijs. Na het smelten van landijs blijft dan een serie langgerekte, paralelle richels over. Hier sterk op gelijkende structuren zijn aangetroffen op het Drents plateau. Deze structuren zijn vandaag de dag nog herkenbaar als topografische verhoging in het landschap, bekend als de Hondsrug. Minimaal 5 van dit soort paralelle richels kunnen worden gevonden. Op figuur 1 zijn de MSGL structuren als rode lijn weergegeven. De stroomrichting was overduidelijk vanuit het noordwesten. De oranje min of meer oost-west gerichte lijnen zijn mogelijk stuwwallen uit een later stadium van het landijs, een terugkomst na een afsmelt. Deze structuren snijden de MSGL's. De paarse lijn is een profiel nabij Assen over de MSGL's heen.




**Figuur 1 MSGL's (rood), stuwwallen (oranje) en profielllijn (paars)**

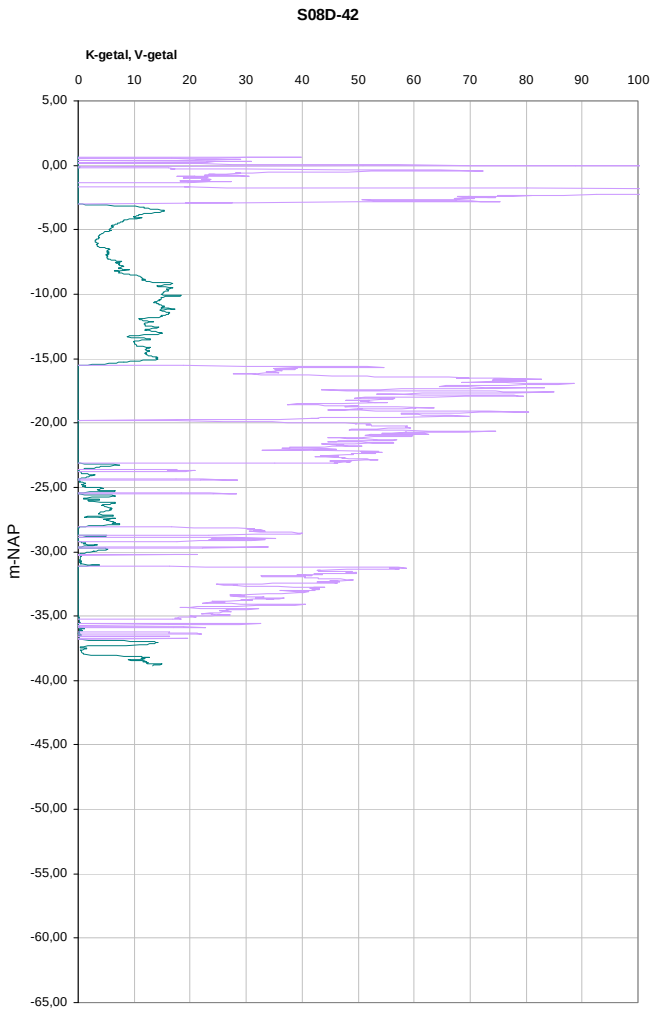
Dit profiel is weergegeven als figuur 2. Hieruit komt naar voren dat onder een deel van de MSGL zich lutumrijke kleien bevinden (met code Sap), mogelijk opgestuwde potklei uit het Elsterien, maar andere delen van de MSGL's zijn opgebouwd uit geboetseerde (?), fijne zanden. Aan de oostzijde van boring B12-48 is de steilrand van de Hondsrug te zien. Boring B12B-2 is gelegen nabij Peelo, een ontsluiting waar Zandstra (*1975*) uitvoerig onderzoek aan gedaan heeft. Op een niveau van -26 [NAP] bevindt zich een lithologische grens waaronder de Elsterien insnijdingen zich lijken te bevinden. De MSGL's zijn aangegeven met een rode verticale lijn.




**Figuur 2 Profiel over de MSGL's nabij Assen**

### *2.3.1.4 OCR kleien*

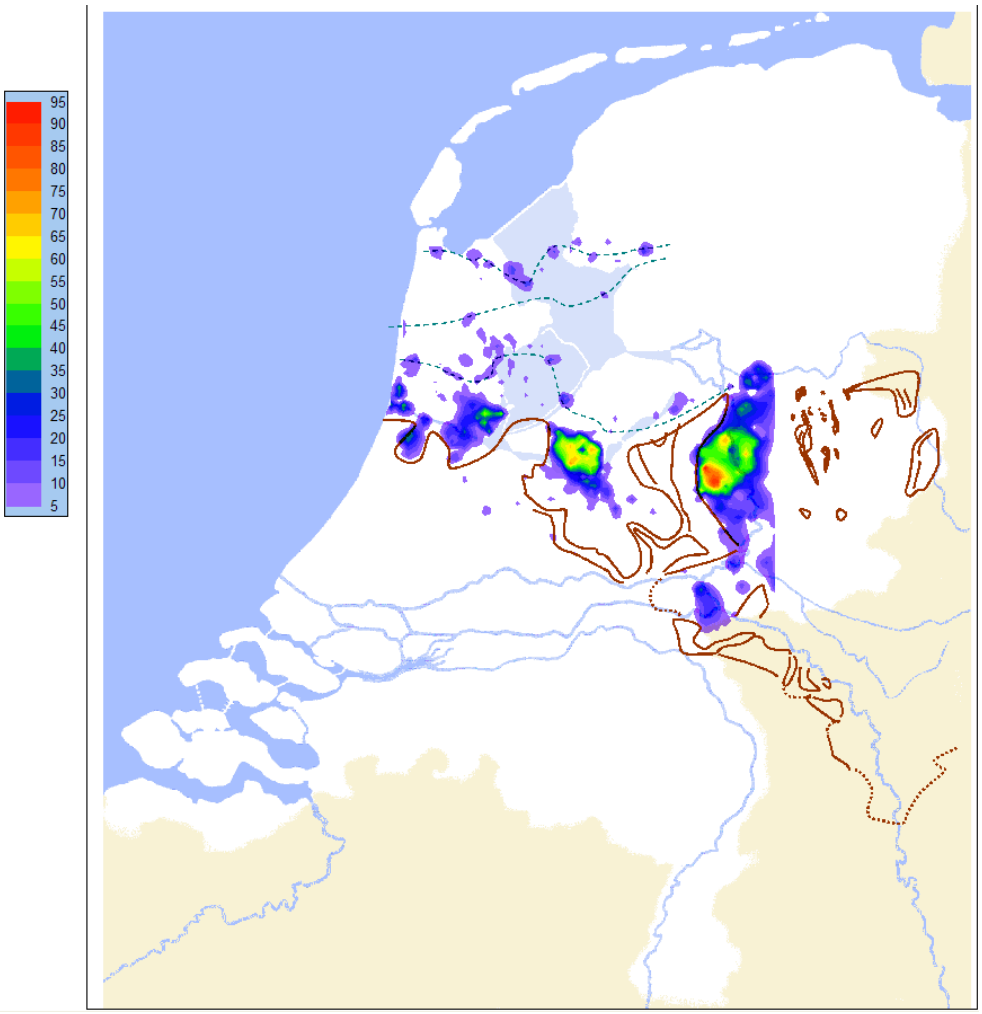
Een onorthodoxe wijze om naar glaciaal gerelateerde kleien te kijken is in een sondering de gemeten waarden zo te bewerken dat trajecten waar een hoge plaatselijke wrijving (indicatief voor weerstandbiedende, vette kleilagen) duidelijk te zien zijn. De theorie is dat met name kleien onder een gletscher door het extra gewicht worden samengeperst. Deze samenpersing vindt in alle richtingen plaats, maar na het verdwijnen van het ijs zal de verticale inklinking weer kunnen ontspannen (dilatatie), maar de samengeperste horizontale richting zal zich de ijsmassa blijven herinneren. Dit betekent dat vandaag de dag het inbrengen van bijvoorbeeld een heipaal in dit soort kleien moeilijker is dan in vergelijkbare niet geconsolideerde kleien. Deze consolidatie heet overconsolidatie (ten opzichte van een natuurlijke inklinking door steeds diepere begraving), de meetwaarde heet de overconsolidatie ratio (OCR). Des te hoger deze OCR, des te meer gewicht op de klei gelegen heeft. De terminologie komt uit de geotechnische hoek, in de beschrijvende geologie wordt ze bij mijn weten niet toegepast. Nietemin zijn in Noord-Nederland een aantal goede voorbeeldprofielen beschikbaar. Over de manier van het bewerken van sondeergegevens wordt in een later artikel nader ingegaan. Hier volstaat het voorbeeld van sondering S08D-42 (figuur 3).




