

GEOLOGIE EN GEOMORFOLOGIE
VAN
STUWWAL, GORDELDEKZANDGEBIED EN GELDERSE VALLEI
TEN ZUIDEN VAN AMERSFOORT

R. M. WESTERINK

1981

DOCTORAALSCRIPTIE
FYSISCHE GEOGRAFIE
UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM

INHOUDSOPGAVE:

1. INLEIDING.....	4
2. LITERATUUROVERZICHT.....	4
A. INLEIDING.....	4
B. SAALIEN (238.000 – 126.000 BP).....	5
C. EEMIEN (126.000 – 116.000 BP).....	5
D. WEICHSELIEN (116.000 – 11.650 BP).....	5
1. Het Vroeg-Glaciaal en Pleniglaciaal tot 15.500 BP.....	5
2. Boven Pleniglaciaal (periode 15.500-14.650 BP).....	6
3. Laat-Glaciaal (14.650-11.650 BP).....	7
E. HOLOCEEN (11.650 BP - heden).....	9
3. GEOMORFOLOGIE.....	10
A. WERKWIJZE.....	10
B. BESPREKING VAN DE VORMEENHEDEN.....	11
1. Stuwwal reliëf.....	11
2. Gordeldekzand reliëf.....	12
3. Stuifzand reliëf.....	13
4. Gelderse Vallei reliëf.....	14
4. GEOLOGIE.....	14
A. INLEIDING.....	14
B. DE BORINGEN.....	15
1. Werkmethode.....	15
2. Resultaten van de boringen.....	15
C. HET LABORATORIUM ONDERZOEK.....	19
1. De korrelgrootte bepalingen.....	19
2. De grindtellingen.....	20
3. Het matterings-onderzoek.....	21
4. De pollenanalyse.....	24
D. GEOLOGISCHE DEELKAARTEN EN DWARSPROFIELEN.....	27
5. DE GENESE VAN HET ONDERZOCHE GEBIED.....	29
A. INLEIDING.....	29
B. HET VROEG-GLACIAAL EN PLENIGLACIAAL TOT 15.500 BP.....	29
C. HET BOVEN-PLENIGLACIAAL VAN 15.500 TOT 14.650.....	30
D. HET BØLLING INTERSTADIAAL (14.650-14.000 BP).....	31
E. HET OUDE DRYAS STADIAAL (14.000-13.900 BP).....	31
F. HET ALLERØD INTERSTADIAAL (13.900-12.850 BP).....	31
G. HET JONGE DRYAS STADIAAL (12.850-11.650 BP).....	31
H. HERKOMST DEKZANDEN.....	32
I. HET HOLOCEEN (11.650 BP – heden).....	33
6. SAMENVATTING.....	34
LITERATUUR.....	36

BIJLAGEN:

1. Topografische Kaart van Nederland, Blad 32D, schaal 1:25.000
2. Overzichts-schema literatuur.
3. Hoogtekaart schaal 1:25.000
4. Geomorfologische Kaart schaal 1:25.000
5. Legenda Geomorfologische Kaart.
6. Overzichts-schema geomorfologische eenheden.
7. Ligging deelgebieden en dwarsdoorsneden.
8. Ligging van de boringen waar de monsters voor het laboratorium-onderzoek genomen zijn.
9. Korrelgrootte diagram boring 214.
10. Korrelgrootte diagram boring 61.
11. Korrelgrootte diagrammen boringen 57, 60, 72, 290.
12. Korrelgrootte diagram boring 117.
13. Cumulatieve curve matterings-onderzoek.
14. Matterings-onderzoek: boringen 117, 214 en 61.
15. Pollendiagram 85-Ooievaarshorst.
16. Pollendiagram 21-Vosheuvel en 87-Heetveld.
17. Pollendiagram-160 Hazenwater, 164-Groot Loevezijn en 178-Lockhorst.
18. Pollendiagram-220 Waswater.
19. Verbreiding van de Beuningen Grindlaag/Niveofluviatiel zand en de daarmee gereconstrueerde hoogtelijnen van het puinwaaier-oppervlak onder het gordeldekzand; Ligging van de Pleniglaciale hoofdgeul.
20. Hoogteligging Allerød afzettingen.
21. Dikte van het dekzandpakket boven de Beuningen Grindlaag.
22. Dwarsprofielen
23. Schetsen genese gordeldekzandgebied.

De bijlagen bij het rapport zijn te downloaden via deze link:

<https://drive.google.com/drive/folders/0B7PV7wbEtJiuakpidXVKcDJXeVU?resourcekey=0-7fFTZneBha3D4KVV4SDpOw&usp=sharing>

Bij het RCE in Amersfoort (Jos Bazelmans) zijn verder beschikbaar:

- Print van het rapport + bijlagen.

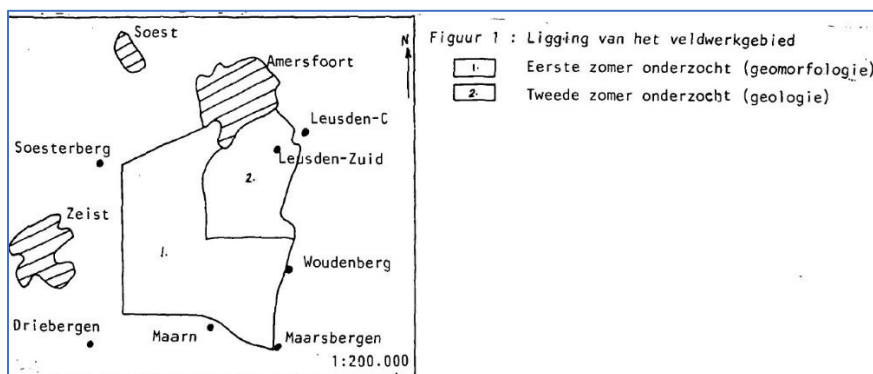
- De bijbehorende ruim 200 zandmonsters en 30 pollenplaatjes.

- Boorpuntenkaart + veldboekjes met boorbeschrijvingen.

Bij verwijzingen graag een bronvermelding. Verder kan de scriptie doorgestuurd worden naar andere geïnteresseerden. Nadere inlichtingen: mmwesterink57@gmail.com

1. INLEIDING

In het kader van de doctoraalstudie Fysische Geografie richting 2 (Geomorfologie van Sedimentaire en Periglaciale gebieden) is gedurende de zomers 1979 en 1980 veldwerk verricht in een ongeveer 40 km² groot gebied ten zuiden van Amersfoort (zie figuur 1).



Het veldwerk werd begeleid door Prof. G.C. Maarleveld. In de eerste zomer vond er een geomorfologische kartering van het gebied plaats waarbij gewerkt is volgens de methode van de Geomorfologische Kaart van Nederland (1:50.000), aangepast aan een grotere kaartschaal (1:25.000).

In de tweede zomer is het noordelijke deel van het gordeldekzandgebied en het daarop aansluitende deel van de Gelderse Vallei d.m.v. 260 boringen geologisch onderzocht om gegevens te kunnen verkrijgen waarmee het betreffende gebied als geheel en specifieke terreinvormen in het bijzonder genetisch verklaard konden worden.

Na deze tweede zomer is er in de herfst en winter in het laboratorium een 4-tal onderzoeken verricht:

1. Van een 20-tal monsters zijn korrelgroottebepalingen gedaan.
2. Van 210 monsters is voor de fractie 210-300 μm het %-transparante korrels bepaald om daarmee een scheiding te kunnen maken tussen niveo-fluviaal (fluvioperiglaciaal) zand enerzijds en dekzand anderzijds.
3. Een 8-tal veenmonsters zijn palynologisch onderzocht om de ouderdom van de betreffende veenlagen en daarmee van de bovenliggende dekzandpakketten te kunnen vaststellen.
4. Van een 5-tal monsters zijn grindtellingen gedaan.

In hoofdstuk 2 volgt een overzicht van de literatuur die betrekking heeft op het veldwerkgebied.

In hoofdstuk 3 wordt de geomorfologie van het veldwerkgebied besproken waarbij de nadruk ligt op die informatie die niet in de kaart of het overzichtsschema van de terreinvormen kon worden weergegeven.

In hoofdstuk 4 (geologie) worden de resultaten van de boringen en de 4 hierboven genoemde onderzoeken besproken.

De in de hoofdstukken 2 t/m 4 besproken feiten en inzichten leiden vervolgens tot een beschrijving van de genese van het veldwerkgebied (hoofdstuk 5).

Tenslotte volgt in hoofdstuk 6 een samenvatting.

2. LITERATUUROVERZICHT.

A. INLEIDING

Dit literatuuroverzicht wordt beperkt gehouden tot die delen van de geologische geschiedenis die van belang geweest zijn voor de vormen en afzettingen die in het veldwerkgebied aan of nabij de oppervlakte voorkomen.

Bijlage 2 is een samenvatting van de belangrijkste literatuurgegevens voor zover die betrekking hebben op het veldwerkgebied. De Geochronologische en Lithostratigrafische indeling dateert uit 1981 toen deze scriptie werd geschreven. In de onderstaande tekst wordt de indeling per 2021 weergegeven.

B. SAALIEN (238.000 – 126.000 BP)

In deze periode ontstonden de grote vormen van het veldwerkgebied. In de huidige Gelderse Vallei lag een ijslob die de préglaciale afzettingen (vnml. grindhoudende zanden van de Formaties van Urk en Sterksel) langs de randen opstuwde tot stuwwallen: de Utrechtse Heuvelrug, de stuwwal van Putten en de stuwwal van Ede-Wageningen. Deze stuwwallen, zijn maximaal tot 69 m +NAP hoog en worden gekenmerkt door een vlakke bovenzijde (stuwwalplateau). De genese hiervan is nog onduidelijk (afschuring door het ijs? fluvioglaciale processen?). Wel zijn aan de bovenzijde van de groeve Kwintelooyen (bij Veenendaal) in geulachtige vormen fluvioglaciale pakketten ontsloten. In een groeve in de stuwwal nabij Lunteren zijn tot op grote diepte (20 m) onder het stuwwalplateau eveneens ongestoorde fluvioglaciale pakketten ontsloten.

Fluvioglaciale afzettingen en vormen:

Aan de westzijde van de Utrechtse Heuvelrug heeft het smeltwater van het gletsjerijs een grote sandr (spoelzandvlakte) gevormd. Deze sandr begint op ongeveer 20 m +NAP en helt geleidelijk in westelijke richting. De sandr is opgebouwd uit grindrijke zanden die duidelijk een min of meer horizontale gelaagdheid vertonen (dit in tegenstelling tot de gestuwde afzettingen).

Het materiaal van de sandr is enerzijds afkomstig van het gletsjerijs zelf (bewijs: noordelijke componenten) en anderzijds door fluvioglaciale erosie uit de stuwwal opgenomen.

Vermoedelijk heeft het ijs-smeltwater door een aantal lage plekken van de stuwwal gestroomd: de zgn. doorlaten. In Berendsen (1973) worden in de Utrechtse Heuvelrug een 6-tal doorlaten aangegeven. 5 daarvan liggen op ± 27 m +NAP, de zesde op ± 7 m +NAP (de Darthuizerpoort).

Bij het terugtrekken van het gletsjerijs is er op de bodem van de Gelderse Vallei een enkele tientallen meters dik fluvioglaciaal pakket afgezet (Zagwijn 1961).

De afzettingen behoren tot de Formatie van Drente.

C. EEMIEN (126.000 – 116.000 BP)

In het Eemien drong de zee als gevolg van de postglaciale zeespiegelrijzing vanuit het noorden de Gelderse Vallei binnen tot ongeveer de lijn Woudenberg-Veenendaal. Afzettingen bestaande uit veen, mariene klei en -zand worden tussen 8 en 20 m beneden NAP aangetroffen in de ondergrond van de Gelderse Vallei (Zagwijn 1961). Op de stuwwal vond alleen bodemvorming plaats.

D. WEICHSELIEN (116.000 – 11.650 BP)

We kunnen hierin 2 hoofdperioden onderscheiden (Kolstrup 1980):

1. De periode tot 15.500 BP waarin afspoeling, gelifluctie en sedimentatie van niveofluviatiele zanden de overheersende processen waren.
2. De periode na 15.500 BP waarin vnml. dekzanden zijn afgezet.

De afzettingen uit deze perioden worden tot de Formatie van Bortel (voorheen Twente) gerekend.

1. Het Vroeg-Glaciaal en Pleniglaciaal tot 15.500 BP

Gedurende een groot deel van deze periode heerste er een koud klimaat waarbij er weinig of geen vegetatie aanwezig was. De ondergrond was permanent bevroren zodat in voorjaar en zomer, wanneer de bovengrond ontdooide, er sterke afspoeling en gelifluctie kon optreden. Als gevolg hiervan werden op de stuwwal-hellingen door sneeuwsmeltwater dalen gevormd die nu nog in het terrein duidelijk herkenbaar zijn, hoewel ze momenteel niet meer waterdragend zijn (zgn. droge dalen).

Deze dalen hebben veelal een U- of V-vormige dwarsdoorsnede en beginnen meestal met ondiepe inwellingen (dellen). Stroomafwaarts komt er in grotere dalen vaak een vlakke dalbodem voor (v.d. Hammen 1951, Maarleveld 1949, Theunissen 1961). Het weggevoerde materiaal (vnml. zand en wat grind) werd aan de voet van de stuwwal in de vorm van grote puinwaaiers afgezet.

Hierbij werden glaciële tongbekkens zoals de Dinkel Vallei en de Gelderse Vallei opgevuld met 5 tot 10 m dikke, overwegend niveofluviële afzettingen (v.d. Hammen & Wijmstra, 1971). In het IJssel-dal komen diktes voor tot 20 m (Edelman & Maarleveld, 1958).

Deze niveofluviële afzettingen worden van eolische zanden onderscheiden door de aanwezigheid van fluviële gelaagdheid. Bovendien is het materiaal in het algemeen minder goed gesorteerd, grover, wat scherper en wordt het gekenmerkt door een groter %-transparante korrels. Verder is er bijna altijd wat verspoeld organisch materiaal en wat grind in aanwezig (v.d. Hammen & Wijmstra, 1971).

2. Boven Pleniglaciaal (periode 15.500-14.650 BP)

Ouder Dekzand I:

Dit tijdvak begint met het afzetten van een laag dekzand, het Ouder Dekzand I, veelal gekenmerkt door een afwisseling van laagjes zand met meer lemige laagjes. Vermoedelijk was de permafrost tijdelijk verdwenen zodat er uitdroging en winderosie kon optreden. De dikte bedraagt meestal niet meer dan 1 m (v.d. Hammen & Wijmstra, 1971)

Beuningen Complex:

Boven dit Ouder Dekzand I wordt het Beuningen Complex aangetroffen. Hierin worden twee delen onderscheiden: een onderste niveo-fluviële deel en een bovenste eolisch deel, de Beuningen Grindlaag (Kolstrup 1980):

- De niveofluviële afzettingen van het Beuningen Complex werden onder dezelfde omstandigheden afgezet als in het Midden en Onder Pleniglaciaal: extreme koude, diepe permafrost en praktisch geen vegetatie (koude woestijn). Resultaat: verdergaande erosie op de stuwwallen en verdere opvulling van de glaciële tongbekkens.
- De Beuningen Grindlaag: Het bovenste deel van het Beuningen Complex bestaat uit een grindrijke laag die praktisch overal in Nederland wordt aangetroffen. De dikte varieert van enkele centimeters (één steen dik) tot enkele decimeters. Deze grindrijke laag geeft vermoedelijk het oppervlak van een gefossiliseerd arctisch landschap aan en werd gevormd onder een extreem koud klimaat waarbij er een sterke windwerking moet hebben plaatsgevonden, getuige het grote aantal windkanthers en stenen met woestijnlak in deze laag. Bovendien zijn in profielen veelvuldig vorstwiggen in deze laag waar te nemen (v.d. Hammen & Wijmstra, 1971).

Kolstrup (1980) ziet deze grindlaag als een residu wat overgebleven is na sterke winderosie van een pakket grindhoudende niveofluviële afzettingen: de fijne componenten (vnl. zand) werden weggeblazen, het grove materiaal (grind en stenen) bleef achter als een keienvloer. Uit haar onderzoek bleek dat ten tijde van de vorming van het Beuningen Complex een overgang moet hebben plaatsgevonden van een relatief koud en vochtig naar een relatief koud en droog klimaat.

Theunissen (1961) die een aantal dalen van de zuidelijke Veluwe in detail onderzocht heeft, vindt praktisch altijd in deze dalen onder een 1-5 m dikke dal opvulling (bestaande uit: dekzand en solifuctiemateriaal) een zgn. basisgrindlaag van 10 tot 50 cm dik, die vaak zeer moeilijk te doorboren is. Daaronder wordt dan steeds het gestuwde préglaciële materiaal aangetroffen. Deze basisgrindlaag komt over de gehele lengte van de dalen voor en is (o.a. bij Rheden) aan de oppervlakte van de puinwaaiers te vervolgen. Waarschijnlijk betreft het hier de Beuningen Grindlaag.

In grote delen van de Dinkel Vallei en in oostelijk Nederland ligt het Beuningen Complex aan of dichtbij de oppervlakte. In v.d. Hammen & Wijmstra (1971) wordt het Beuningen Complex steeds onderverdeeld in het "Beuningen Gravelbed" en de "Beuningen Soil" (die in veel profielen samengenomen wordt met het Ouder Dekzand I). Mogelijk is a.g.v. sterke homogenisatie (kryoturbitatie etc.) tijdens de vorming van de arctische bodem de oorspronkelijke niveofluviële gelaagdheid verdwenen en is tevens het onderscheid met het Ouder Dekzand I onduidelijk geworden. Maar ook hier wordt altijd op geringe diepte (meestal minder dan 50 cm) onder de Beuningen Grindlaag niveo-fluviële materiaal aangetroffen,

zodat we gerust mogen stellen dat de Beuningen Grindlaag de grens markeert van de niveofluviatiele afzettingen die er altijd onder worden aangetroffen en de dekzanden (Ouder Dekzand II, Jonger Dekzand I & II) die er altijd bovenop liggen.

