



Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed  
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en  
Wetenschap

Rapportage  
Archeologische  
Monumentenzorg

236

## Onderzoek naar de stratigrafie van de lössequentie en de daarin aangetroffen artefacten op De Kaap bij St. Geertruid

A. Van Baelen, Y. Raczynski-Henk, J.W. de Kort,  
H. Huisman, B. van Os, A.J. Versendaal,  
J. Wallinga, E.P.M. Meijs & J. Deeben

A. Van Baelen (red.)

# Onderzoek naar de stratigrafie van de lösssequentie en de daarin aangetroffen artefacten op De Kaap bij St. Geertruid

A. Van Baelen, Y. Raczynski-Henk, J.W. de Kort,  
H. Huisman, B. van Os, A.J. Versendaal, J. Wallinga,  
E.P.M. Meijs & J. Deeben

A. Van Baelen (red.)

**Colofon**

Rapportage Archeologische Monumentenzorg 236

Onderzoek naar de stratigrafie van de lösssequentie en de daarin aangetroffen artefacten op De Kaap bij St. Geertruid

Auteurs: A. Van Baelen, Y. Raczynski-Henk, J.W. de Kort, H. Huisman, B. van Os, A.J. Versendaal, J. Wallinga, E.P.M. Meijs & J. Deeben

Redactie: A. Van Baelen

Illustraties: J.W. de Kort, A. Van Baelen, H. Huisman, B. van Os, J. Wallinga, K. Wilkinson & G. Noens

Opmaak illustraties: M. Haars (BCL-Archaeological support)

Beeld omslag: T. Penders

Technische redactie: E. Beukers

Opmaak en productie: Xerox/OBT, Den Haag

ISBN/EAN: 9789057992711

© Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort, 2017

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Postbus 1600

3800 BP Amersfoort

[www.cultureelerfgoed.nl](http://www.cultureelerfgoed.nl)



<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>23</b>	
<b>1</b>	<b>Aanleiding en doel van het onderzoek</b>	<b>7</b>	<b>4.1</b>	<b>Het fysisch-geografische onderzoek</b>	<b>23</b>
1.1	Aanleiding	7	4.1.1	Lithostratigrafie op basis van het booronderzoek	23
1.2	Doelstellingen van het onderzoek	7	4.1.2	Lithostratigrafie op basis van profielobservaties in put 2	26
1.3	Administratieve gegevens van het project	8	4.1.3	Korrelgrootteanalyse van de kleine fractie	31
1.4	Bijdrage van de auteurs	8	4.1.4	Geochemisch en micromorfologisch onderzoek	36
1.5	Dankwoord	8	4.1.5	Magnetische susceptibiliteit	57
			4.1.6	Luminescentiedateringen	60
<b>2</b>	<b>Bureauonderzoek</b>	<b>9</b>	<b>4.2</b>	<b>Archeologie</b>	<b>64</b>
2.1	Archeologische context	9			
2.2	Landschappelijke context	11	<b>5</b>	<b>Discussie</b>	<b>68</b>
2.3	Erosie en bodemvorming	18	5.1	Interpretatie van de stratigrafische sequentie	68
			5.2	Archeologische niveaus in put 2 en boring 648	71
<b>3</b>	<b>Methode, strategie en analyses</b>	<b>21</b>	5.3	Waardering	72
3.1	Booronderzoek	21	5.3.1	Fysieke kwaliteit	72
3.2	Gravend onderzoek	21	5.3.2	Inhoudelijke kwaliteit	73
3.3	Bemonstering en analyses	21	5.3.3	Conclusie	75
3.3.1	Korrelgrootteanalyse	22			
3.3.2	Micromorfologie	22	<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>76</b>
3.3.3	Geochemisch onderzoek	22			
3.3.4	Optisch gestimuleerde luminescentie (OSL)	22	<b>Literatuur</b>	<b>77</b>	
3.3.5	Magnetische susceptibiliteit	22			
			<b>Bijlage I: gegevens luminescentiedateringen</b>	<b>83</b>	

*Ter nagedachtenis aan Jos Deeben*

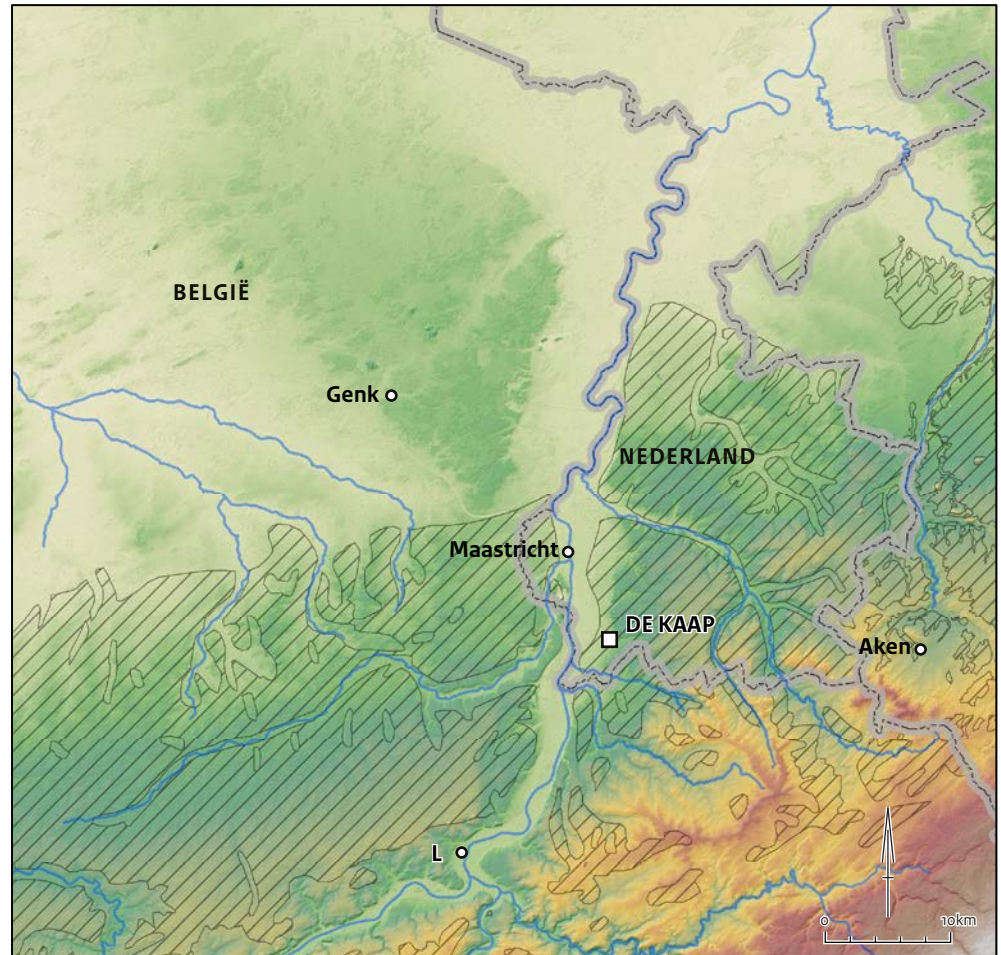
In het kader van het inventariserend onderzoek van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (Amersfoort) naar de omgeving van de vuursteenmijnen te Rijckholt werd een deelproject opgezet dat zich richtte op de midden-paleolithische vindplaats van Sint-Geertruid-De Kaap, die grenst aan deze neolithische vuursteenmijnen. Uitgebreide veldkarteringen op dit plateau en op de plateauranden in het bijzonder hebben in het verleden talrijke midden-paleolithische artefacten opgeleverd. Informatie over de stratigrafische herkomst en datering van de vondsten was echter niet voorhanden. Het onderhavige onderzoek had daarom als doel de potentiële aanwezigheid van afgedekte, goed bewaarde midden-paleolithische vindplaatsen op De Kaap te evalueren door inzicht te verwerven in de aard, ouderdom en formatieprocessen van lösslagen meer landinwaarts op het plateau. Dit vond plaats in twee fases: een booronderzoek in 2010, dat zich richtte op de selectie van een gepaste locatie voor gravend onderzoek, gevolgd door het gravend onderzoek in 2011. De profielwanden van de put die tijdens deze tweede fase is aangelegd, werden geregistreerd, beschreven en uitgebreid bemonsterd voor sedimentologisch, geochemisch, micro-morfologisch en dateringsonderzoek. De stratigrafische sequentie bestaat op deze locatie uit een opeenvolging van lemige afzettingen, met onderaan de Bt-horizont van een luvisol die wordt afgetopt door een grindniveau. Twee generaties aan vorstwiggen zijn zichtbaar in deze Bt-horizont: de eerste generatie vorstwiggen wordt afgesneden door de grindlaag, terwijl de tweede generatie vorstwiggen vanuit deze grindlaag vertrekt. De onderzoekers troffen geen goed bewaarde, snel afgedekte stabiele niveaus of oppervlaktes aan en toonden aan dat alle stratigrafische eenheden in de put bestaan uit herwerkt materiaal. Het betreft hier dus geen löss in de strikte zin van het woord (dat wil zeggen: door de wind afgezet). Het dateringsonderzoek vond plaats door middel van optisch gestimuleerde luminescentie (OSL) en infrarood gestimuleerde luminescentie (IRSL). Het geeft aan dat de bovenste niveaus zijn afgezet tussen 19.000 en 15.000 jaar geleden. Het sediment waarin de Bt-horizont werd gevormd, onderaan de sequentie, heeft een ouderdom van meer dan 150.000 jaar. De datering van het onderste niveau moet echter met de nodige voorzichtig-


heid worden behandeld: omdat de sedimenten zijn herwerkt, is een onvolledige bleking immers niet uit te sluiten, wat betekent dat de dateringsresultaten voor dit deel van de sequentie mogelijk een overschatting zijn van de werkelijke ouderdom.

Tijdens het veldwerk werden vier artefacten aangetroffen op ongeveer 3,50-3,55 m onder het maaiveld. Drie hiervan zijn afkomstig uit de put en één uit een boring. Gezien de complexe formatieprocessen is de temporele relatie tussen de afzetting van de herwerkte sedimenten en de depositie van de artefacten moeilijk te achterhalen. Twee artefacten die in de put zijn aangetroffen in de top van de Bt-horizont, vormen een indicatie voor menselijke aanwezigheid. Ofwel ging deze vooraf aan de bodenvorming (< MIS 5), ofwel was zij gelijktijdig met of volgde zij onmiddellijk op deze bodenvorming (≥ MIS 5). Het derde artefact uit de put bevindt zich duidelijk in herwerkte positie en kwam in zijn huidige positie terecht ná de vorming van de Bt-horizont en vóór de afzetting van de niveaus 5006 en 5005, waarbij niveau 5005 is gedateerd op  $18.500 \pm 1.300$  jaar geleden.

Door het herwerkte karakter van de afzettingen en de afwezigheid van stabiele niveaus in de put is de kans echter klein dat in de onmiddellijke omgeving van de put goed bewaarde midden-paleolithische vindplaatsen bewaard zijn gebleven. Het valt echter niet uit te sluiten dat dergelijke niveaus elders op het plateau nog wel aanwezig zijn.

Aangezien de artefacten niet in primaire context zijn aangetroffen en slechts een kleine oppervlakte is onderzocht, is het formuleren van theorieën over het gebruik van deze locatie in het verleden niet mogelijk. Desalniettemin zijn de artefacten uit de put erg waardevol: het aantal midden-paleolithische vindplaatsen in Nederland waar artefacten in een stratigrafische context worden aangetroffen, is immers beperkt. Deze studie wijst dan ook op het belang van meer onderzoek naar de stratigrafische herkomst van midden-paleolithische oppervlaktevondsten in de Zuid-Limburgse lössregio. Doel is een betere correlatie te kunnen leggen tussen stratigrafische sequenties uit de lössregio's in Nederland, België, Duitsland en Noord-Frankrijk en meer inzicht te krijgen in de aanwezigheid van Neanderthalers in de Maasvallei.



 Löss afzettingen

Afb. 1 Kaart met de lössregio in het grensgebied van Belgisch en Nederlands Limburg en de locatie van de vindplaats Sint-Geertruid-De Kaap (Bron DHM: GMTED2010 7,5 arcsec door USGS-EROS 2010; bron spreiding lössafzettingen: Maréchal 1992; TNO 2010; BGR & SGD 2012). G: Genk; L: Luik; M: Maastricht en A: Aken.

# 1 Aanleiding en doel van het onderzoek

## 1.1 Aanleiding

Het in dit rapport beschreven geoarcheologisch onderzoek op De Kaap bij Sint-Geertruid (gem. Margraten) maakt onderdeel uit van een zesjarig inventariserend onderzoek van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (Amersfoort) naar de omgeving van de vuursteenmijnen te Rijckholt. Dit onderzoek beslaat een gebied van ca. 250 ha en is gericht op de archeologische waardering van de omgeving van de neolithische vuursteenmijnen. Bovendien probeert het bij te dragen aan de ontwikkeling van methoden en technieken om op basis van oppervlaktevondsten, geofysisch onderzoek, archeologische data uit booronderzoek en de stratigrafische opbouw van de ondergrond uitspraken te doen over de activiteiten die de prehistorische mens op deze locatie uitvoerde.<sup>1</sup> Tijdens dit onderzoek heeft de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed contact opgenomen met de eerste twee auteurs om van gedachten te wisselen over de stratigrafische opbouw van het onderzoeksgebied en in het bijzonder de gaafheid van de bodem en de daarmee samenhangende erosie-geschiedenis. Vervolgens is in samenspraak met hen een plan gemaakt voor verkennend geoarcheologisch veldwerk. In 2010 zijn de eerste boringen verricht. Deze concentreerden zich op de diepere ondergrond en de stratigrafische situering van eventuele midden-paleolithische vindplaatsen buiten het onderzoeksgebied. Aan de hand van deze resultaten is het plan opgevat om in 2011 een kleine put aan te leggen om de interpretatie van de boringen te verifiëren. Daarbij was het in eerste instantie uitsluitend de bedoeling een meer gedetailleerde profielopname mogelijk te maken. Onverwacht kwamen hierbij enkele stenen artefacten uit het midden-paleolithicum tevoorschijn. De resultaten van dit onderzoek worden hieronder gepresenteerd.

## 1.2 Doelstellingen van het onderzoek

Binnen de overkoepelende studie naar de omgeving van de neolithische vuursteenmijnen is een deelproject opgezet dat zich richt op de stratigrafische context van de midden-paleolithische vondsten van De Kaap. De doelstellingen van dit deelproject zijn tweeledig.

De eerste reeks doelstellingen hangt samen met de archeologische monumentenzorg (AMZ) en sluit onmiddellijk aan bij de centrale doelstelling van het overkoepelende project. Deze doelstellingen luiden:

1. het bepalen van de mogelijke aanwezigheid, aard en diepteligging van midden-paleolithische vindplaatsen in stratigrafische (begraven) context op het plateau van De Kaap;
2. inzicht verwerven in de vermoedelijke ouderdom van aanwezige vindplaatsen:
  - door beschrijving en ouderdomsbepaling van de stratigrafische niveaus aanwezig in de ondergrond;
  - door correlatie van deze stratigrafische niveaus met eerdere stratigrafische observaties en beschrijvingen geformuleerd op basis van oudere boorcampagnes<sup>2</sup> en correlatie met het bestaande regionale chronostratigrafische kader;<sup>3</sup>
3. het bepalen van de fysieke kwaliteit (dat wil zeggen: gaafheid en conservering) van deze midden-paleolithische vindplaatsen door het verwerven van gedetailleerd inzicht in de formatieprocessen die een rol speelden bij het tot stand komen van deze stratigrafische eenheden.

De gegevens die op deze wijze worden verkregen, zowel uit dit deelproject als uit het overkoepelende project, fungeren als basis voor aanbevelingen om de gebieden in de omgeving van de vuursteenmijnen voor te dragen voor wettelijke bescherming. Het doel is deze gebieden samen met de reeds beschermde monumenten als ensemble duurzaam te behouden en op een gepaste manier te beheren. De tweede reeks doelstellingen heeft betrekking op de functionele interpretatie van de vindplaats, en ook op haar functionele en culturele relatie tot andere midden-paleolithische vindplaatsen in de omgeving. Welke activiteiten voerde de mens in het midden-paleolithicum uit op De Kaap? Zijn deze activiteiten gelijkaardig aan de activiteiten die plaatsvonden op andere, hoger gelegen vindplaatsen (de zogenoemde 'kapen') in de regio? En contrasteren ze met de activiteiten die in de valleien hun materiële neerslag hebben gevonden?<sup>4</sup> Antwoorden op deze vragen dragen bij tot een beter begrip van de bewoningsgeschiedenis van het onderzoeksgebied Sint-Geertruid-De Kaap tijdens het midden-paleolithicum en zijn betekenis op regionaal niveau.

<sup>1</sup> Deeben *et al.* 2011.

<sup>2</sup> Te vinden op [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl); Henk 2006.

<sup>3</sup> Zie onder meer Mûcher & Vreeken 1981; Vreeken & Mûcher 1981; Vreeken 1984; Meijs 2002; Meijs, Van Peer & De Warrimont 2012.

<sup>4</sup> Roebroeks 1988; Groenendijk & De Warrimont 1995; Kolen *et al.* 1999.



Onderhavig rapport is een verslag van het onderzoek naar de midden-paleolithische bewoning van De Kaap en zal voornamelijk ingaan op de eerste reeks doelstellingen.

### 1.3 Administratieve gegevens van het project

Gemeente	Eijsden-Margraten
Plaats	Rijckholt, St Geertruid
Toponiem	Savelbos, De Kaap
Kaartbladnummer	69B
Coördinaten	179.750/310.725 (ZW), 181.425/311.150 (ZO), 180.075/312.625 (NW), 180.975/312.775 (NO)
Projectcode	RIJC11
ARCHIS-onderzoeksmeldingsnummer	48497
Complextype	NXX (nederzetting onbepaald), EGVU (vuursteenwinning), XXX (losse vondst - onbekend)
Periode	PALEOM-IJZ
CMA-/AMK-status	In de omgeving van het plangebied liggen twee terreinen van zeer hoge archeologische waarden (AMK-nummers 966 en 11167), drie terreinen van hoge archeologische waarde (AMK-nummers 11220, 11238 en 11239) en twee terreinen van archeologische waarde (AMK-nummers 8542 en 11164).
Opdrachtgever	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Bevoegd gezag	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Uitvoerder	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Naam archeologisch deskundige namens bevoegd gezag	J. Deeben
Aanvang veldwerk	3 oktober 2011
Einde veldwerk	16 oktober 2011
Beheer en plaats van documentatie	Provinciaal depot Limburg
Auteurs	A. Van Baelen, Y. Raczynski-Henk, J.W. de Kort, H. Huisman, B. Van Os, A.J. Versendaal, J. Wallinga, E.P.M. Meijs en J. Deeben
Autorisatie	E. Rensink

### 1.4 Bijdrage van de auteurs

Bij het projectontwerp waren alle onderzoekers gezamenlijk betrokken; A. Van Baelen en Y. Raczynski-Henk voerden het veldwerk uit. De bemonstering voor het luminescentiedateringsonderzoek en de dateringen werden uitgevoerd door J. Wallinga en A. Versendaal. H. Huisman verrichtte de geochemische en micromorfologische analyses en B. van Os de korrelgrootte-analyse. E. Meijs adviseerde bij de interpretatie van de stratigrafische sequentie en correlatie met het regionale chronostratigrafische kader. Het project stond onder leiding van J.W. de Kort en J. Deeben. A. Van Baelen coördineerde de redactie van het rapport, waarin bijdragen zijn opgenomen van H. Huisman (subparagraaf 4.1.4), J. Wallinga en A. Versendaal (subparagraaf 4.1.6), B. van Os (subparagraaf 4.1.3), Y. Raczynski-Henk (subparagraaf 4.1.5) en A. Van Baelen. Het rapport is geautoriseerd door E. Rensink.

### 1.5 Dankwoord

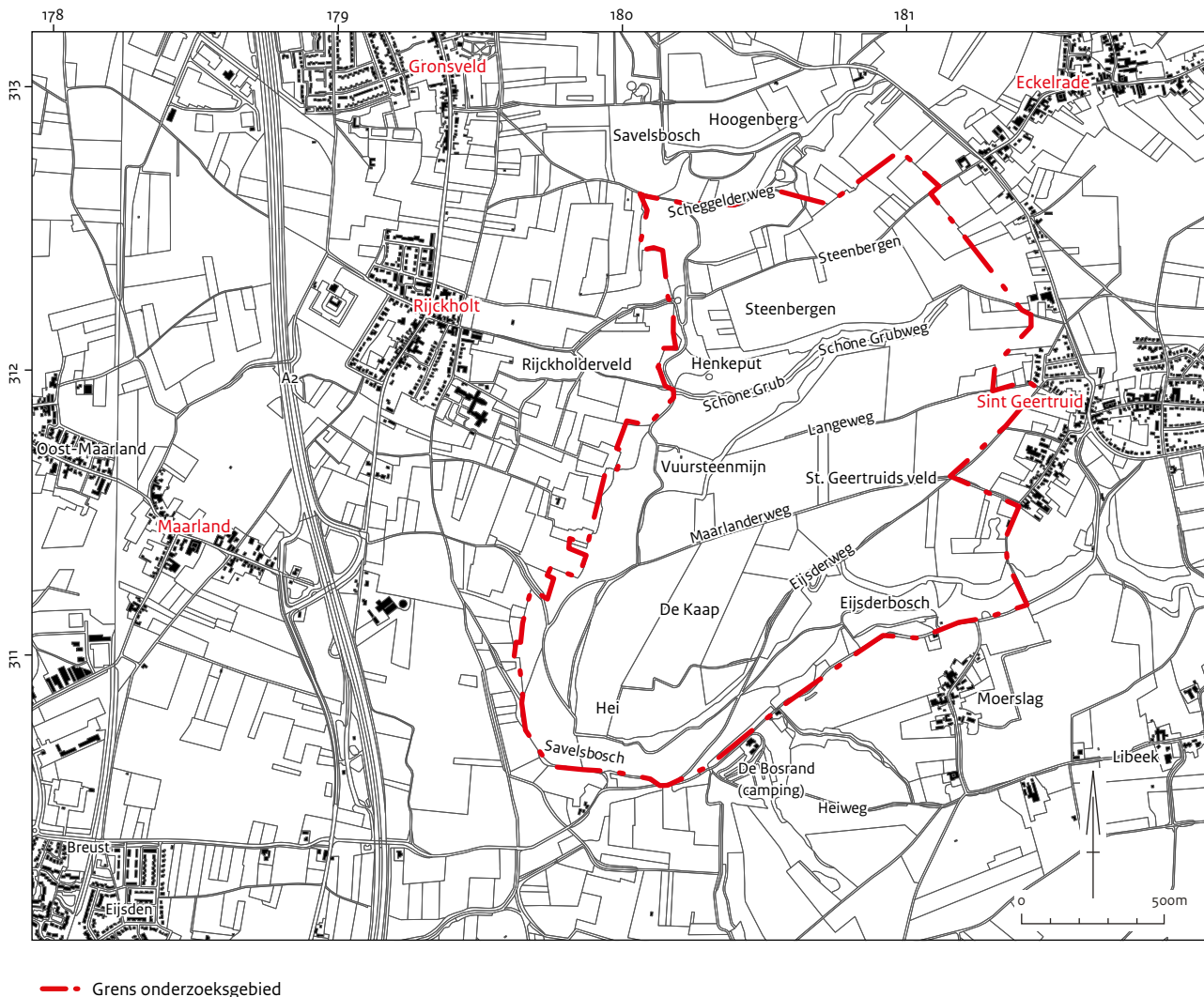
Wij danken iedereen die heeft bijgedragen aan het onderzoek en het veldwerk in 2010 en 2011. In het bijzonder gaat onze dank uit naar P. Glauberman, G. Noens, L. Amkreutz en A.G. Jong. M. van IJendoorn wordt bedankt voor het uitvoeren van de XRF-analyses en T. Jongmans voor zijn hulp bij de macroscopische beschrijving van de monsterbakken en bij de beschrijving en interpretatie van de slijpplaten. Dank ook aan J. van der Meer en H. Mûcher voor hun advies over respectievelijk de interpretatie van de waterontsnappingsstructuur en de vorming van aggregaatstructuren. Het dateringsonderzoek van het Nederlands Centrum voor Luminescentiedatering, Wageningen University & Research werd mede mogelijk gemaakt door subsidie (#834.03.003) van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (Aard- en Levenswetenschappen).

## 2.1 Archeologische context

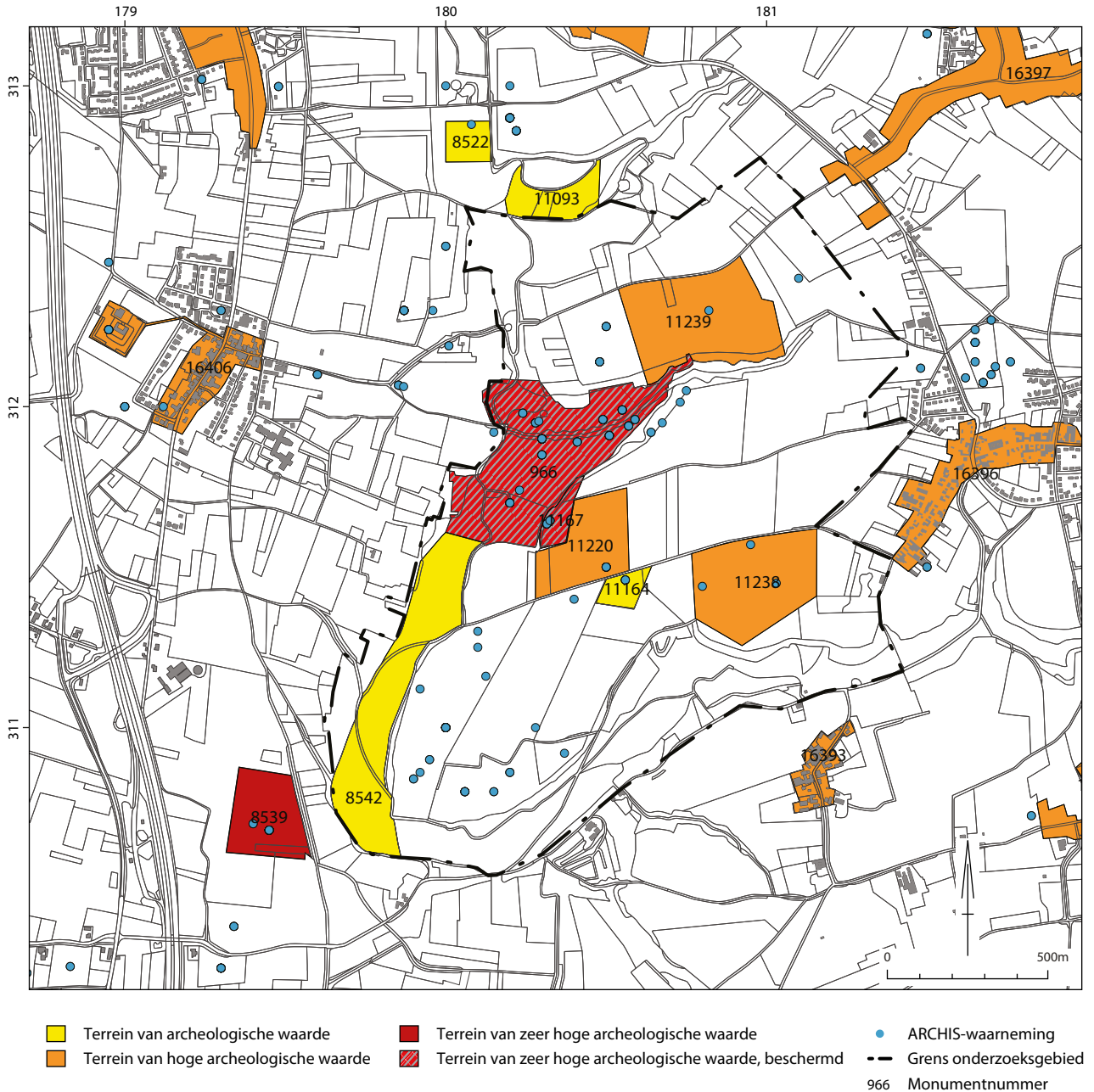
De neolithische vuursteenmijnen van Rijckholt-Sint-Geertruid (gem. Eijsden-Margraten, provincie Limburg) vormen een van de oudste archeologische monumenten van Nederland (afb. 1-3). Sinds hun ontdekking aan het einde van de negentiende eeuw werden deze vuursteenmijnen uitgebreid bestudeerd en vonden diverse opgravingcampagnes plaats.<sup>5</sup> 14C-dateringen plaatsen de mijnbouw tussen ongeveer 5320 ± 40 BP (4315-4040 v.Chr.) en 4470 ± 35 BP (3340-3025 v.Chr.), dat wil zeggen vanaf het begin van de Michelsbergcultuur tot en met de Steingroep.<sup>6</sup>

In de onmiddellijke omgeving van de vuursteenmijnen heeft door de jaren heen intensief prospectieonderzoek plaatsgevonden. Zo leverde het plateau ten zuiden van de vuursteenmijnen talrijke vondsten op (afb. 3). Dit gebied, gelegen tussen de Langeweg in het noorden, de Eijsderweg in het oosten en het Savelbos in het zuiden en westen, is bekend onder het toponiem De Kaap. Vermoedelijk verwijst deze benaming naar de morfologie van het plateau op deze locatie: het vormt een vooruitstekende hoge landtong langs de oostelijke rand van het Maasdal. Naar het uiterst zuidwestelijke deel van De Kaap wordt ook wel verwezen met het toponiem De Hei (ook wel: De Hej). Op deze plaats zijn de lössafzettingen veelal afwezig en dagzoomt het (oorspronkelijk) onderliggende grind.

<sup>5</sup> Zie onder andere: De Puydt 1887; Hamal-Nandrin & Servais 1923; Ophoven 1943; Ophoven & Hamal-Nandrin 1951; Felder, Rademakers & De Grooth 1998; Rademakers 1998.  
<sup>6</sup> Deeben et al. 2011.



Afb. 2 Afbakening van het onderzoeksgebied en locatie van De Kaap.



Afb. 3 ARCHIS-waarnemingen en terreinen met een archeologische status (Bron: ARCHIS).

Tijdens intensieve veldkarteringen door diverse amateurarcheologen zijn op De Kaap talrijke lithische artefacten verzameld. Naast een grote hoeveelheid neolithische artefacten werd hierbij ook een aanzienlijke collectie oppervlaktevondsten (> 2000) aangetroffen. Op basis van typologische en technologische kenmerken zijn ze toe te schrijven aan het midden-paleolithicum, gesitueerd tussen ca. 300.000 en 37.000 jaar geleden (afb. 4).<sup>7</sup>

Deze artefacten zijn veelal sterk gepatineerd en worden voornamelijk aangetroffen in een zone van ongeveer 500 m breed, gelegen op de zuid(west)elijke randen van De Kaap. In het verleden hebben onderzoekers al gepoogd deze midden-paleolithische oppervlaktevondsten op basis van typologische en technologische kenmerken preciezer in de tijd te plaatsen, maar tot nu toe was het niet mogelijk deze voorstellen te

<sup>7</sup> De Puydt 1887; Ophoven & Hamal-Nandrin 1951; Felder 1972; Bloemers 1973; Roebroeks 1980, 1981; Wouters 1980; Groenendijk & De Warrimont 1995; De Warrimont 1997, 2002; Glauberman 2014, 2016.

bevestigen, aangezien gegevens omtrent de stratigrafische herkomst van de artefacten en absolute dateringen ontbraken.<sup>8</sup> Recent heeft een analyse plaatsgevonden van midden-paleolithische oppervlaktevondsten van De Kaap. Ze waren afkomstig uit de collecties van H. Spronck (n=346), het Rijksmuseum van Oudheden (RMO) in Leiden (n=244), K. Groenendijk (n=30) en de veldkartering door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) (n=28). Deze analyse gaf inzicht in de technologische en typologische samenstelling van het lithische materiaal dat jarenlang is verzameld.<sup>9</sup> De onderzochte collecties bevatten volledige afslagen, afslagfragmenten, kernen en diverse werktuigen, waaronder ook verschillende bifaciale werktuigen. Discoïde en Levalloisproductiesystemen zijn goed vertegenwoordigd.<sup>10</sup> Gezien deze samenstelling en in het bijzonder de aanwezigheid van bifaciale werktuigen lijkt een toewijzing aan het late midden-paleolithicum (MIS 5-3) het meest voor de hand te liggen.<sup>11</sup> Hierbij dient men rekening te houden met het feit dat Neanderthalerpopulaties tijdens een deel van het onderpleniglaciaal (tweede helft MIS 4; 70.000-60.000 BP) in de Lage Landen afwezig lijken te zijn, wat waarschijnlijk verband houdt met de extreme koude die tijdens deze periode heerste.<sup>12</sup>

Onder de bifaciale werktuigen die werden aangetroffen op De Kaap en het onderwerp vormen van een tweede, technologische studie, zijn naast klassieke vuistbijlen ook asymmetrische bifaciale werktuigen aanwezig. Deze zijn kenmerkend voor de *Keilmessergruppe* (Micoquien) in Centraal- en Oost-Europa.<sup>13</sup> De combinatie van deze twee categorieën, die de uitdrukking vormen van twee zeer verschillende technologische concepten, wordt eveneens aangetroffen op verschillende andere laat-midden-paleolithische vindplaatsen in Oost- en Noord-Frankrijk, België en Nederland. Recent is voorgesteld dergelijke assemblages te groeperen onder de paraplueterm *Mousterian with bifacial tools* (MBT; Moustérien met bifaciale werktuigen). Dit onderstreept het contrast met assemblages die worden gerekend tot (een Noordwest-Europese variant van) het Moustérien van de Acheuléentraditie (MTA) en de *Keilmessergruppe*.<sup>14</sup> De midden-paleolithische oppervlaktevindplaats Sint-Geertruid-De Kaap vormt de grootste van een cluster van midden-paleolithische oppervlaktevindplaatsen in het zuiden van Nederlands Limburg.<sup>15</sup> Net als De Kaap bevinden deze oppervlaktevindplaatsen zich hoofdzakelijk aan de

randen van plateaus waar de pleistocene lössafzettingen sterk zijn geërodeerd. Vanwege de grote hoeveelheid oppervlaktevondsten die Sint-Geertruid-De Kaap opleverde, speelt deze vindplaats op regionaal niveau een belangrijke rol bij het formuleren van hypothesen over midden-paleolithische nederzettingsdynamiek, dat wil zeggen de manier waarop de prehistorische mens zijn activiteiten in het landschap organiseerde. Hierbij bestaat traditioneel een onderscheid tussen (1) vindplaatsen in plateausituaties die veelal worden gekenmerkt door een lage resolutie (zogenoemde palimpsesten), en (2) vindplaatsen met een hoge resolutie die zijn aangetroffen in valleicontexten.<sup>16</sup> De midden-paleolithische vondsten van De Kaap gelden als een uitgelezen voorbeeld van het eerste type vindplaatsen, de sites van Maastricht-Belvédère uit het saalien behoren tot het tweede type vindplaatsen. Om dit onderscheid te duiden heeft men in het verleden verschillende verklaringen gegeven. Ze liepen uiteen van klimatologisch of omgevingsgerelateerd tot activiteitsgebonden. Ook in dit regionale perspectief is informatie over de stratigrafische herkomst van oppervlaktevondsten uit de eerste groep vindplaatsen essentieel voor de verfijning of het bijhouden van deze hypothesen.

## 2.2 Landschappelijke context

De algemene geologische opbouw van de omgeving van de vuursteenmijnen en het gebied rond De Kaap bestaat uit een aantal belangrijke componenten (afb. 5-7):

1. Aan de basis van de sequentie bevindt zich een kalkstenen substraat dat dateert uit het boven-krijt (144-65 miljoen jaar geleden). Het onderste en oudste deel van dit substraat behoort tot de Formatie van Gulpen, die dagzoomt ten zuiden van Rijckholt. Bovenaan in de Formatie van Gulpen bevindt zich de Kalksteen van Lanaye. Deze bevat verschillende banden blauwgrijze tot zwartgrijze vuursteen, die op de hellingen en in de neolithische vuursteenmijnen in dagbouw werd ontgonnen. Het bovenste en jongste deel van het kalkstenen substraat behoort tot de Formatie van Maastricht.<sup>17</sup> Kalksteen behorende tot deze formatie dagzoomt voornamelijk ten noorden van Rijckholt.

<sup>8</sup> Laat-acheuléen (Roebroeks 1980); vroege weichselien (MIS 5a-d; ca. 100.000-70.000 jaar geleden; De Warrimont 2002).

<sup>9</sup> Glauberman 2014, 2016.

<sup>10</sup> Glauberman 2014.

<sup>11</sup> Deze periode wordt in West-Europa gekenmerkt door een toenemende aanwezigheid van bifaciale werktuigen (Bordes 1984; Cliquet 2001; Soressi 2002; Jöris 2004; Ruebens 2014) in tegenstelling tot het vroege midden-paleolithicum (MIS 8-6), toen er in Noordwest-Europa sprake was van een afname van dit type werktuigen (Monnier 2006).

<sup>12</sup> Pirson & Di Modica 2011 en referenties hierin vermeld; Verpoorte *et al.* 2016.

<sup>13</sup> Ruebens 2014.

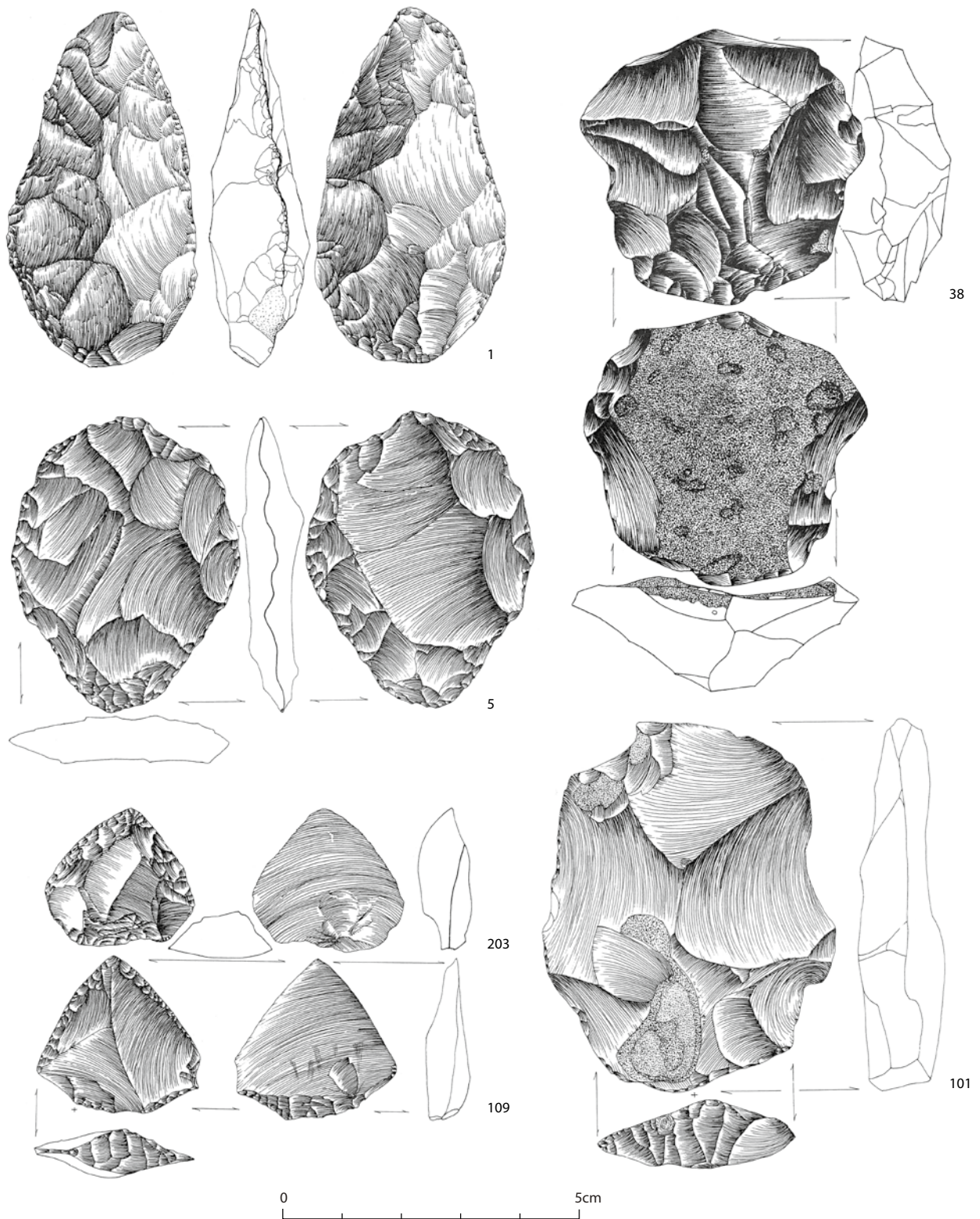
<sup>14</sup> Ruebens 2014.

<sup>15</sup> Roebroeks 1988; Groenendijk & De Warrimont 1995; Kolen *et al.* 1999.

<sup>16</sup> Roebroeks 1988; Groenendijk & De Warrimont 1995; Kolen *et al.* 1999.

<sup>17</sup> Bosch & Felder 2000.





Afb. 4 Enkele midden-paleolithische vondsten die bij oppervlaktekartering zijn aangetroffen op De Kaap. SG.1: (gestrekt) amandelvormige vuistbijl, SG.5: hartvormige vuistbijl, SG.38: Levalloiskern, SG.203: convergerende schaaaf, SG.109: convergerende schaaaf, en SG.101: Levalloisafslag (tekeningen, nummering en determinaties naar Wouters 1980: figs. 4, 6, 24, 26 en 49). Schaal 1:2.

2. Bovenop dit kalkstenen substraat bevinden zich grove fluviatiele afzettingen. Deze maken deel uit van een uitgebreide sequentie van Maasterrassen.<sup>18</sup> Aangezien de Maas in Nederlands Limburg zich in de loop van haar geschiedenis als gevolg van tektonisch processen meer en meer naar het westen heeft verplaatst, zijn deze terrassen voornamelijk op haar oostelijke oever bewaard gebleven. De terrasafzettingen in de ondergrond van De Kaap behoren tot het Laagpakket van Sint-Geertruid (Beegden Formatie).<sup>19</sup> De precieze ouderdom van dit laagpakket staat nog ter discussie. De dateringen die worden voorgesteld voor het Sint-Geertruid 1-, 2- en 3-terras lopen uiteen van 1.280.000 tot 850.000 jaar geleden.<sup>20</sup>

3. Nadat de Maas zich naar het westen had verplaatst, zette de wind löss af op deze terrassen. Deze lössafzettingen, die worden gerekend tot het Laagpakket van Schimmert (Boxtel Formatie),<sup>21</sup> worden in Nederlands Limburg traditioneel onderverdeeld in Onderste, Middelste en Bovenste Löss (tabel 1).<sup>22</sup> De Onderste Löss werd afgezet tijdens het saalien (MIS 10-6; 374.000-130.000 jaar geleden<sup>23</sup>), terwijl de Middelste en Bovenste Löss werden afgezet tijdens de laatste ijstijd, het weichselien (MIS 4-2; 71.000-14.000 jaar geleden<sup>24</sup>).

In de top van de Onderste Löss ontwikkelde zich tijdens de laatste tussenijstijd (het eemien, MIS 5e) en de interstadialen van het vroege weichselien die hierop volgden (MIS 5c en 5a), het Rocourt-bodemcomplex.<sup>25</sup> Door intense erosie is dit bodemcomplex vaak sterk onthoofd. In uitzonderlijke situaties, bijvoorbeeld in een valleicontext, zoals het geval is te Veldwezelt-Hezerwater, kunnen uitgebreide lösssequenties uit het eemien en het vroege weichselien wel bewaard zijn gebleven.<sup>26</sup> De Middelste Löss, die bovenop het Rocourt-bodemcomplex werd afgezet, vertoont vaak een gelaagde opbouw met meerdere grauwigrijze, zwak ontwikkelde pseudogleybodems, evenals horizonten met fijne slakkenhuisjes.<sup>27</sup> De depositie van deze Middelste Löss vond plaats tijdens het onder- en midden-pleniglaciaal van het weichselien (MIS 4-3).

Na de Middelste Löss volgt de Bovenste Löss, die aan de onderzijde wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van de Nagelbeekhorizont (*Nagelbeek Tongued Horizon*),<sup>28</sup> een grijze horizont met kenmerkende tongen. Deze horizont, die wordt beschre-

ven als een gecryoturbeerde toendragley, vormt vanwege van zijn karakteristieke uiterlijk en zijn stratigrafische positie aan de basis van de Bovenste Löss, een belangrijke markerhorizont in lösssequenties uit Noord-Frankrijk, België en Duitsland. De precieze condities waaronder toendragleybodems zich ontwikkelen, zijn momenteel echter nog niet volledig bekend. Er zijn indicaties dat dergelijke bodems zich hoofdzakelijk ontwikkelen tijdens vochtige periodes met zeer koude winters en zachtere, langere zomerperiodes, die kenmerkend zijn voor interstadialen (en de overgang stadiaal naar interstadiaal en omgekeerd).<sup>29</sup> Maar er zijn ook indicaties dat dit gebeurt onder koude en vochtige permafrostcondities.<sup>30</sup>

Algemeen kan worden gesteld dat de Nagelbeekhorizont werd gevormd in de loop van de aanvang van MIS 2, omstreeks 20.000 jaar geleden.<sup>31</sup> Op verschillende locaties in het grensgebied van België en Nederland bevindt zich iets onder de Nagelbeekhorizont een belangrijk erosieniveau, de zogenoemde Patina Discordantie. Deze discordantie vormt de basis van een laageenheid met de naam Patina Complex (of *Patina Layer*),<sup>32</sup> die bestaat uit herwerkte afzettingen.<sup>33</sup> Dit niveau vormt een min of meer horizontale deflatiehorizont<sup>34</sup> en weerspiegelt intens koude en droge klimaatcondities. Aan de basis van de Patina Discordantie bevinden zich grinden en in vele gevallen zijn ook gerolde en gepateneerde artefacten aanwezig, wat leidde tot de benaming van dit niveau.<sup>35</sup> Tijdens de vorming van deze deflatiehorizont werden de onderliggende Middelste Löss en het Rocourt-bodemcomplex op vele plaatsen sterk geërodeerd, waarna het herwerkte sediment opnieuw werd afgezet.<sup>36</sup> Dieper gelegen valleien vormden echter sedimentvallen en zorgden voor de conservering van deze oudere stratigrafische niveaus. De vorming van het Patina Complex wordt geplaatst rond de aanvang van het boven-pleniglaciaal: juist na de afzetting van de Eltville Tefra – vaak eveneens verdwenen als gevolg van erosie – en iets vóór de vorming van de Nagelbeekhorizont.<sup>37</sup>

Hierboven bevindt zich de Bovenste Löss, die werd afgezet tijdens het boven-pleniglaciaal van het weichselien (einde MIS 3-MIS 2). Het betreft hier een lichtgeelbruine tot lichtbruine, niet gelaagde, poederachtige en homogene lössafzetting. Bovenaan is dit lösspakket ontkalkt door (holocene) bodemvorming en in de top bevindt zich de holocene bodem (MIS 1; < 14.000 jaar geleden).<sup>38</sup>

<sup>18</sup> Van den Berg 1996; Van den Berg & Van Hoof 2001.

