



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

**PROGRAMMA KENNIS VOOR ARCHEOLOGIE**

PROJECT PROSPECTIE

# Archeologische prospectie vanuit de lucht

*Remote sensing in de Nederlandse archeologie (landbodems)*

Oktober 2021

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	4	5.2.2	Weersomstandigheden en seizoenen	32
		5.2.3	Aard van de archeologische overblijfselen	32
<b>Deel I – De basis</b>	<b>5</b>	5.2.4	Welke complextypen zijn wel en niet zichtbaar?	34
		5.3	Wat is invloed van schaal en resolutie op de zichtbaarheid?	35
<b>1 Inleiding</b>	6	5.4	Wat triggert het oog?	36
1.1 Introductie	6	5.5	Wat zijn belangrijke handige tips?	36
1.2 Remote sensing in dienst van de archeologische monumentenzorg	6			
1.3 Doel, kader, doelgroep en afbakening	7	<b>Deel II – Casestudy's</b>		<b>38</b>
1.4 Werkwijze	8	<b>Inleiding</b>		39
1.5 Leeswijzer	9	<b>6 Casestudy's Actueel Hoogtebestand Nederland</b>		41
1.6 Dankwoord	9	6.1 Casestudy Hilversum-Hoorneboegse Heide		41
		6.2 Casestudy Alkmaar-Oudorpolder		45
<b>2 Welke remote sensing-beelden zijn er en wanneer zijn ze voor archeologen bruikbaar?</b>	10	6.3 Casestudy Leuven-Heverleebos (B.)		50
2.1 Inleiding	10	<b>7 Casestudy's luchtfoto's zichtbare deel van het spectrum</b>		53
2.2 Wat zijn producten van remote sensing?	10	7.1 Casestudy Vught-De Gement		53
2.2.1 Luchtfoto's	10	7.2 Casestudy Kloosterzande-Drogendijk		56
2.2.2 Sensorbeelden	11	7.3 Casestudy Diepenheim-Den Haller		59
2.2.3 Actueel Hoogtebestand Nederland	12	7.4 Casestudy Maredsous-Biert (B.)		62
2.3 Wat zijn de kwaliteitskenmerken?	12	7.5 Casestudy Ieper-Frezenberg (B.)		66
2.3.1 Inleiding	12	7.6 Casestudy Lichtenvoorde-Het Harreveld		69
2.3.2 Schaalniveau van analoge luchtfoto's	12	<b>8 Casestudy's sensorbeelden niet-zichtbare deel van het spectrum</b>		72
2.3.3 Resolutie sensorbeelden	13	8.1 Casestudy Gennep-Genneperhuis		72
2.3.4 Resolutie van het Actueel Hoogtebestand Nederland	13	8.2 Casestudy Siegerswoude-Middenwei		76
2.3.5 Specifieke kwaliteitskenmerken van satellieten	14	8.3 Casestudy Nordfriesland-Pellworm (D.)		79
2.3.6 Specifieke kwaliteitskenmerken drones	14			
2.4 Welke tekens in het landschap verraden archeologische resten?	14	<b>Deel III – Verdiepende informatie voor fijnproevers</b>		<b>84</b>
2.4.1 Inleiding	14	<b>9 Remote sensing: wat zijn de achterliggende principes en technieken?</b>		85
2.4.2 Crop marks, soil marks en shadow marks	15	9.1 Inleiding		85
		9.2 Wat zijn de achterliggende principes?		85
<b>3 Remote sensing in de Nederlandse archeologie: het analoge tijdperk</b>	17	9.3 Wat zijn de technieken?		87
3.1 Inleiding	17	9.3.1 Analoge luchtfotografie		87
3.2 Analoge luchtfoto's	17	9.3.2 Digitale luchtfotografie		87
		9.3.3 Infrared imaging		87
<b>4 Remote sensing in de Nederlandse archeologie: digitale toepassingen</b>	22	9.3.4 Radar (RADAR Detection And Ranging)		87
4.1 Inleiding	22	9.3.5 Multispectral en hyperspectral imaging		87
4.2 Digitale luchtfoto's (RGB-beelden)	23	9.3.6 LiDAR (Laser Imaging Detection And Ranging)		87
4.3 Sensorbeelden	26	9.4 Met welke instrumenten worden remote sensing-data ingewonnen?		91
4.4 Actueel Hoogtebestand Nederland	27			
4.4.1 Algemeen	27	<b>Literatuur</b>		93
4.4.2 Visualisaties	28	<b>Colofon</b>		97
<b>5 Het onzichtbare zien. Welke archeologische resten zijn wel en niet zichtbaar?</b>	31			
5.1 Inleiding	31			
5.2 Wat bepaalt de zichtbaarheid?	31			
5.2.1 Omstandigheden in het veld	31			

# Kaderteksten

1A Het belang van remote sensing voor de archeologische monumentenzorg	6
2A Waar moet een archeoloog op letten bij het gebruiken van remote sensing-beelden?	10
2B True color versus false color-opnamen	11
3A Een eeuw analoge luchtfotografie	17
3B Cornelis von Friitag Drabbe, grondlegger van de archeologische luchtfoto-interpretatie in Nederland	19
3C Willy Metz, liever zelf fotograferen vanuit de lucht	21
4A Twee decennia digitaal	22
4B Meer zien: het combineren van remote sensing beelden met andere typen kaarten	25
4C Het belang van validatie in het veld	26
5A Wel of niet zichtbaar? Het archeologisch bodemarchief op de proef gesteld	31
5B 'Bij lagen zonnenstand'	32

# Samenvatting

Nederland heeft een lange en rijke traditie op het gebied van archeologische prospectie. Onder prospectie wordt verstaan het opsporen en nader in kaart brengen van archeologische vindplaatsen waarvoor archeologen verschillende methoden gebruiken. De meest bekende daarvan zijn oppervlaktekartering, boor- en proefsleuvenonderzoek. Ze vormen al vele decennia het fundament van archeologisch veldwerk in Nederland en hebben geleid tot de ontdekking van vele nieuwe vindplaatsen.

Het gebruik van remote sensing-beelden is een veel recentere ontwikkeling. Remote sensing betekent letterlijk 'op afstand waarnemen'. Het gaat om een verzameling van technieken waarmee vanuit de lucht en vanaf een bepaalde hoogte data over het aardoppervlak worden verzameld. Denk aan satellieten en vliegtuigen die zijn uitgerust met instrumenten en die daarmee het oppervlak aftasten. Dat levert beelden op die een actueel overzicht bieden van een groot oppervlak. Dankzij het internet is de toegang tot bijvoorbeeld satellietfoto's en het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) veel eenvoudiger geworden. Veel wordt als open data door de Nederlandse overheid beschikbaar gesteld en is op het beeldscherm van computer, laptop of tablet direct raadpleegbaar.

Op die beelden zijn regelmatig afwijkingen (anomalieën) te zien die kunnen wijzen op vindplaatsen in de ondergrond. Deze verkleuringen of hoogteverschillen vallen op door een onnatuurlijke vorm, bijvoorbeeld perfecte cirkels, kaarsrechte lijnen, zigzagvormen of herhaalde patronen. Het wijst op activiteiten die door mensen in het verleden zijn uitgevoerd. Het bestuderen van remote sensing-beelden is dan ook van grote waarde bij het opstellen van een bureauonderzoek.

Duidelijke voorbeelden zijn de luchtfoto's en satellietbeelden uit de droge zomers van 2018, 2019 en 2020 die een schat aan nieuwe vindplaatsen hebben opgeleverd. Tal van greppelpatronen zijn herkend die te relateren zijn aan circumvallatielinies, verkavelingsystemen en oude wegsystemen.

Ook het AHN is een zeer waardevolle informatiebron, zeker voor laat-prehistorische grafheuvels en raatakkers die in bosgebieden verscholen liggen.

De archeologische potentie van sensorbeelden in het niet-zichtbare spectrum, bijvoorbeeld radar-, infrarood- en spectrale beelden, is minder goed bekend. Die bevindt zich nog in een experimentele fase, al zijn de eerste resultaten veelbelovend. De casus Siegerswoude laat zien dat thermisch infrarood een kansrijke techniek is om archeologische resten op te sporen.

Deze publicatie is opgesteld om de professionele archeoloog te ondersteunen bij het opstellen van een bureauonderzoek

(landbodems). Het bestaat uit drie delen. Deel I biedt een overzicht aan wat remote sensing voor archeologie te bieden heeft. Het gaat in op de historie, kwaliteitsaspecten en op welke factoren de zichtbaarheid bepalen. Deel II bevat twaalf aansprekende casestudy's uit Nederland, België en het Noord-Duitse Waddenzeegebied. Ze laten zien dat het gecombineerd gebruik van een of twee typen beeldmateriaal van remote sensing, bijvoorbeeld een analoge luchtfoto met AHN-beelden, al zeer informatief kan zijn en tot verrassende nieuwe inzichten kan leiden. Ook blijkt hoe waardevol het combineren van remote sensing-beelden met andere typen digitale bronnen is, waaronder geologische kaarten, geomorfologische kaarten en historische kaarten. Deel III van het rapport is bedoeld voor de fijnproevers die meer willen lezen over de achterliggende principes (technieken) van remote sensing.

Terugkijkend op bijna een eeuw van archeologische remote sensing in Nederland kunnen grofweg drie categorieën of schaalniveaus van het gebruik van beelden worden onderscheiden. De eerste categorie is de schaal van het landschap. Remote sensing-opnamen zijn zeer geschikt voor het verzamelen van aardkundige informatie en (daarmee) van gegevens over de vroegere en huidige landschappelijke context van vindplaatsen. Denk daarbij aan karteringen van fossiele geulsystemen, dekzandruggen, donken en essen en de visualisatie van vindplaatsen in die verschillende landschappen. Het maken van een digitale kopie van een landschap behoort eveneens tot de mogelijkheden. Ook het karteren en begrenzen van (paleo-)landschappelijke zones of geomorfologische eenheden is van belang als uitgangspunt voor het opstellen van een archeologisch verwachtingsmodel.

De tweede categorie is die op het schaalniveau van de vindplaats. Met remote sensing-beelden kunnen nieuwe vindplaatsen worden ontdekt en bekende vindplaatsen nader worden gedocumenteerd. Denk daarbij ook aan het monitoren van archeologische rijksmonumenten met het oog op een duurzaam behoud in situ, en het corrigeren van de locatie, begrenzing en omvang van archeologische rijksmonumenten.

De derde categorie omvat toepassingen vanuit een maatschappelijke betekenis. Remote sensing-beelden kunnen visualisaties van archeologisch waardevolle landschappen en vindplaatsen genereren die aansprekend zijn voor het grote publiek. Daardoor krijgt onbekend erfgoed een sociale waarde en betekenis. Bovendien kunnen geïnteresseerden daar zelf aan bijdragen, door te participeren in allerlei projecten (burgerwetenschap). We kunnen dan ook concluderen dat remote sensing de Nederlandse archeologie nog veel te bieden heeft.



# Deel I – De basis

# 1 Inleiding

## 1A Het belang van remote sensing voor de archeologische monumentenzorg

Remote sensing betekent letterlijk 'op afstand waarnemen'. In de ruime zin van het woord gaat het om een verzameling van technieken waarmee vanaf een bepaalde hoogte data over het aardoppervlak worden verzameld. De dataverzameling wordt uitgevoerd met instrumenten (camera's, sensoren) die zijn bevestigd aan meetstations, zoals satellieten, vliegtuigen, helikopters, drones en luchtballonnen, en het oppervlak als het ware aftasten. Deze digitale kartering is ruimtelijk nauwkeurig en biedt de actuele situatie. Door bewerking van de data (signalen) is het mogelijk om afwijkingen in bijvoorbeeld de vegetatie te herkennen en te interpreteren. Die afwijkingen (anomalieën) wijzen vaak op archeologische vindplaatsen in de ondergrond. Daarmee kunnen remote sensing beelden ook voor archeologen van grote betekenis zijn.

### 1.1 Introductie

Nederland heeft een lange en rijke traditie op het gebied van archeologische prospectie.<sup>1</sup> Al decennia lang wordt het maaiveld en wat daar aan archeologische relictten onder ligt, onderzocht. Met oppervlaktekarteringen, het zetten van boringen of het graven van proefsleuven, er zijn allerlei verschillende manieren om vindplaatsen op te sporen en in kaart te brengen.

Remote sensing, letterlijk 'op afstand waarnemen' is een wat jongere loot in de toepassing voor archeologische prospectie, hoewel het bestuderen van analoge luchtfoto's al vanaf de jaren veertig van de vorige eeuw werd gedaan (zie hoofdstuk 3). Het waarnemen vanaf een zekere hoogte boven het aardoppervlak levert duidelijke voordelen op omdat dit vogelvluchtperspectief letterlijk een andere kijk biedt. Archeologische relictten die vanaf het maaiveld niet zichtbaar zijn, komen nu wel in beeld.

De afgelopen twintig jaar hebben grote technologische veranderingen gezorgd voor een omwenteling in de wereld van remote sensing. Niet alleen zijn er steeds geavanceerdere satellieten, betere meetinstrumenten en camera's het luchtruim ingegaan, ook zijn computers sneller geworden en de software geavanceerder. Bovendien is er een sterke toename in de beschikbaarheid, hoeveelheid en kwaliteit van luchtfoto's, satellietbeelden en sensorbeelden op het internet. Die bredere beschikbaarheid heeft er toe geleid dat steeds meer mensen geïnteresseerd zijn in remote sensing-opnamen en wat er op te zien is. Ondanks deze grotere toegankelijkheid van beelden – het opsporen van archeologie van achter het eigen beeldscherm is nog nooit zo makkelijk geweest – was er geen helder, actueel overzicht van wat remote sensing-beelden zijn, welke archeologische toepassingen er zijn en welke betekenis ze kunnen hebben voor de archeologische monumentenzorg.

Om de mogelijkheden die remote sensing biedt voor archeologische prospectie goed voor het voetlicht te brengen, is deze publicatie samengesteld. We gaan daarbij in op specifieke producten met als doel dat deze beter benut gaan worden bij het KNA-protocol bureauonderzoek (zie paragraaf 1.3). We richten ons expliciet op data die vanuit de lucht zijn gegenereerd en die voor archeologische doeleinden hun bruikbaarheid hebben bewezen. Het gaat om luchtfoto's, satelliet- en dronebeelden, en het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

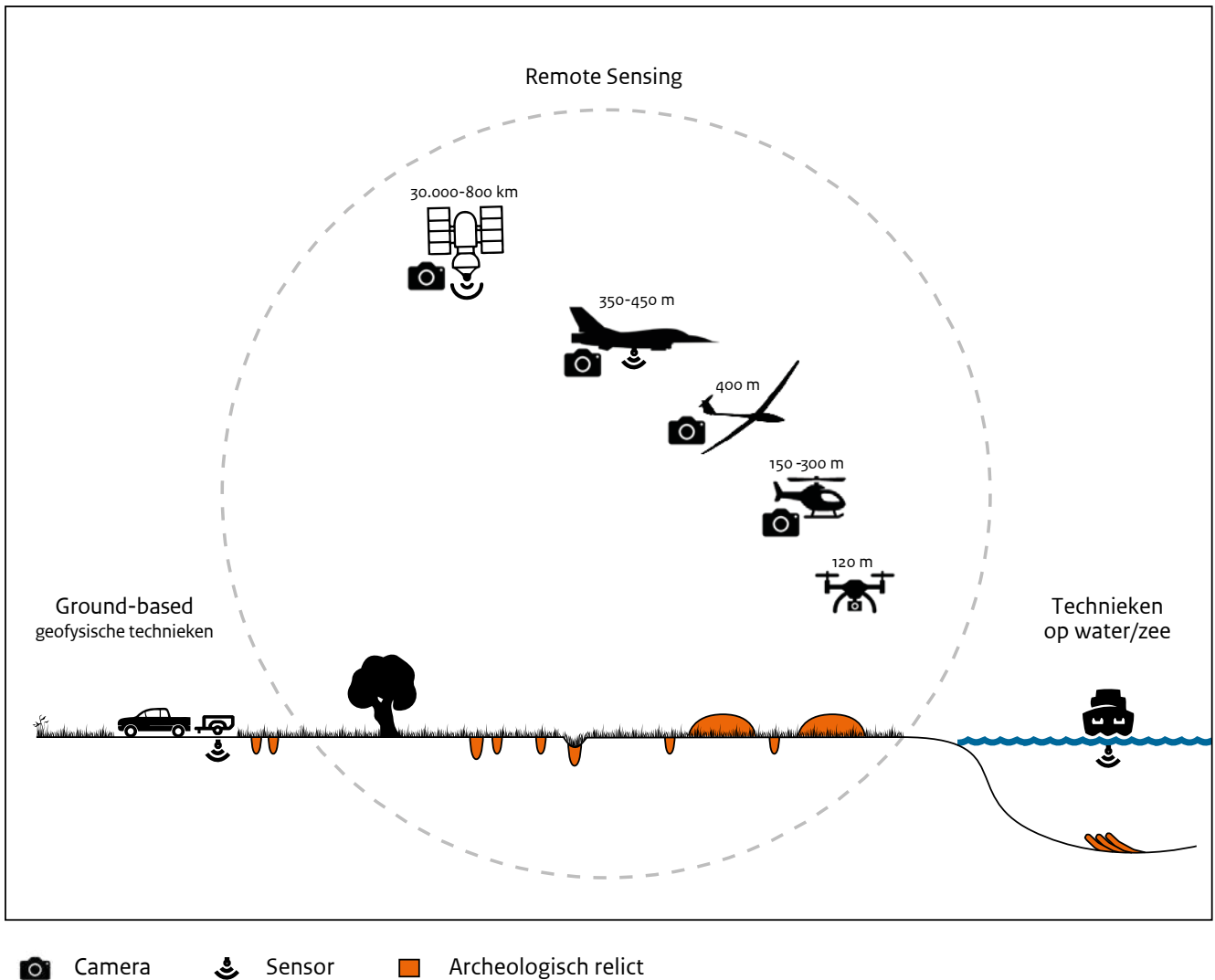
### 1.2 Remote sensing in dienst van de archeologische monumentenzorg

Remote sensing is tegenwoordig niet meer weg te denken uit de hedendaagse maatschappij en wetenschap. Voortdurend wordt het aardoppervlak voor allerlei, zeer uiteenlopende, doeleinden met hoogwaardige technologie vanuit de lucht geobserveerd en de data worden in tal van domeinen gebruikt, zoals voor landbouw, natuurbeheer, bosbouw, watermanagement, weersvoorspelling, om een paar concrete toepassingsgebieden te noemen. Denk bijvoorbeeld aan precisielandbouw waarbij gewasopbrengsten en -schade worden gemonitord met drones en satellieten door Land- en Tuinbouworganisatie Nederland (LTO). Rijkswaterstaat, Wageningen University & Research, Universiteit Utrecht en Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) zijn voorbeelden van andere Nederlandse organisaties die remote sensing standaard toepassen in hun onderzoek, onderwijs en advisering. Ook voor thema's als milieu, klimaat, gezondheid en veiligheid levert remote sensing informatie van onschatbare waarde op.

Wereldwijd zijn er talrijke archeologische toepassingen van remote sensing met belangrijke, betrouwbare en aansprekende resultaten.<sup>2</sup> Het palet aan voorbeelden is te breed om dit beknopt en volledig te benoemen, maar voor de archeologie in Nederland zijn er grofweg drie categorieën aan toepassingen te onderscheiden. De eerste categorie is het gebruik op de schaal van het landschap. Remote sensing-opnamen zijn zeer geschikt voor het verzamelen van aardkundige informatie en (daarmee) gegevens over de vroegere en huidige landschappelijke context van vindplaatsen. Denk daarbij aan karteringen van fossiele geulsystemen, dekzanden, donken en essen en de visualisatie van vindplaatsen in die verschillende landschappen. Het maken van een digitale kopie van een landschap en de hiermee verbonden cultuurhistorische elementen en structuren, behoort eveneens tot de mogelijkheden. Deze toepassing kan zinvol zijn vooral voor plangebieden van grote omvang waar aardkundige en historisch-geografische waarden zullen worden aangetast of zelfs volledig verdwijnen als gevolg van een ruimtelijke ontwikkeling, bijvoorbeeld de aanleg van een woonwijk of het uitgraven van een nevengeul. Ook het karteren en begrenzen van (paleo-) landschappelijke zones of

<sup>1</sup> Kattenberg *et al.* 2008.

<sup>2</sup> Parcak 2017 biedt een goed overzicht met een uitgebreid overzicht aan referenties, zie ook Crawford 1921, Bewley 1993.



Afb. 1.1 Visualisatie van het onderwerp van deze publicatie: remote sensing in dienst van archeologische prospectie, met afbakening van de verschillende toepassingen vanuit de lucht, op het aardoppervlak en op water/zee. In de afbeelding is onderscheid gemaakt tussen camera en sensor. Omdat een camera feitelijk een (passieve imaging) sensor is, is dit onderscheid strikt genomen niet correct.

geomorfologische eenheden is van belang als uitgangspunt voor het opstellen van een archeologisch verwachtingsmodel. De tweede categorie is die op het schaalniveau van de vindplaats. Met remote sensing-beelden kunnen nieuwe vindplaatsen worden ontdekt en bekende vindplaatsen nader worden gedocumenteerd. Denk daarbij ook aan het monitoren voor behoud in situ en het corrigeren van de locatie, begrenzing en omvang van archeologische rijksmonumenten. De derde categorie omvat toepassingen vanuit een maatschappelijke betekenis. Remote sensing-beelden kunnen visualisaties van archeologisch waardevolle landschappen en vindplaatsen genereren die aansprekend zijn voor het grote publiek. Daardoor krijgt onbekend erfgoed een sociale waarde en betekenis. Bovendien kunnen geïnteresseerden daar zelf aan bijdragen, door te participeren in allerlei projecten (burgerwetenschap). In deze publicatie komen allerlei voorbeelden uit deze drie categorieën ter sprake, maar we richten ons vooral op het tweede schaalniveau van de vindplaats omdat de focus ligt op het opsporen van vindplaatsen binnen het kader van het uitvoeren van een bureauonderzoek.<sup>3</sup> Het is daarbij van belang te benadrukken dat het vooral om de toegevoegde waarde van remote

sensing voor archeologische prospectie gaat, niet als vervanging van 'traditionele' methoden van Inventariserend Veldonderzoek (IVO), zoals de oppervlaktekartering, het booronderzoek en proefsleuvenonderzoek, maar als zeer welkom aanvulling daarop.

### 1.3 Doel, kader, doelgroep en afbakening

Deze publicatie is opgesteld in het kader van het project Prospectie, onderdeel van het programma Kennis voor Archeologie (2019-2021) van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE). Het doel van het rapport is de lezer nog meer bewust te maken van de toegevoegde waarde en betekenis van remote sensing voor archeologische prospectie in Nederland. Mede door het presenteren van archeologische praktijkvoorbeelden (casestudy's) hopen we het gebruik ervan te stimuleren en te bevorderen. We richten ons primair op professionele archeologen die bureauonderzoeken uitvoeren.<sup>4</sup> Daarnaast kunnen ook andere groepen van deze publicatie gebruikmaken. We denken dan aan vrijwilligers in de archeologie, studenten archeologie, liefhebbers van de eigen streekgeschiedenis, historisch-geografen en landschapsonderzoekers.

Ten aanzien van de inhoud van dit rapport is de volgende afbakening gehanteerd (afb. 1.1):

1. in de literatuur wordt geofysisch onderzoek ook dikwijls tot remote sensing gerekend. Omdat het gaat om *ground-based* technieken die in het veld (met apparatuur 'op de grond') worden toegepast, vallen geofysische technieken buiten de definitie van remote sensing die in het project Prospectie is gehanteerd. Ze worden in dit rapport buiten beschouwing gelaten;<sup>5</sup>
2. dit rapport heeft uitsluitend betrekking op landbodems. Innovatieve methoden en technieken van IVO voor waterbodems, waarbij geofysisch onderzoek een prominente rol speelt, zijn ondergebracht in het programma Maritiem Erfgoed van de Rijksdienst;
3. het onderwerp van deze publicatie is het archeologische gebruik van opnamen van remote sensing. We richten ons daarmee voornamelijk op de *producten* van remote sensing die voor archeologische prospectiedoeleinden relevant zijn. Achter deze producten gaat een wereld van hoogwaardige en complexe technologie schuil, inclusief de achterliggende principes van remote sensing en de werking van de technieken waarmee remote sensing-data worden ingewonnen. Bovendien is een grondige kwaliteitsanalyse (denk aan vegetatie, sampling methoden bij LiDAR, opnameperiodes, radiometrische resolutie, eigenschappen van de bodem, etc.) nodig alvorens een adequate inschatting kan worden gemaakt van de bruikbaarheid van de sensordata voor specifieke doeleinden. Een gedetailleerd inzicht bieden in deze principes, werking en genoemde kwaliteitsanalyse was, mede vanwege de complexiteit van de informatie, geen doelstelling van het project.

#### 1.4 Werkwijze

Ter voorbereiding van het schrijven van dit rapport zijn verschillende werkzaamheden uitgevoerd. Ze zijn onderverdeeld in de volgende twee fasen:

##### Fase 1 Inventarisatie

- maken van algemeen overzicht van technieken van remote sensing en actuele ontwikkelingen;
- voeren van gesprekken met remote sensing-specialisten extern;
- inventariseren van publicaties over toepassingen van remote sensing in de Nederlandse archeologie in heden en verleden;
- maken van overzicht van remote sensing-opnamen (landelijk, regionaal) die van betekenis (kunnen) zijn voor archeologische prospectie.

##### Fase 2 Analyse en beoordeling

- bepalen en analyseren van kwaliteitsaspecten remote sensing-opnamen met het oog geschiktheid voor archeologisch bureauonderzoek;
- bepalen en analyseren van archeologische factoren en natuurlijke omstandigheden die zichtbaarheid van archeologische complextypen bepalen;
- bepalen van (mate van) zichtbaarheid van archeologische complextypen op remote sensing-opnamen;
- verzamelen van praktijkvoorbeelden (casestudy's).

Voor informatie over remote sensing in Nederland vormt RAAP-rapport 1261 *Remote sensing voor archeologische prospectie en monitoring* uit 2006 een uitstekend startpunt.<sup>6</sup> De proefschriften over archeologische remote sensing van J.A. Brongers en W.H. de Vries-Metz vermelden relevante Nederlandse toepassingen en publicaties op het gebied van archeologie en luchtfoto-interpretatie respectievelijk tot 1971 en tot in het begin van de negentiger jaren van de vorige eeuw.<sup>7</sup> Voor ons rapport hebben we tevens gebruik gemaakt van de Nationale Onderzoeksagenda Archeologie (1.0), hoofdstuk 6 over archeologische prospectie.<sup>8</sup> Meer actuele gegevens over archeologische toepassingen van remote sensing zijn ontleend aan publicaties en informatie van websites op internet, waaronder de websites van de archeologische instituten van de Universiteit Leiden en de Universiteit van Amsterdam. Ook is dankbaar gebruik gemaakt van de grote hoeveelheid, door de Nederlandse overheid en commerciële bedrijven en organisaties online beschikbaar gestelde opnamen en bijbehorende informatie. Ten slotte is gebruik gemaakt van wetenschappelijke artikelen in Engelstalige vakbladen over remote sensing.

Een belangrijk resultaat van fase 1 van de werkzaamheden zijn drie deelrapporten die in het kader van het project Prospectie zijn geschreven. Hierin staat het archeologische gebruik van drie typen van remote sensing-opnamen centraal:

1. analoge en digitale luchtfoto's in het zichtbare deel van het spectrum;<sup>9</sup>
2. sensorbeelden in het niet-zichtbare deel van het spectrum;<sup>10</sup>
3. het Actueel Hoogtebestand Nederland.<sup>11</sup>

Teksten en afbeeldingen uit de betreffende deelrapporten zijn (deels in aangepaste vorm) samengebracht in deze publicatie.

<sup>5</sup> In april 2021 is een publicatie over geofysisch onderzoek van archeologische resten in landbodems verschenen (Jelsma & Verschoof-Van der Vaart 2021).

<sup>6</sup> Sueur 2006.

<sup>7</sup> Brongers 1976; De Vries-Metz 1993.

<sup>8</sup> Kattenberg *et al.* 2008.

<sup>9</sup> Rensink & Theunissen 2020.

<sup>10</sup> Feiken & Van der Heiden 2020.

<sup>11</sup> De Kort & Van Doesburg 2020.

