

Hoofdstuk 1: Introductie

Het hoofddoel van deze studie als onderdeel van het grotere 'Finding the limits of the *limes*' project is het analyseren en reconstrueren van het cultuurlandschap van het Nederlandse *limes*gebied, in het bijzonder kijkende naar de site- en nederzettingpatronen, transportnetwerken en hun wederzijdse relatie met de natuurlijke omgeving.

Allereest moet het natuurlijke landschap precies in kaart zijn gebracht, om de ruimtelijke ontwikkelingen en patronen van het cultuurlandschap in relatie tot het natuurlijke landschap beter te begrijpen. Omdat het huidige project focust op zowel de Cananefaatse als de Bataafse *civitas*, is het eerste doel het uitbreiden van de bestaande reconstructies van het natuurlijke landschap over het gehele Nederlandse *limes*gebied. Echter bestaat er vanuit een methodologisch perspectief de bezorgdheid dat er impliciete en soms expliciete onzekerheden zitten in elke paleogeografische reconstructie. Een secundair doel is daarom zorg te dragen dat deze onzekerheden duidelijk en definieerbaar worden, en mogelijk om de invloed van deze onzekerheden in latere analyses te testen.

Een tweede doel van deze thesis is de reconstructie en analyse van transportnetwerken die actief waren in de regio. Daaruit voortvloeiend is het eerste aandachtspunt het kwantificeren en expliciteren van de factoren die transport reguleren, in termen van de actoren, de frequentie, het doel en de modus van transport, zowel als de rol van de natuurlijke omgeving die transport hindert of faciliteert. The resultaten hiervan kunnen gebruikt worden voor de reconstructie van transportnetwerken. De toepassing van netwerkanalyse op dergelijke gemodelleerde transportnetwerken kan ons helpen informatie uit de netwerken te onttrekken met betrekking tot archeologische vraagstukken zoals de hiërarchie van nederzettingen en de rol van individuele sites (zowel nederzettingen als Romeinse militaire sites) in het netwerk, wat vervolgens tegen het licht gehouden kan worden aan de hand van de archeologisch bekende gegevens.

Het derde doel van deze thesis is de analyse van individuele sites in het landschap. Uit de positie die een site inneemt in het landschap kan mogelijk informatie worden onttrokken over de factoren die een rol hebben gespeeld in de locatiekeuze van de site. Om dit te volbrengen, worden de sites eerst onderworpen aan een analyse van de individuele factoren voor locatiekeuze, en vervolgens aan een multivariate analyse. In deze laatste analyse worden alle mogelijke factoren in locatiekeuze tegelijk bekeken, waaruit informatie kan worden herleid met betrekking tot de belangrijkheid van individuele factoren, de onderlinge relatie tussen factoren of de variatie in sitedistributie die verklaard kan worden aan de hand van de geanalyseerde factoren.

Hoofdstuk 2: Natuurlijke paleogeografie

Dit hoofdstuk presenteert het werk dat is gedaan met betrekking tot de natuurlijke paleogeografie van het Nederlandse deel van de Romeinse *limes* binnen het 'Finding the limits of the *limes*' onderzoeksproject. Ten tijde van het begin van het project was nog geen een reconstructie van de natuurlijke paleogeografie van het Nederlandse *limes*gebied beschikbaar die geschikt is voor gedetailleerde kwantitatieve analyses. De enige beschikbare paleogeografische reconstructies voor het gehele onderzoeksgebied zijn te grootschalig voor zulke methoden. Projecten met gedetailleerde paleogeografische reconstructies zijn reeds uitgevoerd voor kleinere gebieden, zoals een project over west-Nederland in het eerste millenium en een project over de Romeinse

limes in het Oude Rijngebied. Het werk uit dit laatstgenoemde project is opgenomen in het huidige onderzoek, en de methodologie van deze reconstructie is toegepast om de paleogeografische kaart uit te breiden over het gehele onderzoeksgebied.