<sup>19</sup> Van den Berg 1996; Van den Berg & Van Hoof 2001; Westerhoff & Weerts 2003.

<sup>20</sup> Van den Berg 1996; Felder, Bosch & Bisschops 1989; Van Balen *et al.* 2000; Houtgast *et al.* 2002.

<sup>21</sup> Schokker *et al.* 2005, 2007.

<sup>22</sup> Jongmans *et al.* 2013.

<sup>23</sup> Voor de dateringen van de *Marine Isotopic Stages (MIS)* baseren we ons op de *Global chronostratigraphic correlation table* (versie 2010) die is gebaseerd op het werk van Lisiecki & Raymo 2005.

<sup>24</sup> Idem.

<sup>25</sup> Gullentops 1954; Gullentops *et al.* 2001; Haesaerts, Pirson & Meijs 2011.

<sup>26</sup> Meijs 2002, 2011; Bringmans 2006; Haesaerts, Pirson & Meijs 2011; Vancampenhout *et al.* 2013, 2015.

<sup>27</sup> Jongmans *et al.* 2013.

<sup>28</sup> Gullentops 1954; Haesaerts *et al.* 1981; Vleeshouwer & Damoiseaux 1990; Van Vliet-Lanoë 1992; Haesaerts, Mestdagh & Bosquet 1997; Gullentops *et al.* 2001; Haesaerts, Pirson & Meijs 2011.

<sup>29</sup> Antoine *et al.* 2009; Moine *et al.* 2011.

<sup>30</sup> Haesaerts & Van Vliet-Lanoë 1981; Van Vliet-Lanoë 1987.

<sup>31</sup> Haesaerts *et al.* 1981.

<sup>32</sup> Meijs 2002.

<sup>33</sup> Zie het kader over de Eben Zone.

<sup>34</sup> Vancampenhout *et al.* 2013.

<sup>35</sup> Meijs 2002.

<sup>36</sup> Vergelijk met micromorfologisch onderzoek Vancampenhout *et al.* 2013.

<sup>37</sup> Meijs 2002.

<sup>38</sup> Jongmans *et al.* 2013.

---

### Eben Zone

In de Ebengroeve (België) wordt op de overgang van de Haspengouw en Brabant Löss (de equivalente benamingen van respectievelijk de Middelste en Bovenste Löss) een gelijkaardige stratigrafische eenheid onderscheiden, die eveneens geldt als een belangrijke stratigrafische markerhorizont: de zogenoemde Eben Zone.<sup>39</sup> De basis van deze zone wordt gevormd door de zogenoemde Eben Discordantie. Deze discordantie is niet bruikbaar als eenduidige chronostratigrafische marker: hoewel deze steeds een aanvang kent tijdens de afzetting van de late Haspengouw Löss, vat deze soms aan onder en soms boven de Elville Tefra aan. Bovenop deze discordantie bevinden zich door deflatie, colluvium en solifluctie herwerkte afzettingen (de *Kesselt Layer*). Aangezien het hier herwerkt materiaal afkomstig uit de onderliggende lössafzettingen betreft, wordt dit niveau nog steeds gerekend tot de Haspengouw Löss.<sup>40</sup> Hierop volgt een hernieuwde fase van lössdepositie. Deze lössafzettingen wijken in lithologische en chemische samenstelling duidelijk af van de oudere lössafzettingen en vormen de oudste afzettingen van de Brabant Löss. In deze lössafzettingen hebben zich de Belmen- en Elfgembodems ontwikkeld. Deze 0,8 tot 1,5 m dikke sequentie, bestaande uit de Eben Discordantie, de *Kesselt Layer* en de Belmen- en Elfgembodems, vormt de Eben Zone. Op sommige locaties is onderaan de Brabant Löss echter slechts één bodem aanwezig, de Erbenheim 4-bodem, die geldt als equivalent van de Belmen- en Elfgembodems. Deze Erbenheim 4-bodem wordt tevens gecorreleerd met de *Nagelbeek Tongued Horizon*.<sup>41</sup>

---

<sup>39</sup> Schirmer 2002a.

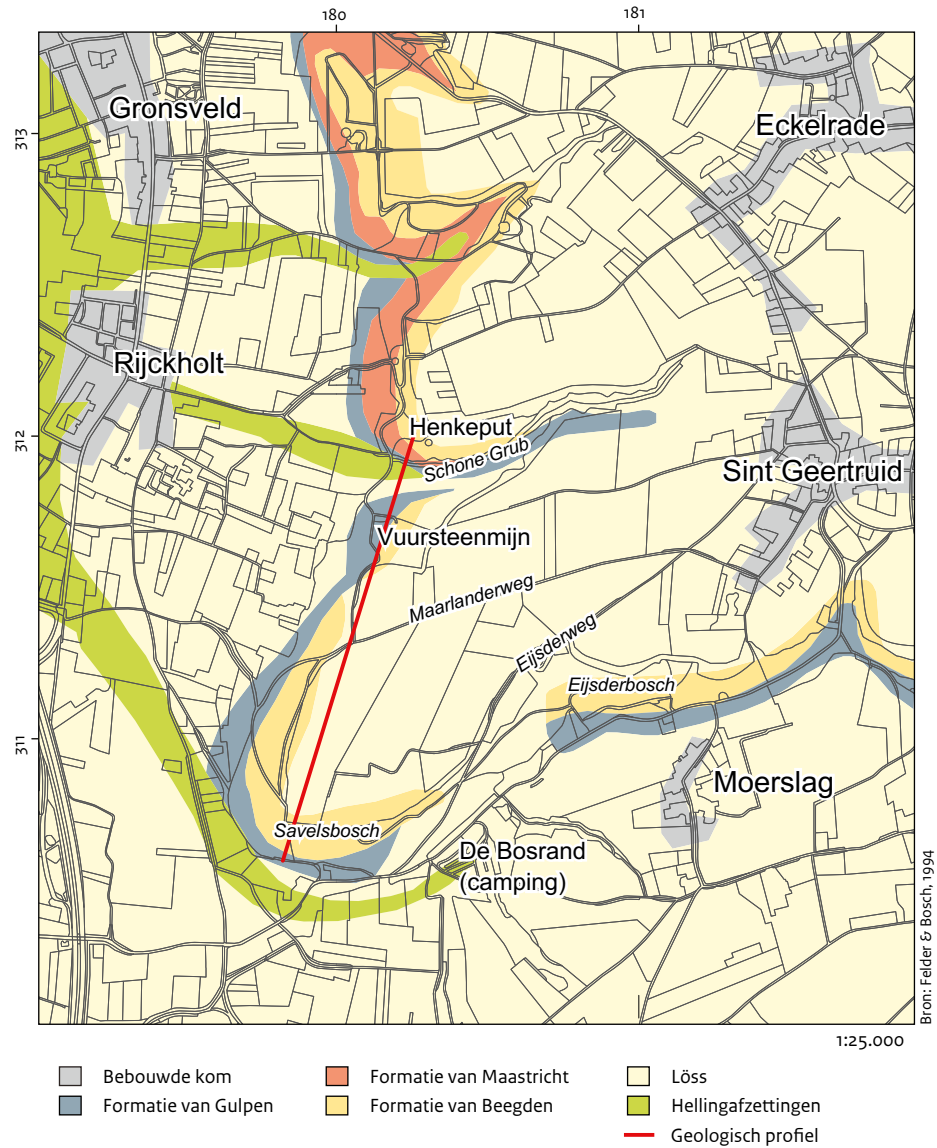
<sup>40</sup> Schirmer 2002a.

<sup>41</sup> Schirmer 2002a.

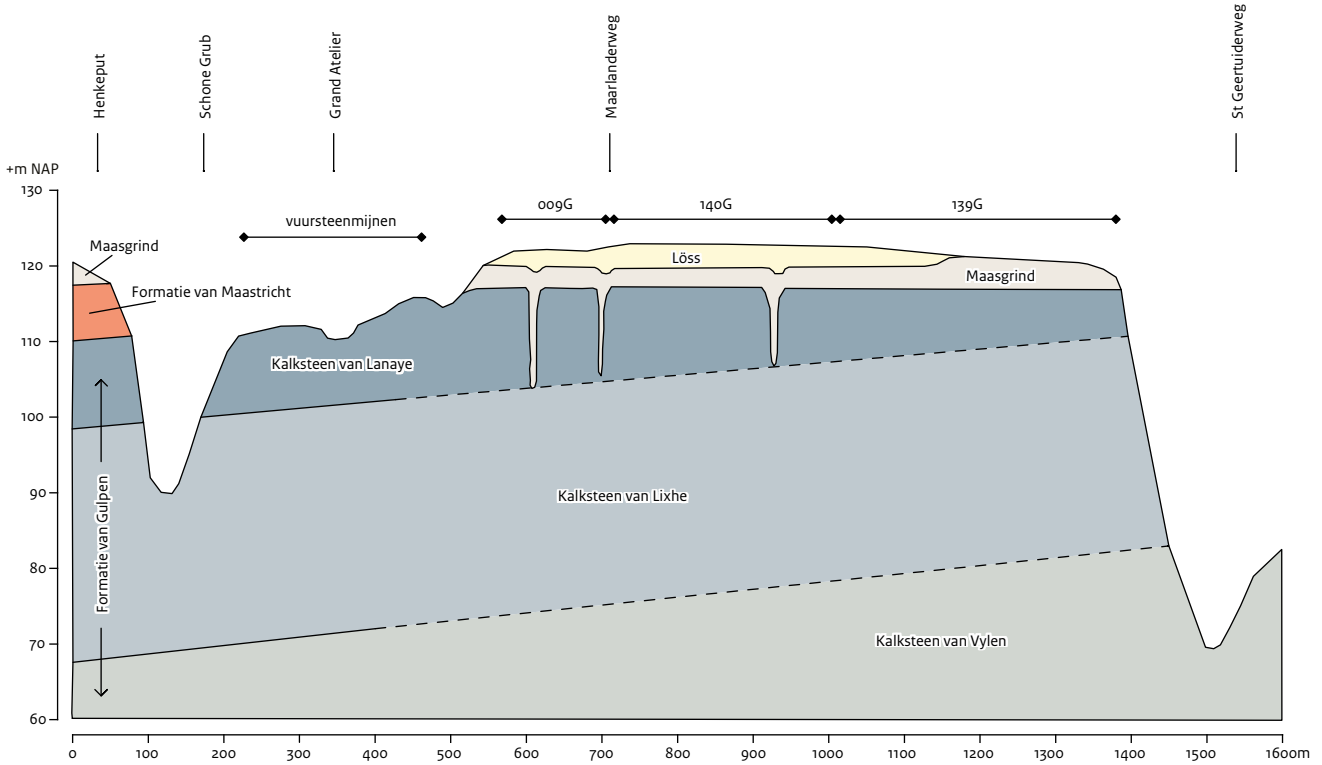
**Tabel 1** Vergelijking van de lithostratigrafische opdeling in de Belgische en Nederlandse lössregio (deels naar Haesaerts, Pirson & Meijs 2011, figuur 2).

Chrono- stratigrafie	MIS	Haesaerts, Pirson & Meijs 2011					Schokker et al. 2003		Jongmans et al. 2013	Meijs et al. 2012
		groep	formatie	lid	belangrijkste bodem- horizonten	tefra's	formatie	laagpakket	opdeling löss- afzettingen	opdeling löss- afzettingen
Holoceen	1	ROMONT	GEMBLoux	Brabant	Holocene bodem		BOXTEL	SCHIMMERT	Bovenste Löss	A-löss
Laat- Pleistoceen	2				Nagelbeek horizont					
				Haspengouw	Eltville					
	3			Vellereille	Harveng bodem					
					Les Vaux bodem					
	4			Warneton	Malplaquet bodem					
			Humeus Complex van Remicourt		Rocourt					
5	VELDWEEZELT		Henegouwen	Rocourt pedocomplex		Onderste Löss			B-löss	
6										
7 ?			Vlijtingen	Hees pedocomplex		C-löss				
8 ?										
Midden- Pleistoceen			9 ?	Riemst		Montenaken pedocomplex			D-löss	
		10 ?								
11 ?	Op de Schans	Pottenberg pedocomplex	E-löss							
12 ?										

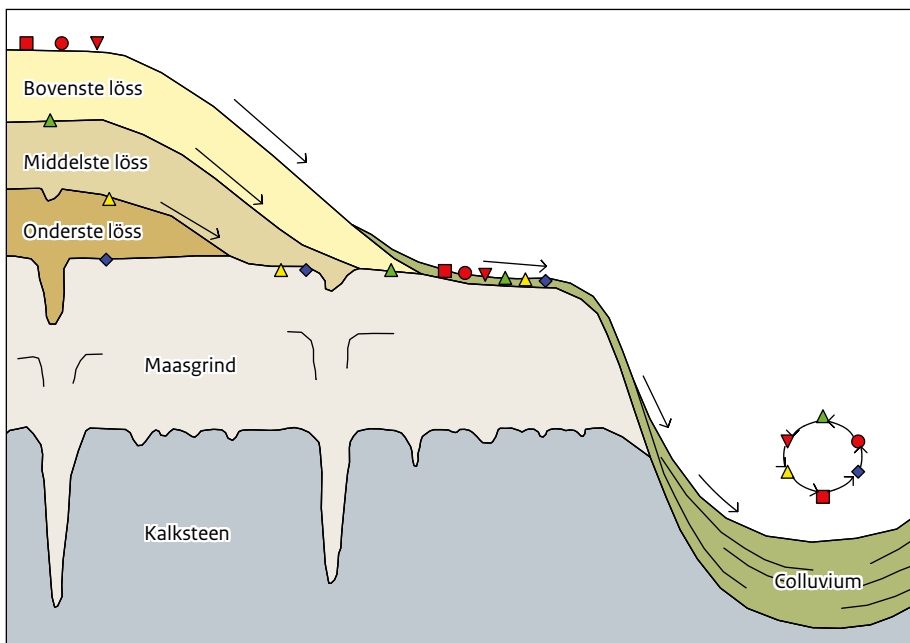




Afb. 5 Geologische kaart (naar Felder & Felder 1998). Het geologisch profiel verwijst naar afb. 6.



Afb. 6 Geologische dwarsdoorsnede door De Kaap van de Henkeput tot aan de Sint-Geertruideweg (naar Felder & Felder 1998).



- Neolithicum
- Mesolithicum
- ▼ Laat-Paleolithicum
- ▲ Midden-Paleolithicum
- ◆ Vroeg-Paleolithicum

Afb. 7 Schematische dwarsdoorsnede van De Kaap met aanduiding van de oppervlaktevondsten die zijn toegewezen aan verschillende archeologische periodes, en de veronderstelde stratigrafische positie waaruit deze eroderen (naar Felder & Felder 1998).

In het recente verleden is al getracht de löss-afzettingen op De Kaap meer gedetailleerd in kaart te brengen door middel van een aantal boorcampagnes. In het kader van een afstudeerscriptie zijn toen op de westelijke helft van het plateau twee boorraaiën geplaatst.<sup>42</sup> De eerste raai (A-A') bestaat uit zestien boringen. Hij vertrekt bij de Maarlanderweg en loopt over de lengte van de Kaap naar het zuidwesten, in de richting van het Savelsbos. De positie van deze raai komt min of meer overeen met raai A-zuid die de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed in 2008-2009 op De Kaap heeft geplaatst.<sup>43</sup> De tweede boorraai (B-B') bestaat uit vier boringen. Deze raai sluit aan bij de meest noordelijke boring van boorraai A-A' en loopt onmiddellijk ten noorden van de Maarlanderweg in westzuidwestelijke richting. De boringen in beide raaiën zijn verschillende meters diep en reiken meestal tot aan de onderliggende grinden. De belangrijkste bevindingen van dit onderzoek zijn:

- Van noordoost naar zuidwest helt het plateau over verschillende honderden meters af, om vervolgens opnieuw te stijgen en zijn hoogste punt te bereiken. Een gelijkaardig verloop van het reliëf wordt ook aangetroffen in de onderliggende afzettingen. Het feit dat zowel de sedimentaire als de pedologische gelaagdheid het huidige reliëf van De Kaap lijkt te weerspiegelen, suggereert dat de hedendaagse accentuering van het maaiveld niet het gevolg is van 'recente' erosie (uit de Romeinse tijd of later). Dat betekent dat oudere, pleistocene afzettingen mogelijk nog intact zijn.
- De twee meest zuidwestelijk gelegen boringen van raai A-A' worden gekenmerkt door de aanwezigheid van een grindrijke ploeglaag. De locatie waar deze boringen zich bevinden, wordt daarom geïnterpreteerd als de overgang tussen (eolische) afzettingen op het plateau, die zich min of meer in situ bevinden, en de geërodeerde en colluviale afzettingen lager op de helling, aan de randen van het plateau.
- De geobserveerde sequentie vertoont de opeenvolging van een ploeglaag (unit 10) met daaronder de restanten van de holocene bodemvorming bestaande uit een ontkalkte E- en een Bt-horizont (respectievelijk unit 11/12 en unit 13). Hieronder ligt de C-horizont (unit 14). De interpretatie van de onderste helft van de sequentie is moeilijk en het is

onmogelijk om op macroscopische wijze afzettingen uit het weichselien en saalien van elkaar te onderscheiden. Het is aannemelijk dat de bovenste helft van de sequentie (tot en met unit 14) uit het weichselien dateert.

- De dikte van de lössafzettingen in raai B-B' is beperkt en varieert van 1 tot 3 m. Vermoedelijk is deze afzetting beïnvloed door erosie. In de twee meest noordoostelijk gelegen boringen is op sommige niveaus een zekere gelaagdheid vastgesteld. Deze is toegeschreven aan erosieve processen.

---

### 2.3 Erosie en bodemvorming

---

Tijdens het pleistoceen werden in het onderzoeksgebied fases van lössafzetting en bodemvorming onderbroken door verschillende fases van erosie. Na afloop van de laatste ijstijd (weichselien) vonden geen nieuwe grootschalige lössafzettingen plaats en vormden zich op de meeste plaatsen in Noordwest-Europa dichte bossen. Kleinschalige vormen van ontbossing, voornamelijk op de hoger gelegen plateaus, vonden in Zuid-Limburg plaats vanaf de aankomst van de eerste neolithische groepen.<sup>44</sup> Met de komst van de Romeinen werd ontbossing grootschaliger en nam ook de erosie toe. Een nieuwe fase van ontbossing vond plaats tijdens de middeleeuwen, wat leidde tot zeer uitgesproken erosiefases.<sup>45</sup> Na de middeleeuwen was sprake van een geleidelijke toename in bodemerosie.<sup>46</sup> In het bijzonder tijdens de afgelopen decennia nam onder invloed van de aanleg van ruilverkavelingen de bodemerosie sterk toe. Dat vormt een bedreiging voor afgedekte archeologische vindplaatsen op de plateaus,<sup>47</sup> waaronder De Kaap.<sup>48</sup> Erosie vond voornamelijk plaats op de locaties met een erg uitgesproken reliëf (afb. 8).<sup>49</sup> Als de helling meer dan 2% bedraagt, is in vele gevallen zowel de A- als de E-horizont (deels) geërodeerd. Op veel van deze hellingen bevindt zich de onderliggende Bt-horizont – die beter bestand is tegen erosie – onmiddellijk onder de bouwvoor. Als de hellingsgradiënt meer dan 8% bedraagt, kan ook de Bt-horizont eroderen. In dergelijke gevallen bevindt de C-horizont zich onmiddellijk onder de bouwvoor. Op sommige van deze locaties zijn alle ontkalkte lössafzettingen verdwenen en dagzoomt kalkrijke löss.

<sup>42</sup> Henk 2006.

<sup>43</sup> Deeben *et al.* 2011.

<sup>44</sup> Vleeshouwer & Damoiseaux 1990.

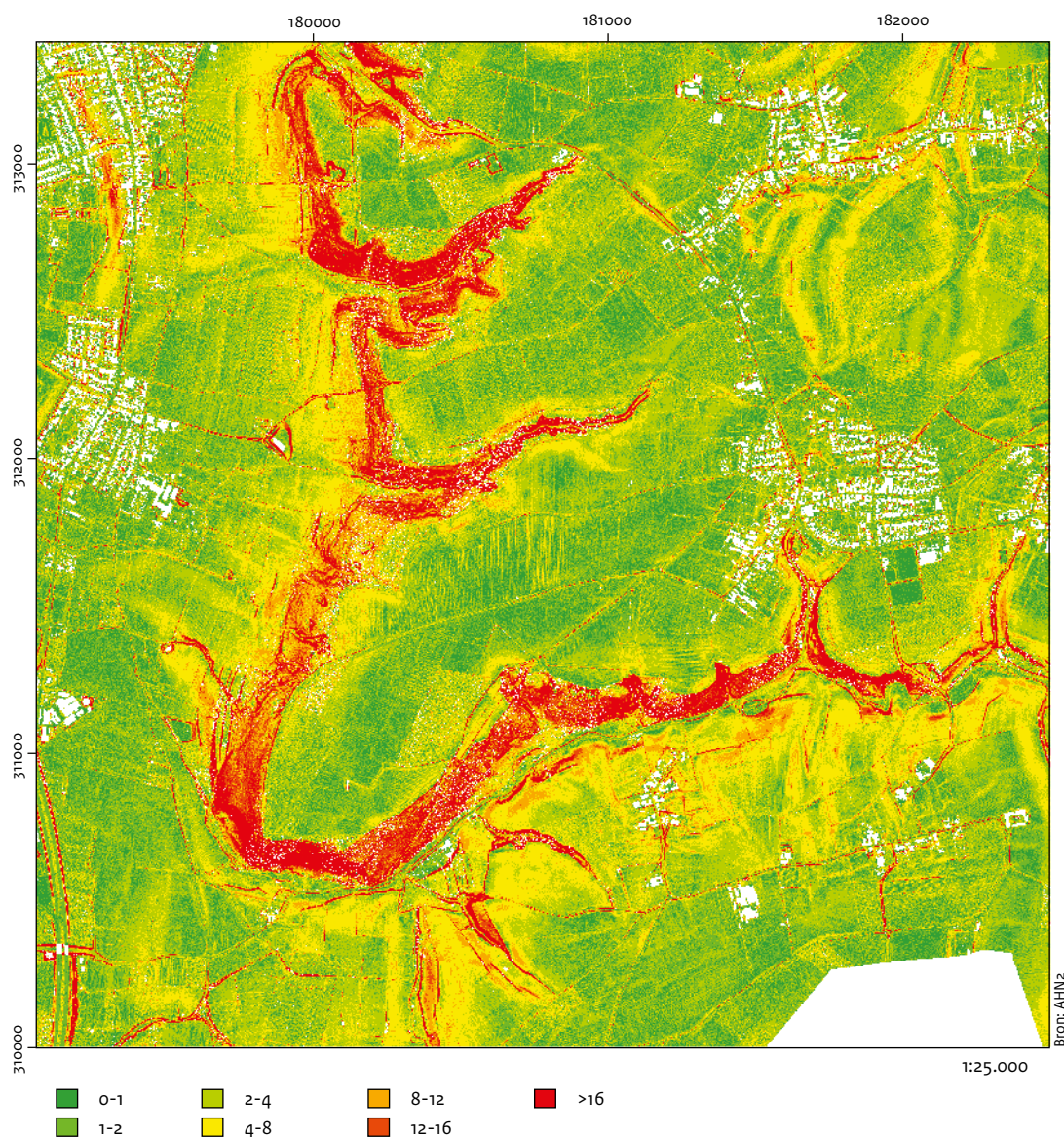
<sup>45</sup> Renes 1988.

<sup>46</sup> De Roo 1993.

<sup>47</sup> De Roo 1993.

<sup>48</sup> Rensink, Boekennoogen & Deeben 2003.

<sup>49</sup> Van den Broek 1966; zie ook Deeben & De Kort 2013.



Afb. 8 Hellingklassenkaart van het onderzoeksgebied.

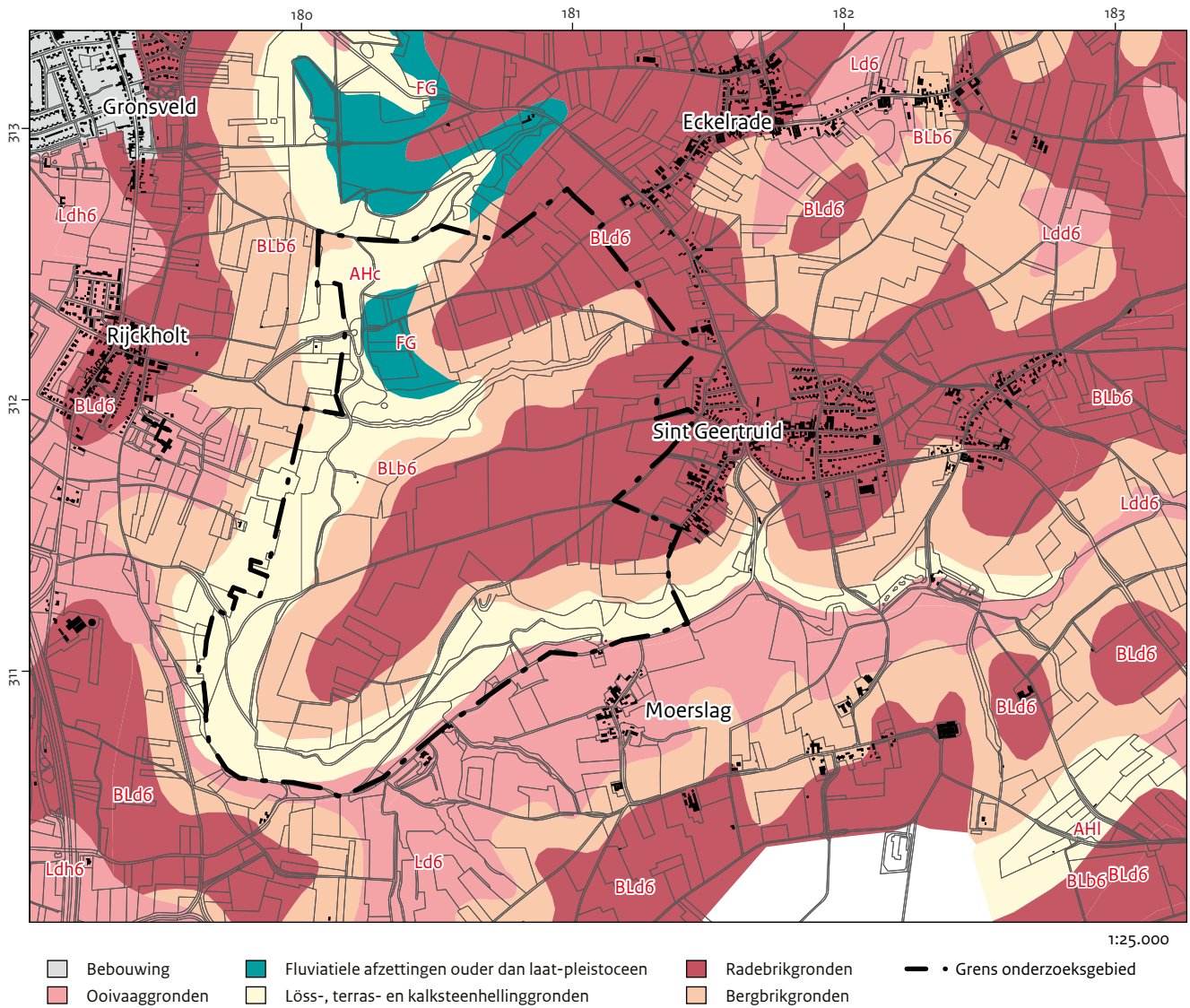
Het geërodeerde sediment ligt in de vorm van colluvium in de lager gelegen dalen en op de minder steile hellingen. Behalve de hellinggradiënt dragen ook andere factoren, waaronder klimaat, vegetatie, bodemgebruik, neerslaghoeveelheid en ploegrichting, bij aan de erosiegraad.<sup>50</sup> De hellingklassenkaart (afb. 8) geeft aan dat de onderzochte percelen een hellinggraad van minder dan 8% vertonen en dus niet bijzonder erosiegevoelig zijn. Het is echter de vraag of op de plaatsen waar het Maasgrind nu aan het oppervlak ligt, de lössafzettingen zijn geërodeerd of dat hier nooit löss is afgezet.

De mate van erosie wordt tot op zekere hoogte weerspiegeld in de bodemclassificatie<sup>51</sup>. Drie verschillende bodemtypes domineren het onderzoeksgebied (afb. 9): radebrikgronden (BLd6), bergbrikgronden (BLb6) en hellinggronden (AHc). Bodems geklasseerd als radebrikgronden vertonen een relatief gaaf bodemprofiel, waarbij de E-horizont nog aanwezig is en de Bt-horizont (ook wel *briklaag* genoemd) ca. 40-50 cm onder het maaiveld ligt. Deze bodems bevinden zich op de centrale gelegen delen van het plateau en lijken het minst onderhevig te zijn geweest aan erosie. Bergbrikgronden worden gekenmerkt

<sup>50</sup> De Roo 1993.

<sup>51</sup> Deeben *et al.* 2011.





Afb. 9 Bodemkaart van het onderzoeksgebied (Bron: ARCHIS).

door de afwezigheid van een A- en E-horizont; de Bt-horizont bevindt zich bij deze bodemtypes zeer dicht onder het maaiveld. Deze bodems worden hoofdzakelijk aangetroffen aan de randen van het plateau. Erosie heeft ervoor gezorgd dat ze werden onthoofd. Bij de hellingronden bevindt de C-horizont zich ofwel onmiddellijk aan het oppervlak, ofwel onder een pakket colluvium. Het fysisch-geografische onderzoek dat tussen 2008 en 2010 werd uitgevoerd door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, leverde gelijkaardige resultaten op.<sup>52</sup> Ook hieruit blijkt dat de

plateauranden het meest onderhevig zijn aan erosie: bodems zijn er onthoofd tot aan de B- of C-horizont. De vlakkere delen (plateaus) binnen het onderzoeksgebied bleken minder te zijn beïnvloed door erosie, hoewel hier een zekere variatie bestaat met bodemprofielen die zijn bewaard vanaf de E- of de B-horizont. Deze variatie lijkt verband te houden met (oorspronkelijke) verschillen in microreliëf. Het booronderzoek leverde geen argumenten op voor grootschalige erosie, die hier op basis van het grote aantal oppervlaktevondsten werd verwacht.

<sup>52</sup> Deeben et al. 2011; Deeben & De Kort 2013. Hierbij zijn tussen 2008 en 2010 450 boringen verricht, verspreid over De Kaap.

Dit hoofdstuk geeft een beknopt overzicht van de gebruikte onderzoeksmethodes. Het richt zich voornamelijk op de toepassing van de methode en de bruikbaarheid voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen uit paragraaf 1.2. Het onderzoek is uitgevoerd conform de Kwaliteitsnorm Nederlandse Archeologie (KNA 3.2) en het opgestelde Plan van Aanpak (PvA).<sup>53</sup>

## 3.1 Booronderzoek

In het kader van de overkoepelende studie door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed naar de omgeving van de neolithische vuursteenmijnen is een uitgebreid fysisch-geografisch booronderzoek opgezet. Verspreid over het plateau werden diverse raaien met handmatige boringen gezet. Ze werden uitgevoerd met een Edelmanboor met een diameter van 7 cm. De boringen zijn geplaatst tot in de C-horizont. Meer informatie over deze boringen bieden de publicaties in de reeks *Archeologisch onderzoek in de omgeving van het prehistorische vuursteenmijnveld te Rijckholt-St. Geertruid*. Ze bespreken de resultaten van het veldwerk in 2008, 2009 en 2010.<sup>54</sup>

Als onderdeel van de studie naar de stratigrafische context van de midden-paleolithische vondsten van De Kaap werden in 2010 eveneens een aantal diepere (handmatige) boringen geplaatst. Het boortype en de boordiameter waren identiek aan die van het overkoepelende onderzoek van de Rijksdienst. De boringen werden ditmaal echter zo diep mogelijk uitgevoerd, veelal tot de onderliggende grindafzettingen werden aangesneden. Het doel van dit fysisch-geografisch onderzoek was het verkrijgen van een beter inzicht in de algemene bodemopbouw en de fysieke kwaliteit van het onderzoeksgebied (erosiegraad). Tevens fungeerden de resultaten van dit onderzoek als basis voor de selectie van een locatie voor het vervolgonderzoek, waarvoor een proefput zou worden aangelegd (zie paragraaf 3.2). Aanvullend voerden de onderzoekers een aantal mechanische boringen uit met een handmatig bedienbare, mechanische boor. Met de gesloten *liners* die zo ontstonden, konden zij de magnetische susceptibiliteit van de lösssequentie meten (zie subparagraaf 4.1.5).

## 3.2 Gravend onderzoek

Op basis van de resultaten van het fysisch-geografische onderzoek is een locatie geselecteerd waar de volledigheid en kwaliteit van de lösssequentie voldoende waren voor de aanleg van een put ten behoeve van gedetailleerde profielanalyse. Op deze locatie is vervolgens in 2011 machinaal een put van 10 x 5 m aangelegd: put 2.<sup>55</sup> Vooraf vond een prospectie van het oppervlak plaats. Aangezien put 2 tot ca. 4,5 m diep was, werd deze getrap aangelegd om instortingsgevaar te vermijden. Het noordprofiel aan een van de smalle zijden van de put vormt hierop een uitzondering en werd ongetrap aangelegd om te garanderen dat er een ononderbroken profiel beschikbaar zou zijn ten behoeve van analyse en bemonstering. Speciaal voor het onderzoek naar de neolithische bewoning van De Kaap werden tijdens de aanleg van put 2 handmatig enkele kleinere testvakken aangelegd.

De aanleg van put 2 was erop gericht te komen tot een gedetailleerde (macroscopische) beschrijving van de stratigrafische sequentie die zichtbaar was op de profielwanden. Deze profielwanden werden eveneens uitgebreid bemonsterd voor verschillende soorten onderzoek. De uitkomsten, die zijn te verbinden met gegevens over de bodemopbouw, dragen bij aan de beoordeling van de fysieke kwaliteit (gaafheid en conservering) van de midden- en laat-pleistocene afzettingen in het onderzoeksgebied.

## 3.3 Bemonstering en analyses

De profielen van put 2 zijn uitgebreid bemonsterd in het kader van diverse onderzoeken die waren gericht op het achterhalen van informatie omtrent de fysieke kwaliteit (gaafheid en conservering) en ouderdom van de afzettingen. Hieronder volgt een beknopt overzicht van de toegepaste analyses. Een uitgebreide beschrijving van de toegepaste methodes en bijbehorende resultaten staat in paragraaf 4.1.

<sup>53</sup> Van Baelen, Glauberman & Raczynski-Henk 2011.

<sup>54</sup> Deeben *et al.* 2011; Deeben & De Kort 2013.

<sup>55</sup> Van Baelen *et al.* 2012.

---

### 3.3.1 Korrelgrootteanalyse

---

Korrelgrootteanalyse richt zich op de kwantitatieve beschrijving van de grootteverdeling van het minerale deel van sediment.<sup>56</sup> Deze grootteverdeling vormt een van de belangrijkste kenmerken van sediment en beïnvloedt de fysische en chemische eigenschappen van de bodem (zoals structuur, consistentie en vochthoudend vermogen). Analyse van deze grootteverdeling verschaft informatie over de precieze omstandigheden waaronder het sediment is gevormd. In Nederland wordt gebruikgemaakt van de NEN 5104-classificatie voor de opdeling van onverharde grondmonsters.<sup>57</sup> Hierbij wordt op basis van de korrelgrootte onderscheid gemaakt tussen de volgende fracties:

- lutum:  $\geq 2 \mu\text{m}$ ;
- silt:  $\geq 2 - 63 \mu\text{m}$ ;
- zand:  $\geq 63 - 2000 \mu\text{m}$ ;
- grind:  $\geq 2 - 63 \text{ mm}$ ;
- stenen:  $\geq 63 - 200 \text{ mm}$ ;
- leien:  $\geq 200 - 630 \text{ mm}$ ;
- blokken:  $\geq 630 \text{ mm}$ .

In het kader van het onderzoek op De Kaap werd de kleine fractie (tussen  $0,05$  en  $2000 \mu\text{m}$ ) onderzocht.

---

### 3.3.2 Micromorfologie

---

Micromorfologie behelst het gedetailleerde onderzoek van de bodem op microscopische schaal aan de hand van onverstoorde bodemonsters.<sup>58</sup> Hierbij wordt traditioneel gebruikgemaakt van slijpplaten. Micromorfologische analyses kunnen antwoorden bieden op diverse vragen, over zowel natuurlijke bodemvorming als de identificatie van antropogene invloeden op de bodem (zoals het vaststellen van fases van ontbossing, het identificeren van bewoningsniveaus, landbouwimpact, etc.). Hier richt het micromorfologische onderzoek zich hoofdzakelijk op de genese van de verschillende stratigrafische niveaus, de ontwikkeling van het landschap en de daarmee samenhangende klimatologische veranderingen.

---

### 3.3.3 Geochemisch onderzoek

---

Het geochemische onderzoek van dit project richt zich op het bepalen van de chemische eigenschappen van het sediment om meer informatie te verkrijgen over samenstelling, herkomst, sedimentaire processen en bodemvorming. In dit onderzoek is gebruikgemaakt van een *handheld X-ray fluorescence-spectrometer* (XRF).

---

### 3.3.4 Optisch gestimuleerde luminescentie (OSL)

---

Een OSL-datering bepaalt het moment van afzetting en begraving van sediment. De methode is gebaseerd op de observatie dat kwarts- en veldspaatkorrels een luminescentiesignaal (lichtsignaal) kunnen uitzenden. Dit signaal wordt op nul gezet wanneer de korrels worden blootgesteld aan hitte of zonlicht. Na begraving van de korrels wordt dit signaal opnieuw langzaam opgebouwd onder invloed van de natuurlijke achtergrondstraling uit de directe omgeving.<sup>59</sup> OSL-dateringen maken het mogelijk de stratigrafische sequentie die in put 2 is waargenomen, (absoluut) te dateren.

---

### 3.3.5 Magnetische susceptibiliteit

---

Magnetische susceptibiliteit meet de hoeveelheid magnetisch geladen deeltjes in grondmonsters. Uitgangspunt daarbij is dat bodemhorizonten een grotere hoeveelheid van deze deeltjes bevatten dan (tussenliggende) eolische lösspakketten.<sup>60</sup> Het meten van magnetische susceptibiliteit is een niet-destructieve methode, waarbij men de boorkernen doormeet met behulp van een magnetometer. De magnetische susceptibiliteit van verschillende niveaus in de boorkern en de variaties daarin fungeren als een *proxy* voor (de variatie van) klimaat en milieu in het verleden. Informatie over de magnetische susceptibiliteit is ook bruikbaar voor de onderlinge correlatie van individuele sequenties uit eenzelfde onderzoeksgebied, of voor de correlatie met andere terrestrische en diepzeesequenties.

---

<sup>56</sup> Berendsen 2005.

<sup>57</sup> Van der Meulen *et al.* 2003.

<sup>58</sup> Macphail, Courty & Goldberg 1990.

<sup>59</sup> Wallinga 2005; Wallinga, Davids & Dijkmans 2007.

<sup>60</sup> Rousseau *et al.* 1994; Dalan 2014.

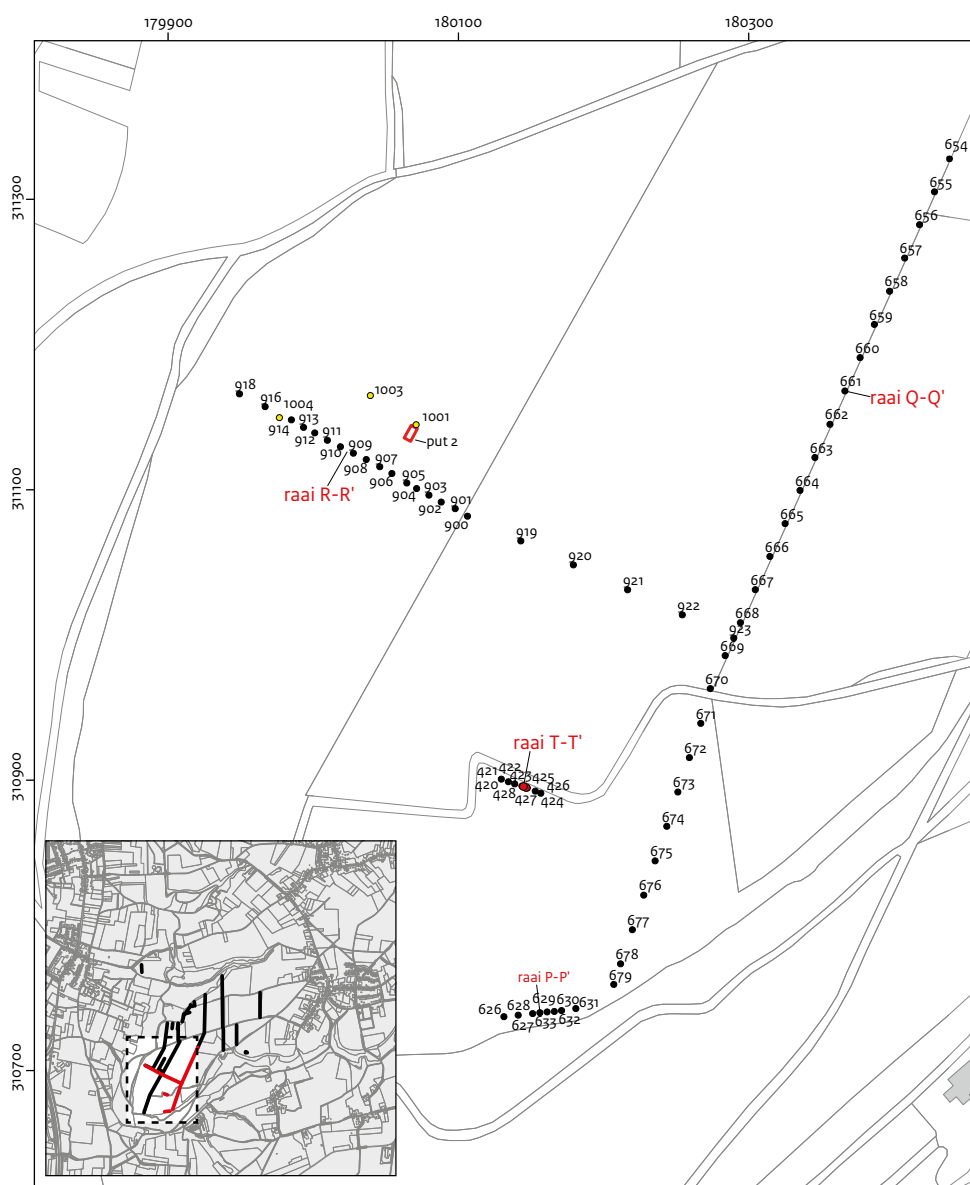
## 4.1 Het fysisch-geografische onderzoek

### 4.1.1 Lithostratigrafie op basis van het booronderzoek

#### Methode

Het onderzoek naar de stratigrafische context van de midden-paleolithische vondsten van De

Kaap (2010) omvatte onder meer een booronderzoek met een raai relatief diepe boringen op de percelen 139G, 140G en 146G (raai R-R'; afb. 10). De raai kent een zuidoost-noordwestelijke oriëntatie en omvat de boornummers 900-914, 916 en 918-923. Voor de uitvoering van de boringen werd gebruikgemaakt van een Edelmanboor met een diameter van 7 cm. De boringen werden zo diep mogelijk uitgevoerd, waar mogelijk tot de onderliggende grinden. De onderlinge afstand tussen de boorlocaties op deze raai varieerde en

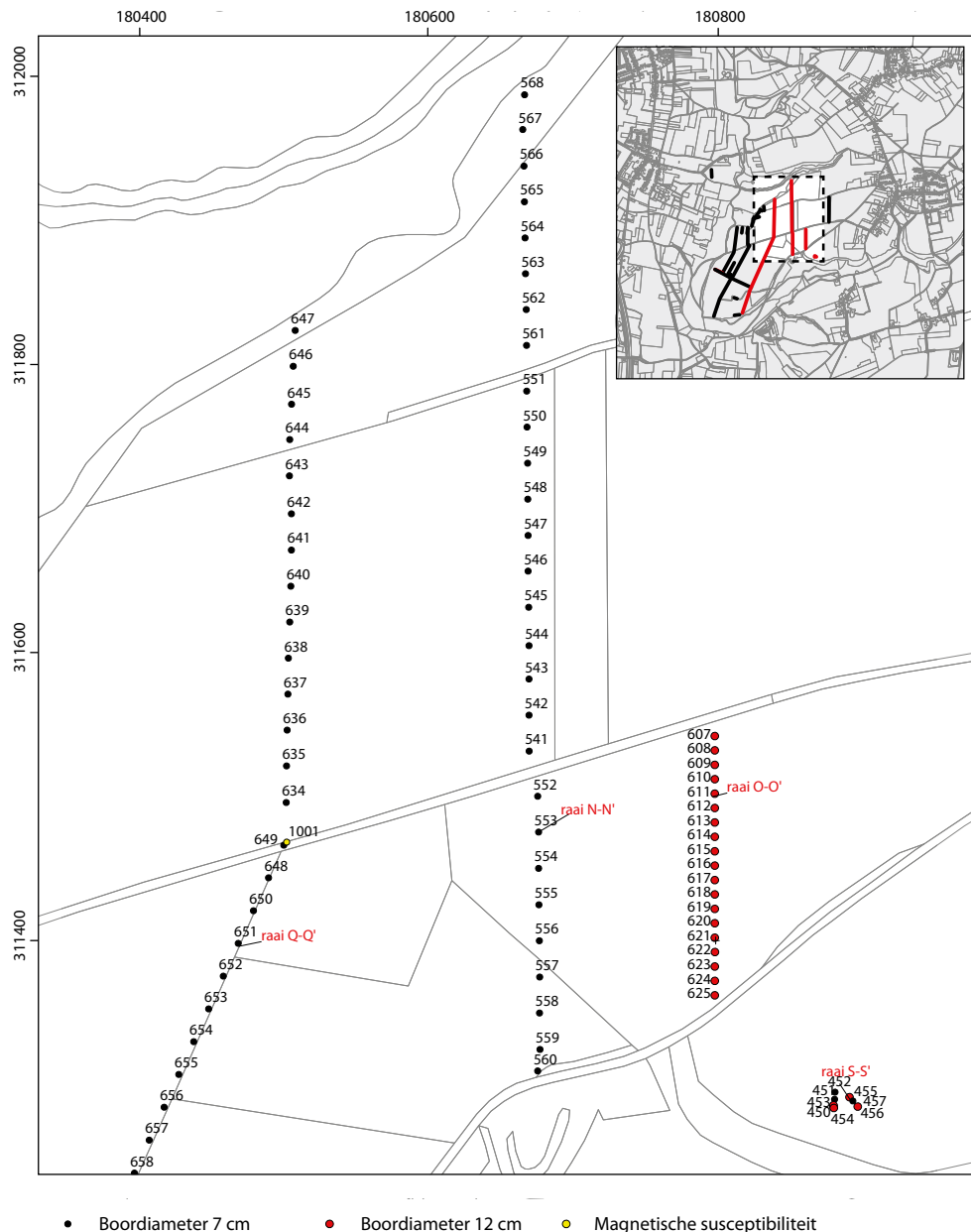


Afb. 10 Boorpuntenkaart met de boorraaien P-P', R-R', T-T' en het zuidelijke deel van raai Q-Q', de locatie van put 2 en de locaties van de boorkernen die zijn bemonsterd voor het onderzoek naar magnetische susceptibiliteit.



was afhankelijk van de lokale topografie. Voor het oostelijk deel van de raai, gelegen op perceel 146G (de boornummers 900, 919-923), bedroeg de onderlinge afstand 40 m. Meer naar het westen, op de percelen 140G en 139G, waar de hellingsgraad toeneemt, was de afstand tussen de boorlocaties kleiner en bedroeg deze slechts 10 m (de boornummers 900-914). De afstand tussen de drie meest westelijk gelegen boorlocaties (de boornummers 914, 916 en 918) op perceel 139G bedroeg daarentegen 20 m.