In de naastliggende figuur 3 zijn drie duidelijke trajecten met mogelijke overconsolidatie te zien. Een onderste traject tussen -31 en -36 [NAP], een tweede traject tussen -15 en -23 [NAP] en een derde traject tussen 0 en -4 [NAP]. Deze vertonen alle drie een karakteristiek verloop met een naar onder toe afnemende (mogelijke) overconsolidatie. Dit heeft als reden dat de druk bij het (toenmalige) aardoppervlakte het grootst was, dus zal de overconsolidatie daar het grootst zijn. Lineaties van sonderingen met OCR kenmerken zijn aangegeven in figuur 1 met de oranje kleur. Deze lineaties kunnen worden geassocieerd met stuwwallen in keileem.

### *2.3.1.5 Glaciale bekkens*

Een ander opvallend geomorfologisch verschijnsel is het voorkomen van diepe, met klei gevormde, bekkens aan de rand van de stuwwallen. De samenhang van deze twee geomorfologische verschijnselen is evident. In figuur 4 is een overzicht gemaakt van de dikte van de klei in het bekken ten opzichte van het niveau -38 [NAP]. Deze grens op -38 [NAP] wordt nader toegelicht in het hoofdstuk over het Bekken van Amsterdam op deze website. De diepste bekkens komen voor naast de topografisch hoogste stuwwallen (IJsseldal vs. de Veluwe) Het vermoeden is dat er eerste een serie proglaciale zanden en grinden is afgezet die daarna in een jökulhaup zijn opgestuwd. Bij de jökulhaup zijn de bekkens uitgeschuurd waarna (vermoedelijk na smelt van het ijs) ze gevuld zijn met fijnkorrelig materiaal, soms zelfs met warven (o.a. het Bekken van Amsterdam). Uit de richting van bekkens is duidelijk dat de richting van de ijsstroming een noordcomponent had. Hiernaast zijn een noordwest (de Veluwe) en een noordoost tot oost component te zien (oost-Nederland).



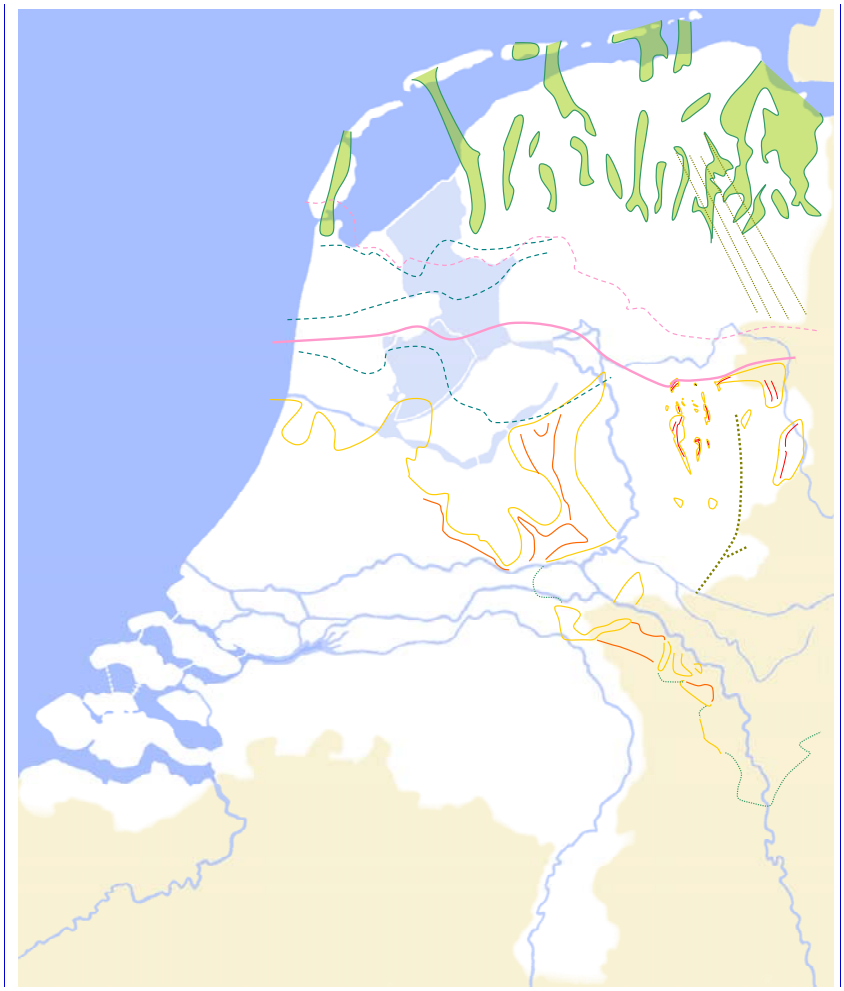

**Figuur 4: Glaciale bekkens (dikte in kleurcodering) in samenhang met de stuwwallen (contouren in bruin)**

#### 2.3.1.6 Kettle holes

Bij het terugtrekken van een ijskap kunnen er korte perioden voorkomen dat de ijsrand stagneert of zelfs terugkomt. Bij zo'n stagnatiegrens kan de voet van de gletscher zich ingraven (conform de grote bekkens) waarna, na smelt, kleine meertjes (kettle-holes) achterblijven. Indien deze gevuld worden met klei ontstaat een snoer van kleine bekkens. In figuur 4 zijn hiervan drie "snoeren" aangegeven, met een blauwe stippellijn, die drie verschillende stadia van terugtrekking vertegenwoordigen. Deze snoeren konden worden gevolgd tot aan het Drents keileemplateau. Hieronder zijn ze (door erosie?) niet meer aangetroffen.

