

# Samenvatting

## Inleiding

In de ondergrond van het Zuid-, Midden- en West-Nederland komen op uitgebreide schaal dikke sedimentpakketten voor die tijdens het Laat-Pliocen en Vroeg-Pleistoceen (ca. drie tot één miljoen jaar geleden) zijn afgezet door Rijn, Maas en rivieren die vanuit België komen.

In Noord- en Midden-Nederland zet de Eridanos, een nu niet meer bestaand riviersysteem, in diezelfde periode sediment af. Dit riviersysteem had zijn oorsprong in het Baltische gebied.

De in de Nederlandse ondergrond aanwezige sedimenten vormen een waardevol geologisch archief waarin het complexe samenspel tussen fluviatiele en mariene processen, bodembewegingen, klimaatveranderingen en de opheffing van het achterland besloten ligt. Het is één van de redenen waarom er al ruim een eeuw lang geologisch onderzoek naar de Pliocene en Pleistocene afzettingen plaatsvindt. Vooral het onderzoek aan de afzettingen van Rijn en Maas spelen een belangrijke rol in de ontwikkeling van concepten over de sedimentaire ontwikkeling tijdens het Pliocen en Pleistoceen en de daarmee samenhangende stratigrafische onderverdelingen. Het archief van de ondergrond vormt echter geen continue registratie van die periode. Actieve sedimentatie wordt afgewisseld door perioden waarin nauwelijks sediment gevormd wordt of waarin erosie overheerst. Oorzaken daarvoor zijn: de complexe tectonische structuur van de ondergrond, de ligging van Nederland nabij het scharnierpunt van het dalende Noordzeebekken, de met regelmaat voorkomende veranderingen van het klimaat en de eigen dynamiek van de fluviatiele processen. Het gevolg daarvan is dat de bewaard gebleven sedimentaire opeenvolging in de ondergrond slechts delen van de geologische tijd representeert en dat er tussen de verschillende sedimentpakketten een groot aantal in tijd en ruimte variërende hiaten voorkomen.

De concepten die in de afgelopen eeuw ontwikkeld zijn om gesteente-eenheden (lithostratigrafie) en tijdsperiodes (chronostratigrafie) voor het Laat-Pliocen en Vroeg-Pleistoceen in te delen, zijn vooral gebaseerd op de gecombineerde resultaten van paleontologisch onderzoek (m.n. macroresten van planten, pollen, fossiele resten van kleine en grote zoogdieren en van schelpdieren) en sediment-petrografische studies (analyse van zware mineralen en grind). Daarbij werd al in een vroeg stadium duidelijk dat de fluviatiele afzettingen in Zuid-Nederland signalen van klimaatveranderingen bevatten. Het onderzoek aan macroresten van planten (o.a. bladeren en zaden) en fossiele stuifmeelkorrels speelt daarbij een hoofdrol omdat de resultaten ervan gebruikt worden voor de reconstructie van fossiele vegetaties. Vooral de uitkomsten van het palynologisch onderzoek zijn daarbij direct vertaald naar de relatie tussen vegetatieontwikkeling en klimaatveranderingen. Zo is het temperatuurverloop voor het Laat-Pliocen en Pleistoceen gereconstrueerd met behulp van pollengegevens. Uit de later ontwikkelde methode voor analyse van zuurstofisotopen van foraminiferen in diepzee sedimenten blijkt echter dat het klimaat aanzienlijk meer fluctuaties vertoont. De in dit verband lagere resolutie van de pollenanalytische gegevens is opvallend. Eén van de verklaringen daarvoor is het van nature sterk fragmentarische karakter van de fluviatiele afzettingen. Dat verschijnsel is over het algemeen onderschat in eerder uitgevoerde studies. Uiteindelijk hebben de resultaten van de verschillende stratigrafisch georiënteerde onderzoeken geleid tot een mengeling van bio-, chrono- en lithostratigrafische criteria. Een ontwikkeling die in de praktische uitvoering bij de kartering van Kwartaire afzettingen, ook in omliggende landen, veelvuldig voorkomt. Om de daaruit voortvloeiende problemen te kunnen oplossen is het noodzakelijk de lithostratigrafische eenheden van de Boven-Pliocene en Vroeg-Pleistocene afzettingen te herdefiniëren.