Als onderdeel van fase 1, inventarisatie, zijn eind 2019 en begin 2020 gesprekken gevoerd met de volgende personen:

- W.H. Metz, voormalig medewerker van de Universiteit van Amsterdam. Metz is een van de pioniers op het gebied van archeologische kartering door middel van luchtfotografie in Nederland;
- H. van Londen en J. Waagen van de Universiteit van Amsterdam (UvA). Beiden zijn archeologen die samenwerken op het gebied van landschapsarcheologie en innovatieve technieken van remote sensing (o.a. de inzet van drones);
- S. de Jong van de Universiteit Utrecht. De Jong is een expert op het gebied van remote sensing;
- J. Bourgeois, B. Stichelbaut en W. Gheyle van de Universiteit van Gent. Zij voeren uit en begeleiden vanuit het Centrum Historische & Archeologische Luchtfotografie (CHAL) verschillende luchtfotografische projecten.

De werkzaamheden van fase 2 omvatte onder meer het opstellen van een matrix 'remote sensing en zichtbaarheid archeologische complextypen (landbodems).' Deze matrix maakt inzichtelijk welke typen van vindplaatsen (complextypen conform het Archeologisch Basisregister<sup>12</sup>) wel, niet en mogelijk zichtbaar zijn op het AHN, analoge en digitale luchtfoto's en sensorbeelden. Het gaat hierbij om de zichtbaarheid en herkenbaarheid van complextypen met het blote oog, dat wil zeggen een macroscopische beoordeling eventueel met behulp van een loep, maar zonder toepassing van visualisatie- of andere digitale bewerkings-technieken. De achtergronden, werkwijze en gebruikte bronnen voor het maken van de matrix worden beschreven in paragraaf 5.2.3 van dit rapport.<sup>13</sup>

Ten slotte zijn we op zoek gegaan naar verschillende aansprekende praktijkvoorbeelden die laten zien wat remote sensing voor archeologische prospectie kan opleveren. De teamleden van het project Prospectie zijn daarbij de samenwerking aangegaan met diverse experts uit Nederland en Vlaanderen. Dat heeft geresulteerd in twaalf casestudy's, waarvan acht uit Nederland, drie uit België en één uit het Noord-Duitse Waddenzegebied afkomstig zijn.

## 1.5 Leeswijzer

Deze publicatie bestaat uit drie delen. Het eerste deel omvat vier hoofdstukken waarin we beknopt toelichten wat de vanuit archeologisch oogpunt relevante producten en kwaliteitskenmerken zijn en welke omstandigheden de zichtbaarheid van archeologische resten bepalen. Dit eerste deel bevat ook verschillende kaderteksten waarin de hoofdzaak van de inhoud (synopsis) van de vier hoofdstukken en een aantal specifieke onderwerpen kort zijn verwoord. Zo is de hoofdlijn van het inhoudelijk betoog makkelijk te volgen.

In het tweede deel presenteren we bovengenoemde casestudy's. Dit zijn voorbeelden van verschillende plekken in Nederland, België en Duitsland waar het bestuderen van remote sensing-beelden sporen uit het verleden heeft opgeleverd, zowel op beelden van het Actueel Hoogtebestand Nederland, en op analoge en digitale luchtfoto's en sensorbeelden (infrarood- en radarbeelden). Het derde deel sluit af met verdiepende informatie over de achterliggende principes en technieken van remote sensing.

## 1.6 Dankwoord

Aan de totstandkoming van dit rapport hebben vele personen hun medewerking verricht. In de eerste plaats willen wij Jean Bourgeois, Koen Deforce, Nancy de Jong-Lambregts, Heleen van Londen, Birger Stichelbaut, Bert Terlouw en Jitte Waagen bedanken voor het aanleveren van de casestudy's, inclusief bijbehorend beeldmateriaal. Voorafgaande aan het schrijven van dit rapport zijn interviews gehouden met Willy Metz, Jean Bourgeois en Birger Stichelbaut, Steven de Jong, en Heleen van Londen en Jitte Waagen. Deze gesprekken hebben we als zeer prettig en informatief ervaren. Tessa de Groot leverde voor de Romeinse tijd een bijdrage aan de matrix zichtbaarheid complextypen.

In dit rapport zijn diverse digitale lucht- en andere foto's opgenomen die, mede ten behoeve van de casestudy's, beschikbaar zijn gesteld door externe personen. Voor het maken en/of verlenen van toestemming voor publicatie van deze foto's willen we A. Bakker, Joseph Dufey, Martin Gade, Adrie de Kraker, Willy Metz, Wouter Roessingh, Birger Stichelbaut, Bert Terlouw samen met AWN-afdelingen 18 en 19 en Historische vereniging Old Deep'n, Gijs Timmermans en het Waterschap Aa en Maas zeer hartelijk bedanken.

Roel Lauwerier voorzag een eerste concept van het manuscript van tekstueel en inhoudelijk commentaar. Voor een deskundige, inhoudelijke toets van het laatste concept zijn we Heleen van Londen en Jitte Waagen zeer erkentelijk. *Last but not least* gaat onze dank uit naar Bert Groenewoudt voor zijn waardevolle opmerkingen en het vertolken van de rol van autorisator van het rapport.

<sup>12</sup> De Wit & Sloos 2008. Voor een toelichting op het begrip complextype, zie hoofdstuk 5.

<sup>13</sup> Feiken 2021.

## 2 Welke remote sensing-beelden zijn er en wanneer zijn ze voor archeologen bruikbaar?

### 2A Waar moet een archeoloog op letten bij het gebruiken van remote sensing-beelden?

In dit rapport onderscheiden we drie typen remote sensing-beelden: analoge en digitale luchtfoto's, sensorbeelden (infrarood-, radar-, en multi- en hyperspectrale beelden) en het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Een groot voordeel is dat deze beelden vanaf grote hoogte zijn verkregen en dat zo een actueel overzicht van een relatief groot oppervlak beschikbaar is. Aan de hand van oblique (*bird's eye view*) en verticale opnamen zijn verschijnselen aan het aardoppervlak en de ruimtelijke variatie daarin goed waarneembaar. En daarbij kan het ook gaan om archeologische sporen en structuren.

Niet alle beelden zijn van eenzelfde kwaliteit of resolutie. Dat hangt samen met de precisie waarmee data zijn ingewonnen (bijv. bij digitale luchtfoto's of infraroodbeelden) en de afstand tussen opeenvolgende meetpunten (de meetfrequentie bij het AHN). Een grove vuistregel is dat hoe groter de afstand van het meetstation tot het aardoppervlak, hoe lager de resolutie.

Met deze kwaliteitskenmerken in het achterhoofd worden de beelden vanuit archeologisch oogpunt beoordeeld. Wat zijn de tekens die archeologische resten verraden? In de regel gaat het om opmerkelijke, onnatuurlijke afwijkingen die op de beelden met het blote oog of met een loep zijn te zien, zoals verschillen in de kleur van gewassen, verkleuringen in aangeploegde akkers of hoogteverschillen. Die anomalieën hebben gemeen dat ze een aanwijzing zijn voor archeologische resten in de ondergrond. Deze overblijfselen hebben de eigenschappen van de bodem en/of de topografie beïnvloed waardoor er sporen zijn ontstaan die vanuit grote hoogte zijn waar te nemen.

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk besteden we aandacht aan het beoordelen van remote sensing-beelden. Welke producten zijn er en wat zijn belangrijke kwaliteitskenmerken? Wat is belangrijk voor een goed archeologisch gebruik van luchtfoto's, sensorbeelden en het Actueel Hoogtebestand Nederland? En ook, waar moet je op letten? Hoe tekenen archeologische relicten zich af op dit soort beelden?

### 2.2 Wat zijn producten van remote sensing?

In deze rapportage over archeologische prospectie is remote sensing gedefinieerd als verzamelaam voor technieken waarmee archeologische waarden vanuit de lucht, dat wil zeggen zonder ingreep in de bodem, kunnen worden opgespoord en nader onderzocht (zie paragraaf 1.2). Producten van remote sensing die voor dit doeleinde kunnen worden geraadpleegd, kunnen worden onderverdeeld in twee belangrijke categorieën:<sup>14</sup>

- Beeldmateriaal van remote sensing in het zichtbare spectrum. Het zijn luchtfoto's en satelliet- en dronebeelden die een weergave zijn van elektromagnetische (EM-) straling met golflengtes tussen 0,4 en 0,7 micrometer ( $\mu\text{m}$ ). Deze golflengtes vallen in de spectrale band Rood Groen Blauw (RGB) en zijn zonder verdere bewerking zichtbaar voor het menselijke oog;
- Beeldmateriaal van remote sensing in het niet-zichtbare spectrum. Deze beelden zijn een weergave zijn van de EM-straling met golflengtes groter dan 0,7 micrometer ( $\mu\text{m}$ ). Deze golflengtes zijn niet zichtbaar voor het menselijk oog en worden gerekend tot de spectrale banden nabij infrarood, midden infrarood, thermisch infrarood en microwave (radar).

#### 2.2.1 Luchtfoto's

Analoge luchtfoto's zijn de oudste vorm van remote sensing-beelden. Ze worden al meer dan een eeuw gebruikt. Onder conventionele luchtfoto's worden beelden verstaan die zijn opgenomen in het zichtbare spectrum van het licht (Rood, Groen, Blauw, afgekort als RGB) door middel van een foto toestel. De vroegste vormen van luchtfotografie ontstonden halverwege de negentiende eeuw vanaf luchtballonnen en vliegers. Gedurende de Eerste Wereldoorlog, het interbellum en de Tweede Wereldoorlog werd luchtfotografie vanuit vliegtuigen toegepast en snel ontwikkeld (zie hoofdstuk 3). Afhankelijk van de hoek waarin het aardoppervlak wordt gefotografeerd, worden twee soorten luchtfoto's onderscheiden:

#### Oblique luchtfoto

Een oblique luchtfoto is genomen onder een bepaalde hoek, bijvoorbeeld  $45^\circ$ , het zogenaamde vogelvluchtperspectief.

#### Verticale luchtfoto

Een verticale luchtfoto is recht van boven genomen. De opname vindt plaats met een (nagenoeg) verticale stand van de camera-as. Dit soort foto's kan worden gebruikt als stereofoto.

Nadere toepassingen of afgeleide producten van verticale luchtfoto's zijn:

#### Stereofoto

Een (losse) stereofoto heeft veel overlap met een andere, ingewonnen (losse) luchtfoto. Dankzij deze werkwijze staat elk punt op de aarde op minimaal twee verschillende foto's. Met specialistische apparatuur is diepte te zien in stereofoto's.

<sup>14</sup> Er zijn ook andere indelingen mogelijk, bijv. indelingen die zich baseren op eigenschappen van de toegepaste technieken zoals passief versus actief, imaging en non-imaging, etc. Voor een nadere toelichting op het achterliggende principe van remote sensing en hiermee verbonden technieken, zie hoofdstuk 9.



### 2B True color versus false color-opnamen

Voor vegetatiemonitoring worden vaak infraroodfoto's gebruikt, deze worden ook wel *false color*-foto's genoemd, letterlijk foto's in valse kleuren. Deze opnamen zijn gevoeliger voor variatie in de vegetatie. Een voorbeeld van een *false color*-foto is een Color Infrared (CIR)-foto.

In 2006 is voor heel Nederland een opname gemaakt met een digitale luchtfotocamera. Het resultaat is een digitale luchtfoto met een detail van 50 cm. De foto bevat zowel informatie in het zichtbare licht als in het nabij-infrarode licht. Dit houdt in dat in de spectrale banden blauw, groen, rood en nabij-infrarood de reflectie van het zonlicht gemeten is. De spectrale banden blauw, groen en rood kunnen gebruikt worden om de opname als een normale kleurenfoto weer te geven (afb. 2.1, links). De nabij-infrarode spectrale band maakt het mogelijk om de luchtfoto als een *false color*-opname weer te geven. Dit is een weergave met de spectrale banden groen, rood en nabij-infrarood. De *false color*-weergave is meer geschikt voor het herkennen van vegetatie in een opname dan de gewone kleurweergave. In een *false color*-weergave wordt vegetatie in roodtinten weergegeven (afb. 2.1, rechts).



Afb. 2.1 Digitale luchtfoto weergegeven als gewone kleurenfoto (links) en false color-weergave (rechts) (bron: Koomen et al. 2007).

#### Orthofoto

Een orthofoto is geometrisch gecorrigeerd zodat de schaal uniform is: de foto volgt een gegeven kaartprojectie. In tegenstelling tot een niet-gecorrigeerde luchtfoto kan een orthofoto worden gebruikt voor het meten van echte afstanden. De foto toont een nauwkeurige weergave van het aardoppervlak, dankzij aanpassingen aan topografisch reliëf, lensvervorming en camera-beweging.

#### Orthofotomozaïek

Een orthofotomozaïek is samengesteld uit losse foto's. Aan de basis ervan liggen losse orthofoto's die op zorgvuldige wijze aan elkaar zijn geplakt. Snijlijnen lopen bijvoorbeeld niet door gebouwen, maar langs een weg. Overgangen tussen foto's zijn daardoor nauwelijks zichtbaar.

#### 2.2.2 Sensorbeelden

Het instrument waarmee straling wordt geregistreerd (gemeten) heet *sensor*. Een sensor tast het aardoppervlak en schrijft als stroom enen en nullen op een harddisk weg. Hiervan kunnen digitale beelden worden gemaakt. De meeste sensoren werken volgens het passieve principe, waarbij de reflectie of emissie van stralingsbronnen aan het oppervlak wordt gemeten. Twee specifieke sensoren, radar en LiDAR (laser), treden zelf op als stralingsbron (actieve reflectie). Zij zenden een stralingsbundel naar het aardoppervlak en meten de mate van reflectie aan het

aardoppervlak om vervolgens daaruit een beeld te construeren. Sensoren kunnen worden bevestigd aan satellieten, vliegtuigen en drones.

#### Rood, Groen, Blauw-beeld ('digitale luchtfoto' of 'true color-foto')

Een RGB-beeld is de weergave van de meting van de straling in het zichtbare spectrum, met een frequentie tussen 0,4 en 0,7  $\mu\text{m}$ . De weergave toont een natuurgetrouw beeld van de werkelijkheid. Een *true color*-foto is een kleurenfoto zoals het menselijk oog het zou zien (zie kadertekst 2B).<sup>15</sup>

#### Infrarood beeld

Een infraroodbeeld is de weergave van de meting van de straling met een frequentie tussen 0,7 en 15  $\mu\text{m}$ . Er zijn beelden van de volgende spectrale banden: Nabij Infrarood (NIR, 0,7-1,0  $\mu\text{m}$ ), Midden Infrarood (MIR, 1,0-3  $\mu\text{m}$ ) en Thermisch Infrarood (TIR, 3-15  $\mu\text{m}$ ).

#### Radarbeeld

Een radarbeeld is een weergave van de reflectie of 'terugverstrooiing' (*backscatter*) van verzonden radarpulsen (korte puls van elektromagnetische energie met golflengtes van 1 mm tot 1 m). Een antenne zendt deze pulsen zijwaarts en dezelfde antenne ontvangt de retourpulsen van het terrein.

<sup>15</sup> Koomen et al. 2007.

### Spectraal beeld

Een spectraal beeld bestaat uit een weergave van meerdere spectrale banden die tegelijkertijd zijn vastgelegd. In dit rapport beperken we ons tot multi- en hyperspectrale opnames. Het verschil tussen de technieken is de breedte van en het aantal banden. Bij multispectrale opnames worden 3 tot 15 banden tegelijkertijd vastgelegd. De banden hebben een relatief vrij groot bereik (0,1-0,3 micrometer) en bestaan vaak uit rood, groen, blauw en bijna-infrarood. Hyperspectrale opnames leggen wel honderden tot duizenden verschillende contingente spectrale banden vast. Ze hebben een veel kleiner bereik van slechts 0,01 tot 0,02 micrometer. Hierdoor is de hoeveelheid informatie die in de data besloten ligt groter, maar de analyse van die data is veel complexer dan bij multispectrale opnames.

#### 2.2.3 Actueel Hoogtebestand Nederland

Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) is gemaakt met behulp van LiDAR. Van het AHN-bestand bestaan drie versies, AHN1, AHN2 en AHN3, met verschillende nauwkeurigheid en resolutie. Het AHN bestaat uit een geclassificeerde puntenwolk.<sup>16</sup> Dit houdt in dat elk (gemeten) punt is toegekend aan een van de volgende klassen: maaiveld, bebouwing, water, kunstwerk of overig. De geclassificeerde puntenwolk ligt aan de basis van een aantal producten. De producten van AHN3 zijn: een LAZ-puntenwolk, een Digitaal Terrein Bestand (DTM: *Digital Terrain Model*) en een Digitaal Hoogtebestand (DSM: *Digital Surface Model*) [zie paragraaf 4.4.2].

#### LAZ-puntenwolk

De LAZ-puntenwolk is een bestand waarin alle metingen (zoals ze zijn gedaan) beschikbaar zijn, inclusief alle kenmerken van dat punt zoals intensiteit, klasse, vliegstrooknummer en tijdstip. LAZ kan door de meeste software rechtstreeks ingelezen worden.<sup>17</sup> Omdat LAZ-puntenwolken zware bestanden zijn, benutten de meeste gebruikers afgeleide producten. LAZ-puntenwolken zijn uitermate geschikt om extra analyses op de data uit te voeren, bijvoorbeeld om 3D-reconstructies van een bebouwde omgeving te genereren, en om volledig gebruik te maken van de classificatie van de data.

#### Digitaal Terrein Bestand

Van alle als 'maaiveld' geclassificeerde punten wordt een Digitaal Terrein Bestand (DTM: *Digital Terrain Model*) gemaakt. Middels de *Squared Inverse Distance Weighting*-methode wordt voor iedere cel van 50 x 50 cm een waarde berekend die het best de waarde van het centrum van deze cel representeert. Lege cellen krijgen een 'no-data' waarde. Zodoende ontstaat voor het hele gemeten

gebied een raster dat de hoogte van het maaiveld representeert. Dit raster bevat gaten op plekken waar geen maaiveld gemeten is, zoals in water en onder gebouwen. Van dit raster wordt vervolgens een 5 m raster afgeleid. Voor iedere cel van 5 x 5 m wordt de gemiddelde waarde van alle 0,5 x 0,5 m cellen genomen als waarde, tenzij meer dan 60% van de 0,5 x 0,5 m cellen een 'no-data' waarde heeft, dan krijgt de 5 x 5 m cel ook een 'no-data' waarde. Deze rasterbestanden in GeoTiff-formaat zijn makkelijk te gebruiken in allerlei (GIS-)softwarepakketten.

#### Digitaal Hoogtebestand

Naast het terreinbestand dat het maaiveld weergeeft, is er ook een bestand dat alle data representeren behalve de klasse 'water'. Dit Digitale Hoogtebestand (DSM: *Digital Surface Model*) wordt op dezelfde wijze gemaakt als een DTM-bestand. Alleen worden dan niet alleen de maaiveldpunten meegenomen, maar ook gebouwen, kunstwerken en overige punten. Water blijft ook hier buiten beschouwing en wordt derhalve als 'no-data' gepresenteerd.

## 2.3 Wat zijn de kwaliteitskenmerken?

### 2.3.1 Inleiding

Om voor archeologische doeleinden bruikbaar te zijn, moet de resolutie van remote sensing foto's en beelden van dien aard zijn dat (mogelijke) archeologische objecten, elementen en structuren zichtbaar en als zodanig herkenbaar zijn. Er bestaan verschillende typen resolutie, zoals temporele, ruimtelijke, radiometrische en spectrale resolutie.<sup>18</sup> In deze paragraaf richten we ons vooral op de ruimtelijke resolutie. De volgende kenmerken worden behandeld: schaalniveau analoge luchtfoto's, resolutie sensorbeelden en de resolutie van het AHN. Tenslotte komen kwaliteitskenmerken die specifiek gelden voor satellieten en drones aan bod.

### 2.3.2 Schaalniveau van analoge luchtfoto's

In het analoge tijdperk was het begrip schaal de aanduiding voor het detailniveau en daarmee de intrinsieke kwaliteit van het fotonegatief. Tabel 2.1 laat zien welke afmetingen (in mm) specifieke objecten of fenomenen (bijv. huizen, wegen of groeves) hebben op analoge luchtfoto's met een verschillend schaalniveau. Analoge luchtfoto's met het laagste schaalniveau in de tabel, schaal 1:20.000, zijn bijvoorbeeld minder geschikt voor het herkennen van objecten kleiner dan 100 m. Het neemt niet weg dat luchtfoto's met deze schaal wel kunnen worden gebruikt voor het in kaart brengen van bijvoorbeeld grotere landschappelijke structuren. Aan de andere kant van het spectrum staan luchtfoto's met het hoogste schaalniveau, schaal 1:1000, in de tabel. Deze foto's bieden beduidend meer detail waardoor ook kleine objecten zichtbaar en herkenbaar zijn.

<sup>16</sup> Tekst over AHN is dit deel van het rapport is grotendeels ontleend aan [www.ahn.nl/ahn-making](http://www.ahn.nl/ahn-making).

<sup>17</sup> LAS staat voor LASer en is geen afkorting. Een LAZ is hetzelfde als een LAS alleen gecompriemd.

<sup>18</sup> Sueur 2006.



**Tabel 2.1 Relatie tussen schaal van analoge luchtfoto's en grootte (in mm) waarop objecten of fenomenen op deze foto's zichtbaar zijn.**

Werkelijke grootte objecten	1-10 m	10-50 m	50-100 m	100-500 m	>500 m
Schaal	grootte objecten op analoge luchtfoto's (in mm)				
1:1000	1-10	10-50	50-100	100-500	>500
1:2000	0,5-5	5-25	25-50	50-250	>250
1:5000	0,2-2	2-10	10-20	20-100	>100
1:10.000	0,1-1	1-5	5-10	10-50	>50
1:20.000	0,05-0,5	0,5-2,5	2,5-5	5-25	>25

Bovenstaande tekst maakt duidelijk dat het schaalniveau van analoge luchtfoto's mede bepalend is voor de zichtbaarheid van aan of op het huidige oppervlak gelegen objecten, elementen en structuren. Luchtfoto's met een hoog schaalniveau tonen een scherpere weergave van deze objecten, elementen en structuren dan foto's met een laag schaalniveau waardoor de kwaliteit van de waarneming hoger is. In paragraaf 5.3 gaan we nader in op deze relatie tussen schaalniveau en zichtbaarheid. Centrale vraag daarbij is wat de betekenis van verschillende schaalniveaus is voor het herkennen van (specifieke typen van) archeologische vindplaatsen op analoge luchtfoto's.

### 2.3.3 Resolutie sensorbeelden

Sensorbeelden zijn opgebouwd uit beeldpunten. Deze beeldpunten worden ook wel pixels genoemd. Een pixel is het kleinste beeld-element in de opname, meestal één lichtgevoelige cel van de sensor. De afmeting van een pixel is afhankelijk van het type sensor waarmee het beeld gemaakt is en de vlieghoogte bij het moment van opname. De pixelgrootte kan variëren van 5 cm tot enkele meters. Bij normaal gebruik van een beeld zijn de afzonderlijke pixels in de regel niet zichtbaar.<sup>19</sup> Deze worden pas zichtbaar bij sterke uitvergroting.

Wat bij analogo beeldmateriaal (analoge luchtfoto's, kaarten) wordt uitgedrukt in schaal, wordt bij digitaal beeldmateriaal uitgedrukt in raster- of grondresolutie (GSD of *Ground Sampling Distance*). Deze rasterresolutie wordt uitgedrukt in meters of cm (bijv. 1 m, 25 cm en 10 cm). Het aantal pixels, dat wil zeggen de diodes op de sensor, staat vast en bepaalt de resolutie. Hoeveel detail een beeld bevat, wordt bepaald door onder andere de afstand tussen de sensor en bijvoorbeeld een object op het aardoppervlak. Een resolutie van 1 m betekent dat één pixel van de digitale opname een detail van het aardoppervlak weergeeft van 1 x 1 m, ongeacht hoe ver wordt ingezoomd of uitgezoomd op het beeld. Op een beeld met een grondresolutie van 25 cm heeft een object

van 1,5 m<sup>2</sup> 24 pixels. Op een beeld met een grondresolutie van 10 cm heeft hetzelfde object 150 pixels. Met een rasterresolutie van 5 cm is het aantal pixels nog hoger en kunnen meer details worden onderscheiden.

Op basis van een eenvoudige rekenformule (*rule of thumb*) kan rasterresolutie worden omgerekend naar (kaart)schaal: map schaal = raster resolutie (in meters) \* 2 \* 1000. Uitgaande van deze formule correspondeert bijvoorbeeld een rasterresolutie van 1 m met schaal 1:2000 van analogo beeldmateriaal.

### 2.3.4 Resolutie van het Actueel Hoogtebestand Nederland

Voor onbewerkte LiDAR-gegevens, ingewonnen via laseraltimetrie, wordt de resolutie bepaald door het aantal meetpunten per m<sup>2</sup> en de nauwkeurigheid van de hoogtegegevens. Beide variabelen zijn uiteengezet in tabel 2.2.<sup>20</sup> De meetgegevens en resolutie van het AHN werden in de loop van de tijd door de nieuwere versies steeds beter, en met het AHN4 zal nog beter beeldmateriaal beschikbaar komen.<sup>21</sup>

**Tabel 2.2 Opnameperiode en resolutie van het AHN1, AHN2 en AHN3.**

Versie	Periode	Aantal meetpunten	Nauwkeurigheid hoogte
AHN1	1996-2002	varieert tussen 1 punt per 16 m <sup>2</sup> en 1 punt per 1 m <sup>2</sup>	20 cm, voor minimaal 68,2% van de punten 35 cm, voor minimaal 95,4% van de punten 50 cm, voor minimaal 99,7% van de punten
AHN2	2007-2012	gemiddeld tussen 6 en 10 punten per 1 m <sup>2</sup>	10 cm, voor minimaal 68,2% van de punten 15 cm, voor minimaal 95,4% van de punten 20 cm, voor minimaal 99,7% van de punten
AHN3	2014-2019	gemiddeld tussen 6 en 10 punten per 1 m <sup>2</sup>	10 cm, voor minimaal 68,2% van de punten 15 cm, voor minimaal 95,4% van de punten 20 cm, voor minimaal 99,7% van de punten

(bron: <https://www.ahn.nl/kwaliteitsbeschrijving>)

De dichtheid in het aantal meetpunten en de nauwkeurigheid van de hoogte verschilt per generatie. Vooral AHN2 leverde voor de archeologie veel nieuwe ontdekkingen op. Wellicht dat dat voor het AHN4 met een punt dichtheid van gemiddeld 10-14 punten per vierkante meter ook zal zijn.

<sup>20</sup> De gegevens over de AHN-generaties zijn afkomstig uit: <https://www.ahn.nl/kwaliteitsbeschrijving>.

<sup>21</sup> Inmiddels wordt er gewerkt aan de vierde versie, het AHN4. Deze versie zal tussen 2020 en 2022 worden ingemeten waardoor er voor heel Nederland sneller dan bij de voorgaande versies een update beschikbaar komt.

<sup>19</sup> Uitzondering zijn bijv. thermische camera's die zelden een hogere resolutie dan 640 x 512 pixels hebben. Bij deze resolutie zijn de pixels wel zichtbaar.



Afb. 2.2 Digitale luchtfoto genomen vanuit een drone van het archeologisch onderzoek in Siegerswoude. Aanleiding daarvoor was de ontdekking van een grote rechthoekige structuur die zowel als vegetatieverkleuring op luchtfoto van de droge zomer van 2018 te zien was, als ook op het Actueel Hoogtebestand Nederland.

### 2.3.5 Specifieke kwaliteitskenmerken van satellieten

Een beperkende factor bij het gebruik van satellietbeelden, in vergelijking met digitale luchtfoto's, was lange tijd de relatief beperkte rasterresolutie. Waar in het begin de pixelgrootte van de beelden in de buurt van enkele kilometers lag, is de pixelgrootte van de gemiddelde satellietbeelden nu ongeveer 100 tot 250 m, terwijl de commercieel verkrijgbare satellietbeelden een pixelgrootte hebben van enkele decimeters, en dus vergelijkbaar of soms zelfs beter zijn dan luchtfoto's. De hoogst beschikbare resolutie vanuit satellieten is 31 cm (Worldview III) en deze resolutie benadert bijna de grondresolutie (25 cm of 10 cm) van beelden genomen vanuit vliegtuigen.

