



Universiteit
Leiden
The Netherlands

A continent-wide framework for local and regional stratigraphies

Gijssel, K. van

Citation

Gijssel, K. van. (2006, November 22). *A continent-wide framework for local and regional stratigraphies*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4985>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4985>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

SAMENVATTING

Hoofdstuk 1: Inleiding

De stratigrafische indeling van het Kwartair¹, de laatste 2,6 miljoen jaar van de geologische geschiedenis, is voornamelijk gebaseerd op lokale geologische gegevens. De informatie uit deze gegevens is op lokaal en regionaal niveau in litho- en biostratigrafische eenheden onderverdeeld, waarbij de *formatie* respectievelijk de *biozone* de fundamentele eenheden zijn. De fragmentarische – en genetisch diverse aard van de terrestrische sedimentopvolging, het gebrek aan gidsfossielen en de ontoereikende dateringsmethoden vormen een groot probleem voor een gedetailleerde tijdsstratigrafische indeling van het Kwartair². Traditioneel worden daarom de heersende klimaatcondities ten tijde van de afzetting geïnterpreteerd en ingedeeld in zogenaamde glaciële en interglaciële perioden. Zo zijn in Europa vele lokale en regionale indelingen opgesteld van relatief koude en warme perioden die refereren aan grootschalige klimaatveranderingen in het Pleistocene verleden. Interregionale correlaties van deze klimaatstratigrafische eenheden vertonen niettemin veel discrepanties en leiden (nog steeds) tot veel discussie met betrekking tot de plaatsing in de tijd. Zo komen er in de löss/paleosol stratigrafie van de niet-vergletsjerde gebieden in Midden-Europa bijvoorbeeld meer klimaatcycli voor als in de glaciële stratigrafieën van Noordwest-Europa en de Alpen.

Ontbreekt een degelijk chronologisch raamwerk op land, een schijnbaar volledige registratie van de Kwartaire klimaatgeschiedenis kan worden afgeleid uit de sedimentopvolgingen van de oceaانبodem. De klimaatcycli in de oceanische zuurstofisotopencurve zijn grotendeels door astronomische processen gestuurd, algemeen bekend als de ‘Milankovitch theorie’. Voortdurende ijking en afstemming met hoge resolutie astronomische – en polariteitstijdsschalen heeft de mariene zuurstofisotopenstratigrafie voorzien van een consequente chronologie voor de laatste 5 miljoen jaar. De trends worden tegenwoordig algemeen gebruikt als een wereldwijde standaard voor het reconstrueren van lokale – en regionale paleoklimaat- en –milieucondities in tijd en ruimte. Tenminste 11 glaciële cycli zijn aangetoond in de laatste miljoen jaar, hetgeen duidelijk maakt dat de klassieke glaciële modellen voor Europa slechts ruwe raamwerken zijn, waarin de frequentie van de glaciële en interglaciële perioden in het algemeen is onderschat.

Bovenstaande schets met betrekking tot de Kwartaire (chrono)stratigrafie vormde de aanleiding tot twee vragen die centraal staan in dit promotieonderzoek:

- 1 Hoe zijn de moeilijkheden en onzekerheden van de terrestrische chronostratigrafische indelingen te verkleinen?
- 2 Hoe zijn de continentale en mariene stratigrafieën met elkaar overeen te stemmen en te correleren?

Deze vragen (*hoofdstuk 1*) zijn de aanleiding geweest om naar alternatieve methoden naast de bestaande klimaatstratigrafie te zoeken en om aanvullende classificaties te vinden die de Kwartaire successie beter representeren en die mogelijkheden bieden voor correlatie met de mariene isotopenstadia. De interpretatie van klimaatcondities blijft niettemin de basis van de indeling van de Pleistocene successie. De afzettingen vertegenwoordigen echter geen klimaatperioden meer, maar paleoklimatologisch gestuurde

gebeurtenissen van diverse aard, intensiteit en (schaal)omvang die op de een of andere manier in het globale tijds kader van de zuurstofisotopenstratigrafie passen en binnen de marges van de mariene isotopenstadia vallen. Dit proefschrift concentreert zich met name op de verfijning van de (chrono)stratigrafische posities van de diverse afzettingen uit het Midden-Pleistocene³ in Noordwest en Midden-Europa. Zij maken deel uit van de klassieke Noordwest Europese indeling in klimaatperioden, i.e. van het jongste deel van het Cromerien, het Elsterien, het Holsteinien en het Saalien.