Daarnaast is het wenselijk om de sedimentologische aspecten van de referentiesecties voor enkele Vroeg-Pleistocene chronostratigrafische etages te evalueren. Deze studie is bedoeld om daar een bijdrage aan te leveren. De drie hoofddoelstellingen van het onderzoek zijn:

- De herziening van de lithostratigrafische indelingen en de onderlinge relaties tussen de Onder-Pleistocene fluviatiele afzettingen van Rijn, Maas en van rivieren die in België hun oorsprong hebben.
- Een evaluatie van de sedimentologische ontwikkeling van de Onder-Pleistocene fluviatiele afzettingen die de referentiesecties vormen voor de op pollenonderzoek gebaseerde onderverdeling van het Vroeg-Pleistoceen.
- Het geven van een overzicht van de fluviatiele geschiedenis die vooral gebaseerd is op de lithostratigrafische samenhang van de Boven-Pliocene en Onder-Pleistocene fluviatiele en mariene afzettingen.

Het belangrijkste studiegebied bevindt zich in het zuidelijk deel van Nederland dat structureel geologisch de voortzetting vormt van de Nederrijnse Laagvlakte in Duitsland. Dit overwegend dalende gebied vormt de meest zuidoostelijke uitbreiding van het Noordzeebekken. Dit gebied maakt deel uit van het West-Europese Rift-systeem dat zich in Nederland voortzet in twee

tektonisch gedefinieerde hoofdstructuren: de dalende Roerdalslenk en het Peel Blok. Deze laatste daalt minder sterk en is doorsneden met een groot aantal van zuidoost naar noordwest lopende breuken.

### **Lithostratigrafie**

De Boven-Pliocene en Onder-Pleistocene afzettingen in Nederland zijn ontstaan door de interactie van vier belangrijke riviersystemen. Drie daarvan overheersen de fluviatiele ontwikkeling in het zuidelijk deel van Nederland: de Rijn, de Maas en de rivieren die de afwatering van het centrale en noordelijk deel van België verzorgen. De Eridanos is het vierde riviersysteem dat vooral in Noord- en Midden-Nederland actief is geweest. In het midden van Nederland komen inschakelingen van afzettingen van Rijn en Maas voor tussen afzettingen van de Eridanos.

Drie hoofdcriteria (lithologie, stratigrafische positie en de herkomst van het sediment) maken het mogelijk om de Pliocene en Onder-Pleistocene fluviatiele afzettingen in het zuidelijk deel van Nederland in drie lithostratigrafisch gedefinieerde formaties te benoemen.

Vergeleken met eerder gemaakte lithostratigrafische schema's van deze fluviatiele en estuariene afzettingen bestaat de meest opvallende verandering uit het invoeren van twee nieuwe formaties, namelijk: de Formatie van Waalre en de Formatie van Stramproy.

De Formatie van Waalre bestaat uit afzettingen van Rijn en Maas die stroomafwaarts van het punt waar beide rivieren samenvloeien zijn afgezet. De zware mineralen samenstelling van deze eenheid wordt gekenmerkt door instabiele associaties met onder meer granaat, epidoot, saussuriet/alteriet en hoornblend.

De Formatie van Stramproy omvat alle afzettingen die gevormd zijn door in noordwaartse richting stromende rivieren uit het centrale en noordelijke deel van België. De zware mineralen samenstelling bestaat overwegend uit stabiele zware mineralen, zoals: toermalijn, stauroliet, zirkoon, metamorfe mineralen en andere stabiele (moeilijk verweerbare) mineralen.

De onder- en bovengrens van beide formaties bestaat uit regionaal wijdverspreide en goed herkenbare stratigrafische horizonten. De ondergrens wordt gevormd door de Laag van Reuver, een kleilaag die voorkomt aan de bovenkant van de Kiezeloöliet Formatie. De bovengrens van de formaties van Waalre en Stramproy wordt gemarkeerd door de grofkorrelige, grindhoudende basis van de Formatie van Sterksel.