Een andere beperkende factor is dat de afstand tussen een satelliet en het aardoppervlak groot is en dat door een veel dikkere laag atmosfeer moet worden heen gekeken (dit geldt overigens niet voor radar). Als gevolg hiervan biedt een 30 cm-luchtfoto ook meer detail dan een 30 cm-satellietbeeld. Daartegenover staat de grote dekking van satellietbeelden. Satellieten kennen namelijk geen beperking in de dekking en data is in principe wereldwijd beschikbaar. De frequentie wordt beperkt tot hoe vaak de betreffende satelliet over komt en of het op dat moment helder weer is (anders zie je op de satellietbeelden alleen wolken). Er zijn satellieten die elke dag de hele aarde fotograferen, maar die hebben een hele lage resolutie. Voor een satelliet met een enigszins bruikbare resolutie ligt de capaciteit aanzienlijk lager. In de praktijk is een landsdekkende jaarlijkse update met een resolutie van 30-50 cm goed haalbaar.

### 2.3.6 Specifieke kwaliteitskenmerken drones

Drones kunnen op verschillende hoogten vliegen en interactief naar een specifiek gebied worden gestuurd. Drones hebben verder als groot voordeel dat met vrijwel elke gewenste grondresolutie (ruimtelijke resolutie) en elke gewenste frequentie (temporele resolutie) metingen kunnen worden verricht. Ze kunnen op verschillende hoogtes boven een specifieke locatie worden ingezet voor het maken van beelden met een grote mate van detail. Door bevestiging van een camera of sensoren onder de drone kunnen hoogwaardige opnamen van specifieke locaties worden gemaakt. Een drone kan in meer traditionele zin worden gebruikt voor het registreren van verschillen in gewasgroei als indicatie voor de aanwezigheid van bijv. muurresten in de ondergrond. Het voordeel van een drone is dat op hiervoor geselecteerde locaties zeer gericht, meermaals en onder verschillende (weers-)

omstandigheden kan worden gevlogen en dat een zeer hoge resolutie in zowel het zichtbare als niet-zichtbare spectrum kan worden verkregen.

De grootste handicap is dat het met drones onmogelijk is om van grote gebieden, zoals een gemeente of een heel land, een dekkende luchtfoto te maken. Een van de redenen is dat er veel gebieden zijn waarboven niet met een drone gevlogen mag worden (*restricted areas*), waaronder snelwegen, vliegvelden zoals Schiphol en natuurgebieden van Staatsbosbeheer.<sup>22</sup> Ook zijn er regels voor de maximale vlieghoogte en speelt de benodigde tijd voor het maken van droneopnamen een belangrijke rol. In het geval van opnamen met een grote dekking, moet er vanaf verschillende locaties met de drone worden gevlogen. Dit heeft te maken met de maximale afstand tot de drone piloot, ongeacht de dekking van de sensor.<sup>23</sup> In dat geval is het verzamelen en bewerken van data een (zeer) tijdrovende klus. Dat maakt dat dronebeelden met grote dekking ook hoge kosten met zich meebrengen, die alleen maar hoger worden als de frequentie omhooggaat. Het feit dat drones minder geschikt zijn voor het karteren van grote gebieden, is de beperkte vliegduur van een drone. Dronebeelden zijn daarom geschikt voor het inwinnen van data op specifieke (bijv. archeologische) locaties en (nog) niet voor een toepassing op regionale of landelijke schaal.

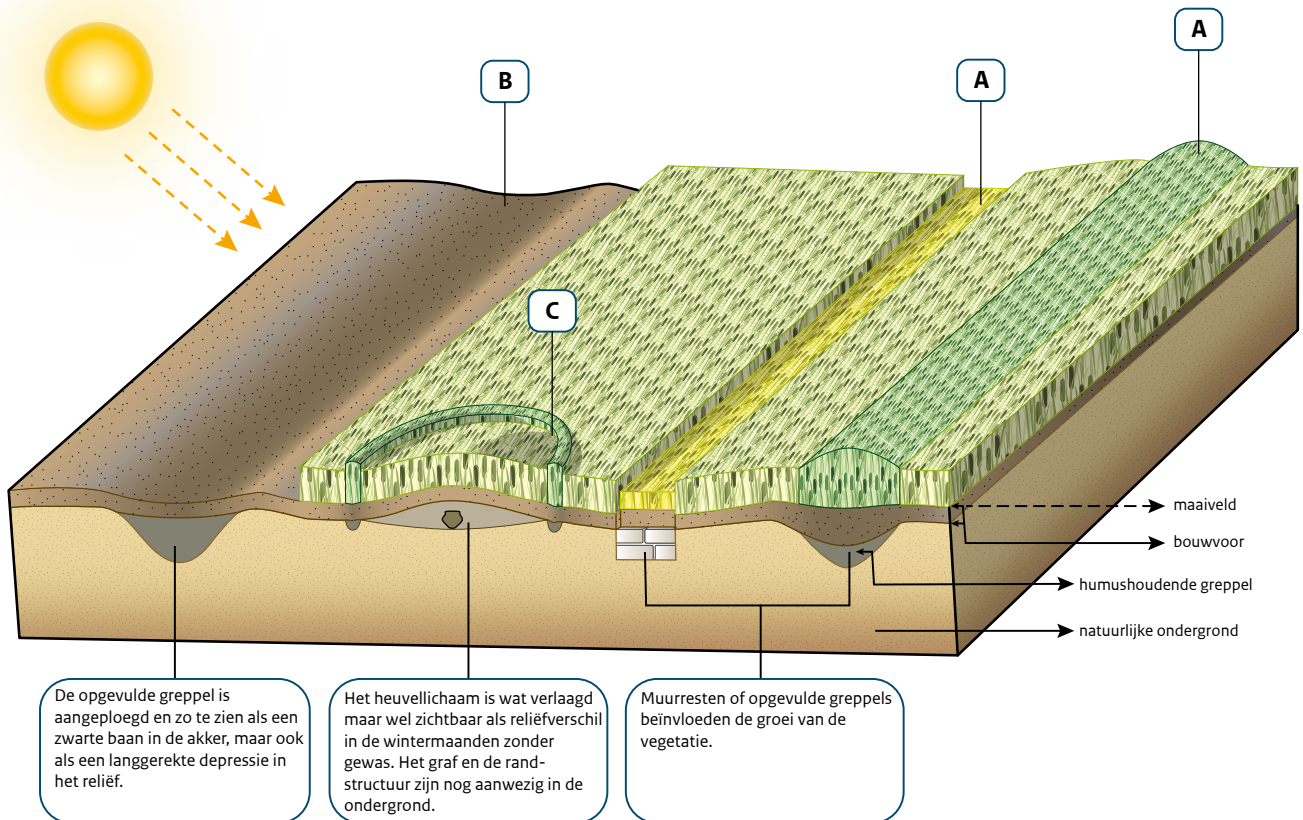
## 2.4 Welke tekens in het landschap verraden archeologische resten ?

### 2.4.1 Inleiding

Een groot voordeel van het gebruik van remote sensing-beelden – of het nu foto's, sensor- of AHN-beelden zijn – voor archeologische prospectie is het andere perspectief dat ze bieden. Met het vogelvluchtperspectief, hoog van boven, is het mogelijk archeologische vindplaatsen te zien die in het veld niet of nauwelijks zichtbaar zijn. Maar wat maakt dat vindplaatsen zichtbaar zijn, wat zijn de tekens in het landschap die (mogelijke) archeologische resten verraden? In feite gaat het om afwijkingen in de sensor-metingen die na bewerking in foto's en beelden van remote

<sup>22</sup> Voor 90% van de *restricted areas* is ontheffing aan te vragen. Een ontheffing wordt bijvoorbeeld niet verleend voor een vliegveld met luchtverkeerstoren. Omdat er in Nederland veel *restricted areas* zijn, moet hiermee terdege rekening worden gehouden bij de voorbereiding van een (archeologisch) project.

<sup>23</sup> Bijvoorbeeld een fixed wing drone heeft een veel groter bereik dan een multicopter en kan dus meer oppervlak dekken met dezelfde sensor, maar mag desalniettemin niet verder dan 500 m van de piloot verwijderd zijn.



Afb. 2.3 Engelse archeologen onderscheiden drie typen verkleuringen: A gewas-/vegetatieverkleuringen, B bodemverkleuringen en C schaduwverkleuringen.

sensing zichtbaar zijn, zoals verschillen in de kleur van gewassen, in aangeploegde akkers of hoogteverschillen. Die anomalieën hebben gemeen dat ze een aanwijzing zijn voor archeologische resten in de ondergrond. Deze overblijfselen hebben de eigenschappen van de bodem en/of de topografie beïnvloed waardoor er sporen zijn ontstaan die vanuit grote hoogte zijn waar te nemen.

#### 2.4.2 Crop marks, soil marks en shadow marks

De Engelsen hebben een lange traditie in luchtfoto-analyse en voor deze sporen drie begrippen bedacht (afb. 2.3). Het kernwoord daarvan is *mark*, in het Nederlands 'teken', aangevuld met een woord verwijzend naar de context waarin de verschillen zichtbaar zijn: *crop* (gewas) of *vegetation* (vegetatie), *soil* (bodem) en *shadow* (schaduw).<sup>24</sup> Bij de laatste categorie van *shadow marks* gaat het om verschillen in (maaiveld-)hoogte en dat maakt dat dit begrip ook van toepassing is op beelden van het AHN, zeker wanneer voor de visualisatie *hillshade* of *shaded relief* wordt gekozen (zie paragraaf 4.4.2). De drie verschillende tekens kunnen als volgt worden toegelicht:

**1 Gewas- of vegetatieverkleuringen** (*crop or vegetation marks*) zijn groeiverschillen in gewassen of natuurlijke vegetatie, in kleur en/of hoogte. Deze groeiverschillen houden verband met wat er ondergronds aanwezig is en dat beïnvloedt de vochtthuishouding of samenstelling van de bodem. Zo zal gewas boven ondergrondse muurresten minder goed groeien ('negative' *crop marks*) dan gewas boven opgevulde greppels ('positive' *crop marks*) (afb. 2.4). Voorbeelden van casestudy's waarin archeologische sporen aan de

hand van *crop marks* zijn herkend, zijn Vught-De Gement (paragraaf 7.1), Kloosterzande-Drogendijk (paragraaf 7.2) en Ieper-Frezenberg (B) (paragraaf 7.3).

Met gevoelige nabij-infraroodsensoren kunnen kleine variaties in de hoeveelheid gereflecteerd nabij-infraroodlicht worden geregistreerd, en daarmee dus informatie verkregen worden over de vitaliteit van vegetatie. Nabij-infraroodlicht wordt door vegetatie gereflecteerd al naar gelang de gezondheidstoestand van die vegetatie: hoe meer vegetatiestress, hoe minder nabij-infrarood licht wordt gereflecteerd. De vitaliteit van de vegetatie is ook voor archeologische prospectie belangrijk vanwege de relatie met bodemtoestand en -samenstelling. Vegetatiestress kan worden veroorzaakt door fenomenen in de bodem: plaatselijke verdroging of vernatting, vervuilingen of lokale verschillen in bodemsamenstelling.<sup>25</sup>

**2 Bodemverkleuringen** (*soil marks*) zijn kleurverschillen in een aangeploegde of afgegraven ondergrond. De afwijkende kleur van de opgeploegde spoorvullingen tekent zich af tegen de natuurlijke ondergrond. Goede voorbeelden zijn de vanuit vliegtuigen gefotografeerde greppels en kuilen van boerenerven uit de bronstijd in West-Friesland op aangeploegde akkers (afb. 2.5). Een ander voorbeeld betreft Maredsous-Biert in België, een van de casestudy's die in hoofdstuk 7 worden besproken.

**3 Schaduwverkleuringen** (*shadow marks*) zijn verschillen in schaduwwerking als gevolg van hoogteverschillen van het aardoppervlak. Laagstaand zonlicht in de wintermaanden, bij voorkeur in de vroege morgen of late namiddag, zorgt voor een

<sup>24</sup> Voor een Engelstalige publicaties over dit onderwerp, zie bijvoorbeeld Riley 1979, Edis, Macleod & Bewley 1989.

<sup>25</sup> Ghauharali 2007.





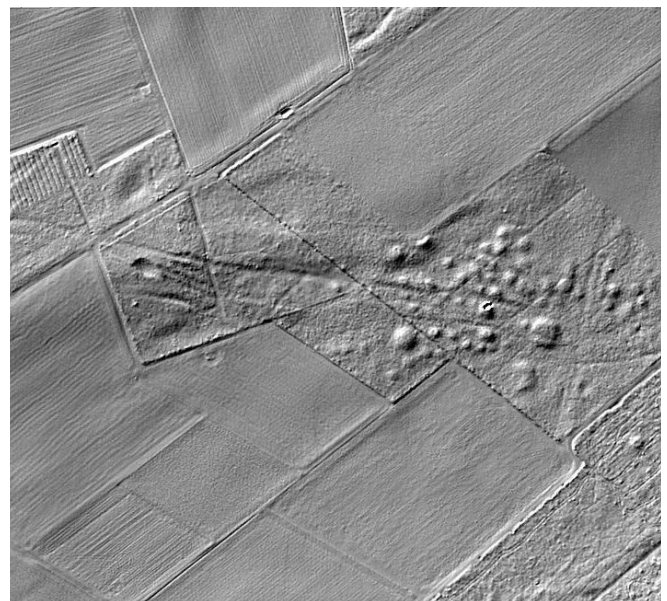
Afb. 2.4 De droogte in de zomer van 2018 bracht zigzagstructuren parallel aan de IJssel bij de Westervoortse Brug ten zuiden van Arnhem aan het licht. Het zijn crop marks van Duitse loopgraven, gegraven in december 1944 (©Jan van Dalen Fotografie, [www.martijnreinderswoz.wordpress.com](http://www.martijnreinderswoz.wordpress.com)).



Afb. 2.5 In het West-Friese Broekerhaven tekent zich in de aangeploegde akkers duidelijk boerenerven uit de midden- en late bronstijd af als bodemverkleuringen (foto W.H. Metz, Huizen).

subtiële aftekening van het reliëf. Zeker als er ook een dun laagje sneeuw ligt. In open landschappen kunnen de lage wallen van een prehistorisch raatakkercomplex voor schaduwwerking zorgen die vanuit de lucht zijn waar te nemen.

Omdat het gaat om reliëfverschillen van het maaiveld is het goed om de afwisselingen in hoogte te benadrukken, ook binnen de context van de analyse van het AHN waar in GIS-programma's virtuele schaduwen zijn te maken (afb. 2.6, zie ook [casestudy Hilversum-Hoorneboegse Heide in paragraaf 6.1](#)).<sup>26</sup>



Afb. 2.6 In bospercelen op de Zaarderheiken bij Venlo ligt een grafheuvel met bundels karrensporen verscholen. De AHN-hillshade laat deze duidelijk zien (bron: Fontijn et al. 2019).

<sup>26</sup> Theunissen & De Kort 2014.

## 3 Remote sensing in de Nederlandse archeologie: het analoge tijdperk

### 3A Een eeuw analoge luchtfotografie

Voor het opsporen van archeologische vindplaatsen wordt (analoge) luchtfotografie al bijna een eeuw, maar wel met de nodige tussenpauzes toegepast in Nederland. Pioniers zijn Von Frijtag Drabbe vlak na de Tweede Wereldoorlog en Brongers in de jaren zeventig van de vorige eeuw. Zij maken gebruik van analoge zwart-witfoto's genomen voor militaire en topografische doeleinden. In de jaren negentig maakt De Vries-Metz zelf luchtfoto's van in akkers gelegen en aangeploegde bronstijdvindplaatsen in West-Friesland.

Met uitzondering van de luchtfoto's genomen door De Vries-Metz zijn luchtfoto's van het aardoppervlak van Nederland niet specifiek voor archeologische doeleinden genomen. Hierin onderscheidt ons land zich van andere landen en met name Engeland. In dat land heeft luchtfotografie een lange traditie en is het een volwaardig onderdeel van archeologische prospectie. De proefschriften van Brongers en De Vries-Metz tonen de grote meerwaarde van analoge luchtfoto's voor archeologische prospectie en nader wetenschappelijk onderzoek onmiskenbaar aan.

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven we een historisch overzicht van het gebruik van analoge luchtfoto's voor archeologische doeleinden in Nederland (afb. 3.1 en tabel 3.1). Ondanks het feit dat opnamen van het aardoppervlak van ons land in vrijwel alle gevallen niet specifiek voor archeologische toepassing zijn ingewonnen, zijn archeologen zich al lange tijd bewust van de grote waarde ervan als bron van onderzoek in hun eigen vakgebied.<sup>27</sup>

### 3.2 Analoge luchtfoto's

Conventionele, analoge luchtfoto's vormen de oudste en gedurende vrijwel de gehele twintigste eeuw de enige beschikbare bron van remote sensing. Het zijn opnamen in het voor het menselijke oog zichtbare bereik, eerst in zwart-wit en later ook in

kleur (rood-groen-blauw). Het maken van luchtfoto's vanuit vliegtuigen gaat terug tot in het begin van de twintigste eeuw. Deze overboordfoto's in zwart-wit trekken precies een eeuw geleden, in 1921, de aandacht van de Topografische Dienst (destijds onderdeel van de Militaire Verkenningen) die de opnamen vergelijkt met de situatie in het veld. Daarbij worden behalve topografische bijzonderheden ook andere zaken waargenomen. De allereerste luchtfoto's die gericht zijn genomen om archeologische verschijnselen vast te leggen, zijn die van de grafheuvelgroep Zeven Bergjes op de Zuiderheide bij Hilversum (rond 1926), van het grafveld van Laudermake in de provincie Groningen (in 1932)<sup>28</sup>, en van het Noordsche Veld bij Zeijen (in 1934).<sup>29</sup> Vanaf 1931 neemt het besef van de gebruikswaarde van de foto's toe, zeker wanneer de opnamen zelf beter worden en bovendien geschikt voor stereoscopisch gebruik.

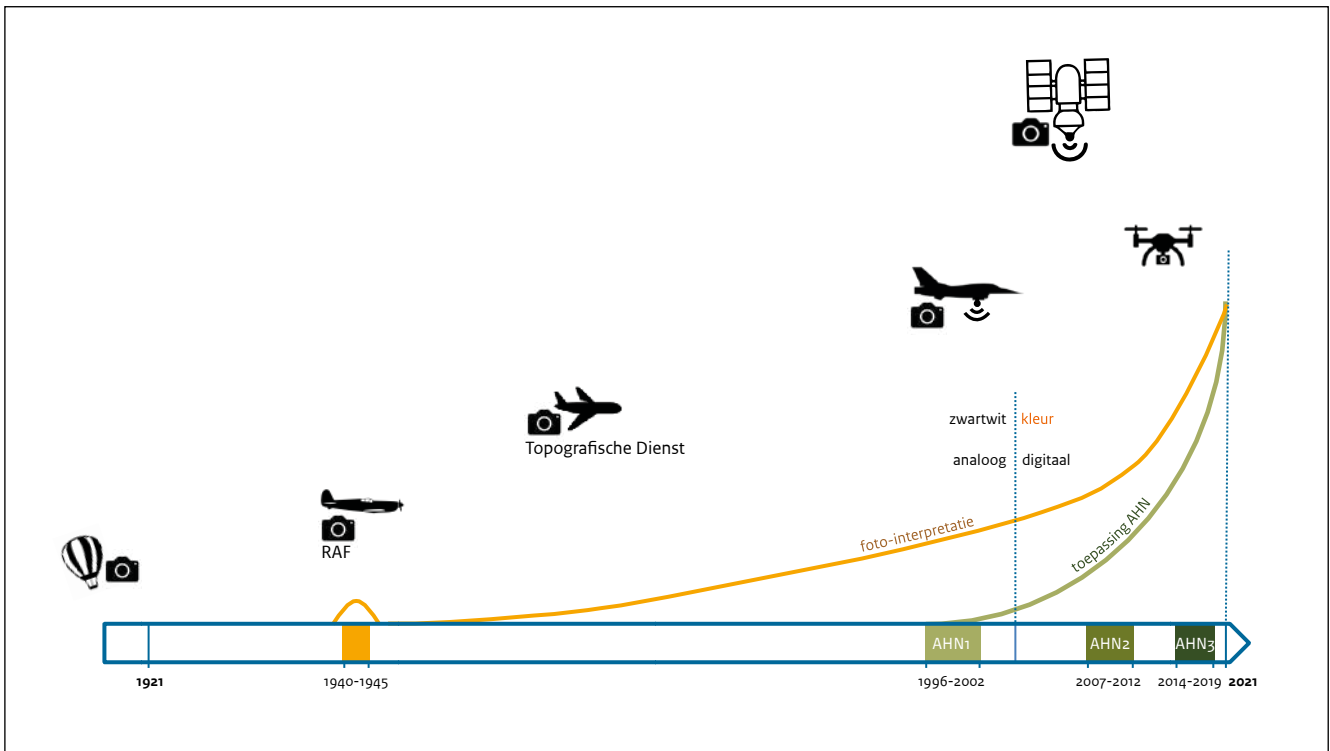
<sup>27</sup> Een toename van het gebruik van remote sensing beeldmateriaal in de archeologie blijkt uit het aantal artikelen dat in internationale, peer-reviewed tijdschriften verschijnt. Het gaat om zowel archeologische tijdschriften als breder georiënteerde remote sensing-tijdschriften, zie Luo *et al.* 2019, Fig. 2 en Fig. 3.

<sup>28</sup> Van Giffen 1939.

<sup>29</sup> Halbertsma 1948.

Tabel 3.1 Beknopt historisch overzicht van het gebruik van analoge luchtfoto's in Nederland.

Periode	Opnamen	Bruikbaarheid	Voorbeelden in literatuur
1920-1939	eerste luchtfoto's van Dienst der Militaire Verkenningen en Topografische Dienst schaal 1:10.000, 1:20.000 en kleinere schaal	grotere archeologische complextypen zijn zichtbaar, bijvoorbeeld raatakkers, middeleeuwse verkavelingen, Romeinse en andere wegen, terpen, fortificaties, kastelen en dijken.	Von Frijtag Drabbe 1947, Pl. 68 t/m 73
1920-1939	analoge, zwart-wit (overboord) luchtfoto's van steden en dorpen	relatief kleinschalige opnamen, bruikbaar voor het opsporen van grote structuren en complexen	
1940-1945 Tweede Wereldoorlog	analoge zwart-witluchtfoto's van Britse Royal Air Force (RAF), schaal 1:5.000 tot 1:73.500; het meest gebruikelijk is 1:7.600 tot 1:18.000.	relatief kleinschalige foto's, bruikbaar voor het opsporen van grote structuren en complexen	Von Frijtag Drabbe 1947; Brongers 1976
1946-2006	naoorlogse luchtfoto's door Topografische Dienst van de Koninklijke Landmacht. schaal: 1:18.000 en 1:20.000	grotere archeologische complextypen zijn zichtbaar, bijvoorbeeld raatakkers, middeleeuwse verkavelingen, Romeinse en andere wegen, terpen, fortificaties, kastelen en dijken	Brongers 1976
1970-2000	collectie luchtfoto's van W.H. de Vries-Metz	oblique luchtfoto's van West-Friesland gemaakt specifiek voor archeologische doeleinden: zeer geschikt voor herkennen bronstijdnederzettingssporen aan de hand van <i>soil marks</i> en het monitoren van archeologisch waardevolle terreinen	De Vries-Metz 1993, 1994



Afb. 3.1 De verschillende technieken van remote sensing hebben elk hun eigen geschiedenis in toepassing in Nederland. Luchtfotografie is de oudste. Digitale beelden verkregen via satellieten en de inzet van drones zijn de jongste. De laatste twee decennia kunnen niet los gezien worden van de grote technologische veranderingen, zoals betere meetinstrumenten, snellere computers, meer opslagcapaciteit en geavanceerdere software.

Naast militaire toepassingen is in ons land traditioneel een belangrijke rol weggelegd voor luchtfoto's bij het maken en actualiseren van topografische kaarten. Luchtfoto's die fungeren als bron van deze kaarten worden vanaf 1927 gemaakt vanuit vliegtuigen loodrecht naar beneden (verticaal-opnamen). De schaal van de analoge zwart-witopnamen varieert tussen 1:10.000 en 1:20.000. Ook worden ze op kleinere schaal gemaakt. Ten behoeve van topografische kaarten, schaal 1:10.000 worden luchtfoto's gemaakt op een hoogte van ongeveer 1800 meter. Rond de Tweede Wereldoorlog is Von Frijtag Drabbe de eerste die archeologische vindplaatsen op systematische wijze in kaart brengt met behulp van verticale zwart-witluchtfoto's (zie afb. 3.2 en kadertekst 3B).<sup>30</sup> De foto's waren kort voor, tijdens en kort na de Tweede Wereldoorlog vervaardigd voor topografische en militaire karteringen. Ook Engelse luchtfoto's gemaakt door de Royal Air Force (RAF) bleken een goede bron. Het archief van dat beeldmateriaal wordt nog steeds door het Kadaster beheerd.<sup>31</sup> In 1947 en 1948 publiceert Von Frijtag Drabbe verschillende zwart-witluchtfoto's waarop uiteenlopende archeologische verschijnselen als lichtere of donkere verkleuringen zichtbaar

zijn.<sup>32</sup> Voorbeelden zijn het Romeinse castellum bij Vechten, verdrinken dorpen in Noord-Holland en in het verdrinken land van Ierseke, prehistorische raatakkers in Drenthe (afb. 3.3), en terpen inclusief walcomplexen in het terpengebied bij Dokkum.

In en direct na de Tweede Wereldoorlog worden luchtfoto's genomen tijdens talloze militaire vluchten boven Nederland. Het resulteert in een omvangrijke en belangrijke set van analoge luchtfoto's in zwart-wit. Ze zijn afkomstig van de Britse Royal Air Force (RAF) en bestrijken grote delen van Nederland (afb. 3.4). Hoewel deze daar niet voor bedoeld waren, blijken de RAF-foto's van grote waarde voor het herkennen van archeologische sporen, zoals een versterkte woonplaats uit de middeleeuwen bij Holten (afb. 3.5). Gedurende de Tweede Wereldoorlog neemt het gebruik en belang van luchtfotografie voor militaire doeleinden toe, met veel nieuwe technieken.

<sup>30</sup> Kadertekst over Von Frijtag Drabbe is deels ontleend aan <https://www.historischwaterbeheer.wur.nl/>.

<sup>31</sup> <https://www.dotkadata.com> biedt onder andere RAF-foto's tegen betaling aan.

<sup>32</sup> Von Frijtag Drabber 1947, 1948.



### 3B Cornelis von Frijtag Drabbe, grondlegger van de archeologische luchtfoto-interpretatie in Nederland



Afb. 3.2 Cornelis Antonius Joseph von Frijtag Drabbe (bron: Wageningen University & Research, <https://www.historischwaterbeheer.wur.nl/>).

Cornelis Antonius Joseph von Frijtag Drabbe werd op 5 oktober 1889 in Leeuwarden geboren. Na de middelbare school begon hij op 16 september 1908 aan een militaire carrière bij de Koninklijke Militaire Akademie (KMA) te Breda. Hij doorliep vervolgens de rangen van cadet tot kapitein.

Op 16 september 1934 werd hem op verzoek eervol ontslag verleend uit militaire dienst en werd hij benoemd tot hoofd van de opnemingsdienst van de Topografische Dienst. In oktober 1940 verliet hij de Topografische Dienst, zodat hij niet voor de bezetter hoefde te werken. Na de oorlog werd dit ontslag herzien en met ingang van 8 mei 1945 werd hij opnieuw als hoofd van de opnemingsdienst in vaste dienst aangenomen bij de Topografische Dienst te Utrecht. Op 1 mei 1947 volgde zijn benoeming tot directeur wat hij tot zijn pensioen op 1 november 1954 bleef. Op 27 maart 1975 overleed hij in Doorn, op 85-jarige leeftijd.

Von Frijtag Drabbe heeft altijd grote belangstelling getoond voor luchtfoto's en de mogelijkheden die deze foto's boden naast het doel waarvoor ze worden gemaakt namelijk de militaire en topografische toepassing. Deze belangstelling heeft mede geresulteerd in een groot aantal publicaties. Hij heeft zich in de loop der tijd ontwikkeld tot de autoriteit op het gebied van de luchtfoto-interpretatie in Nederland. Om zijn kennis over te brengen heeft hij

les gegeven in de luchtfoto-interpretatie op de KMA te Breda en aan het in 1951 opgerichte ITC te Enschede. Ook had hij als directeur van de Topografische Dienst intensieve contacten met de NAVO. Vanwege deze betrokkenheid werd hij in 1950 benoemd tot kolonel in buitengewone dienst. Via publicaties als ook lezingen kwam Von Frijtag Drabbe in contact met wetenschappers op velerlei gebied zoals A.E. van Giffen (archeologie) en C.H. Edelman (bodembundige). In 1947 publiceerde hij de bijdrage 'De luchtfoto in dienst van de archaeologie' in het gedenkboek voor A.E. van Giffen. In deze publicatie schrijft Von Frijtag Drabbe in feite al over *crop marks* en *shadow marks*, hoewel in zijn tijd deze termen nog niet werden gebruikt.