Ouder Dekzand II:

Boven het Beuningen Complex wordt meestal een laag dekzand aangetroffen die gekenmerkt wordt door een horizontale gelaagdheid met een afwisseling van laagjes zand met meer lemige zandlaagjes. De dikte van het Ouder Dekzand II bedraagt veelal ongeveer 1 m en komt in geheel Nederland voor, en sluit in het zuiden van Nederland aan op het löss-gebied van Zuid Limburg. Waar het Ouder Dekzand II aan de oppervlakte ligt is er in het algemeen van weinig reliëf sprake: een zeer zwak golvend landschap. Dit Ouder Dekzand II dat onder een koud en droog klimaat moet zijn afgezet vormt de afsluiting van het Boven Pleniglaciaal en wordt ook wel aangeduid met Oudste Dryas. Volgens Crommelin (1965) die een onderzoek heeft verricht naar de zware mineralen samenstelling van de Nederlandse dekzanden zijn deze van lokale herkomst. Hij toont een duidelijke relatie met de onderliggende sedimenten aan.

3. Laat-Glaciaal (14.650-11.650 BP)

Inleiding:

Het Laat-Glaciaal vormt de overgang tussen het extreem koude deel van het Pleniglaciaal enerzijds en het warme Holoceen anderzijds. Gedurende de relatief warme interstadialen (Bølling en Allerød) was Nederland grotendeels met bossen bedekt en vond in de lagere terreindelen veenvorming plaats. Gedurende de relatief koude Stadiaal (Oude & Jonge Dryas) was er een schaarse vegetatie waarbij er op grote schaal winderosie optrad en de Jongere Dekzanden werden afgezet.

Het Bølling Interstediaal (14.650 - 14.000 BP):

Landschap: op de hogere delen bossen (vnl. berken), in de lagere vochtige delen moerassen met veenvorming. In de Dinkel Vallei worden slechts sporadisch afzettingen uit deze periode aangetroffen, het betreft dan een dunne lemige licht gekleurde laag (v.d. Hammen & Wijmstra, 1971). Ook volgens Crommelin (1965) is de Bølling-horizont zelden goed waar te nemen in dekzandpakketten. Wel is pollenanalytisch het Bølling Interstediaal goed aan te tonen op die plaatsen waar sedert het begin van het Laat-Glaciaal continue veenvorming heeft plaatsgevonden (pingoruïnes, niveofluviatiele geulen in de Dinkel Vallei). Mogelijk is op hogere terreindelen een groot deel van het Bølling-oppervlak verdwenen a.g.v. winderosie in de daaropvolgende Stadiaal.

Het Oude Dryas Stadiaal (14.000 - 13.900 BP):

Na het Bølling Interstediaal trad er een klimaat verslechtering op wat leidde tot een sub-arctisch open parklandschap waarin op grote schaal winderosie kon plaatsvinden en het Jonger Dekzand I werd afgezet. Kenmerken:

- goed gesorteerd zand met een mediaan tussen 105 en 210 μm .
- een veel geringer leemgehalte (% kleiner dan 50 μm) dan het Ouder Dekzand II.
- afwezigheid van werkelijk scherphoekige korrels.
- een hoog % gematteerde korrels.
- minder duidelijk horizontaal gelaagd.
- er komen vaak grindsnoertjes in voor bestaande uit afgerond grind (tot 1 cm groot).

In grote delen van de Gelderse Vallei ligt dit Jonger Dekzand I aan de oppervlakte en geeft aldaar het landschap een typisch zwak golvend karakter, waarbij de hoogteverschillen zelden de 1.50 m overschrijden en 80% van de hellingen kleiner zijn dan 1°. De ruggen vormen onderdelen van paraboolduinen waarvan de oriëntatie wijst op een overheersende WNW-windrichting in het Oude Dryas Stadiaal (Maarleveld en v.d. Schans 1961).

Deze verstuingen konden plaatsvinden op de hogere, drogere terreindelen die waren gelegen tussen de beekdalen waarin vermoedelijk wel (bos)vegetatie aanwezig was. Op een groot aantal plaatsen liep het stuivende zand vast in de vegetatie aan de rand van de beekdalen waarbij de typische "Geulrand-dekzandruggen" gevormd werden. Deze smalle en langgerekte ruggen die evenwijdig aan de beekdalen voorkomen zijn wat hoger (tot 2.5 m) en wat steiler dan de overige dekzandruggen in de Gelderse Vallei (Ten Cate 1969). Volgens Crommelin (1965) lijken het Jonger Dekzand I en het Ouder Dekzand II mineralogisch zeer sterk op elkaar wat tot de conclusie mag

leiden dat het Jonger Dekzand I in ieder geval voor een deel bestaat uit lokaal omgewerkt Ouder Dekzand II.

Het Allerød Interstediaal (13.900 - 12.850 BP):

Op de hogere delen van het landschap ontwikkelden zich eerst vnl. berken bossen, die later overgingen in dennen-berken bossen waarbij bodemvorming optrad en de karakteristieke Laag van Usselo gevormd werd (Usselo Soil). In de lagere delen van het landschap vond op grote schaal veen- en gyttja-vorming plaats (v.d. Hammen 1951). Praktisch overal in Pleistoceen-Nederland worden afzettingen uit deze periode aangetroffen, hetzij onder een laag Jonger Dekzand II, hetzij als onderdeel van dikke veenpakketten. Van der Hammen (1951) trof in Usselo in een ontsluiting over korte afstand een overgang aan van de Laag van Usselo naar lager gelegen Allerød-veen. Ook onderzocht hij pollenanalytisch een monster uit een veenlaag die nabij Den Treek (ZW van Leusden) aanwezig was onder een enkele meters dik dekzandpakket. De ouderdom bleek Allerød te zijn en de afzetting van het dekzand moet vanaf het begin van de Jonge Dryas hebben plaatsgevonden.

In de Dinkel Vallei wordt vaak van hoog naar laag de volgende catena aangetroffen:

1. De Laag van Usselo, bestaande uit een laag lemig bleekgrijs zand, meestal 10-15 cm dik, die vaak typische vingervormige uitstulpingen vertoont en bijna altijd wat stukjes houtskool bevat.
2. Een typische gebleekte laag met hydromorfe kenmerken en fragipan karakteristieken: veel ijzerkonkreties en veel oranjebruine vlekken, vlammen of banden. Verder wordt deze laag gekenmerkt door zijn grote compactie.
3. Veen dat soms resten van Pinus bevat (naalden, stukjes houtskool), de dikte bedraagt vaak niet meer dan 20 cm.

Het Jonge Dryas Stadiaal (12.850 - 11.650 BP):

Na de relatief warme Allerød-periode trad er een klimaat verslechtering op, gepaard gaande met het grotendeels verdwijnen van de dennen-berken bossen waardoor er wederom winderosie en dekzand sedimentatie plaats kon vinden. Ditmaal beperkte dit zich tot de hogere, drogere delen van het landschap met name de stuwwallen en de sandrs en verder de grote, verwilderde riviersystemen zoals de IJssel, Rijn en Maas. In de lage, vochtige gebieden was voldoende vegetatie aanwezig om verstuiving te verhinderen. Hier vond slechts lokale veenvorming plaats. Het dekzand dat in de Jonge Dryas werd afgezet wordt aangeduid als Jonger Dekzand II en is in de praktijk alleen van het Jonger Dekzand I te onderscheiden indien er onder een laag dekzand afzettingen uit de Allerød periode gevonden worden.

Enige kenmerken van dit Jonger Dekzand II zijn:

- een laag tot zeer laag leemgehalte (%- kleiner dan 50 µm)
- goed gesorteerd zand met een mediaan tussen 105-210 µm.
- afwezigheid van werkelijk scherphoekige korrels.
- een hoog % gematteerde korrels.
- het voorkomen van grindsnoertjes (afgerond grind tot 1 cm diameter)
- een veelal slecht ontwikkelde horizontale gelaagdheid,
- een goed ontwikkeld podzolprofiel (v.d. Hammen & Wijmstra, 1971).

Enige kenmerken van de morfologie van het Jonger Dekzand II zijn:

- De terreinvormen zijn hoger (soms meer dan 5 m), hebben steilere hellingshoeken en een overwegende (W)ZW-(O)NO-oriëntatie in vergelijking met terreinvormen die ontwikkeld zijn in Jonger Dekzand I of Ouder Dekzand II.
- Op de stuwwallen komen vaak zeer lange (tot vele km's) en hoge ruggen voor, waarin soms een paraboolvorm valt te herkennen (ook wel pseudo-osar genoemd).
- De grootste Jonger Dekzand II accumulaties worden echter aangetroffen rondom vrijwel alle Nederlandse stuwwallen in een 1-2 km brede zone. Deze gordeldekzandgebieden vallen op door hun gelijkmatige breedte en reliëfrijdheid. De overgang naar de laaggelegen vlakke tot zwak golvende valleien wordt vooral in de aan de oost- en noordzijde gelegen gordeldekzandgebieden gemarkeerd door een steilrand van enkele meters. Vermoedelijk liep hier het dekzand vast in de relatief dichte vegetatie van de lage valleien (Maarleveld en v.d. Schans, 1961)
- In de gordeldekzandgebieden wordt vaak onder een enkele meters dik dekzandpakket de Laag van Usselo of veen van Allerød ouderdom aangetroffen (Florschütz 1939, v.d. Hammen 1951, Zagwijn 1961). In v.d. Hammen & Maarleveld (1958) wordt melding gemaakt van een

lokaal optredende geliffluctie/afspoelings-periode gedurende de Jonge Dryas op de stuwwal van de oostelijke Veluwe.

E. HOLOCEEN (11.650 BP - heden)

Na de Jonge Dryas trad er een definitieve klimaatsverbetering op, waarbij zich een gesloten bosvegetatie ontwikkelde (eerst dennen-berkenbossen later vooral loofbossen). De belangrijkste processen gedurende het Holoceen:

1. Bodemvorming. Op de hogere, drogere terreindelen (stuwwal, gordeldekzandgebieden) zijn vaak zeer goed ontwikkelde podzolen gevormd. Het grondwater bevindt zich hier met name op de stuwwal zeer diep. In de lage vochtige delen (Gelderse Vallei) treffen we vooral beekoordgronden aan. Het grondwater bevindt zich daar meestal dicht onder de oppervlakte. In het oostelijk deel van het gordeldekzandgebied en op sommige ruggen in de Gelderse Vallei worden dikke eerdgronden aangetroffen die gekenmerkt worden door een dikke (meer dan 50 cm) donkergekleurde, zeer humeuze A1 waarin bijna altijd artefacten worden aangetroffen (stukjes houtskool, baksteen, gebrande leem etc.). Zij zijn een gevolg van bemesting volgens de zgn. potstalmethode die vooral vanaf 300 na Chr. van belang werd en veelal tot het begin van de 20^{ste} eeuw heeft plaatsgevonden (Toelichting Bodemkaart 1:50.000 Blad 32W).
2. Veenvorming. In de Gelderse Vallei heeft sedert het Laat-Glaciaal veenvorming plaats gevonden, met name in de beekdalen en de afvoerloze depressies van het zwak golvende dekzandlandschap. Vooral in de omgeving van Leusden-Centrum wordt nog veen aangetroffen. Vermoedelijk had het veen vroeger een veel grotere verbreiding, maar is er door afgraving veel verdwenen (Maarleveld & v.d. Schans 1961, Bodemkaart 1:50.000 Blad 32W). Het veen behoort tot het Laagpakket (voorheen Formatie) van Singraven.
3. Beeksedimentatie. Na het verdwijnen van de permafrost aan het einde van de laatste ijstijd trad er een drastische wijziging op in het waterregime van de Gelderse Vallei. De geulsystemen van het Pleniglaciaal met hun grote en sterk wisselende afvoeren werden verlaten en er kwamen smalle, kronkelende beken met een veel geringere en gelijkmatiger afvoer voor in de plaats, die we heden ten dage, voor zover nog niet genormaliseerd, nog in de Gelderse Vallei kunnen aantreffen. De loop van de beken wordt veelal sterk bepaald door de ligging van de dekzandruggen. Na perioden met grote regenval verliep de afvoer van het water vaak op gebrekkige wijze, waarbij vooral de lage delen van de Gelderse Vallei veelvuldig onder water kwamen te staan. Hierbij werd dan een enkele dm's dikke laag "beekleem" afgezet die tot het Laagpakket (voorheen Formatie) van Singraven wordt gerekend. Dit dek is veelal van Sub-Atlantische ouderdom, mogelijk als gevolg van de hoge zeespiegelstanden in deze periode die leidde tot stagnatie van de waterafvoer benedenstrooms (v.d. Hammen & Wijmstra 1971, Ten Cate 1969, Toelichting Geologische Kaart Blad Eindhoven-O).
4. Verstuiving onder invloed van de mens. In de gordeldekzandgebieden komen veelal uitgebreide stuifzandcomplexen voor, die in of na de Middeleeuwen ontstaan zijn a.g.v. het ingrijpen van de mens in het landschap. Voorwaarden voor het optreden van verstuiving waren:
 - Verstoring van de vegetatie (heide of bos), meestal doordat er plaggen werden gestoken voor de potstal, maar ook als gevolg van overbeweiding met schapen of verwaarlozing van akkers.
 - Een diepe ligging van het grondwater, dit is de reden waarom in de Gelderse Vallei geen verstuiving heeft plaatsgevonden.
 - Aanwezigheid van goed gesorteerd materiaal dat door de wind verplaatst kan worden (in dit geval vooral het dekzand).

Het stuifzand dat tot het Laagpakket (voorheen Formatie) van Kootwijk wordt gerekend heeft de volgende kenmerken:

- (Matig) fijn zeer goed gesorteerd leemarm zand.
- Praktisch grindloos.

- Een losse pakking (vergeleken met dekzand).
- Aanwezigheid van "vuile" lagen (ingeschakelde mikropodzolen of materiaal afkomstig uit verstoven dekzand-bodemprofielen).
- Afwezigheid van duidelijk ontwikkelde podzolprofielen: meestal is wel een enkele cm's dikke mikropodzol aanwezig.

De stuifzandcomplexen worden morfologisch gekenmerkt door een afwisseling van uitgestoven laagten met meestal een grind-strooiing aan de oppervlakte met dicht daaronder het C-materiaal van het dekzand en duinen die opvallen door hun hoogte (vaak meer dan 5 m), steile hellingen (tot 47°) en een chaotische morfologie, waarin meestal geen oriëntatie valt te herkennen. Hierbij is in veel gevallen reliëf-inversie opgetreden waarbij de hoogste en droogste delen van het golvende dekzandlandschap het meest gevoelig waren voor winderosie en waarbij het weggestoven zand accumuleerde in lagere vegetatierijke delen: dit verklaart ook de steile en chaotische vormen (Koster 1978).

3. GEOMORFOLOGIE

A. WERKWIJZE

In de eerste zomer is het veldwerkgebied geomorfologisch gekarteerd op een schaal 1:10.000. Daarbij werd gebruik gemaakt van:

- De Hoogtekaarten 1:10.000 (Bladen 32D Noord+Zuid).
- De Topografische kaart 1:25.000 (Blad 32D), voor de hoogtelijnen op de stuwwal.
- De Geomorfologische Kaart 1:50.000 (Blad 32W)

Op grond van literatuurgegevens en beschikbare kaarten bleek dat het veldwerkgebied geomorfologisch gezien uit 4 hoofdeenheden bestaat:

1. de stuwwal incl. de sandr en puinwaaiers aan de voet ervan.
2. het gordeldekzandgebied.
3. de stuifzandcomplexen.
4. de Gelderse Vallei.

Deze hoofdeenheden bleken ook in het veld zeer gemakkelijk te herkennen. Binnen deze hoofdeenheden werden bij de kartering een 30-tal vormeenheden onderscheiden, gebaseerd op de morfometrie:

1. de aard van de terreinvorm: helling, heuvel, vlakte etc.
2. de aard van de omgrenzing van de terreinvorm: duidelijk of onduidelijk.
3. het reliëf van de terreinvormen:
 - de hoogteligging t.o.v. NAP,
 - de lokale hoogteverschillen, met als grenzen: ½, 1, 1½ en 5 meter.
 - de hellingshoeken.
 - de lengte der hellingen.

Vaak was het vanwege de gebruikte kaartschaal onmogelijk de aparte terreinvormen aan te geven, zoals bijv. in stuifzandterreinen, waarbij dan de gebieden met het kenmerkende stuifzandreliëf werden afgegrensd. Tevens werd gelet op het voorkomen van duidelijk ontwikkelde podzolprofielen.

Aan het eind van de eerste zomer zijn er nog enkele dagen besteed om hellingen te meten aan terreinvormen die uit windafzettingen bestaan (dekzandruggen, stuifzandgebieden). Dit gebeurde met een Abney-Level. Ook werd de lengte van de hellingen geschat.

Later is de 10.000-veldekaart omgezet in een 25.000-kaart (Bijlage 4), waarbij terwille van de leesbaarheid een aantal vereenvoudigingen zijn aangebracht. Bij de kaart hoort een legenda met de 30 onderscheiden vormeenheden (Bijlage 5). Uitgebreide gegevens over de morfometrie, materiaaleigenschappen, genese en ouderdom van de diverse vormeenheden zijn samengevat in Bijlage 6.

Verder is er een Hoogtekaart 1:25.000 vervaardigd (Bijlage 3). Hierbij is gebruik gemaakt van de Hoogtekaarten 1:10.000 en voor de stuwwal van de Topografische kaart 1:25.000. In de

stuifzandgebieden met hun zeer onregelmatige reliëf zijn toch (gestippelde) hoogtelijnen getrokken. Dit vanwege de leesbaarheid van de kaart.

In de volgende pagina's zullen de diverse vormeenheden besproken worden, waarbij met name die informatie aan bod komt die niet in het overzichtsschema (Bijlage 6) of in de Geomorfologische Kaart (Bijlage 4) weergegeven kon worden zoals veldcriteria en belangrijke details binnen de eenheden. Voor naamgeving en coördinaat aanduidingen wordt verwezen naar de Topografische Kaart 1:25.000 Blad 32D (Bijlage 1).

B. BESPREKING VAN DE VORMEENHEDEN

1. Stuwwal reliëf

Kenmerken:

- Lange, relatief flauwe (stuwwal)hellingen.
- Praktisch overal komen veel grind en stenen aan de oppervlakte voor (behalve daar waar landduinen aanwezig zijn).