Hoofdstuk 2: Kwartaire terrestrische stratigrafie en correlatie: een multidisciplinaire benadering

In *hoofdstuk 2* worden de verschillende stratigrafische methoden en technieken besproken die tegenwoordig in het Kwartaire onderzoek worden toegepast. Een onderscheid wordt gemaakt in materiaalbeschrijvende eenheden, interpretatieve eenheden en tijds-eenheden. In een historisch overzicht wordt toegelicht hoe (traditionele) concepten, definities en terminologie betreffende het Kwartaire *Systeem/Tijdperk* zijn veranderd in de loop der tijd door nieuwe inzichten, de toenemende beschikbaarheid van gegevens en de voortschrijdende ontwikkelingen in onderzoeks- en dateringstechnieken.

Vervolgens wordt de classificatie en interpretatie van klimaatbepaalde afzettingen vanuit een ander, globaal gezichtspunt geëvalueerd. De beschikbaarheid van objectieve criteria en hun mogelijkheden voor grootschalige interpretatie en correlatie van stratigrafische eenheden in tijd en ruimte zijn beschouwd in relatie tot het karakter van de Kwartaire sedimentopvolging, de schaal en resolutie van onderzoek en het doel van de stratigrafische indeling, dat wil zeggen het reconstrueren van een klimaatgeschiedenis op land in overeenstemming met de mariene isotopenstratigrafie. De toepassingsmogelijkheden van diverse (alternatieve) stratigrafische methoden die geschikt zijn voor grootschalige indelingen en correlaties, zoals de interdiscordantie-, de sequentie- en de ‘event’ stratigrafie, zijn nader toegelicht. De werkwijze om tot een (objectieve) vergelijking van de terrestrische stratigrafische indelingen en de mariene isotopische stratigrafie te komen bestaat uit drie opeenvolgende onderdelen:

1 Het opstellen van een informeel, interregionaal stratigrafisch raamwerk voor het Midden-Pleistocene, waarin de lokale interdisciplinaire gegevens zijn geïntegreerd

Gezien het fragmentarische en complexe karakter van de Pleistocene sequenties biedt de stratigrafische indeling op basis van regionaal significante discontinuïteiten of discordanties (‘unconformities’) als formele stratigrafische procedure, naast de litho-, bio- en chronostratigrafie en conform de ‘International Stratigraphic Guide’ (Salvador *et al.* 1994), de beste mogelijkheden. Afzettingen die begrensd worden door over grote afstanden te vervolgen discordanties zijn met de term *interdiscordante eenheden* of *synthems* te definiëren. Zij komen in veel gevallen overeen met de bestaande regionale formaties en beschrijven daarnaast lithofacies- en biofacieseigenschappen. Deze verwijzen naar bepaalde afzettingsmilieus, zoals bijvoorbeeld glaciële, mariene of fluviatiele afzettingen-

milieus, en kunnen op grond hiervan geïnterpreteerd en ingedeeld worden als *genetische sequenties* of '(genetic) depositional sequences'. De discordanties zelf bevatten informatie over perioden met erosie of perioden met stabiele oppervlaktecondities, waarin meestal bodenvorming optrad.

2 Het interpreteren en vaststellen van klimaatgestuurde – en tektonische gebeurtenissen ('events') en cycli binnen dit raamwerk en de interpretatie van hun schaalgrootte

In deze interpretatieve fase worden de interdiscordante, genetisch-stratigrafisch ingedeelde sequenties in de verschillende regio's geassocieerd met diverse geologische en ecologische gebeurtenissen of 'events'. Niet alleen korte termijn catastrofale natuurverschijnselen, zoals vulkanische uitbarstingen, vallen hier onder deze term, maar ook langere termijn klimaatgestuurde processen, zeespiegelveranderingen en tektonische processen met een (vierde orde) frequentie tussen de 100.000 en 500.000 jaar. Deze zijn verantwoordelijk voor wijdverbreide cycliciteit in de Pleistocene sedimentoepenvolgingen. De genetische sequenties worden geïnterpreteerd als producten van periodieke afzettings- en erosieprocessen die gerelateerd worden aan ijskapuitbreidingen (glaciaties), lössafzettingscycli in periglaciale woestijnen, mariene transgressies, en in tweede instantie aan biogene productiviteit, bodenvorming en aggradatie- en insnijdingsfasen van rivieren. Deze procedure is in veel opzichten vergelijkbaar met de traditionele klimaatstratigrafie, met dit verschil dat voor de klimaatinterpretatie en de correlatie een hiërarchische indeling van 'events' wordt gebruikt die verwijst naar de ruimtelijke en temporele schaal, het afzettingsmilieu en de aard ervan. Ook de bijbehorende terminologie verwijst hiernaar: zo worden verschillende Fennoscandische (FS) glaciaties, Midden-Europese (CE) lössafzettingen, Noordzee (NS) mariene transgressies en lokale loofbosvegetatievoorkomens onderscheiden.