Afb. 3.3 Prehistorisch raatakkercomplex bij het hunebed (D49) de Papeloze Kerk ten zuiden van Schoonoord in Drenthe. De wallen van de akkers tekenen zich als lichte verkleuringen af, de akkers zelf zijn door humusvorming donkerder gekleurd (bron: Brok 1954, afb. 2, naar Von Frijtag Drabbe 1947, Pl. 69).



Afb. 3.4 Luchtfoto van een bombardement van het gebied bij Fort Dirks Admiraal (linksboven) bij Den Helder door vliegtuigen van de Britse Royal Air Force (RAF) (bron: nihm-beeldbank.defensie.nl).



Afb. 3.5 RAF-luchtfoto uit de Tweede Wereldoorlog (april 1944). De foto toont een versterkte woonplaats uit de elfde-twaalfde eeuw bij Holten. Voor een actueel satellietbeeld van hetzelfde gebied, zie afb. 4.4.

In 1947 begint de Topografische Dienst van de Koninklijke Landmacht om Nederland systematisch te fotograferen vanuit de lucht. Luchtfoto's genomen tussen 1948 en 1978 hebben een originele schaal 1:18.000 of 1:20.000. Vanaf de jaren zeventig van de vorige eeuw gaat de frequentie omhoog en neemt de Topografische Dienst (sinds 1984 onderdeel van het Kadaster) elke twee tot vijf jaar opnames van heel Nederland. Andere luchtfoto's worden in het begin om de tien jaar gemaakt en vanaf 1981 wordt Nederland met wisselende intervallen om de drie jaar en per regio vanuit de lucht gefotografeerd. Zo ontstaan in de loop der jaren opeenvolgende, volledige bedekkingen van Nederland waarvan jaarlijks delen worden vernieuwd.

In navolging van Von Frijtag Drabbe wijdt A. Brongers in 1964 een korte publicatie aan het belang van zwart-witluchtfoto's voor archeologische doeleinden in Nederland.<sup>33</sup> Ook hij erkent al vroeg de archeologische bruikbaarheid van analoge, zwart-witluchtfoto's gemaakt door de RAF, maar ook door Aerocarto en andere organisaties. In enkele publicaties, waaronder zijn in 1976 verschenen proefschrift, toont Brongers aan dat verticale zwart-witopnamen een uitstekend hulpmiddel zijn bij het karteren van raatakkercomplexen.<sup>34</sup> In aanloop naar zijn proefschrift publiceert hij in 1972 een artikel over luchtfoto's van een akkercomplex uit de ijzertijd bij Vaassen. Veelzeggend is dat hij deze publicatie opdraagt aan Von Frijtag Drabbe.<sup>35</sup>

Naar aanleiding van de voorgenomen grootschalige ruilverkaveling Het Grootslag start in het midden van de jaren zeventig W.H. de Vries-Metz van de Universiteit van Amsterdam met systematische fotoverkenningsvluchten boven West-Friesland in de provincie Noord-Holland. In de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw fotografeert De Vries-Metz vanuit vliegtuigen met veel succes delen van bronstijdlandschappen in West-Friesland (zie afb. 3.6 en kadertekst 3c). In tegenstelling tot haar voorgangers, Von Frijtag Drabbe en Brongers, maakt De Vries-Metz de luchtfoto's zelf en specifiek voor archeologische doeleinden. Vanuit de lucht legt zij talrijke aangeploegde bewoningssporen, sloten en greppels uit de bronstijd vast op foto's en dia's (afb. 3.7). Dit heeft geresulteerd in een belangrijke, omvangrijke regionale collectie van luchtfoto's. De Vries-Metz toont het belang aan van oblique luchtfoto's ten behoeve van prospectie en monitoring van archeologische vindplaatsen en landschappen in West-Friesland. Haar onderzoek resulteert in 1993 in een proefschrift.<sup>36</sup> Ook maakt zij in het kader van een proefproject luchtfoto's van 59 rijksmonumenten in Noord-Holland, als een soort van eerste nulmeting en voor het exact vastleggen van de (kadastrale) begrenzingen van de monumenten.<sup>37</sup>

Ook incidentele 'eyeopeners', zoals de eerste opname van een Romeinse villa in het Brabantse zandgebied bij Hoogeloon in 1980, onderstrepen het belang van luchtfoto's voor de archeologie (afb. 5.2). Hoewel analoge zwart-witluchtfoto's genomen vlak voor, tijdens en na de Tweede Wereldoorlog minder detail laten zien, wordt vandaag de dag ook aan deze foto's waarde gehecht. Als voorbeeld: historische luchtfoto's kunnen inzicht geven in de (mogelijke) aanwezigheid, aard en datering van archeologische fenomenen in een tegenwoordig volledig overbouwd en voor veldonderzoek niet meer toegankelijk gebied. Vooral luchtfoto's uit de eerste helft van de twintigste eeuw en gemaakt voor topografische en militaire doeleinden zijn voor archeologen nog altijd een belangrijke en informatieve bron.

Na het verschijnen van het proefschrift van De Vries-Metz werden luchtfoto's vooral gebruikt voor het algemeen documenteren van al bekende vindplaatsen. Het neemt niet weg dat ook in Nederland archeologische toepassingen (blijven) plaatsvinden, zoals in Zeeuws-Vlaanderen.<sup>38</sup> Voor deze regio zijn, in samenwerking met J. Bourgeois (Vakgroep Archeologie en Oude Geschiedenis van Europa, Universiteit Gent), op grote schaal luchtfoto's geïnventariseerd voor het in kaart brengen van archeologische vindplaatsen.<sup>39</sup> De inventarisatie sluit naadloos aan op het onderzoek van luchtfoto's met een focus op het detecteren van cirkelvormige structuren aan de andere kant van

<sup>36</sup> De Vries-Metz 1993.

<sup>37</sup> De Vries-Metz 1994; Metz 1999.

<sup>38</sup> Het betreft enkele regio's in Vlaanderen waar intensief is gevlogen door J. Semey met als resultaat 70.000 dia's. Deze inwinning was ingebed in een universitaire context (Universiteit Gent). De dia's zijn later gedigitaliseerd en voorzien van georeferentie.

<sup>39</sup> De Kraker et al. 2006, zie ook Theunissen, Müller & De Kraker 2011.

<sup>33</sup> Brongers 1964. Het artikel maakt deel uit van een bundel dat verschijnt naar aanleiding van een internationaal colloquium over luchtfoto's en archeologie in 1963 in Parijs.

<sup>34</sup> Brongers 1976.

<sup>35</sup> Brongers 1972.



### 3C Willy Metz, liever zelf fotograferen vanuit de lucht



Afb. 3.6 Willy de Vries-Metz, 8 april 1980 (foto: R. Bogaerts, Nationaal Archief, Anefo).

Willy Metz, later De Vries-Metz, raakte tijdens haar studie in de ban van de luchtfotografie. In Cambridge volgde zij in 1967-1968 colleges luchtfoto-interpretatie bij prof. dr. J.K.S. St Joseph (1912-1994). St Joseph was opgeleid als archeoloog/geoloog en was veteraan van de Royal Air Force. Aan de Universiteit van Cambridge gaf hij jarenlang les over het gebruik van luchtfotografie als methode voor archeologisch onderzoek.

Geïnspireerd door alle mogelijkheden van deze toepassing nam Metz vlieglessen en haalde haar brevet. Ze beseftte dat ook in Nederland archeologische luchtfoto-interpretatie en het in eigen beheer uitvoeren van luchtverkenningen een waardevolle aanvulling kon betekenen bij archeologisch onderzoek. In de jaren veertig was al duidelijk geworden dat de West-Friese landschapsdelen veel sporen van bewoning uit de bronstijd bevatten die vanuit de lucht goed te zien waren. In 1970 ondernam St Joseph daar enkele prospectievluchten, maar het was Metz die systematisch, over een lange periode (1974-1989) verkenningvluchten uitvoert. Met de beelden van aangeploegde donkere bronstijdsproten tegen een lichtgrijze achtergrond konden uitgestrekte nederzettingen worden vastgelegd. De resultaten vormden vaak het startpunt voor opgravingen, die zowel vanuit het IPP als de ROB werden uitgevoerd. In 1993 promoveerde zij op dit onderwerp *Luchtfoto-*

*archeologie in Oostelijk West-Friesland. Mogelijkheden en resultaten van archeologische Remote Sensing in een verdwijnend prehistorisch cultuurlandschap.*

Naast het uitvoeren van deze verkenningvluchten liet zij als medewerker bij het Albert Egges van Giffen Instituut voor Pre- en Protohistorie (IPP) aan de Universiteit van Amsterdam vele studenten kennis maken met luchtfoto-archeologie. Zo werd de kennis over de mogelijkheden en het gebruik van luchtfoto's, ook voor de monumentenzorg, breed gedeeld.

de grens, in de Belgische provincies West- en Oost-Vlaanderen.<sup>40</sup> Ook artikelen in verschillende Nederlandstalige archeologische tijdschriften geven blijkt van de ambitie om luchtfoto's een meer structurele plaats te geven bij archeologisch bureauonderzoek in het kader van ruimtelijke ontwikkelingen.<sup>41</sup>



Afb. 3.7 De Streekweg bij Hoogkarspel waar sporen van een bronstijdnederzetting in de geploegde akkers doorheen schemeren (foto: W.H. Metz).

40 Ampe et al. 1995; Bourgeois, Meganck & Semey 1998; Bourgeois et al. 1999.

41 Ghauharali 2007; Van der Vliet 2007; Janssen 2012; Verhoeven 2013.

## 4 Remote sensing in de Nederlandse archeologie: digitale toepassingen

### 4A Twee decennia digitaal

Rond de eeuwwisseling tekenen zich steeds duidelijker de contouren van een digitale wereld af, een ontwikkeling die voor de archeologische vakwereld van grote betekenis is. Een nieuw digitaal product, het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), blijkt sinds zijn introductie in 2001 een bijzonder waardevolle informatiebron voor archeologen te zijn. Met het AHN kunnen archeologische vindplaatsen worden opgespoord die op basis van reliëfkenmerken afwijken van de natuurlijke omgeving. Voorbeelden zijn laat-prehistorische grafheuvels en raatakkers (Celtic fields) in bosgebieden op de pleistocene zandgronden. Ook wordt de analoge luchtfotografie geleidelijk vervangen door de digitale versie ervan, met als belangrijk resultaat landsdekkende opnamen van Nederland van steeds betere resolutie. Vooral het raadplegen van luchtfoto's en satellietbeelden genomen in de droge en hete zomers van 2018, 2019 en 2020 heeft een schat aan nieuwe vindplaatsen opgeleverd. Ook moet in dit verband melding worden gemaakt van oblique foto's die zijn gemaakt vanuit kleine motor- en zweefvliegtuigen en waarop archeologische sporen en structuren zich haarscherp aftekenen. Archeologische toepassingen van sensorbeelden (bijv. radar, infrarood) zijn tot op de dag van vandaag zeer zeldzaam in Nederland.

Dankzij het internet neemt ook de toegang tot en beschikbaarheid van remote sensing foto's en beelden toe. Er is een overweldigend aanbod van digitale luchtfoto's in het zichtbare spectrum op internet, van historische, oorspronkelijk analoge zwart-witfoto's van steden en dorpen tot landsdekkende luchtfoto's in kleur. Satellietbeelden kunnen voor heel Nederland online worden geraadpleegd. Luchtfoto's en satellietbeelden worden deels als open data en deels tegen betaling (op bestelling of door middel van een licentie) aangeboden. De open data worden beschikbaar gesteld door de Nederlandse overheid. De betaalde dienstverlening wordt geleverd door commerciële bedrijven en samenwerkende partijen (overheid, semioverheid).

### 4.1 Inleiding

Met het beschikbaar komen van digitale fotoapparatuur wordt rond 2000 de overstap naar digitale camera's gemaakt. Daarmee verdwijnt de analoge zwart-witluchtfoto geleidelijk van het toneel als product van remote sensing. Tot en met 2006 worden luchtfoto's grotendeels analoog en in zwart-wit opgenomen, en vanaf 2007 digitaal en in kleur. Deze ontwikkeling, en min of

meer parallel hieraan de sterke toename in de beschikbaarheid en kwaliteit van luchtfoto's (en satellietbeelden, zie onder) op het internet, heeft het gebruik ervan door archeologen sterk bevorderd. In dit hoofdstuk staan digitale producten en toepassingen van remote sensing voor archeologische doeleinden centraal (tabel 4.1). Eerst gaan we in op digitale luchtfoto's (RGB) en sensorbeelden. Het hoofdstuk sluit af met het Actueel

**Tabel 4.1 Beknopt chronologisch overzicht van archeologische toepassingen van digitale remote sensing-opnamen, de bruikbaarheid ervan en een selectie van relevante bijbehorende publicaties.**

Periode	Opnamen	Bruikbaarheid	Voorbeelden in literatuur
1996-2002	AHN1	het eerste landsdekkende overzicht van hoogtemodellen komt beschikbaar	De Boer & Laan 2005; Waldus & Van der Velden 2006
2007-2012	AHN2	succesvolle toepassing voor het opsporen van archeologische relictten op basis van subtiele hoogteverschillen	Willemse 2013
2006-nu	digitale landsdekkende luchtfoto's, na 2008 in kleur, met grote variatie in grondresolutie, bijv. 0,25 m en 0,5 m (veelal open source)	hoge grondresolutie en grote hoeveelheid materiaal: met name 0,25 m resolutie zeer geschikt voor prospectiedoeleinden	diverse publicaties, waaronder rapporten van archeologische bedrijven, ook presentaties en artikelen van amateurarcheologen en vrijwilligers
2006-nu	satellietbeelden met variatie in grondresolutie, bijv. 0,5 m, 1 m en 10 m (veelal open source)	bestrijken grote gebieden en bieden meer overzicht, maar missen tot ca. 2006 gewenste resolutie voor effectief gebruik bij archeologische prospectie; beelden met 0,5 m resolutie zijn belangrijke informatiebron voor opsporen en nader onderzoeken van vindplaatsen.	diverse publicaties, waaronder rapporten van archeologische bedrijven, ook presentaties en artikelen van amateurarcheologen en vrijwilligers
2014-2019	AHN3	zeer bruikbaar voor het opsporen van archeologische relictten op basis van subtiele hoogteverschillen	Fontijn <i>et al.</i> 2019; Arnoldussen 2018, 2020
2018, 2019	collectie luchtfoto's vanuit (zweef)vliegtuigen	luchtfoto's genomen tijdens extreem droge zomers van 2018, door deze omstandigheden grote mate van herkenbaarheid van archeologische verschijnselen in de vorm van <i>crop marks</i>	Van Londen <i>et al.</i> 2019
2018	dronebeelden	lokale opnamen met hoge opnameresolutie en in het zichtbare en niet-zichtbare deel van het spectrum, zeer geschikt voor onderzoek (waardering en monitoring) van bekende vindplaatsen	J. Waagen, RCE-Uva onderzoek Siegerswoude, publicatie in voorbereiding



Afb. 4.1 Voorbeeld van PDOK-luchtfoto uit 2018 met duidelijk zichtbaar de inmiddels gedichte proefsleuven ten oosten van de woonwijk Oosterveld van Norg (Drenthe) (bron: Publieke Dienstverlening op de Kaart, <https://www.pdok.nl/viewer/>).

Hoogtebestand Nederland (AHN) en, aan de hand van een praktijkvoorbeeld bij Riethoven, een korte bespreking van visualisatie technieken van het AHN3 en de betekenis ervan voor archeologische prospectie.

#### 4.2 Digitale luchtfoto's (RGB-beelden)

Archeologen maken inmiddels standaard gebruik van digitale luchtfoto's die op het internet als open data kosteloos worden aangeboden. Een belangrijke bron in dit verband zijn de landsdekkende luchtfoto's die Publieke Dienstverlening Op de Kaart (PDOK) aanbiedt op het internet.<sup>42</sup> De luchtfoto's (orthofoto-mozaïeken) zijn in de zomer van de jaren 2016, 2017, 2018 en 2019 ingewonnen en kunnen zowel in kleur (RGB) als Color InfraRed (CIR) worden bekeken en gedownload. De resolutie is 25 cm en daarmee is het beeldmateriaal zeer geschikt voor het identificeren van (bepaalde typen van) archeologische fenomenen en complex-typen. Ook de contouren van proefsleuven gegraven tijdens recentelijk uitgevoerd archeologisch onderzoek zijn herkenbaar op

digitale luchtfoto's (afb. 4.1). Archeologische instanties en bedrijven gebruiken deze foto's steeds meer voor het illustreren van rapporten van bureauonderzoek. Ook vrijwilligers in de archeologie hebben de weg naar deze digitale luchtfoto's al lang gevonden.

Het onderzoek van digitale luchtfoto's genomen tijdens de extreem droge en hete zomers van 2003 en 2018 heeft de ogen (opnieuw) geopend voor de grote waarde van luchtfoto's voor prospectieonderzoek (afb. 4.2 en 4.3). De foto's tonen talrijke verkleuringen als gevolg van door de droogte versterkte groeiverschillen van de vegetatie (*crop marks*), bijvoorbeeld gras of maïs. Ze wijzen op het voorkomen van niet-bekende archeologische fenomenen in de ondiepe ondergrond die bij eerder bureau- en veldonderzoek onopgemerkt zijn gebleven.<sup>43</sup> Ook de zomers van 2019 en 2020 waren veel droger en heter dan het jarenlange gemiddelde, waardoor ook luchtfoto's uit deze perioden zeer informatief en bruikbaar zijn voor archeologische prospectie.

42 Website PDOK [www.pdok.nl](http://www.pdok.nl).

43 Van Londen *et al.* 2019.





Afb. 4.2 Luchtfoto van de Franse schans uit de Tachtigjarige Oorlog bij Groenlo genomen tijdens droge zomer van 2003. De contouren van de schans tekenden zich duidelijk vanuit de lucht in de vorm van verkleuringen in het gewas (crop marks) af (foto @ Martin Grevers, <https://www.engelseschans.nl/>).



Afb. 4.3 Het Dagblad van het Noorden van 6 augustus 2018 kopt over de ontdekking van middeleeuwse verdedigingswerken bij het Groningse Noordlaren door de droge zomer.

#### 4B Meer zien: het combineren van remote sensing beelden met andere typen kaarten

Het gebruik van een of twee typen beeldmateriaal van remote sensing, bijv. een analoge luchtfoto en het AHN, kan al zeer informatief zijn en tot verrassende resultaten leiden. Nog meer waarde moet worden gehecht aan het gecombineerd gebruik van remote sensing beelden met andere typen digitale bronnen, waaronder geologische kaarten, geomorfologische kaarten, historische kaarten en verstoringenkaarten. De toepassing van een GIS-overlay kan daarbij een hulpmiddel zijn om ruimtelijke informatie van verschillende bronnen goed met elkaar te kunnen vergelijken. Digitale bodemkaarten, topografische kaarten en meer recente (geogerefererde) historische kaarten kunnen op eenvoudige wijze worden gecombineerd met remote sensing beelden en zo de herkenbaarheid en interpretatie van aanwezige archeologische fenomenen versterken. Ook kan een 3D-visualisatie een hulpmiddel zijn bij de interpretatie.

Voor alle bronnen geldt het belang van georeferentie. Onder georefereren wordt verstaan het vastleggen van een object in een ruimtelijk referentiesysteem op het aardoppervlak. Voorbeelden hiervan zijn het stelsel van meridianen en parallellen (latitude/longitude stelsel) op wereldniveau of het Rijksdriehoekstelsel (RD-stelsel) binnen Nederland. Een luchtfoto of satellietbeeld is voorzien van georeferentie indien de digitale elementen via een coördinaatsysteem met hun locatie in de 'echte' wereld zijn verbonden. Alleen luchtfoto's of satellietbeelden voorzien van georeferentie kunnen gebruikt worden in een GIS-omgeving. Dit is van belang voor exacte plaatsbepaling in het Rijksdriehoekstelsel en daarmee voor validatie in het veld en integratie met ander, van georeferentie voorzien beeldmateriaal, bijvoorbeeld het AHN en historisch kaartmateriaal. Voor het gebruik van een luchtfoto in een rapport – bijvoorbeeld ter illustratie – is georeferentie vaak niet nodig.

Archeologische toepassingen van satellietbeelden gaan veel minder verder terug in de tijd dan van (conventionele) luchtfoto's. Ten opzichte van luchtfoto's genomen vanuit vliegtuigen bestrijken satellietbeelden in het zichtbare spectrum een groter gebied en bieden ze meer overzicht, maar tot voor kort was er sprake van een ontoereikende resolutie om bruikbaar te zijn voor archeologische prospectie.<sup>44</sup> In de afgelopen jaren is de resolutie echter verbeterd en zijn de toepassingsmogelijkheden vergroot. Ook satellietbeelden van het aardoppervlak van Nederland worden inmiddels standaard gebruikt voor het identificeren en lokaliseren van archeologische vindplaatsen. Een belangrijke en

eenvoudig te raadplegen bron zijn de satellietbeelden die de Nederlandse overheid aanbiedt via [www.satellietdataportaal.nl](http://www.satellietdataportaal.nl). Overeenkomstig de luchtfoto's zijn vooral de beelden genomen tijdens de extreem droge zomer van 2018 (en 2019 en 2020) een goudmijn: op allerlei plekken in Nederland zijn cirkels en lijnen te zien die ondergrondse archeologische resten verraden. Ook hier zijn kleurverschillen het resultaat van verschillen in gewasgroei die wijzen op greppels, grachten of muurresten aan of dicht onder het maaiveld. Er zijn legio voorbeelden, zoals sporen van een laatmiddeleeuwse, versterkte woonplaats bij Holten (afb. 4.4).

44 Sueur 2006, 53.



Afb. 4.4 Uitsnede uit een satellietbeeld uit de zomer van 2018 van een versterkte woonplaats uit de elfde-twaalfde eeuw bij Holten in de provincie Overijssel (bron: [www.satellietdataportaal.nl](http://www.satellietdataportaal.nl)).



#### 4C Het belang van validatie in het veld

In vrijwel alle gevallen geldt dat een visuele inspectie en Inventariserend Veldonderzoek (IVO-O) noodzakelijk is ter controle van de waarneming (*crop marks, soil marks, shadow marks*) en (voorlopige) archeologische en/of landschappelijke interpretatie van beeldmateriaal van remote sensing. Na het bureauonderzoek kan een visuele inspectie worden uitgevoerd om het eindresultaat van dit onderzoek, de gespecificeerde archeologische verwachting, te toetsen.

Een voorbeeld zijn ruitvormige/dambordachtige patronen die als verkleuringen op een luchtfoto of die als subtiel reliëf op AHN-beelden te zien zijn. Een veldtoets zal moeten uitwijzen of het daadwerkelijk gaat om laat-prehistorische raatakkers (Celtic fields), een zeventiende-eeuwse tuinaanleg of iets anders. Een tweede voorbeeld is een cirkelvormige verhoging op het AHN. Ook hier zal nader veldonderzoek nodig zijn om vast stellen of de heuvel die op het AHN te zien is, een prehistorische grafheuvel, een galgenberg of een kogelvanger van 100 jaar geleden is. Methoden en technieken die gelijktijdig met of aansluitend aan deze inspectie kunnen worden ingezet, zijn: oppervlakte-kartering, verkennend en/of karterend booronderzoek, en IVO – Proefsleuvenonderzoek (IVO-P). Hoewel in Nederland maar weinig toegepast, kan ook worden gedacht aan fosfaatonderzoek.

Ten slotte mag in dit overzicht een zeer belangrijke, actuele toepassing niet ontbreken, namelijk dronefotografie als methode van het opsporen en nader onderzoeken van archeologische resten.<sup>45</sup> Drones raken steeds meer ingeburgerd niet alleen voor het opsporen en nader onderzoeken van archeologische resten, maar ook voor het creëren van fraaie overzichtsbeelden (foto, film) van opgravingen en het omliggende landschap. Een nieuwe ontwikkeling is dat met hoge resolutie dronebeelden oppervlaktevondsten (voornamelijk aardewerkscherven) automatisch kunnen worden gedetecteerd met behulp van *automated machine learning*.<sup>46</sup> Een recente ontwikkeling is 3D-fotogrammetrie met foto's gemaakt door drones. Met 3D-fotogrammetrie worden meerdere foto's met elkaar gecombineerd met speciale computersoftware, om zo een driedimensionaal beeld te vormen. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld bij een opgraving relatief snel vlakken, profielen en complexe structuren worden gedocumenteerd. Ook voor de documentatie van scheepswrakken onder water is fotogrammetrie, maar dan zonder de inzet van drones, inmiddels een belangrijk hulpmiddel geworden.<sup>47</sup>

### 4.3 Sensorbeelden

Remote sensing-opnamen van het niet-zichtbare deel van het spectrum worden slechts incidenteel toegepast voor archeologische prospectie in Nederland. Commerciële archeologische bedrijven of overheidsinstellingen maken en/of gebruiken geen infraroodbeelden, radarbeelden of spectrale beelden ten behoeve van het opsporen of nader in kaart brengen van archeologische vindplaatsen. Momenteel voeren onderzoekers verbonden aan Nederlandse universiteiten (J. Waagen van Universiteit van Amsterdam en Q. Bourgeois van Universiteit Leiden) proefprojecten uit om de bruikbaarheid van drones voor archeologische

doeleinden te onderzoeken. De studies hebben voornamelijk een experimenteel karakter en richten zich onder andere op het gebruik van een thermische camera. Met deze camera kunnen verschillen in warmte van materialen worden gemeten die een aanwijzing (kunnen) zijn voor aan het oppervlak moeilijk zichtbare of onzichtbare archeologische fenomenen. De eerste resultaten van het gezamenlijke onderzoek van RCE en UvA bij Siegerswoude wijzen erop dat thermisch infrarood, een veelbelovende techniek is om archeologische resten op te sporen (zie [casestudy Siegerswoude, paragraaf 8.2](#)).<sup>48</sup> Radar wordt in Nederland niet voor archeologische prospectie gebruikt. Het neemt niet weg dat in specifieke landschappelijke situaties, zoals intergetijdenplaten, deze techniek bruikbaar kan zijn voor het opsporen van archeologie (zie [casestudy Nordfriesland-Pellworm in het Duitse Waddengebied, paragraaf 8.3](#)).<sup>49</sup> Met radaropnames zijn ook zeer nauwkeurige digitale hoogtemodellen te maken die bruikbaar zijn voor archeologen (onder andere voor de monitoring van vindplaatsen en monumenten).

#### Spectrale beelden

In het kader van een onderzoek naar de circumvallatielinie van Gennepe (Limburg) zijn voor zes deelgebieden multispectrale luchtfoto's met een detailniveau van 25 cm bekeken (zie [casestudy Gennepe-Genneperhuis, paragraaf 8.1](#)).<sup>50</sup> Voor de analyse van de beelden zijn op perceelsniveau de contrasten geoptimaliseerd, met verschillende methoden. Vervolgens is gekeken of in de beelden sporen van de grachten, wallen of kampementen konden worden herkend. Een eenvoudige perceelsgebonden contrast-optimalisatie liet een duidelijke driehoekige vorm in de vegetatie zien. Ook in andere deelgebieden kwamen structuren aan het licht, waaronder opnieuw een sterstructuur, maar ook een lijnenpatroon. De waargenomen structuren kunnen in verband worden gebracht met de Staats-Spaanse linie aangelegd tijdens de Tachtigjarige Oorlog in de zestiende en zeventiende eeuw. De toepassing van hyperspectrale gegevens voor archeologische

45 Als voorganger van de drone kunnen vliegers of hete lucht- en heliumballonnen worden beschouwd waaraan een camera werd bevestigd voor het maken van analoge luchtfoto's. Een archeologisch voorbeeld is het laat-prehistorische grafveld de Busjop bij Heythuysen in Midden-Limburg (Theunissen *et al.* 2013, 74).