Eenheid 1: stuwwalplateau

Boven op de stuwwal komen steeds vlakkere delen voor die tot 1 km breed zijn. In het terrein zijn deze vlakkere delen bijna altijd door een duidelijke knik af te grenzen van de stuwwalhellingen.

Op het stuwwalplateau komen praktisch geen landduinen voor.

Het stuwwalplateau heeft in het noordelijk deel van het veldwerkgebied (de Leusderheide) veelal een onregelmatig golvend karakter (lokale hoogteverschillen tot 3 m). Hoogteligging grotendeels boven 50 m +NAP. Breedte tot 1000 m. Opvallend is hier de zeer rijke bestrooiing met grind en (grote) stenen. Zeer veel windkanters en ook veel noordelijk materiaal, dit laatste vooral aan de oostzijde van het plateau.

In het zuidelijk deel van het veldwerkgebied is het stuwwalplateau smaller (tot 300 m), minder hoog gelegen (39 - 46 m +NAP) en veel vlakker (hoogteverschillen tot 1,5 m). Ter hoogte van de weg Woudenberg-Zeist maakt het stuwwalplateau een sprong van 46 m (gebied rond de Pyramide van Austerlitz) in het noorden naar 39 m +NAP ten zuiden van de weg. In dit deel komen lokaal zeer grind- en stenenrijke terreindelen voor met stenen van max. 4 cm (eenheid 3). Vermoedelijk betreft het hier dagzomende gestuwde grindrijke lagen. Ook komen hier veel kleine (tot 10 m) grindgaten voor. Verder valt op dat er op deze delen van het stuwwalplateau nauwelijks noordelijke stenen aanwezig zijn. Aannemende dat het landijs altijd wel enige grondmore afzet, betekent dit dat sedertdien de noordelijk stenen praktisch geheel verdwenen zijn door fluvioglaciale e/o niveofluviatiele erosie (Maarleveld, 1950).

Verder is het stuwwalplateau op 2 plaatsen onderbroken door zgn. doorlaten, die vermoedelijk zijn ontstaan in het Saalien toen het ijs tegen de oostflank van de Utrechtse Heuvelrug aan lag en het smeltwater zich een weg zocht naar het westelijk gelegen ijsvrije gebied (Berendsen & Bijnen, 1973):

- De noordelijke doorlaat (460-151) ligt op een hoogte van 27 m. De breedte van de doorlaat bedraagt 1300 m aan de bovenzijde. De breedte van de dalbodem bedraagt 200 m.
- De zuidelijke doorlaat (453.5-152) ligt op een hoogte van 28 m, de breedte is vanwege de zandgroeve in de Maarnse Berg niet te bepalen. In deze groeve is keileem gevonden (Faber, 1947)

Eenheid 2: stuwwalhelling

Aan de oostzijde van de stuwwal zijn de hellingen overwegend 2-4° en de breedte 500-1100 m. Aan de westzijde bedragen de hellingen overwegend 1-2°, plaatselijk 3°, de breedte bedraagt hier 700-1500 m, zodat we van een duidelijke asymmetrie van de stuwwal kunnen spreken. De op de Geomorfologische Kaart aangegeven hellingbedragen zijn deels in het veld opgemeten (m.b.v. een Abney-Level) en deels bepaald m.b.v. de hoogtelijnen van de 1:25.000 kaart.

Eenheid 3: grindkoppen

Op de stuwwal komen plaatselijk 1 - 5 m hoge heuvels voor die bij nader onderzoek uit zeer grindrijk materiaal blijken te bestaan.

Eenheid 4: de sandr (spoelzandvlakte)

Het betreft een smalle strook in het westen van het kaartblad. Deze eenheid maakt deel uit van de vele tientallen km² grote sandr die ten westen van de Utrechtse Heuvelrug aanwezig is. De sandr is in het algemeen door een duidelijke knik van de stuwwalhelling af te grenzen (overgang hellingen minder dan 1° naar hellingen van 1-3°). De dalen die aanwezig zijn op de westelijke stuwwalflank zijn veelal met grote moeite te vervolgen in de sandr, waarbij opgemerkt dient te worden dat verder westwaarts de dalen in de hoogtelijnen wederom zeer duidelijk te vervolgen zijn (zie Top.Kaart Blad 32C),

Eenheid 5: de puinwaaiers

De grens tussen de puinwaaiers en de stuwwalhelling is praktisch altijd zeer goed waar te nemen als een duidelijke knik. Naar het oosten duiken de puinwaaiers weg onder het gordeldekzand. Waar landduinen (ruggen en stuifduinen) aanwezig zijn is dáár de grens gelegd, voor het overige is de oostgrens tamelijk onzeker.

Eenheid 6: de droge dalen

In de stuwwalflanken zijn een groot aantal droge dalen aanwezig. De begrenzing van de dalen is in de meeste gevallen te herkennen door een knik in het terrein (vooral goed te zien op evenwijdig aan de strekking van de stuwwal verlopende paden). Praktisch alle dalen hebben een boogvormige dwarsdoorsnede en een del-vormig dal begin.

De dal-linie lijnen geven de laagste delen van de dalen aan, in sommige dalen is er sprake van een vlakke dalbodem ("db" in de kaart). Daar waar de dalen met windafzettingen zijn bedekt is de omgrenzing van de dalen vaak onduidelijk. Het grote droge dal ten westen van de zuidelijke doorlaat bij Maarn heeft een zeer grillige begrenzing. Vermoedelijk is de grote hoofdvorm van fluvioglaciale oorsprong en hebben zich hierin na het verdwijnen van het landijs tal van kleinere dalen gevormd.

Uit de kaart blijkt dat een groot deel van de stuwwal versneden is door droge dalen, mede daarom is de term "stuwwal-ruïne" zeker niet misplaatst (Mond.med. Prof. G.C. Maarleveld).

Eenheden 7 t/m 11: landduinen op en rond de stuwwal.

1. Het noordelijk deel van het veldwerkgebied:
Hier zijn vooral op de oostelijke stuwwalflank landduinen aanwezig. De duinen, vnl. stuifzanden, zijn hier i.h.a. veel hoger (tot 5 m) dan in het zuidelijk deel van het veldwerkgebied. Ook hier komen op het stuwwalplateau geen landduinen voor. Daar waar de puinwaaiers aan de oppervlakte liggen komen nauwelijks landduinen voor.
2. Het zuidelijk deel van het veldwerkgebied:
Een aanzienlijk deel van de stuwwalflank is hier bedekt met landduinen die i.h.a. niet hoger zijn dan 3 m (eenheid 8). In sommige gevallen konden grote gebieden onderscheiden worden waar de duinen niet hoger dan 1 m waren (eenheid 7). De duingebieden worden meestal gekenmerkt door korte, steile hellingen en chaotische vormen waarbij het onmogelijk is afzonderlijke heuvels en laagten te onderscheiden. Bekijken we de landduingebieden als geheel, dan valt een ZW-NO-oriëntatie op. Op een aantal plaatsen zijn makkelijk afgrensbare ruggen met relatief flauwe hellingen te onderscheiden (eenheden 10 en 11).

2. Gordeldekzand reliëf

Ten oosten van de stuwwal ligt een ongeveer 2 km breed gordeldekzandgebied. Deze breedte geldt voor het hele veldwerkgebied: de stuwwal wordt als een "schaduw" gevolgd. Het gebied valt op ten opzichte van de Gelderse Vallei door het onrustige duinreliëf, de hogere ligging en de goed ontwikkelde podzolprofielen. Het gordeldekzandgebied valt van de stuifzandcomplexen te onderscheiden door de minder steile hellingen (meestal niet groter dan 8°) en de goed ontwikkelde podzolprofielen.

Eenheid 12: gordeldekzandwelingen.

Grote delen van het gordeldekzandgebied bestaan uit zwak golvend terrein waarin nauwelijks afzonderlijke ruggen of laagten te onderscheiden zijn.

Eenheid 13: gordeldekzandvlakte.

Ten NW van Maarsbergen komt een vlak hooggelegen gebied voor. Elders in het gordeldekzandgebied komen dergelijke vlakke terreindelen ook wel voor maar zijn dan steeds te gering van afmeting om afzonderlijk in de kaart weer te geven.

Eenheid 14 t/m 16: dekzandruggen.

Langgerekte regelmatige ruggen die gemakkelijk af te grenzen zijn (lengte soms meer dan 1 km). Er komt altijd een goed ontwikkeld bodemprofiel in voor en de hellingen zijn beduidend flauwer dan die van het stuifzandrelief. Verder valt de (W)ZW-(O)NO-oriëntatie op, die elders in Nederland kenmerkend is voor vormen uit de Jonge Dryas.

Eenheid 17: complex van heuvels en ruggen.

Hier waren de afzonderlijke heuvels en ruggen niet aan te geven. De hellingen zijn i.h.a. wat steiler dan in de eenheden 14 t/m 16. Ook hier steeds een goed ontwikkeld podzolprofiel.

Eenheid 18: randrug.

Langs: een groot gedeelte van de oostgrens van het gordeldekzandgebied komt een randrug voor. De breedte bedraagt 100-400 m. Op veel plaatsen was de westelijke begrenzing moeilijk vast te stellen. De oostgrens is daar gelegd waar het terrein vlak werd (Gelderse Vallei). Soms bestaat deze oostgrens uit een steilwand van enkele meters (mogelijk mede ontstaan door afgraving).

Ten zuiden van Amersfoort (460,5-156) buigt de randrug om naar het oosten om na ± 1 km naar het oosten te hebben gelopen weer naar het NNW ombuigt.

Oorzaak: de WZW-ONO verlopende stuwwal van Amersfoort-Soesterberg die ongeveer 1 km naar het oosten uitsteekt (t.o.v. de Utrechtse Heuvelrug).

De heuvels van Lockhorst, Heiligenberg, Vosheuvel en Randenbroek vormen in feite een voortzetting van de randrug. Deze heuvels vallen op door hun hoogte (tot 12 m) en steile hellingen (tot 25°).

Eenheid 19: randrug-glooiing.

Op sommige plaatsen gaat het gordeldekzandgebied via een zeer flauwe helling over in de vlakke Gelderse Vallei.

Eenheid 20: de gordeldekzand laagten.

In het gordeldekzandgebied komen een 5-tal geïsoleerde vochtige laagten voor: Hazenwater, Droogmakerij, Waswater**), Langeveen en de laagte ten noorden van de Treekerpunt (456,4-154,0). Vroeger waren dit moerassen met uitgebreide veenvorming, nu zijn de meeste laagten drooggelegd (behalve het Hazenwater) en als weiland in gebruik. Opvallend is dat de laagten alleen in het noordelijk gedeelte van het gordeldekzandgebied voorkomen. Aan de oostzijde van het Hazenwater komen hoge landduinen voor met goed ontwikkelde podzolprofielen. Dit is eveneens het geval ten oosten van de laagte van de Treekerpunt.

***) Het Waswater is in 2017 uitgegraven en heet nu Vogelplas. In de uitgegraven laagte is in 2017 een (Allerød) oerbos aangetroffen. Jos Bazelmans van RCE Amersfoort coördineert het onderzoek.*

Landgebruik:

Volgens de Topografische kaart van 1880 was het gordeldekzandgebied toen voor meer dan 75% met heide bedekt. Als gevolg van herbebossing zijn hier momenteel nog slechts enkele % van over.

3. Stuifzand reliëf

In het veldwerkgebied zijn de stuifzandgebieden zeer gemakkelijk te onderscheiden van de overige delen van het gordeldekzandgebied:

- chaotische terreinvormen met korte steile hellingen.
- afwezigheid van duidelijke podzolprofielen, meestal is een enkele cm's dikke mikropodzol aanwezig.

Als gevolg van dit chaotische reliëf en de geringe omvang van de heuvels en laagten werden in de kaart in de meeste gevallen de complete gebieden met het kenmerkende stuifzandreliëf onderscheiden waarbij dan alleen een indeling gemaakt werd naar de lokale hoogteverschillen (**eenheden 21 t/m 23**).

Soms bleek het wél mogelijk aparte heuvels aan te geven (**eenheden 24 en 25**) of zgn. randwalduinen (**eenheid 27**).

Tussen de heuvels konden soms bij voldoende afmetingen uitgestoven laagten onderscheiden worden (**eenheid 26**). Aan de rand van deze uitgestoven laagten dagzoomt veelal een podzolprofiel, in het centrale deel ervan komt veel fijn grind aan de oppervlakte voor en wordt enkele dm's onder de oppervlakte het C-materiaal van het dekzand aangetroffen.

Omstreeks 1880 was men al aanzienlijk gevorderd met het vastleggen van de stuifzandgebieden. Momenteel zijn er nog enkele ha actief stuifzand over.

4. Gelderse Vallei reliëf

Dit deel van het veldwerkgebied wordt gekenmerkt door geringe hoogteverschillen (minder dan 0,5 m) en de zeer flauwe hellingen (zelden meer dan 1°). De hoogteligging is grotendeels beneden de 4 m +NAP. Het grondwater komt in de vlakten (**eenheid 28**) dicht onder de oppervlakte voor.

Het laagste deel van de Gelderse Vallei bevindt zich direct ten oosten van de randrug, in dit gedeelte komen ook weinig ruggen voor. In de loop der tijd zijn a.g.v. (potstal) bemesting de ruggen (**eenheden 29 en 30**) aanzienlijk opgehoogd. De omgrenzing van de ruggen was veelal zeer moeilijk. Er is daarbij nuttig gebruik gemaakt van de Hoogtekaarten 1:10.000.

De loop van de diverse beken is in de loop der tijd (vooral de laatste 100 jaar) op vele plaatsen genormaliseerd om een betere waterafvoer te verkrijgen.

4. GEOLOGIE

A. INLEIDING

In de tweede zomer van het veldwerk is het noordelijk deel van het gordeldekzandgebied en het daarop aansluitende deel van de Gelderse Vallei geologisch nader onderzocht. Doel hiervan was antwoorden te vinden op een 4-tal vraagstukken die in samenspraak met Prof. Maarleveld opgesteld waren:

1. Hoe zijn de laagten in het gordeldekzandgebied ontstaan?
2. Hoe zetten de niveofluviatiele afzettingen (de puinwaaiers) zich onder het gordeldekzand voort?
3. Hoe is de randrug ontstaan? Zit er plaatselijk veen onder?
4. Hoe zet de langgerekte laagte in de Gelderse Vallei bij Maarsbergen zich in noordelijke richting voort? Hoe is deze laagte ontstaan?

Dit geologisch onderzoek vond plaats door middel van 260 boringen, waarbij in veel gevallen monsters van het opgehoorde materiaal werden meegenomen. In het laboratorium zijn de monsters nader onderzocht:

1. Korrelgrootte-bepalingen
2. Grindtellingen
3. Onderzoek naar de mattering van de zandkorrels
4. Pollenanalyse

Zie verder hoofdstuk 4.C.

In dit hoofdstuk worden vooral de feiten besproken zoals ze verkregen zijn uit de boringen en het laboratoriumonderzoek. Aan de hand hiervan konden een aantal deelkaarten en dwarsdoorsneden geproduceerd worden waarin de boor- en laboratorium-resultaten in samengevat worden.

Aan de hand van al deze gegevens komen we tenslotte in hoofdstuk 5 tot de genese van het onderzochte gebied en wordt er getracht een antwoord te geven op de 4 bovengenoemde vraagstukken.

B. DE BORINGEN

1. Werkmethode

Gebruik werd gemaakt van een "Edelmanboor" met 3 verlengstukken zodat een diepte van 4,2 m bereikt kon worden. Verder werden er 2 "Van de Staay"-zuigboren van resp. 2 en 4,4 m lengte gebruikt om beneden het grondwaterniveau te kunnen boren. De 4,4 m zuigboor was vervaardigd door de Rijks Geologische Dienst te Arnhem alwaar de heer van de Staay deze methode ontwikkeld heeft.

Voordelen van het gebruik van de zuigboor zijn:

1. De boor is van zeer licht materiaal (polyester) gemaakt en is dus gemakkelijk te vervoeren (per fiets).
2. Een tamelijk eenvoudige bediening zonder ingewikkelde mechanische apparatuur die veelal door 1 persoon kan plaatsvinden.
3. Het opgehoorde materiaal komt ongestoord uit de boor.

Enige nadelen van de zuigboor zijn:

1. Alleen te gebruiken in zandrijk materiaal ('windafzettingen, strandwallen etc.). In veen, grind of klei werkt de zuigboor niet.
2. In de gordeldekzandgebieden komen vaak inschakelingen van veen o.i.d. voor. Dan zal men met een guts de betreffende laag moeten proberen te doorklieven. Dit levert in de praktijk veel problemen op.
3. Men moet een behoorlijke dosis handigheid en inventiviteit bezitten, want zeker in het begin verlopen de zuigboringen allesbehalve vlekkeloos. Tangen, schroevendraaiers, doekjes, reserveschroefjes en rubbertjes en een plastic fles water behoren dan ook tot de standaard velduitrusting.

In totaal zijn er 50 boringen met de zuigboor verricht waarbij dan eerst met de Edelmanboor tot het grondwater geboord werd en daaronder met de zuigboor. Het gebruik van de zuigboor heeft zeer veel nuttige informatie verschaft, die met een gewone Edelmanboor nooit verkregen had kunnen worden, zodat iedereen die in vergelijkbare zandrijke gebieden gaat werken het gebruik van deze zuigboor van harte aanbevolen kan worden.

2. Resultaten van de boringen

Op grond van de 260 verrichte boringen blijkt het mogelijk het onderzochte gebied in 5 deelgebieden te verdelen. Ieder deelgebied wordt gekenmerkt door het voorkomen van karakteristieke lagen of juist de afwezigheid daarvan. De ligging van de 5 deelgebieden is aangegeven in Bijlage 7 en zullen ieder afzonderlijk besproken worden.

Deelgebied 1: Het westelijk deel van het gordeldekzandgebied.