De Kiezeloöliet Formatie blijft voor het grootste deel onveranderd. Deze formatie bestaat uit Pliocene rivierafzettingen en ligt stratigrafisch onder de nieuw gedefinieerde formaties. Uitzondering daarop vormen de recentelijk in Duitsland beschreven Oebel Beds. Deze afzettingen hebben, in tegenstelling tot die van de Kiezeloöliet Formatie, een instabiele zware mineralen inhoud en zijn duidelijk als een aparte eenheid te herkennen. De opvallende verandering van de zware mineralen inhoud is het gevolg van de vergroting van het stroomgebied van de Rijn naar het zuiden van Duitsland en de Alpen. Het onderste deel van de Formatie van Waalre in Nederland vormt de voortzetting van de Oebel Beds en wordt aangeduid als subeenheid WA-1. Op die subeenheid worden in de Roerdalslenk nog twee subeenheden van de Formatie van Waalre onderscheiden, respectievelijk aangeduid als subeenheid WA-2 en WA-3. Vooral langs de zuidelijke verbredingsgrens van de Formatie van Waalre komen herhaaldelijk inschakelingen voor van afzettingen van de Formatie van Stramproy. Dat wijst erop dat zowel de Belgische rivieren als het Rijn-Maassysteem tegelijkertijd in het gebied actief zijn geweest. Omdat Rijn en Maas veel grotere hoeveelheden sediment vervoeren dan de Belgische rivieren verliezen de afzettingen van deze rivieren al snel na de samenvloeiing met het Rijn-Maassysteem hun specifieke lithologische kenmerken. Dat is een belangrijke waarneming omdat het aangeeft dat de afzettingen van de Formatie van Stramproy alleen als aparte afzettingen gekarteerd kunnen worden wanneer ze niet vermengd zijn met die van het Rijn-Maassysteem. Het betekent ook dat de aanwezigheid van afzettingen van de Formatie van Stramproy op bepaalde intervallen in de Onder-Pleistocene fluviatiele sedimenten van de Roerdalslenk erop wijst dat Rijn en Maas op die momenten geen afzettingen in het gebied hebben gevormd. Dit kan óf het gevolg zijn van een periode waarin Rijn en Maas alleen maar sediment naar zee doorvoerden óf van een verlegging van de belangrijkste stroomgordels van het Rijn-Maassysteem naar posities buiten de Roerdalslenk.

De Formatie van Waalre bestaat voor het merendeel uit een opeenstapeling van voor riviersedimenten kenmerkende grof-fijn cycli. Dergelijke cycli bestaan uit een sedimentpakket met een van onder naar boven toe afnemende korrelgrootte. Het bovenste deel van de grof-fijn cycli bestaat meestal uit klei. Het grove materiaal van het basale deel is vooral in riviergeulen en stroomgordels afgezet. De klei aan de bovenkant van de grof-fijn cycli is hoofdzakelijk in de komgebieden van de riviervlakte gevormd. Een lithostratigrafische onderverdeling van de Formatie van Waalre, gebaseerd op in de afzettingen aanwezige grof-fijn cycli, is over het algemeen niet mogelijk en overschrijdt de resolutie van de lithostratigrafische classificatie. Daarvoor zijn twee belangrijke redenen te noemen. In de eerste plaats omdat al het sediment van de formatie, dat aangevoerd is door hetzelfde riviersysteem, uniforme sediment-petrografische kenmerken heeft. In de tweede plaats omdat de lithologische verschillen die

binnen de formatie voorkomen niet overeenkomen met definieerbare en karteerbare lithostratigrafische niveaus maar met faciesverdelingen. Vergelijkbare oorzaken beperken de mogelijkheden voor een lithostratigrafische onderverdeling van de Formatie van Stramproy.

Zowel de Formatie van Stramproy als de Formatie van Waalre hebben in West- en Zuidwest-Nederland uitgebreide arealen met estuariene afzettingen die zeewaarts geleidelijk overgaan in de mariene afzettingen van de Formatie van Maassluis. Het complexe patroon van mariene, estuariene en fluviaatiele afzettingen in de ondergrond van deze gebieden wijst erop dat de ontwikkeling ervan beïnvloed is door Vroeg-Pleistocene zeespiegelbewegingen.

Regionale verschillen in de opbouw van de ondergrond kunnen op relatief eenvoudige wijze verduidelijkt worden door lokaal of regionaal op te stellen lithostratigrafische schema's. Dergelijke schema's geven op regionale schaal informatie over de stratigrafische positie, dikte en de ruimtelijke samenhang van de onderscheiden afzettingen. De lithostratigrafische eenheden zelf vormen de basale bouwstenen voor het samenstellen van ondergrondmodellen en dragen bij tot het ontrafelen van de geologische geschiedenis.