46 Orenge & Garcia-Molsosa 2019. Dit type onderzoek vertoont vooraan de nodige beperkingen die voortkomen uit verschillende factoren, zoals specifieke bodemomstandigheden, kenmerken van het aardewerk (donkere bodem en rood aardewerk) en specifieke weersomstandigheden (wel of niet net geregend).

47 Opdebeeck, Manders & De Hoop 2020.

48 Van Doesburg & Van der Heiden (red.), in voorbereiding.

49 Gade, Kohlus & Kost 2017.

50 Van Doesburg & Müller 2011.

doeleinden wordt bemoeilijkt doordat voor de analyse van de gegevens (ingewikkelde) bewerkingen moeten worden uitgevoerd. De specialistische kennis hiervoor is vaak niet bij archeologen aanwezig. Er zijn nog geen Nederlandse voorbeelden van het gebruik van hyperspectrale gegevens, terwijl deze wel een hoge potentie hebben.<sup>51</sup>

## 4.4 Actueel Hoogtebestand Nederland

### 4.4.1 Algemeen

Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) is van zeer grote waarde als bron van archeologisch bureauonderzoek voor het opsporen, monitoren en nader onderzoeken van archeologische vindplaatsen.<sup>52</sup> Op het AHN kunnen archeologische fenomenen zich aftekenen aan de hand van (vaak subtiele) hoogteverschillen. Deze verschillen vormen een aanwijzing dat de mens in het verleden op specifieke locaties gegraven (lager) of grond opgebracht (hoger) heeft. Door het raadplegen van het AHN kunnen relatief snel en op efficiënte wijze (mogelijke) archeologische fenomenen worden opgespoord die zich wat betreft reliëfkenmerken onderscheiden van de omgeving. Daarbij gaat het ook om vindplaatsen die met de 'klassieke' methoden van Inventariserend Veldonderzoek (IVO), zoals oppervlaktekartering en booronderzoek, vaak onopgemerkt blijven.

Met behulp van de drie versies van het AHN zijn sinds 2001 talrijke vindplaatsen ontdekt en in kaart gebracht. Deels gaat het daarbij om terreinen die niet of moeilijk toegankelijk zijn voor prospectief veldwerk, zoals booronderzoek en proefsleuvenonderzoek. Goede voorbeelden zijn laat-prehistorische grafheuvels en raatakkers in bosgebieden op de hogere delen van de pleistocene zandgronden. Uit verschillende studies is duidelijk geworden dat juist in de bosgebieden deze overblijfselen wat betreft reliëfkenmerken veel beter zijn bewaard. Dit in tegenstelling tot landbouwpercelen die sterk zijn genivelleerd.

De ruimtelijke resolutie van de gegevens bepaalt mede welke archeologische fenomenen opgespoord kunnen worden. De resolutie van het AHN<sub>1</sub> was nog niet hoog genoeg voor het prospecteren van kleine archeologische fenomenen, zoals kuilen en grafheuvels, maar wel voor grote (lineaire) fenomenen, waaronder wegen, dijken, raatakkercomplexen en paleolandschappen.<sup>53</sup> Met de komst van AHN<sub>2</sub> en AHN<sub>3</sub> kunnen ook kleine(re) archeologische fenomenen, die zich op basis van reliëfkenmerken onderscheiden van de directe (natuurlijke) omgeving, worden opgespoord. Het meest in het oog springend daarbij zijn lijn- en cirkelvormige, vierkante en rechthoekige elementen en structuren die zichtbaar zijn op het AHN. Dergelijke 'afwijkende' vormen wijzen eerder op een antropogene dan een

natuurlijke ontstaanswijze en daarmee op elementen en structuren van archeologische betekenis. Om met zekerheid uitspraken hierover te kunnen doen, is een visuele inspectie en/of Inventariserend Veldonderzoek noodzakelijk. Door middel van het zetten van boringen of het graven van proefputten kan worden vastgesteld of het daadwerkelijk om archeologische fenomenen gaat (zie *casestudy Hilversum-Hoorneboegse Heide*, paragraaf 6.1).

### Archeologische monitoring

In de afgelopen jaren is het gebruik van het AHN voor monitordoeleinden toegenomen. Een actueel en belangrijk voorbeeld daarvan is het project Monarch (2019-2021) van de Rijksdienst. In dit project staat het uitvoeren van een nulmeting van alle wettelijk beschermde rijksmonumenten in Nederland centraal. De nulmeting, uitgevoerd door BAAC in opdracht van de RCE, bevat twee onderdelen: een vooronderzoek ter voorbereiding van het veldonderzoek, en het veldonderzoek zelf. Laatstgenoemd onderzoek bestaat uit een visuele inspectie, in de regel aangevuld met een booronderzoek in die delen van Nederland waar holocene afzettingen aan of dicht aan het oppervlak liggen.

Uit de evaluatie van het project blijkt dat informatie van het AHN (samen met informatie afgeleid uit luchtfoto's) een belangrijke aanvulling vormt op de verzamelde gegevens in het veld. Deze meerwaarde van het AHN is met name van toepassing op wettelijke beschermde monumenten met een oppervlak van tientallen hectaren. Binnen de randvoorwaarden van het project was een visuele inspectie van het volledige oppervlak van deze monumenten in het veld niet mogelijk.

Ook is gebleken dat het AHN een waardevolle bron kan zijn voor het corrigeren van begrenzingen van monumenten en hierin gelegen, aan de hand van reliëfkenmerken aan het oppervlak zichtbare complexen. Hiermee wordt bereikt dat de op kaartmateriaal aangegeven contouren van monumenten en complexen overeenkomen met de werkelijke situatie in het veld. Deze werkwijze is vooral waardevol gebleken voor complexen die bij aanvang van het project als niet-begrensd waren aangemerkt. Dankzij een analyse van het AHN gevolgd door visuele inspectie in het veld zijn nu de begrenzingen van diverse complexen, waaronder kasteelterreinen, grafheuvels of vliedbergen, veel nauwkeuriger bekend.

### Citizen science

Een actuele ontwikkeling betreft de toepassing van het AHN in projecten met een grote mate van participatie van niet-archeologisch onderlegde vrijwilligers of geïnteresseerden (burgerwetenschap, *citizen science*).<sup>54</sup> Een belangrijk initiatief in dit verband is het project 'Erfgoed Gezocht' door Erfgoed Gelderland en in samenwerking met de Universiteit Leiden. Het project richtte zich op het opsporen van grafheuvels, raatakkers, karrensporen en grindwinningskuilen op de Veluwe met behulp van het AHN.<sup>55</sup>

<sup>51</sup> Doneus et al. 2014.

<sup>52</sup> Sueur 2005; De Boer & Laan 2005; Waldus & Van der Velde 2006; Willemse 2013; Fontijn et al. 2019; Arnoldussen 2020.

<sup>53</sup> Van Zijverden & Laan 2005.

<sup>54</sup> Lambers, Verschoof-Van der Vaart & Bourgeois 2019.

<sup>55</sup> <https://erfgoed gelderland.nl/erfgoedgezocht>.

De belangstelling en resultaten hiervan zijn dusdanig groot, dat dit initiatief een vervolg heeft gekregen op de Utrechtse Heuvelrug.<sup>56</sup> Ook voor andere delen van Nederland, waaronder Drenthe en Limburg, vinden voorbereidingen voor soortgelijke projecten plaats.

#### Overige toepassingen

Ten slotte speelt het AHN inmiddels standaard een rol bij het opstellen en/of actualiseren van gemeentelijke cultuurhistorische en/of archeologische inventarisatiekaarten, of bij het beoordelen van ruimtelijke plannen.<sup>57</sup> Vanuit de Universiteit Leiden wordt momenteel een onderzoeksproject uitgevoerd gericht op geautomatiseerde beeldherkenning van specifieke archeologische vindplaatsen (complextypen) op het AHN. De eerste resultaten hiervan zijn veelbelovend.<sup>58</sup>

#### 4.4.2 Visualisaties

Om de gebruiksmogelijkheden van het AHN te vergroten kunnen visualisaties worden toegepast die ook voor archeologen van belang zijn. De AHN-viewer van Esri heeft een aantal standaard visualisaties (*hillshade* en dynamisch en statisch kleuren raster voor de AHN<sub>2</sub> en AHN<sub>3</sub>).<sup>59</sup> Daarnaast is een aantal visualisaties te importeren in de viewer (*slope*, *aspect* en een multidirectionale

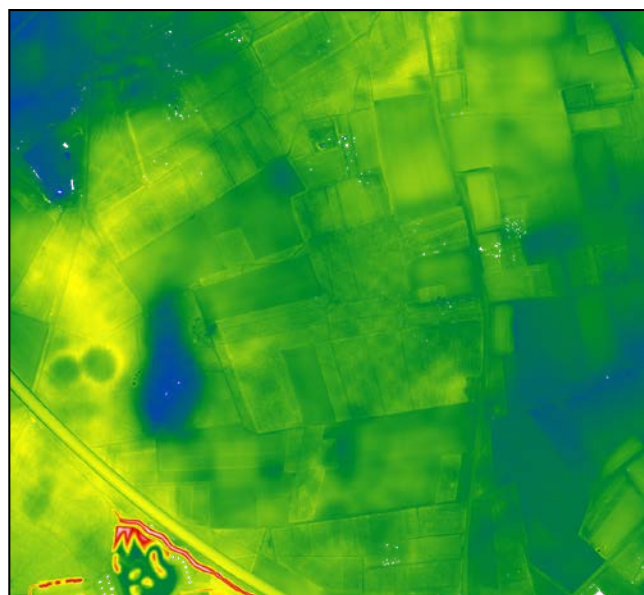
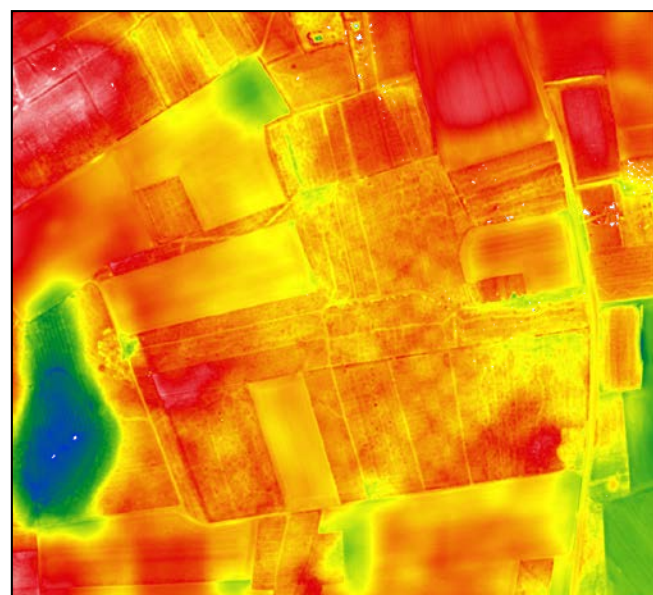
*hillshade*). We bespreken hier kort de meerwaarde van het gebruik van deze visualisaties voor archeologische prospectie. Dit doen we aan de hand van een voorbeeld van een raatakkercomplex bij Riethoven (gemeente Bergeijk).

#### Kleuren raster

Het AHN is een rasterbestand waarvan elke cel een (hoogte-) waarde heeft. Zonder aanvullende opmaak zal het rasterbestand worden weergegeven in grijs tinten. Deze waarden kunnen door het toekennen van een kleuren raster anders gevisualiseerd worden. Als dit raster dynamisch is, kan afhankelijk van de gekozen beeldgrootte (of zoomfactor) het kleuren raster zich aanpassen aan de maximale en minimale waarde die zich binnen het beeld bevindt (afb. 4.5). Door in te zoomen kan de verhouding tussen globale variatie en lokale variatie worden aangepast. Vervolgens kan een local histogram stretch over het zichtbare deel van het raster worden gemaakt. Hiermee kan de lokale variatie in reliëf worden verduidelijkt. Grotere archeologische fenomenen kunnen echter (deels) onzichtbaar blijven omdat ze alleen zichtbaar zijn wanneer wordt ingezoomd.

#### Hillshade

*Hillshade* (of *shaded relief*, in Nederlands: schaduwering) is een sterk intuïtief leesbare visualisatie en is door iedereen eenvoudig te gebruiken (afb. 4.6). Met een kleurenlegenda wordt alleen het verschil in de hoogte gevisualiseerd (mits de legenda de juiste indeling heeft), maar met een *hillshade* wordt het totale reliëf van een gebied intuïtief verbeeld, door ook de hellingshoeken



Afb. 4.5 Voorbeeld van een dynamisch kleurenrastervisualisatie van het AHN<sub>3</sub> gegenereerd door de AHN-viewer. Op de visualisatie links is het dambordpatroon van een raatakkercomplex te zien bij Riethoven in de Brabantse gemeente Bergeijk. Wanneer wordt uitgezoomd, is het regelmatige dambordpatroon niet meer te zien (visualisatie rechts). De reden hiervan is dat in het uitgezoomde gebied het verschil tussen de minimale en maximale waarde groter is. Daardoor worden de hoogteverschillen ter plaatse van het raatakkercomplex als het ware overstemd.

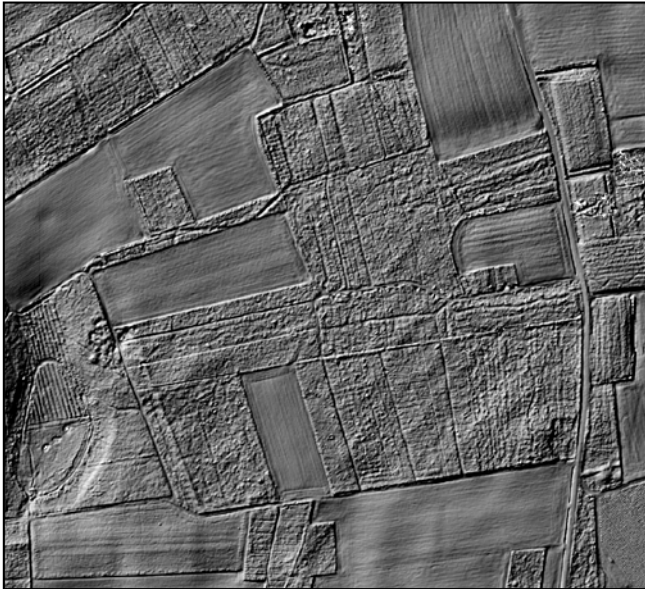
<sup>56</sup> <https://www.landschaperfgoedutrecht.nl/ik-wil-ontdekken/erfgoed-gezocht/>.

<sup>57</sup> Zie bijvoorbeeld de gemeentelijke cultuurhistorische inventarisatiekaart van de gemeente Venlo uit 2015.

<sup>58</sup> Lambers, Verschoof-Van der Vaart & Bourgeois 2019; Verschoof-Van der Vaart & Lambers 2019.

<sup>59</sup> <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>.





Afb. 4.6 Voorbeeld van een hillshade visualisatie van het AHN3. Het patroon van de raatakker dat goed zichtbaar is op dynamisch kleuren raster visualisatie (afb. 4.5), is daarop aanzienlijk minder goed herkenbaar. Structuren met een oriëntatie haaks op de lichtval zijn wel beter zichtbaar.

(hoe steil de helling is) en hellingrichting (in welke richting ze helt) te tonen. *Hillshade* kan gemanipuleerd worden in de zin van hoek van lichtval en hoogte van de lichtbron. Lineaire vindplaatsen, zoals wegen, wallen, en greppels, kunnen moeilijk zichtbaar zijn wanneer de oriëntatie overeenkomt met de hoek van lichtval. Dit kan ondervangen worden door meerdere *outputs* te maken met verschillende oriëntaties van lichtval. Deze kunnen gecombineerd worden in één beeld (multidirectionaal en PCA).<sup>60</sup> Kleine hoogteverschillen (of laag reliëf) worden beter zichtbaar met een lagere plaatsing van de lichtbron.

#### Slope

Met *slope* wordt de hellingshoek (hoe steil de helling is) van een terrein bedoeld. In aanvulling op *shaded relief* is *slope* een goede visualisatie in sterk reliëfrijke terrein. *Slope* of gradiënt kan uitgedrukt worden in graden of in percentages. Het verschil tussen verdiepte delen en hogere delen is met deze visualisatie echter moeilijk te onderscheiden (afb. 4.7).



Afb. 4.7 Voorbeeld van een slope-visualisatie. Het regelmatig patroon van het raatakkercomplex dat goed zichtbaar is op de dynamisch kleuren raster visualisatie (afb. 4.5) is op deze slope-visualisatie veel minder goed herkenbaar. Het greppelpatroon in de bospercelen is wel beter herkenbaar.

60 Principal Component Analysis (PCA) is een methode om complexe, multivariate datasets te vereenvoudigen.



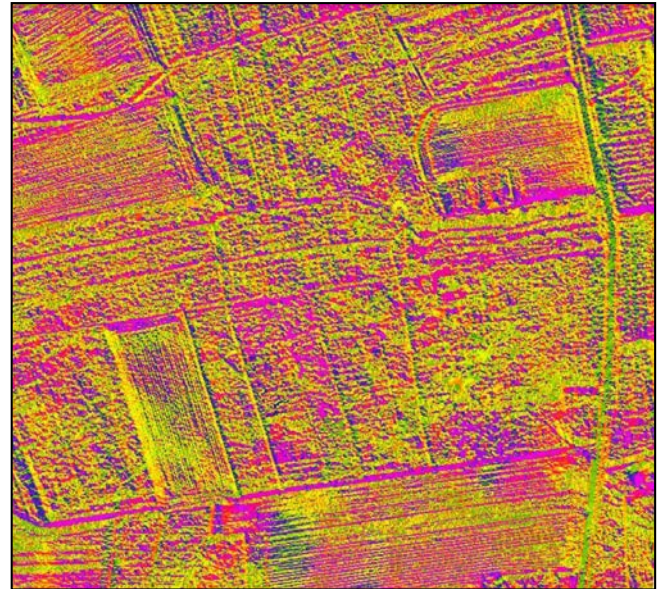
### Aspect

Met *aspect* wordt de hellingrichting (in welke richting de helling helt) bedoeld. *Aspect* bepaalt de richting van de maximale mate van verandering in waarde van elke cel naar de omliggende cellen (afb. 4.8). Voor het opsporen van archeologische fenomenen is deze visualisatie niet erg bruikbaar.

Voor de meeste bureauonderzoeken van kleine gebieden zal de AHN-viewer voldoende zijn. In gebieden met veel (natuurlijk) reliëf kan het moeilijk zijn om bepaalde archeologische fenomenen op te sporen. Daarom is het aan te raden de AHN-gegevens te bewerken in een GIS-programma of visualisaties te genereren met een GIS-tool. Een van deze visualisatietechnieken, het *local relief model* door middel van eigen bewerking van gegevens, wordt hieronder beschreven. Voor informatie over drie andere technieken van visualisatie voor het AHN, namelijk *sky view factor*, *openness* en *local dominance*, wordt hier verwezen naar hoofdstuk 9.

### Local relief model

Een bewerking van het AHN met *trend removal* (of *local relief model*) heeft als voordeel dat de visualisatie minder wordt beïnvloed door het reliëf van het natuurlijke en/of door de mens ingerichte landschap.<sup>61</sup> Het onderliggende reliëf wordt als het ware vlak getrokken, waardoor kleine lokale verschillen beter zichtbaar worden. De filterradius moet afhankelijk van de mate van reliëf aangepast worden. Vooral complextypen op hellingen of com-



Afb. 4.8 Voorbeeld van een aspect-visualisatie. Het regelmatig vakkenpatroon van de raatakker dat goed zichtbaar is op de dynamisch kleurenrastervisualisatie (afb. 4.5), is ook op deze visualisatie waar te nemen, maar niet als een heel duidelijk dambordpatroon.

plextypen met een lineaire of andere langwerpige vorm die zich uitstrekken over een reliëfrijk landschap zijn met deze visualisatie goed op te sporen (afb. 4.9).

61 Hesse 2010.



Afb. 4.9 Voorbeeld van een local relief model-visualisatie gegenereerd met behulp van Relief Visualization Toolbox (RTV). Het dambordachtige patroon van het raatakkercomplex is eenvoudig te herkennen. Ook wanneer wordt uitgezoomd, blijven de wallen van de raatakkers zichtbaar. Dit in tegenstelling tot het dynamisch kleuren-raster in afb. 4.5.

## 5 Het onzichtbare zien. Welke archeologische resten zijn wel en niet zichtbaar?

### 5A Wel of niet zichtbaar? Het archeologisch bodemarchief op de proef gesteld

Voor het herkennen van archeologische vindplaatsen op luchtfoto's, satelliet- en dronebeelden en op het Actueel Hoogtebestand Nederland is het van belang dat de resten zich aftekenen als *crop marks*, *soil marks*, *shadow marks* of als subtiel reliëf. Om aan die voorwaarde te voldoen, zijn specifieke omstandigheden nodig. Deels heeft de zichtbaarheid te maken met de natuurlijke factoren, zoals een ondiepe ligging, een bepaald grondgebruik of een juiste bodemvochtigheid. Deels draagt ook de aard van de archeologische overblijfselen zelf bij aan een goede herkenbaarheid. De mens in het verleden heeft daarbij zelf een belangrijke rol gespeeld, door bijvoorbeeld diepe greppels uit te graven of uitgestrekte akkers met wallen aan te leggen. Dat zijn precies de afwijkingen die opvallen, verkleuringen of hoogteverschillen met een onnatuurlijke vorm, bijvoorbeeld perfecte cirkels, kaarsrechte lijnen, zigzagvormen of herhaalde patronen. Het wijst op activiteiten die door mensen in het verleden zijn uitgevoerd. Het herkennen van deze archeologische fenomenen wordt in sterke mate bepaald door de schaal en resolutie van de remote sensing-beelden.

### 5.1 Inleiding

Hoe rijk een regio aan archeologische relictten ook is, het is van belang te realiseren dat niet alle overblijfselen uit het verleden met remote sensing zijn op te sporen. In dit hoofdstuk gaan we in op welke typen archeologische vindplaatsen op beeldmateriaal van remote sensing zichtbaar kunnen zijn (en welke niet) en wat daarbij belangrijke factoren zijn. Daarnaast bestaan er ook verschillen in hoe archeologische vindplaatsen zich aftekenen op foto's of op reliëfbeelden van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). In dit hoofdstuk passeren de volgende vragen de revue: wat bepaalt de zichtbaarheid, welke complextypen zijn wel en niet zichtbaar en wat voor invloed hebben schaal en resolutie op de zichtbaarheid?

### 5.2 Wat bepaalt de zichtbaarheid?

Zoals in paragraaf 2.4 is toegelicht, zijn er drie typen tekens of anomalieën die een aanwijzing zijn voor de aanwezigheid van archeologische resten in de ondergrond. Het gaat om verkleuringen die zichtbaar zijn in gewas of vegetatie (*crop marks*), om bodemverkleuringen die zich aftekenen op (geploegde) akkers (*soil marks*), en om schaduwsporen die het resultaat zijn van vaak subtiele reliëfverschillen (*shadow marks*).

In deze paragraaf gaan we in op de vraag welke factoren het wel of niet zichtbaar zijn van genoemde tekens (*marks*) op remote sensing beelden bepalen. Deze zichtbaarheid heeft deels te maken met de aard van de archeologische resten zelf, sommige relictten zijn per definitie (bijvoorbeeld vanwege hun geringe omvang) niet vanuit grote hoogte op te sporen. Daarnaast zijn ook meer natuurlijke omstandigheden van invloed op de herkenningmogelijkheden.

#### 5.2.1 Omstandigheden in het veld

Om archeologische resten vanuit de hoogte, op foto, beeld of het AHN, te ontdekken, is een aantal natuurlijke factoren bepalend voor de zichtbaarheid.

#### Diepteligging en afdekking

De diepteligging van de archeologische resten en de aan- of afwezigheid van afdekkende lagen is relevant. Overblijfselen die

aan het oppervlak liggen of vrij ondiep hebben de grootste kans om op foto's, beelden of het AHN te worden herkend en opgespoord. Afdgedekte relictten die bijvoorbeeld onder dikke lagen natuurlijke sedimenten liggen of onder een antropogeen ophoogingsdek, zoals een plaggendek, zijn onzichtbaar.

#### Natuurlijk reliëf

Wanneer archeologische resten aanwezig zijn in een reliëfrijk landschap, is het moeilijker deze resten op te sporen. Zeker wanneer het reliëf van de archeologische sporen zelf gering is (ondiepe kuilen of wallen), kunnen deze verhuld worden door het natuurlijke reliëf.

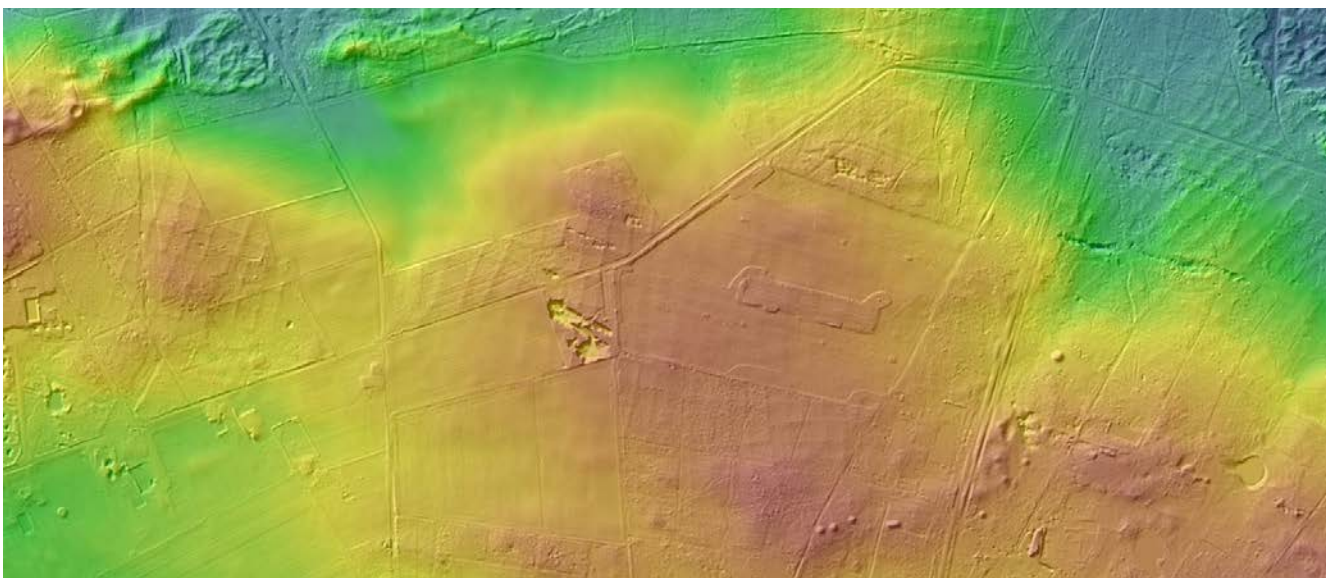
#### Grondgebruik

Het grondgebruik is een ander kritisch gegeven bij het herkennen van archeologische resten op beeldmateriaal van remote sensing. Of het maaiveld in gebruik is als bouwland met jonge planten, grasland, net vers is aangeploegd of ingeplant is met bomen, is van grote invloed. Zoals de naam al aangeeft, tekenen gewasverkleuringen zich af in verschillen in kleur en grootte van verbouwde gewassen (graan, maïs of ander vegetatie) en grasland. Het zijn deze groei- en kleurverschillen die archeologische resten in de ondergrond verraden.

Aangeploegd akkerland is daarnaast een voorwaarde voor het herkennen van bodemverkleuringen. Archeologische sporen die door de ploegschaar zijn aangesneden, worden zichtbaar als kleurverschillen in de bouwvoor. Nemen we als voorbeeld de wallen van raatakkercomplexen. Die zijn op luchtfoto's zichtbaar als iets verhoogde, lichte banen in akkerland. Door het proces van ploegen en egalisatie zijn de wallichamen volledig genivelleerd en uitsluitend als kleurverschillen waarneembaar.

Reliëfverschillen die door strijklicht en op het AHN zichtbaar zijn, tekenen zich meestal af in gebieden waar geen ingrijpende nivellerende activiteiten zijn geweest en waar een min of meer intact microreliëf aanwezig is, dat wil zeggen, buiten de gronden die in agrarisch gebruik zijn. Vooral akkerland is vaak sterk afgevlakt. Strijklicht vraagt om open gebieden zoals heide en grasland. De mogelijkheid van het AHN om bomen weg te filteren heeft zeer veel nieuwe archeologische relictten in bosgebieden opgeleverd. Juist in bosgebieden is veel bewaard gebleven.