Hier werden 47 boringen verricht, allen met de Edelmanboor vanwege de diepe ligging van het grondwater. Boring 214 is karakteristiek voor dit deelgebied:

- 0-25 cm: A1 en A2
- 25-35: B2H (zwart zand)
- 35-40: B2I (roodbruin zand, zeer moeilijk boren)
- 40-50: B3 (geelbruin zand)
- 50-160: geelwit goed gesorteerd zand' (150-210 μ m; Jonger Dekzand II)
- 160-170: bleekgrijs zeer lemig zand met wat stukjes houtskool van 1 mm. (Laag van Usselo).
- 170-230: witgeel goed gesorteerd zand (150-210 μ m; Jonger Dekzand I)
- 230-300: idem 170-230 cm, maar nu met lemige laagjes van 2-8 mm dik, die naar beneden in aantal en dikte toenemen (Ouder Dekzand II).
- 300-315: zeer grindrijk lemig zand: 50 grindjes per steek, tot 2 cm groot (Beuningen Grindlaag).
- 315-320: geelwit goed gesorteerd zand (Ouder Dekzand I).

Van monsters uit de bovengenoemde horizonten zijn korrelgroottebepalingen gedaan en is van de zandkorrels de mattering bepaald (zie voor de resultaten hoofdstuk 4.C).

De Beuningen Grindlaag werd in 42 boringen (90%) aangetroffen, de dikte bedroeg 5-15 cm. Deze laag is vaak zeer compact en daarom vaak zeer moeilijk te doorboren (risico boorbreek!). De maximale grootte van het grind en de stenen in de diverse boringen staat weergegeven in Figuur 2.

Het bleek niet mogelijk een kaartje met lijnen van gelijke grindgrootte te produceren omdat over korte afstand het grind sterk in grootte varieert, mede vanwege het feit dat steeds slechts een klein monster genomen werd (boring). Vaak zijn het grind en de stenen duidelijk gepolijst en hebben soms een windkanter uiterlijk. Boven deze Beuningen Grindlaag komt in 20 boringen (43%) het zgn. Ouder Dekzand II voor dat gekenmerkt wordt een afwisseling van zand- en leemlaagjes. Dit Ouder Dekzand II is ook in de boor gemakkelijk te herkennen. De dikte bedraagt zelden meer dan 1 meter. Naar beneden toe nemen de leemlaagjes veelal in dikte toe van 1 naar 10 mm. In sommige gevallen zijn onderaan enkele dm's dikke zandlöss lagen ingeschakeld.

Boven dit Ouder Dekzand II volgen altijd leemloze (Jonge) dekzanden. Alleen wanneer de Laag van Usselo werd aangetroffen kon een onderscheid gemaakt worden in Jonger Dekzand I en II. Het Jonger Dekzand is bijna altijd goed gesorteerd, heeft een mediaan van 150-210 μm en voelt zacht aan. De kleur is heldergeel tot witgeel zonder inschakelingen van "vuile" lagen (onderscheid van stuifzand). In het Jongere Dekzand komen soms grove zandlagen of inschakelingen van fijn grind voor die echter altijd gemakkelijk te doorboren zijn. Het grind is praktisch nooit groter dan 1 cm (onderscheid met de Beuningen Grindlaag).

In 10 boringen (21%) werd de Laag van Usselo aangetroffen. Het materiaal is fijner en lemiger dan het Jongere Dekzand en biekgrijs van kleur. Er komen altijd houtskooldeeltjes in voor (celstructuur te zien met de loep) die meestal enkele mm's groot zijn. De dikte bedraagt 5-10 cm.

Daar waar geen verstuiving o.i.v. de mens heeft plaatsgevonden worden aan de oppervlakte goed ontwikkelde podzolprofielen aangetroffen die tot 70 cm dik zijn. In de meeste gevallen betreft het zgn. Humuspodzolen met zeer duidelijk ontwikkelde B2h en B2ir horizonten.

Eén van de weinige groeven die tijdens het veldwerk bestudeerd kon worden (gedurende enkele dagen) bevond zich nabij de zuidgrens van het onderzochte gebied in de puinwaaier (eenheid 5) ongeveer 150 m van de stuwwal vandaan (ligging: zie Bijlage 7). Beschrijving:

- 0 - 60 cm: Podzolprofiel
- 60 - 130: goed gesorteerd zand (210-300) waarin wat snoertjes fijn grind (tot 1 cm) voorkomen (Jonger Dekzand).
- 130 - 135: een ongeveer 1 m brede en 1-5 cm dikke bank van zeer grindrijk zand (grind tot 1 cm).
- 135 - 180: zand (150-210 μm) afgewisseld met lemige laagjes van enkele mm's dikte (Ouder Dekzand II).
- 180 - 185: Een ongeveer 5 cm dikke laag stenen en grind die tot 53 cm groot zijn. Deze laag heeft een zeer onregelmatig verloop met benedenwaartse uitstulpingen van vele dm's (kryoturbatie?): Beuningen Grindlaag.
- 180 - 280: grindhoudend zand, met soms geulachtige vormen en soms grindrijke leembanden met veel uitstulpingen.
- 280 - 285: idem 180-185 cm.
- 285 - 300: roodbruin zand (210-300 μm) (Eemien bodemprofiel?).
- +300 cm: bodem groeve waar tot 20 cm grote stenen liggen. Uit de bodem stak een blauwgrijze kleilaag omhoog. Helling van deze laag 20° naar het oosten, zodat dit vermoedelijk een gestuwd pakket is.

Deelgebied 2: De laagten.

In het gordeldekzandgebied komen een 5-tal vochtige laagten voor: Hazenwater, Droogmakerij, Waswater, Langeveen en de laagte ten noorden van de Treekerpunt (456.4-153.8). In totaal werden hier 26 boringen verricht. De laagten vallen op door hun vochtigheid: vroeger waren dit moerassen die nu, op het Hazenwater na, drooggelegd zijn. In sommige laagten wordt nog veen aangetroffen (vooral in het Hazenwater en het Langeveen) dat van Holocene ouderdom blijkt te zijn (zie hoofdstuk 4.C.4.). Onder deze veenlaag komt in 90% van de boringen een goed ontwikkelde podzol van ongeveer 50 cm

voor, zodat deze laagten niet kunnen worden toegeschreven aan uitgraving of recente uitstuiwing. Onder deze podzol volgt een laag goed gesorteerd zand van 1-1,5 m dikte (Jonger Dekzand II; zie beneden).

In 70% van de boringen bevindt zich hieronder een donkerbruin gekleurde harde compacte laag van 5 tot 10 cm dikte. Er komen vaak bruine tot zwarte laagjes in voor, afgewisseld met gelig-bruine zandlaagjes. Zowel in het Waswater als in de Droogmakerij werden bij boringen in deze compacte laag wat houtskooldeeltjes aangetroffen, zodat de ouderdom van deze laag waarschijnlijk Allerød is.

Vermoedelijk hebben we hier te maken met een zgn. fragipan die ontstaan is a.g.v. van bodemvorming in de Allerød-periode:

1. Onder het binoculair bleek in een monster van de compacte laag de zwart-bruine laagjes uit isomorf organisch materiaal te bestaan, dat er vermoedelijk a.g.v. inspoeling (podzolering) in terecht is gekomen. Ook was er een stukje houtskool te zien.
2. Ook in v.d. Hammen & Wijmstra (1971) wordt op blz.177 het voorkomen van deze fragipans besproken. Hier wordt ook bodemvorming aangegeven voor het ontstaan.

Deze compacte ondoordringbare laag is tevens verantwoordelijk voor de grote vochtigheid in de laagten (verder westelijk richting stuwwal komen punten voor die enkele meters lager liggen dan de laagten en waar het grondwater zich meer dan 4 m onder het oppervlak bevindt, zodat we in de laagten mogen spreken van een schijngrondwaterspiegel die veroorzaakt wordt door de compacte laag. Voor het ontstaan van de compacte laag en daarmee van de laagten wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

Verder is zeer opvallend dat bij boringen in deze laagten nooit de Beuningen Grindlaag wordt aangetroffen. Wel werd bij een diepe boring in het Waswater beneden de compacte laag niveo-fluviatiel zand aangetroffen, zodat in de laagten de overgang tussen de dekzanden en het niveofluviatische materiaal waarschijnlijk zonder de Beuningen Grindlaag plaatsvindt.

Deelgebied 3: Het oostelijk deel van het gordeldekzandgebied.

Hier werden 61 boringen verricht waarbij slechts 3 keer (5%) de Beuningen Grindlaag werd aangetroffen. Het Ouder Dekzand II werd hier nergens gevonden. Wél werd in 35 boringen (57%) een 10-20 cm dikke laag bruin veen onder een 1 tot 4 m dik dekzandpakket aangetroffen. Palynologische analyse van een 7-tal veenmonsters, die over het hele gebied verspreid genomen zijn gaf in alle gevallen een Allerød-ouderdom, zodat het bovenliggende dekzandpakket tot het Jonger Dekzand II gerekend moet worden (zie hoofdstuk 4.C.). Het veen bevat nauwelijks houtresten, wel werden riet- en bladresten gevonden, evenals 1 mm grote rode sporenkapsels van veenmos.

In 9 boringen (15%) werd de Laag van Usselo gevonden, waarbij dan opviel dat de hoogte waarop deze laag wordt gevonden steeds 1-2 m hoger is dan die van Allerød-veenlagen die vlak in de buurt werden aangetroffen. Dit verschijnsel moet worden toegeschreven aan het onderliggende golvende Oude Dryas reliëf.

De dikte van het Jonger Dekzand II pakket varieert van 1,5 m nabij de Gelderse Vallei tot meer dan 4,4 m (boorbereik) naar het centrum van het gordeldekzandgebied toe. Het Jonger Dekzand II is steeds goed gesorteerd, matig fijn (150-210 µm) en wordt aan de bovenzijde meestal door een podzolprofiel afgesloten. In de onderste dm's van het dekzand worden soms plantenresten (stengels etc.) aangetroffen die behoren bij de onderliggende veenlaag.

Op een 7-tal plaatsen kon m.b.v. het matteringsonderzoek niveo-fluviatiel zand in de ondergrond worden aangetoond (onder de veenlaag), zodat ook hier de overgang van dekzanden naar niveofluviatische afzettingen vermoedelijk zonder de Beuningen Grindlaag plaatsvindt.

Het gordeldekzandgebied wordt in het oosten veelal door een zgn. randrug gekenmerkt. In deze randrug werden 38 boringen verricht waarvan er 23 (60%) bruin Allerød-veen opleverden onder een laag Jonger Dekzand II van 1 tot 3 m. Ook hier komen in de onderste dm's van het dekzand vaak plantenresten voor. Het veen bevat hier soms wél veel houtresten. In veel gevallen bevindt het veen zich op praktisch dezelfde hoogte als het oppervlak van de nabijgelegen Gelderse Vallei,

Deelgebied 4: De Gelderse Vallei.

Hier zijn 64 boringen verricht waarbij in 46 gevallen (72%) de Beuningen Grindlaag werd aangetroffen. Praktisch altijd werd deze laag binnen 100 cm onder de oppervlakte aangetroffen. Het grind is hier echter fijner dan in de Beuningen Grindlaag in het westelijke deel van het gordeldekzandgebied (zie figuur 2). Ook de samenstelling van het grind is hier beduidend anders (zie hoofdstuk 4.C.2.). De dikte bedraagt 1 tot 10 cm.



Figuur 2: maximale grootte van het grind in de Beuningen Grindlaag.

Boven deze Beuningen Grindlaag wordt praktisch altijd (80%) een lemig, goed gesorteerd fijn zand (105-150 μm) gevonden: het Ouder Dekzand II. Er komen veel oranje-bruine (gley) vlekken in voor. Hierboven volgt slechts op enkele plaatsen, vooral in duidelijke ruggen, een goed gesorteerd, leemarm zand: het Jonger Dekzand I. Dat het om het Jonger Dekzand I gaat valt af te leiden uit het feit dat nergens de Laag van Usselo of bruin Allerød-veen onder een laag dekzand is aangetroffen.

Aan de bovenzijde worden de profielen in de Gelderse Vallei altijd afgesloten door een 10-20 cm dikke humeuze bovenlaag: de A1 van zgn. Beekeerdgronden. Lokaal, vooral in de dekzandruggen, is er sprake van een dikkere A1 (tot 60 cm), we kunnen dan spreken van Dikke Eerdgronden.

In de laaggelegen, vlakke terreindelen nabij de Heiligenbergerbeek komt beekleem voor: een stugge, donkerbruine klei met veel oranje-bruine (gley) vlekken, die altijd met een messcherpe grens overgaat in het onderliggende Ouder Dekzand II. De dikte bedraagt meestal 10-20 cm, zelden meer dan 50 cm. In een aantal gevallen is door de Beuningen Grindlaag heen geboord. Eronder wordt in sommige gevallen een grijs lemig, goed gesorteerd dekzand aangetroffen: Ouder Dekzand I. Maar bijna altijd wordt onder dit Ouder Dekzand I of direct onder de Beuningen Grindlaag enkele meters zand aangetroffen dat de volgende kenmerken bezit:

1. Vaak matig gesorteerd en grindhoudend matig fijn (150-210 μm) zand.
2. Het grindgehalte is veel lager dan dat van de Beuningen Grindlaag.
3. Er komen meestal grove zandlaagjes (300-420 μm of 420-600 μm) van 1 tot 10 cm dikte in voor.
4. Er komt vaak verspoeld organisch materiaal in voor (meestal niet groter dan 1 mm).
5. Vergeleken met dekzand voelt het zand scherper aan en knarst vaak bij het boren.

Hieruit en uit hoofdstuk 4.C.3. blijkt dat het om niveo-fluviaal zand gaat.

In enkele boringen werd 1 tot 2 m onder de Beuningen Grindlaag een veen- of gyttja-laag aangetroffen, vermoedelijk van Midden-Pleniglaciale ouderdom.

Deelgebied 5: De Pleniglaciale hoofdgeul.

In het uiterste westen van de Gelderse Vallei komt tegen en ten dele ónder de randrug van het gordeldekzandgebied een 200 tot 500 m brede noord-zuid verlopende zone voor die gekenmerkt wordt door:

1. Het meestal ontbreken of pas op grote diepte voorkomen van de Beuningen Grindlaag. In slechts 6 van de 33 verrichte boringen werd deze Beuningen Grindlaag op grote diepte (meer dan 200 cm) aangetroffen.
2. In praktisch alle boringen werd bruin Allerød-veen aangetroffen (zie ook hoofdstuk 4.C.4.). In de randrug bevond dit veen zich onder een 1 tot 2 m dikke laag Jonger Dekzand II, in de Gelderse Vallei vlak onder de oppervlakte. De veenlaag was in 55% van de gevallen dikker

dan 30 cm, in enkele gevallen ruim 1 m. In tegenstelling tot het veen in het gordeldekzand gebied worden hier in het veen steeds houtresten gevonden (tot enkele dm's groot).

3. Daar waar de veenlaag minder dik is worden er onder steeds 1 tot 1,5 m dikke dekzandpakketten aangetroffen. In ongeveer de helft van de gevallen ging het om zeer lemig goed gesorteerd zand (Ouder Dekzand II). Het dekzand bevat vaak tot enkele dm's lange plantenresten (stengels e.d.) die er vaak verticaal (in situ) in voorkomen.

C. HET LABORATORIUM ONDERZOEK.

In Bijlage 8 zijn de plaatsen aangegeven waar de veld monsters genomen zijn.

1. De korrelgrootte bepalingen

Methode van onderzoek:

1. Fractie groter dan 2 mm uitzeven.
2. Fractie groter dan 2 mm door 4, 8 en 16 mm zeef. De gewichts-% van deze fracties werden: berekend t.o.v. het totale gewicht van het monster.
3. Fractie kleiner dan 2 mm behandelen met HCL, drogen, wegen. Dan de fractie kleiner dan 50 μm uitzeven, drogen en wegen. Nu is: de fractie kleiner dan 50 μm bekend (leemgehalte).
4. De fractie 50-2000 μm uitzeven m.b.v. de volgende zeven: 53, 63, 75, 90, 106, 125, 150, 180, 212, 250, 300, 355, 425, 500, 600, 710, 850, 1000, 1180, 1400 en 1700 μm .
Van iedere fractie werd vervolgens het gewicht bepaald en het gewichts-% berekend t.o.v. het gewicht van de fractie kleiner dan 2000 μm .
5. De resultaten zijn in de Bijlagen 9 t/m 12 op 2 manieren weergegeven:
 - a. Als cumulatieve curven op waarschijnlijkheidspapier (X-as logaritmisch verdeeld, Y-as met waarschijnlijkheidsverdeling).
 - b. Als staafdiagrammen, waarbij de staafjes horizontaal weergegeven zijn om in verticale zin een goede vergelijking tussen de diverse monsters mogelijk te maken. Ook zijn hierbij de "bekende" bodemkundige korrelgroottegrenzen (50, 75, 105, 150, 210, 300, 420, 1000 en 2000 μm) genomen om een vergelijking met reeds bestaande literatuur over dit onderwerp te kunnen maken.

Bespreking van de resultaten:

Bijlage 9 (boring 214).

In deze boring is de complete opeenvolging Jonger Dekzand II t/m Ouder Dekzand I aanwezig, en is daarmee, samen met boring 61 (Bijlage 10), standaard voor het westelijk deel van het gordeldekzandgebied. Het hoge grindgehalte (27%) van de Beuningen Grindlaag is opvallend, evenals het fijne karakter van de Laag van Usselo ($M_{50} = 112 \mu\text{m}$). Verder zijn de dekzandmonsters goed tot zeer goed gesorteerd. Het Jonger Dekzand I en II lijken daarbij sterk op elkaar.

Bijlage 10 (boring 61).

Deze boring begint met de Beuningen Grindlaag, daaronder is het Ouder Dekzand I aanwezig en vervolgens volgen 3 niveofluviatiele monsters.

- Monster 61 (60 cm) valt op door het hoge grindgehalte (8%) en het hoge leemgehalte (15%) en verder de slechte sortering.
- Monster 61 (90 cm) is veel beter gesorteerd, maar opvallend is dat evenals bij monster 214(320) het leemgehalte laag is (kleiner dan 5%), zodat het moeilijk is te spreken van een lemig dekzand.
- Monster 61 (195 cm) valt op door de slechte sortering, de grofheid en het grindgehalte (2,8%). Op grond hiervan kunnen we dit niveo-fluviatiel zand noemen.
- De onderste 2 monsters zijn goed gesorteerd en wijken wat korrelgrootteverdeling betreft, niet af van dekzand. Wel kunnen ze op grond van het %-transparante korrels als niveo-fluviatiel zand aangeduid worden (zie ook hoofdstuk 4.C.3.).