Hoewel gedetailleerde paleogeografische reconstructies beschikbaar waren voor sommige delen van het Nederlandse *limes*gebied, is het analytische potentieel van zulke reconstructies nog niet volledig uitgebuit. De paleogeografische kaart van het Nederlandse *limes*gebied gedurende de Romeinse Tijd in het huidige onderzoek is gemaakt met de intentie om het te gebruiken voor ruimtelijke analyses, zoals het modelleren van routes, netwerkreconstructie, analyse van sitelocatie en modellen van agrarische productie.

Een verdere toevoeging aan dit werk dat tot dusver ondergewaardeerd is gebleven in paleogeografisch onderzoek is de expliciete erkenning van onzekerheid. Bij de paleogeografische reconstructie van het Nederlandse *limes*gebied in dit project is het expliciet maken van deze onzekerheid in het oog gehouden door middel van het ontwikkelen van onzekerheidskaarten en het vermelden van de verschillende bronnen van onzekerheid. Tijdens het gebruik van de paleogeografische kaarten voor ruimtelijke analyses en modelleren is het belangrijk om te weten waar de onzekerheid een rol speelt, omdat dit een invloed kan hebben op de resultaten van het onderzoek.

Hoofdstuk 3: De dataset van archeologische sites

Eén van de belangrijkste componenten van een regionale studie is een betrouwbare dataset van archeologische sites waarop analyses en interpretaties gebaseerd kunnen worden. Dit hoofdstuk presenteert de dataset van archeologische sites die is gebruikt in deze studie.

Het merendeel van de archeologische informatie in Nederland is geregistreerd in de nationale archeologische database ARCHIS, waar het is opgeslagen op het niveau van individuele observaties (in essentie gelijk aan vindplaatsen). Om te komen tot een archeologische site, moet dus een interpretatie gemaakt worden van de observatiegegevens. Eén observatie of meerdere observaties samen vormen in dit onderzoek een site op basis van gedefinieerde criteria. Het eerste criterium is het aantal vondsten in observaties binnen een bepaalde straal, hier gezet op 10. Het tweede criterium is die straal die wordt gebruikt om de observaties tot een site te groeperen, hier gezet op 250 m. Na het definiëren van een site op basis van één of meerdere observaties, is de volgende stap het toekennen van een interpretatie met betrekking tot het karakter van die site. In het algemeen volgt de classificatie van sites in dit project de structuur die is gehanteerd in eerdere studies in het Nederlandse deel van het Romeinse *limes*gebied. Nederzettingen worden onderverdeeld in militaire nederzettingen (inclusief *castra*, militaire kampen, *castella*, wachttorens en ongedefinieerde militaire nederzettingen) en niet-militaire nederzettingen (inclusief grotere civiele nederzettingen, rurale steenbouwnederzettingen en reguliere rurale nederzettingen).

Hoewel aan sommige sites (zoals de opgegraven Romeinse militaire sites) een relatief nauwkeurige datering kan worden toegekend, is voor het merendeel van de sites in de database slechts beperkt informatie beschikbaar op basis waarvan de chronologie kan worden bepaald. In plaats van exacte tijdspannen, werden de sites daarom gedateerd aan de hand van de archeologische perioden die worden gebruikt in de ARCHIS-database. Met deze methodologie kan de kwaliteit en precisie van de datering echter sterk variëren binnen de dataset, wat mogelijk invloed heeft op latere analyses. De chronologische informatie die is geassocieerd met de observaties in de ARCHIS-database is daarom gebruikt om de dateringen van de archeologische sites te herinterpreteren. Hiervoor is een Monte Carlosimulatiemethode toegepast waarin het

aantal vondsten in een periode is berekend per simulatie gebaseerd op aanwezigheidskansen. Gebaseerd op de eerdere aanname dat een site bestaat als er minstens 10 vondsten aanwezig zijn op die locatie, kan de aanwezigheidskans van een site worden bepaald per tijdsperiode op basis van het aantal simulaties waarin 10 of meer vondsten tegelijk bestaan. Deze waarden kunnen worden gebruikt in latere (ruimtelijke analyses), omdat een dataset van sites kan worden geconstrueerd die is gebaseerd op aanwezigheidskansen gedurende een tijdsperiode, in plaats van de originele dataset met chronologische informatie van variërende kwaliteit en precisie.