Dwars op boorraai R-R' loopt boorraai Q-Q'. Hij loopt van het meest zuidelijke punt van De Kaap in het zuidwesten tot de Schone Grub in het noordoosten. In deze raai is bovendien om de 100 m een boring uitgevoerd tot aan de onderliggende grinden (afb. 11). Het betreft (van zuidwest naar noordoost) de boornummers 679, 671, 337, 663, 659, 655, 651, 648, 638, 642, 646 en 647. Deze boorraai beslaat de percelen 24G, 103G, 146G, 144G, 143G en 210G. De boorlocaties zijn driedimensionaal ingemeten



Afb. 11 Boorpuntenkaart met de raaien N-N', O-O', S-S' en het noordelijke deel van raai Q-Q', en de locatie van de boorkern die zijn bemonsterd voor het onderzoek naar magnetische susceptibiliteit.

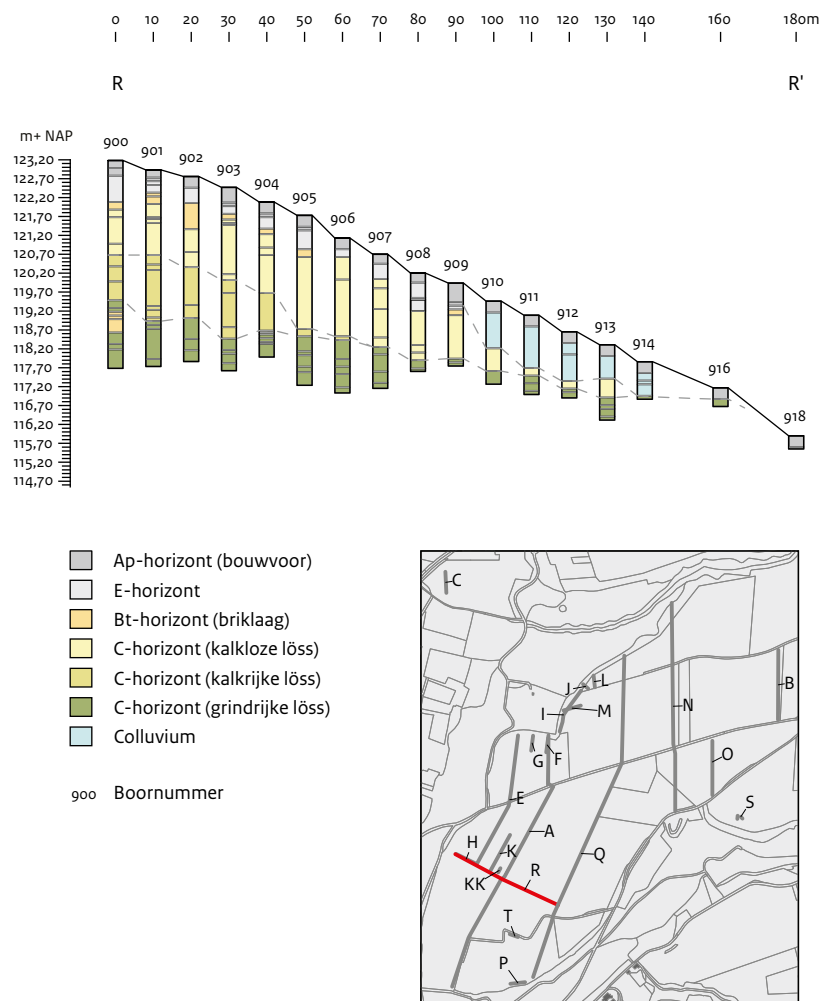
met behulp van een *Robotic Total Station (RTS)* en lithologisch beschreven conform NEN 5104 met behulp van het door RAAP Archeologisch Adviesbureau ontwikkelde programma Deborah. Tijdens het veldwerk zijn onder meer de volgende gegevens ingevoerd: uitvoerder, XYZ-coördinaten, kleur en textuur van de verschillende stratigrafische niveaus en de aard van de boven- en ondergrens van het stratigrafische niveau. Bovendien is vermeld of het niveau al dan niet kalkhoudende was en of er mangaan, ijzerconcreties en/of grind aanwezig waren. Ook gaven de onderzoekers een voorlopige interpretatie.

**Resultaten**

Bij boorraai R-R' bestaan duidelijke verschillen tussen het oostelijke en het westelijke deel van de raai (afb. 12).<sup>61</sup> De meest oostelijke boorpunten

van raai R-R' bevinden zich bovenop het plateau en vertonen de aanwezigheid van een relatief dik lösspakket. Onder de ca. 40 cm dikke bouwvoor is de E-horizont aanwezig, met daaronder een Bt- en C-horizont. Deze horizonten zijn kalkloos. De boringen 923-919 en aansluitend hierbij ook de boringen 900-906 tonen de aanwezigheid van lichtgele tot lichtgeelgrijze kalkrijke löss onder de kalkloze löss. Deze kalkrijke löss, waarvan de dikte afneemt naar het westen toe, komt voor op een diepte van 2,25 tot 3,2 m (gemiddelde van 2,7 m) onder het maaiveld. In boring 907 en alle boringen ten westen hiervan was deze afzetting niet meer waarneembaar. Deeben en De Kort schuiven hiervoor twee verklaringen naar voren:<sup>62</sup>

- In het westelijke deel van boorraai R-R', ter hoogte van het oranjegele mangaanrijke pakket, ligt de ontkalkingsgrens dieper.



Afb. 12 Boorkolommen van het westelijke deel van raai R-R' met bodemkundige interpretatie.

<sup>61</sup> Deeben & De Kort 2011 (figuur 5.38, 62).  
<sup>62</sup> Deeben & De Kort 2011.

- Het betreft hier geen ontkalking als gevolg van bodemvorming, maar een afzetting van kalkloze löss. In dit deel van het gebied is mogelijk nooit een kalkrijk pakket afgezet, of zijn de kalkrijke afzettingen geërodeerd voordat het kalkloze pakket werd afgezet.

Westelijk van boring 910 komt onmiddellijk onder de bouwvoor een pakket löss met humusvlekken voor tot op een diepte van ongeveer 1,2 m onder het maaiveld. Een E- of Bt-horizont is hier niet aangetroffen. Mogelijk valt deze lössafzetting te interpreteren als colluvium. De herkomst van dit colluvium is voorlopig onduidelijk, aangezien hoger op de helling (in het oostnoordoosten) de bodems relatief intact lijken te zijn.<sup>63</sup> Onder dit lösspakket met humusvlekken bevindt zich een onverstoorde C-horizont bestaande uit kalkloze of ontkalkte lichtbruingele tot lichtbruingrijze löss. In de boringen 914-918 is deze kalkloze of ontkalkte lichtbruingele tot lichtbruingrijze löss evenwel afwezig. In alle boringen bevindt zich onderaan, onder de kalkrijke dan wel kalkloze löss, een pakket oranjegele, mangaanrijke löss dat enkele kiezels bevat. Deze afzetting kent een licht afhellend verloop in noordwestelijke richting. Bovenop het plateau, in het oostelijke deel van raai R-R', ter hoogte van boorpunt 920, bevindt dit grindhoudend niveau zich op ongeveer 120,20 m NAP (2 m onder het maaiveld), terwijl het grindniveau 200 m meer naar het noordwesten, ter hoogte van boorpunt 912, op 117,20 m NAP (1,5 m onder het maaiveld) ligt. Nog eens 40 m verder naar het noordwesten (de boorpunten 916 en 918) is dit niveau onmiddellijk onder de bouwvoor aanwezig. In boring 900 werden in deze oranjegele, mangaanrijke löss indicaties voor bodemvorming aangetroffen in de vorm van een Bt-horizont. Deze observaties leiden tot de hypothese dat op de plateauranden geen löss meer is afgezet na de vorming van het pakket oranjegele, mangaanrijke en grindrijke löss. Een andere mogelijkheid is dat deze löss nadien volledig is geërodeerd.

#### Interpretatie

Uit bovenstaande observaties kan worden afgeleid dat op perceel 140G vermoedelijk nauwelijks (recente) erosie heeft plaats gevonden. Met betrekking tot de diepere ondergrond kunnen twee belangrijke scharnierpunten in raai R-R' worden geïdentificeerd:

- De boorpunten 906-907: vanaf het meest oostelijke boorpunt tot en met boring 906 ligt een

kalkrijk pakket in de ondergrond. In boring 907 en alle boringen ten westen hiervan was deze afzetting niet meer waar te nemen.

- De boorpunten 909-910: in boring 910 en de vier boringen ten westen hiervan ligt een pakket dat kan worden geïnterpreteerd als colluvium.

Hoewel in raai Q-Q' slechts een beperkt aantal diepe boringen werd uitgevoerd, schetsen deze een beeld dat sterke overeenkomsten vertoont met het oostelijke deel van boorraai R-R'.<sup>64</sup> In de meeste boringen in raai Q-Q' komt onder de ca. 30 cm dikke bouwvoor een lichtgrijsbruine E-horizont voor, gevolgd door een Bt-horizont en de lichtbruingele kalkloze of ontkalkte löss die de C-horizont uitmaakt. Alleen de boringen op de hellingen van het plateau en in de dalen wijken af van dit patroon. De dieper uitgevoerde boringen bovenop het plateau bevatten vervolgens een pakket kalkrijke löss, meestal lichtgeel van kleur, op 1,9 tot 3,2 m (gemiddeld 2,7 m onder het maaiveld). Hieronder bevindt zich – net als in raai R – een pakket oranjegele, mangaanrijke, grindrijke löss.

In boring 648 in raai Q-Q' bevatte deze oranjegele, mangaanrijke, grindrijke löss indicaties voor bodemvorming in de vorm van een E- en een Bt-horizont (maar zie subparagraaf 4.1.5). In de top van deze bodem werd hier bovendien een vuurstenen artefact (vondstnummer 348) aangetroffen op een diepte tussen 3,50 en 3,55 m onder het maaiveld.<sup>65</sup> Voor een beschrijving van deze vondst wordt verwezen naar paragraaf 4.2. Op basis van deze boorresultaten en de spreiding van de midden-paleolithische oppervlaktevondsten die in het verleden op De Kaap zijn verzameld, is op perceel 139G ter hoogte van boring 905 een locatie geselecteerd voor de aanleg van put 2. De verwachting was dat hier binnen 4 m onder het maaiveld een relatief intacte stratigrafie aanwezig was.

#### 4.1.2 Lithostratigrafie op basis van profielobservaties in put 2

##### Methodie

Op de geselecteerde locatie (ca. 121 m NAP) werd op machinale wijze een put (put 2) van 10 x 5 m aangelegd. Deze was ingemeten met behulp van het Rijksdriehoeksstelsel (RD) (tabel 2; afb. 10 en 13). De aangelegde put omvat de vakken 35/425

<sup>63</sup> Deeben & De Kort 2011.

<sup>64</sup> Deeben & De Kort 2011, figuur 5.36, 60.

<sup>65</sup> Deeben & De Kort 2011, 58-62.

en 35/430, die beide 5 x 5 m meten. De vaknummers hier verwijzen steeds naar de oost- en noordcoördinaat van het zuidwestelijke hoekpunt van het vak.

**Tabel 2 Coördinaten van de hoekpunten van put 2 in het Rijksdriehoekstelsel (RD) en de overeenkomstige coördinaten in het lokale gridsysteem.**

X (RD)	Y (RD)	X (lokaal)	Y (lokaal)
180.062,69	311.135,65	35,00	425,00
180.067,48	311.144,42	35,00	435,00
180.071,87	311.142,03	40,00	435,00
180.067,07	311.133,25	40,00	425,00

Met het oog op het onderzoek naar neolithische sporen en vondsten die samenhangen met het gebruik van de vuursteenmijnen, verzamelden de onderzoekers vóór aanleg van de put in deze twee vakken alle oppervlaktevondsten (vlak 0). De bouwvoor werd schavenderwijs verwijderd met behulp van een graafmachine met gladde bak, waarna in de top van de onverstoorde löss een vlak werd aangelegd (vlak 1). Dit vlak werd handmatig opgeschaafd en geïnspecteerd op de aanwezigheid van grondsporen en vondsten.

Vlak 1 werd vervolgens gefotografeerd, ingetekend en ingemeten met behulp van een RTS met *Global Positioning Systems* (RTS-GPS). Daarna legde men handmatig twee testvakken van 1 x 1 m aan. Beide testvakken werden opgegraven in vakken van 50 x 50 cm en in twee niveaus van elk 5 cm (de vlakken 1 en 2).<sup>66</sup> De hoekpunten en het midden van deze vakken werden eveneens per vlak ingemeten met een RTS-GPS. Het sediment is verzameld en nat gezeefd over een zeef met een maaswijdte van 2 mm. De zeefresiduen zijn gedroogd en vervolgens met het blote oog geïnspecteerd op de aanwezigheid van archeologische indicatoren.<sup>67</sup>

Hierna werd put 2 over de volledige oppervlakte machinaal 10 cm verdiept en op dit niveau werd een controlevlak aangelegd (vlak 3). Ook dit vlak werd handmatig opgeschaafd, gecontroleerd op de aanwezigheid van sporen en vondstmateriaal, gefotografeerd en ingemeten met de RTS-GPS. Een beperkt aantal vondsten werd verzameld.<sup>68</sup> De put werd vervolgens schavenderwijs machinaal verdiept tot een diepte van ca. 4,5 m onder het maaiveld.

De profielen zijn met de klok mee genummerd, beginnend bij het noordprofiel (vlak 101). Het noordelijke (vlak 101), oostelijke (vlak 102) en westelijke profiel (vlak 104) werden volledig gefotografeerd, ingetekend op schaal 1:20 en uitgebreid



Afb. 13 Aanleg put 2 (foto: A. Van Baelen).

<sup>66</sup> Het betreft hier de acht vakken van 50 x 50 m: 35,0/425,0; 35,5/425,0; 35,0/425,5; 35,5/425,5 en 35,0/430,0; 35,5/430,0; 35,0/430,5; 35,5/430,5.

<sup>67</sup> Voor verdere informatie: Deeben & De Kort, in voorbereiding.

<sup>68</sup> Een bespreking van deze vondsten staat in Deeben & De Kort, in voorbereiding.



beschreven. Van de zuidelijke wand (vlak 103) is slechts een beperkt deel gefotografeerd, getekend en beschreven. Voor de profielbeschrijving maakten de onderzoekers gebruik van het door de Rijksdienst gehanteerde RAAP-bodembeschrijvingsstelsel, waarbij de stratigrafische niveaus in de profielen van boven naar beneden zijn genummerd. De bemonstering van de diverse stratigrafische niveaus vond hoofdzakelijk plaats in het noordelijke en westelijke profiel.

### Resultaten

Op basis van macroscopische observaties op de vier profielwanden van put 2 (afb. 14-17), is een sequentie opgesteld die, van boven naar onder, is weergegeven in afb. 18 en tabel 3.

De ontkalkingsgrens bevindt zich ter hoogte van het stratigrafische grensvlak tussen de niveaus 5003 en 5004/5005, op ongeveer 250 cm onder het maaiveld.

**Tabel 3** Overzicht en beschrijving van de stratigrafische eenheden in put 2.

Stratigrafische eenheid	Beschrijving
5000	Donkerbruin lemig sediment, bevat fragmenten vuursteen, ondergrens is zeer duidelijk en bevindt zich op ca. 30 cm onder maaiveld.
5001	Roodbruin, zeer lemig sediment, kleiige bijmenging; bevat verticale wormgangen (bioturbatie); niet-kalkhoudend; ondergrens diffuus en bevindt zich tot maximaal ca. 90 cm onder het maaiveld.
5002	Bruingele lemige afzetting; zichtbare gelaagdheid in onderste 40-50 cm met gelige, iets zandigere afzettingen; bevat verticale wormgangen tot ca. 150-200 cm onder de bouwvoor (bioturbatie); niet-kalkhoudend; ondergrens tot op ca. 210 cm onder het maaiveld.
5002.1	Lichtbruingrijze, zwak zandige leem, licht gelaagd, kalkrijk; Enkel als afzonderlijke stratigrafische eenheid geobserveerd op de noordelijke profielwand (vlak 101), op de andere profielwanden is deze eenheid ondergebracht in 5002.
5002.2	Lichtbruingrijze, zwak zandige leem, lichtgeelgrijze loesslaagjes; enkel als afzonderlijke stratigrafische eenheid geobserveerd op de noordelijke profielwand (vlak 101), op de andere profielwanden is deze eenheid ondergebracht in 5002.
5003	Bruingele lössafzetting, bevat enkele horizontale lenzen met verspoeld materiaal; niet-kalkhoudend; ondergrens is duidelijk zichtbaar en bevindt zich op ca. 250 cm onder het maaiveld.
5004	Geelgrijze lemig sediment, kalkhoudend; lokaal aanwezig (westelijke profielwand) op de overgang van stratigrafische eenheden 5003 naar 5005.
5005	Grijsblauw lemig sediment; kleiaanrijking; kalkhoudend; onderaan sterk gecryoturbeerd; ondergrens zeer onregelmatig omwille van cryoturbatie op maximaal ca. 360 cm onder het maaiveld.
5006	Geel lemig sediment; bijmenging mangaan en ijzerconcreties; kalkhoudend; volledige afzetting sterk gecryoturbeerd; ondergrens op maximaal ca. 370 cm onder het maaiveld.
5006.1	Lichtgeelgrijze, zwak zandige leem, zwak ijzerhoudend, gecryoturbeerde löss met wat humusvlekken, kalkloos. Deze stratigrafische eenheid werd enkel onderscheiden op de noordelijke profielwand (vlak 101).
5007	Ter hoogte van de overgang tussen 5006 en 5009 bevindt zich een grindniveau (grinden tussen 0,2 en 2 cm) dat de onderliggende stratigrafische unit 5009 trunkeert; de grinden bevinden zich tussen ca. 360 tot 370 cm onder het maaiveld.
5008	Ter hoogte van de overgang tussen 5006 en 5009 bevindt zich op sommige locaties – in het bijzonder op de zuidelijke profielwand – een oranje lemige afzetting; bevat gele lemige lenzen; bevat lokaal beperkt aantal grinden; niet-kalkhoudend; deze afzetting bevindt zich hier tussen ca. 330 en 350 cm onder het maaiveld.
5009	Sediment met zeer kleiige textuur, ijzeraanrijking; wordt bovenaan getrunkeerd door grindniveau 5007; kleur varieert van oranje tot grijsblauw in functie van oxidatie / reductie; niet-kalkhoudend; wordt doorkruist door twee generaties aan vorstwiggen: de eerste generatie wordt gekenmerkt door een lichtbruine lemige opvulling en wordt bovenaan afgeknot door grindniveau 5007 (5009.1), de tweede generatie vertoont eveneens een lichtbruine opvulling, maar bevat ook grinden en vertrekt vanuit grindniveau 5007; bevat horizontale, oranjebruine, lemige verspoelingslaagjes ('undercuttings'); lokaal eveneens versneden door een tweede grindsnoer (mogelijk betreft het hier een ontubbeling van grindniveau 5007). Tijdens de graafwerken in put 2 werd de ondergrens van deze stratigrafische eenheid niet bereikt. Een boring die met de hand werd uitgevoerd vanaf de basis van de put, wijst echter wel uit dat deze eenheid nog minstens 3 m dieper doorloopt.
5009.2	Witgrijze, zandige leem, ijzerlagen, gecryoturbeerd; vormt vermoedelijk een 'undercutting' in stratigrafische eenheid 5009.

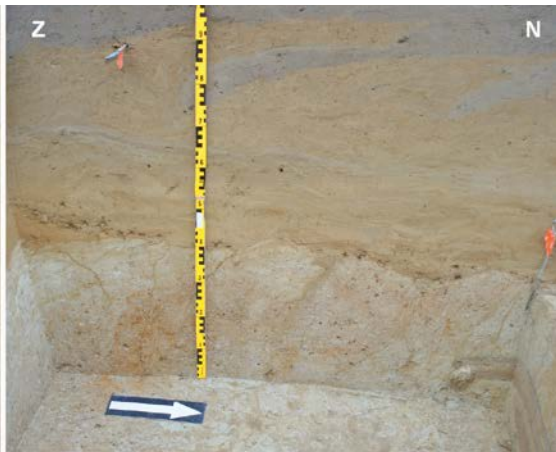
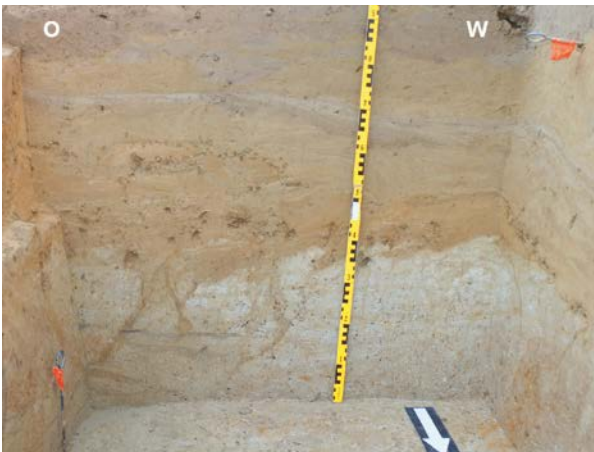


Afb. 14 Put 2, noordprofiel (vlak 101) (foto: A. Van Baelen).

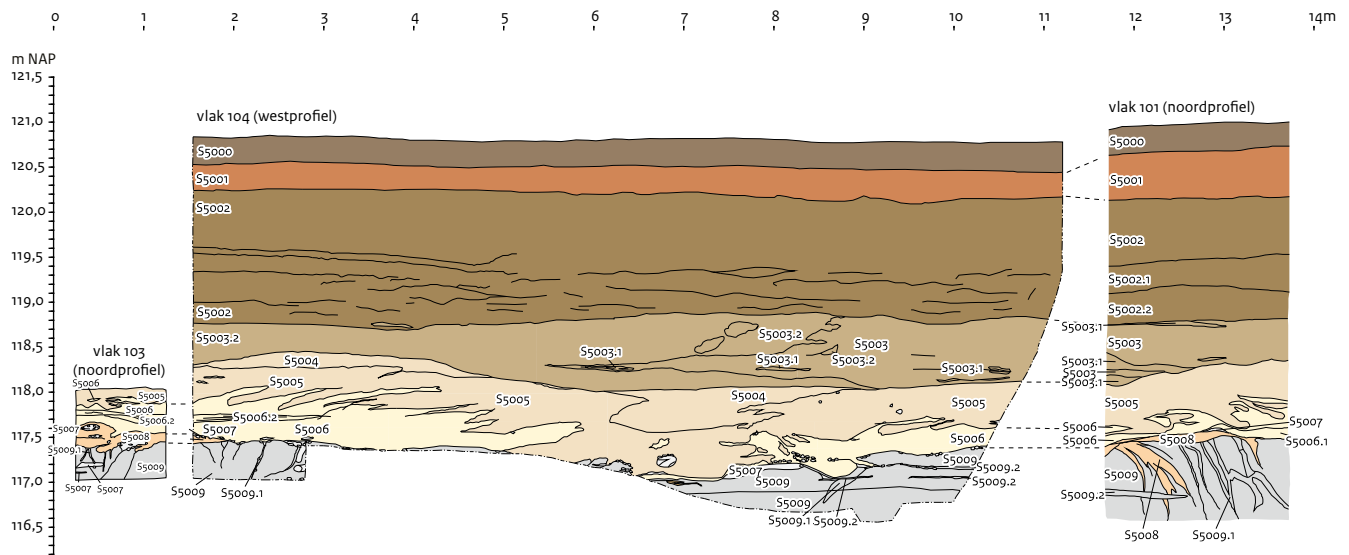


Afb. 16 Put 2, westprofiel (vlak 104) (foto: A. Van Baelen).

Afb. 15 Put 2, oostprofiel (vlak 102) (foto: A. Van Baelen).



Afb. 17 Put 2, zuidprofiel (vlak 103) en het uiterst zuidelijke deel van het westprofiel (vlak 104) (foto: A. Van Baelen).



- S5000 Donkerbruin lemig sediment, bevat fragmenten vuursteen, ondergrens is zeer duidelijk en bevindt zich op ca. 30 cm onder maaiveld.
- S5001 Roodbruin, zeer lemig sediment, kleiige bijmenging; bevat verticale wormgangen (bioturbatie); niet-kalkhoudend; ondergrens diffuus en bevindt zich tot maximaal ca. 90 cm onder het maaiveld.
- S5002 Bruingele lemige afzetting; zichtbare gelaagdheid in onderste 40-50 cm met gelige, iets zandigere afzettingen; bevat verticale wormgangen tot ca. 150-200 cm onder de bouwvoor (bioturbatie); niet-kalkhoudend; ondergrens tot op ca. 210 cm onder het maaiveld.
- S5002.1 Lichtbruingrijze, zwak zandige leem, licht gelaagd, kalkrijk; Enkel als afzonderlijke stratigrafische eenheid geobserveerd op de noordelijke profielwand (vlak 101), op de andere profielwanden is deze eenheid ondergebracht in 5002.
- S5002.2 Lichtbruingrijs, zwak zandige leem, lichtgeelgrijze loesslaagjes; Enkel als afzonderlijke stratigrafische eenheid geobserveerd op de noordelijke profielwand (vlak 101), op de andere profielwanden is deze eenheid ondergebracht in 5002.
- S5003 Bruingele lössafzetting, bevat enkele horizontale lenzen met verspoeld materiaal; niet-kalkhoudend; ondergrens is duidelijk zichtbaar en bevindt zich op ca. 250 cm onder het maaiveld.
- S5004 Geelgrijs lemig sediment, kalkhoudend; lokaal aanwezig (westelijke profielwand) op de overgang van stratigrafische eenheden 5003 naar 5005.
- S5005 Grijsblauw lemig sediment; kleiaanrijking; kalkhoudend; onderaan sterk gecryoturbeerd; ondergrens zeer onregelmatig omwille van cryoturbatie op maximaal ca. 360 cm onder het maaiveld.
- S5006 Geel lemig sediment; bijmenging mangaan en ijzerconcreties; kalkhoudend; volledige afzetting sterk gecryoturbeerd; ondergrens op maximaal ca. 370 cm onder het maaiveld.
- S5006.1 Lichtgeelgrijs, zwak zandige leem, zwak ijzerhoudend, geryoturbeerde loess met wat humusvlekken, kalkloos. Deze stratigrafische eenheid werd enkel onderscheiden op de noordelijke profielwand (vlak 101).
- S5007 Ter hoogte van de overgang tussen 5006 en 5009 bevindt zich een grindniveau (grinden tussen 0,2 en 2 cm) dat de onderliggende stratigrafische unit 5009 truncateert; de grinden bevinden zich tussen ca. 360 tot 370 cm onder het maaiveld.
- S5008 Ter hoogte van de overgang tussen 5006 en 5009 bevindt zich op sommige locaties - in het bijzonder op de zuidelijke profielwand - een oranje lemige afzetting; bevat gele lemige lenzen; bevat lokaal beperkt aantal grinden; niet-kalkhoudend; deze afzetting bevindt zich hier tussen ca. 330 en 350 cm onder het maaiveld.
- S5009 Sediment met zeer kleiige textuur, ijzeraanrijking; wordt bovenaan getrunceerd door grindniveau 5007; kleur varieert van oranje-rood tot grijsblauw in functie van oxidatie / reductie; niet- kalkhoudend; wordt door kruist door twee generaties aan vorstswiggen: de eerste generatie vorstswiggen wordt gekenmerkt door een lichtbruine lemige opvulling en wordt bovenaan afgeknot door grindniveau 5007 (5009.1), de tweede generatie aan vorstswiggen vertoont eveneens een lichtbruine opvulling maar bevat ook grinden en vertrekt vanuit grindniveau 5007; bevat horizontaal lopende oranjebruine lemige verspoelingslaagjes (zgn. undercuttings); lokaal eveneens versneden door een tweede grindsnoer (mogelijk betreft het hier een ontduubeling van grindniveau 5007). De ondergrens van deze stratigrafische eenheid werd tijdens de machinale graafwerken niet bereikt in put 2. Een manuele boring uitgevoerd vanaf de basis van de put wijst echter wel uit dat deze eenheid nog minstens 3 m dieper doorloopt.
- S5009.2 Witgrijze, zandige leem, ijzerlagen, gecryoturbeerd; vormt vermoedelijk een 'undercutting' in stratigrafische eenheid 5009.

Afb. 18 Put 2, profieltekening met weergave en correlatie van de stratigrafische eenheden die werden geïdentificeerd op het zuid- (vlak 103), west- (vlak 104) en noordprofiel (vlak 101).

### Interpretatie

Onder de bouwvoor (5000) bevindt zich in put 2 de inspoelingshorizont (Bt-horizont) van een luvisol (5001). Het ontbreken van een A- en E-horizont wijst erop dat deze horizonten ofwel zijn opgenomen in de bouwvoor, ofwel zijn verdwenen onder invloed van erosieprocessen. Iets lager in de stratigrafische sequentie van put 2 bevindt zich een grijze horizont (5005) die (macroscopisch) in het veld gelijkgesteld werd aan de *Nagelbeek Tongued Horizon*. De analyses opgenomen in subparagraaf 4.1.4 wijzen er echter op dat de interpretatie van dit stratigrafische niveau aanzienlijk complexer is. Onderaan de sequentie in put 2 bevindt zich vervolgens een onthoofde bodem, mogelijk van interglaciale of interstadiale oorsprong, waarvan alleen de Bt-horizont nog aanwezig is (5008-5009). De boringen wijzen op de aanwezigheid van de sequentie bestaande uit een Ap-, E-, Bt- en C-horizont in de ondiepe ondergrond. In de stratigrafische sequentie van put 2 werd geen E-horizont vastgesteld, maar de overige horizonten kunnen gemakkelijk worden gecorreleerd met de stratigrafische eenheden 5000 (Ap-horizont), 5001 (Bt-horizont) en 5002-5003 (C-horizont). In de boringen 923-919 en 900-906 werd hieronder een lichtgele tot lichtgrijze kalkhoudende lössafzetting aangetroffen die zich op ongeveer 2,25 tot 3,2 m (gemiddeld 2,7 m) onder het maaiveld bevindt. Op basis van de diepte van de ont-kalkingsgrens in put 2 (op ca. 2,5 m onder het maaiveld) en de kenmerken van de stratigrafische eenheden in kwestie, kan deze afzetting vermoedelijk worden gecorreleerd met de stratigrafische eenheden 5004/5005/5006 uit put 2. Hieronder – of rechtstreeks onder de lichtbruin-gele, niet-kalkhoudende löss van de C-horizont – is in de meeste boringen een oranjegele, mangaanrijke lössafzetting aanwezig. Deze bevat veelal enkele kiezels en wordt gekenmerkt door een redelijk horizontaal verloop. Op basis van de beschrijving lijkt deze afzetting overeen te stemmen met de stratigrafische eenheden 5007/5008/5009 uit put 2. Deze bevinden zich echter iets dieper onder het maaiveld dan de stratigrafische eenheden die in de boringen zijn waargenomen. Mogelijk valt deze vaststelling te verbinden met de aanwezigheid van de ondiepe depressie die Henk voor het plateau van De Kaap heeft beschreven.<sup>69</sup>

Hoewel ook hier een zeker hoogteverschil aanwezig is, hangen de grinden die dagzomen

aan de randen van het plateau van De Kaap, mogelijk (deels) samen met grindniveau 5007, dat de paleobodem onderaan put 2 onthoofd. Dit is in tegenspraak met de wijdverbreide veronderstelling dat de grinden die dagzomen aan de randen van het plateau, onderdeel vormen van het Maasterras (Laagpakket van Sint-Geertruid) dat zich op de vlakke, centrale delen van het plateau onder de lössafzettingen bevindt (afb. 7).<sup>70</sup> Welk van beide visies correct is, laat zich zonder aanvullend onderzoek niet vaststellen.

#### 4.1.3 Korrelgrootteanalyse van de kleine fractie

##### Bemonstering

Het ca. 4,3 m diepe noordprofiel (vlak 101) in put 2 is om de 20 cm bemonsterd. In totaal zijn voor de korrelgrootteanalyse twintig monsters genomen. Daarnaast namen de onderzoekers aanvullende stalen op alle locaties in put 2 waar OSL-monsters werden genomen. Tabel 4 geeft een overzicht van de genomen monsters.

##### Methode

De korrelgrootteanalyse vond plaats met behulp van een Malvern 2000 Mastersizer. Deze techniek is gebaseerd op de correlatie tussen de verstrooiingshoek van een laserstraal en de korrelgrootte van het bemonsterde sediment. In dit onderzoek werd een droge meting uitgevoerd, waarbij het monster als droog poeder door middel van onderdruk door de meetcel wordt gezogen. Vervolgens wordt ongeveer 1 g gedroogd en licht gevijzeld monstermateriaal via een instelbare trilgoot in de meetcel gebracht. Het verstrooide licht en de recht door gaande straal vallen hierbij op een lens die de bundel verdeelt over de detector. Deze lens zorgt voor een fouriertransformatie van de verschillende lichtstralen, waarbij op het brandvlak van de lens een diffractiepatroon ontstaat. Op dit brandvlak bevindt zich een detector met 52 concentrische sectoren die het verstrooide licht opvangt. Daarna wordt op basis van de intensiteit van het licht op de sectoren de korrelgrootteverdeling berekend. Daarbij gebruikt men het Fraunhofermodel en de Miecorrectie. Op deze manier ontstaat een continue curve van de korrelgrootteverdeling tussen 0,05 en 2000 µm.

<sup>69</sup> Henk 2006.

<sup>70</sup> Felder & Felder 1998.



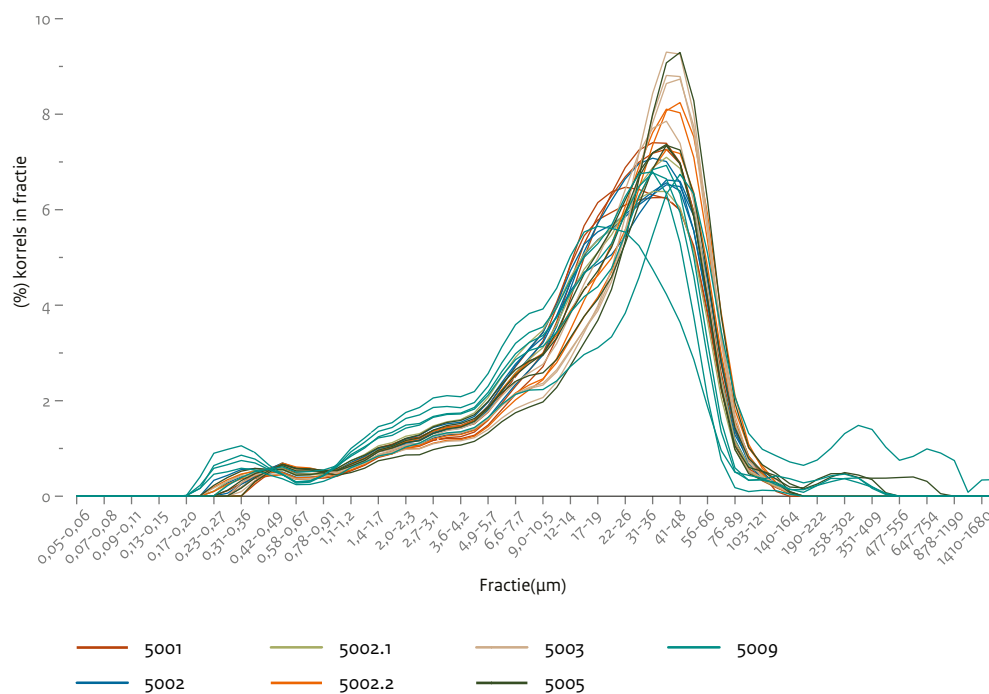
Tabel 4 Overzicht van de monsters voor korrelgrootteanalyse in put 2.

Monsternummer	Profiel	Diepte monsters t.o.v. maaiveld (cm)	Hoogte monsters (m NAP)	Geassocieerd OSL-monster	Stratigrafische eenheid
2310	101	48	120,52	2232	5001
2305	101	50-52	120,49	-	5001
2304	101	70-72	120,29	-	5001
2303	101	90-92	120,09	-	5002
2302	101	110-112	119,89	-	5002
2311	101	115	119,95	2233	5002
2301	101	130-132	119,69	-	5002
2300	101	150-152	119,49	-	5002
2312	101	158	119,22	2234	5002.1
2299	101	170-172	119,29	-	5002.1
2298	101	190-192	119,09	-	5002.2
2313	101	200	119,00	2235	5002.2
2297	101	210-212	118,89	-	5002.2
2296	101	230-232	118,69	-	5003
2314	101	235	118,65	2236	5003
2294	101	250-252	118,49	-	5003
2293	101	270-272	118,29	-	5005
2373	104	280	118,19	2364	5005
2315	101	286	118,14	2237	5005
2292	101	290-292	118,09	-	5005
2291	101	310-312	117,89	-	5005
2372	104	324	117,79	2362	5006
2290	101	330-332	117,69	-	5005
2316	104	331	117,69	2238	5006
2371	104	343	117,57	2363	5009
2289	101	350-352	117,49	-	5009
2288	101	370-372	117,29	-	5009
2374	101	376	117,24	2365	5009
2287	101	390-392	117,09	-	5009
2317	104	392	117,08	2239	5009
2286	101	410-412	116,89	-	5009
2285	101	430-432	116,69	-	5009

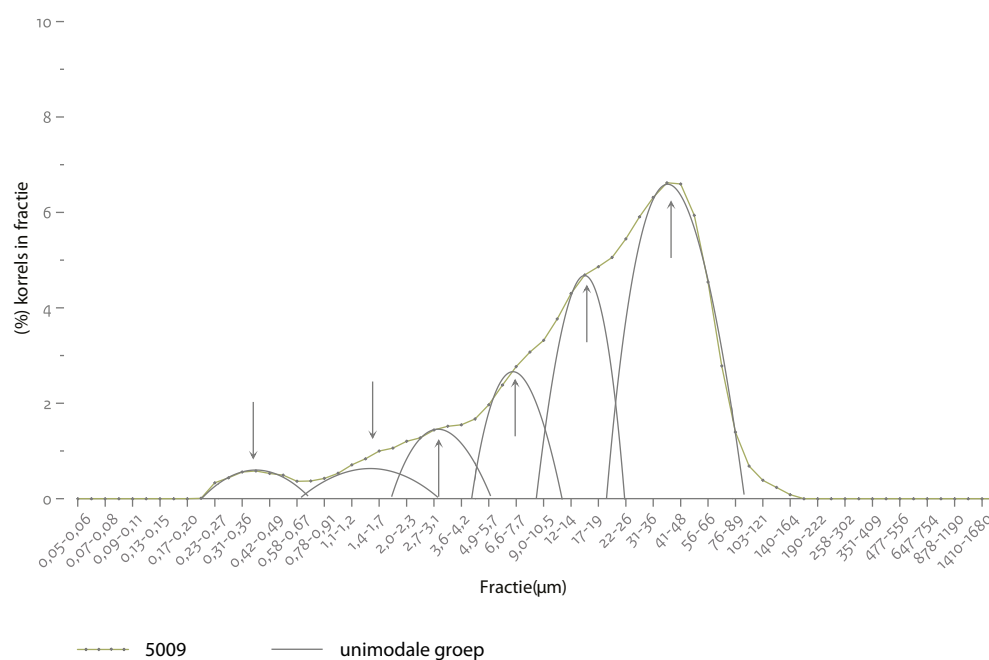
### Resultaten

Uit afbeelding 19 is op te maken dat de korrelgrootte van alle monsters varieert tussen 1 en 70  $\mu\text{m}$ . De mediaan van de verschillende monsters varieert nauwelijks en ligt rond de 24  $\mu\text{m}$ . Alleen de monsters uit stratigrafische eenheid 5009 hebben een lagere mediaan van ongeveer 20  $\mu\text{m}$ . Het sediment uit deze eenheid vertoont een iets bredere spreiding in korrelgrootte dan het sediment uit de andere stratigrafische

eenheden. In de stratigrafische eenheden 5005 en 5009 is – in tegenstelling tot de andere niveaus – een klein percentage zand aanwezig. In 5009 is ook een duidelijke kleifractie aanwezig. Alle curves laten een multimodale scheve verdeling zien, waarbij de meest voorkomende korrelgrootte tussen de 35 en 41  $\mu\text{m}$  ligt. Een typisch monster zou kunnen zijn opgebouwd uit zes of meer unimodale korrelgrootteverdelingen (afb. 20).



Afb. 19 Korrelgroottecurves per stratigrafische eenheid.



Afb. 20 Typische korrelgrootteverdeling (monster 2303, stratigrafische eenheid 5009). Dit monster kan zijn opgebouwd uit zes of meer unimodale korrelgrootteverdelingen. De pijlen geven de toppen van deze unimodale groepen aan.

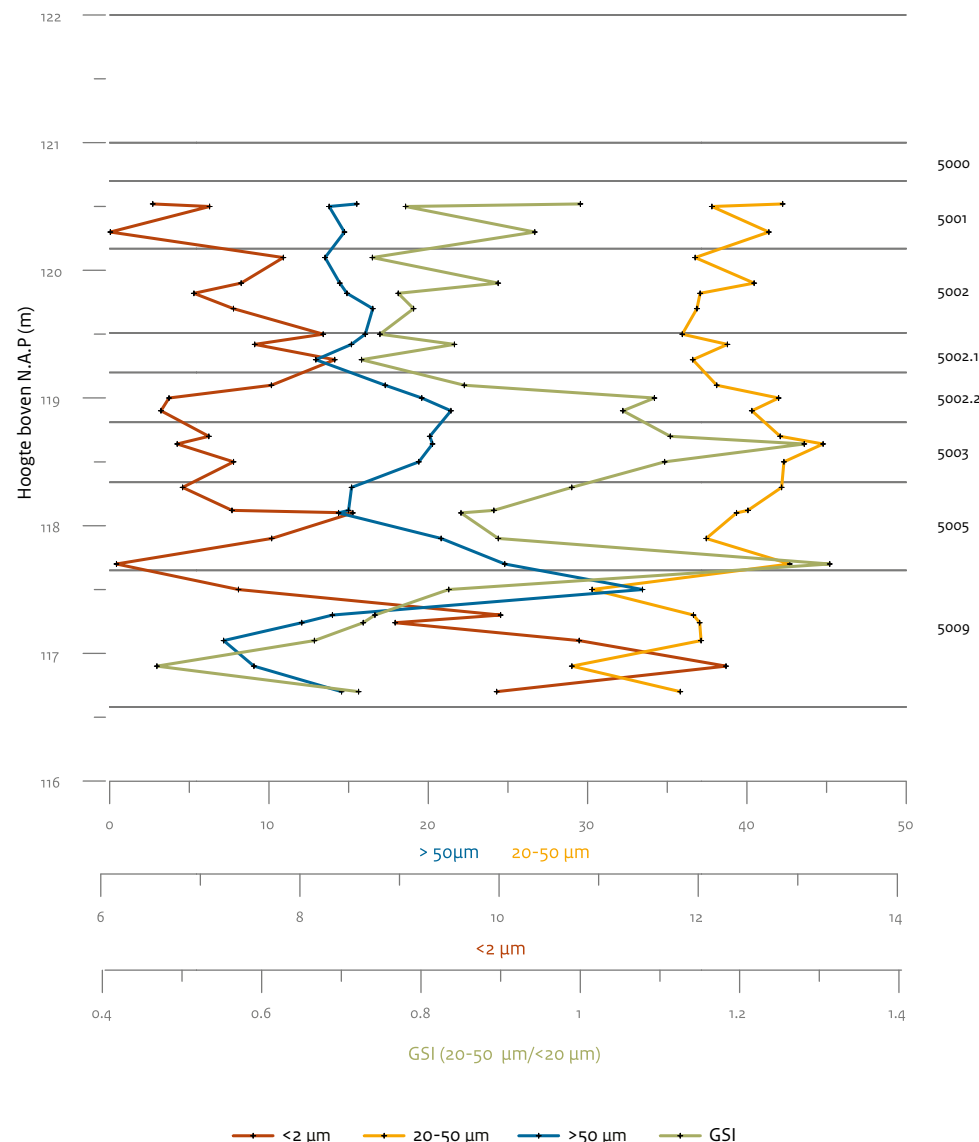
De breedte van de verdeling, uitgedrukt in  $d_{0,6}/d_{0,1}$ , ligt voor de meeste monsters rond de 10  $\mu\text{m}$ . Ook voor deze parameter wijken de waarden af voor de monsters uit stratigrafische

eenheid 5009, namelijk een  $d_{0,6}/d_{0,1}$  van 13  $\mu\text{m}$ . De breedte van de verdeling is dus iets groter dan die in de overige monsters.

### Interpretatie

In alle monsters zijn multimodale scheve korrelgrootteverdelingen gemeten. Dat geeft aan dat ze het eindproduct zijn van sortering en menging. De korrelgrootteverdeling van het oorspronkelijke eolische materiaal (dat waarschijnlijk in koudere perioden minder fijn is dan in warmere perioden) is getransformeerd naar de brede waargenomen verdelingen. Dit is het gevolg van bodemprocessen als bioturbatie, kleiverplaatsing, cryoturbatie en/of verplaatsing door water (dat wil zeggen door liquefactie van de bevroren ondergrond).<sup>71</sup>

De monsters zijn op basis van hun korrelgrootteverdeling op te delen in twee hoofdgroepen. De eerste groep bestaat uit de monsters uit de stratigrafische eenheden 5001-5005, de tweede uit de monsters uit eenheid 5009. Van de eerste groep heeft eenheid 5003 het hoogste aandeel van de meest voorkomende korrelgroottefractie, meestal rond de 40  $\mu\text{m}$ . De eerste groep onderscheidt zich verder door een kleiner aandeel zand en klei. Een index die vaak wordt gebruikt om korrelgroottevariatie zichtbaar te maken is de *grain size index* (GSI).<sup>72</sup> Deze geeft de verhouding weer tussen het grovere deel van de silt-



Afb. 21 Korrelgroottevariatie en GSI van het noordelijke profiel (vlak 101) van put 2. Uiterst rechts zijn de stratigrafische eenheden weergegeven.