Bijlage 11 (boringen 57, 60, 72 en 290).

- Monster 57 (55 cm) werd: genomen uit een grindhoudende (4,8%) laag in het Jongere Dekzand. Onder het binoculair maakte het zand een zeer gematteerde indruk: het %-transparante korrels bedroeg slechts 7%.

- Monster 60 (140 cm) komt uit de Beuningen Grindlaag en valt op door het hoge grindgehalte (25,5%) en het hoge leemgehalte (15,5%) en voorts de matige sortering.
- Monster 72 (145 cm) is weer genomen uit een grindrijke (6%) inschakeling in het Jonger Dekzand II maar is verder goed gesorteerd.
- Monster 290 (110 cm): Jonger Dekzand II. Valt op door het tweede maximum in de fractie 300-420 μm . Verder bevat het geen grind.

Bijlage 12 (boring 117).

Deze boring is standaard voor de Gelderse Vallei. Het Ouder Dekzand II is goed gesorteerd het leemgehalte bedraagt 6%. De Beuningen Grindlaag is wederom grindrijk (9,8%). Het Ouder Dekzand I valt op door de zeer goede sortering en het hoge leemgehalte (10,5%). Het niveofluviatiele zand is goed gesorteerd en werd onderscheiden op grond van het %-transparante korrels. Verder is dit monster wat grover dan het Ouder Dekzand I en II en bevat het wat grind.

N.B. Termen als Jonger Dekzand II etc. worden alleen gebruikt wanneer de Laag van Usselo of een Allerød-veenlaag (aangetoond met pollenanalyse) eronder aanwezig was.

Conclusies:

Op grond van de korrelgrootte-bepalingen kunnen enige algemene conclusies getrokken worden, die vanwege het geringe aantal monsters slechts beperkte en lokale waarde bezitten:

1. Het Jonger Dekzand I en II lijken wat korrelgrootteverdeling betreft sterk op elkaar en bevatten soms wat grindrijke inschakelingen, veelal 1 steen dik, waarbij opvalt dat het grind zelden groter dan 1 cm is. Het grind wordt praktisch alleen in het Jongere Dekzand van het westelijke deel van het gordeldekzandgebied aangetroffen (In een zone van ongeveer 500 m breedte evenwijdig aan de stuwwal). In 11 van de 40 daar verrichte boringen was het Jongere Dekzand over enkele cm's grindhoudend, waarbij in 8 van de 11 boringen het grind niet groter dan 1 cm was.
2. Voor het overige is het Jongere dekzand steeds goed gesorteerd met een maximum in de fractie 150-210 μm en een mediaan tussen 200 en 235 μm . Op de in 1. genoemde grindlaagjes na bevat het praktisch geen grind.
3. De laag van Usselo is veel fijner (mediaan 50-112 μm), heeft een top in de fractie 105-150 μm en is verder zeer goed gesorteerd.
4. Het Ouder Dekzand II is lemig (6-12%), bevat praktisch geen grind, is goed gesorteerd met een mediaan tussen 160 en 180 μm en vertoont een top in de fractie 150-210 μm .
5. De Beuningen Grindlaag bevat veel grind (8-27%), is vaak matig gesorteerd, en heeft een leemgehalte dat varieert van 3 tot 15%. De mediaan varieert van 125-200 μm .
6. Het Ouder Dekzand I is goed tot zeer goed gesorteerd, met steeds een zeer duidelijk maximum in de fractie 150-210 μm . Het leemgehalte varieert van 3 tot 11%. Ook is vaak wat grind aanwezig.

2. De grindtellingen

Alleen de Beuningen Grindlaag bevat voldoende grind om er betrouwbare grindtellingen aan te kunnen verrichten. De monsters 69 (150 cm) en 292 (85 cm) zijn afkomstig uit deze grindrijke laag.

Bij boring 292 kwam 30 cm onder de Beuningen Grindlaag weer een grindrijke laag voor die ook geanalyseerd is: 292 (115 cm).

Verder is bij de boringen in het gordeldekzandgebied het grind groter dan 8 mm verzameld (omdat de fractie groter dan 8 mm i.h.a. gevarieerder van samenstelling is. Voor de Gelderse Vallei is hetzelfde gedaan, hier is ook de fractie 5-8 mm verzameld. De reden voor deze werkwijze is gelegen in het feit dat bij de boringen steeds een kleine hoeveelheid grind omhooggehaald kon worden en er in de zomer van 1980 geen groeven in het veldwerkgebied aanwezig waren.

De resultaten van de tellingen staan weergegeven in Figuur 3. Enige conclusies:

1. Binnen een monster blijkt steeds de fijne grindfractie (2-5 mm) veel meer restkwarts te bevatten (3 tot 4 keer) dan de grovere 5-8 mm fractie. Als dit verschijnsel zich voortzet in de zandfractie dan is dit de verklaring voor het zeer hoge percentage (ongeveer 90%) restkwartskorrels in de fractie 210-300 μm .

2. Alle monsters vertonen een zeer hoog zandsteen-kwartsiet-% en een hoog gangkwarts-%.
3. In alle monsters is het lage percentage van de kristallijngroep (veldspaat, porfier en rest-kristallijn) zeer opvallend. Hieruit valt af te leiden, dat de keileminvloed in de monsters nihil is.
4. In het materiaal uit de Gelderse Vallei zijn de hoge lydiet- en ongerolde-vuursteen-% opvallend. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt doordat het grind in de Gelderse Vallei voornamelijk afkomstig is van de stuwwallen van Ede-Wageningen, Putten en de oostelijke-Veluwe stuwwal, terwijl het grind in het gordeldekzandgebied van de Utrechtse Heuvelrug afkomstig is.

MONSTER	FRACIE mm	Totaal Kwarts	Gangkwarts	Restkwarts	Ongerolde Vuursteen	Gerolde Vuursteen	Porfier	Veldspaat	Kristallijn (rest-)	Zandsteen/ Kwartsiet	Oöliet	Lydiet	Radiolariet
69(I50) Beuningen grindlaag	2-5	43.0	33.5	9.5	0.5	0.5	-	1.5	0.5	54.0	-	-	-
292(85) Beuningen grindlaag	3-5	43.5	30.0	13.5	-	-	0.5	0.5	1.0	54.5	-	-	-
	5-8	44.5	40.5	4.0	4.0	-	-	-	1.5	50.0	-	-	-
292(II5) grindrijke laag in puinwaaier	3-5	56.5	42.5	14.0	-	0.5	0.5	0.5	1.5	40.5	-	-	-
	5-8	53.5	50.0	3.5	-	0.6	-	-	-	45.0	0.6	-	-
Beuningen grindlaag gordeldekzand- gebied	>8	48.8	47.5	1.3	5.0	1.3	-	-	1.3	41.0	-	1.3	1.3
Beuningen grindlaag Gelderse Vallei	5-8	46.5	34.5	12.0	2.4	1.2	-	-	-	39.9	-	8.3	2.4
	>8	41.5	39.0	2.5	9.4	3.4	0.9	-	1.8	40.0	0.9	3.4	-

Figuur 3: Resultaten grindtellingen (in gewichts-%).

3. Het matterings-onderzoek

a. Inleiding.

Tijdens het veldwerk bleek het in veel gevallen moeilijk een onderscheid te maken tussen dekzand enerzijds en niveo-fluviatiel zand anderzijds, zeker ook omdat er alleen boringen verricht konden worden en er geen ontsluitingen aanwezig waren (om bijv. sedimentaire structuren waar te nemen).

Uit de literatuur (v.d. Hammen & Wijmstra 1971, blz.144-146) was bekend dat het zand in de fractie 300-1000 µm van het Ouder Dekzand II een veel lager %-transparante korrels bevatte (5-20%) dan het zand beneden de Beuningen Grindlaag dat voor het grootste deel van niveofluviatiele oorsprong is (%-transparante korrels: 30-70%).

b. Werkwijze.

In het veld werden 210 monsters verzameld. Van het gedroogde materiaal (vnml. zand) werd de fractie 210-300 µm uitgezeefd. Bij een eerste analyse bleek met deze fractie de beste resultaten verkregen te worden. Bovendien was deze fractie voldoende groot. Er bleken bij beoordeling onder het (40x) binoculair 3 soorten korrels te zijn:

1. Gekleurde korrels.

2. Polykristallijne korrels.
1 en 2 werden bij de tellingen samengenomen tot de niet-restkwarts-groep.
3. Restkwarts korrels, die in praktisch alle tellingen meer dan 90% van het totaal uitmaakten. Van deze restkwarts korrels werd de mattering beoordeeld, het bleek hierbij mogelijk 3 klassen, te onderscheiden:
 - Transparante korrels (als glas),
 - Intermediaire korrels.
 - Praktisch geheel ondoorzichtige, gematteerde korrels.
 Deze mattering van de korrels wordt volgens de literatuur (o.a. Pannekoek 1973, blz.354) verkregen doordat tijdens windtransport (dekzanden!) de korrels veelvuldig botsen waardoor er een ge-etst oppervlak ontstaat (mattering). Er werd geteld tot een totaal van 200 restkwarts korrels was bereikt. Verder werd nog het percentage werkelijk scherpe korrels bepaald.

c. Bespreking van de resultaten.

Bij de beoordeling van de resultaten is er van uitgegaan dat de bovengrens van de puinwaaiers in het onderzochte gebied gemarkeerd wordt door de Beuningen Grindlaag en dat de afzettingen eronder grotendeels niveo-fluviatiel van aard zijn (uitgezonderd o.a. het Ouder Dekzand I) en dat boven de Beuningen Grindlaag de karakteristieke opeenvolging Ouder Dekzand II - Jonger Dekzand I - Laag van Usselo - Jonger Dekzand II te vinden is. Alleen wanneer met zekerheid was vast te stellen tot welke afzetting het betreffende monster behoorde, werd het %-transparante korrels gebruikt om het gemiddelde percentage voor die afzetting te bepalen. De Beuningen Grindlaag, de Laag van Usselo en het bruine Allerød-veen waren hierbij gidshorizonten. Tevens werd er onderscheid gemaakt tussen het gordeldekzandgebied en de Gelderse Vallei. In figuur 4 staan de resultaten weergegeven.

Uit deze cijfers blijkt duidelijk dat de dekzanden boven de Beuningen Grindlaag relatief weinig transparante korrels bevatten (24 tot 30%) en dat de Beuningen Grindlaag gekenmerkt wordt door een zeer laag percentage (19 tot 21%). Het Ouder Dekzand I neemt een overgangspositie in (34 tot 37%). Terwijl het niveofluviatiele zand beneden de Beuningen Grindlaag gekenmerkt wordt door een hoog %-transparante korrels (43 tot 48%).

Als verklaring voor het feit dat er lokaal in het Jonger Dekzand II zandlagen met een hoog %-transparante korrels is ingeschakeld gelden de volgende mogelijkheden:

- Het betreft hier over zeer korte afstand eolisch verplaatst niveo-fluviatiel zand (er is nog nauwelijks mattering opgetreden).
- Het betreft een niveofluviatiele inschakeling in het voor het overige eolische Jonger Dekzand II. In v.d. Hammen & Maarleveld (1958) wordt ook over een afspoelingsfase tijdens de Jonge Dryas gesproken.

N.B. Met behulp van pollenanalyse is aangetoond dat het hier inderdaad om Jonger Dekzand II gaat.

In Bijlage 13 is verder het aantal monsters uitgezet tegen het %-transparante korrels. Tevens zijn hier de gemiddelde percentages van Figuur 4 in weergegeven. Uit deze Bijlage blijkt dat er duidelijk 2 hoofdgroepen te onderscheiden zijn:

1. %-transparante-korrels < 40%: hierin vallen de monsters van de dekzanden, de Beuningen Grindlaag en de Laag van Usselo.
2. %-transparante korrels > 40%: met een zeer duidelijk maximum tussen 43 en 45 %. Hierin vallen alle niveofluviatiele monsters.

1. <u>Eolisch materiaal:</u>			
AFZETTING	LOKATIE	GEMIDDELD % TRANSPARANTE KORRELS	AANTAL MONSTERS
Jonger Dekzand II	Gordeldekzandgebied	30	11
„ „	Randrug	24,5	6
Laag van Usselo	Gordeldekzandgebied	29	3
Jonger Dekzand I	„ „ „	27,5	14
„ „	Gelderse Vallei	24	9
Ouder Dekzand II	Gordeldekzandgebied	29	3
„ „	Gelderse Vallei	27,5	14
Beuningen Grindlaag	Gordeldekzandgebied	19,5	13
„ „	Gelderse Vallei	21	6
Ouder Dekzand I	Gordeldekzandgebied	37	2
„ „	Gelderse Vallei	34	5
2. <u>Niveo-fluviatiel zand:</u>			
Onder de Beuningen	Gordeldekzandgebied	43	5
Grindlaag	Gelderse Vallei	45,5	12
Beuningen Grindlaag	Gordeldekzandgebied	48	19
ontbreekt	Gelderse Vallei	48	15
Niveo-fluviatiele inschakeling in het Jonger Dekzand II	Gordeldekzandgebied	45,5	13

Figuur 4: Gemiddelde %-transparante korrels van: de diverse afzettingen.

Bijlage 14:

In boring 214 was de gehele opeenvolging van Jonger Dekzand II t/m het Ouder Dekzand I aanwezig. In boring 61 was de Beuningen Grindlaag dicht (binnen 60 cm) onder de oppervlakte aanwezig, zodat hier een serie monsters onder de Beuningen Grindlaag genomen kon worden (tot 400 cm onder de oppervlakte). Van de in totaal 11 monsters van beide boringen werden behalve tellingen van het %-transparante korrels ook korrelgrootte bepalingen gedaan (zie hoofdstuk 4.C.1.). Omdat de boringen lithologisch goed op elkaar aansloten zijn ze in Bijlage 14 samengevoegd. Hieruit blijkt dat beneden de Beuningen Grindlaag het %-transparante korrels veel groter is dan erboven. De dekzanden verschillen onderling weinig (26-31%), alleen het Ouder Dekzand I neemt weer een tussenpositie in.

Uit boring 117 (Gelderse Vallei) valt een overeenkomstig beeld af te leiden (zie Bijlage 14). De Beuningen Grindlaag en het Ouder Dekzand II erboven hebben het laagste %-transparante korrels (27%). Het niveofluviatiele zand het hoogste (43%) en het Ouder Dekzand II neemt weer een tussenpositie in.

Afronding van de korrels:

Een ander feit dat bij de tellingen opviel was dat het percentage werkelijk scherphoekige korrels praktisch altijd nul was: slechts in 2 monsters resp. 0,5% en 3,5%, de andere 208 monsters 0%. Als we dit feit vergelijken met tellingen van monsters uit gestuwde fluviatiele afzettingen zoals de Formatie van Urk (5 monsters uit de zandgroeve Maarn) dan valt direct het hoge percentage werkelijk scherphoekige korrels op: gemiddeld 9,5%. Ook het grotere percentage niet-restkwarts korrels is hier opvallend: 15,5% tegen ongeveer 5% bij de dekzanden en de niveofluviatiele afzettingen. Het %-transparante korrels van de Urk-monsters varieert zeer sterk: 20-50%, zodat hierover moeilijk wat te zeggen valt.

d. Enige globale conclusies.

1. Tijdens het niveofluviatiele transport daalt het percentage niet-restkwarts korrels van 15,5 tot 5% en het percentage werkelijk scherpe korrels van 9,5 naar 0%.

Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het transport in grote rivieren (Formatie van Urk) plaatsvindt in een dikke laag water (minstens enkele m's) waarbij de korrels weinig botsen of dat slechts met weinig energie doen.

Het niveofluviatiele transport is veel kleinschaliger en vindt plaats in ondiep (enkele dm's) water waarbij de korrels veel contact met elkaar hebben en al snel de scherpe puntjes verdwijnen. Bovendien heerste er ten tijde van de vorming van de niveofluviatiele afzettingen een extreem koud klimaat met sterke vorstverwerking, waarbij de relatief makkelijk verweerbare korrels (met name de polykristallijne) uiteen vielen.

Het percentage monokristallijne en daarmee moeilijk verweerbare restkwartskorrels werd daarbij residuair aangereikt. Mogelijk is er tijdens het niveofluviatiele proces ook een sortering opgetreden naar soortelijk gewicht, waardoor de zware mineralen (een deel van de niet-restkwartskorrels) op of vlakbij de stuwwal achterbleven.

2. Tijdens het eolische transport (vorming dekzanden!) is het %-transparante korrels gedaald van gemiddeld 44% naar 35 tot 20% als gevolg van de toenemende mattering van de korrels. Het percentage niet-restkwartskorrels is ongeveer gelijk gebleven. Het laagste %-transparante korrels wordt aangetroffen bij monsters uit de Beuningen Grindlaag waar de meest extreme mattering is opgetreden. Dit onderstreept nog eens dat de Beuningen Grindlaag een eolische oorsprong heeft en gezien moet worden als een keienvloer die overbleef nadat enkele m's niveo-fluviatiel zand als gevolg van winderosie verdwenen waren.

4. De pollenanalyse

a. Inleiding.

Op een 9-tal plaatsen in het veldwerkgebied zijn veenmonsters genomen om m.b.v. pollenanalyse de ouderdom van het veen vast te stellen.

Van de 9 veenmonsters werden er 7 genomen onder een laag dekzand die in dikte varieerde van 100 tot 190 cm. De laag zand werd dan eerst met een Edelmanboor doorboord, waarna het betreffende veenmonster m.b.v. een guts genomen werd.

De in totaal 96 pollenplaatjes werden geprepareerd volgens de Iversen-methode (Riezebos & Slotboom, 1978). In het kader van het bijvak Laaglandgenese (bij de VU Amsterdam) was al een cursus Palynologie gevolgd zodat de tellingen door mijzelf verricht konden worden daarbij geassisteerd door Dr. R.T. Slotboom en Frans Poeteray.