Hoofdstuk 4: Het karakteriseren van transportsystemen in het Nederlandse deel van de Romeinse *limes*

Eén van de doelen van deze studie is het reconstrueren en analyseren van de transportnetwerken die actief waren in de regio, ten eerste door het identificeren en kwantificeren van de regulerende factoren van transport in het algemeen en de verplaatsing van goederen in het bijzonder. Dit hoofdstuk heeft betrekking op de karakterisatie van transport, in het bijzonder voor het Nederlandse deel van de Romeinse *limes*.

Transport is de subset van beweging of mobiliteit waarin mensen, dieren, goederen of informatie worden getransporteerd tussen twee locaties. Allereerst moet een belangrijk onderscheid gemaakt worden op basis van de schaal van transportbewegingen. Drie samenhangende netwerken kunnen worden onderscheiden: een imperiaal uitwisselingsnetwerk, interprovinciale uitwisselingsnetwerken en regionaal gecentreerde, provinciale uitwisselingsnetwerken. De primaire interesse van deze studie ligt in het transport binnen de grenzen van het onderzoeksgebied, en in het bijzonder transport tussen de lokale en de militaire bevolking. Het eerste niveau hier heeft betrekking op interregionaal transport, waarmee wordt bedoeld de verplaatsing van goederen of personen over grotere afstanden (over de grenzen van de *civitas*), maar nog binnen de regio van het onderzoeksgebied, de Bataafse en Cananefaatse *civitates*. Het tweede niveau betreft het regionale transport, het transport binnen de *civitas*. Het laagste niveau van transport betreft het transport over korte afstanden, het transport op lokale schaal. Een voorbeeld hiervan is het transport van goederen van nederzettingen naar lokale markten, waarvan de meerderheid waarschijnlijk bestaat uit agrarische surplusproductie.

Het doel van transport kan variëren. Onmiddellijk herkenbare doelen zijn transport onder invloed van economische marktwerking, sociale interactie, politieke representatie of militaire acties. Economisch transport, wat normaal gesproken het transport van goederen tussen productie-, markt- en consumptiesites betreft, is waarschijnlijk het meest frequent bestudeerde en meest kwantificeerbare aspect van transport. Een groot deel van de transportbewegingen in het onderzoeksgebied moet waarschijnlijk op zijn minst deels economisch van aard zijn geweest. De integratie van het Nederlandse rivierengebied in het Romeinse Rijk heeft nieuwe lasten opgelegd aan de lokale bevolking, zoals belasting, wat zou kunnen bestaan uit het afstaan van surplusproductie (of mankracht aan het Romeinse leger in de Vroeg-Romeinse Tijd) of in de vorm van geld dat is verkregen uit de verkoop van goederen op lokale markten. De nieuw ontstane economie met voor die tijd ongekende vraag- en aanbodstructuren moet het aantal en de grootte van transportbewegingen hebben vergroot, in het bijzonder het transport van voedingsmiddelen van productiesites naar markt- en consumptiesites.