#### 2.3.1.7 Tunneldal

Onder het landijs kunnen door intensieve erosie tunneldalen worden uitgesleten. Hoewel het precieze ontstaan van de tunneldalen nog onderwerp van studie is (*Burval-project, 2006*), wordt over het algemeen voor de Nederlandse ondergrond aangenomen dat de tunneldalen uit het Elsterien stammen. Ze komen met name voor onder Noord-Nederland. In figuur 5 zijn ze op de kaart met glaciale verschijnselen aangegeven met de groene kleur. Duidelijk is dat ze los staan van de hoger in het profiel gelegen MSGL's en het keileemplateau. Het is opvallend dat de strekking van deze tunneldalen overeenkomt met de strekking van de veel zuidelijker gelegen stuwwallen in Midden-Nederland.



**Figuur 5: Glaciale kaart met tunneldalen in groen**

### 2.3.2 Proglaciaal

#### 2.3.2.1 Puinwaaier

Nabij het eind van een gletscher kunnen zich, door uitspeoling, grote hoeveelheden grof zand, grind en stenen ophopen. Deze puinwaaiers kunnen een dikte bereiken die vergelijkbaar is met de dikte van het landijs. Indien een gletscher vervolgens weer vooruitstroomt kunnen deze puinwaaiers gestuwd worden. Dit verklaart voor een belangrijk deel de grofheid van de afzettingen onder de Veluwe. Dit zijn belangrijke onderdelen van het eerste watervoerende pakket in Nederland

#### 2.3.2.2 Stuwwallen

Bij stuwing van de afzettingen voor en deels onder de rand van de gletscher kunnen pakketten uit de ondergrond aan de oppervlakte terechtkomen. In de hoofdstukken over de afzonderlijke lokaties wordt hier dieper op ingegaan. Uit deze beschrijvingen blijkt dat in groeves op de Veluwe de jongste gestuwde pakketten mogelijk tot MIS 13 of ouder behoren. Hoewel dit speculatief is is het in ieder geval duidelijk dat de stuwing dan MIS 12 of jonger moet zijn geweest. Er zijn geen aanwijzingen of dateringen mij bekend dat de stuwing van Saalien ouderdom moet zijn. Uit de stand van de gestuwde pakketten kan de drukrichting van het landijs worden herleid. Deze staat immers loodrecht op de strekking van de stuwwallen.

## 2.4 Overige kenmerken

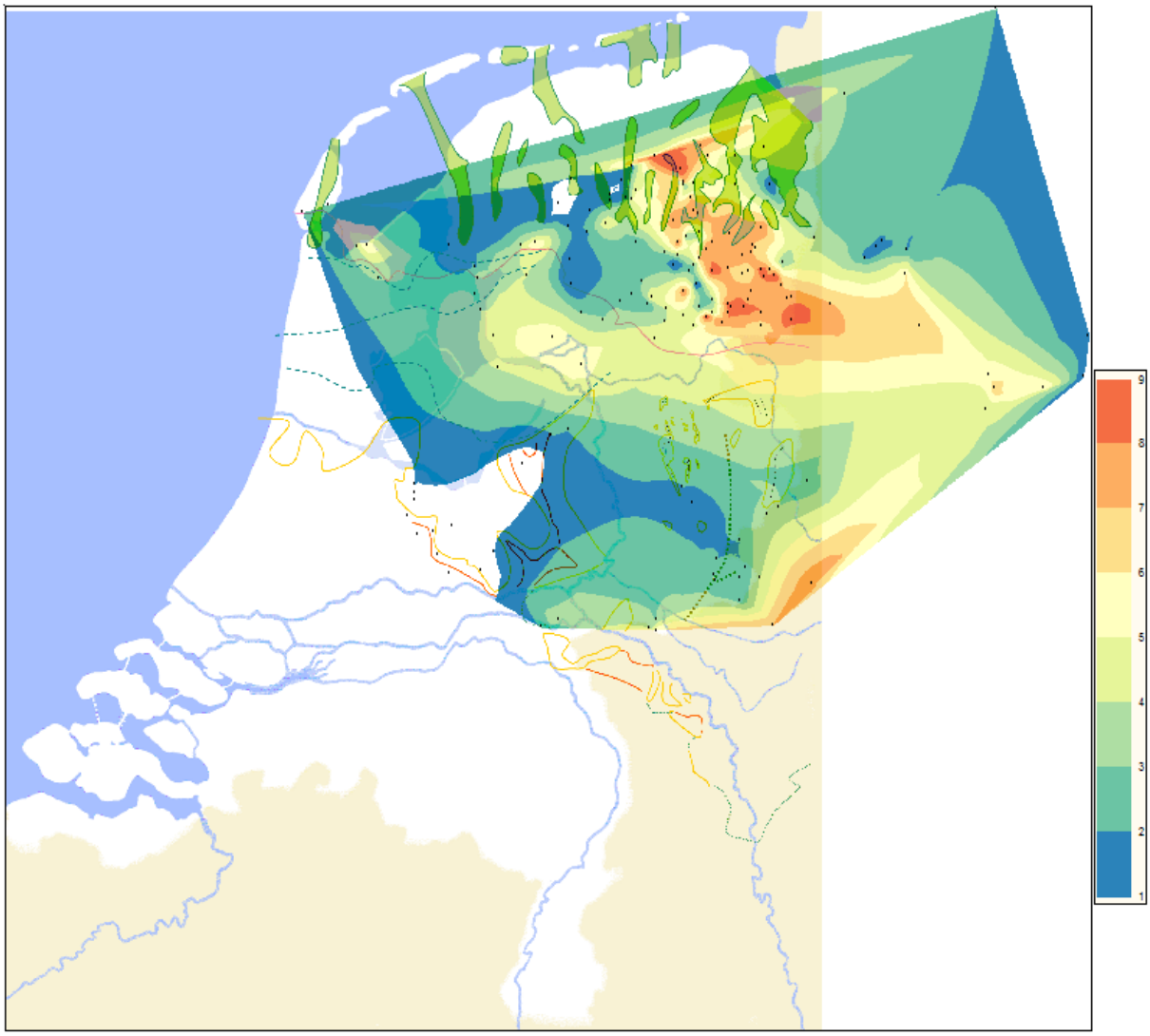
### *2.4.1 Hesemann tellingen*

Hesemann (*1931,1935,1936*) heeft een methode ontwikkeld om de herkomst van het in de glaciale afzettingen aangetroffen grind te herleiden. Hij onderscheidde vier regio's in Scandinavie van waar het grind door de gletschers is getransporteerd. Deze gebieden zijn aangegeven in figuur 6.