Bij een eerste beschouwing bleken 7 van de 9 veenmonsters een Laatglaciale ouderdom te hebben zodat daarvoor bij de weergave van de diagrammen de Iversen-methode werd aangehouden (boompollen en de pollen van Ericaceae, Cyperaceae, Gramineae, Artemisia, Helianthemum en Chenopodium bepalende de pollensom, in dit geval meestal 200).

Aan de Vrije Universiteit was tevens recentelijk een computerprogramma gereedgekomen waarmee de pollendiagrammen getekend konden worden.

b. Opmerkingen:

1. De zoneringen zijn volgens de indeling van Firbas. De zones III, II, Ic, Ib, Ia komen respectievelijk overeen met: Jonge Dryas, Allerød, Oude Dryas, Bølling en Oudste Dryas.
2. In v.d. Hammen (1951) wordt het pollendiagram "Den-Treek" besproken. De veenlaag die van Allerød ouderdom bleek te zijn was aanwezig onder een enkele meters dikke dekzand laag. De overstuiving met zand moet in de Jonge Dryas hebben plaatsgevonden. Ook Florschütz (1939) kwam voor een naburig veenmonster "De-Treek" (eveneens onder enkele meters dekzand) tot een Laatglaciale ouderdom. Ook vindt hij in het bovenste spectrum enkele procenten Corylus en Alnus. Dit is tevens het geval met een pollendiagram in Maarleveld & v.d. Schans (1961), uit de omgeving van Leusden-Centrum in de Gelderse Vallei.
3. Monster 129 bleek jammer genoeg niet geschikt te zijn voor pollenanalyse. Het pollenbeeld was zeer chaotisch en op grote diepte kwam al Fagopyrum (Boekweit) voor. Vermoedelijk is vergraving door de mens de oorzaak hiervan.

c. Bespreking van de resultaten.

85 Ooievaarshorst (155,5-458,3): Bijlage 15.

Locatie: dit monster is genomen in de randrug. 50 m oostelijk gaat het gordeldekzandgebied met een duidelijke sprong van 2 m over in de lager gelegen Gelderse Vallei.

De volgende zones kunnen onderscheiden worden:

- 0 - 151 cm: III (Jonge Dryas). Zand.
Het dekzand gaat abrupt over in de onderliggende veen laag, waaruit geconcludeerd kan worden dat de dekzand afzetting waarschijnlijk heeft plaatsgevonden in de Jonge Dryas. Deze waarschijnlijkheid wordt ondersteund door de afname van *Pinus* en *Betula* en door de toename van *Cyperaceae*, een lichte stijging van *Artemisia*.
- 151-162 cm: IIb (Allerød). Zandig veen.
%-kruiden neemt af tot 30%. *Pinus* en *Betula* overheersend. *Ericaceae* speelt nauwelijks een rol. Vegetatie: parkbossen waarin eerst *Betula* overheerst en later *Pinus*; in de lagere delen veenvorming.
- 162-170 cm: IIa (Allerød). Veen.
Afname %-kruiden. *Betula* dominant, *Pinus* relatief laag. Sterke afname *Artemisia*. *Chenopodium*, *Helianthemum*, *Juniperus* en *Selaginella* verdwijnen of worden zeer gering. Sterke toename *Equisetum*.
Milieu: Vanaf deze diepte hebben we te maken met zuiver veen. De sterke afname van *Pediastrum* en *Menyanthes* duiden op een verlanding.
- 170-177 cm: Ic (Oude Dryas). Zandig veen.
%-kruiden hoog (vooral *Cyperaceae*, *Artemisia* en *Gramineae*).
Verder *Selaginella*, *Chenopodium* en *Helianthemum* aanwezig. *Juniperus* bereikt zijn maximum in deze zone. Vegetatie: open parktoendra met verspreide groepjes bomen, vnl. *Betula*, *Salix* en *Juniperus*.
Uit de lithologie blijkt dat er in zone voortdurend zandaanvoer moet hebben plaatsgevonden die echter bij de bovengrens van zone I ophield.
- 177-189 cm: Ib (Bølling). Veen.
%-kruiden neemt af. *Betula* dominante boomsoort, *Pinus* laag en *Artemisia* stijgt tot 12%. *Selaginella* aanwezig. De andere steppe-elementen zijn aanwezig.
Vegetatie: parklandschap met berkenbossen.
Milieu: vrij vochtig (de aanwezigheid van *Menyanthes* en *Pediastrum* duiden op het bestaan van open water ter plaatse).
- +189 cm: Ia (Oudste Dryas). Veen.
%-kruiden: hoog (vooral *Cyperaceae*, maar ook *Artemisia* (lichtminner), verder *Selaginella* (koudeminnend mos). Vegetatie: toendra.

N.B. Voor de overige Laatglaciale diagrammen dient dit profiel als referentiediagram.

21-Vosheuvel (156,2-461,7) - Bijlage 16.

Locatie: de Vosheuvel is één van de relatief hoge (tot 15 m) en steile heuvels die in een keten achter elkaar aan de oostoever van de Heiligerbergerbeek in het noordelijk deel van het veldwerkgebied voorkomen. Mogelijk vormen zij een voortzetting van de randrug.

- 0 - 103 cm: matig fijn dekzand, zodat ook hier een abrupt einde van de veenvorming plaatsvond (begin van de Jonge Dryas tijd).
- 103 - 114 cm: IIb (Allerød). Veen.
%-kruiden neemt sterk af. *Pinus* dominant.
Lithologie: in het hele profiel 21 is zand aanwezig in het veen.
- 114 - 126 cm: Ic (Oude Dryas). Veen.
%-kruiden hoog, vnl., *Cyperaceae*. *Betula* belangrijkste boomsoort. *Artemisia* onderin belangrijk.

75. Ingeborg (155,2-459,2)

Hier slechts 1 plaatje waarvan het spectrum te plaatsen: is op de overgang van zone I naar zone II, dus het begin van de Allerød.

87-Heetveld (155,0-456,3) - Bijlage 16.

Locatie: op 100 m van de oostgrens in het gordeldekzandgebied genomen dat hier met een flauwe helling (0,5°) overgaat in de Gelderse Vallei.

Makroresten:

141 - 159 cm: Hypnaceën–Carex veen.

159 - 165 cm: Carex-Hypnaceën veen.

De volgende zones kunnen onderscheiden worden:

- 0 – 141 cm: III (Jonge Dryas). Onderscheiden op grond van de lithologie (matig fijn zand).
- 141 - 155 cm: IIb (Allerød). Veen.
%-kruiden neemt verder af, Pinus-% zeer hoog. Bovenin deze zone treedt er een daling van Pinus op en een stijging van Cyperaceae en Gramineae (overgang naar zone III).
- 155 - 162 cm: IIa (Allerød). Veen.
Afname %-kruiden. Betula dominant.
- + 162 cm: Ic (Oude Dryas). Veen.
%-kruiden erg hoog, vnl. Cyperaceae.

160-Hazenwater (154,9-460,1) - Bijlage 17.

Locatie: 100 m ten noorden van een vochtige laagte in het gordeldekzandgebied.

Zonering:

- 0 - 183 cm: matig fijn zand met een goed ontwikkeld podzolprofiel (Jonge Dryas).
- +183 cm: IIb (Allerød). Veen.
Pinus en Betula erg hoog evenals Salix, hoewel dit laatste veelal een lokale oorzaak heeft.

164 Groot Loevezijn (155,1-456,9) - Bijlage 17.

- 0 - 191 cm: matig fijn zand met een goed ontwikkeld podzolprofiel (Jonge Dryas).
- +191 cm: IIb (Allerød). Veen. %-Pinus zeer hoog.

178 Lockhorst (156,1-460,9) - Bijlage 17.

- 0 - 65 cm: oud-bouwlanddek.
- 65 – 95 cm: zandig veen waarin alle monsters minimaal enkele procenten Fagopyrum (boekweit) vertonen. Dit duidt op een Jong-subatlantische ouderdom van het veen (zone 10A).
- 95 - 180 cm: matig fijn zand (Jonge Dryas).
- 180-189 cm: IIb (Allerød). Veen. Hoog Pinus-%, laag kruiden-%. Bovenin IIb is de terugval van Pinus en de toename van de kruiden opvallend
- +189 cm: IIa (Allerød). Veen. Betula 22%. Kruiden 70%.

d. Conclusies van het pollenonderzoek met betrekking tot het Laat-Glaciaal.

Op 7 verschillende plaatsen in het gordeldekzandgebied zijn veenmonsters genomen van veenlagen die onder enkele meters dekzand aanwezig waren. In alle 7 de gevallen bleek het veen in de Allerød tijd en soms ook daarvoor (Oude Dryas, Bølling) gevormd te zijn. Ook v.d. Hammen (1951) en Florschütz (1939) kwamen tot eenzelfde ouderdomsbepaling. Aangezien in het hele gordeldekzandgebied (m.u.v. de stuifzandgebieden) goed tot zeer goed ontwikkelde podzolen profielen voorkomen en uit de literatuur (v.d. Hammen & Wijmstra, 1971) bekend is dat vanaf het Pré-Boreaal er een aaneengesloten bosvegetatie was, kunnen we stellen dat de laag zand boven de veenlaag in de Jonge Dryas moet zijn afgezet en dus overeen komt met het Jonger Dekzand II. Ook het feit dat er nergens in het gordeldekzandgebied veen uit de Jonge Dryas of het Pré-boreaal gevonden is onderstreept dat de overstuiving met dekzand in de Jonge Dryas moet hebben plaatsgevonden.

e. Holocene profiel.

220 Waswater (154,1-4:58,5) - Bijlage 18.

Locatie.: Een vochtige laagte, rond 1935 drooggelegd door de Heidemij, waarin nog op sommige plaatsen een laag zwart (zandig) veen aanwezig is. Vermoedelijk was er vroeger in de gehele laagte veengroei, maar is er door afgraving veel van verdwenen.

Monster 220 is genomen onder een dunne laag (55 cm) stuifzand dat waarschijnlijk afkomstig is van een vlak hiernaast gelegen stuifzandgebied. Onder het veen komt een zeer sterk ontwikkeld podzolprofiel voor. Verder is er in het veen veel zand aanwezig en bevat het relatief weinig plantenvezels. De volgende zones kunnen onderscheiden worden:

- 0 - 57 cm: stuifzand.
- 57 - 66 cm: H-VIII (Sub-Boreaal). Veen.
Fagus meer dan 2%. Ulmus relatief laag. Bovenin deze zone verschijnen de Cerealia in het spectrum, verder is er sprake van een Ericaceae-explosie. De overgang van het veen naar het zand markeert hoogstwaarschijnlijk een hiaat (de aanwezigheid van Cerealia zou hier op kunnen duiden). Deze overgang wordt ook gemarkeerd door een toename van het zandgehalte van het veen. Dit met het feit dat de Ericaceae sterk toenemen kan een aanwijzing zijn voor een afname van de bosdichtheid (menselijke activiteit?).
- 66 - 89 cm: H VII (Atlanticum).
Hoge percentages Quercetum Mixtum (Quercus, Ulmus, Tilia, Fraxinus, Alnus, Corylus). Pinus en Betula laag. In deze zone wordt sporadisch Fagus aangetroffen.
- +90 cm: Podzol profiel. Zand.

Conclusies:

1. De podzol is van Boreale en Atlantische ouderdom.
2. De afzetting van stuifzand heeft ná het Sub-Boreaal plaatsgevonden.
3. De laagte is waarschijnlijk in het Laat-Glaciaal ontstaan en dus niet door uitgraving of door winderosie o.i.v. de mens ontstaan.

D. GEOLOGISCHE DEELKAARTEN EN DWARSPROFIELEN

Met behulp van de gegevens verkregen uit de boringen en uit het laboratoriumonderzoek bleek het mogelijk 3 kaarten met boorgegevens en 3 dwarsprofielen te produceren die een inzicht geven in de geologische opbouw van het veldwerkgebied.

Bijlage19: diepte waarop de Beuningen Grindlaag of niveo-fluviatiel zand werd aangetroffen.

Tezamen met de gegevens van de boringen waarbij deze afzettingen niet werden aangetroffen (vanwege een te dikke dekzand bedekking) kon een kaartje met de hoogtelijnen van het oppervlak van de puinwaaiers worden gereconstrueerd. Daarbij werd ervan uitgegaan dat de bovenzijde van de puinwaaiers wordt gemarkeerd door de Beuningen Grindlaag of het niveofluviatiel zand en dat er zich boven deze afzettingen het Ouder Dekzand II en/of het Jonge Dekzand bevinden.

Uit het kaartje blijkt dat de puinwaaiers die in een 200-700 m brede zone aan de voet van de stuwwal aan de oppervlakte liggen geleidelijk naar het oosten wegduiken ónder het gordeldekzand.

De helling is in het westelijk deel van het gordeldekzandgebied relatief steil (0,5 tot 1,0%) en praktisch overal wordt hier de Beuningen Grindlaag aangetroffen. De puinwaaiers vertonen in dit gedeelte een min of meer duidelijke conusvorm waarbij opvallend is dat de 3 zuidelijke puinwaaiers min of meer één geheel vormen. Hetzelfde geldt voor de 3 daar noordelijk van gelegen puinwaaiers waarbij met name de zesde puinwaaier (behorende bij een zeer groot droog dal) goed in de hoogtelijnen te herkennen is. Verder oostwaarts hebben de puinwaaiers zich net als in de Gelderse Vallei aaneengesloten tot één vlak dat zeer zwak helt naar het oosten (0,3-0,1%). In dit gedeelte wordt slechts op enkele plaatsen, niveo-fluviatiel zand onder een dik dekzandpakket aangetroffen.

In de Gelderse Vallei wordt de Beuningen Grindlaag weer praktisch overal aangetroffen en vertoont wat hoogteligging betreft een nagenoeg vlakke ligging.

Door middel van het boren van 8 oost-west verlopende dwarsprofielen van ongeveer 500 m lengte, bleek het mogelijk de Pleniglaciale hoofdgeul aan te tonen. Kenmerken: het ontbreken of pas op grote diepte voorkomen van de Beuningen Grindlaag en de opvulling met dekzand en veen.

Met name de oostgrens van de geul was zeer nauwkeurig te bepalen, de westgrens (die zich ónder het gordeldekzand bevindt) leverde veel meer problemen op vanwege de dikke dekzandpakketten aldaar.

In het zuiden (156-457) blijkt er zich een geul vanuit het oosten bij de Pleniglaciale hoofdgeul te voegen. Vermoedelijk was dit de voorloper van de Lunterse- of Heiligenbergerbeek. Opvallend is echter dat de (holocene) smalle (10 m) beek grotendeels buiten de Pleniglaciale geulen blijft. Ook is te zien dat het gordeldekzand (vnml. Jonger Dekzand II) bijna overal tot in of net over de Pleniglaciale hoofdgeul reikt. In hoofdstuk 5 zal hierop nader worden ingegaan.

Bijlage 20: Afzettingen uit de Allerød.

1. Uit de literatuur was al bekend dat de Laag van Usselo in grote delen van Nederland voorkomt. C-14 dateringen leveren steeds een Allerød-ouderdom op. (v.d. Hammen 1951, v.d. Hammen & Wijmstra, 1971).
2. De harde compacte laag (fragipan): hierin zijn op enkele plaatsen in het onderzochte gebied houtskoolstukjes gevonden, zodat ook hiervoor vermoedelijk een Allerød ouderdom geldt. Ook v.d. Hammen & Wijmstra (1971) plaatsen deze fragipan in de Allerød.
3. Het bruine veen: de Allerød ouderdom hiervan is op overtuigende wijze aangetoond in hoofdstuk 4.C.4.

In Bijlage 20 is de vindplaats en de hoogteligging van deze afzettingen weergegeven. Onder het gordeldekzandgebied en in de Pleniglaciale hoofdgeul worden praktisch altijd Allerød afzettingen aangetroffen. Op een groot aantal plaatsen was het Jonger Dekzand II pakket dikker dan het boorbereik (4,4 m). Het kaartje geeft dus een indruk van het Oude Dryas oppervlak waarop later de diverse Allerød afzettingen tot ontwikkeling konden komen. Het Oude Dryas-oppervlak is zwak golvend en helt geleidelijk naar het oosten. Boven de 4,8 m wordt er de Laag van Usselo aangetroffen er beneden het bruine veen. Het in overvloed aanwezig zijn van Allerød-afzettingen onder het centrale en oostelijke deel van het gordeldekzandgebied toont aan dat er aldaar in de Jonge Dryas nauwelijks winderosie van het Oude Dryas oppervlak heeft plaatsgevonden.

De laagten in het gordeldekzandgebied vormen geen aaneengesloten eenheid, ertussen wordt praktisch nooit de Allerød fragipan aangetroffen. Mogelijk hangt dit samen met de conusvorm van de puinwaaiers. Als we de hoogste delen van de puinwaaiers in oostwaartse richting vervolgen dan vinden we op die plaatsen juist geen laagten. Wel wordt hier in een hogere ligging t.o.v. NAP de Laag van Usselo aangetroffen. In de lagere delen tussen de puinwaaiers in trad vermoedelijk het grondwater uit en werd de typische Allerød-fragipan gevormd, die later (in de Jonge Dryas) verantwoordelijk zou zijn voor het ontstaan van de laagten.

De oostgrens van het Jonger Dekzand II is veelal als een randrug ontwikkeld en wordt gekenmerkt door het voorkomen van dikke Allerød veenpakketten die in de Pleniglaciale hoofdgeul tot ontwikkeling konden komen.

In de Gelderse Vallei, waar het Oude Dryas-reliëf aan de oppervlakte ligt, werden geen Allerød afzettingen aangetroffen. Mogelijk is er in de lage vochtige delen sprake geweest van Allerød-veen maar is dit grotendeels door afgraving verdwenen.

Bijlage 21: Globale dikte van de dekzandpakketten bóven de Beuningen Grindlaag.