De militaire en lokale bevolking van de Rijn-Maasdelta hebben een aantal transportmodi tot hun beschikking gehad, elk met specifieke karakteristieken. Deze modi van transport waren ook niet altijd wederzijds exclusief: ze hebben waarschijnlijk gefunctioneerd als onderdeel van een complementair systeem. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van gegevens uit de beschikbare literatuur met betrekking tot de verschillende transportmodi. Voor wat betreft

landtransport, in het bijzonder lokaal transport in het Nederlandse *limes*gebied, is de meest voorkomende transportmethode waarschijnlijk te voet. Transport met behulp van dieren is ook beschikbaar geweest in het Nederlandse deel van de Romeinse *limes*. Dit zal voornamelijk gebruik hebben gemaakt van ossen, omdat paarden niet vaak zijn gebruikt als last- of trekdieren, en muilezels in de regio moeten worden geïmporteerd. Vier verschillende vaartuigen worden behandeld in het overzicht van watertransport, namelijk platbodems, punters, galleien en boomstamboten. Galleien zullen primair als militair vaartuig zijn gebruikt en over punters is weinig bekend omdat er slechts één is gevonden in het Nederlandse rivierengebied. Platbodems zijn het meest iconische type van watertransport in het Nederlandse deel van de Romeinse *limes*, gebruikt voor het bulktransport van zwaar bouwmetaal en lichtere goederen zoals koopwaar. Boomstamboten kunnen daarentegen worden gezien als representatief voor watertransport op lokale schaal. Ze zijn een continuatie van lokale tradities van varen en waren continu in gebruik, zelfs in de aanwezigheid van de grotere platbodems.

Met behulp van de informatie die is gepresenteerd in dit hoofdstuk is het duidelijk geworden dat het begrip over transport in de Romeinse Tijd best goed is voor wat betreft transport dat plaatsvindt op bovenregionale schaal, door de beschikbaarheid van zowel archeologische informatie als geschreven bronnen en een lange onderzoekstraditie. Er is echter veel minder bekend over transport op lokale en regionale schaal, waaronder de interactie tussen de lokale en militaire bevolking in het Nederlandse deel van de Romeinse *limes*. Voor een belangrijk deel is dit het resultaat van het feit dat transport op deze schaalniveaus niet wordt benoemd in geschreven bronnen en zeer weinig sporen in het archeologische bodemarchief achterlaat.

Hoofdstuk 5: Transportverbindingen modelleren

Omdat de interesse van de huidige studie voornamelijk ligt in transport op de lokale schaal in het Nederlandse deel van het Romeinse *limes*gebied (als onderdeel van het complex aan schalen waarop transport kan hebben plaatsgevonden), is er slechts zeer beperkt archeologisch materiaal bruikbaar als gevolg van het immateriële karakter van lokale transportbewegingen. Het gebrek aan vondstmateriaal voor een alledaagse activiteit zoals beweging door een landschap is een bekend fenomeen in archeologie, en reeds sinds enige tijd worden computationele methoden gebruikt om patronen van beweging te bestuderen. De focus van dit hoofdstuk is daarom op de verschillende aspecten van het modelleren van transport in het Nederlandse deel van de Romeinse *limes* met behulp van optimale routeanalyse (*least-cost path analysis*).

De belangrijkste beslissing die moet worden gemaakt tijdens het modelleren van optimale routes voor transport te voet is het bepalen van de kosten die worden meegewogen in de analyse. Van de verschillende functies die beschikbaar zijn voor het berekenen van de kosten van beweging, is de formule van Pandolf *et al.* (1977) verkozen vanwege de mogelijkheid om coëfficiënten gerelateerd aan het terrein en getransporteerde ladingen te gebruiken. In tegenstelling tot het modelleren van de kosten van transport te voet, waarvoor veel fysiologische en/of experimentele functies beschikbaar zijn, is er veel minder onderzoek gedaan naar het modelleren van de tijds- of energiekosten van transport met behulp van dieren. In plaats daarvan is gebruik gemaakt van een combinatie van functies die de tractiekracht over verschillende terreinen kan berekenen. Naast landtransportmodi hebben de lokale en militaire bevolking in het Nederlandse deel van het Romeinse *limes*gebied ook beschikking gehad over watertransportmodi. In deze studie is watertransport met boomstamboten gemodelleerd als onderdeel van multimodale routes. In het algemeen is de berekening van een optimale route van een multimodale transportverbinding gelijk aan die van een unimodale landtransportverbinding. Het enige verschil zit in de kosten van

beweging over rivieren en beken, die in dit geval watertransport accommoderen in plaats van een barrière voor beweging vormen.