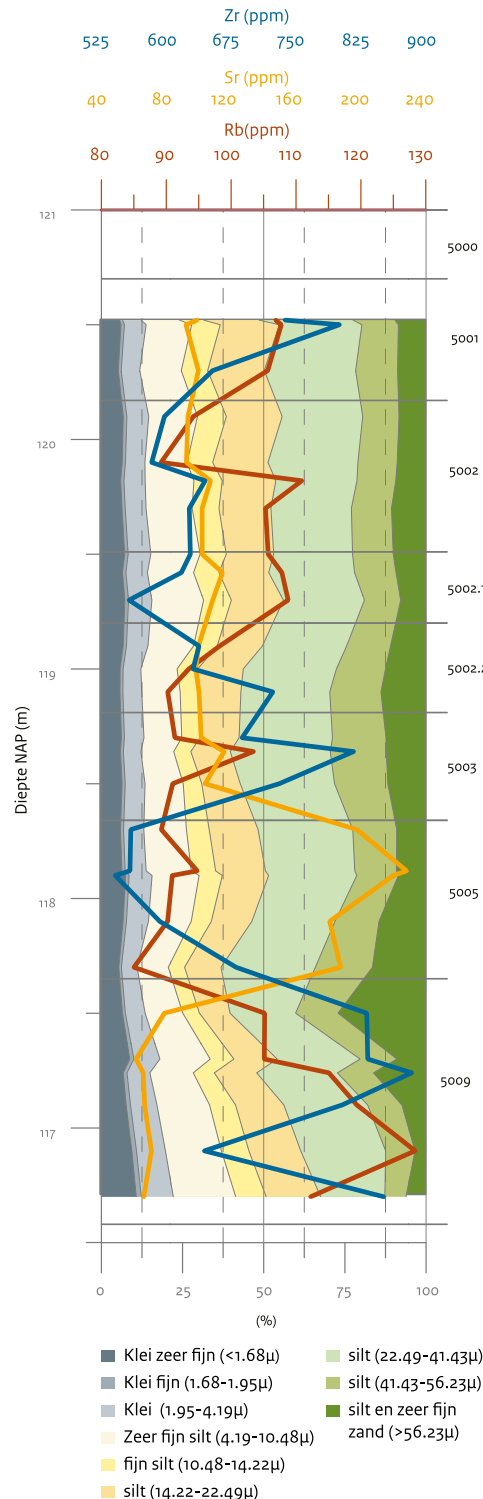
<sup>71</sup> Lu, Vandenberghe & An 2001.

<sup>72</sup> Antoine et al. 2009.

fractie en de fijnere fractie, inclusief het kleigehalte (afb. 21 en 22).

Ook de GSI vertoont een maximum in stratigrafische eenheid 5003. Blijkbaar is het sediment hier iets grover dan het materiaal uit de bovenliggende eenheden 5002 en 5001. De korrelgrootteverdelingscurves van de monsters uit dit niveau hebben het hoogste aandeel van de voornaamste unimodale korrelgroottefractie met een maximum van ongeveer 42  $\mu\text{m}$ . In dit stratigrafisch niveau is ook het zirkoongehalte iets verhoogd. De monsters uit eenheid 5003 hebben ook een zeer laag gehalte aan grof silt en zand. Deze goede sortering en relatief smalle korrelgrootteverdeling wijzen op een geringe invloed van processen die deze sortering zouden kunnen verstoren, zoals bodemvorming en hellingprocessen. Deze sedimenten zijn daarom waarschijnlijk afgezet in een koude periode, toen deze processen een kleinere rol speelden.

De eenheden 5001 tot en met 5002.1 hebben een hoger kleigehalte dan de onderliggende eenheid 5003 en bevatten iets minder zand. De korrelgrootteverdeling is iets breder, wat wijst op een grotere invloed van menging van bodemmateriaal ten gevolge van bodemvorming of hellingprocessen. De diepere kalkhoudende löss uit eenheid 5005 heeft ter hoogte van het midden van deze afzetting een lage GSI-waarde, wat voornamelijk het gevolg lijkt van het iets hogere kleigehalte. Dit zou kunnen wijzen op de aanwezigheid van een iets warmere fase tussen twee koudere fases. De overgang tussen de eenheden 5009 en 5005 wordt gekenmerkt door een minimum in het kleigehalte en een groter aandeel zand. Wanneer we dit vergelijken met de geochemische waarnemingen (zie subparagraaf 4.1.4), dan is te zien dat deze overgang ook wordt gekenmerkt door een hoog rubidiumgehalte in eenheid 5009, dat abrupte afneemt in eenheid 5005. Het hogere kleigehalte in 5009 en de bredere korrelgrootteverdeling geven aan dat sorterende processen een kleinere rol speelden dan in de bovenliggende eenheid. Bodemvorming en hellingprocessen leiden tot menging van sediment. De intensiteit van deze processen is daarom hoger in eenheid 5009 dan in 5005. Samenvattend: sedimentologisch is in geen enkele van de stratigrafische eenheden typisch eolische löss aangetroffen. In alle gevallen is sprake van een vermenging van materiaal door bodemkundige processen of hersedimentatie door lokale verplaatsing. Deze processen hebben



Afb. 22 Klei-, silt- en zandfracties van het noordelijke profiel (vlak 101) van put 2 met variatie in Zr (zand), Sr (kalk, veldspaten) en Rb (klei, veldspaten).



de minste invloed gehad op het materiaal in stratigrafische eenheid 5003 en de meeste invloed op stratigrafische eenheid 5009. Op basis van deze observaties is niet te bepalen of er sprake is van meerdere hiaten, dan wel van een continue sedimentatie. De conclusie is dat het niet mogelijk is de stratigrafische sequentie uit put 2 op basis van de hierboven beschreven sedimentologische kenmerken te koppelen aan de regionale lössstratigrafie.<sup>73</sup>

#### 4.1.4 Geochemisch en micromorfologisch onderzoek

##### Bemonstering

Op drie locaties in put 2 werden sequenties bemonsterd voor micromorfologisch onderzoek. In totaal werden hierbij zeven monsterbakken (bodemonolieten van 50 x 15 cm) in de westelijke en zuidelijke profielwand aangebracht en verwijderd (tabel 5; afb. 23 en 24). Monster 2355, behorende uit de eerste bemonsterde sequentie, werd uitsluitend onderzocht op zijn chemische samenstelling en werd bij de micromorfologische analyse buiten beschouwing gelaten.

##### Methode

Na de monsternamen werden de monsters in het laboratorium van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed eerst schoon- en vlak gemaakt. Vervolgens werden hun bodemkundige kenmerken in detail beschreven. Op de schoongemaakte oppervlaktes werden dicht op elkaar sedimentanalyses gedaan met een *handheld* XRF. Vervolgens werden uit de metalen monsterbakken achttien ongestoorde monsters genomen voor micromorfologisch onderzoek. Ze werden,

verpakt in kartonnen monsterbakjes van 8 x 8 cm, opgestuurd naar het micromorfologisch laboratorium van de School of Environmental Sciences van de Universiteit van Stirling (Schotland), waar ze werden geïmpregneerd met kunsthars en tot plaatjes van 25-30 µm dikte werden geslepen.

Van deze slijpplaatjes is een scan gemaakt met een flatbeddiascanner. Ze zijn vervolgens bestudeerd met een Leitz/Wild M420 Macroscop-binoculair en een Zeiss Axioskop 40-microscop (beide met doervallend normaal en gepolariseerd licht), uitgerust met digitale Zeiss MRc5-camera's. Voor de microscopbeelden werd gebruikgemaakt van PPL (*plane polarized light*), tenzij bij de afbeelding XPL (*cross polarized light*) staat aangegeven; in dat geval werd gebruik gemaakt van gekruiste polarisatoren.

##### Resultaten

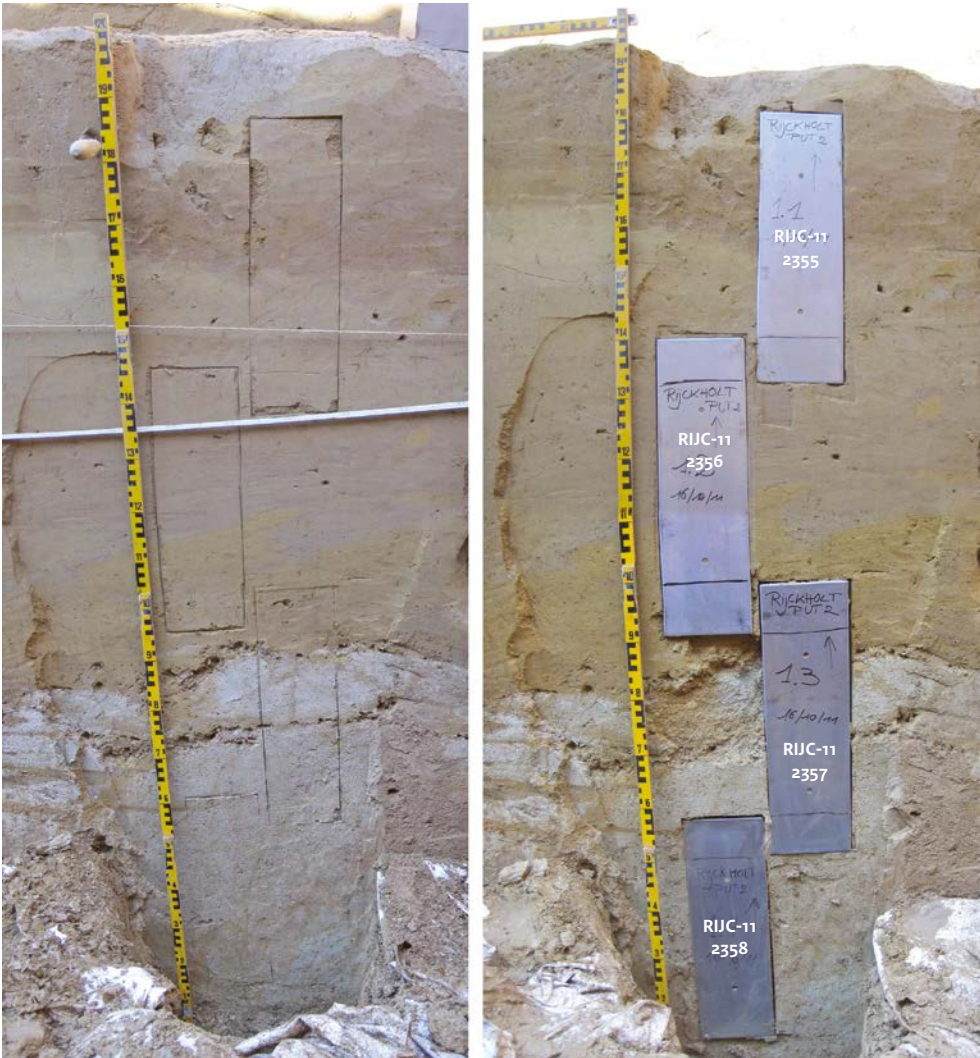
De macroscopische beschrijving van de monsterbakken is opgenomen in tabel 6. Dit is stratigrafisch gedaan. Dat wil zeggen dat pakketten die in verschillende monsterbakken zijn bekeken, samen zijn beschreven. De in het veld onderscheiden stratigrafische eenheden werden in veel gevallen opgedeeld in verschillende, kleinere (sub)eenheden (lagen) vanwege op detailniveau zichtbare verschillen in kleur, structuur of samenstelling.

Een overzicht van de micromorfologische waarnemingen staat in de tabellen 7 en 8. In deze tabellen worden veel monsters onderverdeeld in eenheden die op bepaalde kenmerken onderling verschillen en die vaak ook terug te leiden zijn naar een stratigrafische eenheid of macroscopisch beschreven laag. Tabel 9 bevat de resultaten van de XRF-metingen.

**Tabel 5** Overzicht van de monsters voor micromorfologie en geochemie, hun locatie in put 2 en de stratigrafische eenheden per bemonsterde sequentie.

Monsternummers	Sequentie	Profiel	Stratigrafische eenheden
2355-2358	1	104	5003, 5005, 5006, 5007, 5009
2359-2360	2	104	5005, 5006, 5007, 5009
2361	3	103	5006, 5007, 5008, 5009

<sup>73</sup> Vergelijk Antoine et al. 2013.



Afb. 23 Positie van de monsterbakken met de vondstnummers 2355-2358 (foto: A. Van Baelen).



Afb. 24 Positie van de monsterbakken met de vondstnummers 2359-2361 (foto: A. Van Baelen).

**Tabel 6 Macroscopische, lithologische beschrijving van de monsterbakken. De kolom 'afstand' verwijst naar de positie van de beschreven lithologische eenheid ten opzichte van de basis van de desbetreffende monsterbak.**

Laag	Monsterbak-nummer	Afstand (cm)	Stratigrafische eenheid	Beschrijving
1	2358	0-16	5009	Leverkleurige grondmassa met verticale grijze banden van $\pm 0,5$ cm breed. Geen voelbaar korrelgrootte verschil; mogelijk gebleekt en ferrolyse. In de grijze zones een fijne aggregaatstructuur (2-5 mm). In de meeste gevallen discontinue ijzercoatings aan de buitenkant van de aggregaten, maar niet overal. Roestvlekken deels rond afgeronde aggregaten en deels als verticale patronen (scheuren of vlakken). Helderere kleuren; geen herkenbare gelaagdheid. Kalkpoppetje op 12 cm.
2	2357	16-50	5009	Dominant grijze kleur. Grondmassa opgebouwd uit afgeronde, sterk accomoderende aggregaten (2-10 mm) in lichtere en donkerdere grijze kleuren. De aggregaten zijn vaak omgeven door discontinue ijzerbanden, die vooral aan de onderzijde afwezig lijken te zijn (maar niet altijd). Daarnaast ook enkele banden met meer ijzeroxides. lokaal scheef, en sporadisch in pakkingsholtes. Enkele lokale ijzer-mangaanconcreties met harde kern. Geen herkenbare gelaagdheid.
		0-11,5		
2b	2357	11,5-12	5009.2	Discontinue bandje van grover materiaal met grind tot 2 mm. Direct daarbovenop een bandje van ca. 5 mm dik, bestaande uit opvallend, in zichzelf gelaagd, leverkleurig kleiig materiaal met zwarte laminae. Horizontaal en aan boven- en onderkant scherp afgescheiden. Enige zwarte en gelige kleurvariatie.
2a	2357	12-20	5009	Als 2, maar kleinere en minder goed zichtbare aggregaten en minder ijzer; wel scheef ijzerbandje.
3	2357	20-24,5	5009.2	Band met discontinue grind (tot ca. 2,5 cm) in clusters. Daartussen bruine löss, soms iets meer oranje getint, maar ook lokaal 2a-materiaal. Mangaanvlekjes. Ondergrens is scherp en golvend. Bovengrens is scherp en licht golvend.
2c	2357	24,5-34	5009	Als 2a, maar met nog minder duidelijk afgeronde aggregaten. Enkele grote, hoekige, scherp begrensde scheuren met bruine totaalopvulling lijken een polygoonstructuur te vormen (zoals in laag 5). Bovengrens is scherp en golvend.
4	2357	34-36	5009	Dun grindbandje met grof materiaal; bestaat feitelijk uit clustertjes grind in de onderkant van laag 5.
5	2357	36-50	5006	Lichthelderbruine löss met fijne gelaagdheid, afgewisseld met afgeronde – lokaal enigszins langwerpige – aggregaten van variabele grootte. Mangaanvlekjes (toenemend naar boven). Bovengrens messcherp en scheef.
	2356	0-18,2		
6	2356	18,2-34,5	5005	Dofbruine löss, fijngelaagd onder variabele hoeken. In het midden heldergele discontinue bandjes (ca. 2-3 mm) met zwarte fibers op de laaggrenzen en kleine (2-5 mm) bolvormige (biogene?) structuurtjes. Onderin langwerpige bruine vlek met nog donkerdere buitenkant. Bovengrens scherp en vrijwel horizontaal.
7	2356	34,5-50	5005	Iets lichter van kleur dan 6, met vaag zichtbare (vanwege gebrek aan kleurverschillen) waarschijnlijk discontinue gelaagdheid, met enkele vaag zichtbare afgeronde aggregaten. Mangaanvlekjes.
8b	2360	0-17,4	5009	Als 8a, maar minder lichtgrijs en structuur die vooral uit onregelmatige eilandjes lijkt te bestaan.
8a	2360	17,4-18,4	5009	Opvallend lichte kleur; subhorizontaal gelaagd met enkele herkenbare afgeronde aggregaten. Afwisselend donker en lichtgrijs als laag 2. Met roestvlekken en mangaanvlekken. Discontinue leverkleurige fibers. Golvende, scherpe bovengrens.
	2361	0-7		
9a	2361	7-15,5	5008	Lichtbruin met slecht zichtbare kleurverschillen. Zwak zichtbare afgeronde aggregaten. De hele laag bevat fijn grind.
9c	2361	15,5	5007	Discontinue grindbandje.
9b	2360	18,4-26,5	5007	Lichtbruin met slecht zichtbare kleurverschillen. Fijne, gebogen gelaagdheid. Top van de laag erosief contact met grover materiaal (fijn zand?) en fijn grind.
	2361	15,5-19		
10	2361	19-36	5006	Lichtgeel, helder van kleur en bijna niet gelaagd. Enkele grote afgeronde aggregaten. Geheel biologisch doorwerkt met gangen van 0,6-3 cm doorsnede. Op 11,5-15 cm links een bolvormige structuur; doffer van kleur en lossier gepakt; mogelijk biogeen. Scherpe horizontale bovengrens.
13	2360	26,5-40	5006	Gelaagd, heldergeel pakket; laagjes met variabele helling. Grove zandkorrels tot ca. 2 mm. Verschillende onregelmatige ingevulde bioporiën.
11	2359	0-4	5006.2	Zeer fijn gelamineerd pakket; lichtgeel met gele banden of laminae en dofbruine fibertjes. Kalkconcretie. Doorgraven met enkele ingevulde bioporiën van ca. 5 mm doorsnede en variabele lengte. Scherpe bovengrens.
	2360	40-44,2		
	2361	36-40		
12	2359	Apr-28	5006	Gelaagd, heldergeel (dus iets geleer dan 11) pakket met enkele doffere laagjes en fijne rode korrels grof zand (maximaal 1 mm). Ingevulde bioporiën van ca. 5 mm doorsnede komen in de laag geïsoleerd voor, en eenmaal in een cluster. Scherpe, onregelmatige bovengrens.
	2360	44,2-50		
	2361	40-50		
14	2359	28-50	5005	Dofbruine löss met slecht zichtbare fijne gelaagdheid met variabele helling. Afgeronde gele aggregaten. Grof zand/fijne grindkorreltjes verspreid door grondmassa. Clustertjes grof zand (tot 2 mm) in de onderkant van de laag. Lichtergekleurde wig met beetje ijzerverkitting.

Tabel 7 Overzicht van de micromorfologische waarnemingen per slijpplaat (deel 1: materiaal en structuur).

Monsterbak	Slijpplaat	Zone	Stratigrafische eenheid	Materiaal		Structuur	Opmerkingen
				Grondmassa	Bijmenging (naast zand en glauconiet)		
2356	2356.3		5005	silt	-		
	2356.2		5005	silt	-		
	2356.1		5006	silt	-	gelaagd met vorstscheidingen	ijzer overgroei op secundaire kalk
2357	2357.3	I	5006	silt	-	gelaagd	
		II	5009.2	silt , grind	-	aggregaat	
		III	5009	silt	-	aggregaat	enkele kalkloze aggregaten met kleihuidjes
	2357.2	I	5009	silt	-	gelaagd	
		II	5009.2	silt , grind	-	aggregaat	
		III	5009	silt	-	aggregaat	
	2357.1	I	5009	silt	-	aggregaat	enkele aggregaten bevatten primaire kalk, de anderen kleihuidjes
		A	5009.2	klei, silt	micas	gelaagd	
		B	5009.2	silt , klei	-	aggregaat	
2358	2358.3		5009	silt , klei	-	aggregaat	kalkpoppetjes onderin
	2358.2		5009	silt , klei	-	aggregaat	
	2358.1		5009	Klei, silt	-	aggregaat; afgerond (klei) en hoekig (silt)	afgeronde kleiaggregaten ingebed in silt grondmassa
2359	2359.3		5005	silt	-	gelaagd met vorstscheidingen	polygenetische aggregaten
	2359.2		5005	silt	-		polygenetische aggregaten
	2359.1	I	5006	silt	-	gelaagd met vorstscheidingen	
		II	5006.2	silt	grind	gelaagd	
2360	2360.3	I	5006	silt	-	gelaagd	
		II	5006.2	silt	-	gelaagd	concentratie zware mineralen
		III	5006	silt	grind	gelaagd	
	2360.2		5006	silt	-	gelaagd	vorstwig RB -> LO
	2360.1	I	5007	silt	-	gelaagd	
		II	5009	silt	-	massief met vorstscheidingen	
III		5009	silt	-	massief met vorstscheidingen	vorstwig of diergang LB -> RO	
2361	2361.3		5006.2	silt	-	gelaagd	concentratie zware mineralen
	2361.2	I	5006	silt	-	gelaagd	
		II	5007	silt	-	gelaagd	
		III	5007	silt , grind	-	gelaagd?	
		IV	5008	silt	-	massief met vorstscheidingen	
	2361.1	I	5008	silt	-	aggregaat net vorstscheidingen	
		II	5008	silt	-	aggregaat	
III		5009	silt	-	*		

**Tabel 8** Overzicht van de micromorfologische waarnemingen per slijpplaat (deel 2: aanwezigheid diergangen, kleihuidjes, secundair ijzer en/of mangaan, en kalk).

Monsterbak (vnr.)	Slijpplaat	Zone	Strati- grafische eenheid	Fenomenen									
				dier- gangen	kleihuidjes			secundair ijzer en/of mangaan			kalk		
					in situ	gefragmen- teerd	verplaatst	In situ	gefragmen- teerd	verplaatst	primair	secundair in situ	secundair verplaatst
2356	2356.3		5005	-	-	-	-	(+)	-		+	+	+
	2356.2		5005	+	-	-		(+)	-		+	+	(+)
	2356.1		5006	-	-	-	(+)	+	-		+	+	+
2357	2357.3	I	5006	-	-	-	(+)	-	-	(+)	+	+	+
		II	5009.2	-	-	-	(+)	-	-	(+)	+	+	+
		III	5009	-	-	(+)	-	-	(+)	-	+	+	-
	2357.2	I	5009	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-
		II	5009.2	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-
		III	5009	-	-	+	-	-	(+)	-	+	-	-
	2357.1	I	5009	(+)	-	+	-	-	+	-	(+)	-	-
		A	5009.2	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
		B	5009.2	-	-	-	+	-	-	+	+	+	(+)
2358	2358.3		5009	(+)	-	++	-	-	+	-	-	-	+
	2358.2		5009	(+)	-	++	-	-	++	-	-	-	(+)
	2358.1		5009	-	-	++	-	-	++	-	-	-	+
2359	2359.3		5005	-	-	-	(+)	+	-	(+)	+	+	++
	2359.2		5005	+	-	-		+		+	+(+)	+	++
	2359.1	I	5006	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+
II		5006.2	-	-	-	(+)	-	-	-	+	-	+	
2360	2360.3	I	5006	-	-	-	(+)	-	-	(+)	+	-	(+)
		II	5006.2	-	-	-	(+)	-	-	-	+	(+)	-
		III	5006	+	-	-	+(+)	-	-	+(+)	+	-	+
	2360.2		5006	-	-	-	++	-	-	+(+)	+	+	+
	2360.1	I	5007	-	-	-	++	-	-	++	+	-	-
		II	5009	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+
		III	5009	+	-	-	(+)	-	-	-	-	(+)	+
2361	2361.3		5006.2	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-
	2361.2	I	5006	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-
		II	5007	(+)	-	-	++	-	-	+	+	(+)	(+)
		III	5007	(+)	-	-	+	-	-	++	+	-	(+)
		IV	5008	-	-	(+)	-	-	-	(+)	(+)	-	-
	2361.1	I	5008	-	-	+	-	-	-	(+)	-	-	-
		II	5008	-	-	+	-	-	+	-	-	-	(+)
III		5009	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	



Tabel 9 Resultaten van de XRF-metingen.

XRF-meetnummer	Diepte (in cm t.o.v. bovenzijde monsterbak)	Monsterbak												
			SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Rb (mg/kg)	Sr (mg/kg)	Ba (mg/kg)	As (mg/kg)	Zr (mg/kg)
4335	45,0	2361	44	2,49	1,02	0,170	1,39	0,011	0,673	55	43	210	6,26	713
4336	41,5		29	2,68	1,03	0,615	2,99	0,020	0,380	61	49	279	14	557
4337	38,5		36	3,78	1,25	0,443	3,02	0,017	0,477	59	48	316	13	572
4338	35,5		24	1,68	1,06	0,388	2,78	0,017	0,437	58	43	229	11	539
4339	32,0		31	2,91	1,22	1,32	2,95	0,018	0,472	59	50	220	12	576
4340	29,5		24	1,84	1,11	1,57	3,04	0,028	0,410	59	66	182	14	534
4341	26,0		35	3,11	1,19	2,95	2,60	0,030	0,488	54	93	183	8,96	626
4342	23,0		32	2,86	1,15	4,44	2,64	0,031	0,422	53	105	241	9,82	544
4343	20,0		36	3,26	1,32	4,13	2,62	0,039	0,452	58	117	234	10	515
4344	17,0		31	2,81	1,25	4,57	2,43	0,053	0,441	56	114	225	8,89	454
4345	14,0		37	3,14	1,08	3,94	2,19	0,042	0,290	52	121	252	7,85	389
4346	11,0		35	3,34	1,22	4,68	2,67	0,052	0,662	54	121	239	11	901
4347	8,0		35	2,98	1,20	3,12	2,74	0,039	0,427	57	100	280	10	483
4348	4,0		38	3,74	1,33	3,34	2,90	0,038	0,461	61	102	279	12	544
4349	46,0		35	3,08	1,27	3,48	2,49	0,044	0,390	55	105	236	9,10	421
4350	43,0		31	2,65	1,30	4,04	2,80	0,044	0,464	59	108	231	9,11	497
4351	40,0		38	3,50	1,32	4,22	2,40	0,052	0,389	55	123	273	6,55	406
4352	37,0	39	3,59	1,27	3,51	2,57	0,038	0,480	55	107	297	8,90	660	
4353	34,0	36	3,71	1,17	2,96	2,93	0,039	0,413	61	98	245	8,43	504	
4354	31,0	33	2,99	1,19	3,88	2,62	0,035	0,410	56	107	205	10	485	
4355	28,0	34	3,27	1,24	3,99	2,52	0,043	0,415	56	104	255	8,93	497	
4356	25,0	32	3,01	1,25	6,63	2,41	0,075	0,390	54	122	221	10	430	
4357	22,0	34	3,65	1,46	6,26	2,55	0,051	0,409	60	138	262	8,05	352	
4358	19,0	35	3,97	1,60	5,19	2,71	0,049	0,443	63	133	267	8,83	389	
4359	16,0	33	3,34	1,49	5,66	2,65	0,047	0,388	60	135	288	8,42	381	
4360	13,0	37	3,89	1,52	5,24	2,67	0,064	0,434	63	129	228	7,69	360	
4361	10,0	36	3,74	1,50	5,81	2,50	0,046	0,410	59	131	261	8,83	381	
4362	7,0	31	3,22	1,34	6,74	2,41	0,059	0,389	56	132	275	7,24	376	
4363	4,0	35	3,45	1,49	4,05	2,87	0,046	0,432	63	115	215	9,38	396	
4369	47,5	35	2,61	1,14	0,340	2,03	0,015	0,649	67	41	195	5,94	577	
4370	45,0	48	3,76	1,14	0,236	1,52	0,018	0,693	62	40	268	< dl	651	
4371	42,0	44	3,91	1,14	0,248	1,62	0,010	0,645	65	44	220	6,34	644	
4372	39,0	49	3,30	0,979	0,203	1,23	0,013	0,582	54	43	192	5,45	734	
4373	36,0	43	2,72	0,846	0,470	0,997	0,016	0,547	54	41	182	< dl	721	
4374	33,0	37	3,04	1,14	0,302	2,03	0,018	0,612	58	43	228	8,86	653	
4375	30,0	30	2,56	0,989	1,92	2,78	0,022	0,383	56	80	187	12	522	
4376	27,0	31	3,47	1,20	2,12	3,36	0,031	0,499	67	74	255	12	540	
4377	24,0	35	3,35	1,25	3,84	2,71	0,047	0,441	55	108	235	10	509	

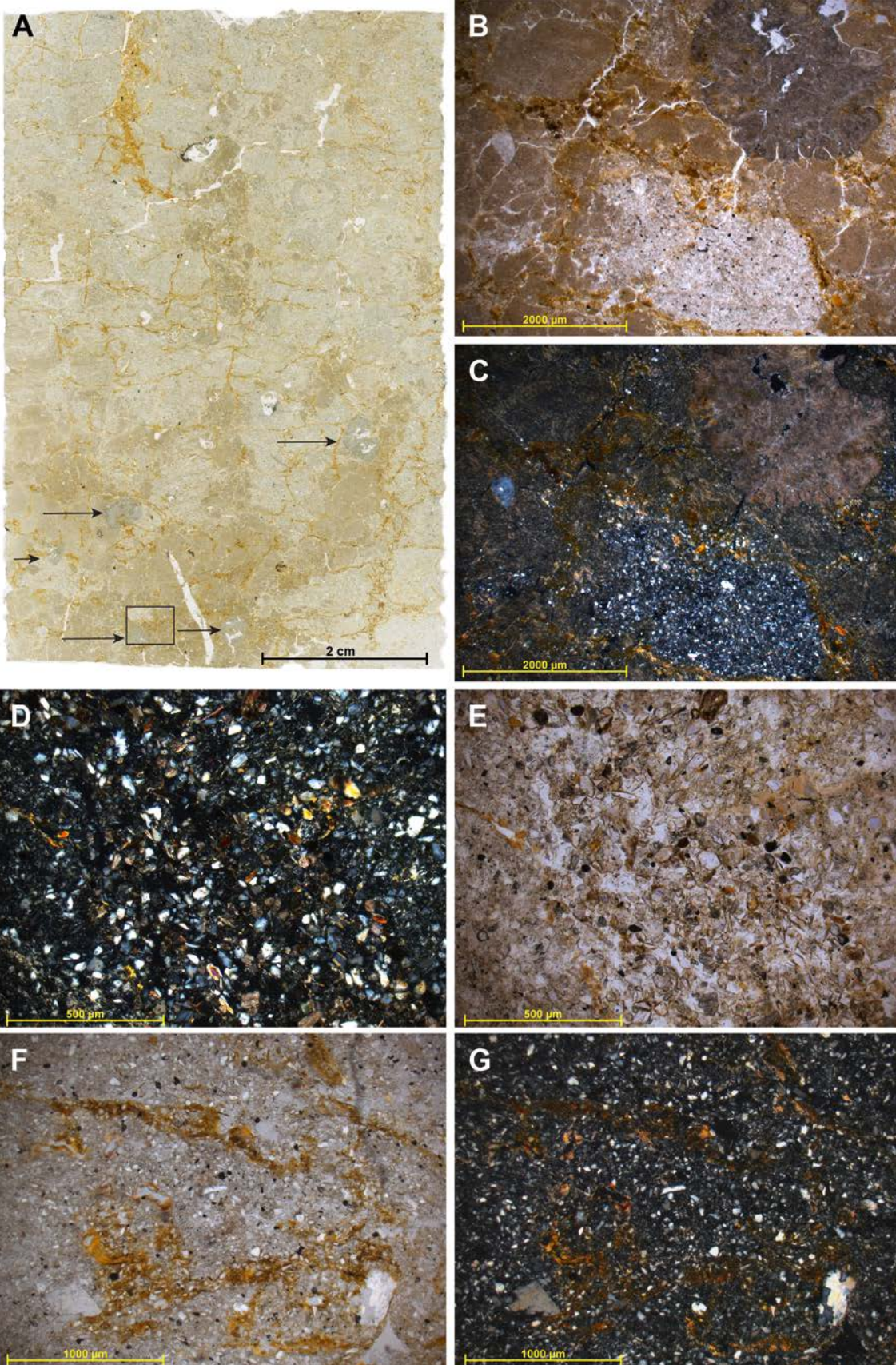
Vervolg van tabel 9 Resultaten van de XRF-metingen.

XRF-meetnummer	Diepte (in cm t.o.v. bovenzijde monsterbak)	Monsterbak												
			SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Rb (mg/kg)	Sr (mg/kg)	Ba (mg/kg)	As (mg/kg)	Zr (mg/kg)
4378	21,0	2360	37	3,59	1,22	3,17	2,78	0,031	0,413	56	107	210	12	535
4379	18,0		34	3,10	1,30	3,13	2,66	0,036	0,455	58	104	193	9,11	510
4380	15,0		29	2,24	1,02	3,17	2,42	0,037	0,342	52	113	230	7,13	528
4381	12,0		36	3,07	1,31	3,67	2,45	0,047	0,409	57	106	293	11	485
4382	9,0		36	3,02	1,26	4,25	2,28	0,037	0,410	53	119	169	6,78	557
4383	6,0		35	3,22	1,29	4,15	2,55	0,048	0,463	55	116	257	8,24	603
4384	3,0		34	2,82	1,25	4,13	2,48	0,041	0,471	55	121	198	9,36	666
4385	47,0		33	5,23	1,57	0,443	3,47	0,016	0,637	99	49	273	12	340
4386	44,0	37	5,35	1,42	0,509	2,54	0,012	0,635	84	49	247	6,51	465	
4388	41,0	38	4,62	1,44	0,307	2,26	< dl	0,661	81	46	280	6,53	477	
4389	38,0	33	3,96	1,34	0,376	2,70	0,012	0,599	85	49	201	8,46	514	
4390	35,0	40	5,14	1,27	0,324	2,21	0,011	0,556	77	47	200	8,64	545	
4391	32,0	35	3,75	1,25	0,287	2,40	0,014	0,554	79	47	271	8,33	581	
4392	29,0	36	4,74	1,41	0,338	2,21	0,011	0,648	77	47	268	7,50	552	
4393	26,0	36	4,86	1,25	0,346	2,45	0,013	0,571	79	47	223	7,79	532	
4394	23,0	40	5,22	1,27	0,315	2,23	0,009	0,586	80	48	189	6,42	573	
4395	20,0	40	5,12	1,25	0,307	2,17	0,011	0,586	76	48	277	5,35	606	
4396	17,0	36	5,21	1,25	0,345	2,71	0,012	0,583	84	46	282	9,36	514	
4397	14,0	39	5,35	1,37	0,350	2,32	0,016	0,648	80	46	239	8,00	586	
4398	11,0	38	4,98	1,42	0,344	2,03	0,012	0,622	73	46	261	8,00	635	
4399	8,0	39	5,62	1,26	0,329	2,28	0,013	0,598	79	46	230	5,97	568	
4400	4,0	41	5,22	1,21	0,298	1,86	0,012	0,583	72	48	185	< dl	588	
4401	47,0	36	4,52	1,38	0,364	2,22	0,016	0,601	74	46	303	6,15	607	
4402	44,0	36	4,02	1,11	0,402	1,91	0,029	0,495	71	47	283	6,92	588	
4403	41,0	35	4,08	1,34	0,668	2,21	0,018	0,612	73	53	249	6,84	594	
4404	38,0	35	3,85	1,37	2,02	2,20	0,139	0,547	71	76	246	5,98	487	
4405	35,0	33	4,07	1,34	0,398	2,10	0,018	0,612	75	45	280	< dl	556	
4406	32,0	30	3,70	1,12	0,396	2,25	0,145	0,503	77	46	250	< dl	525	
4407	25,0	29	2,47	1,05	1,14	1,91	0,024	0,494	61	53	190	7,49	583	
4408	22,0	33	3,42	1,16	1,21	2,02	0,023	0,460	66	59	185	7,91	552	
4409	19,0	34	3,54	1,15	0,506	1,91	0,025	0,545	71	46	227	< dl	532	
4410	16,0	31	3,29	1,25	1,11	2,01	0,023	0,524	71	55	220	8,14	504	
4411	11,0	38	3,91	1,34	3,26	2,68	0,041	0,446	61	103	295	9,56	559	
4412	8,0	33	3,30	1,32	2,49	2,90	0,061	0,496	62	91	264	13	517	
4413	5,0	34	3,24	1,18	3,08	2,55	0,042	0,394	61	105	196	9,02	480	
4414	2,0	35	3,17	1,31	3,66	2,48	0,034	0,423	59	107	265	7,06	498	
4415	47,0	37	3,73	1,33	2,87	2,63	0,052	0,491	60	93	303	8,49	521	
4416	44,0	34	3,90	1,32	2,31	2,96	0,040	0,496	64	84	255	12	530	

Vervolg van tabel 9 Resultaten van de XRF-metingen.

XRF-meetnummer	Diepte (in cm t.o.v. bovenzijde monsterbak)	Monsterbak												
			SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Rb (mg/kg)	Sr (mg/kg)	Ba (mg/kg)	As (mg/kg)	Zr (mg/kg)
4417	41,0	2356	38	3,98	1,39	4,00	2,67	0,048	0,472	61	103	312	11	491
4418	38,0		36	3,47	1,29	3,65	2,45	0,036	0,470	58	109	201	7,21	533
4419	35,0		38	3,99	1,34	3,80	2,61	0,033	0,476	60	113	291	12	566
4420	32,0		36	3,67	1,35	3,07	2,69	0,035	0,446	60	98	293	11	513
4422	29,0		35	3,82	1,53	5,10	2,55	0,060	0,425	66	132	290	9,33	366
4423	26,0		35	3,90	1,57	5,31	2,78	0,047	0,441	65	134	239	8,29	350
4424	23,0		34	3,60	1,44	6,11	2,44	0,056	0,365	58	142	256	8,09	325
4425	20,0		38	4,27	1,54	4,40	2,68	0,045	0,418	65	124	318	7,92	367
4426	17,0		31	3,50	1,50	4,90	2,68	0,051	0,401	62	132	259	10	356
4427	14,0		31	3,13	1,48	5,46	2,77	0,036	0,401	55	133	238	11	353
4428	11,0		29	2,74	1,30	5,19	2,42	0,040	0,408	54	131	284	11	368
4429	8,0		32	3,19	1,52	6,00	2,60	0,046	0,407	60	141	288	9,57	344
4431	5,0		30	3,00	1,50	5,59	2,62	0,049	0,399	58	139	205	9,17	346
4432	2,0		34	3,62	1,61	4,51	2,92	0,043	0,442	64	121	195	10	362
4433	47,0		36	3,98	1,56	6,03	2,65	0,047	0,442	61	143	271	7,41	378
4434	44,0		38	4,15	1,62	5,84	2,73	0,039	0,401	59	144	287	10	366
4435	41,0		38	4,43	1,41	6,22	2,63	0,041	0,394	59	156	293	6,28	372
4436	38,0	35	3,87	1,54	6,22	2,70	0,044	0,434	61	138	187	9,47	358	
4437	36,0	34	3,85	1,48	6,13	2,57	0,061	0,421	60	141	330	8,61	377	
4438	32,0	36	3,94	1,54	5,82	2,74	0,054	0,442	60	147	288	12	389	
4439	29,0	39	3,78	1,32	5,45	2,68	0,054	0,412	56	158	245	8,20	444	
4440	26,0	39	3,76	1,46	5,01	2,63	0,060	0,445	60	138	300	9,97	436	
4441	23,0	41	4,11	1,68	0,624	2,70	0,052	0,475	68	74	275	8,05	434	
4442	20,0	42	4,34	1,49	0,536	3,11	0,054	0,402	65	74	243	10	428	
4443	17,0	41	4,03	1,68	0,540	2,87	0,073	0,478	66	74	253	11	484	
4444	14,0	42	4,29	1,54	0,481	3,11	0,066	0,423	67	74	295	9,30	423	
4445	11,0	44	4,54	1,75	0,574	3,05	0,054	0,463	67	76	252	9,43	416	
4446	8,0	42	4,39	1,65	0,568	3,00	0,059	0,477	66	74	268	11	435	
4447	5,0	40	4,07	1,67	0,501	3,13	0,068	0,475	70	75	246	11	414	
4448	2,0	40	4,12	1,61	0,477	2,79	0,077	0,433	63	73	240	9,48	444	





Afb. 25 (A-G) Grondmassa van stratigrafische eenheid 5009.

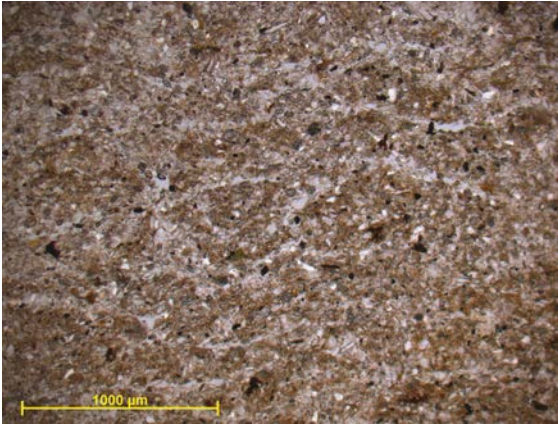
A: scan van slijpplaat 2358.1. In lichtgekleurd silt liggen donkerdere stukken klei ingebed. De pijltjes wijzen naar fragmenten secundaire kalk (lösspoppetjes). De bruine strepen zijn met ingespoelde klei en ijzer ingevulde scheuren. De rechthoek geeft de positie van B-C.

B-C: microscoopbeeld van de grondmassa in slijpplaat 2358.1 (C in XPL; oriëntatie is omgekeerd). Rechtsboven in beeld een lösspoppetje, onder in beeld een siltig domein; de rest van de grondmassa bestaat uit kleiaggregaten. Bruine banden zijn veroorzaakt door klei-inspoeling.

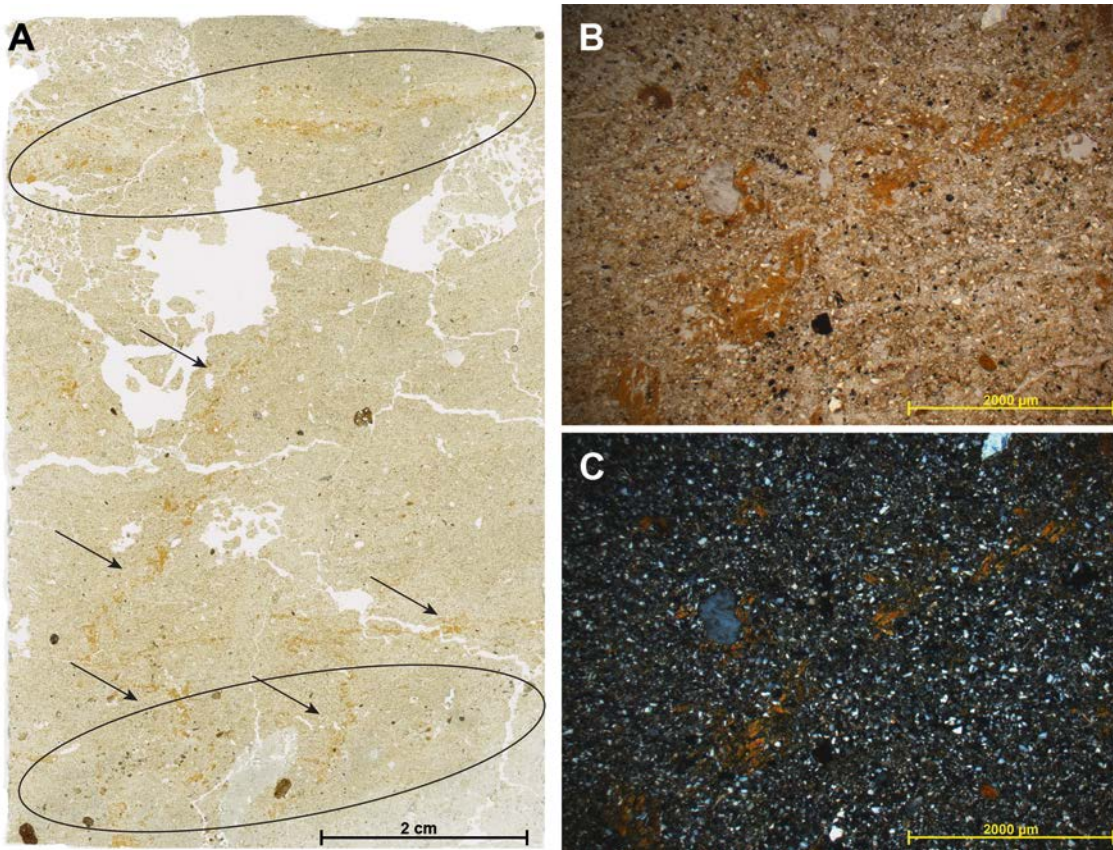
D-E: grondmassa in slijpplaat 2357.1 (D XPL). Kalkhoudend silt in het midden van het beeld wordt links en rechts geflankeerd door kalkarme silt. De klei-inspoeling beperkt zich tot de kalkarme delen.

F-G: beeld van klei-inspoeling in slijpplaat 2358.1 (G in XPL). De klei is ingespoeld in scheuren en poriën. Vervolgens zijn de inspoelingsbanden verkneed en gefragmenteerd door herhaald bevroren en ontdooien van de grondmassa. De oranje kleur van de kleihuidjes komt door ijzerinspoeling.





Afb. 26 Microscopiebeeld van grondmassa waarin in horizontale lenzen segregatie is opgetreden als gevolg van herhaald bevroren en ontdooien (slijpplaat 2356.3).



Afb. 27 (A-C) Grondmassa in stratigrafische eenheid 5008.

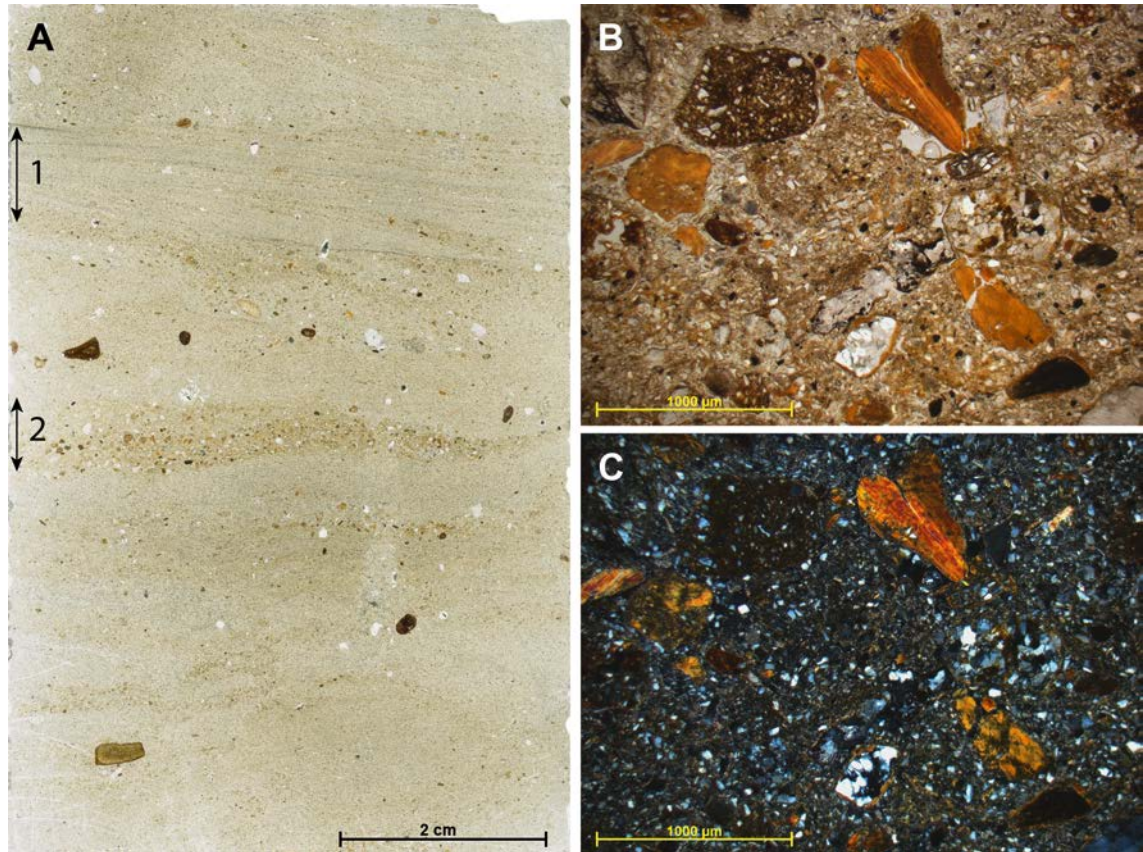
A: scan van slijpplaat 2361.1. De plaat is van slechte kwaliteit door problemen bij het bemonsteren van deze dunne, brokkelige laag. Rechtsomder in beeld is nog net een stukje gebleekt materiaal zichtbaar dat tot eenheid 5009 kan worden gerekend. De overgang is vrij geleidelijk. Door het centrale deel van de plaat lopen enkele banden van ingespoelde klei (aangegeven met pijltjes). Onder en boven komen aggregaten voor van geërodeerde oudere bodemhorizonten (omcirkeld). B-C: detailbeeld van ingespoelde klei in slijpplaat 2361.1 (C in XPL). Ook deze kleihuidjes zijn verkneed door vriesdooiprocessen. Let ook op de grove kwartskorrels die niet uit de löss afkomstig kunnen zijn, maar opgenomen moeten zijn uit andere afzettingen.