Met behulp van de Hoogtekaart 1:25.000 en Bijlage 19 (hoogtelijnen puinwaaieroppervlak) kon de totale dikte van het dekzandpakket bóven de Beuningen Grindlaag (Ouder Dekzand II, Jonger Dekzand I en II) in een kaartje weergegeven worden. De dunste dekzandpakketten (overwegend dunner dan 1 m) vinden we:

1. Op de stuwwal en dat deel van de puinwaaiers dat direct aan de voet van de stuwwal ligt (globaal boven de 8 tot 10 m +NAP). Op de stuwwal komen wel windafzettingen voor, maar omdat het hier meestal om stuifzand gaat is de dikte ervan niet in de kaart weergegeven.
2. In de Gelderse Vallei. Alleen in de hogere ruggen komen diktes van meer dan 1 m voor.

In het gordeldekzandgebied variëren de diktes van 1 tot meer dan 10 m. Zowel langs de oost- als westgrens komen zones voor met 1 tot 3 m dikke dekzandlagen. In het centrale deel van het

gordeldekzandgebied komen de dikste dekzandpakketten voor: 5 tot 10 m, lokaal zelfs meer dan 10 m.

Bijlage 22: De dwarsprofielen.

Aan de hand van deze 3 kaartjes, de boorgegevens en het laboratoriumonderzoek konden er een 3-tal west-oost verlopende dwarsdoorsneden samengesteld worden (ligging zie Bijlage 7).

Wat valt er uit deze dwarsdoorsneden te concluderen:

1. De puinwaaiers hellen geleidelijk naar het oosten af en hebben in de Gelderse Vallei een nagenoeg vlakke ligging.
2. De Pleniglaciale hoofdgeul komt in alle 3 de dwarsdoorsneden duidelijk naar voren. Ook is goed de opvulling met Allerød veen, Jonger Dekzand I en Ouder dekzand II van de geul te zien.
3. Een maximaal 1 m dikke laag Ouder Dekzand II komt, in een noord-zuid verlopende zone, in het westelijk deel van het gordeldekzandgebied voor en verder overal in de Gelderse Vallei als een 0,5 tot 1 m dikke laag.
4. Overal in het gordeldekzandgebied zijn het Jonger Dekzand I en II goed te scheiden d.m.v. Allerød-afzettingen. De Jonger Dekzand I en II lagen zijn bijna altijd dikker dan 1 m.
5. Overal markeert een goed ontwikkeld podzolprofiel het oppervlak van het gordeldekzandgebied, behalve daar waar o.i.v. de mens zandverstuivingen zijn opgetreden.
6. Duidelijk is te zien dat de laagten gebonden zijn aan het voorkomen van een fragipan in de ondergrond.
7. Boven ongeveer 4,8 m +NAP vinden we de Laag van Usselo, er beneden het Allerød-veen.
8. Er komen vrijwel geen afzettingen uit de Bølling-periode voor.

5. DE GENESE VAN HET ONDERZOCHE GEBIED.

A. INLEIDING

Op grond van de voorgaande hoofdstukken, waarin voornamelijk de feiten besproken zijn zoals die bij het veldwerk, in het laboratorium en uit de literatuur verkregen zijn, is het nu mogelijk om tot een beschrijving van de genese van het onderzochte gebied te komen (interpretatie).

In chronologische volgorde zullen de diverse geologische perioden besproken worden, voor zover ze van belang zijn voor de diverse vormen en afzettingen in het veldwerkgebied. Van iedere periode zullen de volgende punten besproken worden:

1. Klimaat.
2. (Grond) water regime.
3. Vegetatie.
4. De belangrijkste geomorfologische processen.
5. De vormen en afzettingen die een resultaat van deze processen waren.

Bij deze bespreking hoort **Bijlage 23**, waarin m.b.v. een aantal schetsen getracht zal worden de genese van het onderzochte gebied nader te verduidelijken. In de bespreking wordt uitgegaan van de situatie in het veldwerkgebied zoals die was aan het begin van het Weichselien (Vroeg-Glaciaal): een enkele km's brede noord-zuid verlopende stuwwal met ten oosten daarvan een glaciaal tongbekken dat tot ongeveer 10 m -NAP opgevuld was met fluvioglaciale sedimenten uit het Saalien en mariene c.q. organogene Eemien afzettingen.

B. HET VROEG-GLACIAAL EN PLENIGLACIAAL TOT 15.500 BP

Gedurende grote delen van deze periode heerste er een zeer koud en vochtig klimaat met nauwelijks vegetatie en een permanent bevroren ondergrond. Als gevolg hiervan konden het sneeuwmeltwater en het regenwater alleen oppervlakkig afgevoerd worden (externe drainage). Dit had tot gevolg dat vooral in het voorjaar en de zomer, wanneer de bovengrond ontdooide, er op de hellende terreindelen (stuwwallen) een sterke afspoeling en gelifluctie optrad. Dit leidde tot de vorming van erosiedalen die blijkens de Geomorfologische Kaart (Bijlage 4) een groot deel van de stuwwalflanken versneden hebben. De erosiedalen waren reeds in het Saalien ontstaan en werden in het Weichselien verder

uitgediept. Het weg-geërodeerde materiaal (vnml. zand en wat grind) accumuleerde aan de voet van de stuwwallen in de vorm van grote puinwaaiers (zie Bijlage 19), die het tongbekken van de Gelderse Vallei met meer dan 10 m voornamelijk niveo-fluviatiel sediment opgevuld hebben.

De puinwaaierzone nabij de stuwwal vertoont een relatief steile helling (0,5 tot 1,0%) en min of meer een conusvorm. Deze zone gaat met een knik over in een zeer flauw aflopend (0,3 tot 0,1%) benedenstreams deel van de puinwaaiers waarbij deze zich verenigd hebben tot één plat vlak. In het oostelijke deel van de Gelderse Vallei voltrokken zich dezelfde processen alleen daar waren de stuwwallen aanzienlijk breder, zodat er meer materiaal werd weg-geërodeerd en er dus grotere puinwaaiers gevormd werden. Dit is de reden waarom het "zwaartepunt" van de puinwaaiers in het tongbekken van de Gelderse Vallei asymmetrisch t.o.v. de Utrechtse Heuvelrug ligt. In dit "zwaartepunt" verzamelde zich het sneeuwsmeltwater dat vandaar in noordelijke richting afgevoerd werd door de zgn. Pleniglaciale hoofdgeul (zie Bijlage 19). Niet alleen in het onderzochte gebied is deze Pleniglaciale hoofdgeul aangetroffen, maar ook meer zuidelijk in de Gelderse Vallei bij Overberg en Veenendaal (zie Geom.Kaart 1:50.000, Blad 32 W+0).

De Gelderse Vallei vertoont een zeer geleidelijk (0,1%) naar het westen afhellend (puinwaaier-) oppervlak. Dit valt o.a. af te leiden uit de evenwijdig noord-zuid verlopende hoogtelijnen in dit gebied (zie de Top.Kaarten 32 G+E en 39 E+F). Op dit flauw naar het westen hellende puinwaaier-oppervlak stroomde vooral in het voorjaar en zomer grote hoeveelheden water af via een aantal oost-west verlopende geulen van enkele honderden meters breedte (zie ook de Geom.Kaart 1:50.000 Blad 32 W+O). Het ging hierbij vermoedelijk om afvoer van korte duur (zie: Ming-Ko, 1980). Deze geulen of beekdalen zijn nu nog vaak goed in het terrein te herkennen. Op deze puinwaaiersystemen kwam het tijdens drogere perioden lokaal tot verstuiwing van het in grote hoeveelheden aanwezige niveofluviatiele zand. Dit leidde dan tot de afzetting van dekzanden, waarvan het Ouder Dekzand I een goed voorbeeld is. Maar toch kan gesteld worden dat gedurende deze periode niveofluviatiele sedimentatie het overheersende proces was in het tongbekken van de Gelderse Vallei.

C. HET BOVEN-PLENIGLACIAAL VAN 15.500 TOT 14.650.

In de loop van het Boven-Pleniglaciaal trad er een klimaatsverandering op van koud en vochtig naar koud en droog, waarbij de permafrost grotendeels verdween. Het gevolg hiervan was dat er een drastische wijziging optrad in het grondwaterregime: van externe naar interne drainage. Hierbij ging het grondwater in het hele veldwerkgebied een niveau innemen dat in grote lijnen overeenkomt met het huidige grondwaterniveau. Op de stuwwal, op de hogere delen van de puinwaaiers en op de wat hoger gelegen terreindelen tussen de beekdalen (geulen) van de Gelderse Vallei trad er als gevolg van deze daling van het grondwaterniveau een sterke uitdroging op waarbij met name in het redelijk tot goed gesorteerde grindhoudende niveofluviatiele zand op grote schaal winderosie kon plaatsvinden. Daarbij werd het fijne materiaal (zand en silt) weggeblazen en bleef een keienvloer van grind en stenen achter: de Beuningen Grindlaag.

Vermoedelijk zijn hierbij enkele meters niveo-fluviatiel zand de lucht ingegaan. De windwerking moet zeer sterk geweest zijn getuige de vele windkanters en gelakte steentjes die in de Beuningen Grindlaag worden aangetroffen. Het weggeblazen zand accumuleerde in de vorm van horizontaal gelaagde dekzanden, die gekenmerkt worden door een afwisseling van laagjes zand met lemige laagjes (Ouder Dekzand II). Een verklaring voor deze afwisseling zou kunnen zijn dat de zandlaagjes ontstonden a.g.v. lokale zandaanvoer (enkele km's) en dat gedurende bepaalde perioden deze aanvoer ophielde door een tijdelijke klimaatsverbetering gepaard gaand met een wat dichtere vegetatie, waarbij dan slechts zeer fijn siltig materiaal tot afzetting kon komen dat over enkele honderden km's afstand door de lucht vervoerd was (vermoedelijk aangevoerd uit meer noordelijk gelegen streken, waar nog wel uitgebreide winderosie kon optreden).

In praktisch alle boringen in het onderzochte gebied bleek het voorkomen van het Ouder Dekzand II direct gekoppeld te zijn aan de aanwezigheid van de Beuningen Grindlaag. Daar waar het Ouder Dekzand II ontbreekt is ook de Beuningen Grindlaag afwezig. Een mogelijke verklaring hiervoor, is dat in de zone ten oosten van de puinwaaiers-knik (beneden 4,5 m +NAP) het stuwwalgrondwater aan de oppervlakte kwam en het milieu aldaar te vochtig was voor verstuiwing (zie ook Bijlage 22). Ook in de Pleniglaciale hoofdgeul was het vermoedelijk te vochtig om tot winderosie aanleiding te geven. Zelden wordt hier de Beuningen Grindlaag aangetroffen. Wel werd de geul ten dele opgevuld met Ouder Dekzand II.

D. HET BØLLING INTERSTADIAAL (14.650-14.000 BP)

In deze korte periode trad er een aanzienlijke klimaatsverbetering op. Op de hogere gronden ontwikkelde zich op veel plaatsen een bosvegetatie, in de lagere vochtige terreindelen begon o.i.v. een rijkere moerasvegetatie de veenvorming van belang te worden (zie ook pollendiagram 85, Bijlage 15). In de hogere delen van het gordeldekzandgebied zijn nergens afzettingen uit het Bølling-Interstediaal aangetroffen, vermoedelijk is deze horizont a.g.v. winderosie in de Oude Dryas verdwenen.

E. HET OUDE DRYAS STADIAAL (14.000-13.900 BP)

Wederom trad er een klimaat-verslechtering op waarbij de boomvegetatie grotendeels verdween en er op grote schaal winderosie kon plaatsvinden. Hierbij werd het Jonger Dekzand I afgezet: leemarm, matig fijn, goed gesorteerd zand. Dikke pakketten Jonger Dekzand I accumuleerden vooral in een ongeveer 1500 m brede zone aan de voet van de stuwwal (zie Bijlage 22 Dwarsdoorsneden). Omdat bijna nergens in dit gebied een Bølling-horizont wordt aangetroffen bestaat mogelijk een groot deel van dit Jonger Dekzand I uit gerésedimenteerd Ouder Dekzand II.

In de Gelderse Vallei vond er vnl. op de hogere, drogere delen tussen de beekdal(en) (geulen) in verstuiwing plaats waarbij lage (meestal minder dan 1,5m) en brede ruggen gevormd werden. Langs de vochtige beekdal(en), waarin zich vermoedelijk nog wél vegetatie kon handhaven, werden plaatselijk de wat hogere, steilere en langgerekte geulrand-dekzandruggen gevormd, vermoedelijk a.g.v. de daar aanwezige vegetatie. Het feit dat in grote delen van het onderzochte gebied de Beuningen Grindlaag aanwezig is doet vermoeden dat het niveofluviatiele zand nauwelijks als leverancier van het Jonger Dekzand I kan hebben opgetreden. Vermoedelijk is dus het Ouder Dekzand II, vooral daar waar het in wat hogere ruggen voorkwam, de bron van het Jonger Dekzand I geweest. Deze veronderstelling wordt ondersteunt door de afwezigheid van de Bølling-horizont in het gordeldekzandgebied en in de Gelderse Vallei.

F. HET ALLERØD INTERSTADIAAL (13.900-12.850 BP)

Gedurende bijna 1000 jaar heerste er een relatief warm klimaat, waarbij zich op de hogere gronden een gesloten bosvegetatie ontwikkelde. Op de hogere, relatief steil hellende delen van de puinwaaiers kon in een droog milieu op een 1- & 2 m dikke laag dekzand de typische Laag van Usselo tot ontwikkeling komen.

Aan de voet van deze steiler afhellende puinwaaier delen trad op hoogten tussen 5 en 6 m +NAP het intern getransporteerde grondwater van de stuwwal uit en gaf daar aanleiding tot de vorming van fragipans (aanrijking van ijzer en mangaan d.m.v. opstijgend grondwater). Deze bodemvorming zal nog versterkt zijn door de geleidelijke verzuring tijdens het Allerød-Interstediaal o.i.v. de Pinus vegetatie. Dit proces vond vnl. plaats tussen de conussen van de puinwaaiers in, waar het terrein vermoedelijk enkele meters lager geweest moet zijn. Dit verklaart waarom de in de Jonge Dryas gevormde laagten geen aaneengesloten geheel vormen.

Enkele honderden meters oostwaarts, ongeveer beneden 5 m +NAP, ontstonden uitgestrekte moerassen die tot aan de Pleniglaciale hoofdgeul reikten. In deze moerassen werd vooral Sphagnum- en Hynaceën-veen gevormd. Plaatselijk vond er in dit gebied op hogere ruggen vorming van de Laag van Usselo plaats.

G. HET JONGE DRYAS STADIAAL (12.850-11.650 BP)

In deze laatste stuiptrekking van het Weichselien-Glaciaal verdween de bosvegetatie met name op de hooggelegen droge terreindelen, zoals de stuwwal en die delen van de puinwaaiers die globaal boven de 8 m +NAP liggen en kon er aldaar winderosie optreden waarbij, verder oostelijk, het Jonger Dekzand II werd afgezet (matig fijn, leemarm, goed gesorteerd zand). Omdat bijna in het hele gordeldekzandgebied afzettingen uit het Allerød-Interstediaal voorkomen en het Jonger Dekzand II ontbreekt in de Gelderse Vallei, moet het Jonger Dekzand II afkomstig zijn van de stuwwal en het boven de 8 m +NAP gelegen deel van de puinwaaiers. Uit de dwarsprofielen (Bijlage 22) blijkt dat de Laag van Usselo "dagzoomt" op ongeveer 8 m +NAP, verder westelijk is deze laag door winderosie verdwenen.

Mogelijk is er in de Oude Dryas tijd aan de voet van de stuwwal (luwtewerking) een grote hoeveelheid Jonger Dekzand I afgezet, die daar vervolgens in de Jonge Dryas tijd a.g.v. winderosie in oostwaartse richting vandaan verplaatst werd. In het overige deel van het gordeldekzandgebied was de vegetatie te armzalig om de aanvoer van Jonger Dekzand II uit het westen te kunnen stoppen. Wél is uit het voorkomen van tal van hoge dekzandruggen de mogelijke invloed van boomvegetatie op de dekzandsedimentatie af te leiden.

Daar waar een Allerød-fragipan aanwezig was, en er daardoor een grotere vochtigheid heerste, kon zich een rijkere boomvegetatie handhaven waardoor er daar weinig of geen Jonger Dekzand II werd afgezet. In de laagten die hiervan het resultaat waren komt slechts een dunne laag Jonger Dekzand II voor. Het grootste deel van het Jonger Dekzand II accumuleerde echter aan de rand van deze laagten in soms wel 7 m hoge landduinen (zoals ten ZO van het Hazenwater). Ook langs de andere laagten in het gordeldekzandgebied treffen we relatief hoge ruggen aan (zie Bijlage 4: Geomorfologische Kaart).

Verder oostwaarts trof het Jonger Dekzand II slechts een lage moerasvegetatie aan en kon in dat gebied ongehinderd accumuleren en zich verder oostwaarts verplaatsen. We treffen hier soms meer dan 5 m dikke dekzandpakketten aan die a.g.v. de afwezigheid van een boomvegetatie veelal een vlakke tot zwak golvende topografie vertonen. Pas daar waar een min of meer aaneengesloten bosvegetatie aanwezig was, kon het Jonger Dekzand II effectief tot staan worden gebracht. Dit was het geval in de lage vochtige Gelderse Vallei, waar praktisch nergens het Jonger Dekzand II wordt aangetroffen. Met name in de al grotendeels met Ouder Dekzand II en Jonger Dekzand I en Allerød-veen opgevulde Pleniglaciale hoofdgeul moet zich een duidelijke bosvegetatie bevonden hebben getuige de vele takresten die aldaar in het veen worden aangetroffen.

Uit Bijlage 19 blijkt duidelijk dat de oostgrens van het gordeldekzandgebied aan deze Pleniglaciale hoofdgeul gebonden is. Op veel plaatsen is op de oostgrens van het gordeldekzandgebied een zgn. randrug tot ontwikkeling gekomen (zie de Geomorfologische Kaart, Bijlage 4). Mogelijk heeft de kruipwilg een belangrijke rol gespeeld bij het tot staan brengen van het Jonger Dekzand II. Deze lage boomsoort heeft nml. het vermogen ten tijde van zandaanvoer door te blijven groeien en daarmee het zand vast te leggen. Dit zou dan een verklaring zijn voor de genese van de randrug. Plaatselijk zijn er ook tongen van het Jonger Dekzand II oostwaarts de Gelderse Vallei in gedrongen. In de meeste gevallen reiken ze niet verder dan enkele honderden meters oostwaarts.