3 Het zoeken naar grensniveaus en tijdsintervallen voor de terrestrische 'events' in de globale mariene isotopenstratigrafie

Vergelijking van de terrestrische klimaatbepaalde 'events' met de mariene isotopenstratigrafie kan onder bepaalde voorwaarden en aannamen een aanvullende basis voor de chronostratigrafische indeling van de Pleistocene successie vormen. Ondanks de beperkte geochronologische controle is, door 'trend matching', een goede overeenstemming aangetoond voor onder andere löss-sequenties en (Laat-Pleistocene) vegetatiesequenties met de isotopische oceaanaan- en landijskernregistraties. Zij geven aan dat de mariene isotopenstratigrafie als een sjabloon gebruikt kan worden, waarbij op indirecte wijze in ieder geval de grootschalige Midden-Pleistocene terrestrische eenheden en hun afgeleide klimaatgebeurtenissen, alsook de tijdshiaten, binnen de tijdsintervallen van de mariene zuurstofisotopenperioden ('marine isotope stages': MIS) geplaatst kunnen worden. In tweede instantie worden lokaal vastgestelde 'events', meestal uit een warme klimaatperiode, ingedeeld. Hoewel isochrone tijdsgrenzen ontbreken kunnen met name de relatief kortdurende deglaciaties⁴ in de isotopenstratigrafie als grensniveaus dienen voor hun terrestrische equivalenten. Hierbij is de aanname gemaakt dat amplitudes in intensiteit en omvang door de globale klimaatveranderingen zijn gestuurd en dat extreme klimaatgebeurtenissen terug te vinden zijn in zowel de lokale als de globale genetische sequenties. Niettemin zullen conclusies die gemaakt zijn over de lokale en regionale respons van globale klimaatveranderingen altijd bevestigd moeten zijn door onafhankelijke aanduidingen/bewijzen en, indien van belang, correcties voor bijvoorbeeld tektonische activiteit moeten inhouden.

Hoofdstuk 3: Hedendaagse Midden-Pleistocene terrestrische stratigrafie van Noordwest- en Midden-Europa: een complex van lokale stratigrafieën en paleoklimatologische perioden

Hoofdstuk 3 geeft een historisch en hedendaags overzicht van de stratigrafische indelingen voor het Midden-Pleistoceen, zoals die in Noordwest- en Midden-Europa in de praktijk toegepast zijn en worden. Ondanks dat er weinig discussie over de relatieve positie van de verspreide genetische sequenties bestaat, zijn de vele lokale indelingen niet goed met elkaar overeen te stemmen om zo het klimaatverloop goed te kunnen reconstrueren. Interregionale correlaties worden onder andere belemmerd door de vaak onduidelijke definiëring van de klimaatfasen, de glacialen en de interglacialen, en door de beperkte mogelijkheden van de formele stratigrafische methoden. Hierdoor zijn klimaatstratigrafische 'misinterpretaties' en (bio)stratigrafische 'miscorrelaties' niet uit te sluiten. Om terminologische verwarring te voorkomen wordt de voorkeur aan de algemene termen koude en warme perioden⁵ gegeven. Vijf categorieën van afzettingmilieus en hun representatieve afzettingen worden in dit hoofdstuk nader besproken. De fundamentele, materiële bouwstenen die op diverse manieren bijdragen aan de lokale en regionale stratigrafieën zijn:

- sedimenten afgezet onder glaciële omstandigheden,
- sedimenten afgezet onder subaërische (periglaciële) omstandigheden, met löss als belangrijkste component,
- sedimenten afgezet in mariene milieus,
- fluviaïele en deltaïsche sedimenten afgezet door grote riviersystemen,
- sedimenten afgezet in lacustriene en biogene milieus.