**Figuur 6: Herkomstgebieden glaciaal grind**

De grindtellingen worden per monster in groepen ingedeeld naar herkomstregio. Deze indeling wordt tot 100% herleid. Indien bijvoorbeeld uit regio II 60% komt, uit regio I 40% en uit de overige twee gebieden (vrijwel) niets is de verdeling regio I-II-III-IV te schrijven als 40-60-0-0. Hesemann ronde de getallen af op tientallen zodat de Hesemann notattie voor dit monster neerkomt op 4-6-0-0. Dit levert dus het Hesemann-getal 4600 op. Deze methode wordt in een flink deel van Noordwest Europa toegepast. De procentuele verdeling van de herkomstgebieden kan vervolgens gekarteerd worden . Dit levert de volgende figuren op. Kanttekening: omdat het relatieve waarden zijn ten opzichte van elkaar geven de figuren een algemene duiding van het herkomstgebied, geen exacte. Uit de figuren blijkt dat groep I en III bij elkaar lijken te horen. Verder lijkt het erop dat de groepen II en IV eveneens bij elkaar horen. Op basis van de Hesemann tellingen zou dan geconcludeerd kunnen worden dat de glaciale afzettingen minimaal twee verschillende herkomstgebieden hebben.

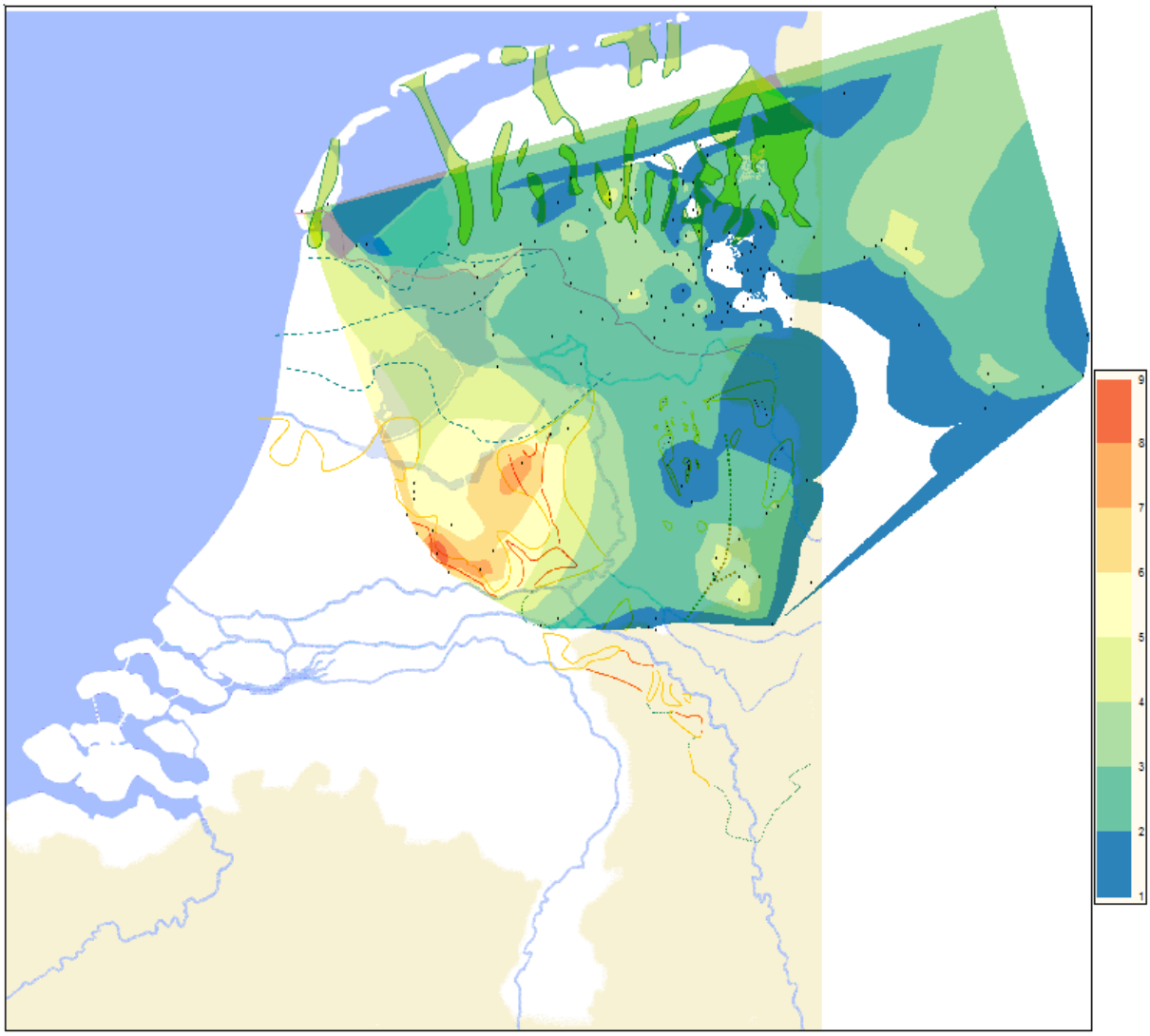
Hesemann klasse I




**Figuur 7: Voorkomen Hesemann groep-I**

Deze groep komt met name voor in de buurt van de MSGL's in Drenthe. Een tweede regio met verhoogde waarden is te vinden aan de zuidrand van het Drents keileemplateau. Op de Veluwe is deze Hesemann-groep nauwelijks vertegenwoordigd. Klasse I lijkt samen te vallen met de zuidelijke verbreiding van het gestuwde keileemplateau.