#### **Sedimentologische en pollenanalytische karakteristieken van Vroeg-Pleistocene referentie secties.**

Kleilagen uit het Laat-Pliocene en Vroeg-Pleistoceen komen voor op het Peel Blok ten zuiden van Venlo en zijn daar ontsloten in verschillende groeves. Ze vormen de referentiesecties van enkele op palynologisch onderzoek gebaseerde etages en substages (chronostratigrafische eenheden) uit de betreffende periode.

In deze studie is vooral aandacht besteed aan de referentiesecties van het Tiglien en Ebouronien uit de groeves bij Tegelen en Maalbeek. De Onder-Pleistocene rivierafzettingen in deze groeves behoren tot de Formatie van Waalre. De afzettingen van deze formatie bestaan hier uit een basaal deel met grof zand en grind dat naar boven toe fijnkorrelig wordt en gaat over in een, plaatselijk 10 meter dik pakket, rivierklei. In deze kleilagen worden drie facies typen onderscheiden.

Het meest voorkomende facies type bestaat uit 8 à 9 m dikke pakketten komklei waarin naast niveaus met beginnende bodemvorming lokaal dunne veenlagen voorkomen.

Het tweede facies type bestaat uit sterk gelaagde, ongeveer 10 m dikke, afzettingen van klei die ontstaan zijn in verlaten riviergeulen.

Daarnaast komen crevasse- en oeverwalafzettingen voor die gekenmerkt worden door de op korte afstand sterk wisselende lithologische samenstelling.

Alle faciestypen zijn nauw aan elkaar verwant en gaan vaak geleidelijk in elkaar over. Alleen de met klei opgevulde geulen kunnen wel een goed herkenbare laagscheiding hebben. Het gezamenlijke patroon van de aanwezige faciestypen in de kleiige afzettingen aan de bovenzijde van de Formatie van Waalre in het gebied van Tegelen en Maalbeek weerspiegelt het eindstadium van de hier bewaard gebleven opeenvolging van Onder-Pleistocene rivierafzettingen.

Nieuwe en bestaande pollenanalytische gegevens van de groeves Maalbeek, Laumans en Russel-Tiglia-Egypte zijn beoordeeld tegen de achtergrond van de facies ontwikkeling en de lithostratigrafische positie van de onderzochte afzettingen.

Pollenanalytisch onderzoek aan de kleiige afzettingen van de groeve Maalbeek hebben aangetoond dat de aanwezige pollenassociaties in de ontsloten kleipakketten in drie groepen kunnen worden onderverdeeld. Die groepen komen overeen met de drie voor het Tiglien karakteristieke pollenzones, respectievelijk pollenzone T-A, T-B en T-C.

Pollenzone T-A wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van pollen van *Fagus* (beuk). De zone is aangetroffen in het onderste deel van het pakket komklei dat in Maalbeek aanwezig is. Het bovenste deel van dit pakket komklei heeft een pollenassociatie met hoge waarde voor pollen van kruiden (o.a. met *Artemisia* en *Ericaceae*) en lage waarden voor boompollen. Een pollenassociatie die karakteristiek is voor pollenzone T-B.

Het pakket met komklei wordt aangesneden door een geul die opgevuld is met een sterk gelaagde klei die deels ook over de komklei is afgezet. De gelaagde klei is afgezet in een verlaten meanderboog. De in de geulklei aanwezige pollenassociatie bevat onder andere pollen van *Pterocarya* (vleugelnoot boom) en komt overeen met pollen zone T-C.

Het geulsediment is afgedekt door crevasse-afzettingen die eveneens een polleninhoud hebben die overeenkomt met pollen zone T-C.

Deze observaties betekenen dat de drie bekende pollenzones van het Tiglien gezamenlijk voorkomen in het pakket rivierklei aan de bovenkant van de Formatie van Waalre in de groeve Maalbeek. Onduidelijk blijft of de drie pollenzones elk afzonderlijk behoren tot één van de eerder onderscheiden, chronostratigrafisch langdurende, onder-etages van het Tiglien, respectievelijk het

'Tiglien A', 'Tiglien B' en 'Tiglien C'. Een dergelijke rechtstreekse koppeling van de pollenanalytische gegevens aan de chronostratigrafische onderverdeling van het Tiglien lijkt onwaarschijnlijk. Het veronderstelt een lange periode voor de vorming van de sedimenten en dat is niet in overeenstemming met de sedimentaire architectuur van de rivierklei. Ook zijn er geen aanwijzingen voor langdurige onderbrekingen in de sedimentatie als gevolg van non-depositie of erosie.