Afb. 5.1 Het stuwwallandschap tussen Lunteren en Wekerom laat – naast uitgestrekte raatakkercomplexen – ook verschillende grafheuvelgroepen zien (bron: Actueel Hoogtebestand Nederland).

### 5.2.2 Weersomstandigheden en seizoenen

De derde factor is de invloed van weersomstandigheden tijdens de opname van beeldmateriaal, met name foto's. Het moment en het seizoen van opname kan van grote invloed zijn op de zichtbaarheid (herkenbaarheid) van archeologische vindplaatsen. Mist en wolken kunnen het zicht belemmeren, maar ook een laag sneeuw of een bladerdek. Voor gewasverkleuringen is de balans in bodemvochtigheid essentieel, omdat die van invloed is op de groei (hoogte) en kleur van het gewas. Daardoor tekenen deze verkleuringen zich alleen af na een langere periode van droogte, in de zomer. In het voorjaar zijn ze niet te zien op foto's of beelden. Voor het herkennen van dit soort verkleuringen is het dan ook van belang om een reeks aan opnamen te bestuderen, foto's of beelden die zijn gemaakt in verschillende jaargetijden, onder verschillende weersomstandigheden en op verschillende momenten van de dag. Een hoge zonnestand (middaguren) beperkt ongewenste schaduwwerking van bijvoorbeeld elektriciteitsmasten of bebouwing. Daarentegen is een zeer lage zonnestand (vroeg ochtend of late avond) essentieel bij het herkennen van subtiele reliëfverschillen door strijklicht.<sup>62</sup>

62 Von Frijtag Drabbe 1947, 492.

### 5.2.3 Aard van de archeologische overblijfselen

Ook de aard van de archeologische overblijfselen zelf, de culturele factor, is van invloed zijn op de zichtbaarheid. In deze paragraaf presenteren we vier belangrijkste eigenschappen van archeologische vindplaatsen die bepalend zijn voor de ontdekkingskans op foto's, beelden of het AHN. In de volgende paragraaf gaan we dieper in op specifieke archeologische typen vindplaatsen, de complextypen, en hun (on-)zichtbaarheid.

#### Omvang

De omvang van de archeologische vindplaats is een bepalende factor voor de zichtbaarheid op het AHN, luchtfoto's of satellietbeelden. Zeer kleine vindplaatsen zijn vanwege de schaal of rasterresolutie (pixelgrootte) van de te bestuderen beelden niet zichtbaar. Voor vindplaatsen met een grote omvang is de kans op ontdekking groter, zeker als ze een uitgestrekt oppervlak of bestaan uit één of meer lange lijnelementen. Voorbeelden hiervan zijn uitgestrekte dambordpatronen van raatakkercomplexen (afb. 5.1), arealen met grindwinningskuilen en weg- en slootpatronen.

#### 5B 'Bij lagen zonnenstand'

Von Frijtag Drabbe wees al in 1947 op het belang van variaties in zonnestand en weersomstandigheden, wanneer hij schrijft: 'Nu eens treden deze gegevens aan de dag door een heel fijn reliëf. Een overboordopname, liefst bij lagen zonnenstand is dan de aangewezen foto. Dan weer is de aanwezigheid van steenresten in den bodem oorzaak van vroegtijdig vergelen van het gewas, waardoor de kleur in de foto sterk afwijkt van de omgeving: of het is de achtergelaten vulling van de bedding van een riviertje, die het gewas sneller doet gedijen en dus hoger opschieten. Ook wil nachtvorst, gevolgd door opdooi, soms de fraaiste teekening van fundamenten, wallen of stroomen ons voor ogen brengen.'

### Uiterlijke kenmerken

Naast de omvang zijn de uiterlijke kenmerken van de archeologische vindplaatsen van belang voor de zichtbaarheid ervan op remote sensing-opnamen. Een vindplaats met brede en/of diepe sporen, zoals greppels, grachten en sloten en/of muurresten, natuur- of bakstenenfunderingen of uitbraaksporen daarvan (uitbraaksleuven of puinwaaiers), steenzettingen of keienvloeren maakt meer kans om te worden herkend dan een vindplaats zonder één van deze kenmerken.<sup>63</sup> Deze sporen zijn van een andere aard en/of hebben een andere samenstelling dan de natuurlijke ondergrond. Daardoor onderscheiden deze zich op foto's en beelden als gewasverkleuringen of in aangeploegde vorm als kleurverschillen in de bouwvoor (afb. 5.2)

### Vorm

Een ander kenmerk dat sterk met de voorgaande twee samenhangt, is de verschijningsvorm van de archeologie. Een vindplaats met niet-natuurlijke vormen, zoals rechte, hoekige of perfect ronde vormen, is beter als zodanig zichtbaar en herkenbaar op het AHN, luchtfoto's en satellietbeelden dan complextypen met 'natuurlijke', organische vormen. Rechte lijnen, haakse hoeken of een bepaalde strakheid van een patroon wijzen op een aanleg door de mens en vallen op bij een visuele beoordeling van het beeldmateriaal (afb. 5.3).

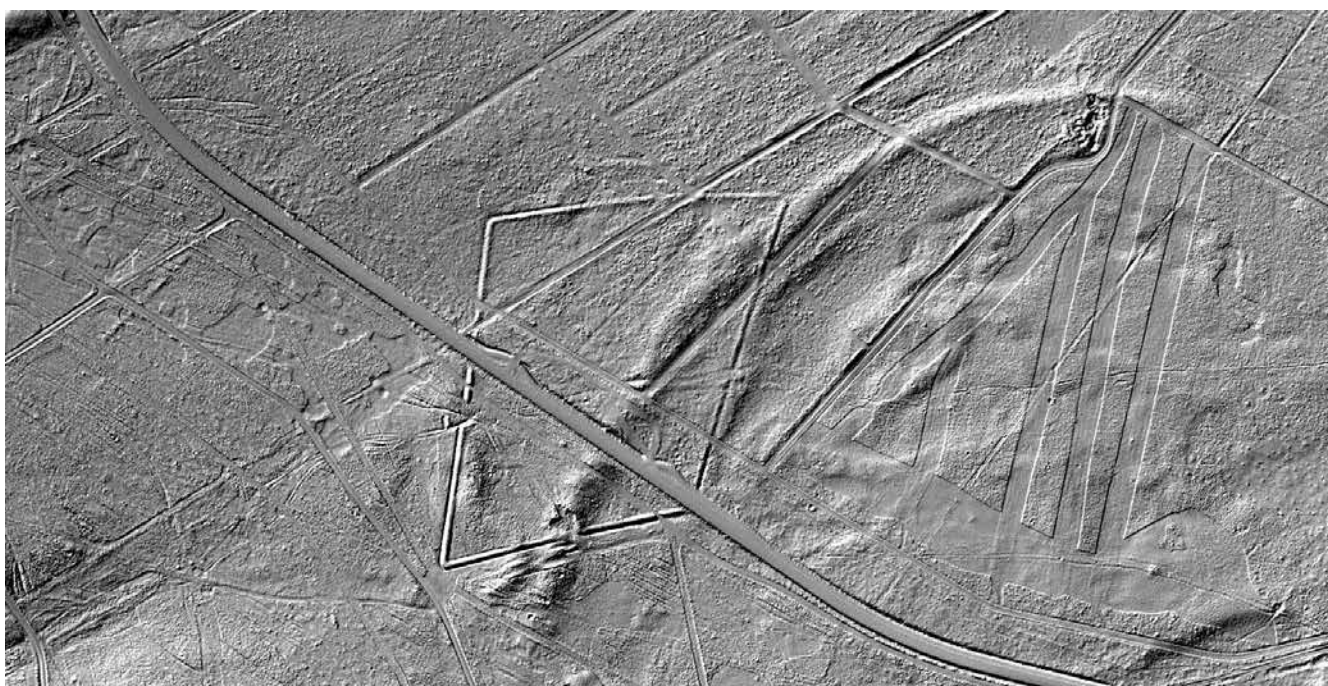


Afb. 5.2 De Romeinse villa van Hoogeloon is een mooi voorbeeld van soil marks in een akkerperceel. Op deze foto, gemaakt in 1980, zijn de aangeploegde fundamenten als donkere lijnen te zien (foto: W.H. Metz).

### Antropogene ophogingen en ingravingen

De mens heeft in het verleden ook zelf reliëf gevormd, door met aarde, heide- of kleiplaggen, stenen en ander materiaal heuvels, wallen en andere vormen van ophogingen te maken. Daarnaast heeft de winning van grondstoffen, zoals grind of zand, tot kuilen en groeves in het aardoppervlak geleid. Deze door de mens zelf gemaakte, kunstmatige oneffenheden, zowel ophogingen als

<sup>63</sup> Dit wordt ook wel 'monumentaal karakter' genoemd, Rensink et al. 2016, 47.



Afb. 5.3 Voorbeeld van vierkante walstructuur, een Romeins marskamp, op de heide bij Ermelo en zichtbaar op het AHN (bron: <https://www.romeinen.nl/ontdek-romeins-nederland/nieuws/blog-terug-naar-het-marksmat-van-ermelo>).



winningskuilen en groeves, zijn zeer goed op het AHN te herkennen. Omdat de ophogingen daarnaast vaak een andere samenstelling hebben dan de natuurlijke ondergrond, kunnen deze zich als gewasverkleuringen of in aangeploegde vorm als verkleuring in de bouwvoor onderscheiden (afb. 5.4).



Afb. 5.4 Blick op de aangeploegde raatakker bij Wekerom in Gelderland. De aangeploegde wallen zijn lichter van kleur (foto W.H. Metz).

#### 5.2.4 Welke complextypen zijn wel en niet zichtbaar?

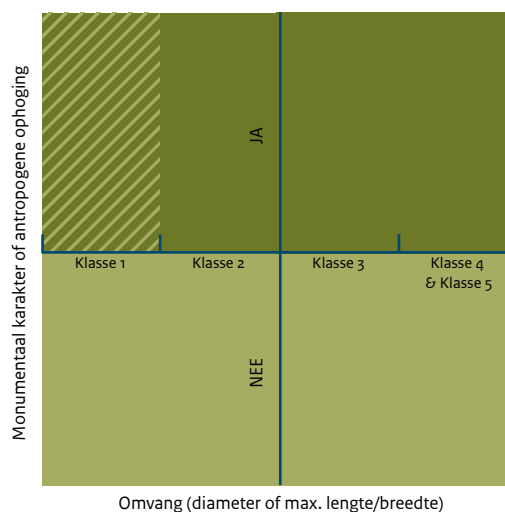
Om beter inzicht te krijgen in welke typen archeologische vindplaatsen zichtbaar en onzichtbaar zijn, is een inventarisatie uitgevoerd. Daarbij is op een systematische wijze inzichtelijk gemaakt welke complextypen niet en mogelijk wel zichtbaar zijn op het Actueel Hoogtebestand Nederland en op foto's of andere beelden van remote sensing.<sup>64</sup> Van belang is dat het gaat om de zichtbaarheid en herkenbaarheid van complextypen met het blote oog op het AHN, foto's en beelden. Met andere woorden, het gaat om een macroscopische beoordeling zonder toepassing van visualisatie- of andere bewerkingstechnieken.

Bij deze benadering is ervoor gekozen om de complextypen in te delen naar omvang (in vijf klassen), vorm (in zes klassen), wel of geen antropogene ophoging en wel of geen diep ingegraven kuilen, greppels, muurresten etc. (uiterlijke kenmerken). Aan elk van deze kenmerken zijn vervolgens punten toegekend die tot een eindscore hebben geleid. Deze eindscore is vervolgens gebruikt als een indicatie voor de mate van zichtbaarheid van complextypen op beeldmateriaal van remote sensing. Daarna is onderscheid gemaakt in drie groepen (afb. 5.5):

- groep 1 (lichtgroen): complextypen zonder forse kuilen, greppels of muurresten, of zonder antropogene ophoging. Deze zijn in de regel niet zichtbaar op het AHN, foto's en beelden;
- groep 2 (donkergroen): complextypen met forse kuilen, greppels of muurresten en/of een antropogene ophoging en (relatief) groot van omvang. Deze zijn in de regel zichtbaar op het AHN, foto's en beelden;

- groep 3 (licht- en donkergroen gearceerd): complextypen die fors van aard zijn of een antropogene ophoging kennen en beperkte omvang zijn (gerekende tot klasse 1, tussen 1 en 10 meter). Deze complextypen kunnen in het geval van antropogene ophoging zichtbaar zijn op het AHN<sub>3</sub>. De zichtbaarheid op foto's en beelden is afhankelijk van de resolutie van deze beelden.

In afbeelding 5.5 is de omvang in vijf grootteklassen afgezet tegen de aan- of afwezigheid van forse kuilen, greppels of muurresten en/of antropogene ophoging. Het is belangrijk te benadrukken dat dit een modelmatige benadering is en dat de uitkomsten nog getoetst moeten worden. De indeling en scoretoekenning is gebaseerd op *expert judgement*, op de inschatting van specialisten die goed bekend zijn met de archeologische overblijfselen uit verschillende perioden.



Afb. 5.5 Indicatie van zichtbaarheid van de drie groepen complextypen op remote sensing-opnamen. Legenda omvang: klasse 1 = 1-10 m; klasse 2 = 10-50 m; klasse 3 = 50-100 m; klasse 4 = 100-500 m; klasse 5: > 500 m. Ja = fors van aard ('monumentaal karakter') of antropogene ophoging, nee = niet fors van aard of antropogene karakter. Lichtgroen = groep 1 (niet-zichtbaar), donkergroen = groep 2 (zichtbaar), licht- en donkergroen gearceerd = groep 3 (zichtbaar op AHN, mogelijk zichtbaar op luchtfoto's en satellietbeelden).

#### Groep 1 – de niet-zichtbare complextypen

Tot groep 1 zijn complextypen gerekend zonder forse kuilen, greppels of muurresten, en/of zonder antropogene ophoging. Ongeacht de omvang ervan zijn ze in de regel niet zichtbaar op het AHN, foto's en beelden. Groep 1 bestaat uit de volgende 25 complextypen die gerekend zijn tot de omvangklassen 1 tot en met 5 (tabel 5.1).

**Tabel 5.1 Complextypen gerekend tot groep 1 (niet zichtbaar).**

Complextypen	Omvang- klasse	Alle schaalniveaus
Vlakgraf, dierengraf, houtskool- of kolenbranderij, vaartuig, leer/huid met benen of houten frame, boomstamboot, opgeboeide boomstamboot, vaartuig houten huid en houten spanten, enkelvoudig depot, meervoudig depot, crematiegraf, mensengraf	1	niet zichtbaar
Kampement, terechtstellingsplaats/galgenberg, voorde, visweer, vuursteenbewerking, lading	2	niet zichtbaar
Vlakgrafveld, houtwinning	3	niet zichtbaar
Rijengrafveld, akker, (moes)tuin	4	niet zichtbaar
Spreng, veenweg, rede	5	niet zichtbaar

Het gaat hierbij om individuele complextypen, bijvoorbeeld één houtskool- of kolenbranderij. Een groep aan houtskool- of kolenbranderijen heeft natuurlijk een andere dimensie dan een individuele branderij. Als een groep bestaat uit een aantal branderijen (bijv. meer dan vijf), zal dit zichtbaar zijn op foto's of beelden (zie als voorbeeld casestudy Maredsous-Biert in België, paragraaf 7.4).<sup>65</sup>

**Groep 2 – zichtbaar**

Tot groep 2 horen complextypen met forse kuilen, greppels of muurresten en/of een antropogene ophoging en (relatief) groot van omvang. Ze hebben een omvang van 10-50 m (klasse 2) of groter (klassen 3 tot en met 5). Vanwege deze eigenschappen zijn

<sup>65</sup> Deforce, Groenewoudt & Haneca 2021.

**Tabel 5.2 Complextypen gerekend tot groep 2 (zichtbaar).**

Complextype	Omvang- klasse	Grootte schaal 1:10.000
(Geen)	1	n.v.t.
Burgus/wachtpost, kasteel, moated site, huisterp/huiswierde, niet opgehoogde individuele huisplaats, openluchtoffer- of cultusplaats, tempel, synagoge/mikweh, kerk, grafheuvel, keersluis, duiker, gemaal, dam, vijver, brug, veerstoep, sluis, veekraal/schaapskooi, stelle/stelberg, drenkplaats/dobbe, glasproductie, metaalbewerking ferro, metaalbewerking non ferro, steen- of pannenbakkerij, zoutproductie, leerlooierij, traankokerij, bierbrouwerij, windmolen, watermolen, maalderij, mikweh, olieproductieplaats, papierproductieplaats, synagoge, textielproductieplaats, dump, kazematten, metaalbewerking, smederij, smelterij	2	1-5 mm
(Romeinse) villa, thermen, aardwerk, mottekasteel, fort, klooster, kade/loswal, kleiwinning, zandwinning, grindwinning, vuursteenwinning, kalksteen- of mergelwinning, ijzerertswinning, pottenbakkerij, afwateringsgreppel, leemwinning, steenkoolwinning	3	5-10 mm
Castrum, castellum, vicus, (ring)walburg, schans, bolwerk, terp/wierde, niet opgehoogde huisplaats zonder stedelijk karakter, grafheuvelveld, brandheuvelveld, urnenveld, kerkhof, christelijk/joodse begraafplaats, strekdam, haven, scheepswerf/-helling scheepswerf, dok, plaggendek, eendenkooi, veenwinning, afwateringssloot, municipium, legerkamp, legerplaats, stelling/linie	4	10-50 mm
Landweer, loopgraaf, slagveld, nederzetting met stedelijk karakter, afwaterings-/ inundatiekanaal/ greppel/sloot, dijk, weg, kanaal, raatakker, afwateringskanaal, inundatiekanaal	5	>50 mm

ze in de regel zichtbaar op het AHN, luchtfoto's en satellietbeelden. Groep 2 omvat 93 complextypen die gerekend zijn tot de omvangklassen 2 tot en met 5 (tabel 5.2).

**Groep 3 – zichtbaar op AHN en mogelijk zichtbaar op foto's en beelden**

Tot groep 3 behoren complextypen met forse kuilen, greppels of muurresten en/of een antropogene ophoging, maar die klein van omvang zijn (klasse 1: 1-10 m). Het gaat om vier complextypen (tabel 5.3). Deze complextypen kunnen in het geval van een antropogene ophoging zichtbaar zijn op het AHN<sub>3</sub>. De geringe afmetingen maken het herkennen van deze complextypen op luchtfoto's en satellietbeelden lastig. Deze zichtbaarheid is afhankelijk van de schaal (in het geval van analoge luchtfoto's) of resolutie (in het geval van digitale luchtfoto's en sensorbeelden) van deze beelden.

**Tabel 5.3 Complextypen gerekend tot groep 3 (mogelijk zichtbaar).**

Complextypen	Omvang- klasse	Grootte schaal 1:10.000
Kapel, megalietgraf, kalkbranderij, grafmonument	1	0,1-1 mm

**5.3 Wat is invloed van schaal en resolutie op de zichtbaarheid?**

Zoals in paragraaf 2.3 is toegelicht, is een belangrijk aspect bij de beoordeling van remote sensing-opnamen de kwaliteit en resolutie van het beeldmateriaal. Het moge duidelijk zijn dat een bewogen luchtfoto veel minder informatie bevat dan een haarscherpe variant. Maar ook de grootte van een archeologisch relict in relatie tot afstand van waaraf de foto is genomen, is bepalend voor de zichtbaarheid. Schaal en de rasterresolutie zijn



cruciale factoren voor de zichtbaarheid en/of herkenbaarheid van complextypen met een specifieke omvang.

In het analoge tijdperk was het begrip schaal de aanduiding voor het detailniveau en daarmee de intrinsieke kwaliteit van het fotonegatief. Om de relatie tussen enerzijds schaal en anderzijds zichtbaarheid van complextypen beter inzichtelijk te maken, zijn voor de categorie van analoge luchtfoto's vier detailniveaus of schalen (1:1000, 1:5000, 1:10.000 en 1:20.000) afgezet tegen de vijf grootteklassen in de zichtbaarheidsmatrix (tabel 5.4). De tabel maakt duidelijk dat schaal 1:20.000 niet geschikt is voor het detecteren van complextypen, met uitzondering van de complextypen die tot grootteklassen 4 en 5 zijn gerekend. Gezien hun grote omvang zijn deze laatstgenoemde complextypen in principe zichtbaar op analoge luchtfoto's, mits zij (ook) aan de andere criteria zoals voorkomen van forse kuilen, greppels of muurresten en/of de aanwezigheid van antropogene ophoging voldoen. De schaal met het meeste detailniveau (schaal 1:1000) is uitermate geschikt voor het detecteren opsporen en zelfs herkennen van specifieke complextypen.

De informatie uit tabel 5.4 is tevens terug te lezen in de tabellen 5.1. tot en met 5.3. In deze tabellen is als 'referentie van zichtbaarheid' uitgegaan van (de min of meer willekeurig gekozen) schaal 1:10.000. De grootte van de complextypen, in mm zoals zichtbaar op analoge luchtfoto's met een schaal 1:10.000, is aangegeven in de laatste kolom van de tabellen.

**Tabel 5.4 Relatie werkelijke grootte complextypen (omvangklassen 1 t/m 5), schaal en zichtbaarheid van complextypen (in mm) op analoge luchtfoto's.**

Omvangklassen	Klasse 1 1-10 m	Klasse 2 10-50 m	Klasse 3 50-100 m	Klasse 4 100-500 m	Klasse 5 >500 m
Schaal	grootte op remote sensing-beeldmateriaal (in mm)				
1:1000	1-10	10-50	50-100	100-500	>500
1:5000	0,2-2	2-10	10-20	20-100	>100
1:10.000	0,1-1	1-5	5-10	10-50	>50
1:20.000	0,05-0,5	0,5-2,5	2,5-5	5-25	>25

#### 5.4 Wat triggert het oog?

Het beoordelen van remote sensing-beelden was vroeger, in het geval van analoge luchtfoto's, veel meer het terrein van een specialist waarvoor de archieven ingegaan moest worden. Dat was niet alleen een intensieve en tijdrovende klus, het beperkte ook het leren herkennen. Hierdoor waren er in Nederland maar een paar specialisten op het gebied van remote sensing.

De bredere toegankelijkheid tot allerlei beelden, van luchtfoto's, satellietbeelden en het AHN, maakt ook dat de gebruikers steeds meer en sneller ervaring opdoen in het beoordelen en in het herkennen van archeologische verschijnselen.



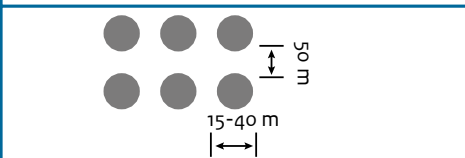
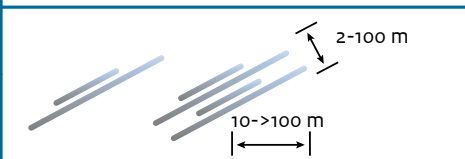
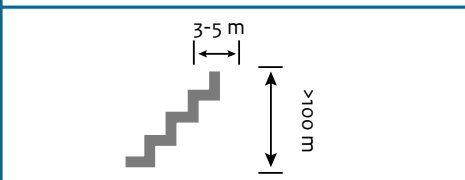
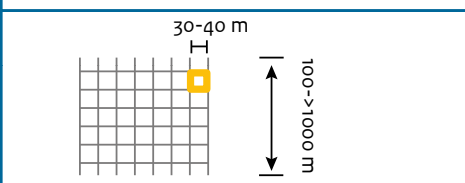
Zoals in paragraaf 5.2 is toegelicht is de vorm van de anomalie, of eigenlijk de onnatuurlijke vorm, een belangrijk aspect. Het menselijke oog is goed in staat dat te herkennen, zeker als het zich in patronen voordoet. Verkleuringen of hoogteverschillen die zich manifesteren in herhaalde patronen van perfecte cirkels, kaarsrechte lijnen, vierkante vormen, springen in het oog. Het wijst op activiteiten die door mensen in het verleden zijn uitgevoerd (afb. 5.6). Eén aangeploegde zwarte vlek in een akker wordt waarschijnlijk niet snel herkend als een mogelijke houtskoolmeiler, maar een uitgestrekt veld aan donkere vlekken laat veel meer van die regelmaat, achter deze industriële activiteit van houtskoolproductie zien (zie [casestudy Maredsous-Biert, paragraaf 7.4](#)). Ook de herhaling aan vierkante patronen die op het AHN goed zichtbaar zijn, maakt dat deze als raatakkercomplexen herkenbaar zijn (zie [casestudy Hilversum-Hoorneboegse Heide, paragraaf 6.1](#)). Scherpe lijnen of hoeken vallen ook snel op, zoals de zigzaglijnen van opgevulde loop- of tankgraven ([casestudy's Hilversum-Hoorneboegse Heide en Ieper-Frezenberg, paragrafen 6.1 en 7.5](#)), van hoornwerken ([casestudy's Vught-De Gement en Genneperhuis, paragrafen 7.1 en 8.1](#)) of een Romeins marskamp (afb. 5.3).

Of het daadwerkelijk gaat om specifieke archeologische relictten zal ter plekke moeten worden vastgesteld door middel van validerend onderzoek [[zie kadertekst 4C](#)]. Tot die tijd zijn de op de remote sensing-beelden waargenomen verschijnselen belangrijke bouwstenen bij het opstellen van een bureauonderzoek. De voorlopige interpretaties kunnen in de gespecificeerde verwachting een plek krijgen.

#### 5.5 Wat zijn belangrijke handige tips?

Ter afsluiting van dit hoofdstuk presenteren we een reeks aan aanbevelingen. Het zijn in feite gebundelde ervaringen die bij het oordelen van remote sensing-beelden zijn opgedaan. Ze kwamen naar voren bij de interviews, maar zijn ook door de auteurs van de casestudy's benoemd.

- Bedenk bij het uitvoeren van een bureauonderzoek voor een specifiek onderzoeks- of plangebied dat de terreinomstandigheden, zoals de bodemvochtigheid, de invloed van agrarisch grondgebruik of aan- of afwezigheid van gewas, per moment van beeldopname sterk kunnen wisselen. Daardoor zijn vindplaatsen alleen in bepaalde perioden van het jaar zichtbaar, bijvoorbeeld net na het ploegen of wanneer het gewas een bepaalde hoogte heeft bereikt. Het is dan ook aan te bevelen om altijd een reeks aan verschillende foto's en/of beelden te bekijken (bij voorkeur uit opeenvolgende jaren en seizoenen) van het onderzoeks- of plangebied. Die reeks bestrijkt bij voorkeur een lange periode en bestaat uit beelden die in verschillende seizoenen en op verschillende momenten van de dag zijn gemaakt.

Vorm	Patroon	Interpretatiemogelijkheden
Cirkel		grafheuvel, galgenberg, schietberg/kogelvanger
Cirkels		urnenveld
Cirkels in rijen		houtskoolmeilers
Lijnen (recht)		karrensporen, wegen, verkavelingsgreppels
Lijnen (zigzag, hoekig)		loopgraven, hoornwerken, eendenkooi
Vierkanten		raatakkers

Afb. 5.6 Overzicht van veel voorkomende vormen, patronen met interpretatiemogelijkheden.

Dit geldt ook voor de analyse van het AHN. Afhankelijk van de reliëfvariatie in het landschap is het maken van verschillende visualisaties aan te bevelen, om zo zoveel mogelijk informatie in het reliëf te herkennen.

Het combineren van twee of meer typen beeldmateriaal, bijvoorbeeld een analoge luchtfoto met AHN-beelden, levert vaak betere data op. Samen bieden ze goede informatie. Ook het combineren met andere digitale landschapslagen zoals geologische-, geomorfologische- en historische kaarten is vaak nuttig.

- Zoek zoveel mogelijk samenwerking met experts op aanpalende vakgebieden zoals historische geografie en digitale archeologie (3D, Image Based modelling).
- Als er in een onderzoeks- of plangebied geen archeologische vindplaatsen zichtbaar zijn op het AHN, luchtfoto's en satelliet- en dronebeelden, betekent dat niet dat er geen archeologie in de ondergrond aanwezig is.

## **Deel II – Casestudy's**



# Inleiding

Dit tweede deel van de publicatie bevat een reeks aan casestudy's waar het bestuderen van remote sensing-beelden sporen uit het verleden hebben opgeleverd. De voorbeelden komen uit Nederland en België (Vlaanderen en Wallonië), met een uitschieter naar de Duitse Waddenzee, en ze omvatten verschillende typen landschappen, zowel holoceen als pleistoceen.