Het in dit hoofdstuk gepresenteerde modelleren van transportverbindingen is succesvol in termen van het begrip van de relatie tussen beweging en de natuurlijke omgeving, en het realiseren van die relatie in de constructie van optimale routes. Het resultaat laat een merkbaar verschil zien tussen de gemodelleerde routes van transport te voet en transport met trekdieren in termen van waar men beweegt met deze transportmodi, en een verdere variatie is geïntroduceerd met het gebruik van boomstamboten. Het modelleren van transport te voet is echter uitgevoerd met meer zekerheid vanwege de sterkere basis in fysiologisch (en archeologisch) onderzoek, terwijl landtransport met behulp van dieren en watertransport een minder sterke en minder compatibele basis aan bronnen hebben voor de situatie van het Nederlandse rivierengebied.

Tussen categorieën van transport te voet of transport met trekdieren is een verder verschil in termen van de reistijd. Dit is belangrijke informatie wanneer wordt doorgedacht in termen van transportnetwerken, waarin tijd een rol kan spelen in de bepaling of een gemodelleerde transportverbinding onderdeel uitmaakt van het netwerk. Hoewel op basis van de gemodelleerde routes preliminaire beweringen kunnen worden gemaakt, zoals de observatie dat de Romeinse militaire weg langs de Rijn geen rol heeft in lokale transportverbindingen vanwege zijn perifere locatie, kunnen ze niet meteen iets zeggen over het functioneren van transportsystemen in de Romeinse Tijd wanneer het betrekking heeft op vraagstukken zoals de verspreiding van surplusproductie vanuit rurale nederzettingen en de bevoorrading van het Romeinse leger. Dit vereist een verdere interpretatie en analyse, wat kan worden uitgevoerd in de context van transportnetwerken.

Hoofdstuk 6: Transportnetwerken in het Nederlandse deel van de Romeinse *limes*

Het doel van dit hoofdstuk is de bestudering van lokale transportnetwerken in het Nederlandse deel van de Romeinse *limes* met gebruik van concepten uit de netwerkwetenschap. In elke sectie van dit hoofdstuk worden één of meerdere problemen geïdentificeerd, waaronder zowel methodologische als archeologische vraagstukken, waarna een aanpak wordt gezocht die op deze problemen kan worden toegepast.

Allereest wordt in sectie 6.2 een vergelijking gemaakt tussen verschillende netwerkconstructietechnieken, om een netwerkstructuur te identificeren die het dichtst bij de te representeren archeologische werkelijkheid komt. Dit is een noodzakelijke stap die genomen moet worden om van een dataset van potentiële transportverbindingen gemodelleerd op basis van optimale routes te komen tot een netwerk die kan worden geanalyseerd met behulp van concepten uit de netwerkwetenschap. Door het opstellen van archeologisch relevante evaluatiecriteria, bijvoorbeeld hoe eenvoudig het is om goederen te verplaatsen van rurale nederzettingen naar *castella*, wat meetbaar is door de gemiddelde padlengte in het netwerk, kan een kwantitatieve evaluatie worden gemaakt van verschillende netwerkconstructietechnieken. In dit geval blijkt de Gabrielgrafiek de meest representatieve netwerkstructuur te zijn van een lokaal transportnetwerk voor de distributie van goederen vanuit de lokale bevolking naar de militaire bevolking, maar evenzo belangrijk, wordt in deze sectie een aanpak gedemonstreerd van hoe een dergelijk methodologisch probleem kan worden geadresseerd met de archeologische realiteit in ogenschouw.