De extrapolatie van de pollenanalytische resultaten van de relatief dun ontwikkelde opeenvolging van fluviatiele sedimenten uit het gebied van Tegelen en Maalbeek op het Peel Blok naar de 100 m dikke fluviatiele afzettingen in de Roerdalslenk blijft op veel punten onzeker.

Ten eerste omdat het onderste deel van de Formatie van Waalre in de Roerdalslenk, dat vroeger als 'Tiglien A' werd geïnterpreteerd, nu overeen blijkt te komen met de tijdens de Laat-Plioceen gevormde subeenheid WA-1 van de Formatie van Waalre. Deze subeenheid vormt de voortzetting van de tijdens het Laat-Plioceen gevormde Oebel Beds in Duitsland. Een tweede discussiepunt vormt de afzettingen met pollenzone T-B in Maalbeek. In vroegere interpretaties werd dit deel van het pakket komklei in Maalbeek tot een deel van het Eburonien gerekend. Dat is de etage die volgt op het Tiglien. Die interpretatie is echter niet langer houdbaar nu gebleken is dat pollenzone T-B in Maalbeek onder afzettingen met pollenzone T-C ligt. Deze waarneming wijst erop dat de komklei van Maalbeek ouder is dan eerder is aangenomen. Deze conclusie is overigens in overeenstemming met de vondsten van kiezen van *Anancus arvernensis* (bos olifant) en van *Tapirus arvernensis* (tapir) in de kleilagen van Maalbeek. Beide zoogdiersoorten zijn in NW-Europa uitgestorven in het Pretiglien of vroegste deel van het Tiglien.

Daarnaast is het problematisch om het 'Tiglien B' deel, zoals dat in de jaren zestig van de vorige eeuw in de Onder-Pleistocene rivierafzettingen van de Roerdalslenk is onderscheiden, op een eenduidige wijze met pollenzone T-B van Maalbeek te correleren. De betreffende afzettingen in de Roerdalslenk bestaan uit materiaal van de Formatie van Stramproy en weerspiegelen vooral een verandering van de sedimentherkomst (door Belgische rivieren i.p.v. door het Rijn-Maassysteem aangevoerd). Het 'Tiglien B' is over het algemeen zwak gedefinieerd en mede daarom kan er geen positieve chronostratigrafische correlatie gemaakt worden tussen de afzettingen van pollen zone T-B in het gebied van Tegelen en Maalbeek met overeenkomstige afzettingen in de Roerdalslenk.

De pollenanalytische gegevens van de afzettingen in Maalbeek bevatten weliswaar signalen van klimaatveranderingen maar zijn voor een belangrijk deel ook bepaald door de lokale omstandigheden van het afzettingmilieu. Als gevolg daarvan zijn de signalen van (supra)regionale klimaatveranderingen vaak moeilijk rechtstreeks uit de pollenanalytische gegevens van deze Onder-Pleistocene rivierafzettingen vast te stellen.

De pollenassociaties van het pakket komklei in de groeve Laumans worden kenmerkt door de dominantie van pollen van den en spar. Over het algemeen worden dergelijke associaties geïnterpreteerd als onderdeel van de laatste fase uit het 'Tiglien C' (pollenzones T-C5 en T-C6). Dergelijke combinaties komen echter veel voor in Onder-Pleistocene afzettingen en kunnen moeilijk aan een specifiek glaciaal-interglaciaal worden toegeschreven. Daarnaast is het van belang om op te merken dat in een deel van de afzettingen in de groeve Laumans weinig tot geen pollen voorkomen en dat veel van de palynomorfen door corrosie zijn aangetast. De oorzaak daarvan is te zoeken in de geochemische processen die samenhangen met de oxidatie van sideriet en andere ijzerverbindingen die na de afzetting van het sediment hebben plaatsgevonden. In de groeve Laumans zijn met die processen samenhangende verschijnselen op uitgebreide schaal waargenomen.