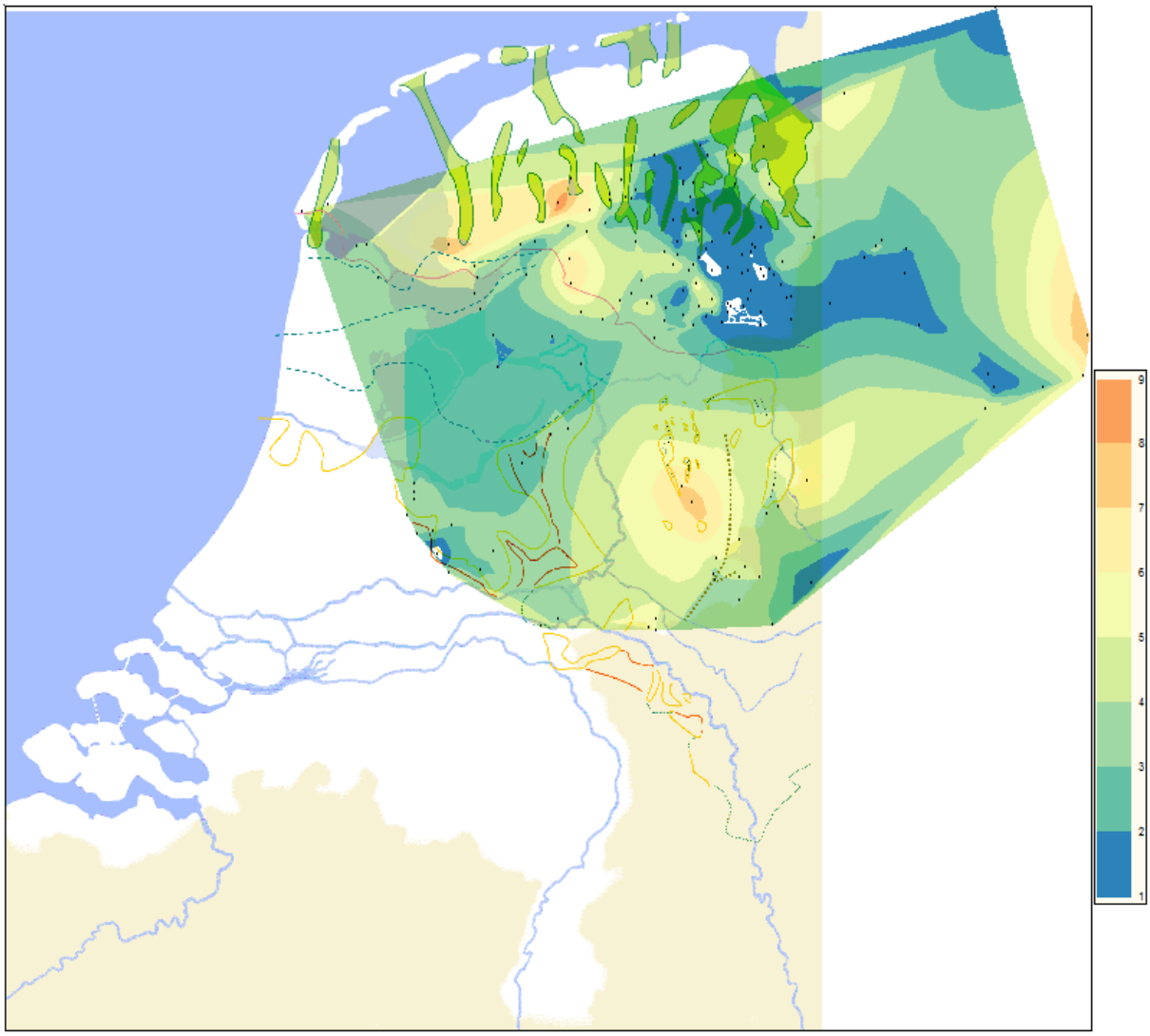
Hesemann klasse II




**Figuur 8: Voorkomen Hesemann groep-II**

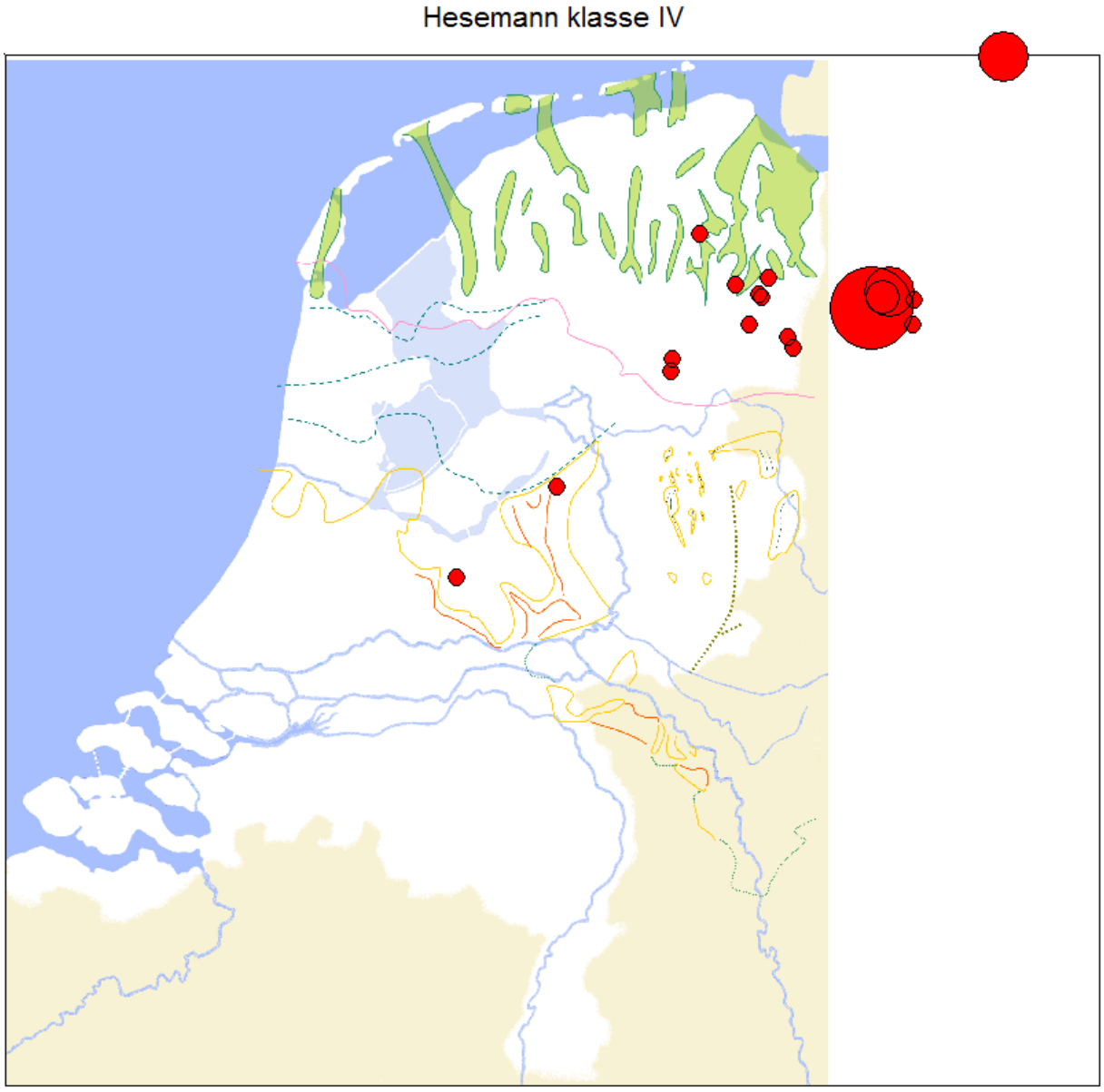
Deze groep komt, bijna gespiegeld aan figuur 7, met name voor op de Veluwe. Dit impliceert dat het ontstaan van de Veluwe en de MSGL's uit verschillende ijsstromen verklaard kan worden. NB: dit kan een eenvoudige chronologische kwestie zijn binnen dezelfde ijstijd. Opvallend is het feit dat herkomstgebied I ten noorden ligt van herkomstgebied II, dezelfde volgorde als de verspreiding van Hesemann I en Hesemann II in Nederland.