De toepassing van netwerkanalysetechnieken op archeologische netwerken leidt ook tot vragen over onzekerheid: hoe afhankelijk zijn de resultaten bijvoorbeeld van de compleetheid van de dataset? In sectie 6.3 worden de effecten van onzekerheid op de resultaten van netwerkanalyse onderzocht, door middel van het construeren van een model die iteratief netwerken bouwt vanuit de bestaande datasets, zodat van netwerkmetingen de afhankelijkheid kan worden bepaald van de compleetheid van de netwerkstructuur. Het blijkt dat 64% van de sites een robuuste meting hebben, wat betekent dat de resultaten niet afhankelijk zijn van die specifieke netwerkstructuur maar hetzelfde blijven wanneer bijvoorbeeld sites missen of foutief aanwezig zijn in de dataset. Aan de andere kant is het voor 36% van de gevallen dus niet betrouwbaar, en dit moet meegewogen worden bij de toepassing van netwerkanalyse op archeologische datasets. Een belangrijk aspect van deze studie is dat het een methodologie laat zien waarmee een dergelijk vraagstuk over onzekerheid in het licht van de archeologische datasets kan worden geadresseerd.

Sectie 6.4 focust op de toepassing van netwerkanalyse op de gemodelleerde transportnetwerken. De eerste casus test een archeologische hypothese die stelt dat de (re)distributie van goederen in het Nederlandse deel van de Romeinse *limes* werd gerealiseerd door een hiërarchisch dendritisch systeem, waarin intermediaire sites functioneerden tussen de militaire bevolking in de *castella* en de lokale bevolking in de rurale nederzettingen. Deze hypothese is getest door het contrasteren van twee hypothesen: een nulhypothese waarin alle surplusgoederen direct naar de *castella* worden vervoerd, en een alternatieve hypothese waarin goederen eerst worden verplaatst naar vooraf bepaalde intermediaire sites voordat ze als bulkgoederen naar de *castella* worden vervoerd. De netwerkmeting padlengte (wat in deze studie gelijk staat aan de reistijd) is gebruikt om deze hypothesen te evalueren, en hieruit blijkt dat in de meeste gevallen distributie via een intermediaire site efficiënter is dan een directe distributie, wat de alternatieve hypothese die is gesteld in eerdere archeologische studies waarschijnlijker maakt dan de hier gestelde nulhypothese, hoewel er ook ruimte is voor een duaal systeem waarbij beide distributiemethoden in samenhang functioneerden. Deze studie is een goed voorbeeld van hoe een archeologisch idee kan worden getest en dus meer waarde kan worden gegeven door het uitwerken van het probleem in expliciete hypothesen die kunnen worden geëvalueerd met behulp van concepten uit de netwerkwetenschap.

De tweede casus in sectie 6.4 gaat dieper in op de rol van rurale steenbouwnederzettingen. In het bijzonder wordt de vraag gesteld of deze rurale steenbouwnederzettingen een potentiële controle hadden over transportbewegingen in het netwerk dat ervoor kan hebben gezorgd dat ze belangrijker werden door de tijd heen, wat een eigenschap is die kan worden geëvalueerd met behulp van de netwerkmeting van tussencentraliteit (*betweenness centrality*). Hieruit blijkt dat een aantal rurale steenbouwnederzettingen een hogere tussencentraliteit hebben dan de gemiddelde nederzetting in hun omgeving, en dat dit aantal hoger is dan zou worden verwacht op basis van de ratio van het aantal rurale nederzettingen die steenbouw hebben. Het is opmerkelijk dat dit voor de meeste steenbouwsites al reeds het geval is in de Late IJzertijd of de Vroeg-Romeinse Tijd, dat wil zeggen in de pre-steenbouw fase van deze nederzettingen. Dit kan een indicatie zijn dat de reden dat deze nederzettingen belangrijk zijn geworden en uiteindelijk steenbouw verkregen hebben deels kan liggen in de potentiële controle die ze hebben over transportbewegingen in het netwerk. Deze casus is een goed voorbeeld van hoe netwerkmetingen kunnen worden gebruikt om de individuele rol van nederzettingen in transportnetwerken te bestuderen.