Uit de karterresultaten van het gebied blijkt dat de kleilagen, in het bovenste deel van de Formatie van Waalre, in de groeves Laumans, Maalbeek en Russel-Tiglia-Egypte eenzelfde lithostratigrafische positie hebben.

De sedimentaire ontwikkeling van de afzettingen in de klassieke typesectie van het 'Tiglien C', de groeve Russel-Tiglia-Egypte, is nauw verwant aan die in de andere locaties bij Tegelen en Maalbeek. In deze sinds de jaren zestig van de vorige eeuw verlaten groeve, worden drie facieseenheden in de rivierkleiafzettingen aan de bovenkant van de Formatie van Waalre onderscheiden. Het onderste deel bestaat hier uit een sterk gelaagd pakket klei dat afgezet is een verlaten meanderboog. Op deze gelaagde klei ligt een complex van crevasse- en oeverwalafzettingen die naar boven toe overgaat in een komklei met twee relatief dunne veenlagen.

De bijna continue aanwezigheid van pollen van *Pterocarya* in de afzettingen van Russel-Tiglia-Egypte is karakteristiek voor pollenzone T-C. Het gedetailleerde pollendiagram van de gehele sectie is onderverdeeld in een groot aantal subzones. Van onder naar boven laat het pollendiagram een geleidelijke afname van het aantal boompollen zien. Dat kan als een indicatie zijn voor een koeler wordend klimaat. Vooral in de komklei aan de bovenkant van de sectie loopt het aandeel pollen van bomen sterk terug. Deze ontwikkeling weerspiegelt echter ook de lokale verandering van het milieu. Zo is de bovenste komklei afgezet in een nat milieu, mogelijk met open water, waarin grassen en zeggen de belangrijkste elementen van de veenvormende vegetaties vormen.

Het pollendiagram van Russel-Tiglia-Egypte is ook bekend vanwege de koude fase die aangeduid wordt als pollenzone T-C4<sup>c</sup>. Deze pollenzone komt voor aan de basis van de crevasse-afzettingen en heeft een pollenarm deel in de onderste zandlaag van deze sedimenten. Deze onderste zandlaag, die slechts een tiental centimeter dik is, vormt waarschijnlijk de aanzet van het crevasse-proces in de bijna opgevulde meanderboog. Het niveau kan daarom moeilijk gezien worden als een indicatie van non-depositie tijdens een periode met koude klimatologische omstandigheden.

Op basis van bovengenoemde observaties kan gesteld worden dat de extrapolatie van de bekende pollenzones, zoals gevonden in de bovenste kleilagen van de Formatie van Waalre in het gebied van Tegelen en Maalbeek, naar langdurende (supra)regionale chronostratigrafische etages en substages niet langer houdbaar is. Daar komt bij dat een éénduidige, op pollen gebaseerde correlatie van Tegelen en Maalbeek op het Peel Blok naar de Onder-Pleistocene rivierafzettingen in de Roerdalslenk' nog steeds problematisch is. Samenvattend wordt geconcludeerd dat de opschaling van de pollengegevens, die afkomstig zijn uit de fragmentarisch bewaard gebleven Onder-Pleistocene rivierafzettingen, naar gedetailleerde chronostratigrafische indelingen de resolutie van de pollenanalytische methode overschrijdt.

### **Rivierontwikkeling**

De geschiedenis van de rivierontwikkeling tijdens het Laat-Pliocéen en Vroeg-Pleistoceen in Nederland en het zuidelijke deel van het Noordzeebekken is bepaald door het samenspel van vier riviersystemen. In Zuid-Nederland wordt de sedimentatie beheerst door de Rijn, de Maas en de noordwaarts stromende rivieren uit België. Het fluvio-deltaïsche systeem van de Eridanos domineert de sedimentatie in Noord- en Midden-Nederland. Door duidelijke verschillen in de lithologische en sediment-petrografische samenstelling kunnen de sedimenten van deze vier riviersystemen afzonderlijk gekarteerd worden. Zodra twee rivieren samenvloeien dan verdwijnen al snel de gesteentekenners van het kleinste systeem.