Hesemann klasse III



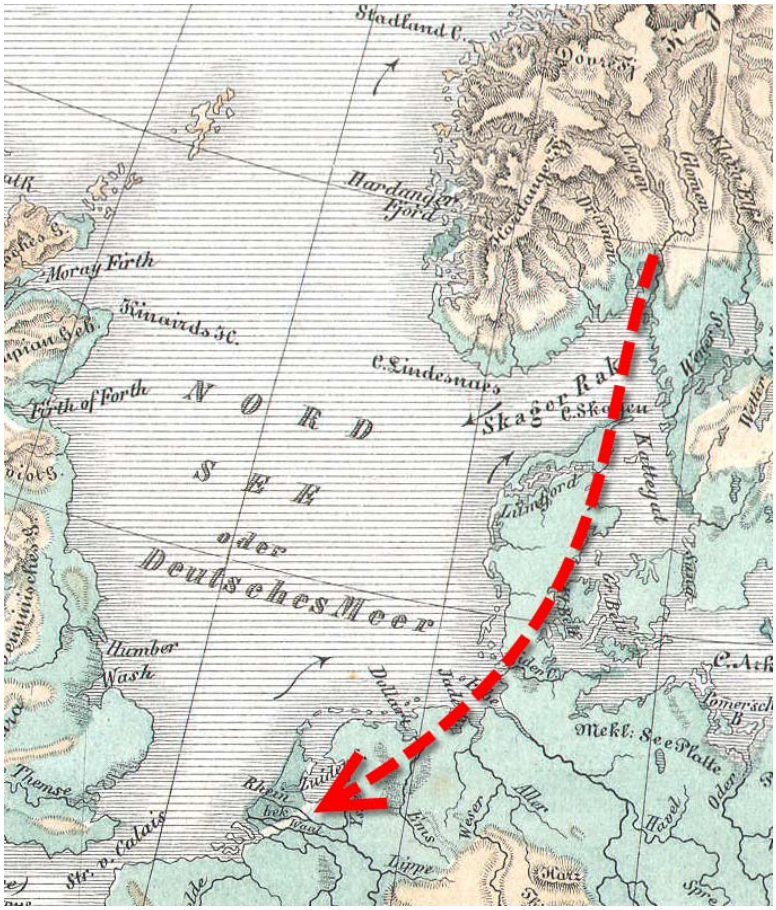

**Figuur 9: Voorkomen Hesemann groep-III**

Deze groep is met name vertegenwoordigd in Friesland, de kop van Overijssel en de Acherhoek. Ze is juist ondervertegenwoordigd onder de MSGL's . Als het gestelde bij klasse II juist is, dat de ligging van herkomstgebied I en II, van invloed is geweest op de volgorde van afzetting in Nederland zou op basis van dit inzicht de afzetting van herkomstgebied III ten zuiden/zuidwesten van voorkomen Hesemann II moeten liggen. Dit is niet het geval. Qua verspreiding komt Hesemann III over de gehele regio voor.




**Figuur 10: Voorkomen Hesemann groep-IV**

Deze groep komt alleen voor op een aantal locaties op een lijn van de Veluwe naar Noord-Duitsland. In de figuur is het voorkomen van gesteenten uit dit herkomstgebied met gehalten boven 5% van het totaal. Net over de grens komt lokaal een gehalte tot 50% voor. Mogelijk betreft dit een enkel stroomlijn.




**Figuur 11 Mogelijke aanvoer Hesemann klasse IV**

Een mogelijke verklaring voor het verschil in verspreiding kan liggen in het feit dat een grotere ijskap boven Scandinavie een meer zuidelijke ligging van de zogenaamde plucking zone veroorzaakt. Dat houdt in dat Hesemann II, III en IV zouden kunnen wijzen op een continentale gletscher van een groter formaat dan de ijskap van Hesemann I. Uitgaande van het feit dat tijdens transport van het debris (keileem, erratics etc.) menging plaatsvindt kan het voorkomen van een tweede plucking zone wijzen pop een tweede ijstijd met een kleinere continentale gletscher boven Scandinavie. De plucking zone komt dan meer naar het noorden te liggen, de Hesemann associatie geeft dan een meer noordelijke herkomst. Hierbij doorredenerend, als Hesemann I afkomstig is uit een jongere ijstijd (want de topografische (stratigrafische) ligging in Nederland is hoger), komt Hesemann I, II en IV uit een oudere. Op basis van het feit dat Hesemann I Saalien/MIS 6 van ouderdom is (het Weischselijs heeft Nederland niet bereikt) en het feit dat tussen beide continentale gletschers een periode van totale smelt moet hebben gelegen (anders zou je menging van materiaal krijgen) zou Hesemann II, II en IV uit MIS 8 dan wel MIS 10 moeten komen. Alleen, op basis van de Lisiecki curve is MIS 6 de koudste. De grotere ijskap van Hesemann II, III en IV wordt niet gerechtvaardigd (qua temperatuur) door de curve van MIS 8 en MIS 10. Mogelijk is er meer neerslag geweest (dan meer accumulatie) in MIS 8 en/of MIS 10. Een ander alternatief zou zijn dat Hesemann II, III, en IV uit MIS 12 (Elsterien) afkomstig zijn.