In sectie 6.7 wordt de geherinterpreteerde chronologische informatie, opgesteld volgens de methodologie beschreven in Hoofdstuk 3, gebruikt om de continuïteit en veranderingen in transportnetwerken door de tijd heen te testen. Het blijkt dat de applicatie van deze nieuwe chronologische informatie geen significante verandering uitoeft op de resulterende

netwerkstructuren vergeleken met de originele chronologie, wat een belangrijke conclusie is omdat anders de resultaten van analyses alleen afhankelijk zouden zijn van de gebruikte chronologie. In plaats daarvan kan de geherinterpreteerde chronologie gebruikt worden om de veranderingen door de tijd heen te bestuderen met meer chronologische betrouwbaarheid. Deze studie laat zien dat er een hoge mate van continuïteit is in lokale transportnetwerken, en dat deze continuïteit groter is dan zou worden verwacht op basis van de continuïteit in de nederzettingen, wat een indicatie is dat lokale transportnetwerken persistenter zijn dan het nederzettingpatroon. Er zijn ook sommige variaties zichtbaar in de mate van continuïteit, wat gerelateerd kan worden aan bekende perioden van instabiliteit zoals de Bataafse Opstand en de val van de rijksgrens in de 3de eeuw.

Hoofdstuk 7: Analyse van sitelocatie

In dit onderzoek heeft sitelocatie om meerdere redenen de interesse: om te bepalen wat de (natuurlijke, culturele/sociale of historische) regulerende factoren van de locatiekeuze van nederzettingen zijn, om de ontwikkeling van nederzettingpatronen door de tijd heen te bestuderen, en om inputdata voor modellen van agrarische productie te genereren. De analyses in dit hoofdstuk bestaan ten eerste uit een analyse van de individuele factoren (inclusief de natuurlijke paleogeografie, rivieren en beken, forten, transportnetwerken, potentiële intermediaire sites in transportnetwerken, en de invloed van het historische landschap), en ten tweede uit een multivariate aanpak om de relatieve invloed van factoren te bestuderen en hoe dat mogelijk verandert door de tijd heen. Deze laatste analyse gebruikt een Monte Carlosimulatiemethode om een logistisch regressiemodel te ontwikkelen dat de aan- of afwezigheid van een site voorspelt per tijdsperiode.

De resultaten laten zien dat het historische landschap en de afstand tot transportnetwerken belangrijke factoren zijn voor nederzettingslocaties, wat indiceert dat het gebruik van culturele/sociale factoren zoals het historische landschap en de gemodelleerde transportnetwerken een waardevolle impact hebben op een studie naar nederzettingslocaties. Enkele interessante verschuivingen zijn te zien in de voorkeuren voor nederzettingslocaties door de tijd heen, met een verschuiving naar meer 'marginale' gebieden in de Vroeg-Romeinse Tijd A-B en Midden-Romeinse Tijd A-B intervallen, zowel in termen van de natuurlijke omgeving als het nederzettingslandschap. Dit kan mogelijk het resultaat zijn van een verandering in de modi van productie of van een stijgende druk in de kern van het bewoningsgebied op de rivieroeverwallen. Een tegengestelde verschuiving is te zien in het Laat-Romeinse Tijd A-B interval, waarin nieuwe nederzettingen juist primair gesitueerd zijn binnen de kern van het bewoningsgebied in plaats van aan de marges, wellicht omdat een lagere populatiedruk deze verhuizing niet noodzakelijk maakte.