### **De grondmassa**

De grondmassa bestaat in het algemeen uit silt, zonder uitzondering met een kleine bijmenging van matig grof tot grof kwartzand en korrels glauconiet (tabel 7). De onderste monsters uit stratigrafische eenheid 5009 bestaan ook deels uit aggregaten ('kluitjes') van klei (afb. 25A-C). De structuur van de monsters is in de meeste gevallen ofwel gelaagd, ofwel aggregaat. Bij een

aggregaatstructuur bestaat de grondmassa feitelijk uit een opstapeling van – vaak afgeronde – kluitjes (aggregaten). Bij een gelaagde grondmassa kunnen ook aggregaten voorkomen, maar die domineren dan niet de structuur. Enkele monsters vertonen geen duidelijke structuur en zijn daarom als massief geklasseerd. Op fijne schaal vertoont een aantal monsters min of meer horizontaal georiënteerde en schijnbaar





Afb. 28 (A-C) Sedimentatiestructuren.

A: scan van slijplaat 2360.3. Nummer 1 geeft een niveau aan met een hoge concentratie van zware mineralen en een zeer fijn gelamineerde structuur. Nummer 2 geeft een zone weer waarin veel aggregaatjes van omgewerkte kleihuidjes en ijzerverkitte löss voorkomen.

B-C: detailopname van dezelfde laag (C in XPL). In B zijn de fragmenten van kleihuidjes oranjebruin van kleur en de ijzerverkittingen bruin met ingesloten siltkorrels. Grovere stukken kwarts (zandformaat) en lössaggregaten zijn ook herkenbaar.

afgeronde aggregaten waarin fijn materiaal is geconcentreerd, in een iets grovere bodem-massa (afb. 26). Dit zijn patronen die typisch ontstaan door de werking van permafrost in een heterogene bodem.<sup>74</sup>

De stratigrafische eenheden 5005, 5006, 5006.2 en in mindere mate ook 5007 en 5009 vertonen in een aantal monsters diergangen (tabel 8). Het duidelijkst herkenbaar zijn de gangen die met halvemaaanvormige laagjes sediment zijn ingevuld. In geen van de monsters is de biologische activiteit echter erg hoog geweest, want het aantal gangen blijft heel beperkt.

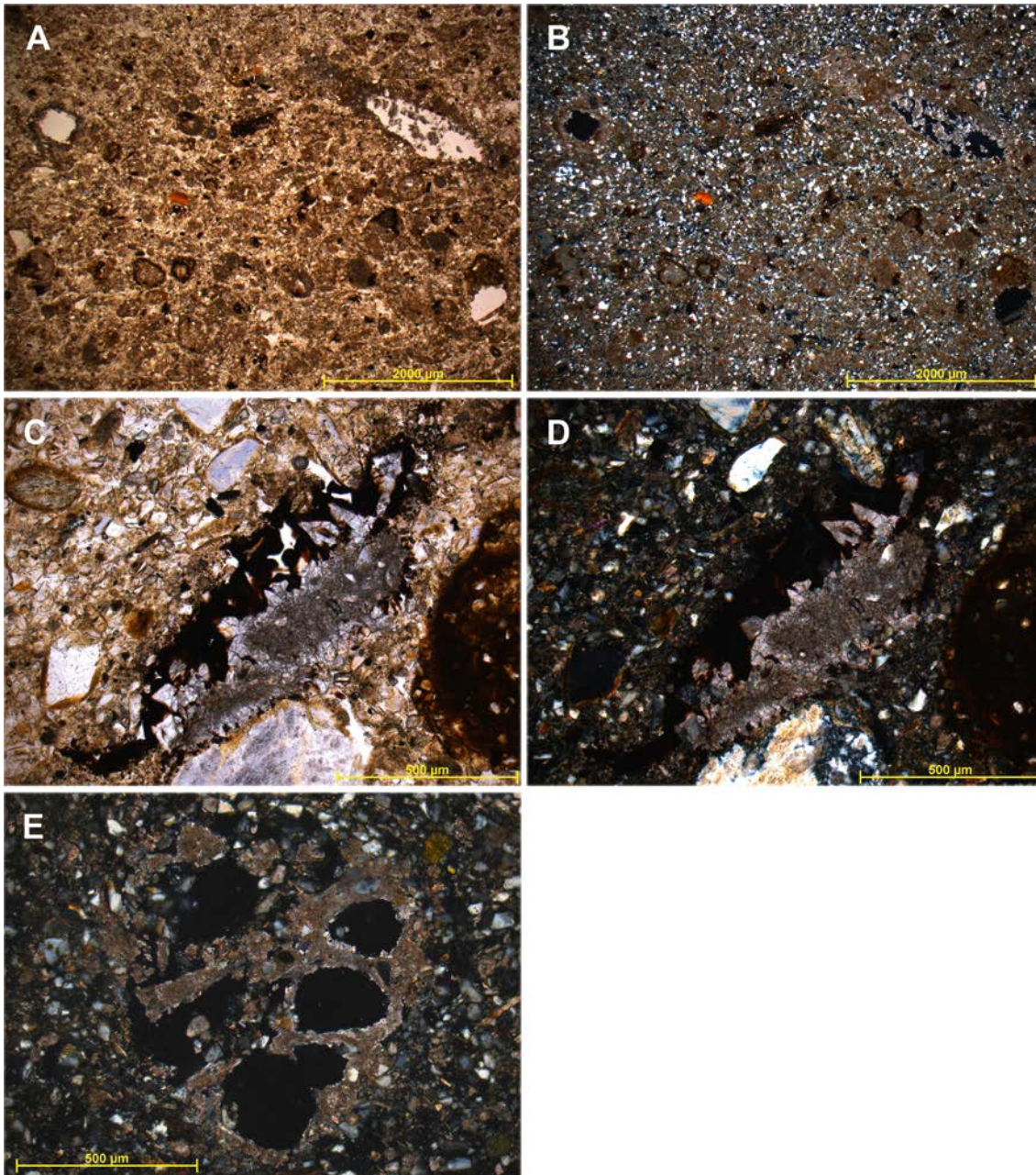
#### **Klei en ijzer**

In veel monsters komen kleihuidjes voor (tabel 8). Het gaat om gelaagde afzettingen van klei op de

wanden van poriën en scheuren, vaak helder maar soms ook wat stoffig. In geen enkel geval worden ze aangetroffen zoals ze zijn gevormd (in situ). In sommige stratigrafische eenheden (5008-5009) zijn ze echter gefragmenteerd en vervormd, maar slechts minimaal verplaatst. In die gevallen zijn de patronen waarin ze eerder zijn gevormd, nog steeds herkenbaar (afb. 25D-G en 27). In andere niveaus (5006, 5006.2, 5007, 5009, 5009.2 en ook 5005) komen fragmenten van kleihuidjes voor als verplaatste aggregaten, vaak in een sedimentaire structuur. Soms zijn ze nog hoekig, maar in het algemeen zijn deze aggregaten afgerond door het transport. Verschillende van deze getransporteerde kleihuidjes zijn beduidend dikker dan de huidjes die alleen zijn gefragmenteerd (afb. 28).

<sup>74</sup> Van Vliet-Lanoë 2010.



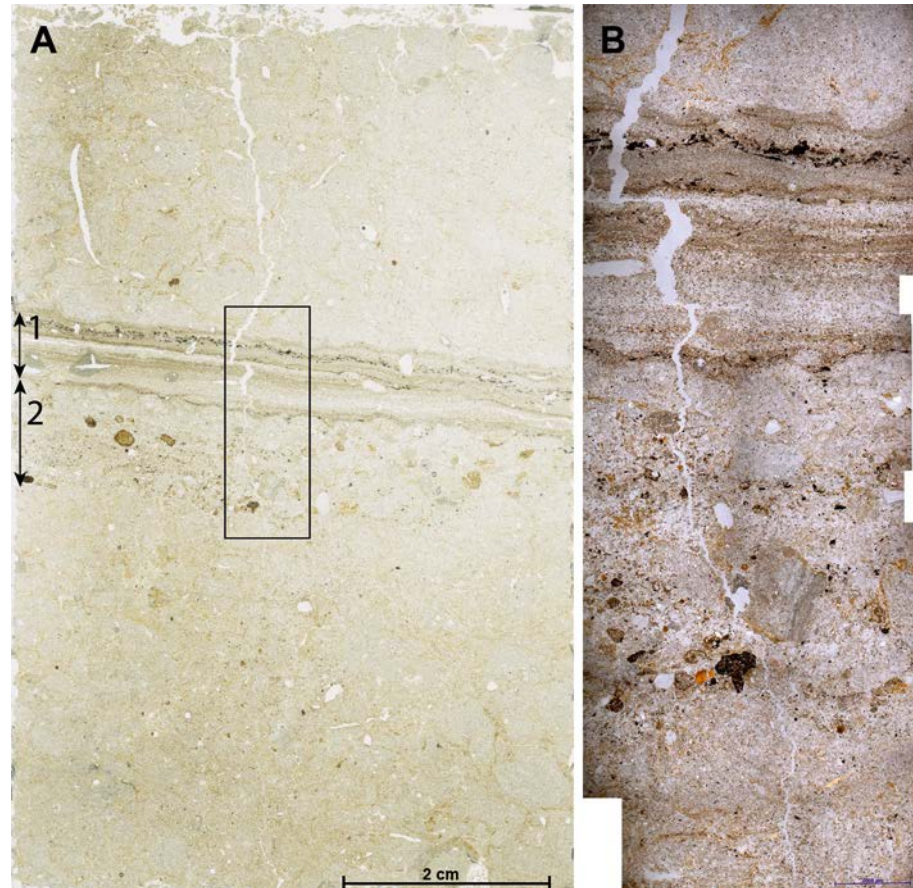


Afb. 29 (A-E) Diverse vormen waarin kalk voorkomt in de grondmassa (B, D, E in XPL).

A-B: slijpplaat 2359.3. Verspoelde bolletjes secundaire fijnkorrelige (micritische) kalk, sommige met bruine ringen door ijzerneerslag. Rond de porie rechtsboven is secundaire kalk in situ neergeslagen.

C-D: slijpplaat 2356.1. Grote kristallen van kalk neergeslagen in een porie. De donkerbruin-rode neerslag op de mineralen is ijzeroxide.

E: slijpplaat 2359.1. Secundaire fijn kristallijne kalk met ronde holtes; afdrukken van plantenwortels of mogelijk een restant van een slakkenhuisje.



Afb. 30 (A-B) Waterontsnappingsstructuur in monster 2357.1.

A: scan van slijpplaat 2357.1. Nummer 2 is de laag die bestaat uit aggregaten en grind; nummer 1 bestaat uit fijn materiaal en is zeer rijk aan mica's. De zwarte en grijze vlekken betreffen respectievelijk mangaan-neerslag en secundaire kalk. De rechthoek geeft de positie van B aan.

B: mozaïek van microscoopfoto's van de waterontsnappingsstructuur. De aggregaten in het onderste deel en de fijne gelaagdheid in het bovenste zijn goed te herkennen. De boven- en ondergrenzen zijn scherp afgebakend.

Huidjes of andere neerslagen van oxides of hydroxides van ijzer of mangaan komen in enkele plaatsen in situ, onaangetast voor (de niveaus 5005 en 5006). Dit geldt slechts voor enkele monsters en is zo beperkt, dat in geen van deze gevallen echt sprake is van gley, pseudogley of toendragley. Wel zijn veel (maar niet alle) gefragmenteerde kleihuidjes rood door de neerslag van ijzer (afb. 25D-G). En net als bij de kleihuidjes, komen in veel monsters sedimentair verplaatste ijzerrijke afgeronde kluitjes (aggregaten of nodules) voor (afb. 27A en 28B-C). Analoog aan de kleihuidjes geldt ook hier dat de ijzerverkitting in deze kluitjes veel uitgesprokener is dan de ijzerveerslag die in situ of gefragmenteerd aanwezig is.

### Kalk

Een deel van de sedimenten bevat primaire kalk; in de regel is dat fijn verdeeld, maar hier en daar komen ook iets grovere fragmenten voor (tabel 8). In dezelfde stratigrafische niveaus is daarnaast secundaire kalk neergeslagen in poriën en holtes en als zodanig nog in situ aanwezig. In de meeste gevallen bestaat die kalk uit aaneengeroemde, heel kleine mineraaldelen ('micritische kalk'), maar er komen ook invullingen van holtes voor die uit veel grotere mineraaldelen bestaan. Verschillende van deze secundaire kalkconcentraties vertonen holtes of ringvormige structuren die mogelijk het gevolg zijn van het neerslaan van kalk op (nu vergane) wortels of schelpjes van landslakken. In verschillende monsters komen stukken secundaire kalk voor die zijn verplaatst en afgezet in sedimentaire structuren (afb. 29).



### Specifiek primaire mineralen

In sommige afzettingen komen concentraties voor van specifieke primaire mineralen. In één geval (2357.1; afb. 30) gaat het om horizontale banen of scheef gelaagde afzettingen die zeer rijk zijn aan muscoviet. Een aantal andere slijpplaten (2359.3 en 2361.3; afb. 28A) bevat gelaagde afzettingen met opvallend veel zware mineraaldelen, waaronder veel ondoorzichtige (opake). In ontkalkte delen van het sediment komt sterk verweerde biotiet voor, die al voor een groot deel is omgezet naar klei.

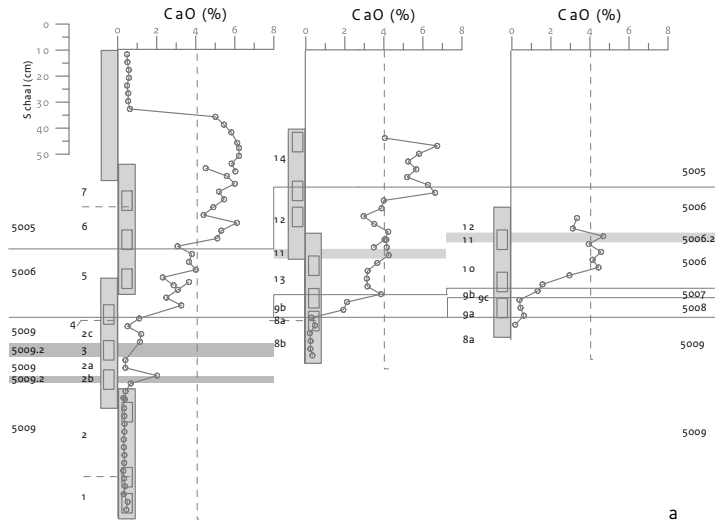
### Geochemische analyses

De uitkomsten van geochemische analyses zijn opgenomen in tabel 9. De belangrijkste chemische verschillen worden weergegeven in een serie diepteprofielen en zogenoemde *scatterplots*. In de diepteprofielen zijn de monsterbakken, posities van slijpplaatmonsters, nummers van de stratigrafische eenheden en laagnummers uit de macroscopische beschrijvingen schematisch weergegeven (zie ook tabel 6).

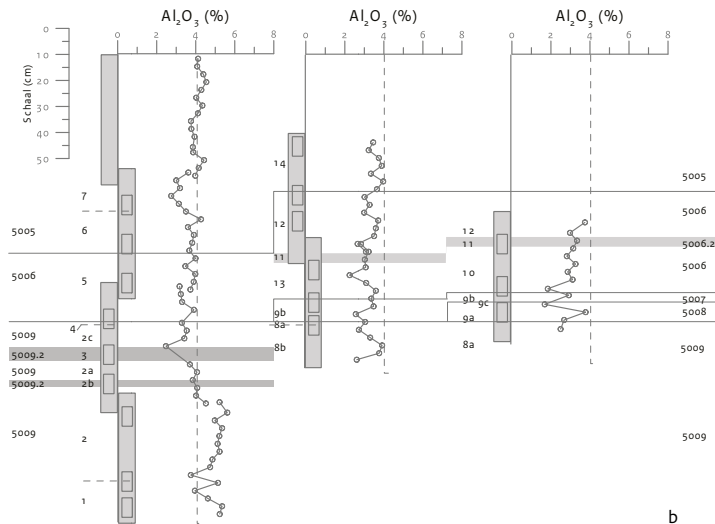
De grootste variatie in de diepteprofielen vertoont CaO (afb. 31a). De diepere delen van eenheid 5009 vertonen lage waarden (ca. 0,2-0,5%). In de bovenste delen van dit niveau en in de bovenliggende stratigrafische eenheden 5008 en 5007 komen iets hogere waarden voor, maar de gehalten blijven laag (ca. 0,5-2%). Daarboven (niveau 5006) worden de gehalten hoger (rond de 4%), terwijl in niveau 5005 de waarden oplopen tot rond de 6%. Bovenin het profiel vallen de waarden weer terug naar ca. 0,5% in eenheid 5003. Omdat calcium met name voorkomt in kalk, wordt de variatie vooral veroorzaakt door verschillen in kalkgehalten. De waarden van 0,2-0,5% in de ontkalkte stukken löss van de stratigrafische niveaus 5009 en 5003 worden waarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezigheid van kleine hoeveelheden calciumhoudende veldspaten.

De diepteprofielen van aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; afb. 31b) laten hoge waarden (> 4%) zien in het onderste deel van eenheid 5009 in sequentie 1. Hoger in de sequentie zijn de waarden lager, en vaak ook meer variabel. Dit duidt op hogere gehalten aan klei, mica's en/of veldspaten in de diepste pakketten. Omdat de grens tussen hoog en 'normaal'  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in eenheid 5009 (sequentie 1) samenvalt met de grens tussen kalkloos en kalkhoudend materiaal in de grafiek van calcium (CaO), lijkt dit verschil te wijzen aan verdunning van  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -houdende mine-

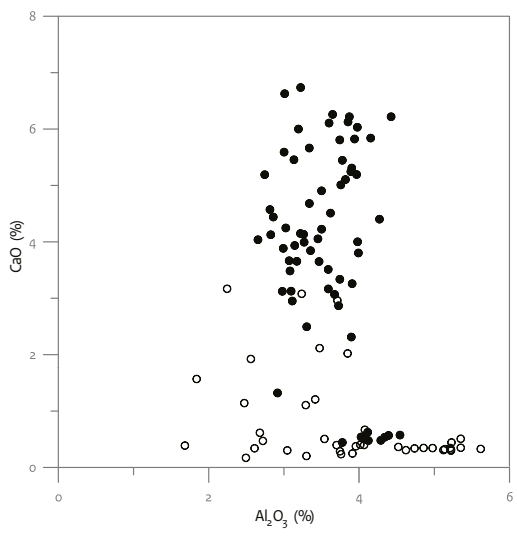
ralen door kalk. Dit blijkt echter niet uit de scatterplot van aluminium tegen calcium (afb. 31c): als verdunning een belangrijke rol speelde, zou er een negatieve correlatie zichtbaar moeten zijn, waarbij toenemende CaO-gehalten zorgden voor afnemende  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -gehalten. Eerder zien we een grote groep monsters die een (zeer) zwakke positieve correlatie vertonen, en een groep met laag CaO en opvallend hoog  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Het is het meest waarschijnlijk dat de hoogste  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -waarden zijn veroorzaakt door de klei-inspoeling die micromorfologisch ook is aangetoond. Onderin profiel 1 is ook de aanwezigheid van klei als grondmassa van belang. Scatterplots van Rb versus  $\text{K}_2\text{O}$  (afb. 31d) vertonen twee duidelijk gescheiden groepen, die elk een positieve lineaire correlatie vertonen tussen de twee elementen. De scheiding tussen de twee groepen ligt rond  $\text{Rb}/\text{K}_2\text{O} = 50$  (ppm/%). Als we de waarden voor  $\text{Rb}/\text{K}_2\text{O}$  plotten in de diepte (afb. 31e), zien we dat de twee groepen duidelijk gescheiden zijn, waarbij de eenheden 5009, 5008 en 5007 alleen waarden > 50 vertonen. De waarden van de andere stratigrafische eenheden zijn bijna volledig < 50, afgezien van enkele geïsoleerde uitschieters in eenheid 5006 die er net bovenuit komen. Aangezien Rb en  $\text{K}_2\text{O}$  vooral voorkomen in klei, mica's en veldspaten, duidt deze variatie op een verandering in de onderlinge verhouding van dit soort mineralen in het bodem-materiaal. Er is echter geen correlatie met het gehalte aan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , wat het onwaarschijnlijk maakt dat klei-inspoeling achter deze verschillen zit. Het is daarom het meest waarschijnlijk dat verwerking van mineralen – en verlies aan  $\text{K}_2\text{O}$  – de oorzaak is van de waargenomen verschillen. Dat zou erop duiden dat de sedimenten in de stratigrafische eenheden 5009, 5008 en 5007 sterker zijn verweerd dan die in de bovenliggende pakketten. Het diepteprofiel van zirkoon (Zr; afb. 31f) is in profiel 1 opvallend homogeen van eenheid 5009 tot en met 5006. Op de overgang naar 5005 is een plotselinge afname, wat duidt op een verandering in de mineralogische samenstelling op dit niveau. In de sequenties 2 en 3 komen enkele hogere uitschieters voor. Dit bevestigt dat er op die locatie een concentratie voorkomt van zware mineralen, zoals ook micromorfologisch is waargenomen. De gehalten aan ijzer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; afb. 31g) zijn laag onderin het profiel, en nemen abrupt toe op de bovengrens van 5009. Daarboven zijn ze weer vrij constant. Deze grens valt samen met de grens tussen lichtgekleurde en bruinere sedimenten.



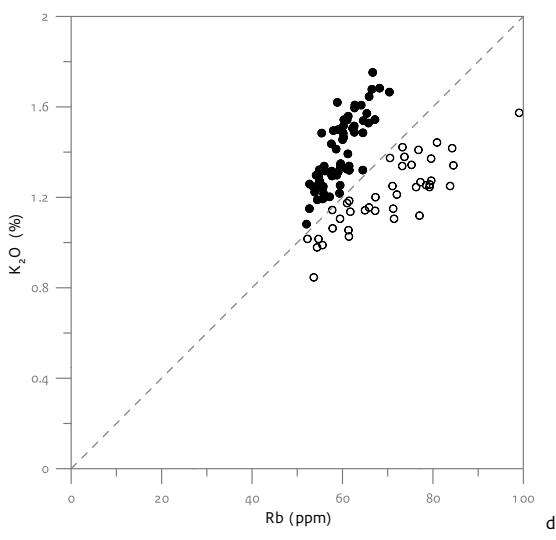
a



b



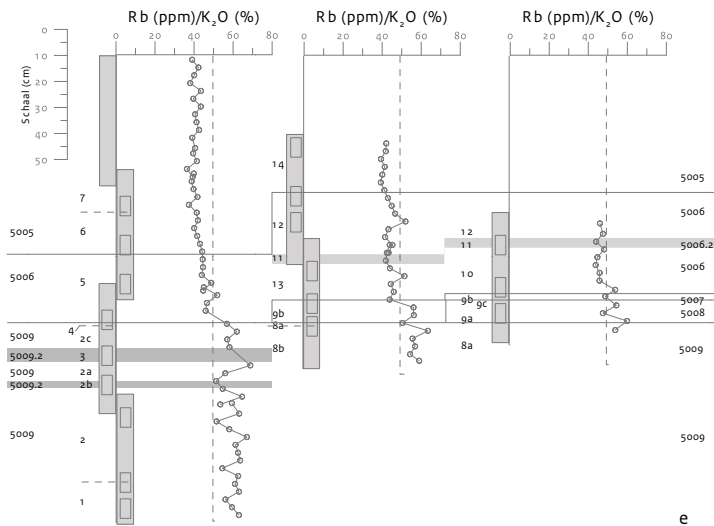
c



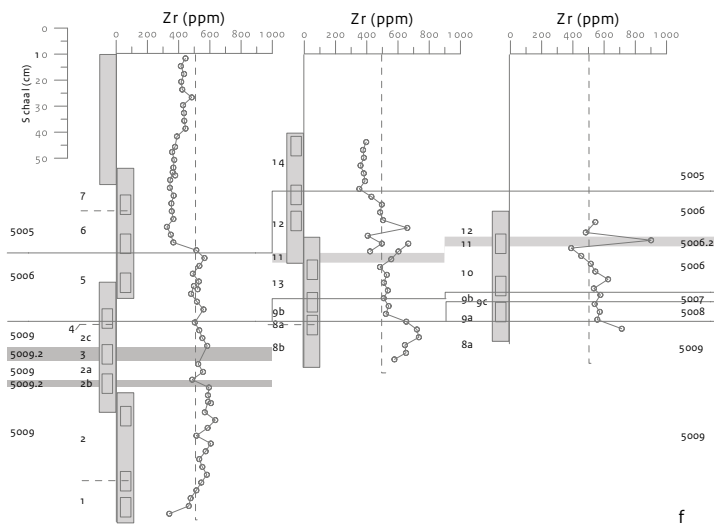
d

Afb. 31 (a-d) Diepteprofilen en scatterplots van chemische parameters. In de diepteprofilen zijn de stratigrafische eenheden, de monsterbakken, de posities van de slijplaten en de laagindeling bij de macroscopische beschrijving aangegeven (zie ook de tabellen 6-8). a: Diepteplot van calcium (CaO). Hoge gehalten corresponderen met hoge kalkgehalten. b: Diepteplot van aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Hoge gehalten corresponderen in het algemeen met hogere kleigehalten. c: Scatterplot van calcium (CaO) versus aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Symbolen als in d. De groep rechtsonder in de grafiek is kalkarm en rijk aan klei. Voor de andere monsters duidt een (vage) positieve correlatie tussen de twee parameters erop dat kleiaggregaten en kalk gezamenlijk zijn afgezet. Het patroon stemt niet overeen met normale verweringssequenties in homogene bodems. d: Scatterplot van kalium (K<sub>2</sub>O) versus Rubidium (Rb). Er kunnen twee groepen worden onderscheiden (aangegeven met symbolen en met de scheidingslijn), die mineralogisch iets anders van samenstelling zijn.

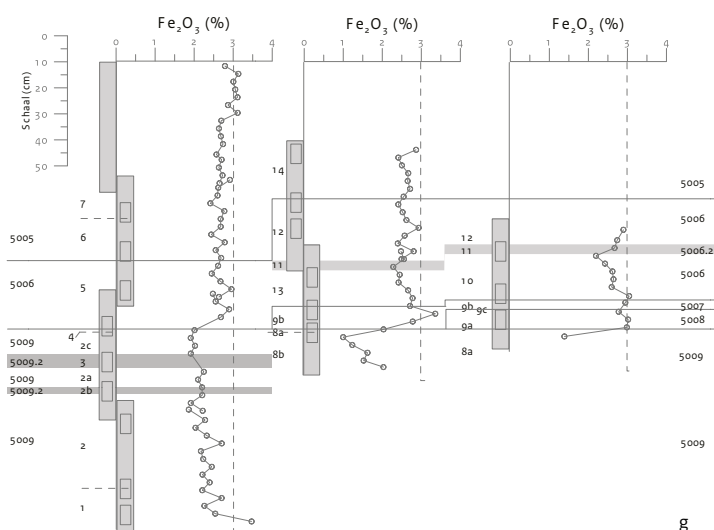




e



f



g

Afb. 31 (e-g) Diepte profielen van chemische parameters. In de diepte profielen zijn de stratigrafische eenheden, de monsterbakken, de posities van de slijpplaten en de laagindeling bij de macroscopische beschrijving aangegeven (zie ook de tabellen 6-8). e: Diepteplot van rubidium/kalium ( $Rb/K_2O$ ). Hieruit blijkt dat de groepen uit afbeelding 25 ook stratigrafisch gescheiden zijn. De grens tussen de twee ligt op de overgang naar eenheid 5007. f: Diepte profiel van zirkoon (Zr). Pieken in de sequenties 2 en 3 hangen samen met eolische afzettingen die rijk zijn aan zware mineralen. In sequentie 1 is een duidelijke breuk in het patroon zichtbaar op de overgang van 5006 naar 5005. g: Diepte profiel van ijzer ( $Fe_2O_3$ ). Eenheid 5009 bevat minder ijzer dan de andere lagen, waarschijnlijk als gevolg van pseudogleyprocessen.

## Interpretatie

### Stratigrafische eenheid 5009

In sequentie 1 bestaat de grondmassa van niveau 5009 uit silt (aggregaten in een massieve grondmassa met scheuren) met daarin ingebed grote afgeronde aggregaten van klei, met in het diepste monster wat lösspoppetjes (afb. 25A-C). De klei is waarschijnlijk niet eolisch afgezet; het zal eerder gaan om fluviatiele of mariene kleien die reeds op het plateau aanwezig waren. Gezien de landschappelijke positie moeten we uitgaan van een tertiaire ouderdom voor deze klei.

De geclusterde tot willekeurige verdeling van deze aggregaten van klei is geen normale sedimentaire gelaagdheid. Het duidt er eerder op dat een oudere sedimentaire gelaagdheid is verstoord – bijvoorbeeld door cryoturbatie – of dat het hele pakket is afgezet als een mengeling van silt- en kleiaggregaten. De aanwezigheid van concreties van kalk tussen de kleiaggregaten, en die van enkele kalkhoudende aggregaten van silt in de bovenkant van de laag is een aanwijzing dat het hier gaat om een opeenstapeling van aggregaten die afkomstig zijn uit verschillende, min of meer verweerde bodemniveaus. Hierbij zijn voor het grootste deel aggregaten uit sterk verweerde, ontkalkte bodemniveaus afgezet, maar ook enkele stukken uit een minder verweerde bodem die nog kalkhoudend was. Waarschijnlijk gaat het om erosief materiaal dat bij erosieprocessen is verplaatst en verderop opnieuw is afgezet. Kenmerkende structuren voor solifluctie of gelifluctie (zoals horizontale oriëntaties, *galaxy structures* of langgerekte aggregaten) ontbreken. Eerdere waarnemingen in het lössgebied van Zuid-Limburg toonden aan dat afronding een gevolg kan zijn van transport in stromend water van stabiele lössaggregaatjes of stabiele lösskluitjes, bijvoorbeeld in erosiegeultjes<sup>75</sup>.

De banden van beschadigde kleihuidjes die in de grondmassa voorkomen, duiden erop dat na de afzetting van dit materiaal bodenvorming is opgetreden in de vorm van inspoeling van klei. De klei is afkomstig uit bovenliggende ontkalkte bodemlagen die nu niet meer aanwezig zijn. Zij is neergeslagen in de poriën tussen de aggregaten en structurelementen. Het ontbreken van kleineerslag in de grondmassa zelf geeft aan dat de bodenvorming in deze laag niet heel intens

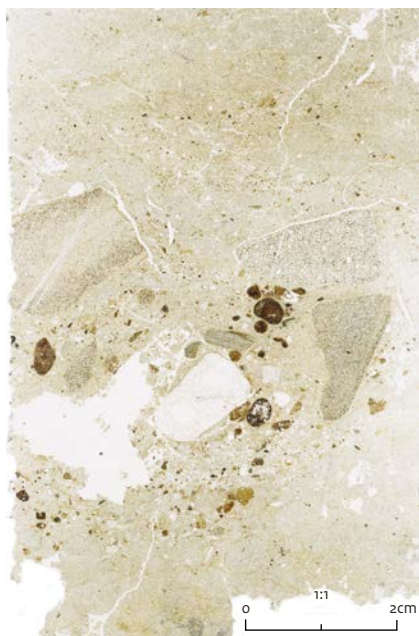
was; waarschijnlijk kijken we naar een relict van de onderkant van een Bt-horizont.

Veel kleihuidjes zijn roodgekleurd door ijzernererslag. Dat geldt echter niet voor alle huidjes: hier en daar komen stukjes voor die een schone, beige-gele kleur hebben. Dit betekent dat de ijzernererslag pas is ontstaan ná de klei-inspoeling. Het ijzer is waarschijnlijk neergeslagen doordat de bodem helemaal was verzadigd met water; het ijzer loste op en sloeg vervolgens neer in de scheuren, omdat dit de enige plaatsen zijn waar nog zuurstof aanwezig was – zogenoemde pseudogley. Uit het diepteprofiel van Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (afb. 31G) blijkt ook dat door de gleyprocessen een deel van het ijzer uit het profiel is verdwenen.

Hoewel de patronen van kleihuidjes en ijzernererslag de structuur van de bodem volgen, vormen ze geen duidelijke continue coating aan de binnenkant van de poriën: ze zijn gefragmenteerd, lokaal vervormd en enigszins verplaatst ten opzichte van elkaar. Dit duidt erop dat de bodem in een latere fase onder druk heeft gestaan en is verkneed. Hoogstwaarschijnlijk is dit gebeurd door herhaaldelijk bevriezen en ontdooien tijdens een periglaciale periode.

Stratigrafische eenheid 5009 wordt in het bemonsterde traject op twee plaatsen onderbroken door grind- en kalkhoudende laagjes sediment (5009.2), en wordt afgesloten door een vergelijkbaar laagje (5007). Het afsluitende laagje in slijpplaat 2357.3 en het bovenste van de insluitingen in slijpplaat 2357.2 bestaan uit afzettingen van (niet-gebleekte) kalkhoudende löss, met daarin behoorlijk grof grind, maar ook allerlei stukken verspoeld bodemmateriaal. Het grind is ingebed in het fijnere materiaal en vormt geen separaat niveau (afb. 32), wat een residuaire genese (*desert pavement*) uitsluit. Ook hier betreft het daarom erosief materiaal dat is verplaatst en opnieuw is afgezet. Het is daarbij wel de vraag onder welke omstandigheden een dergelijke, dunne afzetting zich gelijkmatig over zo'n grote oppervlakte kan verspreiden. Het is waarschijnlijk dat beide grindlaagjes die zichtbaar zijn in sequentie 1, in feite behoren tot dezelfde laag, die naderhand is verdubbeld: uit het noordelijke deel van het westprofiel blijkt dat een plak bevroren bovenlaag van de bodem is gaan schuiven, en iets verderop weer tot rust is gekomen.

<sup>75</sup> Múcher, De Ploey & Savat 1981; Múcher & Vreeken 1981; Herman Múcher, persoonlijke mededeling.



Afb. 32 Scan van slijpplaat 2357.2. De grindlaag in het centrum bestaat uit een mengsel van grind en aggregaten, ingebed in silt.

Het grindhoudende laagje in slijpplaat 2357.1 is anders van samenstelling. De onderste helft bestaat uit fijne aggregaten waarin kalkhoudend bodemmateriaal voorkomt naast ontkalkt bodemmateriaal, grind en gefragmenteerde en verplaatste kleihuidjes en ijzerverkittingen (afb. 30). Het bovenste deel bestaat echter uit zeer fijn gelamineerde afzettingen van klei die zeer rijk is aan mica's. Opvallend is dat dit niveau kalkhoudend is en toch ingeschakeld is in een ontkalkt pakket. Nog opvallender is dat dit niveau scherpe boven- en ondergrenzen vertoont, evenals een goed bewaarde fijne gelaagdheid, terwijl deze toch ingeschakeld ligt in een pakket waarvan de kleihuidjes door permafrost zijn gefragmenteerd. We moeten daarom aannemen dat dit pakketje intrusief is in deze laag. De meest logische verklaring is dat we kijken naar een waterontsnappingsstructuur.<sup>76</sup> Dergelijke structuren kunnen ontstaan in bodems waarin water onder zo'n grote druk is komen te staan, dat een water-sedimentmengsel is gaan vervloeien (liquefactie) en door ondoorlatende lagen heen is gebroken. Op die manier kunnen zogenoemde zand- of moddervulkaantjes ontstaan. De hier waargenomen laag is waarschijnlijk de aanvoerlijn van een dergelijk moddervulkaantje geweest. Liquefactie kan onder

allerlei omstandigheden optreden en is bijvoorbeeld een bekend fenomeen in waterverzadigde bodems bij aardbevingen. In het hier bestudeerde profiel is het het meest waarschijnlijk dat de liquefactie opgetreden is onder permafrostcondities; onder gematigder klimaatomstandigheden is de bodem hier te droog voor liquefactie. De vervloeiing en intrusie trad dan op aan het einde van een seizoen waarin de permafrost deels was ontdooid – bijvoorbeeld tijdens het begin van een winterseizoen – en de bovengrond reeds opnieuw was bevroren. Drukopbouw in de nog ontdooidde laag zorgde vervolgens voor de vervloeiing. Het is aannemelijk dat deze gebeurtenis samenhangt met de overschuiving die iets minder diep in het profiel zichtbaar is en die voor verdubbeling van de grindlaag heeft gezorgd, onder meer doordat kalkhoudend materiaal van het oppervlak naar beneden moet zijn getransporteerd.

Bij de sequenties 2 en 3, afkomstig uit het zuidwestelijke deel van put 2, heeft eenheid 5009 een andere structuur: deze vertoont geen aggregaatstructuur, maar is gelaagd tot massief. Ook komen er (verplaatste) fragmenten voor van kleilaagjes, ijzerverkittingen en secundaire kalk. Dit duidt erop dat ook deze laag is opgebouwd uit bodemmateriaal dat elders erodeerde, waarbij verschillende bodemhorizonten zijn aangesneden. De sedimentatie heeft echter niet geleid tot de vorming van aggregaten. De bleke kleur duidt ook hier op pseudogley. De afwezigheid van in-situ of gefragmenteerde ijzernerslag geeft echter aan dat het waarschijnlijker is dat het materiaal al was verbleekt voordat het werd afgezet. De pseudogleyvorming was dus waarschijnlijk al opgetreden in de bodem waar het materiaal vandaan kwam. Dit wordt ondersteund door de aanwezigheid in de grondmassa van stukjes met ijzer verkit sediment als aggregaten; die zijn dan ook afkomstig van een (dezelfde?) gleybodem. Omdat op deze locatie alleen de top van de bodem is bemonsterd, is niet duidelijk of dit niveau op iets grotere diepte meer kenmerken krijgt, zoals op de locatie van sequentie 1. In de sequenties 2 en 3 bevindt zich geen afsluitend grindlaagje bovenop eenheid 5009.

#### **Stratigrafische eenheid 5008**

Eenheid 5008 komt alleen voor in monsterbak 2361; in het zuidelijke deel van het westprofiel is echter een laagje grind (5007) getekend dat zou

<sup>76</sup> Jaap van der Meer, persoonlijke mededeling.

kunnen worden gezien als voortzetting van het afsluitende grindlaagje op stratigrafische eenheid 5008. Als dat klopt zou de stratigrafische eenheid 5008 uitwijken in dit deel van het profiel, en ook aanwezig zijn in de slijpplaten 2360.1 en 2360.2. Op basis van slijpplaat 2361.1 blijkt dat de overgang tussen de eenheden 5009 en 5008 vaag is: de gelaagdheid lijkt gewoon door te lopen. Opvallend is ook dat eenheid 5008 – net als 5009 in sequentie 1 – gefragmenteerde klei-inspoeling vertoont in een scheurpatroon. Hier zijn de kleihuidjes vervolgens eveneens onder periglaciale omstandigheden verkneed. Ook hier kijken we waarschijnlijk naar de onderkant van een Bt-horizont van een later opnieuw geërodeerde bodem. De meest waarschijnlijke interpretatie van eenheid 5008 is dat zij sedimentair en bodemkundig bij eenheid 5009 hoort, met als belangrijkste verschil dat eenheid 5008 niet onderhevig is geweest aan pseudogleyprocessen. De grinden geassocieerd met eenheid 5008 zijn waarschijnlijk van dezelfde origine als die horend bij eenheid 5009, aangezien deze sedimentologisch en stratigrafisch een eenheid vormen.

#### **Stratigrafische eenheid 5007**

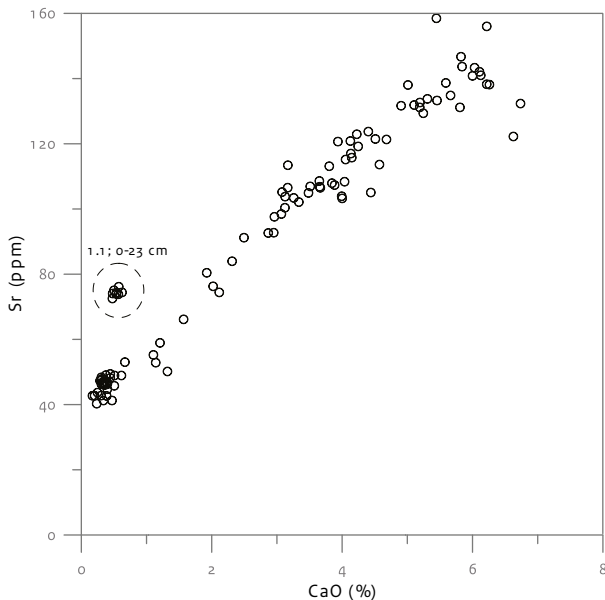
Deze eenheid vertoont sedimentaire structuren waarin aggregaten van bodemhorizonten zijn opgenomen naast het grind. Kleihuidjes in situ ontbreken echter, net als (pseudo)gleyverschijnselen. De Rb-K-verhoudingen, zoals die blijken uit de diepteprofielen van afbeelding 31e, liggen nog in de *range* van die van de eenheden 5009 en 5008. Het kalkgehalte neemt naar boven echter gestaag toe. Het ontbreken van klei-inspoeling maakt duidelijk dat eenheid 5007 geen deel uitmaakt van het Bt-horizontrelict van de eenheden 5008 en 5009. De bovengrenzen van 5008 en 5009 markeren dus een hiaat in de sedimentatie; eenheid 5007 weerspiegelt de eerstvolgende sedimentatiefase. Opvallend is dat sedimentatie nu niet meer plaatsvindt in de vorm van aggregaten, maar in de vorm van losse korrels, met daarin wel aggregaten van specifieke bodemhorizonten. De toename van het kalkgehalte geeft aan dat een toenemend percentage van het bodemmateriaal afkomstig is uit kalkhoudende bodems. Het in dit pakket aanwezige grind moet ook zijn overgeërfd uit deze bodems. Naderhand is ook kalk neergeslagen in deze laag.

#### **De stratigrafische eenheden 5006 en 5005**

Kenmerkend voor de niveaus 5006 en 5005 is de dominantie van kalkhoudend tot kalkrijk sedimentair gelaagd materiaal met periglaciale verschijnselen (kleine vorstwiggen, door permafrost geïnduceerde korrelgrootteseparatie). In de slijpplaten zijn geen grootschalige verstoringen door vorstwiggen waargenomen. Het is juist opvallend hoe goed de sedimentaire gelaagdheid bewaard is gebleven. Bodemvorming beperkt zich tot de neerslag van secundaire kalk en tot enkele sporadische diergangen en wat in-situ neerslag van ijzer en mangaan. Dit is niet genoeg om in dit profiel niveaus te identificeren als (relict van) bodemhorizonten of -niveaus. Het bodemmateriaal bevat veel verplaatste aggregaten uit bodemhorizonten met ijzerverkitting, klei-inspoeling en (vooral) secundaire kalk.

De niveaus van de monsters 2360 en 2361 die rijk zijn aan zware mineralen, bestaan uit een dun, zeer fijn gelamineerd horizontaal pakket met een beperkte verspreiding. Dit niveau vertoont ook verhoogde gehalten aan zirkoon (afb. 31f). De concentraties van zware mineralen in flinterdunne *foreset*achtige bandjes duiden erop dat hier een sterke sortering heeft plaatsgevonden. De meest waarschijnlijke interpretatie is dat het hier gaat om een lokale eolische afzetting. De sterke uitsortering van de zware mineralen geeft aan dat het grootste deel van het aangevoerde sediment weer verder is getransporteerd: slechts een klein residu bleef achter. De veldinterpretatie dat het hier om een *undercutting* zou gaan, moet worden bijgesteld: daarbij zouden grovere aggregaten horen en die zijn hier niet aangetroffen.

Het belangrijkste verschil tussen de stratigrafische eenheden 5006 en 5005 is dat de bovenste van de twee (5005) kalkrijker is. Dat blijkt zowel uit de micromorfologische waarnemingen (meer secundair verplaatste kalk) als uit de chemische analyses. Uit de laatste analyses blijkt bovendien dat eenheid 5005 lagere gehalten aan zirkoon heeft. Aangezien beide pakketten zijn gevormd door sedimentatie van omgewerkt bodemmateriaal, zijn de kleurverschillen die in het veld werden waargenomen, waarschijnlijk veroorzaakt doordat de sedimenten van eenheid 5005 uit een ander bodemprofiel of andere bodemhorizont afkomstig zijn dan die van 5006. Bodemvormende processen als de vorming van toendragley, mineraalverwerking, bioturbatie of



Afb. 33 Scatterplot van calcium (Ca) versus strontium (Sr). Het hele profiel vertoont dezelfde lineaire correlatie, met uitzondering van het bovenste deel van profiel 1.

de accumulatie van organisch materiaal kunnen worden uitgesloten. De opvallende patronen van schuine lobben, die in eerste instantie erg aan vorstwiggen doen denken, zijn waarschijnlijk logischer toe te schrijven aan sedimentatie: op grovere schaal vormen ze een patroon dat sterk doet denken aan *foresets* – typische schuine sedimentatiepatronen die ontstaan bij afzettingen door stromend water. De kleurverschillen die dit patroon accentueren, lijken vooral te worden veroorzaakt doordat twee sedimentbronnen met een iets andere samenstelling elkaar hebben afgewisseld.

#### Ondiepere stratigrafische eenheden

De ondieper voorkomende stratigrafische eenheden zijn micromorfologisch niet bemonsterd. Uit de chemische profielen blijkt dat de eenheden boven 5005 weer kalkloos zijn, en eveneens iets rijker aan ijzer en zirkoon. Opvallend is dat daar de verhouding tussen calcium (Ca) en strontium (Sr) afwijkt van de rest van de metingen (afb. 33). Hoogstwaarschijnlijk kijken we hier naar sedimentatie van materiaal uit een afwijkende bron. De afnemende kalkgehalten net onder de kalkgrens duiden op oplosingsverschijnselen. Een deel van de secundaire kalk die in situ in de diepere lagen voorkomt, komt hoogstwaarschijnlijk van dit niveau.