De casestudy's zijn verdeeld naar de drie groepen remote sensing-beelden; de eerste reeks van beelden van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), de tweede groep zijn luchtfoto's in het zichtbare deel van het spectrum en de derde groep gaat in op voorbeelden in het niet-zichtbare deel van het spectrum.

Daarbij moet de aantekening worden gemaakt dat in het verscheidene casestudy's verschillende soorten van bronnen zijn gecombineerd, bijvoorbeeld luchtfoto's, het AHN en historische kaarten.

Onderstaande casestudy's worden in de volgende drie hoofdstukken gepresenteerd (zie afb. 6.1 voor de ligging van de vindplaatsen die in de casestudies worden behandeld):

## **Hoofdstuk 6: Casestudy's Actueel Hoogtebestand Nederland**

6cs-1 Hilversum-Hoorneboegse Heide

6cs-2 Alkmaar- Oudorpolder

6cs-3 Leuven-Heverleebos (B.)

## **Hoofdstuk 7: Casestudy's Luchtfoto's zichtbare deel van het spectrum**

7cs-1 Vught-De Gement

7cs-2 Kloosterzande-Drogendijk

7cs-3 Diepenheim-Den Haller

7cs-4 Maredsous-Biert (B.)

7cs-5 Ieper-Frezenberg (B.)

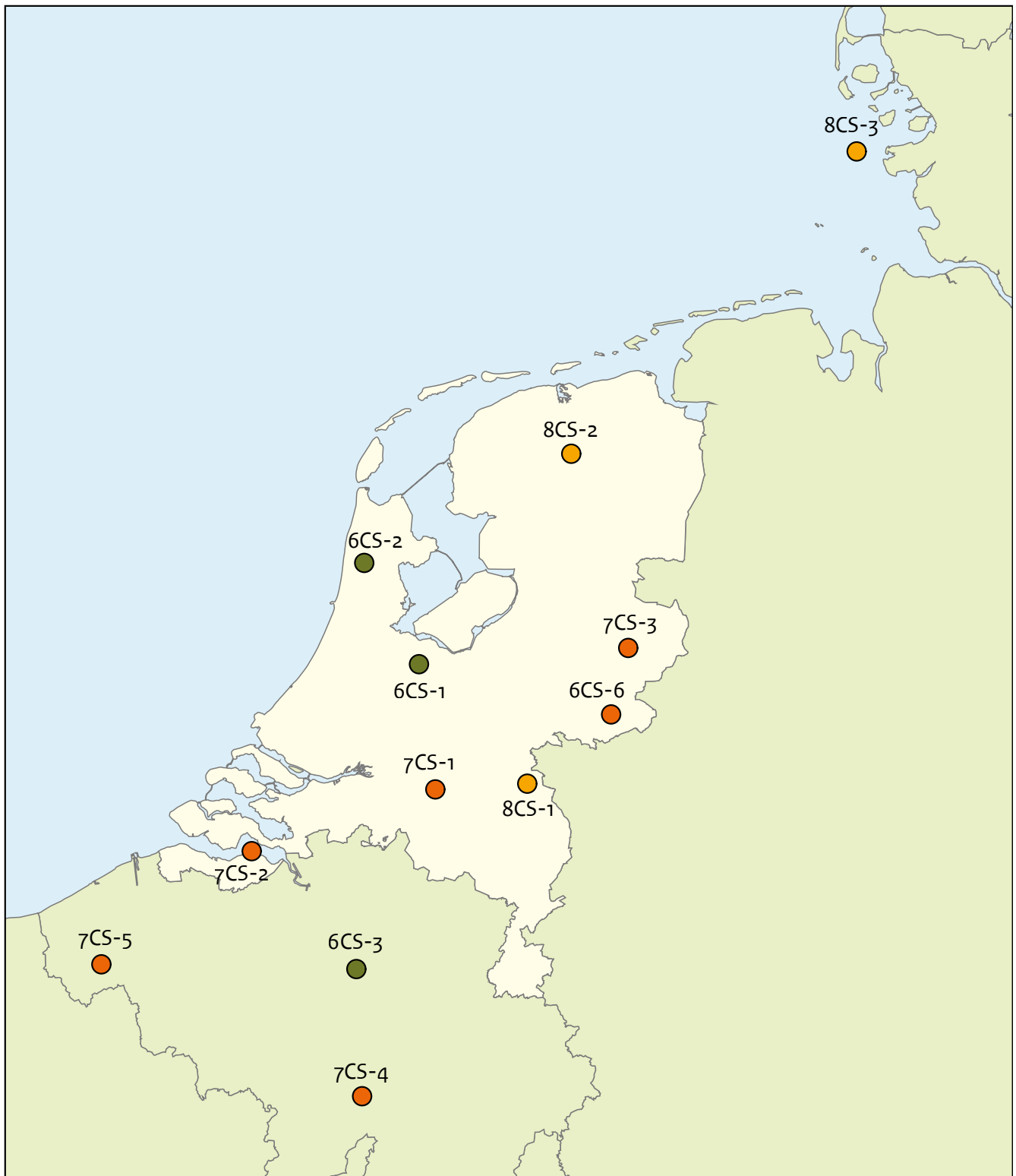
7cs-6 Lichtenvoorde-Het Harreveld

## **Hoofdstuk 8: Casestudy's Sensorbeelden niet-zichtbare deel van het spectrum**

8cs-1 Gennep-Gennepershuis

8cs-2 Siegerswoude-Middenwei

8cs-3 Nordfriesland-Pellworm (D.)



● Casestudy's Actueel  
Hoogtebestand  
Nederland

● Casestudy's Luchtfoto's,  
zichtbare deel van het  
spectrum

● Casestudy's Sensorbeelden,  
niet-zichtbare deel van  
het spectrum

Afb. 6.1 Ligging van de archeologische vindplaatsen in Nederland, België en de Duitse Waddenzee die in de casestudy's worden behandeld. Bij casestudy 6cs-3 Leuven-Heverleebos (B.) is het Digitale Hoogtemodel Vlaanderen gebruikt.

## 6 Casestudy's Actueel

# Hoogtebestand Nederland

### 6.1 Casestudy Hilversum-Hoorneboegse Heide

#### Prehistorische raatakkers en grafheuvels op bewerkte beelden van het AHN

Auteur: J.W. de Kort (RCE)

##### Administratieve gegevens

Provincie: Noord-Holland

Gemeente: Hilversum

Plaats: Hilversum

Toponiem: Hoorneboegse Heide

Centrumcoördinaten: 139.750/468.100

ARCHIS-onderzoekmelding: 54778

Grondgebruik: heide

##### Literatuur:

Theunissen, E.M. & J.W. de Kort (red.), 2014: *Prehistorische raatakkers op de Hoorneboegse Heide bij Hilversum; Verslag van een veldtoets*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 225).

Overige bronnen: niet van toepassing

##### Landschappelijke ligging

Landschap volgens Archeologische Landschappenkaart

Hoofdlandschap: stuwwallen

Landschapszone: hellingen

##### Geraadpleegde beelden

AHN2, gebied AGV\_ValleienVeluwe\_Schiphol

Opnamejaar: 2010.

Deze gegevens zijn in eerste instantie bewerkt door R. Wortelboer. Vanwege het reliëfrijke karakter van het gebied dat grotendeels bepaald wordt door de stuwwal, zijn kleine hoogteverschillen en flauwe hellingen (in dit geval een raatakker of *Celtic field*) nauwelijks te zien. De meest gebruikte methode is dat een schaduwreliëf (*hillshade*) wordt berekend, eventueel gecombineerd met een kleurschakering. Om het flauwe reliëf zichtbaar te maken, is het AHN-bestand bewerkt waardoor lokale hoogteverschillen wel duidelijk gevisualiseerd kunnen worden (lokaal reliëf model, afb. 1).

##### Wat zien we?

Naast het raatakkercomplex is op de visualisatie van het AHN2 de tankgracht aan de zuidzijde van Hilversum te zien, naast bundels karrensporen en natuurontwikkeling in de vorm van stroken geplagde heide (afb. 2). De aanwezige grafheuvels zijn in deze visualisatie minder evident, omdat dit reliëf juist te scherp is en wordt weergegeven als zwarte punten. Ze zijn beter te herkennen op een visualisatie door middel van schaduwreliëf (afb. 3).

##### Wat is de archeologische interpretatie?

Door een lokaal reliëf model van de Hoorneboegse Heide te maken, werd een dambordvormige patroon zichtbaar en zo kwam een raatakkercomplex aan het licht. De andere verschijnselen, de grafheuvels, karrensporen en tankgracht, waren op de *hillshade*-bewerking zichtbaar en al bekend.

##### Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?

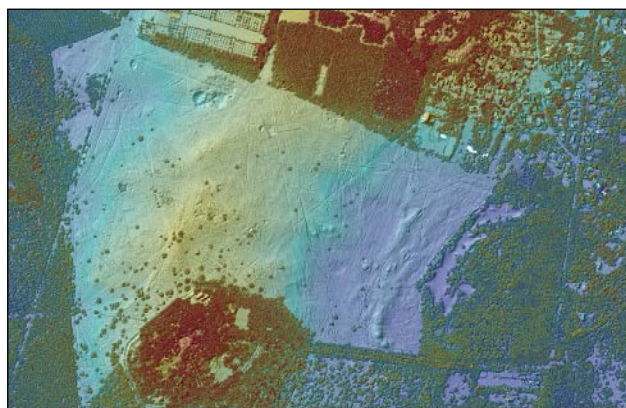
De wallen van de raatakker en de delen daartussen zijn onderzocht door middel van booronderzoek. Met de veldtoets is aangetoond dat er inderdaad een prehistorisch akkersysteem op de Hoorneboegse Heide aanwezig is. Uit het boren werd duidelijk dat op de locatie van de verwachte wallichamen een begraven bodem aanwezig is. Dit pakket bevat kleine fragmenten handgevormd aardewerk dat zeer waarschijnlijk uit de ijzertijd dateert. De visuele inspectie wees daarnaast uit dat er op de wandelpaden op bepaalde afstanden grindconcentraties aanwezig zijn. Na het inmeten bleek dat deze samenhangen met de wallichamen die op de AHN-beelden zichtbaar zijn. Monsters van sediment afkomstig uit en onder de wallichamen bleken uitsluitend houtskoolfragmenten te bevatten.

##### Wat zijn belangrijke leermomenten?

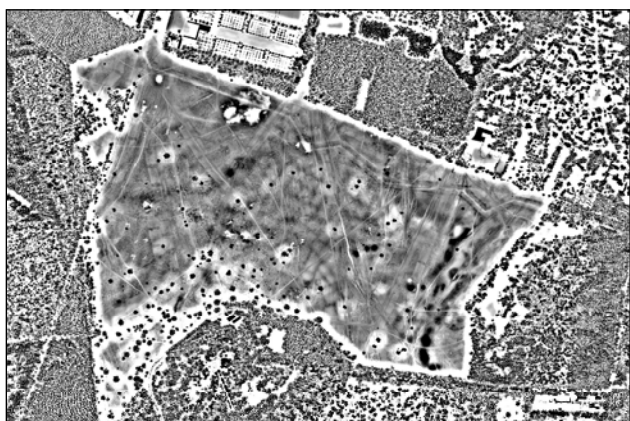
- Afhankelijk van het soort reliëf dienen verschillende visualisaties gemaakt te worden, zodat zoveel mogelijk informatie in het reliëf herkend kan worden. Eén vorm van visualisatie, bijvoorbeeld een dynamisch kleuren raster, kan er toe leiden dat zaken over het hoofd worden gezien, die met een andere visualisatie wel zichtbaar gemaakt kunnen worden. Daarbij zal goed nagedacht moeten worden wat de eigenschappen van het terrein (mate van reliëf) en de verwachte archeologische sporen en structuren zijn (vorm, omvang, wel of geen ophogingen). In dit geval ging het om een stuwwallandschap waarvan de helling met een lokaal reliëf model is aangepast waardoor kleine lokale verschillen beter zichtbaar werden;
- Verder was het nuttig om datgene dat zich op het AHN2 aftekent, in het veld te markeren en zo te proberen te correleren aan verschijnselen aan het oppervlak. Wallen van een raatakkercomplex zijn in een bebost gebied of een landschap met hoge heide vaak niet zichtbaar, maar de paden laten vaak wel een regelmatig, golvend reliëf zien. Op de Hoorneboegse Heide waren de (voormalige) wallen herkenbaar aan de grindconcentraties op regelmatige afstand van elkaar.



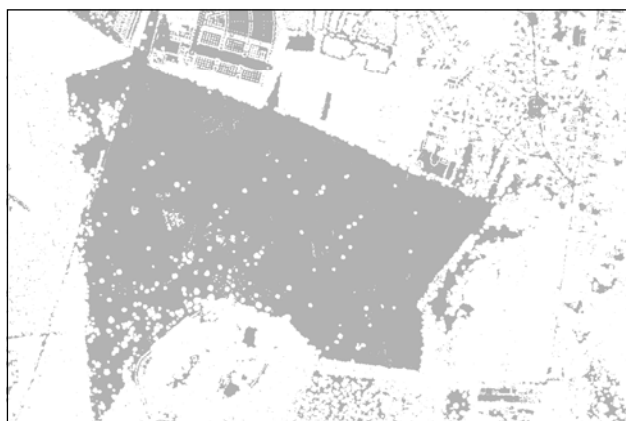
a



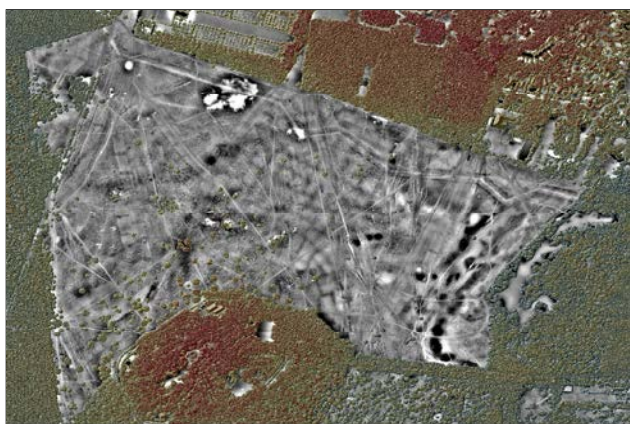
b



c



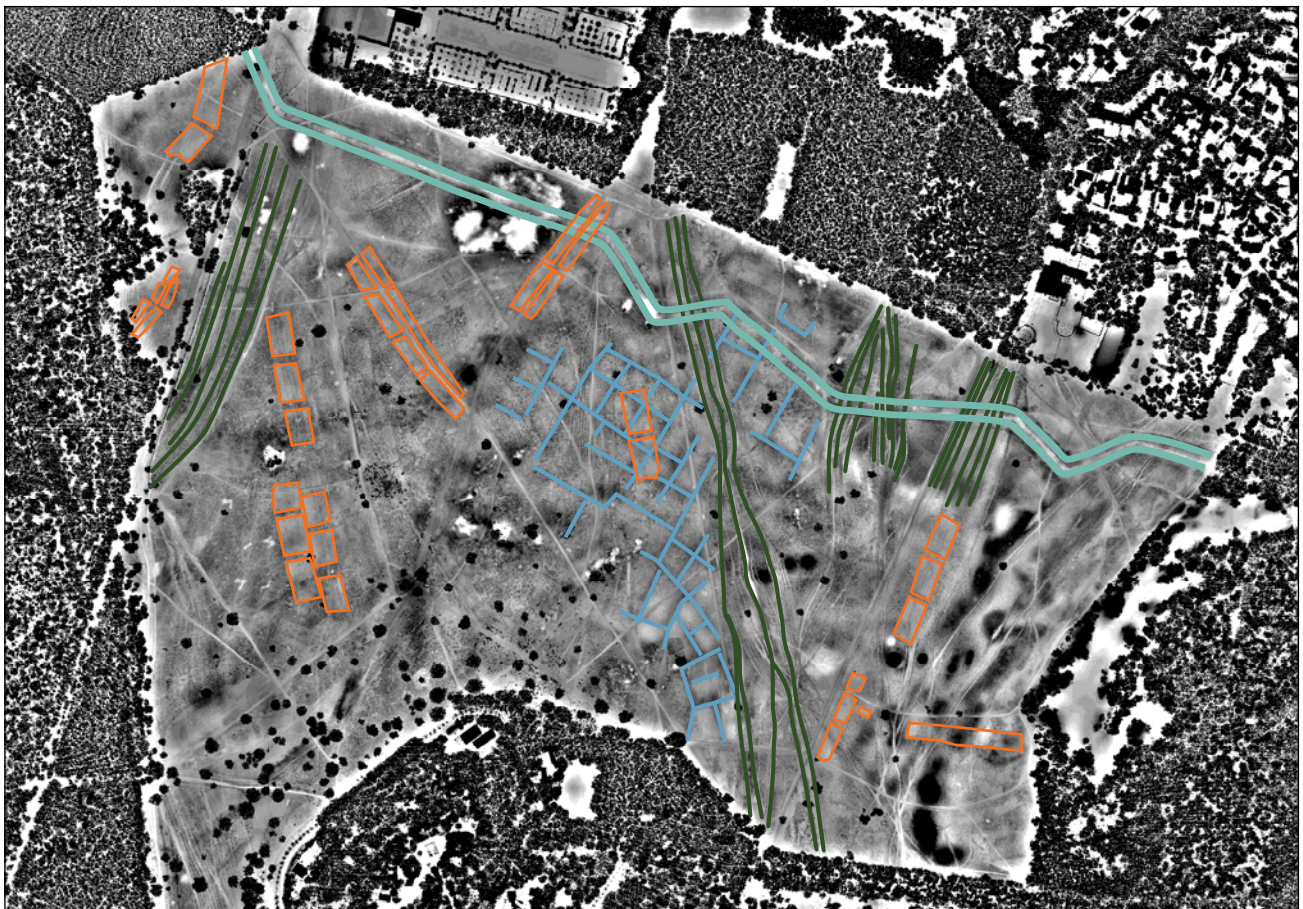
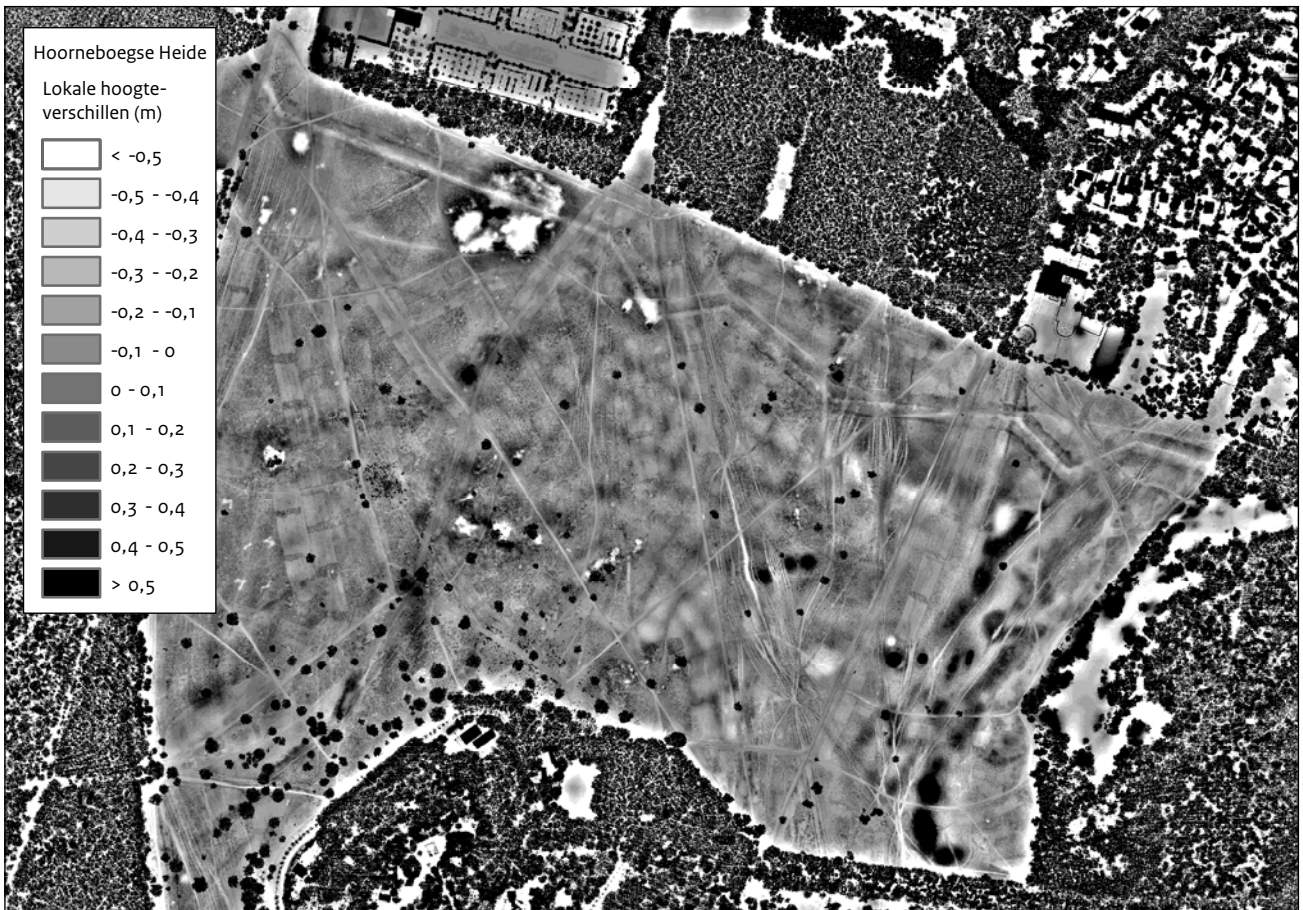
d



e

Afb. 1 Verschillende bewerkingen van het AHN2 leveren verschillende beelden op: a bewerking schaduwreliëf; b bewerking kleurschakering; c de relatieve hoogteberekeningen; d gebieden met flauwere hellingen; e het eindresultaat met de relatieve hoogteverschillen.

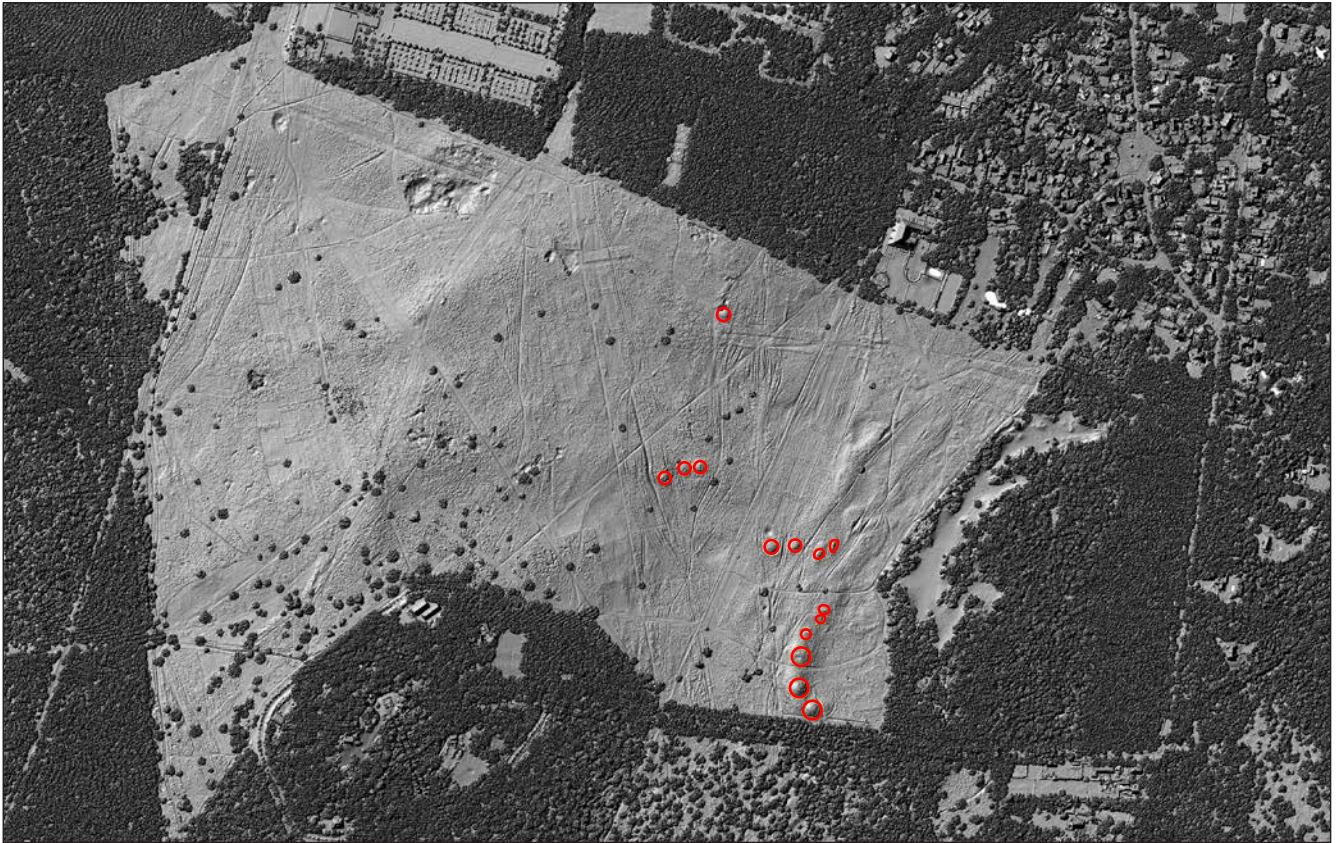




- Antitankgracht
- Bundels karrensporen
- Afgeplagde heide
- Wal raatkcker

Afb. 2 Bewerkt beeld van het AHN2 van de Hoorneboegse Heide, ten zuiden van Hilversum (© R. Wortelboer). Op het onderste beeld zijn de herkende sporen en patronen voorzien van een interpretatie.





Afb. 3 Een uitsnede van het AHN2 van de Hoorneboegse Heide, met de twee grafheuvelgroepen.

## 6.2 Casestudy Alkmaar-Oudorpolder

### Toegangsweg tot kasteel de Nieuwburg

Auteur: N. de Jong-Lambregts (Gemeente Alkmaar), in samenwerking met Saricon BV voor de ondersteuning met betrekking tot de gegeorefereerde luchtfoto's uit de Tweede Wereldoorlog

#### Administratieve gegevens

Provincie: Noord-Holland

Gemeente: Alkmaar

Plaats: Alkmaar

Toponiem: Oudorpolder

Rijksmonumentnummer: 45037

Centrumcoördinaten: 113.247/516.950

ARCHIS-onderzoekmelding: niet van toepassing

Grondgebruik: grasland

#### Literatuur:

Lambregts, N. & R. Gruben 2020: Dwangburchten voor West-Friesland of een oostelijke kustgordel voor het graafschap Holland? De strategische overwegingen van Willem II (1227-1256) en Floris V (1254-1296), *De archeologische kroniek van Noord-Holland 2019*, 220-246.

#### Overige bronnen:

Kaart van Simon Eikelenberg uit 1708

Kadastrale minuut van 1821

#### Landschappelijke ligging

Landschap volgens Archeologische landschappenkaart

Hoofdlandschap: strandvlakten

Landschapszone: duinen en strandwallen

Het onderzoeksgebied is gelegen in de Oudorpolder. Vroeger werd de polder aan de noord- en zuidzijde begrensd door twee meren die in later tijd zijn ingepolderd. In de dertiende eeuw is hier al sprake van een verbindingsweg, de Munnikenweg, richting West-Friesland. In die tijd werd gesproken van 'gebroken land'. De huidige interpretatie is dat sommige delen van de polder wellicht in bepaalde jaargetijden drassig zijn geweest.