# 3 Aantal ijstijden

## 3.1 Algemeen

De geschiedenis van kennis van de ijstijden is er een van een steeds verder toenemend aantal verschillende ijstijden. Aan het begin van de 19e eeuw is o.a. door Agassiz het conncept van de “Grote IJstijd” ontwikkeld. Vanaf het eind van de 19e eeuw is een aantal van zes, in de Alpen gedefinieerde, ijstijden gehanteerd (Biber-Donau-Günz-Mindel-Riss-Würm) die in eerste instatie één op één met de Nederlandse ijstijdvakken werden gecorreleerd. Rond 1930 is het concept van de vergletschering van Nederland ingeburgerd waaraan vrijwel alle glaciale geomorfologische en bodemkundige verschijnselen zijn gelieerd. In de jaren 60 en 70 van de vorige eeuw is de kennis uitgebreid met minmaal één extra ijsbedekking (Elsterien) en een aantal vermoedelijke perioden met nabije gletschers. Tijdens één tijdvak (bijvoorbeeld het Saalien) zijn een aantal verschillende fases van ijsbedekking geconcludeerd.

## 3.2 Datering

De datering van een glaciaal kenmerk is moeizaam. Directe dateringen ontbreken veelal, hoewel Schokker (*2003*) een aantal ijstijden dateert in Zuid-Nederland met behulp van de OSL-methode. Voor het overige is de datering relatief ten opzichte van andere (ook niet altijd dateerbare) aardlagen. Een verdere complicatie is het feit dat in de buurlanden de naamgeveing van de verschillende glaciale tijdvakken verschilt van de Nederlandse en dat deze tijdvakken zelf veelal niet synchroon zijn met de Nederlandse. Hier is een verdere complicatie op dat bijvoorbeeld de Duitse onderzoekers in het verleden dateringen weer hebben opgehangen aan Nederlandse vermoedens. Uiteindelijk kan gesteld worden: niets is zeker.

## 3.3 Aantal ijstijden

Aan de hand van de theorie van sequence stratigraphy kan in de Nederlandse afzettingen een aantal tijdvakken worden onderscheiden met glaciale verschijnselen. In deze notitie wordt alleen gekeken naar de laatste 1 miljoen jaar. Dit overzicht is opgenomen in de onderstaande tabel:

| **Naam** | **MIS** | **Verschijnselen** |
|---|---|---|
| (Naamloos) | MIS 18 | Voorkomen scandinavisch grind |
| Don-glaciaal | MIS 16 | Voorkomen scandinavisch grind |
| Elsterien | MIS 12 | Vorstwiggen, cryoturbaties, glaciale bekkens, tunneldalen |
| Saalien | MIS 8 en of 10 | Stuwwallen, keileem, vorstwiggen, cryoturbaties |
| | MIS 6 | Stuwwallen, keileem, vorstwiggen, cryoturbaties |
| Weichselien | MIS 2 en of 4 | Vorstwiggen, cryoturbaties |

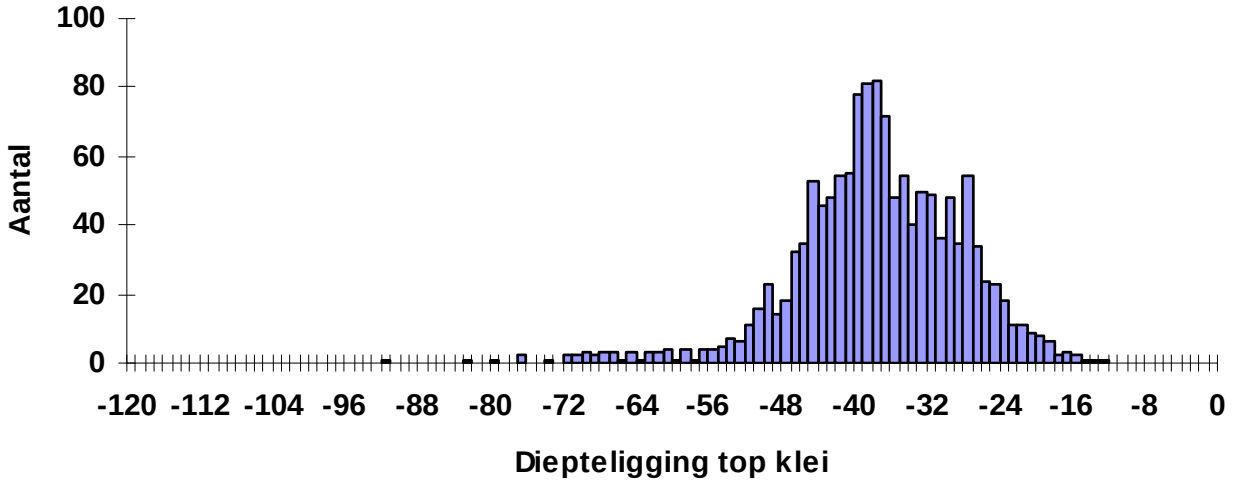
# 4 Discussie

## 4.1 Algemeen

Op basis van de bevindingen in het artikel over de afzettingen in het glaciale Bekken van Amsterdam (elders op deze website) ligt ten noorden van de grote rivieren een lithologische grens, hier gedefinieerd als de bovenzijde van een kleilaag) op -38 [m+NAP]. Uit figuur 11, de diepteligging van de top van de kleilaag komt naar voren ook in de rest van Noord-Nederland -38 [m+NAP] een grens vertegenwoordigt. Uit figuur 4 was al duidelijk geworden dat de bekkens en de bijbehorende stuwwallen te relateren zijn aan deze -38 grens. Dat wil in mijn opinie zeggen dat de gletschers die de stuwwallen in Midden-Nederland hebben opgestuwd ouder zijn dan de keileem in Noord-Nederland. De andere ontstaanstijd is mogelijk eveneens te halen uit de verschillende herkomstgebieden van het glaciale grind (de Hesemann tellingen). Gezien het feit dat de keileem (indicatief voor een bevroren onderzijde van de glerscher) jonger is dan de Gelderse stuwwallen (indicatief voor een niet bevroren basis van de gletscher) en de MSGL's (indicatief voor een niet bevroren onderzijde van de gletscher) zijn ouder dan de keileem (die gestuwd is na de vorming van de MSGL's ) is hier mogelijk sprake van de volgende fases in vorming van de glaciale afzettingen. De niet bevroren onderzijde van de gletscher is tentatief te correleren met een warmere periode