#### Conclusies

Het bemonsterde profiel laat een sequentie zien van sterk verweerde löss naar steeds minder verweerd materiaal. De sequentie van bodemhorizonten staat min of meer op zijn kop; mogelijk is dit het gevolg van steeds toenemende erosie in het brongebied, waarbij steeds diepere horizonten zijn aangesneden. Maar waarschijnlijk is deze verklaring te simplistisch: de sequentie zal in de praktijk veel complexer zijn geweest. De enige in situ aangetroffen bodem is het relict van een Bt-horizont met gleyverschijnselen onderaan put 2 (5009-5008), en zelfs deze is gevormd in verplaatst materiaal. In de diepere lagen is vooral sediment ontstaan in de vorm van niet-verkitte, afgeronde aggregaten. Hoogstwaarschijnlijk moeten we hier denken aan erosie en redepositie over de (flauwe) helling. Typische solifluctie- of gelifluctiestructuren ontbreken. Ondieper (deels reeds vanaf de top van eenheid 5009) zijn individuele korrels of verkitte aggregaten afgezet. In deze afzettingen komt een lokale inschakeling voor van eolisch materiaal. Overschuivingen en grote vorstwiggen ontbreken in het bemonsterde deel van de sequentie, maar er zijn wel indicaties voor periglaciale condities in de vorm van kleine vorstwiggen en korrelgroottescheidingen die zijn geïnduceerd door bevrozing en dooi.



Als we de opeenvolging van gebeurtenissen op een rij zetten, moeten we tot de conclusie komen dat het onderzochte profiel tot stand is gekomen door een ingewikkelde sequentie van gebeurtenissen. Uitgaande van het eenvoudigste scenario, geeft tabel 10 een overzicht van de opeenvolgende fases die minimaal zijn te onderscheiden.

De diverse fases in dit overzicht worden onderbroken door (lange) perioden van non-sedimentatie of erosie. Het is goed mogelijk dat nog complexere opeenvolgingen van gebeurtenissen

hebben plaatsgevonden, die niet meer uit de bestudeerde profielen herleidbaar zijn.

Duidelijk is dat we kijken naar een sterk gecondenseerd profiel, waarbij van veel processen slechts kleine relicten overgebleven zijn. Dat maakt correlatie met dikkere (of completere) lössprofielen met opeenvolgende bodems of andere *marker horizons* heel onzeker. Deels komt dat doordat typische bodems ontbreken, en deels doordat specifieke kenmerken kunnen zijn overgeërfd uit oudere bodems. Daar komt bij dat De Kaap kan worden beschouwd als een klein-

**Tabel 10 Overzicht van fases in de sedimentatie, bodemvorming en erosie in put 2.**

Fase	Beschrijving
0	In het landschap zijn pakketten klei en grind van tertiaire ouderdom aanwezig.
1	Sedimentatie van kalkrijke löss in de omgeving van het profiel.
2	De löss erodeert, wordt verplaatst en sedimenteert opnieuw, waarbij een klein aandeel glauconiet en kwartskorrels wordt opgenomen. Deze zijn waarschijnlijk afkomstig uit tertiaire mariene afzettingen in de buurt.
3	Bodemvorming; eerst ontkalking, vervolgens mineraalverwerking.
4	Dit materiaal erodeert opnieuw en wordt de helling af getransporteerd, soms in de vorm van stapelingen van aggregaten, soms als gelaagde sedimenten. Deze processen bouwen een sequentie waarvan eenheden 5009 en 5008 het onderste deel vormen. Er wordt vooral ontkalkt en verweerd materiaal afgezet, maar ook enkele aggregaten die kalkhoudend zijn en minder verweerd.
5	Toenemende bodemvorming in het verplaatste materiaal leidt tot structuurvorming en het ontstaan van een luvisol met een Bt-horizont (overeenkomstig de eenheden 5008 en 5009).
6	Vorming van pseudogley resulteert in bleking van het bodemmateriaal in eenheid 5009 en neerslag van ijzer in scheuren (meestal op de al bestaande kleihuidjes).
7	De bodem erodeert sterk, zodat alleen de onderkant van de Bt-horizont bewaard blijft; de rest van het bodemprofiel verdwijnt.
8	Permafrostcondities resulteren in bodembewegingen waardoor klei- en ijzerhuidjes fragmenteren. De eerste vorstwiggen ontstaan.
9	Erosie en redepositie zorgt voor de afzetting van een dunne laag sediment, bestaande uit bodemaggregaten en grind (stratigrafische eenheid 5007).
10	Opnieuw vormen zich vorstwiggen.
11	Een deel van de bodem schuift als een bevroren plaat over het oppervlak, waardoor de grindlaag (fase 9) op een aantal locaties verdubbelt. Mogelijk hiermee geassocieerd is een eenmalige liquefactie, waarbij intrusies en (waarschijnlijk ook) moddervulkaantjes ontstaan.  [Aan het eind van deze fase liggen de stratigrafische eenheden 5009, 5008 en 5007 er min of meer bij zoals aangetroffen tijdens het veldwerk.]
12	Hersedimentatie van löss uit verschillende bodemhorizonten, waarbij min of meer onveranderde löss vermengd raakt met materiaal uit bodemlagen met kalkinspoeling, met klei-inspoeling of met ijzerverkitting. Ook in deze pakketten is een klein aandeel materiaal met glauconiet en grovere kwarts uit tertiaire mariene afzettingen bijgemengd. Doordat sedimenten uit verschillende profielen of bodemlagen afwisselend worden afgezet, ontstaat een foresetachtige sedimentaire structuur. Lokaal ontstaan dunne eolische afzettingen die sterk zijn aangetrokken met zware mineralen. Sporadisch vormen zich kleine vorstwiggen of diergangen. Permafrost zorgt voor korrelgroottescheidingen in het sediment.  [Aan het eind van deze fase zijn de eenheden 5005 en 5006 compleet.]
13	Ontkalking in (de top van) eenheid 5005 zorgt voor in-situ neerslag van kalk in poriën etc. in diepere bodemlagen.
14	Met de afzetting van het ontkalkte materiaal van eenheid 5004 begint een nieuwe fase van sedimentatie, die verder niet is onderzocht.

schalig sedimentair systeem, waarbij variaties in lokale omstandigheden en terreinkenmerken sterk bepalend zijn geweest voor erosie en (her-)afzetting. Kemp geeft overigens voor veel löss-sequenties vergelijkbare micromorfologische waarnemingen die duiden op herwerkingsprocessen, zoals afzettingen van aggregaten van verkit bodemmateriaal en grind, en de aanwezigheid van afgeronde fragmenten van kleihuidjes.<sup>77</sup> De genese van het profiel maakt correlatie van de stratigrafische niveaus met andere, diepe, goed gedocumenteerde lösssecties als die van Kesselt en Nussloch zeer onzeker.<sup>78</sup> Of de eenheden 5008/5009 behoren tot een Rocourt-bodemcomplex, is moeilijk te zeggen. De aanwezigheid van klei in het onderste deel van het profiel zou ook aanleiding kunnen zijn om een verband te leggen met de Dousbergluvisol, maar ook correlaties met de Pottenberg-, Montenaiken- of Heesluvisol zijn mogelijk.<sup>79</sup> Ook de interpretatie van eenheid 5005 als de *Nagelbeek Tongued Horizon* (zie subparagraaf 4.1.2) is problematisch. De Nagelbeekhorizont wordt beschreven als een (gecryoturbeerde) toendragley. Dergelijke bodems worden gekenmerkt door de aanwezigheid van gleyverschijnselen als gevolg van verzadiging door grondwater.<sup>80</sup> Dit vertaalt zich in ijzerreductie en -oxidatie, die respectievelijk leiden tot een grijze of groene kleur en de aanwezigheid van roestkleurige vlekken en ijzercoatings rond korrels en in poriën. Bij dergelijke bodems is ook sprake van een humusaccumulatie en een toename van biologische activiteit, in het bijzonder in de top van het bodemprofiel. Bovendien kan ook een beperkte ontkalking plaatsvinden met gedeeltelijke herverdeling van de carbonaten aan de basis van het profiel (bijvoorbeeld in de vorm van kleine lösspoppetjes) en een lichte kleiaanrijking. In het geval van de *Nagelbeek Tongued Horizon* trad tegelijkertijd of naderhand cryoturbatie op, wat leidde tot vervorming van bodemstructuren, bijvoorbeeld door *loadcasting* of vorstwiggen. In niveau 5005 kon geen humusaccumulatie worden vastgesteld en was slechts in zeer beperkte mate sprake van bioturbatie. De neerslag van ijzeroxides is beperkt en onvoldoende om deze stratigrafische eenheid als gleybodem te klasseren. Er werden herwerkte ijzerverkitte aggregaten aangetroffen, afkomstig uit een eroderende gleybodem. Er werd geen kalkoplossing vastgesteld, wel kalkneerslag. Evenmin was er sprake van kleiverplaatsing of

mineraalverwerking in de slijpplaten. Aggregaten van dikke kleicoatings waren daarentegen wel aanwezig; deze waren herwerkt en waren afkomstig uit de eroderende Bt-horizont van een goed ontwikkelde luvisol. Ook werd er geen *loadcasting* vastgesteld, wel bleken er enkele kleine vorstwiggen aanwezig te zijn. Verstoring van de coatings of verkittingen (die ook zeldzaam zijn) zijn niet waargenomen. Het sediment bevat dus veel aggregaten die bodemvorming hebben ondergaan, maar in situ zijn de effecten van bodemvorming (net als die van cryoturbatie) beperkt. Het hier beschreven micromorfologisch onderzoek laat op basis van bovenstaande kenmerken dus niet toe de aanwezigheid van een toendragley in niveau 5005 eenduidig vast te stellen. Mogelijk heeft de specifieke landschappelijke positie van niveau 5005, vlakbij een klein dalletje en met sterke vervloeiingsverschijnselen in de richting van dit dalletje, een rol gespeeld bij de onmogelijkheid om dit eenduidig vast te stellen. Vancampenhout *et al.* verkregen onlangs gelijkaardige resultaten bij hun micromorfologische onderzoek naar monsters uit de *Nagelbeek Tongued Horizon* in Veldwezelt-Hezerwater (België).<sup>81</sup> De resultaten van dit onderzoek wezen uit dat ook in Veldwezelt-Hezerwater bodemvorming geen invloed heeft gehad op dit niveau in de bemonsterde sequentie, maar dat het wel veel aggregaten van bodemhorizonten bevatte. De onderzoekers interpreteren dit niveau dan ook als een pakket bodemmateriaal dat is omgewerkt (bijvoorbeeld door hellingsprocessen, solifluctie en/of zogenoemde *mud boils*) en dat hoort bij de erosie en nivellering van het landschap tijdens het pleniglaciaal. Hoewel de micromorfologische resultaten van De Kaap dus niet overeenkomen met de bodemkundige beschrijvingen van de Nagelbeekhorizont, sluiten deze bevindingen wel aan bij de micromorfologische eigenschappen van dit niveau in Veldwezelt.

#### 4.1.5 Magnetische susceptibiliteit

##### Bemonstering

Parallel aan het graven van put 2 en in aanvulling op de Edelmanboringen werden in oktober 2011 vier mechanische boringen (ARCA BH 1001-1004) uitgevoerd met behulp van een Atlas Cobra TT-

<sup>77</sup> Kemp 1999.

<sup>78</sup> Meijs 2002, 2011; Meijs, Van Peer & De Warrimont 2012; Antoine *et al.* 2001, 2009.

<sup>79</sup> Meijs 2002, 2011; Meijs, Van Peer & De Warrimont 2012.

<sup>80</sup> Van Vliet-Lanoë 1987; Antoine *et al.* 2001, 2009; Moine *et al.* 2011.

<sup>81</sup> Vancampenhout *et al.* 2013.

breekhamer. De monsters bestonden uit gesloten *liners* van 1 m lang en 54 mm in doorsnee (afb. 10, 11 en 34; tabel 11). De mechanische boringen werden uitgevoerd door dr. K. Wilkinson en M. Wilkinson-van Hoek MA van de University of Winchester/ARCA Archaeological Consultancy. De kernen zijn aan de Universiteit van Winchester onderzocht met een magnetometer. De onderzoekers plaatsten een van deze boringen (boring ARCA BH 1001) onmiddellijk ten noorden van put 2, teneinde de informatie uit het magnetische signaal uit de kernen te kunnen koppelen aan de stratigrafische sequentie in de profielen. Vervolgens is één boring (ARCA BH 1002) verricht ter hoogte van boring 648. De overige boringen (ARCA BH 1003-1004) zijn gezet in de richting van de plateauwand, om het verloop van het bodemprofiel te kunnen volgen.

**Tabel 11 ARCA-boringen, de overeenkomstige coördinaten in het Rijksdriehoeksstelsel en de hoogte.**

Boringnummer	X (RD)	Y (RD)	Z (m NAP)
ARCA BH 1001	180.070,88	311.144,81	120,93
ARCA BH 1002	180.502,02	311.466,15	128,82
ARCA BH 1003	180.039,41	311.164,86	119,08
ARCA BH 1004	179.976,72	311.149,54	117,66

#### Methodie

Magnetische susceptibiliteit beschrijft de mate waarin bodemhorizonten magnetisch geladen deeltjes bevatten. Hoewel er verschillende theo-

rieën bestaan over de oorzaak van dit verschijnsel,<sup>82</sup> is het uitgangspunt dat (afgedekte) bodemhorizonten meer magnetisch geladen deeltjes bevatten dan eolische lössafzettingen waarin dergelijke horizonten zich niet hebben ontwikkeld.<sup>83</sup> Wanneer bodemmonsters of boorkernen door middel van een magnetometer worden onderzocht op hun magnetisch lading, zijn in metingen verschillen in het magnetische signaal te zien. Dit verschijnsel is niet overal gelijkaardig: in sommige gebieden vertonen bodemhorizonten juist een omgekeerd signaal.<sup>84</sup> Bovendien tonen metingen van moderne bodems aan dat bodemvormende aanrijking of uitloging van bodems en verschijnselen als inspoeling van allochtoon magnetisch geladen materiaal de metingen kunnen beïnvloeden. Extreem droge, natte en/of zure bodems zijn niet in staat om magnetisch geladen deeltjes vast te houden en zullen eveneens een afwijkend signaal veroorzaken.<sup>85</sup> Het meten van magnetische susceptibiliteit dient daarom in eerste instantie op lokaal niveau te worden beoordeeld en is zonder verdere correlatie niet geschikt voor het identificeren van patronen op grotere schaal.<sup>86</sup> Indien in een boorkern een restant van een paleobodem aanwezig is, zal deze in een grafiek te zien zijn als een piek, veroorzaakt door de aanwezigheid van magnetisch geladen deeltjes als gevolg van bodemvorming.

#### Resultaten

In boring ARCA BH 1001, onmiddellijk ten noorden van put 2, levert het magnetometrisch onderzoek een curve op met vier duidelijke pieken (afb. 35 en 39). De eerste piek correspondeert met strafgra-



Afb. 34 Het uitvoeren van de mechanische boringen (foto's: A. Van Baelen).

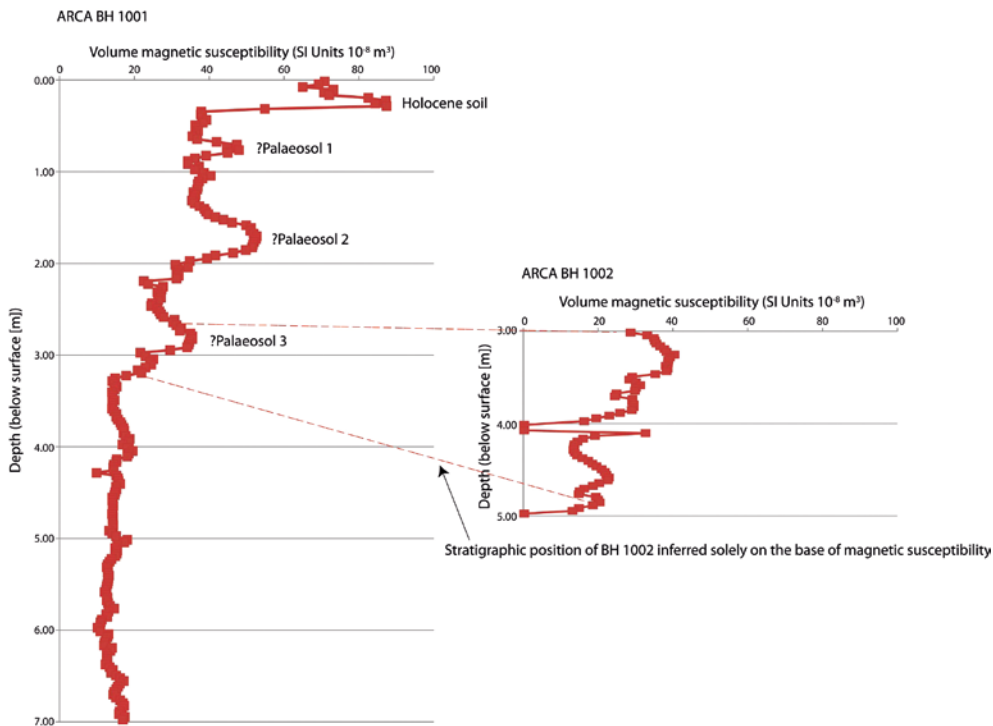
<sup>82</sup> Vergelijk Kukla 1987; Maher & Taylor 1988; Zhou *et al.* 1990; Maher & Thompson 1991.

<sup>83</sup> Rousseau *et al.* 1994.

<sup>84</sup> Maher 1998.

<sup>85</sup> Maher, Alekseev & Alekseeva 2003

<sup>86</sup> Rousseau *et al.* 1994; Rousseau, Zöllner & Valet 1998.



Afb. 35 Magnetische curve voor de boringen ARCA BH 1001 en 1002 (afbeelding door K. Wilkinson).

fische eenheid 5000, de huidige bouwvoor. De tweede, veel kleinere piek bevindt zich ter hoogte van de basis van stratigrafische eenheid 5001 en de overgang naar eenheid 5002. De derde piek stemt overeen met stratigrafische eenheid 5002.1, terwijl het vierde signaal te zien is ter hoogte van de stratigrafische eenheden 5003/5005. Ter hoogte van het tweede signaal (afb. 35: ?paleosol 1) zijn tijdens de documentatie van de profielen geen aanwijzingen gevonden voor de aanwezigheid van paleobodems. Mogelijk wordt het signaal veroorzaakt door de bodemvorming van de holocene luvisol (stratigrafische eenheid 5001) die nog deels aanwezig is. Een andere mogelijkheid is dat deze holocene bodemvorming een oudere bodem, bijvoorbeeld uit het late weichselien, door *overprinting* maskeert. De korrelgrootteanalyse heeft hiervoor echter geen aanwijzingen opgeleverd en bij het micromorfologisch onderzoek zijn stratigrafische eenheden 5001 en 5002 niet onderzocht. Ook voor het derde signaal (afb. 35: ?paleosol 2), dat het meest uitgesproken is ter hoogte van stratigrafische eenheid 5002.1, zijn in het veld en bij de overige analyses geen aanwijzingen gevonden voor bodemvorming. Op dit moment is er derhalve geen sluitende verklaring voor deze twee pieken in de curve.

De vierde en onderste piek (afb. 35: ?paleosol 3) correleert met de stratigrafische eenheden 5003 en 5005. Opvallend is de kleine terugval in het signaal op ca. 3 m onder het maaiveld. Mogelijk wijst deze op een verschil tussen beide niveaus. Eenheid 5003 bestaat uit bruingle löss met aanwijzingen voor verspoeling en bevindt zich boven stratigrafische eenheid 5005, het niveau dat gelijkgesteld werd met de *Nagelbeek Tongued Horizon* (zie ook de subparagrafen 4.1.2 en 4.1.4). Het sterke magnetometrische signaal zou een aanwijzing kunnen zijn voor de aanwezigheid van een paleosol in dit niveau. Voor stratigrafische eenheid 5003 kan dit echter niet als verklaring dienen. Uit het micromorfologisch onderzoek (subparagraaf 4.1.4) blijkt dat het bij de *Nagelbeek Tongued Horizon* gaat om herwerkt materiaal van oudere bodems dat als gevolg van periglaciale processen secundair is gedeponeerd. Het sterke magnetometrische signaal zou dan het resultaat kunnen zijn van de aanwezigheid van kleine aggregaten van herwerkt, met ijzer aangerijkt bodemmateriaal. Mogelijk bevat stratigrafische eenheid 5003 eveneens (restanten van) verplaatste bodemhorizonten, wat een magnetometrisch signaal opwekt. De horizontale lenzen met verspoeld materiaal die aanwezig zijn in dit



niveau, kunnen daarvoor verantwoordelijk zijn. Opmerkelijk is tot slot dat stratigrafische eenheid 5009, de Bt-horizont, in de magnetometrische curve in het geheel niet te zien is, terwijl juist daar een sterk signaal zou worden verwacht. Hiervoor is voorlopig nog geen verklaring voorhanden, maar verdere analyse kan dit mogelijk ophelderen. Boring ARCA BH 1002 is gezet ter hoogte van boring 648 in boorraai Q-Q'. In deze boring is in 2010 een vuurstenen artefact (vondstnummer 348; zie ook paragraaf 4.2) opgeboord op een diepte tussen 3,50 en 3,55 m onder het maaiveld. De magnetometrische curve van boring ARCA BH 1002 (afb. 35) komt goed overeen met die van boring ARCA BH 1001, inclusief een korte terugval van het signaal op ongeveer 4 m onder het maaiveld. Op grond van de overeenkomsten tussen beide curves lijkt het voor de hand te liggen dat er een correlatie bestaat tussen de afzettingen op een diepte tussen 3,0 en 5,0 m onder het maaiveld in boring ARCA BH 1002 en de stratigrafische eenheden 5003 en 5005 in put 2. Dit impliceert echter ook dat artefact 348 afkomstig is uit een van deze stratigrafische niveaus en bijgevolg werd achtergelaten of afgezet ten tijde van het laat-paleolithicum. Deze correlatie is echter niet in lijn met de interpretatie die wordt vooropgesteld op basis van de boorgegevens (zie subparagraaf 4.1.1), die wel een toewijzing aan het midden-paleolithicum lijken te onderschrijven. Aangezien het artefact zelf geen diagnostische kenmerken heeft (zie ook paragraaf 4.2), is het niet mogelijk verdere uitspraken hierover te doen. Er is dan ook aanvullend (gravend) onderzoek nodig om tot een juiste correlatie van de magnetometrisch metingen van de verschillende boorkernen te komen.

#### Interpretatie

Het ogenschijnlijk vanzelfsprekende verband tussen de curve uit boring ARCA BH 1001 en profiel 101 is niet zonder problemen. Daar waar het magnetometrisch onderzoek wijst op de aanwezigheid van paleobodems ter hoogte van de tweede en derde piek in de curve (?paleosol 1 en 2), blijkt dit niet onmiddellijk uit de resultaten van de overige analysemethoden en de macroscopische profielobservaties. Mogelijk houdt de tweede piek verband met (*overprinting* door) holocene bodemvorming of andere, onbekende factoren. De derde piek heeft betrekking op de stratigrafische eenheden 5003 en 5005, die een sterk signaal afgeven, maar op grond van de micromorfologie-

sche analyse niet als paleobodem kunnen worden geclassificeerd (zie subparagraaf 4.1.4). Het magnetische signaal in deze lagen is te verklaren door de aanwezigheid van herwerkt bodemmateriaal dat de magnetometer doet uitslaan. De interglaciale bodem aan de basis van het profiel, stratigrafische eenheid 5009, levert helemaal geen piek op in de curve, hetgeen opmerkelijk is. Een verklaring hiervoor is op dit moment niet te geven.

De onderlinge correlatie van de magnetische susceptibiliteitsgegevens uit de boorkernen is zeker mogelijk, maar vraagt nog aanvullend onderzoek.

---

### 4.1.6 Luminescentiedateringen

---

#### Inleiding

Datering door middel van optisch gestimuleerde luminescentie (OSL-datering) bepaalt het moment van afzetting en begraving van sediment. De methode maakt gebruik van een klein lichtsignaal dat kwarts- of veldspaatkorrels kunnen uitzenden. Dit luminescentiesignaal wordt op nul gesteld (gebleekt) door zonlicht, en bouwt na afzetting en begraving van de korrels op doordat de korrels natuurlijke achtergrondstraling absorberen uit hun directe omgeving. Deze achtergrondstraling komt van het radioactieve verval van met name kalium 40, uranium en thorium, met een kleine bijdrage van kosmische straling. De methode is toepasbaar op sedimenten van enkele jaren oud tot ongeveer 150.000 jaar geleden (kwarts) of tot 500.000 jaar geleden (veldspaat). Met luminescentiemethoden kan de ouderdom met een relatieve nauwkeurigheid van maximaal 5% worden bepaald (1 sigma). Voor luminescentiedatering worden twee grootheden bepaald. Door metingen van het OSL-sig-naal op de kwartsfractie of het signaal van infrarood gestimuleerde luminescentie (IRSL) op de veldspaatfractie wordt bepaald hoeveel achtergrondstraling het monster heeft ontvangen sinds afzetting en begraving, ofwel sinds de laatste blootstelling aan zonlicht. Daarnaast wordt gemeten en berekend hoeveel achtergrondstraling de kwartskorrels per jaar hebben ontvangen in hun natuurlijke omgeving. Door de totale hoeveelheid ontvangen straling (paleodosis) te delen door de jaarlijkse dosis wordt de ouderdom verkregen:

$$\text{ouderdom (jaar)} = \text{paleodosis (Gy)} / \text{jaarlijkse dosis (mGy/jaar)}^{87}$$

---

<sup>87</sup> Meer informatie over de methode is te vinden in: Aitken 1998; Wallinga 2005; Wallinga, Davids & Dijkmans 2007; Wintle 2008.

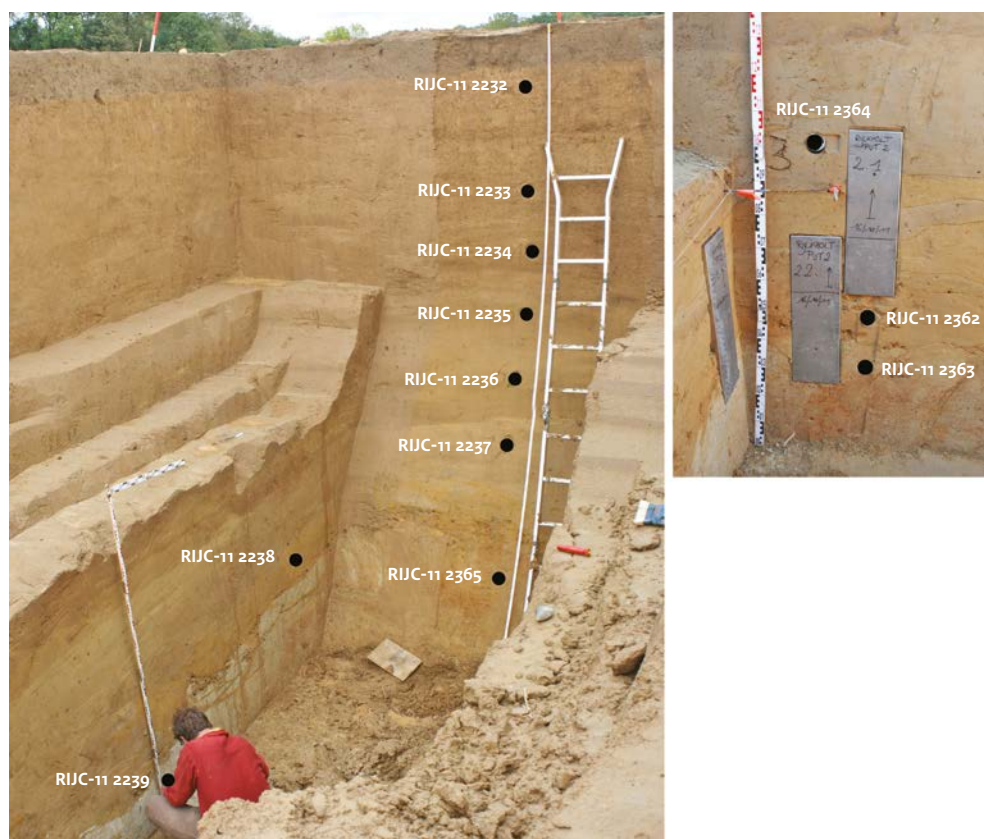
### Bemonstering

In het kader van het archeologische onderzoek op De Kaap werden elf monsters ingediend voor luminescentiedatering. Deze dateringen werden uitgevoerd door het Nederlands Centrum voor

Luminescentiedatering, Wageningen University & Research. Dit onderzoek was gericht op de ouderdomsbepaling van de stratigrafische niveaus van de midden-paleolithische vindplaats De Kaap.

**Tabel 12** Overzicht van de monsters voor datering voor luminescentiedatering uit put 2.

Monsternummer		Profiel	Diepte t.o.v. maaiveld (cm)	Hoogte (m NAP)	Verwachte leeftijd (BP)	Stratigrafische eenheid
RCE	NCL					
2232	NCL-9112005	101	48	120,52	20.000	5001
2233	NCL-9112006	101	115	119,85	20.000	5002
2234	NCL-9112007	101	158	119,42	20.000	5002,1
2235	NCL-9112008	101	200	119,00	20.000	5002,2
2236	NCL-9112009	101	235	118,65	20.000	5003
2237	NCL-9112010	101	286	118,14	20.000	5005
2362	NCL-9112231	104	324	117,76	20.000	5006
2238	NCL-9112011	104	331	117,69	20.000	5006
2363	NCL-9112232	104	343	117,57	120.000	5009
2365	NCL-9112233	101	376	117,24	120.000	5009
2239	NCL-9112230	104	392	117,08	120.000	5009



Afb. 36 Positie van de monsters voor luminescentiedatering in put 2.

Tabel 12 en afbeelding 36 geven een overzicht van alle monsters die in put 2 werden genomen voor luminescentiedatering. Al deze monsters hebben dezelfde lithologie (leem) en zijn op dezelfde manier verzameld (*coring*). Uit het geochemisch en micromorfologisch onderzoek (subparagraaf 4.1.4) is gebleken dat de afzettingen grotendeels bestaan uit herwerkte sedimenten van verschillende origine, met een bijmenging van eolisch materiaal. Van belang is verder dat een deel van het materiaal als aggregaat is verplaatst, waardoor lichtblootstelling van de kwarts- en veldspaatkorrels mogelijk beperkt is geweest.

### Methode

Voor luminescentiedatering gebruiken we bij voorkeur kwarts, omdat het kwarts-OSL-signaal stabiel is over geologische tijdschalen, en tijdens lichtblootstelling snel op nul komt te staan.<sup>88</sup> Het nadeel van het kwarts-OSL-signaal is echter dat het bij een relatief lage dosis verzadigt. Hierdoor is kwarts alleen geschikt voor de datering van relatief jonge afzettingen. Het betrouwbare dosisbereik voor kwarts-OSL-dateringen is beperkt tot tweemaal de  $D_0$ -waarde, waarbij de dosis  $D_0$  een parameter is die de vorm beschrijft van de exponentiële verzadigingscurve van het OSL-signaal als functie van de ontvangen stralingsdosis.<sup>89</sup> Kars, Busschers en Wallinga<sup>90</sup> hebben ditzelfde criterium gebruikt en hebben de verzadigingscurve uitgedrukt in een exponentiële plus lineaire functie. Voor de huidige studie is eerst gekeken naar kwarts-OSL-signalen. Voor monsters waarvoor de paleodosis groter was dan tweemaal de  $D_0$ -waarde, hebben we onze focus verlegd naar analyse van veldspaten. Het IRSL-signaal van veldspaten verzadigt bij een hogere dosis dan het OSL-signaal van kwarts, maar heeft als nadeel dat het niet stabiel is. Als gevolg van deze instabiliteit (*anomalous fading*) onderschatten veldspaat-IRSL-dateringen vaak de ouderdom van afzettingen. Hoewel correctie in principe mogelijk is, kan dit leiden tot onjuiste resultaten.<sup>91</sup> Voor dit onderzoek hebben we recent ontwikkelde post-IR-IRSL-methoden (pIRIR)<sup>92</sup> gebruikt; het signaal dat hiervoor wordt gebruikt, is vrijwel stabiel, en dateringen met deze methoden zijn betrouwbaar gebleken.<sup>93</sup> Voor bepaling van het dosistempo zijn met een gammaspectrometer de activiteitenconcentraties van kalium ( $^{40}\text{K}$ ) en verschillende nucliden uit de uranium- en thoriumreeksen (U en Th)

gemeten. Voor de veldspaatmonsters is ook de bijdrage van kalium in de korrels meegenomen. Deze gegevens zijn gecombineerd met informatie over de begravingstijd (in verband met de bijdrage van kosmische straling) en het watergehalte. Uiteindelijk is hieruit de jaarlijkse stralingsdosis berekend.

Op grond van voorlopige resultaten zijn we uitgegaan van een onmiddellijke begraving voor de monsters genomen in de bovenste drie meters van het profiel, en een geleidelijke begraving voor de diepere monsters. Op basis van gemeten watergehalten, is een watergehalte tussen 10 en 30 gewichtsprocent aangenomen. Er waren geen aanwijzingen voor disequilibrium in de uranium-vervalreeks. Resulterende waarden voor het dosistempo variëren tussen de 2,73 en 3,37 Gy per 1000 jaar voor kwarts en 3,29 en 3,45 Gy per 1000 jaar voor veldspaat, wat goed overeenkomt met andere monsters uit soortgelijke afzettingen. Voor bepaling van de paleodosis is voor alle monsters de kwartsfractie van 90-180  $\mu\text{m}$  geselecteerd door zeven en bewerking met chemicaliën (HCl,  $\text{H}_2\text{O}_2$  en HF), met uitzondering van NCL-9112010 (monster 2237): daar is de kwartsfractie 63-90  $\mu\text{m}$  bereid.

Op grond van een aantal tests zijn geschikte meetparameters gekozen voor gebruik in de SAR-procedure (bijlage I: tabel 1).<sup>94</sup> In de SAR-procedure wordt eerst het natuurlijke luminescentiesignaal van kwartskorrels gemeten, en vervolgens wordt bepaald welke stralingsdosis nodig is om een even sterk signaal op te wekken. Dit is de paleodosis, uitgedrukt in Gray (Gy). Voor de monsters NCL-9112005-9112010 wezen de tests uit dat de bereide fractie niet was verontreinigd met veldspaat en dus geschikt voor luminescentiedatering. Voor de monsters NCL-9112230-9112233 en monster NCL-9112011 wezen de tests uit dat ze in het verzadigd bereik van kwarts zaten (OSL-signaal  $> 2 \cdot D_0$ ) en dat deze verder met veldspaat moesten worden gemeten (bijlage I: afb. 1).

Het meest lichtgevoelige OSL-signaal van de kwartskorrels is geselecteerd met behulp van een *early background*-methode.<sup>95</sup> Voor een goede bepaling van de paleodosis is deze gemeten op een groot aantal submonsters ( $\geq 16$ ), elk bestaande uit ongeveer 100-200 korrels (2 mm doorsnede monster op een diskje). Uitzondering is monster NCL-9112010 (monster 2237), dat een kleinere korrelgrootte heeft, waardoor er gemiddeld 500 korrels op een diskje zaten.

<sup>88</sup> Wintle 2008.

<sup>89</sup> Wintle & Murray 2006.

<sup>90</sup> Kars, Busschers & Wallinga 2012.

<sup>91</sup> Zie bijvoorbeeld Kars, Busschers & Wallinga 2012.

<sup>92</sup> Thomsen *et al.* 2008.

<sup>93</sup> Buylaert *et al.* 2012; Kars, Busschers & Wallinga 2012.

<sup>94</sup> *Single aliquot regenerative dose protocol* (SAR-procedure); Murray & Wintle 2003.

Als test van de methode en de gebruikte meetparameters is met deze methode een in het laboratorium gegeven dosis gemeten; deze dosis kwam goed overeen met de gegeven dosis (ratio  $1,03 \pm 0,03$ ,  $n = 21$ ; bijlage I: afb. 1). Aanvullende informatie over monsterkarakterisering en paleodosisbepaling is te vinden in bijlage I (bijlage I: tabel 1; afb. 1 t/m 4).

De paleodoses van de submonsters vertoonden een spreiding die werd verwacht op grond van de meetnauwkeurigheid en ervaring met goed gebleekte afzettingen. Met behulp van het *Central Age Model* is voor elk monster een gewogen gemiddelde bepaald.<sup>96</sup> De resulterende paleodosiswaarde is gebruikt voor de ouderdomsberekening en is in de radiale plots in bijlage 1: afb. 7 aangegeven met een blauwe band.<sup>97</sup> De paleodosisverdeling van het bovenste monster (NCL-9112005; monster 2232) vertoonde een grote spreiding, mogelijk doordat er na afzetting en begraving menging is opgetreden door bioturbatie of verspoeling; hierdoor is de datering van dit monster niet betrouwbaar. Voor die monsters waarvan de paleodosis in het verzadigde bereik van kwarts lag, is de veldspaatfractie bereid. De bereide fractiegrootte is, met uitzondering van monster NCL-9112011 (monster 2238), 90-180  $\mu\text{m}$ . Voor monster NCL-9112011 is de fractiegrootte 63-90  $\mu\text{m}$ . Fracties zijn behandeld met HCl and  $\text{H}_2\text{O}_2$  en toen gescheiden met behulp van de zware vloeistof LST ( $\rho = 2,58 \text{ kg/dm}^3$ ) om de K-veldspaten te verkrijgen. De K-veldspaatpreparaten zijn vervolgens behandeld met 10% HF en HCl om de korrels licht te etsen en schoon te maken. Ook voor de veldspaatfractie is de SAR-procedure gebruikt om de paleodosis te bepalen. De veldspaat-SAR-procedure is oorspronkelijk ontwikkeld door Wallinga, Murray en Wintle;<sup>98</sup> de hier gebruikte pIRIR-SAR-methode (bijlage I: tabel 2) is gebaseerd op werk van Thomsen et al.<sup>99</sup> en Buylaert et al.<sup>100</sup>

De veldspaat-pIRIR-SAR-procedure is getest met een *dose-recovery*-test (bijlage I: afb. 5). Voor deze test zijn zes diskjes van elk monster gedurende vier uur gebleekt met de SOL2-zonnesimulator. Omdat het pIRIR-sigitaal hiermee niet volledig op nul kwam te staan, werd de resterende dosis bepaald op drie diskjes. De andere drie diskjes ontvingen een bètadosis in de Risoe-TL/OSL-reader. Deze dosis werd als onbekende dosis bepaald en gemeten alsof het een natuurlijke dosis betrof. Vervolgens werd de

gemiddelde dosis van de resterende monsters van het resultaat afgetrokken en werd het resultaat vergeleken met de gegeven dosis. De ratio van de twee was  $1,12 \pm 0,02$  ( $n = 12$ ; bijlage I: afb. 6); dit resultaat is acceptabel en geeft aan dat een gegeven bètadosis correct kan worden bepaald. Gezien de zeer tijdrovende meting voor deze oude monsters, is een beperkt aantal van zes disks per monster gemeten. Resultaten zijn geaccepteerd als zowel de *recycling* als *recuperation* lager uitviel dan 10%.

De meeste veldspaatmonsters gaven een zeer hoge paleodosis. De *dosis response curves* zijn uitgedrukt in een verzadigende exponentiële functie plus een lineaire component. Alleen paleodoses beneden de  $2 \cdot D_0$  (de dosis die het begin van de verzadiging aangeeft) gelden als betrouwbaar. Wanneer de gemiddelde paleodosis groter was dan deze waarde, is de  $2 \cdot D_0$ -waarde als minimale paleodosis genomen ter bepaling van een minimale ouderdom. De werkelijke paleodosis (en leeftijd) van deze monsters ligt mogelijk veel hoger. Slechts voor twee monsters kon een paleodosis worden bepaald. Voor NCL-9112011 (monster 2238) is dezelfde procedure gevolgd als voor de kwartsmonsters. Voor NCL-9112231 (monster 2362) is een ongewogen gemiddelde van de individuele uitkomsten gebruikt om de paleodosis te bepalen; dit om een systematische onderschatting als gevolg van afvlakking van de verzadigingscurve te voorkomen.

Voor elk van de monsters is de ouderdom berekend door de paleodosis te delen door de jaarlijkse dosis (tabel 13). De gegeven onzekerheid is het betrouwbaarheidsinterval bij 1 sigma (68%), waarbij alle systematische en toevallige onzekerheden in dosistempo en paleodosesbepalingen zijn doorberekend. Van elk monster zijn de resultaten ook weergegeven in een radiale plot (bijlage I: afb. 7), die de spreiding in leeftijd van de submonsters weergeeft. De betrouwbaarheidsindicatie in tabel 13 is gebaseerd op de spreiding in resultaten tussen de submonsters in combinatie met de luminescentie-eigenschappen van het materiaal.

## Resultaten

Luminescentiedateringen zijn verkregen door OSL- en pIRIR-metingen op de kwarts- en veldspaatfractie. Resultaten op de kwartsfractie geven aan dat de bovenste 2,5 tot 3 m van de onderzochte afzettingen (de stratigrafische

<sup>95</sup> Cunningham & Wallinga 2010.

<sup>96</sup> Galbraith et al. 1999.

<sup>97</sup> Galbraith 1990.

<sup>98</sup> Wallinga, Murray & Wintle 2000.

<sup>99</sup> Thomsen et al. 2008.

<sup>100</sup> Buylaert et al. 2012.



eenheden 5002, 5003 en 5005) is gevormd tussen 15.000 en 19.000 jaar geleden (weichselien). Deze resultaten zijn intern consistent, en lijken niet of nauwelijks te zijn beïnvloed door slechte lichtblootstelling als gevolg van lokaal transport van hellingmateriaal of transport als aggregaat. Het bovenste monster, dat werd genomen op een diepte van 0,5 m in stratigrafische eenheid 5001, geeft een jongere datering, maar waarschijnlijk is de afwijkende datering van dit een monster veroorzaakt door bioturbatie.

Rond 3 m onder het maaiveld bevindt zich een overgang naar veel ouder materiaal. De ouderdom van deze diepere afzettingen (stratigrafische eenheid 5009) kon niet nauwkeurig worden vastgesteld, maar resultaten op veldspaten geven aan dat deze waarschijnlijk ouder is dan 150.000 jaar geleden (saalien of ouder).

Rond de overgang tussen beide pakketten (ter hoogte van stratigrafische eenheid 5006, op ca. 3,3 m diepte) geven twee dateringen tussenliggende leeftijden:  $30.000 \pm 2.000$  jaar geleden (OSL) of  $49.000 \pm 5.000$  jaar geleden (pIRIR) en

$124.000 \pm 14.000$  jaar geleden (pIRIR)). Op basis van deze luminescentieresultaten alleen is niet betrouwbaar vast te stellen of er daadwerkelijk afzettingen zijn van deze leeftijd, of dat de resultaten het gevolg zijn van menging van de twee pakketten. Het micromorfologisch onderzoek (subparagraaf 4.1.4) duidt op cryoturbatie en/of colluviatie van deze afzettingen, en ook het verschil in datering tussen de kwarts- en veldspaatfractie van monster NCL-9112011 (monster 2238) kan duiden op geringe lichtblootstelling.

## 4.2 Archeologie

Tijdens het booronderzoek en het onderzoek van put 2 werd een beperkt aantal lithische artefacten aangetroffen.

Het fysisch-geografische onderzoek in 2010 leverde een vuurstenen artefact (vnr. 348) op in boring 648, op boorraai Q-Q'. Het betreft een distaal fragment van een afslag en is  $29 \times 22 \times$

**Tabel 13 Dateringsresultaten per monster.**

Monsternummer		Stratigrafische eenheid	Paleodosis (Gy)	Dosistempo (Gy/1000 jaar)	Ouderdom (jaar geleden)	Systematische fout	Toevallige fout	Betrouwbaarheid	Opmerkingen
RCE	NCL								
2232	NCL-9112005	5001	$21,3 \pm 3,1$	$2,73 \pm 0,18$	$7.800 \pm 1.300$	0,52	1,15	twijfelachtig	Vermoedelijk enige bioturbatie; CAM OD 66%
2233	NCL-9112006	5002	$51,4 \pm 2,2$	$3,05 \pm 0,17$	$16.800 \pm 1.200$	0,91	0,70	vermoedelijk goed	CAM OD 12%
2234	NCL-9112007	5002.1	$48,9 \pm 2,5$	$3,27 \pm 0,17$	$14.900 \pm 1.100$	0,78	0,76	vermoedelijk goed	CAM OD 17%
2235	NCL-9112008	5002.2	$51,4 \pm 2,3$	$2,98 \pm 0,16$	$17.300 \pm 1.200$	0,91	0,81	vermoedelijk goed	CAM OD 16%
2236	NCL-9112009	5003	$51,1 \pm 2,0$	$3,37 \pm 0,18$	$15.200 \pm 1.000$	0,82	0,62	vermoedelijk goed	CAM OD 12%
2237	NCL-9112010	5005	$55,3 \pm 2,2$	$2,99 \pm 0,17$	$18.500 \pm 1.300$	1,03	0,75	vermoedelijk goed	CAM OD 9%
2362	NCL-9112231-veldspaat	5006	$410 \pm 43$	$3,29 \pm 0,13$	$124.000 \pm 14.000$	4,9	12,99	vermoedelijk goed	Veldspaat, iteratie
2238	NCL-9112011	5006	$82 \pm 4$	$2,76 \pm 0,12$	$30.000 \pm 2.000$	1,31	1,50	vermoedelijk goed	CAM OD 17%
2238	NCL-9112011-veldspaat	5006	$165 \pm 17$	$3,37 \pm 0,14$	$49.000 \pm 5.000$	2,11	4,96	twijfelachtig	Veldspaat CAM OD 27%
2363	NCL-9112232-veldspaat	5009	verzadigd	$3,41 \pm 0,13$	$> 200.000$	8,13	7,11	minimumleeftijd	FS Minimumleeftijd gebaseerd op $2^*D$
2365	NCL-9112233-veldspaat	5009	verzadigd	$3,45 \pm 0,17$	$> 153.000$	7,66	2,95	minimumleeftijd	FS Minimumleeftijd gebaseerd op $2^*D$
2239	NCL-9112230-veldspaat	5009	verzadigd	$3,36 \pm 0,14$	$> 149.000$	6,42	2,89	minimumleeftijd	FS Minimumleeftijd gebaseerd op $2^*D$

3 mm groot. De dorsale zijde van het artefact is deels corticaal (< 25%) en vertoont drie negatieven. De cortex is sterk gerold. Het artefact werd vervaardigd in een lichtgrijze, niet nader determineerbare vuursteen en wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een glanspatina. Op basis van deze kenmerken is het niet mogelijk het artefact aan een specifieke periode toe te wijzen. De interpretatie van de stratigrafische positie van het artefact op basis van de magnetische susceptibiliteitscurves komt niet overeen met de interpretatie die is geformuleerd op basis van de boorgegevens (zie ook de subparagrafen 4.1.1 en 4.1.5), waardoor een toewijzing voorlopig problematisch is.

Tijdens de registratie van de stratigrafische sequentie werden in 2011 op een diepte van ongeveer 3,55 m onder het maaiveld in de zuidwestelijke hoek van put 2 drie lithische artefacten aangetroffen: een pseudo-Levalloisspits (vnr. 2343), een discoïde kern (vnr. 2331) en een getande afslag (vnr. 2334) (tabel 14; afb. 37-40). In typologisch en technologisch opzicht behoren deze artefacten duidelijk tot het midden-paleolithicum.