Deze lithogenetische of 'hogerangs' lithostratigrafische eenheden vormen het gros van de Pleistocene sedimentoepenvolgingen in de typegebieden. Een tweedeling kan worden gemaakt in de zogenaamde glaciële stratigrafieën in de vergletsjerde gebieden in Noord-Europa en de rivierterras/löss-stratigrafieën in de niet-vergletsjerde gebieden in Midden-Europa. Hun stratigrafische betekenis en (paleo)klimatologische interpretatie voor grootschalige reconstructies worden geëvalueerd. Intermediaire sedimenten die afgezet zijn in meren, vennen en venen, alsook secundaire carbonaten, zoals travertijn, en fossiele bodemcomplexen, zijn als lokale (sub)synthems te onderscheiden die waardevolle paleoinformatie verschaffen. Daarnaast komen de biostratigrafische gegevens en kenmerken van deze verschillende Midden-Pleistocene genetische sequenties aan de orde en worden de (geochronologische) ouderdomsbepalingen besproken die met behulp van verschillende dateringstechnieken zijn gemeten.

Hoofdstuk 4: Een supplementair stratigrafisch raamwerk voor Noordwest- en Midden-Europa op basis van sequentie- en 'event'stratigrafie

De toepassing van de gecombineerde interdiscordantie-, genetische- en 'event'stratigrafie als basis voor grootschalige correlatiedoeleinden wordt in hoofdstuk 4 behandeld. Een grootschalig raamwerk behoeft een materiële basis vanuit de typelokaliteiten en de typeregio's met uniform gedefinieerde eenheden voor interpretatie. De bruikbaarheid van de verschillende sedimentaire, erosieve en bodemkundige elementen om als bouwsteen voor een dergelijke, aanvullende, stratigrafische indeling te dienen hangt af van het voorkomen van:

- sedimentaire eenheden afgezet door grootschalige gebeurtenissen,
- zeldzame gebeurtenissen die een hoog onderscheidende (gids)

- laag vormen in de opeenvolging, zowel sedimentair als erosief,
- afzettingmilieus waarin continue of bijna-continue sedimentatie plaatsvindt over lange perioden,
- afzettingen of fossielen die geschikt zijn om te dateren.

De genetische eenheden van de verspreide typelokaliteiten, elk van beperkte tijdsduur, integreren multidisciplinaire (litho-, bio-, bodem- en andere stratigrafische) gegevens die vastgesteld en gedefinieerd zijn op basis van hun discordanties. Ze zijn gerangschikt en vergeleken binnen natuurlijk begrensde geotektonische typegebieden in Noordwest- en Midden-Europa, zoals bijvoorbeeld het Anglo-Nederlandse Noordzeebekken (AD/NS) en het Midden-Rijngebied (MR). Van deze regionale indelingen zijn twee informele correlatieschema's gecompileerd: een voor de vergletsjerde gebieden in Noordwest-Europa en een voor de gebieden daarbuiten in Midden-Europa. De naamgeving van de synthems en genetische sequenties is informeel en verwijst in het algemeen naar de typelokaliteit, de dominante lithofacies assemblages en hun regionaal bekende stratigrafische code. Voorbeelden zijn de Drente-1 keileem synthem binnen de Fennoscandische (FS) glaciële sequentie uit het Saalien respectievelijk de Leubsdorf grindterras synthem behorend tot de Midden-Rijn Mittelterrasse 2 sequentie.

Door vervolgens de grootschalige klimaatbepaalde – en tektonische gebeurtenissen in de verschillende regionale typegebieden door middel van superpositie, correlatie van interdiscordante - en biostratigrafische gidslagen en fossielen, en onafhankelijke dateringen in een relatieve tijdsvolgorde te plaatsen, wordt een continentaal, lage-resolutie 'event' stratigrafisch raamwerk voor het Midden-Pleistoceen gecreëerd. De pollenopeenvolging van Lac du Bouchet in het Massif Central (MC) en de löss/paleosolopeenvolging van Červený Kopec (CK) in Slowakije zijn de belangrijkste referentielokaties voor correlatie. Belangrijke interregionaal toepasbare tijds- en bio-indicatoren voor het Midden-Pleistoceen zijn:

- paleomagnetische omkeringen: de Brunhes-Matuyama omkering vond ongeveer 780.000 jaar geleden plaats en markeert de ondergrens van het Midden-Pleistoceen (Richmond 1996),
- vulkanische aslagen, zoals die periodiek in en rond het Eifelgebied zijn afgezet vanaf ongeveer 570.000 jaar geleden,
- evolutie- en klimaatkenmerken van (gids)fossielen, zoals de *Miomys-Arvicola*-grens voor het vroeg Midden-Pleistoceen en het voorkomen van kenmerkende zoetwatermollusken (*Viviparus diluvianus*) en het laatste voorkomen van *Pterocarya* boompollen in de eerste warme periode(n) van het laat Midden-Pleistoceen.

Hoofdstuk 5: Stratigrafische sleutelsecties voor het Midden-Pleistoceen in Noordwest- en Midden-Europa: twee 'case studies'

Een geheel beeld van de (Midden-)Pleistocene klimaatreconstructiepuzzel moet worden samengesteld uit diverse, verspreid voorkomende type-lokaliteiten. In **hoofdstuk 5** is de supplementaire stratigrafische methode toegepast op een aantal geologische sleutelsecties voor het Midden-Pleistoceen: die van Kärlich en Ariendorf in het Midden-Rijngebied en van Schöningen in het Subhercynische Bekken (SB). Vanuit veldwaarnemingen en literatuuronderzoek zijn met behulp van zogenaamde Wheeler-diagrammen reconstructies van de lokale afzettingscondities gemaakt, waarin een afwisseling van sedimentatie-, non-depositie- en erosiefasen te zien is die, op basis van de relevante multidisciplinaire gegevens, indicaties voor klimaatcondities en tektonische activi-

teit in de tijd geven.

In Kärlich en Ariendorf komen subaerische lössopeenvolgingen voor liggend op rivierterrassen die stratigrafisch van groot belang zijn vanwege de tussenliggende vulkanische aslagen afkomstig uit het nabijgelegen Oost-Eifelgebied. Op grond van hun mineralogische samenstelling zijn zes eruptiefasen onderscheiden die met behulp van K/Ar- en Ar/Ar-methoden gedateerd zijn. De sedimentopeenvolging in Kärlich beslaat vrijwel het gehele vroeg Midden-Pleistoceen. Ariendorf sluit hierop aan met een opeenvolging van het laat Midden-Pleistoceen tot heden. In beide secties komen aslagen van de zogenaamde Rieden eruptiefase voor die gedateerd zijn tussen 450.000 en 370.000 jaar geleden. Zij worden in stratigrafische posities temidden van en boven subaerische en fluvia-tiele koude periode-afzettingen (*Kärlich H I* synthem respectievelijk *Leubsdorf grindterras* synthem) aangetroffen. De karakteristieke vulkanische mineralen van deze fase, gedomineerd door pyroxenen, zijn in Kärlich ook aanwezig in onderliggende afzettingen van een warme periode (*Kärlich G V* subsynthem). Deze chrononen 'event' stratigrafische gegevens worden daarna gebruikt voor interregionale correlaties naar het Noordzegebied waar interactie van de pyroxeenhoudende Rijn-afzettingen met glaciële en mariene sequenties plaatsvond. Met behulp van een correlatieschema wordt aannemelijk gemaakt dat de Fennoscandische Elsterien glaciatie en de Noordzee Holsteinien mariene transgressie hoogstwaarschijnlijk plaatsvonden ten tijde van de Rieden eruptiefase. Interregionale correlaties naar de lössgebieden in Centraal Europa maken aannemelijk dat de lössafzettingscyclus van de Midden-Rijn Kärlich F subaerische sequentie equivalent is aan de Centraal Europese löss cyclus CK H en dat het onderste deel van de Midden-Rijn Kärlich H subaerische sequentie equivalent is aan de Centraal Europese lössafzettingscyclus CK F. Zoals in **hoofdstuk 6** wordt geconcludeerd komen deze koude perioden respectievelijk met MIS 16 (659-620 ka) en MIS 12 (478-423 ka) overeen.