De onderlinge relaties tussen de door de vier riviersystemen afgezette sedimentpakketten komen tot uiting in het toegepaste lithostratigrafische raamwerk en de resultaten van de regionale karteringen. Gezamenlijk vormen ze de sleutel voor het ontrafelen van de rivierontwikkeling in het gebied.

De belangrijkste trend in de ontwikkeling van de riviersystemen is de voordurend naar het noordwesten georiënteerde uitbreiding van de fluviatiele invloedssfeer. Deze is al tijdens het einde van het Mioceen in de Nederrijnse Laagvlakte begonnen. Tegen het einde van het Pliocéen is het Rijn-Maassysteem (Kiezeloöliet Formatie) al dominant aanwezig in een groot deel van zuidoostelijk Nederland (m.n. op het Peel Blok en in de Roerdalslenk). Bovendien is de eerste invloed van het Eridanosstelsel merkbaar in het uiterste noordoosten van Nederland. Overigens ligt het grootste deel van Nederland, tijdens de overgang van het Pliocéen naar het Pleistoceen, nog in de mariene invloedssfeer (Formatie van Maassluis). In de loop van het Vroeg-Pleistoceen zet de naar het noordwesten georiënteerde uitbreiding van het gebied met fluviatiele sedimentatie door. Tegen het einde van die periode bevindt de overgang naar het gebied met mariene afzettingen zich in het centrale noordelijke deel van de Noordzee. De noordwestwaarts gerichte terugtrekking van de kustlijn over deze lange periode is echter geen uniform proces dat in één richting verloopt. Het overgangsgebied tussen de mariene en fluviatiele invloedssfeer verschuift daarbij regelmatig in zuidoostelijke en dan weer in noordwestelijke richting. Deze migraties van de kustzone zijn het gevolg van veelvuldig voorkomende, relatief kortdurende, zeespiegelbewegingen in het Vroeg-Pleistoceen. Daarnaast beïnvloeden regionale tektonische bewegingen in de Nederrijnse laagvlakte en de aangrenzende gebieden in Nederland de positie van de hoofdafvoerwegen van het Rijn-Maassysteem.

Tijdens het Pliocéen komen Rijn en Maas samen in het Duitse deel van de Roerdalslenk (Rurscholle) ten noorden van Aken. Benedenstrooms van dit punt behoren de gezamenlijke afzettingen van beide rivieren tot de Kiezeloöliet Formatie die voorkomt in de Roerdalslenk en op het Peel Blok. De bijdrage van de uit België komende rivieren aan de Kiezeloöliet Formatie is niet precies bekend omdat de afzettingen daarvan niet apart onderscheiden kunnen worden van die van Rijn en Maas.

Gedurende het Laat-Pliocéen vindt de afvoer van de Rijn langs drie hoofdtakken plaats. De meest zuidelijk rivierloop ligt in de Roerdalslenk, een tweede hoofdtak loopt via het Venlo Blok en het Peel Blok. Een derde hoofdtak ligt in het meest oostelijk deel van de Nederrijnse Laagvlakte bevindt. Al in het begin van het Vroeg-Pleistoceen verschuift, waarschijnlijk als gevolg van bodembewegingen, de zuidelijk Rijntak van het Erft Blok in de Nederrijnse Laagvlakte naar het Venlo Blok. Als reactie daarop kan de Maas, die nog door het dal van de Oostmaas stroomt, sediment afzetten (Formatie van Holzweiler) in het in Duitsland gelegen deel van de Roerdalslenk (Rurscholle) en vervolgens ook op het Venlo Blok. Door dit proces kan de Rijn geen sediment meer afzetten in het zuidelijk deel van de op Nederlands grondgebied liggende Roerdalslenk. De daar ontstane accommodatieruimte wordt vervolgens opgevuld met een 100 m dik sedimentpakket dat door de Belgische rivieren wordt aangevoerd (Formatie van Stramproy). Deze situatie duurt voort tot het einde van het Vroeg-Pleistoceen

De Rijn volgt in dezelfde periode een route over het Peel Blok naar het noordelijk deel van de Roerdalslenk in Nederland. Daarnaast heeft de Rijn nog een afvoerroute in het oostelijke deel van de Nederrijnse Laagvlakte die zich voortzet in het midden van Nederland.