In het noordelijk deel van het onderzochte gebied zien we dat de oostgrens van het gordeldekzandgebied zich ten oosten van de Pleniglaciale hoofdgeul bevindt en ontwikkeld is als een aantal zeer hoge (tot 15 m) duinen: de heuvels van Lockhorst, Heiligenberg, Vosheuvel (waaronder Allerød-veen is aangetroffen) en Randenbroek. Het voorkomen van deze hoge duinvormen is direct gebonden aan de Heiligenbergerbeek die hier in de Pleniglaciale hoofdgeul stroomt (dit i.t.t. de rest van het veldwerkgebied). De Pleniglaciale hoofdgeul was hier in het Laat-Glaciaal nog wel (gedeeltelijk) in gebruik en als gevolg hiervan was er weinig vegetatie in aanwezig (ook wordt er hier nauwelijks Allerød-veen aangetroffen). Het Jonger Dekzand II had hier dus de mogelijkheid om over de Pleniglaciale hoofdgeul te komen, waarna het vastliep in de bosvegetatie van de Gelderse Vallei wat dan deze zeer hoge duinvormen verklaart.

NB. Mogelijk heeft er op de stuwwal onder gedeeltelijke permafrost omstandigheden nog lokaal wat afspoeling plaatsgevonden. Dit zou dan het plaatselijk in het Jonger Dekzand II ingeschakelde niveofluviatiele zand kunnen verklaren. Maar verdere bewijzen (ontsluitingen e.d.) ontbreken hierbij. Elders in Nederland zijn die wél gevonden (v.d. Hammen & Maarleveld, 1958).

H. HERKOMST DEKZANDEN

Over de herkomst van de dekzanden is vermoedelijk alleen m.b.v. een zware mineralen onderzoek met zekerheid wat vast te stellen, maar het feit dat de dekzanden in het onderzochte gebied qua korrelgrootteverdeling zeer veel lijken op het onder de Beuningen Grindlaag voorkomende niveofluviatiele zand en het feit dat de korrelgrootteverdeling van de gestuwde lagen, zoals die voorkomen in de Zandgroeve Maarn in de meeste gevallen sterk van het dekzand afwijken (veel grover), pleit voor het idee dat het grootste deel van de dekzanden afkomstig is van de niveofluviatiele afzettingen uit de puinwaaiers (korrelgrootte-analyses Maarn: Mond.med, D. Grasman 1980). Met name op die delen van de puinwaaiers waar a.g.v. het transport door sneeuwsmeltwater een goede sortering naar korrelgrootte had plaatsgevonden, waardoor er aldaar veel (matig) fijn zand

aanwezig was, waren er goede mogelijkheden voor winderosie. De stuwwal en de sandr ten westen ervan zullen a.g.v. het veelvuldig voorkomen van grindhoudende grove zandlagen in veel geringere mate aan het dekzand hebben bijgedragen. Met name in de sandr zal zich bij winderosie van enkele dm's materiaal, al snel een grind- en stenenlaag hebben gevormd, die verdere winderosie uitsloot.

Het Jonger Dekzand I is vnml. op te vatten als geresedimenteerd Ouder Dekzand II (zie hoofdstuk 5.E.).

Het Jonger Dekzand II zal op zijn beurt vooral bestaan uit geresedimenteerd Ouder Dekzand II en Jonger Dekzand I dat op de hogere puinwaaierdelen, de stuwwal en de sandr aanwezig was. Dit laatste wordt ondersteund door het feit dat er op de stuwwal, de sandr en de hogere puinwaaierdelen (die globaal boven de 10 m +NAP liggen), relatief zeer weinig dekzand aanwezig is (in vergelijking met het gordeldekzandgebied).

NB. Nauwkeurige bestudering van de Topografische Kaarten (1:25.000) van het overige deel van de Utrechtse Heuvelrug en de stuwwal van Soesterberg leert dat de grote dekzand-accumulaties (en de daaruit ontstane stuifzand gebieden) zich voor het overgrote deel aan de voet van de stuwwallen bevinden op die delen van de puinwaaiers en de sandr die zich beneden de 10 m +NAP bevinden.

I. HET HOLOCEEN (11.650 BP – heden)

Na de Jonge Dryas trad er een definitieve klimaatsverbetering op: het Holoceen. Het gehele gebied raakte bedekt met een bosvegetatie en in de lage vochtige delen van de Gelderse Vallei trad (verdergaande) veenvorming op. Op de hooggelegen terreindelen, zoals de stuwwal en het gordeldekzandgebied, zorgde de diepe ligging van het grondwater ervoor dat er duidelijke podzolen gevormd werden die later in het Holoceen in de lagere delen van het gordeldekzandgebied tot veenvorming aanleiding gaven (afsluitende werking B2-horizont). Met name in de zgn. laagten in het gordeldekzandgebied is veengroei opgetreden (vanaf het Atlanticum, zie Bijlage 18).

In de lagere delen van de Gelderse Vallei konden a.g.v. de ondiepe ligging van het grondwater slechts Beekeerdgronden gevormd worden. Op de hogere ruggen konden wel (natte) podzolen tot ontwikkeling komen. De afvoer van de beken in de Gelderse Vallei bedroeg in het Holoceen slechts een fractie van de Pleniglaciale afvoer. Redenen hiervoor zijn:

1. Het grotendeels ontbreken van grote hoeveelheden sneeuwmeltwater in het voorjaar.
2. De interne drainage op de stuwwal en in het gordeldekzandgebied die zorgt voor een grote spreiding en afremming van piekafvoeren van neerslag.
3. De vegetatie die zorgt voor een aanzienlijke verdamping.

Een gevolg hiervan was dat de huidige beken in de Gelderse Vallei slechts 2 tot 10 m breed zijn. De loop van de beken wordt sterk bepaald door de aanwezigheid van dekzandruggen zodat niet altijd de brede Pleniglaciale geulen gevolgd worden. In het veldwerkgebied stroomt de Heiligenbergerbeek grotendeels ten oosten van de Pleniglaciale hoofdgeul omdat deze in de Jonge Dryas voor een deel met enkele meters Jonger Dekzand II bedekt is geraakt. Gedurende perioden van grote neerslag en verminderde benedenstroomse afvoer (o.a. door zeespiegelrijzing) kwamen er grote delen van de Gelderse Vallei onder water te staan en kon de zgn. beekleem tot afzetting komen.

In de loop van het Sub-Boreaal, maar vooral in het Sub-Atlanticum begon de invloed van de mens van belang te worden. Grote delen van de stuwwal en het gordeldekzandgebied zijn in de loop der tijd omgezet in heidevelden. Volgens de Topografische Kaart van 1880 blijkt dat toendertijd meer dan 80% van het grondoppervlak van die gebieden uit heide bestond. In een ongeveer 500 m brede zone in het oostelijk deel van het gordeldekzandgebied treffen we in die tijd de voornaamste landbouwgronden (essen) aan.

In de Gelderse Vallei was er een afwisseling van weidegrond en bouwland (op de ruggen). Dit is het zgn. drieslagstelsel, dat in grote delen van Hoog-Nederland tot ongeveer 1900 is toegepast. Omdat er op de heidevelden op grote schaal plaggen gestoken werden (voor de potstal), kon er in grote delen van het gordeldekzandgebied zandverstuiving optreden. Dit proces werd natuurlijk zeer sterk bevorderd door de diepe ligging van het grondwater en het in overvloed aanwezig zijn van goed gesorteerd (matig) fijn dekzand. Vooral na 1850 zijn de stuifzandgebieden praktisch geheel vastgelegd d.m.v. beplanting omdat het stuivende zand een grote bedreiging vormde voor de

landbouwpercelen. Maar nu nog zijn de stuifzandcomplexen in het terrein nog goed te herkennen aan het chaotische reliëf van laagten en heuvels met korte steile hellingen. In het stuifzand hebben zich slechts mikropodzolen kunnen vormen.

6. SAMENVATTING

Gedurende 2 zomers werd veldwerk verricht in het kader van de doctoraalstudie Fysische Geografie richting 2 (Geomorfologie van Sedimentaire en Periglaciale gebieden). Het veldwerk werd begeleid door Prof. G.C. Maarleveld. Het 40 km² grote veldwerkgebied ligt ten zuiden van Amersfoort en beslaat grotendeels Blad 32D van de Topografische Kaart van Nederland (schaal 1:25.000).

In de eerste zomer werd het gebied geomorfologisch gekarteerd volgens de methode van de Geomorfologische Kaart van Nederland schaal 1:50.000. Dit resulteerde in een Geomorfologische Kaart schaal 1:25.000 (Bijlage 4 en 5) waarin een viertal hoofdeenheden te onderscheiden zijn:

1. De stuwwal. De hoogste delen hiervan zijn vlak tot zwak golvend (stuwwalplateau). Inde 2-4^o hellende stuwwal-flanken zijn veel ondiepe droge dalen aanwezig. Ten westen van de stuwwal bevindt zich een zwak naar het westen afbellende sandr. Aan de oostzijde van de stuwwal liggen de zwak naar het oosten afhellende puinwaaiers die wegduiken onder het gordeldekzandgebied.
2. Het gordeldekzandgebied is een ongeveer 2 km brede zone evenwijdig aan de stuwwal. Het wordt gekenmerkt door een zwak golvend oppervlak waarin op een aantal plaatsen duidelijke en hoge ruggen voorkomen. In het centrum van dit gebied komen evenwijdig aan de stuwwal een vijftal vochtige laagten voor. Naar het oosten wordt het gordeldekzandgebied van de lage Gelderse Vallei afgesloten door een randrug, die praktisch in het hele veldwerkgebied (redelijk) goed waar te nemen is.
3. De stuifzand-complexen: o.i.v. de mens zijn in en vooral ná de Middeleeuwen grote delen van het gordeldekzandgebied aan winderosie ten prooi gevallen waarbij een reliëf ontstond met een afwisseling van chaotische heuvels met korte steile hellingen en uitgestoven laagten. Momenteel zijn deze gebieden praktisch geheel herbebost.
4. De Gelderse Vallei: een laaggelegen vlak gebied waarin een aantal lage ruggen voorkomen.

De morfometrie, materiaaleigenschappen, genese en ouderdom van de 30 onderscheiden vormeenheden zijn samengevat in Bijlage 6.

In de tweede zomer werd het noordelijk deel van het gordeldekzandgebied en het daarop aansluitende deel van de Gelderse Vallei d.m.v. 260 boringen (tot max. 4,4 m diep) geologisch onderzocht, waarbij een groot aantal monsters is verzameld die in het laboratorium zijn onderzocht (korrelgrootte-bepalingen, grindtellingen, onderzoek naar de mattering van de korrels en pollenanalyse). De belangrijkste conclusies van dit geologische onderzoek zijn:

1. De puinwaaiers die aan de voet van de stuwwal aan de oppervlakte liggen duiken onder het gordeldekzand weg en zetten zich voort tot in de Gelderse Vallei. De Gelderse Vallei is als een naar het westen hellende niveofluviatiele vlakte (met een dunne dekzandbedekking) op te vatten. Het zwaartepunt van deze puinwaaiers bevindt zich ter hoogte van de oostgrens van het gordeldekzandgebied. Vandaar uit moet het sneeuwsmeltwater via een Pleniglaciale hoofdgeul in noordelijke richting afgevoerd zijn. Deze Pleniglaciale hoofdgeul is naderhand geheel met dekzand en veen opgevuld.
2. Door van een groot aantal (214) monsters het %-transparante korrels te bepalen, bleek het mogelijk een onderscheid te maken tussen het niveofluviatiele zand dat bijna altijd onder de Beuningen Grindlaag wordt aangetroffen (gemiddeld %-transparante korrels: 42 tot 46) en de dekzanden die bóven de Beuningen Grindlaag aanwezig zijn (%-transparante korrels: 25 tot 35). Zie hiervoor ook de Bijlagen 13, 14 en Figuur 4.

Dit verschil moet worden toegeschreven aan de mattering die de korrels verkregen hebben tijdens het windtransport aan het eind van het Weichselien. Het laagste %-transparante korrels treffen we aan in de Beuningen Grindlaag. Dit feit ondersteunt de theorie dat de Beuningen Grindlaag

een keienvloer is die achterbleef na winderosie van enkele meters niveo-fluviatiel zand.

3. In het gehele gordeldekzandgebied worden onder dikke dekzandpakketten Allerød-afzettingen aangetroffen. In het westelijke deel steeds de Laag van Usselo, in het centrale deel in de laagten, steeds een harde bank (fragipan) en in het oostelijke deel een veenlaag van enkele dm's dikte. De veenlaag is op 7 plaatsen bemonsterd en palynologisch onderzocht. In alle gevallen bleek het veen een Allerød ouderdom te bezitten zodat duidelijk is dat het gordeldekzandgebied in de Jonge Dryas vanuit het westen overstoven is. In de Gelderse Vallei wordt geen Jonger Dekzand II aangetroffen. De hoogste puinwaaier-delen kunnen als herkomstgebied van het Jonger Dekzand II worden aangewezen (zie Bijlagen 15 t/m 18 en 20).
4. De oostgrens van het gordeldekzandgebied hangt direct samen met de Pleniglaciale hoofdgeul, waarbij het opvallend is dat in het veen nabij de oostgrens steeds takresten worden aangetroffen. Dit i.t.t. het veenmos-veen dat verder westelijk onder het Jonger Dekzand II wordt gevonden. Vermoedelijk was er in de Jonge Dryas in de Gelderse Vallei een boomvegetatie aanwezig die ervoor gezorgd heeft dat het Jonger Dekzand II niet verder oostelijk kon komen en aanleiding gaf tot de ontwikkeling van de zgn. randrug.
5. De laagten in het gordeldekzandgebied zijn een gevolg van de aanwezigheid van een harde bank (fragipan) in de ondergrond die daar in de Allerød onder invloed van het uittredende grondwater van stuwwal en hogere puinwaaierdelen ontstond. In de Jongere Dryas wist zich hier nog wel een redelijke boomvegetatie te handhaven (vanwege de grotere vochtigheid) zodat slechts een dunne laag Jonger Dekzand II afgezet werd en er een laagte resulteerde die in veel gevallen door hoge randduinen is omgeven.
6. Het dekzand en het niveofluviatiele zand lijken qua korrelgrootteverdeling sterk op elkaar. Dit i.t.t. het in veel gevallen grove en grindrijke stuwwal en sandr materiaal. Daarom is vermoedelijk het grootste deel van het dekzand in het veldwerkgebied direct of indirect van het niveofluviatiele zand afkomstig en zijn het dus de grote puinwaaiers die aan het eind van het Weichselien verstoven zijn.

LITERATUUR

- Berendsen, H.J.A. & R.J.P. Bijnen, 1973. De geologie en de geomorfologie van de Darthuizerpoort. Berichten van de Fysisch Geogr.afd. v.d. R.U. Utrecht, nr.7 Dec. 1973.
- Cate, J.A.M. ten, 1969. Valley coversand ridge, a new morphological element in the Guelders-Valley. Biuletyn Periglacialny no.20 (blz. 345-354).
- Crommelin, R.D., 1965. Sedimentpetrologie en herkomst van Jong-Pleistoceen dekzand in Nederland. Boor en spade 14 (blz. 138-150)
- Edelman, C.H. & G.C. Maarleveld 1958. Pleistozan-geologische Ergebnisse den Bodenkartierung in den Niederlande. Geol.Jahrbuch 73 (blz. 639-684).
- Faber, 1947 – Geologie van Nederland, deel III
- Florschütz, F., 1939. Spatglaziale Torf- und Flugsandbildungen in den Niederlanden als Folge eines dauermem Frostbodens. Sonderabdruck aus Abh.Nat.Ver.Bremen Bd.XXXI,Heft 2.
- Hammen, T. van der, 1951. Late glacial flora and periglacial phenomena in the Netherlands. Leidse Geol.Med.17 (blz. 71-183).
- Hammen, T. van der & G.C. Maarleveld, 1958. Genesis and dating of the periglacial phenomena at the eastern fringe of the Veluwe. Geol. en Mijnbouw N.S. 14 (blz. 47-54).
- Hammen, T. van der & T.A.Wijmstra, 1971. Upper Quaternary of the Dinkel Valley. Med. RGD Nieuwe Serie no.22.
- Kolstrup, E., 1980. Climate and stratigraphy in NW.Europe between 30.000 and 13.000 BP, with special reference to the Netherlands. Proefschrift.
- Koster, E.A., 1978. De stuifzanden van de Veluwe. Proefschrift.
- Maarleveld, G.C., 1949. Over de erosiedalen van de Veluwe. Boor en Spade IV (blz.155).
- Maarleveld, G.C., 1950. Iets over de verspreiding van noordelijke zwerfstenen op en nabij de stuwwallen in Midden-Nederland.
- Maarleveld, G.C., & R.P.H.P. van der Schans, 1961. De dekzandmorfologie van de Gelderse Vallei. Tijdschrift KNAG nr.78 (blz. 22-34).
- Ming-Ko & Sauriol, 1980. Geografiska Annaler Series A. Physical Geography Vol.62, No.1/2, p.37-56.
- Pannekoek, A.J., 1973. Algemene Geologie.
- Riezebos & Slotboom, 1978. Boreas nr. 7.
- Theunissen, D., 1961. Het Midden-Nederlandse heuvelgebied. Proefschrift.
- Toelichting Geologische Kaart van Nederland 1:50.000 Blad Amhem-O en Blad Eindhoven-O.
- Zagwijn, W.H., 1961. Vegetation, climate and radiocarbon datings on the Late Pleistocene of the Netherlands. Med.Geol.Stichting,14. (blz.15-45).

KAARTEN:

- Bodemkaart van Nederland 1:50.000 Blad 32W met Toelichting.
- Geomorfologische Kaart van Nederland 1:50.000 Blad 32 W+O
- Hoogtekaart 1:10.000 Blad 32D, Noord- en Zuidblad.
- Topografische Kaart 1880, Blad 32D, 1:25.000,
- Topografische Kaart 1:25.000, Bladen 32B,C,D,E,G en 39B,E,F.