De geologische secties van Schöningen zijn gelegen in een kleinschalig sedimentatiebekken waar in samenhang met periodieke zouttektonische bodemdaling verschillende fossielrijke lacustriene sequenties zijn afgezet. Hoewel onvolledig en niet in superpositie tonen zij aan dat er tussen de Fennoscandische Elsterien en Saalien glaciaties nog twee warme fasen met loofbosvegetaties, respectievelijk Reinsdorf en Schöningen, volgden op de Holsteinien warme periode voorkomen. Dit maakt het aannemelijk dat de Fennoscandische Elsterien landsuitspreiding plaatsvond in MIS 12 (en de FS Saalien glaciatie in MIS 6), zoals ook in de löss-stratigrafie van Midden Europa drie Bt-type bodemcomplexen te herkennen zijn voor deze landsvrije periode buiten Scandinavië.

Hoofdstuk 6: Synthese: correlatie van de Noordwest- en Midden-Europese Midden-Pleistocene successie met de mariene isotopenstratigrafie

In **hoofdstuk 6** worden als synthese de 'event' stratigrafische posities van de lokaal en regionaal vastgestelde klimaatbepaalde geologische en ecologische reflecties vergeleken en in overeenstemming gebracht met de tijdsintervallen uit de zuurstofisotopenstratigrafie van de oceanen. Omdat de isotopencurve slechts een algemene leidraad voor de correlatie van glaciaties en deglaciaties is zijn alleen de trends, niet de amplitudes, voor correlatie gebruikt. Deze 'trend matching' wordt op twee schaalniveaus uitgevoerd:

- 1 in eerste instantie worden de grootschalige (vierde orde klimaatcyclische) 'events', afgeleid van wijdverbreide genetische sequenties, gekoppeld aan de mariene isotopenstadia,

2 daarna worden de paleoklimatologische 'events' geïnterpreteerd uit lokale, niet-glaciale sequenties en bodemcomplexen binnen dit raamwerk ingevuld, bij voorkeur vanaf een MIS-gekoppelde stratigrafische basis of een gedateerd niveau omhoog, om zo de hiaten te overbruggen.

Globaal gezien zijn MIS 2, 6, 12 en 16 de meest uitgesproken koude isotopenfasen. Aanwijzingen vanuit de goed gedocumenteerde Laat-Pleistocene landstratigrafie geven aan dat de 'event'-stratigrafische positie van de Fennoscandische Weichselien -, de Britse Devensian en de Alpiene Würmien glaciaties overeenkomen met MIS 2 en die van de Noordzee Eemien mariene transgressie en de lokale Eemien bosvegetatiemaxima overeenkomen met MIS 5e. Ook de overeenstemming van de Fennoscandische Saalien- en de laatste Alpiene Rissien (III) landijsuitbreidingen met MIS 6 (185-128 ka), tijdsequivalent aan de Midden-Europese lössafzetting in cyclus C, is tegenwoordig algemeen geaccepteerd. Serieuze problemen doen zich voor met betrekking tot de 'event'-stratigrafische posities van de Fennoscandische Elsterien en Donien glaciaties.

Conclusies met betrekking tot de 'event'-stratigrafische posities van de wijdverbreide glaciale en subaerische sequenties zijn dat:

- de Fennoscandische Elsterien -, de Britse Anglian glaciatie en de Midden-Europese lössdepositie in cyclus F plaatsvonden gedurende MIS 12 (478-423 ka), gevolgd door de Noordzee Holsteinien mariene transgressie (MIS 11c),
- de Fennoscandische Donien glaciatie en de Midden-Europese lössdepositie in cyclus H optraden in MIS 16 (659-620 ka) en mogelijk gevolgd worden door een Noordzee mariene transgressie in East Anglia.