In het noordelijk deel van de Roerdalslenk (het gebied ten noorden van Eindhoven) en in het westen van Noord-Brabant gaat de fluviaale sedimentatie van het Rijn-Maassysteem geleidelijk over in estuariene en door het getij beïnvloede afzettingmilieus. De kleipakketten aan de bovenkant van de Formatie van Waalre, die voorkomen in de Roerdalslenk en in West-Brabant, zijn afgezet in uitgestrekte komgebieden van het Rijn-Maassysteem. Het is waarschijnlijk dat deze komgebieden gevoed worden door geulen vanuit stroomgordels die in het midden van Nederland, ongeveer op de positie van het huidige rivierengebied, liggen. In West en Midden-Nederland vormen de afzettingen van Rijn en Maas een aantal malen inschakelingen in het pakket sediment dat door de Eridanos (Formatie van Peize) is gevormd. Maar als beide riviersystemen echt samenstromen dan verliezen de afzettingen van Rijn en Maas al snel hun karakteristieke gesteentekennmerken omdat die weggedrukt worden door de veel grotere sedimentaanvoer van de Eridanos. Dit Baltische riviersysteem vertoont een belangrijke zuidwestwaarts gerichte uitbreiding tijdens de loop van het Vroeg-Pleistoceen maar trekt zich in het jongere deel van het Vroeg-Pleistoceen steeds verder terug naar het centrale deel van de Noordzee. In Midden-Nederland kan het Rijn-Maassysteem nog een herkenbare laag sediment afzetten op de Formatie van Peize.

Gedurende het Vroeg-Pleistoceen verschuift het voornaamste afzettingsgebied van het Rijn-Maassysteem steeds meer naar Midden-Nederland en Noord-Holland. Als gevolg daarvan kunnen de Belgische rivieren in grote delen van Zuid- en West-Nederland sediment afzetten op de al eerder gevormde Rijn-Maas afzettingen.

De vorming van fluviaale afzettingen in de Nederrijnse Laagvlakte en Nederland wordt gekenmerkt door een lage verhouding tussen accommodatieruimte en aanvoer van sediment. Het gevolg daarvan is dat het grootste deel van de door het Rijn-Maassysteem aangevoerde sediment Nederland passeert en meer noordwaarts in het Noordzebekken wordt afgezet. De Roerdalslenk vormt een tijdelijke uitzondering op deze algemene trend. Daar is, als gevolg van de min of meer continue bodemdaling, een relatief dik pakket van Vroeg-Pleistocene rivier afzettingen bewaard gebleven.

De benedenloop van het Rijn-Maassysteem en de voortzetting ervan in de (paleo)kustvlakte is sterk beïnvloed door klimaatgestuurde zeespiegelbewegingen. Als gevolg daarvan is de regionale erosiebasis van het riviersysteem herhaaldelijk gewijzigd en is er vooral in perioden met een lage zeespiegel erosie opgetreden in het stroomafwaartse deel van de rivier. Daartegenover staat dat afzetting van fijnkorrelig sediment (o.a. klei in komgebieden) overheerst tijdens perioden met relatief hoge zeespiegelstanden. De veranderingen van het zeeniveau hangen zeer waarschijnlijk samen met de in het Vroeg-Pleistoceen veelvuldig voorkomende klimaatveranderingen. Het is echter onzeker of de respons van het riviersysteem op deze veranderingen in de bewaard gebleven riviersedimenten eenzelfde cyclisch patroon als de klimaatsveranderingen laat zien.

Verandering van de erosiebasis beïnvloedt vooral de benedenloop van het riviersysteem. Tijdens perioden met lage zeespiegelstand ligt het Rijn-Maassysteem echter in het centrale deel van Nederland ver stroomopwaarts van de kustzone. De eigen dynamiek van de fluviaale processen heeft dan een dominante rol op het riviergedrag en dat heeft tot gevolg dat externe invloeden op het riviergedrag vaak minder goed in de afzettingen zijn vastgelegd.

De in Nederland bewaard gebleven Onder-Pleistocene rivierafzettingen zijn fragmentarisch en slechts representatief voor korte episodes uit de relatief lange geologisch periode waarin ze ontstaan zijn. Niettemin vormt het raamwerk, dat geschetst is voor de ontwikkeling van het Rijn-Maassysteem in Nederland tijdens het Vroeg-Pleistoceen, een goede basis voor de verklaring van de regionale paleogeografische ontwikkeling.