Hoofdstuk 8: Synthese / Hoofdstuk 9: Conclusie

Deze hoofdstukken presenteren de resultaten van dit deel van het 'Finding the limits of the *limes*' project, en plaatsen ze in de bredere onderzoekscontext. Het doel is om een samenvatting en uiteenzetting te maken van enkele innovatieve aspecten van deze studie, vanuit technische, methodologische of interpretatieve perspectieven. Om dit te doen worden in Hoofdstuk 8 enkele casussen gepresenteerd uit dit onderzoek op het gebied van transportnetwerken en nederzettingslocatie in het Nederlandse deel van de Romeinse *limes*. Geformuleerd in een meer algemene vraag, het doel van Hoofdstuk 8 is als volgt: wat heeft deze ruimtelijk analytische studie van het cultuurlandschap van het Nederlandse *limes*gebied bijgedragen aan het onderzoeksveld

van computationele archeologie en gerelateerde velden, en wat heeft het bijgedragen aan de archeologische kennis over het Nederlandse deel van de Romeinse *limes*?

Het modelleren van optimale routes, de netwerkstudies en de analyse van nederzettingslocatie gepresenteerd in deze studie hebben enkele nieuwe en waardevolle inzichten gebracht in de eigenschappen van beweging op lokale schaal in de Nederlandse Rijn-Maasdelta, het potentiële functioneren van het Romeinse lokale bevoorradingssysteem, de rol van individuele sites binnen deze lokale transportnetwerken, en de relatie van nederzettingen met hun natuurlijke en sociale omgeving. Uit de studies op de gemodelleerde transportnetwerken blijkt bijvoorbeeld dat in ieder geval voor de oostelijke en centrale delen van het onderzoeksgebied het waarschijnlijker is dat transport van de lokale bevolking naar de militaire bevolking werd uitgevoerd via intermediaire sites in plaats van direct naar de forten, wat de bestaande archeologische hypothese van een dendritisch hiërarchisch nederzettingssysteem ondersteunt. Verder blijkt dat de rol van individuele nederzettingen in deze transportnetwerken kan hebben geleid tot de ontwikkeling tot rurale steenbouwnederzettingen, omdat sommige van deze nederzettingen en waardevolle rol kunnen hebben vervuld als potentiële intermediaire sites en/of centraal gelegen waren tussen andere nederzettingen. De analyse van nederzettingslocaties laat zien dat de nederzettingen zich concentreerden op de rivieroeverwallen in gebieden waar oudere nederzettingen zich reeds bestonden en in de nabijheid van transportnetwerken. Andere factoren waren minder belangrijk, wat laat zien dat de locatie van nieuwe nederzettingen grotendeels bepaald werd door de geschiktheid van het landschap en het potentieel voor interactie met andere rurale nederzettingen, en in het bijzonder niet met de militaire populatie. Deze bevindingen zijn waardevol voor archeologen met betrekking tot de huidige kennis over interacties tussen de lokale en de militaire bevolking in het Nederlandse *limes*gebied.

Net zo belangrijk zijn de methoden waarmee deze resultaten zijn bereikt. Door de archeologische vraagstukken zo te formuleren dat ze getest kunnen worden met computationele technieken, kunnen deze studies nieuwe inzichten produceren die niet panklaar uit de archeologische data gehaald kunnen worden. Specifiek voor wat betreft de gebruikte methoden in deze studie, heeft de toepassing van optimale routeanalyse laten om transportverbindingen te modelleren laten zien waardevol te zijn omdat het rekening houdt met het natuurlijke landschap, wat een significante impact had op de later analyses. De toepassing van netwerkanalyse op problemen die bij uitstek geschikt zijn om als netwerken behandeld te worden heeft laten zien te leiden tot waardevolle en interessante archeologische conclusies, en de resultaten van dit onderzoek moedigen dus ook aan tot de toepassing van netwerkmethoden op vergelijkbare archeologische problemen in de toekomst. Belangrijk in de toepassing van computationele technieken is het erkennen van de onzekerheid in de data en de methoden, en de validatie van de resultaten. Onzekerheid en incompleteheid zijn inherent aan archeologische data, en kwantitatieve methoden blijven dus vatbaar voor zulke problemen; dit onderzoek laat slechts enkele manieren zien waarmee deze onzekerheden in het onderzoek opgenomen kunnen worden en daarmee de uitkomsten van het onderzoek kunnen versterken.