Vervolgens worden twee grensniveaus van isotopische glaciale cycli, stadiagrenzen cf. SPECMAP-groep (1984), gebruikt voor een verfijning van de chronostratigrafische positie van de groot-schalige terrestrische 'events' in het Midden-Pleistoceen. Het meest geschikt hiervoor zijn de deglaciatiefasen uit de mariene isotopenstratigrafie, waarvoor de zogenaamde terminaties als grafisch geïnterpoleerde, wereldwijde dateringsgemiddelden gelden. Gedurende de deglaciatiefasen treden ook op land ingrijpende klimatologische veranderingen op die in een aantal duidelijke grensniveaus weerspiegeld zijn, zoals Kukla's 'marklines'⁶, ondergrenzen van mariene transgressies en de snelle toename van bomenpollen in glaciale meerafzettingen. Zoals de ondergrenzen van het Holoceen (10.000 ¹⁴C jaren BP) en het Laat-Pleistoceen goed overeenkomen met de arbitraire tijdsgrenzen voor de terminaties I (12,5 ka, als gemiddelde voor de deglaciatiefase van MIS 2/1 tussen 18 ka en 6 ka BP) en II (128 ka, als gemiddelde voor de deglaciatiefase van MIS 6/5 tussen 135 ka en 122 ka) worden nog twee oudere isotopische grensniveaus gebruikt en gelijkgesteld met terrestrische Midden-Pleistocene grensniveaus:

- 1 Een voor de overgang van het *vroeg* - naar het *laat Midden-Pleistoceen* gesteld op het wereldwijde gemiddelde van 423 ka (terminatie V) voor de deglaciatiefase van MIS 12 naar MIS 11. Dit niveau vertegenwoordigt de overgang van de regionale Elsterien (Sanien 2/Okien) koude periode naar de Holsteinien (Hoxnien/Mazovien/Likhvinien) warme periode. De bewijsvoering hiervoor wordt gegeven aan de hand van:
 - dateringen van Oost-Eifel vulkanische aslagen rond 450-370 ka (Rieden fase) in het Midden-Rijn typegebied, het veelvuldig voorkomen van pyroxenen in subaerische en fluviale afzettingen in dit typegebied en stroomafwaarts van de Rijn in het Anglo-Nederlandse Noordzee typegebied vanaf MIS 13, ca. 500.000 jaar geleden, alsmede de stratigrafische positie van het Fennoscandische Elsterien glaciatiemaximum intermediair van pyroxeenhoudende fluviale afzettingen

(hoofdstuk 5),

- het laatste voorkomen van *Pterocarya* pollen in de referentie-opeenvolging van Lac du Bouchet in Zuidoost-Frankrijk en in de glaciale meerafzettingen in Noordwest Europa, welke gelijktijdig met de mariene Holsteinien transgressie in het Noordzeebekken plaatsvond gedurende MIS 11c, ca. 400.000 jaar geleden,
 - het voorkomen van grote erosiediscordanties in de terrasopeenvolgingen van vele riviersystemen die hoogstwaarschijnlijk plaatsvonden in MIS 12 voorafgaand aan de maximale landijsuitbreiding van de Fennoscandische Elsterglaciatie.
- 2 Een tijdsgrens voor een onderverdeling binnen het vroeg Midden-Pleistoceen in een deel A en een deel B en geplaatst op het wereldwijde gemiddelde van 620 ka (terminatie VII) voor de deglaciatiefase van MIS 16 naar MIS 15. De bewijzen voor een grensniveau overeenkomend met MIS 16/15 kunnen alleen in Oost-Europa goed onderbouwd worden. De Fennoscandische Donien landijsuitbreiding in dit gebied is tijdsequivalent aan de Borisoglebsk lösscyclus op de Russische Vlakte (RP) en aan de Midden-Europese löss H cyclus. Extrapolatie van de positie van de *Mimomys-Arvicola* grens, gecombineerd met regionale gidslagen en dateringen van Oost-Eifel vulkanische aslagen, rechtvaardigen ook het toepassen van dit grensniveau in Noordwest Europa. De *Mimomys-Arvicola* grens bevindt zich in de tweede piek (a) van de warme periode overeenkomend met MIS 15.

Na de bepaling van de 'event'-stratigrafische positie van de groot-schalige sequenties worden de intermediaire, meest lokale, warme tijd-gebeurtenissen in dit continentale, MIS-gekoppelde raamwerk geplaatst:

- Het laat Midden-Pleistoceen (MIS 11-6: 423-128 ka) omvat drie warme perioden, waarvoor de pollensequentie van Lac du Bouchet, die 7 subfasen met bosvegetatievoorkomens binnen deze warme perioden laat zien, als referentie dient. De bosvegetatieoptima uit de Holsteinien meerafzettingen zijn gelijktijdig met die van de MC Praclaux bosvegetatie-assemblage en overeenkomend met MIS 11c (423-ca. 400 ka). De bosvegetatievoorkomens van Pritzwalk in het Noordduitse Noordzee (NG-NS) typegebied, van Reinsdorf in het Subhercynische Bekken (SB), van Kärlich-Seeufer (MR) en Bilshausen in het Thüringer Bekken (TB) zijn in MIS 9 (339-303 ka) te plaatsen, evenals de travertijnvoorkomens in het rivierterras van Bilzingsleben II (TB). De Schöningen bosvegetatie (SB) is in het warme MIS 7 te plaatsen.
- In deel B van het vroeg Midden-Pleistoceen (MIS 15-12: 620-423 ka) komen een aantal zeer warme fasen voor, getuige het voorkomen van uitgesproken bodemcomplexen in verschillende typegebieden in Midden-Europa. Meerafzettingen met twee bosvegetatie-optima, overeenkomend met de subfasen e en a van MIS 15, komen voor in Ferdynandov in het Poolse Vlakte (PP) typegebied en in Muchkap in het Russische Vlakte (RP) typegebied. Mariene transgressies in het Anglo-Nederlandse Noordzee typegebied zijn opgetreden in MIS 13 (Noordbergum, Ostend) en mogelijk ook in MIS 15a (West-Runton).
- Deel A van het vroeg Midden-Pleistoceen (MIS 19-16: 780-620 ka) bevat weinig aanknopingspunten voor duidelijke warme klimaatgebeurtenissen.

Tot slot zijn de 'event'-stratigrafische posities van een aantal Paleolithische vindplaatsen in het raamwerk geïntegreerd. Hieruit kunnen volgende conclusies met betrekking tot de vroegste bewoningsfasen in Noordwest - en Midden-Europa worden getrokken:

- tot op heden zijn er geen overtuigende bewijzen voor bewoning

- voor MIS 16, dit is ca. 600.000 jaar geleden (zie naschrift over de Pakefield site),
- de 'event' stratigrafische positie van de oudste vindplaatsen in het vroeg Midden-Pleistoceen, gelegen langs de kusten van de Krijtgebieden in West-Europa, komen overeen met MIS 15 tot en met MIS 13, tussen 600.000 – 480.000 jaar geleden,
 - aanwijzingen voor de eerste menselijke bewoning in het laat Midden-Pleistoceen en tijdsequivalent aan MIS 11, tussen 420.000 – 360.000 jaar geleden, zijn alleen in Engeland (en Noord-Frankrijk) aangetroffen,
 - een volgende bewoningsfase, vanuit het zuidoosten van Europa, volgt in de tweede warme periode met een bosvegetatie na de Fennoscandische Elsterien/Britse Anglian glaciatie: in MIS 9, tussen 340.000 – 300.000 jaar geleden,
 - een laatste groep laat Midden-Pleistocene Paleolithische vindplaatsen kan zonder twijfel geplaatst worden in de warme periode overeenkomend met MIS 7 en het eerste deel van MIS 6, tussen 250.000 en 160.000 jaar geleden.

Deze conclusies ondersteunen goeddeels de zogenaamde 'korte chronologie'-theorie, zoals door Roebroeks en van Kolfschoten in 1995 is geïntroduceerd. Deze theorie behelst dat noordelijk Europa, op grond van de tot nu toe gevonden artefacten en bewoningsstructuren, niet voor 500.000 jaar geleden bewoond is geweest, ondanks vele claims voor vroegere bewoning. Uit de stratigrafische analyse in dit proefschrift blijkt dat de ondergrens voor de 'korte chronologie' op maximaal 600.000 jaar (= MIS 15) moet worden gesteld.

¹ *Op de laatste 10.000 jaar na, het Holoceen, bestaat het Kwartair geheel uit het Pleistoceen. Beide termen worden daarom veelvuldig als synoniemen gebruikt.*

² *Dit geldt in ieder geval buiten de ¹⁴C-dateringslimiet van ongeveer 40.000-50.000 jaar.*

³ *De periode tussen ongeveer 780.000 jaar en 130.000 jaar geleden.*

⁴ *De relatief korte perioden van een ¹⁸O-isotopenmaximum naar een ¹⁸O-minimum als gevolg van het snel smelten van de ijskappen.*

⁵ *Relatief ten opzichte van de huidige klimaatcondities.*

⁶ *Grenzen tussen dikke lösslagen en bodemcomplexen met aan de basis een Bt-type horizon.*