| | | |
|---|---|---|
| Fase 1.1 | Vorming Puinwaaiers | Grote uitbreiding landijs, bevroren onderzijde, stagnerende uitbreiding van de gletschers, naast de gletschers ontstaan puinwaaiers |
| Fase 1.2 | Vorming Bekkens en Stuwwallen | Grootste uitbreiding van het landijs, puinwaaiers worden opgetuwd samen met (nog bevroren) delen van de originele ondergrond, Diepste bekkens mogelijk gevormd door uitspoeling onder een waterval aan de rand van het landijs. Mogelijk lithologische grens op -38 [m+NAP] |
| Fase 1.3 | Terugtrekking van de gletschers met periodieke stagnatie | Vorming van snoeren van kettle holes met hun top op -38 [m+NAP] |
| Fase 2.1 | Vorming van keileem | Uitbreiding van het landijs met een indicatie voor een bevroren onderzijde |
| Fase 2.2 | Vorming van MSGL's | Zeer snelle uitbreiding van (een deel van) de gletscher tussen twee niet uitbreidende delen in. Indicatie voor een niet bevroren onderzijde, Ander herkomstgebied dan de grinden in de Gelderse stuwwallen |
| Fase 2.3 | Vorming van gestuwde delen van de keileem | Mogelijke indicatie voor een niet bevroren onderzijde van de gletscher, verschillende stagnatie lijnen |

Uit deze chronologie komt duidelijk naar voren dat met minimaal twee verschillende perioden van landijs in Nederland gerekend moet worden, mede op basis van de twee verschillende Hesemann klassen. Dit zou inpliceren dat, als de keileem gevormd is in MIS 6 (eind Saalien), er een mogelijkheid is dat de oudere periode te relateren is aan MIS 8 of ouder. Uitgangspunt is het feit dat de vorming van de Bekkens en de Stuwwallen te correleren is met de koudste periode (het landijs komt immers het meest zuidelijk). Een oplossing is dat de vorming van de Stuwwallen in een koude periode voor MIS 6 (maar jonger dan MIS 13 op basis van de pollen, zie paragraaf 2.3.2.2) kunnen zijn gevormd. Dit zou kunnen impliceren dat de Bekkens en Stuwwallen dateren uit MIS 10 of MIS 12. MIS 8 is, op basis van de curve van Lisiecki, mogelijk niet koud genoeg geweest voor een zo zuidelijke uitbreiding van het landijs.




**Figuur 11 Diepteligging top klei**

## 4.2 Correlatie met de Tunneldalen

Al eerder is opgemerkt dat de strekking van de tunneldalen, die in het Burval project voor de Nederlandse situatie gedateerd zijn op Elsterien, MIS 12, een mogelijke connectie hebben met de strekking van de Bekkens en de Stuwwallen. Als hier een connectie zou bestaan is er mogelijk een relatie tussen de diepteligging van de bovenzijde Tunneldalen in Noord Nederland en de lithologische grens op -38. Nu is de top van de tunneldalen moeizaam te onderscheiden (TNO), wel is het een gegeven dat de Formatie van Urk lokaal boven de tunneldalen is afgezet (in de oudere RGD beschrijvingen: de Urk-II afzettingen). Deze liggen in het westen van Friesland, in de buurt van de tunneldalen, tussen de -35 en de -40 [m+NAP]. Op basis van dit indirecte bewijs zou eveneens geconcludeerd kunnen worden dat de Tunneldalen en de Stuwwallen/Bekkens op basis van diepteligging “bij elkaar” zouden kunnen horen. NB: de top en de onderzijde van de tunneldalen komen meer naar het oosten minder diep te liggen. In paragraaf 2.3.1.4., wordt beschreven dat de OCR kleien die gerelateerd zouden kunnen worden aan het Elsterien op -31 tot -36 liggen.

# 5 Conclusie

Op basis van gegevens uit o.a. boringen, grindtellingen en sonderingen komt een beeld naar voren dat Nederland minimaal twee maal door het landijs bedekt is geweest. De stuwwallen zijn afgezet in een eerdere ijsbedekking dan de keileem in Noord-Nederland. Er is een mogelijkheid dat de stuwwallen in Gelderland zijn gevormd in het Saalien (MIS 6, 8, 10), maar een net zo grote mogelijkheid dat ze zijn gevormd in het Elsterien. Voor dat laatste pleit de opeenvolging van lagen in het Bekken van Amsterdam (zie het artikel hierover op deze website) en de absolute diepteligging van de kleiige afzettingen.

# 6 Referenties


| | | | |
|---|---|---|---|
| Burval Working Group | 2006 | Groundwater Resources in Buried Valleys, A Challenge for Geosciences | Burval, Hannover, www.burval.org |
| Doppert, J.W.Chr. et al. | 1975 | Formaties van het Kwartair en Boven-Tertiair in Nederland. | Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. RGD |
| Eyles, N., Miall, A.D. | 1984 | Glacial facies. | In:Walker, R.G. (Ed.), Facies Models. Geoscience Canada Reprint Series, no. 1. Geological Association of Canada, pp. 15–38. |
| Hesemann, J. | 1931 | Quantitative Geschiebebestimmungen im norddeutschen Diluvium | Jb. preuss. geol. L-anst. N.F 51, 714-758. |
| Hesemann, J. | 1935 | Ergebnisse und Aussichten einiger Methoden zur Feststellung der Verteilung kristalliner Leitgeschiebe. | Jb. preuss. geol. L-anst. 55, 1-27; |
| Hesemann, J. | 1936 | Zur Petrographie einiger nordischer kristalliner Leitgeschiebe. | Abh. preuss. geol. L-anst. N.F. 173, 1-167. |
| Laban, C | 1995 | The Pleistocene glaciation in the Dutch sector of the North-Sea | Thesis, Amsterdam |
| Lisiecki, L. E., and M. E. Raymo | 2005 | A Plio-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic d18O records | Paleoceanography, doi:10.1029/2004PA001071. |
| Schokker, J | 2003 | Patterns and processes in a Pleistocene fluvio-aeolian environment. Roer Valley Graben, south-eastern Netherlands'. | Thesis, VU Amsterdam |
| Zandstra, J.G. | 1975 | Sediment-petrological investigations of a boring and an excavation at Peelo (Northern Netherlands) | Meded. RGD, N.S. 26, no.1 pp 1-15 |

# 7 Inhoudsopgave


1 Inleiding 1
2 Glaciale verschijnselen 3
2.1 Inleiding 3
2.2 Lithologie 3
2.3 Indeling naar geomorfologie 4
2.3.1 Subglaciaal 4
2.3.2 Proglaciaal 10
2.4 Overige kenmerken 11
2.4.1 Hesemann tellingen 11
3 Aantal ijstijden 17
3.1 Algemeen 17
3.2 Datering 17
3.3 Aantal ijstijden 18
4 Discussie 19
4.1 Algemeen 19
4.2 Correlatie met de Tunneldalen 20
5 Conclusie 21
6 Referenties 22
7 Inhoudsopgave 23