De pseudo-Levalloisspits is ongeveer 5 x 4,5 cm groot. Op het dorsale vlak zijn drie grote negatieven te zien, die convergente slagrichtingen vertonen. Een van deze negatieven heeft een *hingeterminatie*. Kenmerkend zijn de driehoekige vorm van het artefact, waarbij de morfologische as (bepaald door de distale tip) een hoek van ongeveer 45° vormt met de debitageas, en de asymmetrische driehoekige dwarsdoorsnede, die is ontstaan doordat een deel van de rand van de kern mee werd afgeslagen. Dit type artefact wordt in verband gebracht met het creëren, in stand houden en/of herstellen van de gepaste convexe vorm van het debitageoppervlak (afbouwvlak) van de kern. De pseudo-Levalloisspits uit put 2 is vervaardigd in grijsblauwe vuursteen en vertoont eveneens twee grote retouches op het distale deel van de rechterboord. Elders is een lichte beschadiging van de boorden waar te nemen.

De discoïde kern is vervaardigd in een gelijkaardige grijsblauwe vuursteen, meet ca. 11 x 8 cm en is 6 cm dik. De kern is gebroken. Op beide volumes vertoont de kern tien grote en een aantal kleinere negatieven, georganiseerd volgens een centripetaal patroon. Op een van beide volumes is een klein deel van de cortex nog aanwezig. Dit volume vertoont eveneens centraal een natuurlijk

(breuk)vlak. Negatieven van eerder verwijderde afslagen fungeerden meestal als slagvlak voor het verwijderen van nieuwe afslagen.

Zowel de discoïde kern als de pseudo-Levalloisspits oogt matig vers en vertoont een lichte glanspatina. Het derde artefact, de getande afslag, wijkt duidelijk hiervan af en wordt gekenmerkt door een sterke patineringslaag (afb. 39 en 40). Het betreft een semicorticale afslag van ongeveer 5,5 x 4 cm met getande retouches op de linker boord. Op het proximale deel van het dorsale vlak is een groot vorstvlak zichtbaar dat posterieur is aan de retouches.

De drie artefacten werden aangetroffen in horizontale positie ter hoogte van het onderste deel van de stratigrafische sequentie waar grindniveau 5007 de interglaciale bodem 5008-5009 trunkeert (afb. 17 en 37). De stratigrafische sequentie ter hoogte van de getande afslag is illustratief voor de rest van put 2: hier wordt niveau 5009 afgetopt door grindniveau 5007, waarboven zich vervolgens een kalkhoudende lössafzetting (5006) bevindt. De getande afslag werd aangetroffen in stratigrafische eenheid 5007.

Ter hoogte van de twee andere artefacten wijkt de sequentie enigszins af en bevindt zich een oranje lemige afzetting (5008) tussen de niveaus 5009 en 5007. Micromorfologisch onderzoek (subparagraaf 4.1.4) wijst echter uit dat de eenheden 5008-5009 als één sedimentaire en bodemkundige eenheid kunnen worden beschouwd, met als enige verschil dat niveau 5008 niet is beïnvloed door pseudogleyprocessen. De pseudo-Levalloisspits werd aangetroffen in deze oranje lemige afzetting (5008). De stratigrafische positie van de discoïde kern was daarentegen moeilijker te bepalen: deze werd aangetroffen tussen grinden, maar het was niet volledig duidelijk of deze onderdeel vormden van niveau 5008 dan wel van niveau 5007. Aangezien de conservering van deze kern bijna identiek is aan die van de pseudo-Levalloisspits, lijkt een toewijzing aan niveau 5008 het meest voor de hand te liggen. In dat geval zijn beide artefacten afkomstig uit de top van de Bt-horizont.

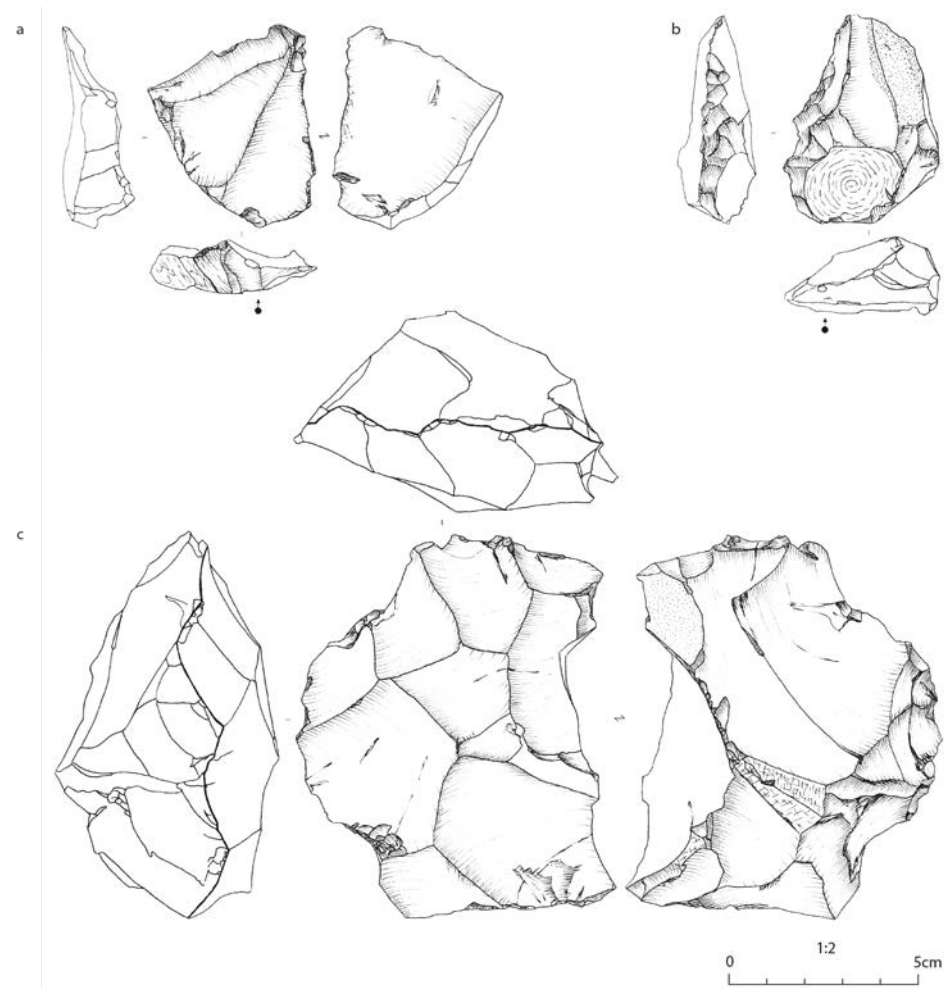
De verschillen in stratigrafische herkomst en bewaringstoestand wijzen op de aanwezigheid van ten minste twee verschillende vondstcontexten (namelijk de stratigrafische eenheden 5008 en 5007), waarbij de getande afslag (vnr. 2334) duidelijk meer is blootgesteld aan post-depositionele processen.

Tabel 14 Vondstnummer, coördinaten in het Rijksdriehoekstelsel, hoogte, positie en determinatie van de artefacten.

Vondstnummer	X (RD)	Y (RD)	Z (m NAP)	Stratigrafische eenheid	Determinatie
2334	180.064,88	311.135,96	117,45	5007	getand artefact
2331	180.064,64	311.135,31	117,47	5007/5008	discoïde kern
2343	180.065,00	311.134,89	117,45	5008	pseudo-Levalloisspits



Afb. 37 Locatie van de drie artefacten in put 2.



Afb. 38 Artefacten die werden aangetroffen in put 2: a: pseudo-Levalloisspits (vnr. 2343), b: getande afslag (vnr. 2334), c: discoïde kern (vnr. 2331) (tekening: G. Noens).



Afb. 39 Discoïde kern (vnr. 2331) (foto: G. Noens).



Afb. 40 Pseudo-Levalloisspits (vnr. 2343; links) en getande afslag (vnr. 2334; rechts) (foto: G. Noens).

Naast deze drie artefacten is ook een aantal mogelijke afslagen en afslagfragmenten aangetroffen. Ze vertonen telkens één of meer natuurlijke dorsale vlakken en beschikken niet over een duidelijk voorbereid restslagvlak. Daardoor en door de context waarin ze zijn aangetroffen (grindniveau 5007), kan niet met zekerheid worden vastgesteld of deze stenen door mensen zijn bewerkt. Ze blijven hier dan ook buiten beschouwing.

Na de ontdekking van het eerste artefact werd het sediment dat vervolgens in dit deel van de put werd opgegraven, nat gezeefd (vakken van 50 x 50 cm) over een zeef met een maaswijdte van 2 mm. Het zeefresidu werd gedroogd en gecontroleerd op de aanwezigheid van archeologische indicatoren. Dit leverde echter geen verdere artefacten op.



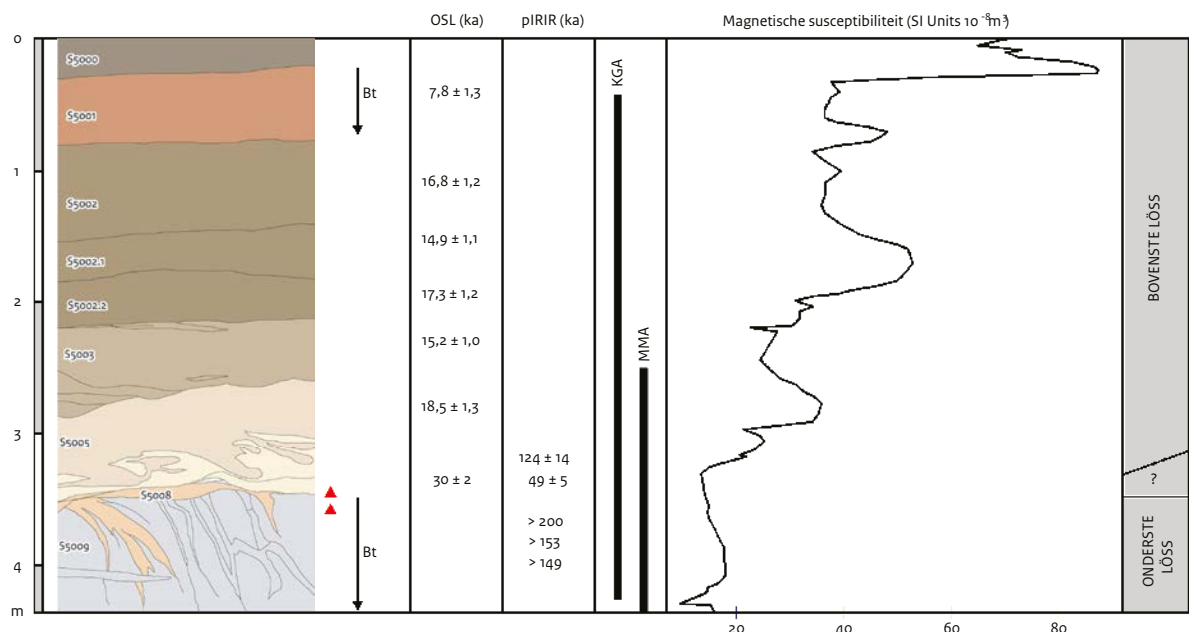
## 5 Discussie

### 5.1 Interpretatie van de stratigrafische sequentie

<sup>101</sup> Vreeken & Mûcher 1981; Mûcher & Vreeken 1981; Vreeken 1984; Haesaerts, Mestdagh & Bosquet 1999; Antoine *et al.* 2001; Schirmer 2002b; Meijs 2002, 2011; Uthmeier *et al.* 2011; Fischer *et al.* 2012; Meijs, Van Peer & De Warrimont 2012; Antoine *et al.* 2014.

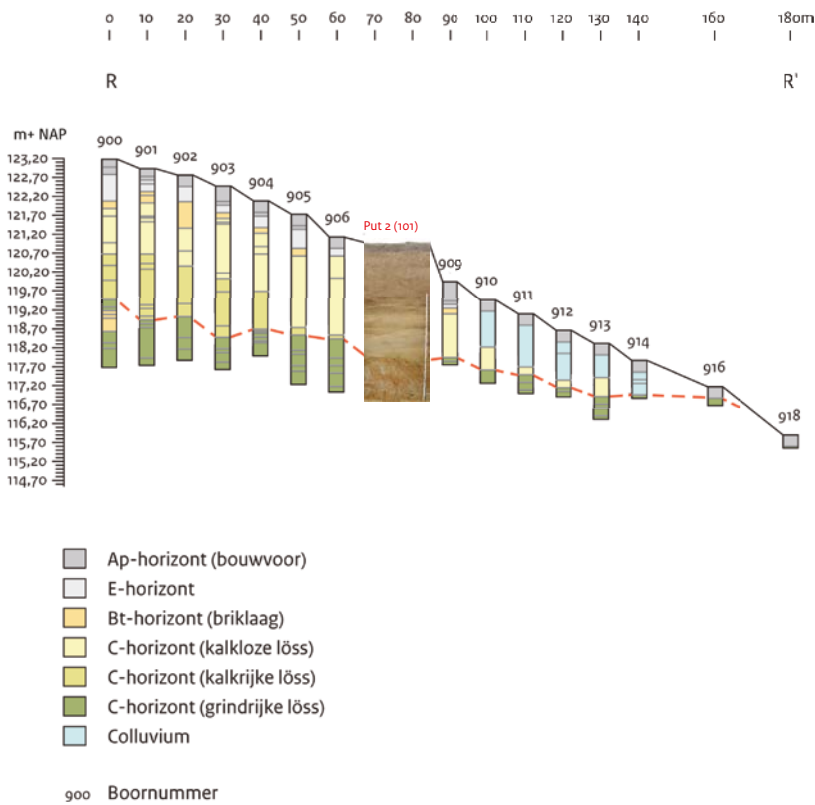
De resultaten van het onderzoek tonen aan dat de landschapsgenese van het onderzochte deel van De Kaap bijzonder complex is (afb. 41). Het sedimentologische onderzoek toont aan dat ter

hoogte van put 2 geen sprake is van puur eolische afzettingen (dat wil zeggen: van löss in de strikte zin van het woord): in alle onderzochte stratigrafische eenheden is sprake van vermenging en herafzetting van elders geërodeerd materiaal. Dit maakt dat een correlatie met andere in detail onderzochte sequenties in de Noordwest-Europese lössregio niet vanzelfsprekend is.<sup>101</sup>



- S5000 Donkerbruin lemig sediment, bevat fragmenten vuursteen, ondergrens is zeer duidelijk en bevindt zich op ca. 30 cm onder maaiveld.
  - S5001 Roodbruin, zeer lemig sediment, kleiige bijmenging; bevat verticale wormgangen (bioturbatie); niet-kalkhoudend; ondergrens diffuus en bevindt zich tot maximaal ca. 90 cm onder het maaiveld.
  - S5002 Bruingele lemige afzetting; zichtbare gelaagdheid in onderste 40-50 cm met gelige, iets zandigere afzettingen; bevat verticale wormgangen tot ca. 150-200 cm onder de bouwvoor (bioturbatie); niet-kalkhoudend; ondergrens tot op ca. 210 cm onder het maaiveld.
  - S5002.1 Lichtbruingrijze, zwak zandige leem, licht gelaagd, kalkrijk; Enkel als afzonderlijke stratigrafische eenheid geobserveerd op de noordelijke profielwand (vlak 101), op de andere profielwanden is deze eenheid ondergebracht in 5002.
  - S5002.2 Lichtbruingrijs, zwak zandige leem, lichtgeelgrijze loesslaagjes; Enkel als afzonderlijke stratigrafische eenheid geobserveerd op de noordelijke profielwand (vlak 101), op de andere profielwanden is deze eenheid ondergebracht in 5002.
  - S5003 Bruingele lössafzetting, bevat enkele horizontale lenzen met verspoeld materiaal; niet-kalkhoudend; ondergrens is duidelijk zichtbaar en bevindt zich op ca. 250 cm onder het maaiveld.
  - S5005 Grijsblauw lemig sediment; kleiaanrijking; kalkhoudend; onderaan sterk gecryoturbeerd; ondergrens zeer onregelmatig omwille van cryoturbatie op maximaal ca. 360 cm onder het maaiveld.
  - S5008 Ter hoogte van de overgang tussen 5006 en 5009 bevindt zich op sommige locaties - in het bijzonder op de zuidelijke profielwand - een oranje lemige afzetting; bevat gele lemige lenzen; bevat lokaal beperkt aantal grinden; niet-kalkhoudend; deze afzetting bevindt zich hier tussen ca. 330 en 350 cm onder het maaiveld.
  - S5009 Sediment met zeer kleiige textuur, ijzeraanrijking; wordt bovenaan getrunceerd door grindniveau 5007; kleur varieert van oranje tot grijsblauw in functie van oxidatie / reductie; niet-kalkhoudend; wordt doorkruist door twee generaties aan vorstswiggen: de eerste generatie vorstswiggen wordt gekenmerkt door een lichtbruine lemige opvulling en wordt bovenaan afgeknot door grindniveau 5007 (5009.1), de tweede generatie aan vorstswiggen vertoont eveneens een lichtbruine opvulling maar bevat ook grinden en vertrekt vanuit grindniveau 5007; bevat horizontaal lopende oranjebruine lemige verspoelingslaagjes (zgn. undercuttings); lokaal eveneens versneden door een tweede grindsnoer (mogelijk betreft het hier een ontubing van grindniveau 5007). De ondergrens van deze stratigrafische eenheid werd tijdens de machinale graafwerken niet bereikt in put 2. Een manuele boring uitgevoerd vanaf de basis van de put wijst echter wel uit dat deze eenheid nog minstens 3 m dieper doorloopt.
- ▲ Vondst

Afb. 41 Stratigrafische opbouw van put 2, met aanduiding van de positie van de artefacten en de Bt-horizonten, de resultaten van de luminescentie-dateringen (OSL op kwarts en pIRIR op veldspaat), een overzicht van de niveaus die zijn bemonsterd voor korrelgrootteanalyse (KGA), geochemische analyse en micromorfologie (MMA), correlatie met de magnetische susceptibiliteitscurve en toewijzing van de lösspakketten.

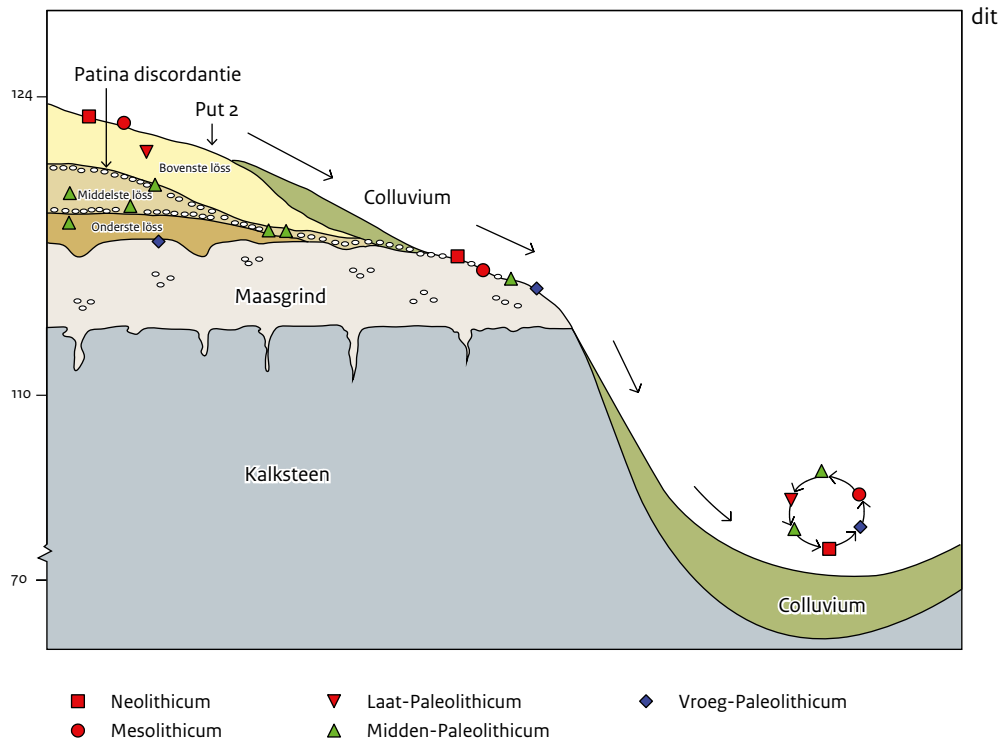


Afb. 42 Boorkolommen in het westelijke deel van raai R-R', met de bodemkundige interpretatie en correlatie met grindniveau (5007) uit profiel 101 in put 2 (in rood).

Het micromorfologische onderzoek wijst uit dat de stratigrafische eenheden 5008 en 5009 als één sedimentaire en bodemkundige eenheid kunnen worden beschouwd, met als enig verschil dat het onderste niveau (stratigrafische eenheid 5009) is beïnvloed door pseudogleyprocessen. Waarschijnlijk vonden deze pseudogleyprocessen elders plaats, voordat het bodemmateriaal ter hoogte van put 2 werd afgezet. De eenheden 5008 en 5009 maken deel uit van de onderkant van de Bt-horizont van een onthoofde bodem, ter plaatse gevormd op herwerkt materiaal tijdens een warmere periode. Het luminescentieonderzoek geeft een minimumleeftijd van > 149.000, > 153.000 en > 200.000 jaar voor de depositie van stratigrafische eenheid 5009. Hieruit volgt dat de bodemvorming die volgde op de afzetting van het sediment, plaatsvond in MIS 5 (~Rocourtpedocomplex), MIS 7 (~Heespedocomplex), of zelfs in MIS 9 (~Montenakenpedocomplex), MIS 11 (~Pottenbergpedocomplex) of MIS 13 (~Dousbergpedocomplex). De datering die is voorge-

steld voor de vorming van het Laagpakket van Sint-Geertruid (en die een *terminus post quem* vormt voor de ouderdom van de bovenliggende lössafzettingen), laat hier niet toe meer gedetailleerde uitspraken te doen omtrent de maximale ouderdom van de lössafzettingen. Uit de resultaten van het micromorfologische en sedimentologische onderzoek blijkt bovendien dat zeer voorzichtig met deze minimumleeftijden dient te worden omgegaan: Het feit dat in stratigrafisch eenheid 5009 de vermenging het meest uitgesproken is van de hele sequentie, en dat het sediment hier veelal in de vorm van aggregaten werd afgezet, maakt dat er mogelijk sprake is van een onvolledige bleking van de korrels. Daardoor zijn de verkregen minimumleeftijden in feite een overschatting van de werkelijke ouderdom. Aangezien de bodemvorming echter ten laatste uit MIS 5 dateert, kunnen de stratigrafische niveaus 5009-5008 met zekerheid worden toegewezen aan de Onderste Löss. Analyse van zware mineralen (zoals groene amfibool)<sup>102</sup> en (indien aanwezig) vulkanische

<sup>102</sup> Spagna et al. 2014.



Afb. 43 Naar aanleiding van het onderzoek herziene schematische dwarsdoorsnede van De Kaap met aanduiding van de oppervlaktevondsten die zijn toegewezen aan verschillende archeologische periodes, en de veronderstelde stratigrafische positie waaruit deze eroderen (herzien naar Felder & Felder 1998).

mineralen van de Rocourt Tefra<sup>103</sup> zou mogelijk meer duidelijkheid kunnen brengen over de precieze ouderdom van dit onderste niveau. Na vorming van deze bodem kwam het sediment onder druk te staan, vermoedelijk onder invloed van periglaciale omstandigheden. Dit is in lijn met de vastgestelde erosie van de top van de luvisol en de aanwezigheid van twee generaties vorstwiggen, en ook met de resultaten van het sedimentologische onderzoek. Micromorfologisch onderzoek wijst er eveneens op dat het stratigrafische contact tussen de eenheden 5009-5008 en 5007 een hiaat in de sedimentatie weerspiegelt, waarbij eenheid 5007 bestaat uit kalkhoudende löss, grof grind en verspoeld bodemmateriaal. In tegenstelling tot de onderliggende stratigrafische eenheden wordt het sediment vanaf hier (eenheid 5007) voornamelijk afgezet in de vorm van losse korrels en niet meer als aggregaten. Wanneer de hoogte van niveau 5007 in put 2 bovendien wordt gecorreleerd met dat van het grindniveau in de boringen, dan blijkt dat het waarschijnlijk

niveau is dat dagzoomt aan de randen van het plateau (afb. 42 en 43). Dit dagzomende grind, waarvan tot nu toe veelal werd aangenomen dat het grinden uit het Maasterras betrof, kan zodoende mogelijk worden gecorreleerd met grindniveau 5007 dat de onderliggende Bt-horizont in put 2 onthoofdt.

Boven dit grindsnoer bevinden zich de stratigrafische eenheden 5005 en 5006. In afwachting van de resultaten van het micromorfologische onderzoek werd tijdens het veldwerk op basis van (macroscopische) observaties een correlatie verondersteld tussen eenheid 5005 en de *Nagelbeek Tongued Horizon*. Hoewel het OSL-dateringsresultaat van  $18.500 \pm 1.300$  jaar geleden voor dit niveau aansluit bij de dateringsresultaten die de Nagelbeekhorizont elders opleverde, zijn de resultaten van het micromorfologische onderzoek niet in overeenstemming met de bodemkundige beschrijvingen van de Nagelbeekhorizont als gecryoturbeerde toendragley (*Gelic Gleysol*). De overeenkomsten met het micromorfologische onderzoek uitgevoerd op monsters

<sup>103</sup> Pouclet, Juvigné & Pirson 2008.

uit Veldwezelt-Hezerwater,<sup>104</sup> onderstrepen in elk geval het belang van nader onderzoek naar de genese van de *Nagelbeek Tongued Horizon*.

De aanwezigheid van vele kleine aggregaten van omgewerkte, met ijzer aangerijkte bodemlagen in stratigrafische eenheid 5005 verklaart waarom ter hoogte van dit niveau een piek zichtbaar is in de magnetische susceptibiliteitsmetingen. Het micromorfologische onderzoek toont daarnaast aan dat ook eenheid 5006 (naast eenheid 5005) is gevormd door sedimentatie van omgewerkt bodemmateriaal. De kleurverschillen in het veld en het feit dat eenheid 5005 meer kalk bevat dan eenheid 5006, vinden hun oorzaak waarschijnlijk in het feit dat de sedimenten uit verschillende bodemprofielen of -horizonten afkomstig zijn. Hiervoor zouden dus verschillende sedimentbronnen verantwoordelijk zijn. De resultaten van de luminescentiedatering voor eenheid 5006 lopen sterk uiteen, gaande van  $30.000 \pm 2.000$  tot  $124.000 \pm 14.000$  jaar geleden. Hierbij is het waarschijnlijk dat deze dateringen niet de werkelijke ouderdom van de afzetting weerspiegelen, maar het gevolg zijn van vermenging door cryoturbaratie of colluviatie. Aangezien het micromorfologische onderzoek het herwerkte karakter van eenheid 5006 bevestigt, lijkt de meest aannemelijke interpretatie voorlopig te zijn dat de dateringsresultaten een overschatting vormen van de werkelijke ouderdom. De combinatie van deze dateringen, het micromorfologisch aangetoonde herwerkte karakter van eenheid 5006, de macroscopische gelijkenis van eenheid 5005 met de *Nagelbeek Tongued Horizon*, met daarboven de homogene Bovenste Löss, wijst op een mogelijke correlatie van de eenheden 5006-5007 met het Patina Complex/Eben Zone. Als deze correlatie inderdaad correct is, betekent dit dat de grinden die dagzomen aan de randen van De Kaap onderdeel uitmaken van dit complex.

Het luminescentieonderzoek wijst uit dat de eenheden 5005 tot en met 5002 tussen 19.000 en 15.000 jaar geleden werden afgezet. In tegenstelling tot de eenheden 5005 tot en met 5002.2, die geen indicaties van bodemvorming vertonen, wijst het hoge kleigehalte van de eenheden 5002.1 en 5001 er waarschijnlijk op dat deze werden blootgesteld werden aan bodemvormingsprocessen tijdens het holoceen. Deze resultaten, gecombineerd met het karakteristieke uiterlijk van niveau 5005, impliceren dat de stratigrafische eenheden 5005 tot 5001 kunnen

worden toegewezen aan de Bovenste Löss.

Op basis van deze bevindingen is duidelijk dat in het lössprofiel van put 2 afzettingen behorende tot de zowel de Bovenste Löss (5001-5005) als de Onderste Löss (5008-5009) voorkomen (afb. 41). De interpretatie van de stratigrafische eenheden 5006-5007, gelegen tussen beide pakketten, is gezien de sterk uiteenlopende dateringsresultaten minder eenduidig. Als de hierboven voorgestelde toewijzing aan het Patina Complex correct is, betekent dit dat ook afzettingen behorende tot de Middelste Löss aanwezig zijn, zij het zeer onvolledig en/of sterk gecompriëerd.

---

## 5.2 Archeologische niveaus in put 2 en boring 648

---

De artefacten die tijdens het onderzoek in put 2 werden aangetroffen, zijn afkomstig uit de eenheden 5007 en 5008. Essentieel hierbij is de vraag of de artefacten zich in situ bevonden, dan wel zijn verplaatst onder invloed van erosie- en sedimentatieprocessen. In het eerste geval bestaat de mogelijkheid dat we te maken hebben met een potentieel goed bewaarde archeologische vindplaats, in het tweede geval gaat het om verplaatst/herwerkt materiaal dat zich in secundaire context bevindt.

Als we de stratigrafische eenheden waarin de artefacten zijn gevonden, in de tijd proberen te plaatsen conform de in paragraaf 4.1.4 voorgestelde sequentie (tabel 10), dan zouden de artefacten met de vondstnummers 2331 en 2343 (stratigrafische eenheid 5008) mogelijk tijdens fase 4 (zie tabel 10) op hun huidige locatie terechtgekomen zijn. In dat geval werden ze (verplaatst en) gedeponneerd tezamen met de aggregaten van bodemmateriaal en grinden, voorafgaand aan de vorming van de Bt-horizont in fase 5 (tabel 10). Als deze interpretatie correct is, weerspiegelen beide artefacten een fase van menselijke bewoning die voorafging aan de vorming van de Bt-horizont. Gezien de onzekerheid omtrent de datering van de Bt-horizont (zie paragraaf 5.1) staat alleen vast dat beide artefacten volgens dit scenario vermoedelijk ouder zijn dan MIS 5. Een alternatieve hypothese is dat beide artefacten tijdens of snel na de fase van bodemvorming (fase 5-6 in tabel 10) werden achtergelaten op een stabiel oppervlak (waarvan

---

<sup>104</sup> Vancampenhout et al. 2013.



in de huidige sequentie geen restanten bewaard gebleven zijn) en nadien onder invloed van post-depositionele processen een verticale verplaatsing ondergingen. In dat geval is de fase van menselijke aanwezigheid ongeveer even oud als de vorming van de Bt-horizont en dus ouder dan of gelijk aan MIS 5. Als de stratigrafische positie van het vuurstenen artefact met vondstnummer 348 die is vastgesteld op basis van de boorgegevens (zie subparagraaf 4.1.1) correct is, lijken beide interpretaties ook aannemelijk voor dit artefact. Maar als de correlatie op basis van de magnetische susceptibiliteitsdata de voorkeur heeft, is het artefact vermoedelijk pas achtergelaten tijdens het laat-paleolithicum (zie paragraaf 4.1.5).

Het artefact met vondstnummer 2334 heeft een afwijkende geschiedenis. Het is aangetroffen in associatie met stratigrafische eenheid 5007 die de Bt-horizont onderaan put 2 trunkteert. Vermoedelijk kwam het in zijn huidige positie terecht tijdens of onmiddellijk na de vorming van eenheid 5007 (fase 9-11). Aangezien eenheid 5007 bestaat uit materiaal dat elders erodeerde en vervolgens op deze locatie opnieuw werd afgezet, is de kans groot dat het artefact een gelijkaardige verplaatsing onderging – een observatie die in lijn is met de bewaringstoestand van het artefact. In elk geval kwam het in zijn huidige positie terecht na de vorming van de Bt-horizont. Als eenheid 5007 deel uitmaakt van het Patina Complex, kan het artefact echter ook veel recenter zijn opgenomen in de sequentie. In dat geval kwam het hier terecht gedurende de aanvang van het boven-pleniglaciaal, waarbij het vermoedelijk erodeerde uit oudere afzettingen. De afzetting van de stratigrafische eenheden 5006 en 5005 (met niveau 5005 gedateerd op  $18.500 \pm 1.300$  jaar geleden) vormt hierbij een *terminus ante quem*.

Hoewel conservering in situ van de aangetroffen archeologische vondsten niet volledig kan worden uitgesloten, is deze niet zo waarschijnlijk en is die uitsluitend mogelijk wanneer er een snelle afdekking van de artefacten heeft plaatsgevonden. In het geval van put 2 wordt dit echter tegengesproken door de bewaringstoestand van de vondsten (ook al is die variabel), de dominante vertegenwoordiging van erosie en hersedimentatie in de stratigrafische sequentie, en het ontbreken van stabiele (bodem)niveaus. Het is dan ook het meest waarschijnlijk dat de aangetroffen artefacten in zekere mate onder-

hevig zijn geweest aan erosie- en sedimentatieprocessen, en zich bijgevolg niet meer in situ bevonden.

Voor de midden-paleolithische artefacten die in het verleden aan de randen van het plateau werden aangetroffen, geldt mogelijk ook een van de drie hierboven geschetste scenario's, met als verschil dat zij niet of slechts in beperkte mate werden afgedekt door sedimenten. Duidelijke indicaties voor recente, grootschalige erosieprocessen werden tijdens het booronderzoek in 2008-2010 niet aangetroffen. Zoektochten naar intacte vindplaatsen zijn het meest kansrijk op locaties waar het landschap stabiel is gebleven (mogelijk verder landinwaarts op het plateau), en dus meer potentiële bodems en vindplaatsen bewaard kunnen zijn gebleven.

---

### 5.3 Waardering

---

De stenen artefacten die zijn aangetroffen tijdens het veldwerk in 2010 en 2011, en hun stratigrafische context zijn gewaardeerd conform de Kwaliteitsnorm Nederlandse Archeologie.<sup>105</sup>

Voor een dergelijke waardering is kennis over het midden-paleolithicum in Zuid-Limburg en omgeving onontbeerlijk. Het onderzoek naar de midden-paleolithische vindplaats De Kaap heeft daaraan in hoge mate bijgedragen. Het onderzoek van put 2 betrof evenwel slechts een zeer klein 'kijkgat' in het omvangrijke gebied van De Kaap. De zeggingskracht van de waardering is om deze reden beperkt.

---

#### 5.3.1 Fysieke kwaliteit

---

De fysieke kwaliteit van een vindplaats wordt bepaald door de mate waarin het archeologische vondstmateriaal bewaard is gebleven (conservering) en de mate van het niet-verstoord zijn en de stabiliteit van de fysieke omgeving (gaafheid).<sup>106</sup>

#### Conservering

Hoewel put 2 tijdens het onderzoek in 2011 slechts drie artefacten opleverde, zijn de oppervlaktekenmerken daarvan heel verschillend (lichte glanspatina versus sterk gepatineerd en gerold). De oppervlaktevondsten die tijdens

---

<sup>105</sup> SIKB 2011.

<sup>106</sup> SIKB 2011.

diverse veldprospecties aan de randen van het plateau werden gedaan, zijn in vele gevallen eveneens matig tot sterk gepatineerd en/of gerold.<sup>107</sup> Bij afwezigheid van diagnostische typologische en/of technologische kenmerken wordt de aanwezigheid van een uitgesproken patina vaak gebruikt als criterium om een oppervlaktevondst toe te wijzen aan het (midden-)paleolithicum – en niet aan het meso- of neolithicum. Hierbij lopen we echter in zekere mate het risico te belanden in een cirkelredenering. Midden-paleolithisch materiaal uit lösscontexten kan in sommige uitzonderlijke gevallen ook zeer goed bewaard zijn ('vers', dat wil zeggen met scherpe boorden en ribben, en zonder patina). Gesteld dat een dergelijke primaire context met vers materiaal wordt aangesneden, dan vormen de aan- of afwezigheid van een patina en het gerolde dan wel verse karakter *an sich* niet noodzakelijk betrouwbare criteria.

Zowel tijdens het onderzoek van put 2, als tijdens de jarenlange veldprospecties is uit het midden-paleolithicum uitsluitend lithisch materiaal verzameld. Andere materiaalcategorieën die met zekerheid aan deze periode kunnen worden toegewezen, werden vooralsnog niet aangetroffen. Gezien het onkalkte karakter van bepaalde stratigrafische niveaus, zijn de conserveringsomstandigheden van organische resten (zoals faunaresten) in deze niveaus slecht en is de kans op het aantreffen ervan klein.<sup>108</sup> In put 2 is de conservering dus matig.

### Gaafheid

De stratigrafische sequentie in put 2 is voornamelijk opgebouwd uit materiaal dat elders erodeerde en vervolgens opnieuw werd afgezet. Tijdens het onderzoek in put 2 werden dan ook geen goed bewaarde, snel afgedekte stabiele niveaus of oppervlaktes aangetroffen. De artefacten uit put 2 tonen echter aan dat de aanwezigheid van midden-paleolithische artefacten zich niet beperkt tot de randen van het plateau. Het lijkt daarom waarschijnlijk dat ook elders op het plateau artefacten in stratigrafische context voorkomen. Of deze zijn geassocieerd met stabiele niveaus of zich in herwerkte positie bevinden, is echter niet bekend. De complexe vormingsgeschiedenis van de sequentie, het feit dat maar een klein oppervlak is onderzocht, het lokale karakter van de ontsluiting en het beperkte aantal vondsten in put 2 maken bovendien dat de chronologische relatie tussen

het transport van het sediment en het moment van depositie van de artefacten bijzonder moeilijk is vast te stellen.

Duidelijk is echter wel dat de stratigrafische sequentie in put 2 belangrijke hiaten vertoont en dat bepaalde periodes slechts zeer beperkt vertegenwoordigd zijn in de lösssequentie. Dit lijkt het geval te zijn voor de Middelste Löss (MIS 4-3), die onvolledig en in gecomprimeerde vorm aanwezig is (zie paragraaf 5.1). Dat heeft belangrijke gevolgen voor het inschatten van de eventuele aanwezigheid van begraven, goed bewaarde midden-paleolithische vindplaatsen op dit deel van De Kaap. Als de toewijzing van (minstens een deel van) de oppervlaktevondsten aan het late midden-paleolithicum (MIS 5-3) correct is (zie paragraaf 2.1), is een belangrijk deel van de afzettingen waaruit deze artefacten afkomstig kunnen zijn, geërodeerd. Mogelijk is de sequentie verder op het plateau vollediger. Bij de bespreking van de fysieke kwaliteit is het echter van belang rekening te houden met wat we weten over het midden-paleolithicum en de conservering en gaafheid van Nederlandse vindplaatsen uit die tijd. Verpoorte *et al.* hebben hiervan recent een overzicht gegeven. Ze wijzen op de integriteits- en chronologieproblemen waarmee vele Nederlandse midden-paleolithische vindplaatsen te kampen hebben.<sup>109</sup> Deze problemen vallen grotendeels te verklaren vanuit het feit dat goed bewaarde vindplaatsen in stratigrafische context erg zeldzaam zijn in het Nederlandse archeologische bestand en dat de midden-paleolithische artefacten in Nederland voornamelijk worden verzameld uit secundaire contexten of afkomstig zijn uit de bouwvoor. De onderzoekers wijzen er terecht op dat de best bewaarde midden-paleolithische vindplaatsen beperkt zijn tot de lössregio in Zuid-Limburg en dat deze regio beschikt over de hoogste chronologische resolutie (en dus over het meeste potentieel) voor bestudering van de midden-paleolithische bewoning in Nederland.<sup>110</sup> Samengevat kan gesteld worden dat de gaafheid ter hoogte van put 2 matig is.

### 5.3.2 Inhoudelijke kwaliteit

De inhoudelijke kwaliteit van een archeologische vindplaats wordt bepaald door vier criteria: de mate waarin een bepaald type vindplaats

<sup>107</sup> Voor een overzicht van de verschillende patina-types die werden aangetroffen op een monster van 666 oppervlaktevondsten, zie Glauberman 2014, figuur 5.1.34.

<sup>108</sup> De vondst van een botfragment op de vindplaats Amstenrade Allée geeft echter aan dat conservering van botmateriaal niet uitgesloten is (Raczynski-Henk *et al.* in voorbereiding). Zie ook Bringmans 2006 voor meer informatie over de conservering van botmateriaal in Veldwezelt-Hezerwater.

<sup>109</sup> Verpoorte *et al.* 2016.

<sup>110</sup> Roebroeks 1988; De Loecker 2005; Van Baelen 2014.

schaars is (geworden) voor een periode of in een gebied (zeldzaamheid), zijn bijdrage aan de kennis over het verleden (informatiewaarde), de meerwaarde die wordt gecreëerd door de aanwezigheid van een ruimere archeologische en landschappelijke context (ensemblewaarde) en de mate waarin een bepaald type vindplaats karakteristiek is voor een periode, dan wel een gebied (representativiteit).<sup>111</sup>

### Zeldzaamheid

Het aantal vindplaatsen waar midden-paleolithische artefacten diep begraven, in een goed gedocumenteerde stratigrafische context zijn aangetroffen, is in het archeologische bestand van Nederland gering.<sup>112</sup> Hoewel de artefacten in put 2 zich vermoedelijk in een secundaire context bevinden, zijn ze bijzonder, doordat bekend is hoe het landschap is gevormd en doordat we de stenen artefacten in deze sequentie van formatieprocessen kunnen plaatsen.

In het Nederlands-Duits-Belgisch lössgebied is een aantal diep begraven midden-paleolithische vindplaatsen in leemgroeven onderzocht.<sup>113</sup> Daarnaast is ook een reeks midden-paleolithisch oppervlaktevindplaatsen in het zuiden van Nederlands Limburg en het aangrenzende deel van de Belgische Voerstreek bekend. Ze liggen veelal in een vergelijkbare landschappelijke positie als De Kaap. Van deze vindplaatsen is De Kaap de grootste en rijkste. Op geen van deze oppervlaktevindplaatsen werd de stratigrafische herkomst van de oppervlaktevondsten geëvalueerd op de manier waarop dat bij De Kaap is gebeurd, op Colmont-Ponderosa<sup>114</sup> en (in mindere mate) Mechelen<sup>115</sup> na.

Desalniettemin moet het aantal vindplaatsen in de lössafzettingen van Zuid-Limburg aanzienlijk zijn.<sup>116</sup> De trefkans voor het vinden van midden-paleolithische artefacten en vindplaatsen lijkt bovendien erg hoog te zijn. Niet alleen is tijdens het onderhavige onderzoek een mogelijk midden-paleolithisch artefact aangetroffen in een boring, ook werden midden-paleolithische artefacten gevonden in put 2, die uitsluitend was aangelegd ten behoeve van de profieldocumentatie. Recent stootten onderzoekers op vindplaats Amstenrade Allée; dat gebeurde eveneens tijdens een eerste steekproef ten behoeve van het opsporen van midden-paleolithische vindplaatsen in het tracé van de Buitenring Parkstad Limburg.<sup>117</sup> Uit het bovenstaande blijkt dat de zeldzaamheid hoog is.

### Informatiewaarde

Tijdens deze veldcampagnes zijn slechts enkele artefacten in stratigrafische context aangetroffen; bovendien is uit onderzoek van de profielen in put 2 gebleken dat we voornamelijk te maken hebben met herwerkte afzettingen. Toch blijft dit gebied bijzonder interessant voor de zoektocht naar goed bewaarde midden-paleolithische vindplaatsen in situ. De stratigrafische sequenties worden in de Zuid-Limburgse lössregio gekenmerkt door een opeenvolging van lössafzettingen en fases van bodemontwikkeling. Dat maakt het in het beste geval – waar sprake is van een intacte stratigrafische sequentie – mogelijk om met hoge resolutie fases van menselijke aanwezigheid te plaatsen tegenover variaties in klimaat en milieu. De resolutie van het dateringsonderzoek moet vervolgens een dergelijke correlatie toelaten.

De vindplaatsen hier leveren informatie op over de vroege prehistorie van Nederland, in het bijzonder over de midden-paleolithische bewoning van de Maasvallei en – op ruimere schaal – over de aanwezigheid van Neanderthalers in de meest noordelijke regionen van hun territorium. Een beter begrip van de precieze timing van de aanwezigheid (en afwezigheid) van deze Neanderthalerpopulaties leert ons hoe deze groepen omgingen met wijzigingen in klimaat en milieu. Voor meer informatie omtrent deze onderwerpen verwijzen we naar de onderzoeksthema's *Kolonisatie en vroegste bewoning van Nederland* (thema 1) en de *Relatie mens-milieu* (thema 3) van de Nationale Onderzoeksagenda Archeologie (NOaA).<sup>118</sup>

Uit het bovenstaande blijkt dat de informatiewaarde hoog is.

### Ensemblewaarde

De aanwezigheid van een bredere landschappelijke en archeologische context biedt de vondsten uit put 2 een belangrijke meerwaarde. De studie van de Maasterrassen en de lössafzettingen in Zuid-Limburg en omgeving dragen bij tot de constructie van een regionaal chronostratigrafisch kader.<sup>119</sup> Natuurwetenschappelijke analyses (micromorfologie, korrelgrootteanalyse) en dateringsonderzoek van lössequenties, zoals uitgevoerd in het kader van dit onderzoek, dragen niet alleen bij aan een betere kennis van deze lössafzettingen op lokale of regionale schaal. De resultaten van deze onderzoeken vormen ook de bouwstenen voor correlaties met

<sup>111</sup> SIKB 2013.

<sup>112</sup> Verpoorte *et al.* 2016.

<sup>113</sup> Roebroeks 1988; De Loecker 2005; Bringmans 2006; Van Baelen 2014.

<sup>114</sup> Langbroek, Verpoorte & Voormolen 2002; Verpoorte, Langbroek & Voormolen 2002.

<sup>115</sup> Janssens 1989.

<sup>116</sup> Raczynski-Henk 2014.

<sup>117</sup> Raczynski-Henk *et al.* in voorbereiding.

<sup>118</sup> Deeben *et al.* 2006.

<sup>119</sup> Meijs 2002; Meijs, Van Peer & De Warrimont 2012; Jongmans *et al.* 2013.

andere regionale chronostratigrafische kaders (opgesteld voor de lössregio's in België, Duitsland en Noord-Frankrijk) en zijn daarom bijzonder waardevol.

Bovendien is een beter begrip van midden-paleolithische vindplaatsen in de Limburgse lössregio alleen mogelijk als we beschikken over een beter inzicht in de formatieprocessen, de stratigrafische herkomst en de ouderdom van de vondsten op de vele oppervlaktevindplaatsen en de link met klimaat en milieu. Dit maakt het mogelijk gedetailleerdere intersiteanalyses te maken, gericht op bijvoorbeeld de ruimtelijke organisatie van activiteiten in het landschap. Dat betreft onder andere de vergelijking tussen plateau- en valleicontexten. Meer informatie is te vinden bij het thema *Landgebruik en nederzettingssystemen* (thema 2) van de Nationale Onderzoeksagenda Archeologie (NOaA).<sup>120</sup>

Uit het bovenstaande blijkt dat de ensemblewaarde hoog is.

### Representativiteit

Zoals gezegd in de paragraaf 'Zeldzaamheid', omvat de Limburgse lössregio in het gebied rond De Kaap talrijke midden-paleolithische oppervlaktevindplaatsen, landschappelijk veelal gelijkaardig gesitueerd. Deze vindplaatsen zijn echter kleiner van omvang en minder rijk aan oppervlaktevondsten dan De Kaap. Naast deze oppervlaktevindplaatsen zijn in Zuid-Limburg ook goed bewaarde, afgedekte vindplaatsen bekend, in het bijzonder in Maastricht-Belvédère, die gedetailleerde informatie verschaffen over lithische technologie en ruimtelijke organisatie in het vroege midden-paleolithicum.<sup>121</sup>

Uit het bovenstaande blijkt dat de representativiteit hoog is.

### 5.3.3 Conclusie

Op basis van bovenstaande elementen is de inhoudelijke kwaliteit van de vindplaats beoordeeld als hoog, ook al is de fysieke kwaliteit matig (tabel 15). Gezien het beperkte aantal bekende Nederlandse midden-paleolithische vindplaatsen met informatie over de stratigrafische positie van de artefacten, is dit onderzoek van groot belang. Daarbij gaat het niet alleen om de inhoudelijke resultaten, maar ook om de methodologische invalshoek. Die weerspiegelt ontwikkelingen die het onderzoek naar vindplaatsen uit de vroege steentijd in Nederland een belangrijke nieuwe impuls kunnen geven, in het bijzonder binnen het kader van de archeologische monumentenzorg. Deze studie benadrukt nogmaals het potentieel van de Zuid-Limburgse lössregio voor het onderzoek naar het midden-paleolithicum in Nederland en wijst ook op het belang van een interdisciplinaire aanpak. Op ruimere schaal draagt het natuurwetenschappelijke en dateringsonderzoek van De Kaap eveneens bij tot het verbeteren van het regionale chronostratigrafische kader en de correlatie met naburige regio's.

Voor een beter begrip van de stratigrafische positionering van de midden-paleolithische oppervlaktevondsten aan de randen van De Kaap en eventuele beter bewaarde, afgedekte vindplaatsen elders op de Kaap is echter aanvullend onderzoek vereist.

**Tabel 15 KNA-criteria gebruikt voor de waardering van archeologische vindplaatsen, toegepast op de aangetroffen artefacten in put 2 en hun stratigrafische context.**

Waarden	Criteria	Scores		
		hoog (3)	midden (2)	laag (1)
Beleving	schoonheid			x
	herinneringswaarde			x
Fysieke kwaliteit	gaafheid		x	
	conservering		x	
Inhoudelijke kwaliteit	zeldzaamheid	x		
	informatiewaarde	x		
	ensemblewaarde	x		
	representativiteit	x		

<sup>120</sup> Deeben et al. 2006.

<sup>121</sup> Roebroeks 1988; De Loecker 2005.



## 6 Conclusies en aanbevelingen

In het kader van het inventariserend onderzoek naar de omgeving van de vuursteenmijnen te Rijckholt werd een deelproject opgezet dat was toegespitst op de midden-paleolithische bewoning van Sint-Geertruid-De Kaap, een locatie die aan de neolithische vuursteenmijnen grenst. Uitgebreide veldkarteringen op dit plateau en langs de plateauranden in het bijzonder leverden in het verleden talrijke midden-paleolithische artefacten op. Informatie over de stratigrafische herkomst en datering van de vondsten was echter niet voorhanden (tenzij op basis van typologische en technologische criteria). Het onderzoek beoogde dan ook een beter inzicht te geven in de landschapsgenese ter plaatse en de potentie van de lösslagen voor de aanwezigheid van goed bewaarde midden-paleolithische vindplaatsen.

De stratigrafische sequentie in put 2 bestaat uit een opeenvolging van lemige afzettingen, met onderaan de Bt-horizont van een luvisol (5008-5009) die is afgetopt door een grindniveau (5007). In deze Bt-horizont zijn twee generaties vorstwiggen zichtbaar: de eerste generatie vorstwiggen wordt eveneens afgesneden door de grindlaag, terwijl de tweede generatie vanuit deze grindlaag vertrekt. Tijdens het uitgevoerde onderzoek werden geen goed bewaarde, snel afgedekte stabiele niveaus of oppervlaktes aangetroffen en werd aangetoond dat alle stratigrafische eenheden in put 2 bestaan uit herwerkt materiaal. Het betreft hier dus geen löss in de strikte zin van het woord (dat wil zeggen door de wind afgezet materiaal). Het dateringsonderzoek geeft aan dat de bovenste niveaus (5005-5002) zijn afgezet tussen 19.000 en 15.000 jaar geleden, terwijl voor het sediment waarin de Bt-horizont (5009-5008) werd gevormd onderaan de sequentie een ouderdom is bepaald van > 150.000 jaar. Gezien het herwerkte karakter van de afzettingen is dit een minimumleeftijd en is toewijzing aan MIS 5 bijgevolg niet uit te sluiten. Tijdens het veldwerk werden vier artefacten aangetroffen op ongeveer 3,50-3,55 m onder het maaiveld: drie hiervan zijn afkomstig uit put 2 (stratigrafische niveaus 5007 en 5008) en één uit boring 648 (boorraai Q-Q'). Gezien de complexe formatieprocessen is moeilijk te achterhalen wanneer de afzettingen zijn herwerkt en de artefacten zijn gedeponeerd. De menselijke aanwezigheid die blijkt uit twee artefacten die zijn aangetroffen in de top van de Bt-horizont (5008) in put 2, kan vooraf zijn gegaan aan de bodemvor-

ming (> MIS 5), maar het is ook mogelijk dat hij samenviel met deze bodemvorming of onmiddellijk daarop volgde ( $\geq$  MIS 5). Het derde artefact uit put 2 bevindt zich duidelijk in herwerkte positie en kwam in zijn huidige positie terecht na de vorming van de Bt-horizont en vóór de afzetting van de niveaus 5006 en 5005, waarbij niveau 5005 is gedateerd is op  $18.500 \pm 1.300$  jaar geleden.

Het herwerkte karakter van de afzettingen en de afwezigheid van goed bewaarde, snel afgedekte stabiele niveaus of oppervlaktes in put 2 maken het onwaarschijnlijk dat ter hoogte van put 2 of in de onmiddellijke omgeving hiervan goed bewaarde midden-paleolithische vindplaatsen in de ondergrond bewaard gebleven zijn. Het valt echter niet uit te sluiten dat dergelijke niveaus elders op het plateau nog wel aanwezig zijn. Omdat de aangetroffen artefacten vermoedelijk niet in primaire context zijn aangetroffen en de onderzochte oppervlakte maar klein is, is het onmogelijk theorieën te formuleren over het gebruik van de locatie in het verleden. Desalniettemin zijn de artefacten uit put 2 erg waardevol: het aantal midden-paleolithische vindplaatsen in Nederland waar artefacten zijn aangetroffen in een stratigrafische context, is immers beperkt. Dit onderzoek wijst dan ook op het belang van meer onderzoek gericht op het bepalen van de stratigrafische herkomst van midden-paleolithische oppervlaktevondsten in de Zuid-Limburgse lössregio. Doel is zo te komen tot een betere correlatie tussen stratigrafische sequenties uit de lössregio's in Nederland, België, Duitsland en Noord-Frankrijk en een beter inzicht te krijgen in de aanwezigheid van Neanderthalers in de Maasvallei.

Om nader inzicht te krijgen in de stratigrafische positie van de oppervlaktevondsten aan de rand van De Kaap is het aan te bevelen om zowel aan de plateaurand als meer landinwaarts op het plateau een put te graven. Een eerste put zou bij voorkeur kunnen worden aangelegd ter hoogte van boring 916 (afb. 10, 12 en 40). Hierbij zou de focus moeten liggen op het beantwoorden van de vraag of het hier Maasterrasafzettingen betreft, dan wel Onderste Löss of colluviale afzettingen. Een tweede put, bijvoorbeeld ter hoogte van boring 903 of meer naar het oosten (afb. 10, 12 en 40), zou beter inzicht kunnen verschaffen in de positionering van de vondsten in een lössstratigrafie en dan met name ten opzichte van de Middelste Löss. Hierbij zou de focus moeten liggen op de genese van de Patina Discordantie en het plaatsen hiervan in de tijd.

- Aitken, M.J.**, 1998: *An introduction to optical dating*, London.
- Antoine, P., E. Goval, G. Jamet, S. Coutard, O. Moine, D. Hérisson, P. Auguste, G. Guérin, F. Lagroix, E. Schmidt, V. Robert, D. Debenham, S. Meszner & J.-J. Bahain** 2014: Les séquences loessiques Pléistocène supérieur d'Havrincourt (Pas-de-Calais, France): stratigraphie, paléoenvironnements, géochronologie et occupations paléolithiques, *Quaternaire* 25 (4), 321-368.
- Antoine, P., D-D. Rousseau, J.-P. Degeai, O. Moine, F. Lagroix, S. Kreutzer, M. Fuchs, C. Hatté, C. Gauthier, J. Svoboda & L. Lisá** 2013: High-resolution record of the environmental response to climatic variations during the Last Interglacial-Glacial cycle in Central Europe: the loess-palaeosol sequence of Dolní Věstonice (Czech Republic), *Quaternary Science Reviews* 67, 17-38.
- Antoine, P., D-D. Rousseau, O. Moine, S. Kunesch, C. Hatté, A. Lang, H. Tissoux & L.-L. Zöller** 2009: Rapid and cyclic aeolian deposition during the Last Glacial in European loess: a high-resolution record from Nussloch, Germany, *Quaternary Science Reviews* 28, 2955-2973.
- Antoine, P., D.-D. Rousseau, L. Zöller, A. Lang, A.-V. Munat, C. Hatté & M. Fontugne** 2001: High-resolution record of the Last Interglacial-Glacial cycle in the Nussloch loess-palaeosol sequences, Upper Rhine Area, Germany, *Quaternary International* 76-77, 211-229.
- Baelen, A. Van**, 2014: *Kesselt-Op de Schans (Limburg, Belgium) and the Lower/Middle Palaeolithic transition in Northwestern Europe*, Katholieke Universiteit Leuven (niet-gepubliceerd proefschrift).
- Baelen, A. Van, P. Glauberman & Y. Raczynski-Henk** 2011: *Plan van aanpak: archeologisch onderzoek omgeving vuursteenmijnte Rijckholt*, s.l.
- Baelen, A. Van, Y. Raczynski-Henk, P. Glauberman, G. Noens, J.W. de Kort & J. Deeben** 2012: Recent investigations at the Middle Palaeolithic site of St. Geertruid-De Kaap (Limburg, NL), *Notae Praehistoricae* 32, 29-36.
- Balen, R.T. Van, R.F. Houtgast, F.M. Van der Wateren, J. Vandenberghe & P.W. Bogaart** 2000: Sediment budget and tectonic evolution of the Meuse catchment in the Ardennes and the Roer valley rift system, *Global and Planetary Change* 27, 113-129.
- Berendsen, H.A.J.**, 2005: *Fysisch-geografisch onderzoek: thema's en methoden*, Assen (Fysische geografie van Nederland).
- Berg, M.W. van den**, 1996: *Fluvial sequences of the Maas: a 10 ma record of neotectonics and climatic change at various time-scales*, Wageningen Landbouw-universiteit (niet-gepubliceerd proefschrift).
- Berg, M.W. van den, & T. van Hoof** 2001: The Maas sequence at Maastricht, SE Netherlands: evidence for 200 ma of Late Neogene and Quaternary surface uplift, in: D. Maddy, M.G. Macklin & J.C. Woodward (eds.), *River basin sediment systems: archives of environmental change*, Lisse, 45-86.
- BGR & SGD** 2012: *Bodemübersichtskarte 1: 200 000 (BÜK200) - CC 5502 Köln*, Hannover.
- Bloemers, J.H.F.**, 1973: Archeologische kroniek van Limburg over de jaren 1971-1972, *Publications de la Société Historique et Archéologique dans le Limbourg* 109, 9.
- Bordes, F.**, 1984: *Le Paléolithique en Europe: leçons sur le Paléolithique tome 2*, Paris (Cahiers du Quaternaire 7).
- Bosch, P. W., & W. M. Felder (eds.)** 2000: *Geologie van Zuid-Limburg en omgeving (CD-ROM, versie 1.1)*, Den Haag.
- Bringmans, P.M.M.A.**, 2006: *Multiple Middle Palaeolithic occupations in a loess-soil sequence at Veldwezelt-Hezerwater, Limburg, Belgium*, Katholieke Universiteit Leuven (niet-gepubliceerd proefschrift).
- Broek, J.M.M. van den**, 1966: *De bodem van Limburg: toelichting bij blad 9 van de Bodemkaart van Nederland schaal 1:200.000*, Wageningen.
- Buylaert, J.-P., M. Jain, A.S. Murray, K.J. Thomsen, C. Thiel & R. Sohbati** 2012: A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments, *Boreas* 41 (3), 435-451.
- Cliquet, D.**, 2001: *Les industries à outils bifaciaux du Paléolithique moyen d'Europe Occidentale*, Luik (Études et Recherches

Archéologiques de l'Université de Liège 98).

**Cunningham, A.C., & J. Wallinga** 2010: Selection of integration time-intervals for quartz OSL decay curves, *Quaternary Geochronology* 5, 657-666.

**Dalan, R.**, 2014: Magnetic susceptibility of soils and sediments in environmental archaeology, in: C. Smith (ed.) *Encyclopedia of global archaeology*, New York, 4595-4598.

**Deeben, J., M.E.T. de Grooth, J.W. de Kort, R.C.G.M. Lauwrier & M.E. ter Schegget** 2011: *Archeologische onderzoek in de omgeving van het prehistorische vuursteenmijnveld te Rijckholt-St. Geertruid: de resultaten van 2008 en 2009*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 202).

**Deeben, J., & J.W. de Kort (red.)** 2013: *Archeologisch onderzoek in de omgeving van het prehistorische vuursteenmijnveld te Rijckholt-St. Geertruid: de resultaten van 2010*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 218).

**Deeben, J., & J.W. de Kort** in voorbereiding: *Archeologisch onderzoek in de omgeving van het prehistorische vuursteenmijnveld te Rijckholt-St. Geertruid: de resultaten van 2011, 2012 en 2013*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg).

**Deeben, J., H. Peeters, D. Raemaekers, E. Rensink & L. Verhart** 2006: *De vroege prehistorie, NOaA hoofdstuk 11 (versie 1.0)*, Amersfoort.

**Felder, P.J., P.C.M. Rademakers & M.E.T. de Grooth (eds.)** 1998: *Excavations of prehistoric flint mines at Rijckholt-St. Geertruid (Limburg, The Netherlands)*, Bonn (Archäologische Berichte 12).

**Felder, W.M.**, 1972: Nieuwe vondsten van palaeolithische artefacten in Zuid-Limburg, *Jaaroverzicht Archeologische Werkgemeenschap Limburg 1971-1972*, 16-29.

**Felder, W.M., P.W. Bosch & J.H. Bisschops** 1989: *Geologische kaart van Zuid-Limburg en omgeving: afzettingen van de Maas (Schaal 1:50.000)*, Haarlem.

**Felder, W.M., & P.J. Felder** 1998: Geologie van de omgeving van het prehistorische mijnveld te Rijckholt-St. Geertruid, in: P.C.M. Rademakers (red.), *De prehistorische vuursteenmijn van Rijckholt-St. Geertruid*, Maastricht, 111-136.

**Fischer, P., A. Hilgers, J. Protze, H. Kels, F. Lehmkühl & R. Gerlach** 2012: Formation and geochronology of Last Interglacial to Lower Weichselian loess/palaeosol sequences: case studies from the Lower Rhine Embayment, Germany, *E&G Quaternary Science Journal* 61 (1), 48-63.

**Galbraith, R.F.**, 1990: The radial plot: graphical assessment of spread in ages, *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* 17, 207-214.

**Galbraith, R.F., R.G. Roberts, G.M. Laslett, H. Yoshida & J.M. Olley** 1999: Optical dating of single grains of quartz from Jinmium rock shelter, northern Australia: part I: experimental design and statistical models, *Archaeometry* 41, 339-364.

**Glaubergerman, P.**, 2014: *Middle Palaeolithic regional land-use & behavior in Dutch and Belgian Limburg: integrating data from upland open-air sites*, University of Connecticut (niet-gepubliceerde PhD thesis).

**Glaubergerman, P.**, 2016: Middle Palaeolithic land use in Dutch and Belgian Limburg: integrating data from surface sites, *Quaternary International* 411, 198-215.

**Groenendijk, A.J., & J.P. de Warrimont** 1995: Middenpaleolithische oppervlaktevindplaatsen in de Voerstreek, *Archeologie in Limburg* 65, 33-45.

**Gullentops, F.**, 1954: *Contributions à la chronologie du pléistocène et des formes du relief en Belgique*, Leuven, 125-166.

**Gullentops, F., F. Bogemans, G. De Moor & E. Paulissen** 2001: Quaternary lithostratigraphic units (Belgium), *Geological Belgica* 4 (1-2), 153-164.

**Gullentops, F., & E. Meijs** 2002: Loess sequences in Northern Haspengouw, Belgian Limburg: loess units and sol-complexes in the Niederrhein and Maas area, in: A. Ikingier & W. Schirmer (eds.), *Loess units and solcomplexes in the Niederrhein and Maas area*, Berlin (Terra Nostra 2002), 80-91.

**Haesaerts, P., E. Juvigné, O. Kuyl, H. Mucher & W. Roebroeks** 1981: Compte rendu de l'excursion du 13 juin 1981, en Hesbaya et au Limbourg néerlandais, consacrée à la chronostratigraphie des loess du Pléistocène supérieur, *Annales de la Société Géologique de Belgique* 104, 223-240.

- Haesaerts, P., H. Mestdagh & D. Bosquet** 1997: La séquence loessique de Remicourt (Hesbaye, Belgique), *Notae Praehistoricae* 17, 45-52.
- Haesaerts, P., H. Mestdagh & D. Bosquet** 1999: The sequence of Remicourt (Hesbaye, Belgium): new insights on the pedo- and chronostratigraphy of the Rocourt soil, *Geologica Belgica* 2 (1-2), 5-27.
- Haesaerts, P., S. Pirson & E. Meijs** 2011: Revised lithostratigraphy of the aeolian loess deposits: addendum to Gullentops F., F. Bogemans, G. De Moor, E. Paulissen & A. Pissart 2001: Quaternary lithostratigraphic units (Belgium), *Geologica Belgica* 4, 153-164.
- Haesaerts, P., & B. Van Vliet-Lanoë** 1981: Phénomènes péri-glaciaires et sols fossiles observés à Maisières-Canal à Harmignies et à Rocourt, *Biuletyn Peryglacjalny* 28, 291-325.
- Hamal-Nandrin, J., & J. Servais** 1923: La station néolithique de Sainte-Gertrude (Limbourg hollandais): notes techniques par M. Lohest, P. Fourmarier, C. Fraipont, E. Stockis & H. Davin, *Revue anthropologique (A33)* XXXIII, 345-492.
- Henk, Y.**, 2006: *Scratching the surface: the potential of Middle Palaeolithic surface scatters and how (not) to find them: a case study of the Hej and the Henkeput near Sint-Geertruid (Limburg)*, Unversiteit Leiden (niet-gepubliceerde masterscriptie).
- Houtgast, R.F., R.T. Van Balen, L.M. Bouwer, G.B.M. Brand & J.M. Brijker** 2002: Late Quaternary activity of the Feldbiss Fault Zone, Roer Valley Rift System, The Netherlands, based on displaced fluvial terrace fragments, *Tectonophysics* 352, 295-315.
- Janssens, H.J.**, 1989: De midden paleolithische site te Mechelen, *Archeologie in Limburg* 42, 243-248.
- Jöris, O.**, 2004: Zur chronostratigraphischen Stellung der spätmittelpaläolithischen Keilmessergruppen: der Versuch einer kulturgeographischen Abgrenzung einer mittelpaläolithischen Formengruppe in ihrem europäischen Kontext, *Römisch-Germanischen Kommission* 84, 51-153.
- Jongmans, A.G., M.W. van den Berg, M.P.W. Sonneveld, G.J.W.C. Peek, M.W. van den Berg & R.M. van Saporoea** 2013: *Landschappen van Nederland: geologie, bodem en landgebruik*, Wageningen.
- Kars, R.H., F.S. Busschers & J. Wallinga** 2012: Validating post-IR IRSL dating on K-feldspars through comparison with independent age constraints, *Quaternary Geochronology* 12, 74-86.
- Kemp, R.A.**, 1999: Micromorphology of loess-paleosol sequences: a record of paleoenvironmental change, *Catena* 35, 179-196.
- Kolen, J., D. De Loecker, A.J. Groenendijk & J.P. de Warrimont** 1999: Middle Palaeolithic surface scatters: how informative?: a case study from Southern Limburg (The Netherlands), in: W. Roebroeks & C. Gamble (eds.), *The Middle Palaeolithic occupation of Europe*, Leiden, 177-192.
- Kukla, G.**, 1987: Loess stratigraphy in central China, *Quaternary Science Review* 6, 191-219.
- Langbroek, M., A. Verpoorte & B. Voormolen** 2002: *Colmont-Ponderosa: het paleolithicum van de Vrakelberg en omstreken*, Leiden (niet-uitgegeven rapport).
- Lisiecki, L.E., & M.E. Raymo** 2005: A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records, *Paleoceanography* 20, PA1003.
- Loecker, D. de**, 2005: *Beyond the site: the Saalian archaeological record at Maastricht-Belvédère (The Netherlands)*, Leiden (Analecta Praehistorica Leidensia 35/36).
- Lu, H., J. Vandenberghe & Z. An** 2001: Aeolian origin and palaeoclimatic implications of the 'red clay' (north China) as evidenced by grain-size distribution, *Journal of Quaternary Science* 16 (1), 89-97.
- Macphail, R.I., M.A. Courty & P.G. Goldberg** 1990: Soil micro-morphology in archaeology, *Endeavour* 14 (4), 163-171.
- Maher, B.**, 1998: Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 137, 25-54.
- Maher, B.A., A.O. Alekseev & T. Alekseeva** 2003: Magnetic mineralogy of soils across the Russian steppe: climatic



dependence of pedogenic magnetite formation, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 201, 321-341.

**Maher, B., & R. Taylor** 1988: Formation of ultrafine-grained magnetite in soils, *Nature* 336, 368-370.

**Maher, B., & R. Thompson** 1991: Mineral magnetic record of the Chinese loess and paleosols, *Geology* 19, 3-6.

**Maréchal, R.**, 1992: La structure géologique, in: J. Denis (ed.), *Géographie de la Belgique*. Bruxelles, 37-86.

**Meijs, E.P.M.**, 2002: Loess stratigraphy in Dutch and Belgian Limburg, *Eiszeitalter und Gegenwart* 51, 114-130.

**Meijs, E.P.M.**, 2011: The Veldwezelt site (province of Limburg, Belgium): environmental and stratigraphical interpretations, *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* 90 (2-3), 73-94.

**Meijs, E.P.M., P. Van Peer & J.P.L.M.N. de Warrimont** 2012: Geomorphologic context and proposed chronostratigraphic position of Lower Palaeolithic artefacts from the Op de Schans pit near Kesselt (Belgium) to the west of Maas-tricht, *Netherlands Journal of Geosciences* 91 (1-2), 137-157.

**Meulen, M.J. van der, F.D. de Lang, D. Maljers, C.W. Dubelaar & W.E. Westerhoff** 2003: *Grondstofsoorten en delfstoffen bij naam: woordenboek van Nederlandse grondsoorten en gesteenten, en daarvan vervaardigde grondstoffen*, Delft (Publicatierreeks Grondstoffen 2003/16).

**Moine, O., P. Antoine, L. Deschodt & N. Sellier-Segard** 2011: Enregistrements malacologiques à haute résolution dans les loess et les gleys de toundra du Pléniglaciaire weichselien supérieur: premiers exemples du nord de la France, *Quaternaire* 22 (4), 307-325.

**Monnier, G.F.**, 2006: The Lower/Middle Paleolithic periodization in Western Europe: an evaluation, *Current Anthropology* 47, 709-744.

**Mücher, H.J., & W.J. Vreeken** 1981: (Re)disposition of loess in southern Limbourg, The Netherlands 2: Micromorphology of the lower silt loam complex and comparison with deposits reduced under laboratory conditions, *Earth Surface Processes and Landforms* 6, 355-363.

**Mücher, H.J., J. de Ploey & J. Savat** 1981: Response of loess materials to simulated translocation by water: micro-morphological observations, *Earth Surface Processes and Landforms* 6, 331-336.

**Murray, A.S., & A.G. Wintle** 2003: The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability, *Radiation Measurements* 37, 377-381.

**Ophoven, C.**, 1943: *Quarante années de préhistoire du professeur Hamal-Nandrin 1903-1943*, Luik.

**Ophoven, M., & J. Hamal-Nandrin** 1951: La station néolithique de Rijckholt-Sainte- Gertrude (1881-1951), *Bulletin de la Société préhistorique de France* 48 (9-10), 441-452.

**Pirson, S., & K. Di Modica** 2011: Position chronostratigraphique des productions lithiques du Paléolithique ancien en Belgique: un état de la question, in: M. Toussaint, K. Di Modica & S. Pirson (eds.), *Le Paléolithique moyen en Belgique: mélanges Marguerite Ulrix-Closset, Luik (Études et Recherches Archéologiques de l'Université de Liège 128/ Bulletin de la Société Royale Belge d'Études Géologiques et Archéologiques: Les Chercheurs de la Wallonie hors-série no. 4)*, 105-148.

**Poulet, A., E. Juvigné & S. Pirson** 2008: The Rocourt Tephra, a widespread 90-74 ka stratigraphic marker in Belgium, *Quaternary Research* 70, 105-120.

**Puydt, M. de**, 1887: Quelques constatations relatives à la station néolithique de Sainte- Gertrude, *Publications de la Société Historique et Archéologique dans la Duché Limbourg* 24, 39-68.

**Raczynski-Henk, Y.**, 2014: Neanderthaler-vindplaatsen in het Limburgse lössgebied: onmisbaar!, *Grondboor & Hamer* 4-5, 145-149.

**Raczynski-Henk, Y., R. Paulussen, R. Machiels & B. Wekkers-Hendriks** in voorbereiding: *De midden-paleolithische vindplaats Amstenrade-Allée, Amersfoort (ADC-rapporten)*.

**Rademakers, P.C.M., (red.)** 1998: *De prehistorische vuursteenmijn van Rijckholt-St. Geertruid, Maastricht, Maastricht*.

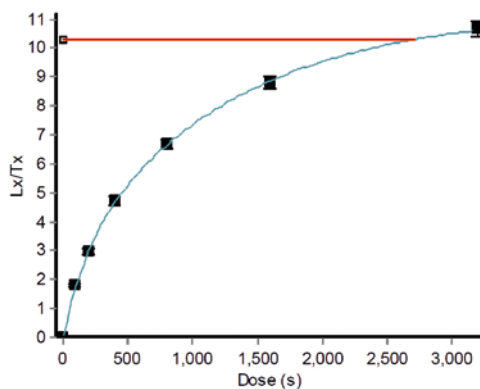
- Renes, J.**, 1988: *De geschiedenis van het Zuidlimburgse cultuurlandschap*, Assen-Maastricht (Maaslandse Monografieën, groot formaat 6).
- Rensink, E.P., P. Boekenooen & J. Deeben** 2003: Degradatie van het archeologisch bodemarchief in Zuid-Limburg. Een verkennend onderzoek voor Mergelland-West, *Archeologie in Limburg* 94, 13-21.
- Roebroeks, W.**, 1980: De 'middenpaleolithische' vindplaats Sint Geertruid (L): hypothesen voor nader onderzoek, *Archeologische Berichten* 8, 7-37.
- Roebroeks, W.**, 1981: Ein mitelpaläolithischer Fundplatz bei Sint Geertruid (Süd-Limburg, Niederlande), *Archäologisches Korrespondenzblatt* 11, 289-292.
- Roebroeks, W.**, 1988: *From find scatters to early hominid behaviour: a study of Middle Palaeolithic riverside settlements at Maastricht-Belvédère (The Netherlands)*, Leiden (Analecta Praehistorica Leidensia 21).
- Roo, A.P.J. de**, 1993: *Modelling surface runoff and soil erosion in catchments using geographical information systems: validity and applicability of the ANSWERS model in two catchments in the loess area of South Limburg (The Netherlands) and one in Devon (UK)*, Utrecht (Nederlandse Geografische Studies 157).
- Rousseau, D.-D., N. Soutarmin, L. Gaume, P. Antoine, M. Lang, J.-P. Lutruidou, J. Sommé, L. Zöller, I. Lemeur, L. Meynadier, M. Fontugne & A. Wintle** 1994: Histoire du dernier cycle climatique enregistrée dans la séquence loessique d'Achenheim (Alsace, France), à partir de la susceptibilité magnétique, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 319-II, 551-558.
- Rousseau D.-D., L. Zöller & J.-P. Valet** 1998: Late Pleistocene climatic variations at Achenheim, France, based on a magnetic susceptibility and TL chronology of loess, *Quaternary Research* 49, 255-263.
- Ruebens, K.**, 2014: Late Middle Palaeolithic bifacial technologies across northwest Europe: typo-technological variability and trends, *Quaternary International* 350, 130-146.
- Schirmer, W.**, 2002a: The Eben Zone in the limestone quarry Eben: loess units and solcomplexes in the Niederrhein and Maas Area, in: A. Ikinge & W. Schirmer (eds.), *Loess units and solcomplexes in the Niederrhein and Maas Area*, Berlin (Terra Nostra), 92-101.
- Schirmer, W.**, 2002b: *Lösse und Böden in Rheindahlen*, Münster/Hamburg/London (GeoArcheo-Rhein 5).
- Schokker, J., F.D. de Lang, H.J.T. Weerts & C. den Otter** 2003: *Formatie van Boxtel: beschrijving lithostratigrafische eenheid*, Utrecht (TNO).
- Schokker J., F.D. de Lang, H.J.T. Weerts, C. den Otter & S. Passchier** 2005: *Formatie van Boxtel* (Dinoloket).
- Schokker, J., H.J.T. Weerts, W.E. Westerhoff, H.J.A. Berendsen & C. den Otter** 2007: Introduction of the Boxtel Formation and implications for the Quaternary lithostratigraphy of the Netherlands, *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* 86 (3), 197-210.
- SIKB (Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer)** 2011: *Kwaliteitsnorm Nederlandse Archeologie (KNA) versie 3.2: bijlage IV: waarden van vindplaatsen*.
- Soressi, M.**, 2002: *Le Moustérien de Tradition Acheuléenne du sud-ouest de la France*, University of Bordeaux (niet-gepubliceerde PhD thesis).
- Spagna, P., P. Haesaerts, E. Meijs & S. Pirson** 2014: The green amphibole abundance as a chronostratigraphic tool in Middle Palaeolithic sites from Belgium, in: K. Di Modica, S. Pirson, M. Toussaint, G. Abrams & D. Bonjean (eds.), *Middle Palaeolithic in North-West Europe: multidisciplinary approaches: book of abstracts*, Namur, 66.
- Thomsen, K.J., A.S. Murray, M. Jain & L. Bøtter-Jensen** 2008: Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts, *Radiation Measurements* 43, 1474-1486.
- TNO** 2010: *Geologische overzichtskaat van Nederland*, Utrecht (Dinoloket).
- USGS-EROS** 2010: *Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010)*, 7,5 arcsec.
- Uthmeier, T., H. Kels, W. Schirmer & U. Böhner** 2011: Neanderthals in the cold: Middle Palaeolithic sites from the open-cast mine of Garzweiler, Northrhine-Westfalia

- (Germany), in: N. J. Conard & J. Richter (eds.), *Neanderthal lifeways, subsistence and technology: one hundred fifty years of Neanderthal study*, Dordrecht (Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology), 25-42.
- Vancampenhout, K., R. Langohr, J. Slaets, P. Buurman, R. Swennen & J. Deckers** 2013: Paleo-pedological record of the Rocourt pedosequence at Veldwezelt-Hezerwater (Belgian Pleistocene loess belt): part 1: evolution of the parent material, *Catena* 107, 118-129.
- Vancampenhout, K., R. Langohr, J. Slaets, P. Buurman, R. Swennen & J. Deckers** 2015: Paleo-pedological record of the Rocourt pedosequence at Veldwezelt-Hezerwater (Belgian Pleistocene loess belt): part 2: soil formation, *Catena* 110, 8-23.
- Verpoorte, A., M. Langbroek & B. Voormolen** 2002: Het midden-paleolithicum van het Heuvelland: resultaten van veldwerk te Colmont (gemeente Voerendaal), *Historische en Heemkundige Studies in en rond het Geuldal* 12, 133-152.
- Verpoorte, A., D. De Loecker, M.J.L.Th. Niekus & E. Rensink** 2016: The Middle Palaeolithic of the Netherlands: contexts and perspectives, *Quaternary International* 411, 149-162.
- Vleeshouwer, J.J., & J.H. Damoiseaux** 1990: *Bodemkaart van Nederland 1:50.000: toelichting bij 61-62 West en Oost*, Maastricht-Heerlen, Wageningen.
- Vliet-Lanoë, B. Van**, 1987: *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe du Nord-Ouest*, Université Paris I (niet-uitgegeven doctoraatsverhandeling).
- Vliet-Lanoë, B. Van**, 1992: Le niveau à langues de Kesselt, horizon repère de la stratigraphie du Weichsélien supérieur européen: signification paléo-environnementale et paléoclimatique, *Mémoires Société Géologique de France* 160, 35-44.
- Vliet-Lanoë, B. Van**, 2010: Frost action, in: G. Stoops, V. Marcelino & F. Mees (eds.), *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*, Amsterdam, 81-108.
- Vreken, W.J.**, 1984: (Re)deposition of loess in southern Limbourg, The Netherlands 3: field evidence for conditions of deposition of the middle and upper silt loam complexes, and landscape evolution at Nagelbeek, *Earth Surface Processes and Landforms* 9, 1-8.
- Vreken, W.J., & H.J. Mûcher** 1981: (Re)deposition of loess in Southern Limbourg, The Netherlands 1: field evidence for conditions of deposition of the lower silt loam complex, *Earth Surface Processes and Landforms* 6, 337-354.
- Wallinga, J.**, 2005: *Luminescenciedatering, NOaA hoofdstuk 5* (versie 1.0), Amersfoort.
- Wallinga, J., F. Davids & J.W.A. Dijkmans** 2007: Luminescence dating of Netherlands' sediments, *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* 86, 179-196.
- Wallinga, J., A.S. Murray & A.G. Wintle** 2000: The single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol applied to coarse-grain feldspar, *Radiation Measurements* 32, 529-533.
- Warrimont, J.P. de**, 1997: De 'biface lancéolé' van De Kaap in Sint Geertruid, *Archeologie in Limburg* 72, 28-30.
- Warrimont, J. P. de**, 2002: Middenpaleolithische artefacten uit Rijckholt-Sint Geertruid, *Archeologie in Limburg* 90, 2-7.
- Westerhof, W.E., & H.J.T. Weerts** 2003: *Formatie van Beegden* (Dinoloket).
- Wintle, A.G.**, 2008: Fifty years of luminescence dating, *Archaeometry* 50, 276-312.
- Wintle, A.G., & A.S. Murray** 2006: A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols, *Radiation Measurements* 41, 369-391.
- Wouters, A.**, 1980: De middenpaleolithische vindplaats Sint Geertruid (L): afbeeldingen en beschrijvingen van middenpaleolithische artefacten uit vondstcomplexen uit de omgeving van Sint Geertruid, *Archeologische Berichten* 8, 38-106.
- Zhou, L., F. Oldfield, A. Wintle, S. Robinson & J. Wang** 1990: Partly pedogenetic origin of magnetic variations in Chinese loess, *Nature* 346, 737-739.

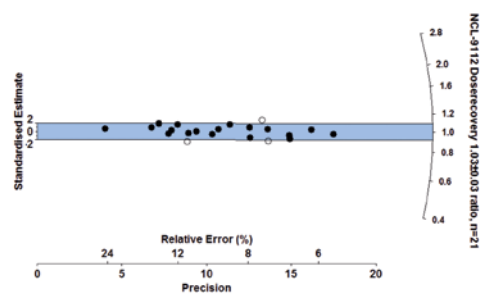
# Bijlage I: gegevens luminescentiedateringen

Tabel 1 De SAR-procedure die in deze studie is gebruikt voor kwarts-OSL-datering. Een eerste extra stap ('Extra step 1') is ingevoerd om na te gaan of het monster niet is verontreinigd met veldspaat. Een tweede extra stap ('Extra step 2') is bedoeld om na te gaan of het kwarts-OSL-signaal wordt gedomineerd door de snelle OSL-component die het meest geschikt is voor datering (Wintle & Murray 2006).

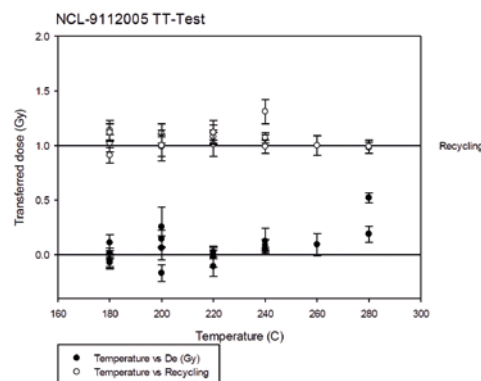
Step	Action	Measured
1	Beta dose (or Natural dose)	
2	10s preheat to 220°C	
4	20s blue stimulation at 125°C	Ln, Li
5	Beta test dose	
6	Cutheat to 2000C	
8	20s blue stimulation at 125°C	Tn, Ti
9	40s blue bleach at 230°C	
10	Repeat step 1-9 for a range of doses (incl. zero and repeat dose)	
Extra 1	Repeat step 1-9 with added infrared bleach at 30°C prior to step 3	
Extra 2	Linearly Modulated OSL following 50 Gy dose and preheat	



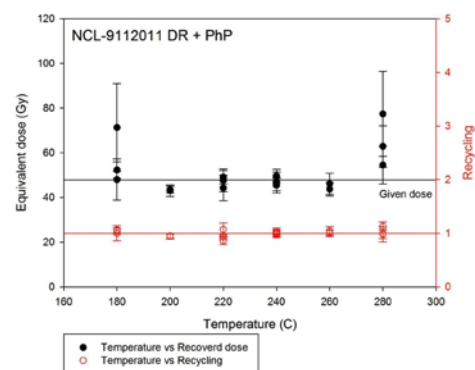
Afb. 1 Groeicurve van het kwarts-OSL-signaal voor monster NCL-9112230, gemeten op drie diskjes. De monsters NCL-9112230 tot en met NCL-9112233 en monster NCL-9112011 hebben een paleodosis groter dan  $2 \cdot D_0$ . De overige monsters zijn daarentegen wel geschikt voor kwarts-OSL-datering.



Afb. 2 Radiale plot van de kwarts-dose-recovery-testen voor de monsters NCL-9112005 tot en met NCL-9112011.



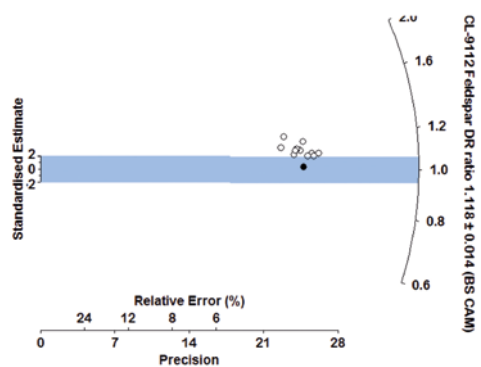
Afb. 3 Kwartsvoorverhittingsplateau en de resultaten van de TT-test (monster NCL-9112005).



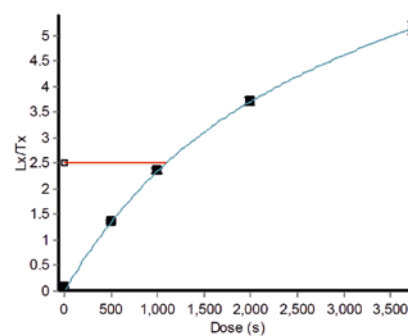
Afb. 4 Kwartsvoorverhittingsplateau en de resultaten van de TT-test (monster NCL-9112011).

Tabel 2 De SAR-procedure die in deze studie is gebruikt voor veldspaat-post-IR-IRSL-datering.

Step	Action	Measured
1	Beta dose (or Natural dose)	
2	60s preheat to 320°C	
3	100s IR stimulation at 50°C	
4	100s IR stimulation at 290°C	Ln/Li
5	Beta test dose	
6	60s preheat at 320°C	
7	100s IR stimulation at 50°C	
8	100s IR stimulation at 290°C	Tn/Ti
9	40s IR stimulation at 330°C	
10	Repeat step 1-9 for a range of doses (incl. zero and repeat dose)	

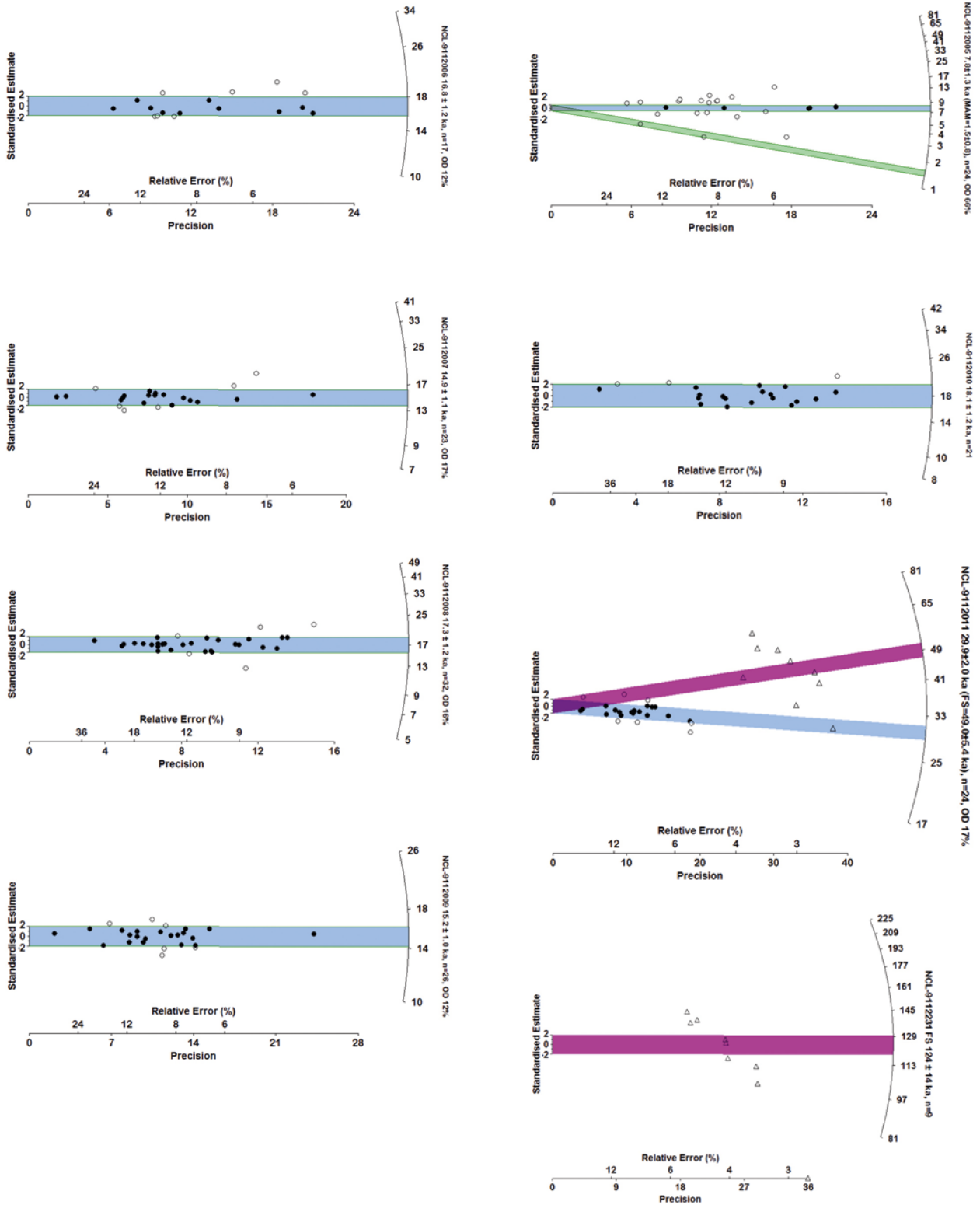


Afb. 5 Radiale plot van de veldspaat *dose-recovery* testen voor monsters NCL-9112230 tot en met NCL-9112233.



Afb. 6 Groeicurve van het veldspaat-pIRIR-sigitaal voor monster NCL-9112011. Exponentiële en lineaire fit.





Afb. 7 Spreiding in leeftijd van de OSL- en PIRIR-dateringsresultaten voor de monsters NCL-9112005 tot en met NCL-9112011 en monster NCL-9112231.

De radiale plots die zijn opgesteld voor elk van de hierboven vermelde monsters geven de SAR-luminescentieouderdom weer voor de verschillende submonsters (witte en zwarte bollen), evenals de ouderdom van het monster verkregen met behulp van het *Central Age Model* (weergegeven als blauwe zone) of in de vorm van ongewogen gemiddelde voor de oudere monsters. Veldspaatresultaten zijn aangeduid in paars.

De gebogen y-as geeft de verkregen ouderdom weer, terwijl de x-as de nauwkeurigheid van de individuele resultaten weergeeft. In deze grafieken is de palaeodosi gedeeld door de jaarlijkse dosis van het monster. Onzekerheden in de jaarlijkse dosis en systematische onzekerheden in de berekening van de paleodosi zijn buiten beschouwing gelaten. Zwart ingekleurde datapunten vallen binnen de blauw of paars gekleurde band en zijn in overeenstemming met de berekende ouderdom voor het monster in kwestie. De betrouwbaarheid van het resultaat wordt bepaald door het percentage aan datapunten dat binnen deze gearceerde zone valt, en door het *overdispersionpercentage* (OD; weergegeven op de y-as).







Deze publicatie presenteert de resultaten van het (geo)archeologisch en dateringsonderzoek uitgevoerd op de midden-paleolithische vindplaats Sint-Geertruid-De Kaap (Limburg, Nederland). Deze vindplaats grenst aan de neolithische vuursteenmijnen van Rijckholt.

Het onderzoek was gericht op de aard, ouderdom en formatieprocessen van lösslagen op het plateau en had als doel potentiële aanwezigheid van afgedekte, goed bewaarde midden-paleolithische vindplaatsen op De Kaap te evalueren. De profielwanden van de gegraven put leerden de onderzoekers onder meer dat de stratigrafische eenheden bestaan uit herwerkt materiaal en dat stabiele niveaus ontbreken. Een van de conclusies is dan ook dat de kans op goed bewaarde midden-paleolithische vindplaatsen in de directe omgeving van de put klein is, ook al wijst de aanwezigheid van enkele werktuigen erop dat Neanderthalers op dit plateau allerlei activiteiten hebben uitgevoerd.

Dit wetenschappelijke rapport is bestemd voor archeologen, andere professionals en liefhebbers die zich bezighouden met archeologie.

Met kennis en advies geeft de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed de toekomst een verleden.