#### Geraadpleegde beelden

RAF luchtfoto's

Opnamejaar 1943, 1944, 1956

Opnameseizoen: divers

Type opname: overboord

Luchtfoto's (digitaal, kleur) Google Earth

Opnamejaar: divers

Opnameseizoen: divers

Type opname: overboord

AHN data

AHN3, 0,5 m

Weergave: hillshade

Satellietbeelden

Opnamejaar: 2018,

Opnameseizoen: zomer (juli/augustus)

Type opname: TripleSat 80 cm, RGB

#### Wat zien we?

Op de satellietbeelden (afb. 1) uit de periode juli/augustus 2018 is – ongeveer vanaf de toegang tot het kasteel de Nieuwburg in het weiland direct ten zuidwesten ervan – een verdiepte lijn te zien die in zuidwestelijke richting naar de Munnikenweg loopt. Op de luchtfoto's uit de Tweede Wereldoorlog (afb. 2) is deze lijn ook duidelijk te herkennen. Op de AHN3 hillshade weergave is ook nog enig reliëf zichtbaar (afb. 3). Met behulp van de ruwe AHN3 0,5 m data is met behulp van de 3J's tool in QGIS een 3D-model gemaakt (afb. 4). Met behulp van de tool kan het verticale reliëf worden opgerekt, waardoor het microreliëf benadrukt kan worden. Op deze manier kunnen kleine hoogteverschillen beter in kaart gebracht worden. Op het 3D-model is een langgerekte verhoogde structuur aanwezig die dwars door het weiland loopt tussen de Munnikenweg en het kasteel.





Afb. 1 Uitsnede uit het satellietbeeld van juli/augustus 2018. Rechtsboven zijn de contouren van kasteel de Nieuwburg te zien. Direct ten zuidwesten van de huidige toegangsweg tot dit kasteel is in het weiland een duidelijke lijn zichtbaar in zuidwestelijke richting. Mogelijk is dit een deel van de oude toegangsweg. Linksonder is het terrein van kasteel de Middelburg te zien dat aan de noordzijde begrensd wordt door de Munnikenweg. Deze weg kan in schuin oostelijke richting worden vervolgd in de afbeelding. (bron: [www.satellietdataportal.nl](http://www.satellietdataportal.nl)).

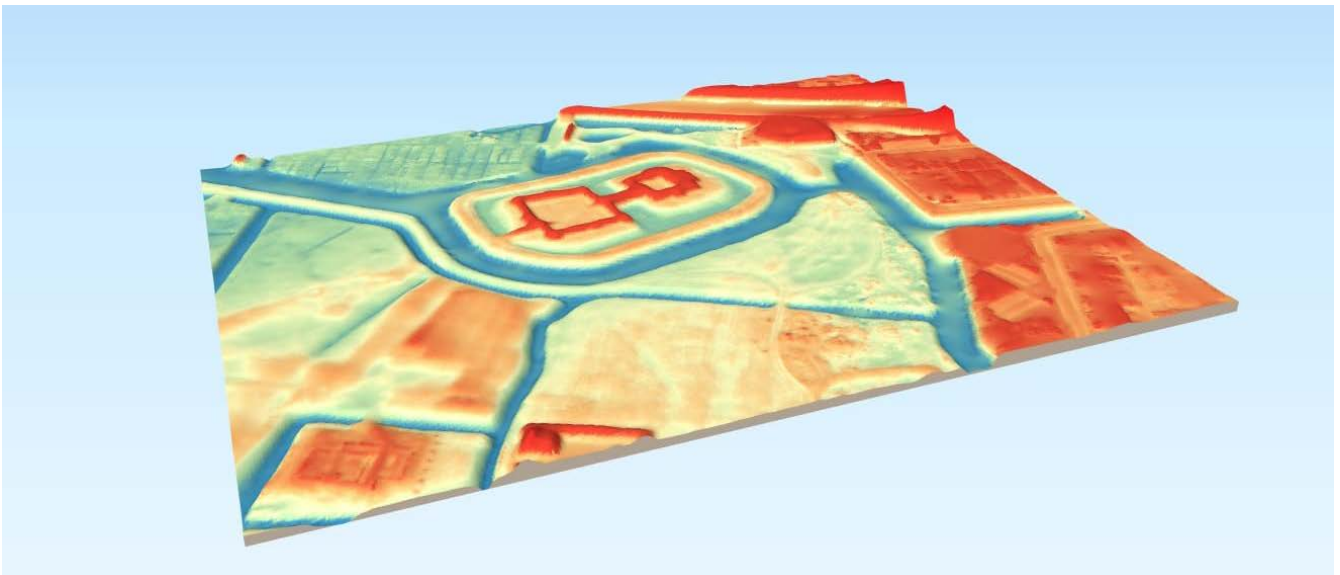


Afb. 2 Uitsnede uit een luchtfoto van de Royal Air Force (R.A.F.) uit 1943. Op de foto was door de Engelsen al een rode pijl gezet bij de resten van kasteel de Nieuwburg (nr. 1). Helemaal midden links (nr. 2) zijn de resten van kasteel de Middelburg duidelijk waar te nemen, evenals het oude verloop van de Munnikenweg (nr. 3) in het rechts hiervan gelegen weiland. Let op de ronde versterking (nr. 4) die precies in de oksel van de kronkel van het verloop van deze weg te zien is (onder het cijfer 4). Centraal op de foto is een boerderij en links (5) van deze boerderij is duidelijk een reliëf te zien dat richting de linkerkant van het kasteelterrein loopt. De bovenkant van de foto is gericht op het noorden (bron: Kadaster D/842\_3067).





Afb. 3 Uitsnede uit AHN<sub>3</sub>. Ten zuidwesten van het kasteelterrein van de Nieuwburg, rechtsboven in de afbeelding, is een in zuidwestelijke richting verlopende, lineaire structuur door het weiland in de richting van de Munnikenweg zichtbaar (bron: Actueel Hoogtebestand Nederland).



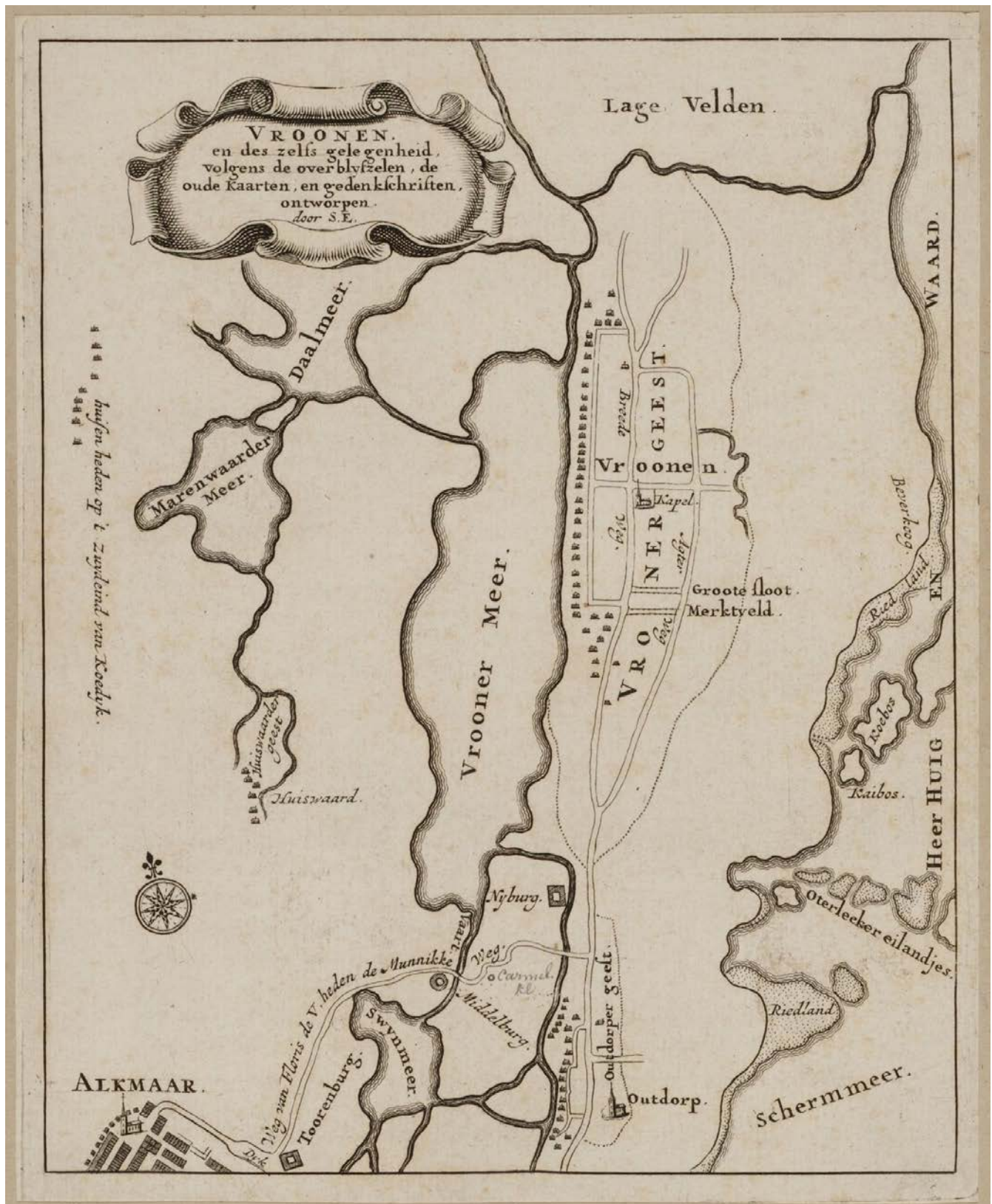
Afb. 4 Driedimensionaal model op basis van de AHN<sub>3</sub> 0,5 m data. Duidelijk zijn centraal in het model in donkerrood de contouren van kasteel de Nieuwburg te zien. In het weiland links ervan is duidelijk de verhoogde toegangsweg te zien, maar ook talrijke andere structuren.

#### Wat is de archeologische interpretatie?

Met het oog op de archeologische interpretatie is het nodig kort iets te vermelden over de Oudorperpolder. In de dertiende eeuw vormde dit gebied een belangrijke schakel tussen het strandwallengebied van Kennemerland en de drassige landen van West-Friesland, met name ook omdat precies tussen deze twee gebieden of regio's een oost-west georiënteerde doorgangsroute tussen twee grote meren, het Vroonmeer en het Zwijnsmeer, aanwezig was (afb. 5). Dit is ten dele het tracé van de huidige

Munnikenweg, al is dat in het derde kwart van de negentiende eeuw flink veranderd doordat een groot deel van de oorspronkelijke krommingen in de weg zijn rechtgetrokken (afb. 6). Deze route vormde dus de invalsroute in het gebied van de West-Friezen.

Er werd vanuit gegaan dat graaf Floris V deze weg in 1272 had aangelegd, maar nadere studie naar de bronnen leert dat wellicht zijn vader Roomskoning Willem II de grondlegger was van deze weg. Mogelijk kent de weg een nog hogere ouderdom en dat

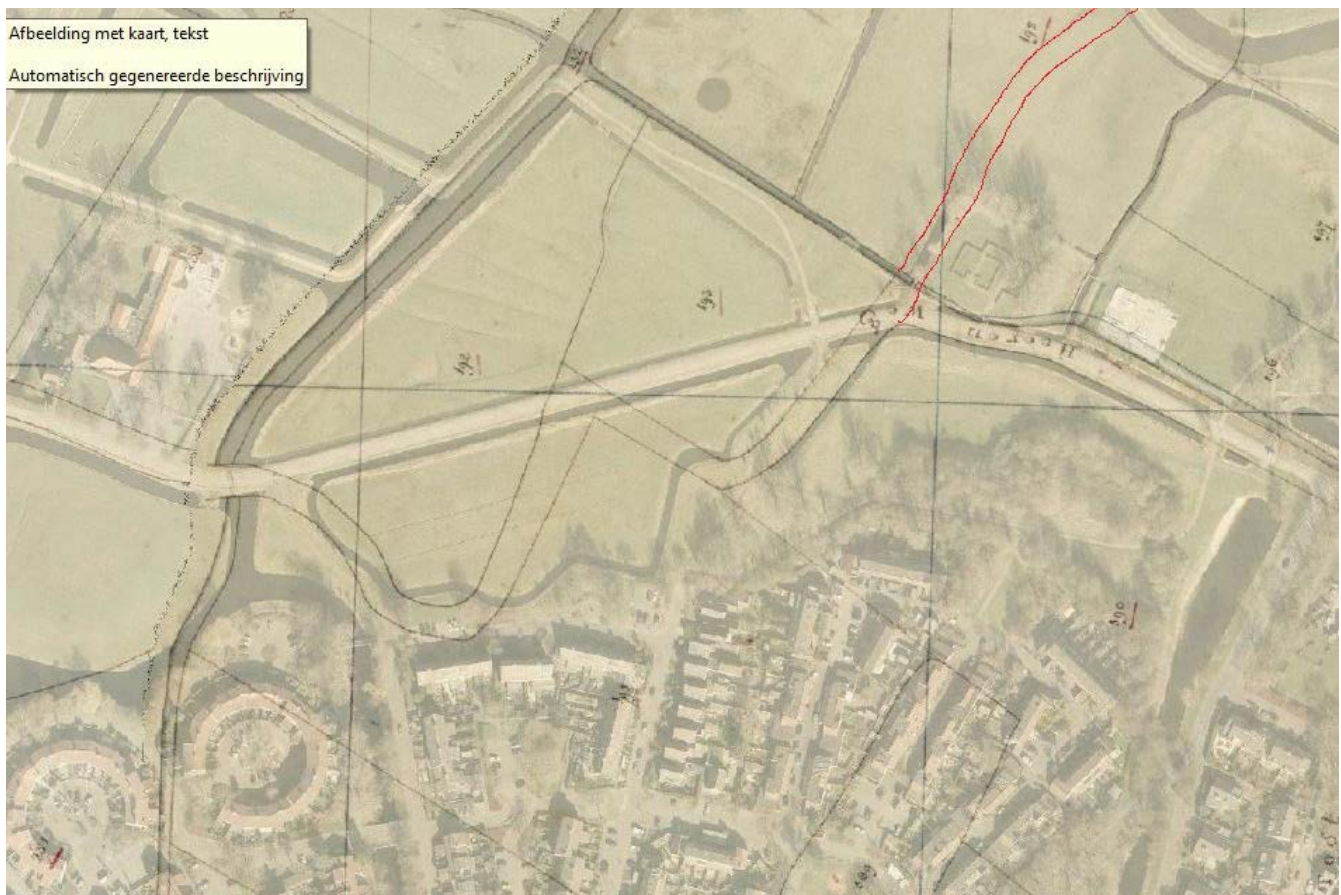


Afb. 5 Kaart van Simon Eikelenberg uit 1708 waarop de kastelen 'Toorenburg', 'Middelburg' en 'Nyborg' zijn aangegeven liggende aan de 'weg van Floris V heden de Munnikenweg', de invalsroute naar West-Friesland en de twee meren waartussen de Munnikenweg liep (bron: collectie Regionaal Archief Alkmaar/PR 1003235).

Floris V de weg heeft aangepast. In deze polder waren twee kastelen aanwezig die naar men aannam door Floris V waren opgericht. Inmiddels heeft onderzoek uitgewezen dat in ieder geval kasteel de Nieuwburg al een midden dertiende-eeuwse oorsprong kent. Kasteel de Middelburg had een oudere voorganger in het naastgelegen weiland, precies daar waar zich een kromming in het oude tracé van de Munnikenweg bevond. Kasteel de

Middelburg bevond zich direct naast de Munnikenweg, alleen kasteel de Nieuwburg lag hier een heel eind vanaf. Een toegangsweg naar het kasteel is echter nooit aangetoond. Sinds 2018 zijn beide kastelen onderwerp van nieuw onderzoek geworden en zijn allerlei bronnen bekeken om de omvang van de kasteelterreinen te kunnen bepalen. Naast geofysisch onderzoek is ook remote sensing ingezet om extra informatie te kunnen verkrijgen.





Afb. 6 Luchtfoto in transparant over de kadastrale minuut van 1821. Links midden is kasteel de Middelburg te zien, alwaar de weg eerst een zeer bochtig verloop kende dat in het derde kwart van de negentiende eeuw een ander verloop kreeg. In rode lijn rechtsboven is de voortzetting van deze weg in de richting van kasteel de Nieuwburg aangegeven. Dit deel van de weg is geïdentificeerd op basis van diverse remote sensing-bronnen.

Door bestudering van luchtfoto's uit het interbellum en de Tweede Wereldoorlog kon onder meer de (twaalfde-eeuwse?) voorganger van kasteel de Middelburg aangetoond worden. Maar ook sporen in het weiland direct ten zuidwesten van kasteel de Nieuwburg leverden verrassende inzichten op.

De op deze afbeeldingen waar te nemen structuur in het weiland is te interpreteren als de nog niet eerder geïdentificeerde toegangsweg tot kasteel de Nieuwburg vanaf de Munnikenweg, of zelfs het primaire verloop van de Munnikenweg door of langs de Nieuwburg. Dit zal onderzoek verder moeten uitwijzen. De weg zal zich in het landschap gemanifesteerd hebben als een verhoogde structuur, vermoedelijk ten behoeve van de afwatering geflankeerd door sloten aan beide zijden. Door de tijd heen is het reliëf in de polder sowieso op een groot aantal plaatsen sterk afgenomen waardoor de weg niet meer goed waarneembaar was. De kastelen in de Oudorperpolder zijn in 1517 verwoest door Grote Pier en zijn in de jaren daarna afgebroken. Van kasteel de Nieuwburg is bekend dat het terrein opnieuw werd verkaveld en uitgegeven. De toegangsweg zal daarna ook buiten gebruik geraakt zijn. Ondersteunend bewijs hiervoor is dat op de vroegste kaarten uit het midden van de zestiende eeuw alleen nog de ruïne wordt aangeduid. De verbindingsweg is niet weergegeven. Met behulp van alle geraadpleegde bronnen kan er dus een reconstructie gemaakt worden van de dertiende-eeuwse infra-

structuur in deze polder. Tegelijkertijd laten deze beelden nog veel meer interessante structuren zien rondom kasteel de Nieuwburg die zeker nog nader (niet destructief) onderzoek behoeven.

#### Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?

Naar aanleiding van de op luchtfoto's, satellietbeelden en het AHN waargenomen verschijnselen en de gegevens van het 3D-model heeft er (nog) geen validerend veldwerk plaatsgevonden om de interpretatie van de luchtfoto's en het 3D-model te toetsen. Mogelijk dat in de toekomst dit nog met geofysisch onderzoek gedaan kan worden.

#### Wat zijn belangrijke leermomenten?

- Het gebruik van meerdere bronnen is altijd aan te raden. De ene bron laat net iets anders zien dan de andere en samen geven ze een gelaagd beeld van een situatie. Zeker het gebruik van luchtfoto's uit en van vóór de Tweede Wereldoorlog geven vaak een nog redelijk onverstoord beeld van de situatie;
- Het raadplegen van het AHN is zeker informatief, maar het maken van een 3D-model levert nog veel meer informatie doordat je het reliëf kunt manipuleren.

### 6.3 Casestudy Leuven-Heverleebos (B.)

#### Herinventarisatie van prehistorische grafheuvels

Auteur: E. Meylemans (agentschap Onroerend Erfgoed, Brussel)

##### Administratieve gegevens

Provincie: Vlaams-Brabant (België)

Gemeente: Leuven/Oud-Heverlee

Plaats:

Toponiem: Heverleebos

Kaartblad 1:25.000: niet van toepassing

Centrumcoördinaten:

ARCHIS-onderzoekmelding: niet van toepassing

Grondgebruik: bos

##### Literatuur:

Baeté, H., M. De Bie, M. Hermy & P. Van den Bremt (red.) 2009: *Miradal. Erfgoed in Heverleebos en Meerdaalwoud*, Leuven.

Meylemans E., M. De Bie & N. Goeminne 2021: *Een herinventarisatie van prehistorische grafheuvels in Heverleebos*, Brussel (Onderzoeksrapporten agentschap Onroerend Erfgoed 171).

##### Landschappelijke ligging

Archeologische Landschappenkaart van Nederland: niet van toepassing.

Leemstreek. Ecoregio van de zuidoostelijke heuvelzone. Boven Dijle bekken.

##### Geraadpleegde opnamen

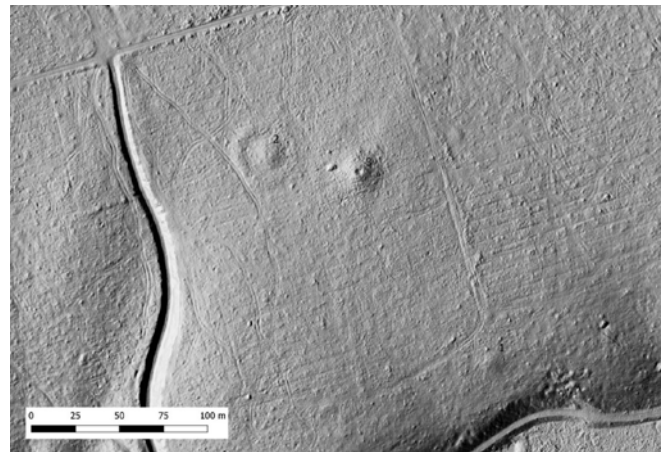
Multidirectionele hillshade verwerking van hoge resolutie lidar raster (rastercelgrootte 0,25m<sup>2</sup>) van het Digitale Hoogtemodel Vlaanderen (2020).

Opnameperiode: winter 2014.

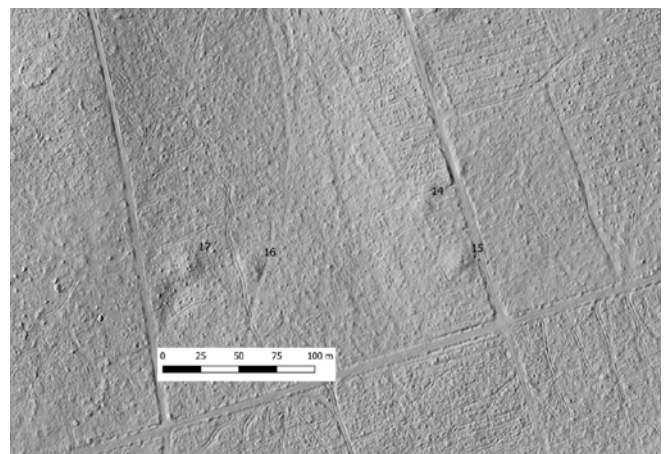
##### Wat zien we?

Het Heverleebos en het nabijgelegen Meerdaalwoud vormen samen een van de grootste boscomplexen van Vlaanderen. Dankzij het feit dat deze gebieden reeds lang als bos in gebruik zijn, bevatten ze een voor Vlaanderen uniek en goed bewaard archeologisch bodemarchief, met bekende sites van de prehistorie tot de Nieuwe Tijden. Vooral sinds het ter beschikking komen van het eerste Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen (DHMV) in de periode 2004-2005 was er vernieuwde aandacht voor dit erfgoed, met onder andere een archeologische inventaris opgesteld in het kader van een masterthesis, en studies van grote antropogene circulaire en ovale depressies en erosiegeulen. Het boek 'Miradal' (Baeté *et al.* (red.) 2009) biedt een overzicht van dit erfgoed in Heverleebos en Meerdaalwoud. Uit deze overzichten blijkt dat er in het Heverleebos rond 1900 minstens 24 grafheuvels bekend en gelokaliseerd waren. Op basis van de eerste generatie van het DHMV konden in 2005 elf ervan herkend en gelokaliseerd worden.

Ondertussen kwam een nieuwe versie van het digitaal hoogtemodel (DHMV2) beschikbaar. Dit instrument laat toe om topografische terreinmodellen op te stellen met een rasterresolutie van 0,25m<sup>2</sup>, vele malen preciezer dus dan het eerste DHMV waarvan de brondata een precisie toeliet van rasters van 4 m<sup>2</sup>. Met behulp van het nieuwe DHMV2 blijken nu nagenoeg alle in de negentiende eeuw bekende grafheuvels te kunnen worden gelokaliseerd. Daarnaast werden er op basis van deze nieuwe versie nog een aantal eerder niet op het kaartje aangeduide grafheuvels herkend, wat het aantal (vermoedelijke) grafheuvels op 29 brengt (afb. 1 en 2). Naast het identificeren van deze grafheuvels laat deze hoge resolutie verwerking ook toe om in grote mate van detail de staat van deze grafheuvels en eventuele schade te herkennen (bijv. rijsporen, plunder- en andere kuilen, etc.).



Afb. 1 Enkele grafheuvels (nummers 1 t/m 3) in het Heverleebos op het multidirectionele hillshade beeld. Heuvel 2 is een ringwalheuvel. Naast de heuvels zijn duidelijk de sporen van recent bosbeheer zichtbaar, alsook een plundergat in heuvel 3 (bron: agentschap Informatie Vlaanderen & agentschap Onroerend Erfgoed).



Afb. 2 Enkele grafheuvels (nummer 14 t/m 17) in het Heverleebos op het multidirectionele hillshade beeld. Heuvel 16 is aangetast aan beide zijden door rijsporen in het kader van bosbeheer (bron: agentschap Informatie Vlaanderen & agentschap Onroerend Erfgoed).



**Wat is de archeologische interpretatie?**

De heuvels vormen wellicht de kernen van verschillende grafvelden, die zich tussen en rond de heuvels uitstrekken. De juiste omvang van deze sites is nog niet duidelijk, en kan alleen via verder terreinonderzoek vastgesteld worden. In de eerste plaats wijst dit op een enorm uitgestrekt, rijk en goed bewaard prehistorisch cultuurlandschap waarin naast de funeraire sites ook sporen van nederzettingen, landbouw, etc. kunnen verwacht worden.

**Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?**

Het agentschap Onroerend Erfgoed inspecteerde deze locaties op 5 februari en 25 juni 2019, en op 15 januari 2020 en besteedde daarbij ook aandacht aan de impact van het (huidige) bosbeheer op de aanwezige relictten. Deze terreinbezoeken toonden aan dat de relictten, mits kennis bestaat van hun aanwezigheid dankzij het DHMV2, duidelijk herkenbaar zijn in het landschap, maar ook dat (sub)recent bosbeheer een duidelijke impact heeft gehad op hun huidige toestand (afb. 3 en 4).

**Wat zijn belangrijke leermomenten?**

- Deze (her)inventarisatie van de grafheuvels van het Heverleebos toont het enorme potentieel van de hoge resolutie verwerking van het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen voor onderzoek en beheer van het archeologisch erfgoed in Vlaanderen. In de eerste plaats wijst dit voor Heverleebos op een enorm uitgestrekt, rijk en goed bewaard prehistorisch cultuurlandschap waarin naast de funeraire sites ook sporen van nederzettingen, landbouw, etc. kunnen verwacht worden;
- Met de bosbeheerders bezochten medewerkers het agentschap Onroerend Erfgoed een aantal van de monumenten ter plaatse om over de problematiek van het beheer te spreken. Dit legde een aantal problemen en aandachtspunten bloot, maar leverde vooral ook enkele denkpistes op naar toekomstig beheer. De grafheuvels van Heverleebos en hun omgeving kenden nagenoeg nog geen verder evaluerend terreinonderzoek. In de toekomst moet zeker aandacht besteed worden aan dergelijk onderzoek, om deze site te verder af te lijnen, te karakteriseren, en te dateren.



Afb. 3. Zicht op de ringwalheuvel, heuvel 2 op afb. 1 (foto: agentschap Onroerend Erfgoed).





Afb. 4 Impact van rijsporen op de ringwal, heuvel 2 op afb. 1 (foto: agentschap Onroerend Erfgoed).

## 7 Casestudy's luchtfoto's zichtbare deel van het spectrum

### 7.1 Casestudy Vught-De Gement

#### Sporen in het maïs. Vestingwerken uit de tijd van het Beleg van 's-Hertogenbosch in 1629

Auteurs: E. Rensink (RCE) en G.J.J.J. Timmermans (beleidsadviseur Erfgoed Gemeente Vught)

##### Administratieve gegevens

Provincie: Noord-Brabant

Gemeente: Vught

Plaats: Vught

Toponiem: De Gement

Centrumcoördinaten: 146.252/409.116

ARCHIS-onderzoekmelding: niet van toepassing

Grondgebruik: grasland, akkerland (mais en braakliggend)

##### Literatuur:

P.J. van der Heijden, 2001: *Dagboek 1629. Ooggetuigen van hét beleg van 's-Hertogenbosch*, 's-Hertogenbosch.

##### Overige bronnen:

<https://www.bd.nl/s-hertogenbosch/droogte-brengt-linie-uit-1629-tevoorschijn-we-kunnen-de-kaarten-opnieuw-gaan-tekenen~a197040c/>

<https://www.s-hertogenboschopdekaart.nl/linie1629/8-hollandsche-dijk/pointofinterest/detail>

##### Landschappelijke ligging

Landschap volgens Archeologische Landschappenkaart

Hoofdlandschap: Roerdalslenk

Landschapszone: dekzandvlakte

De linedijk doorsnijdt een gebied waar vroeger sprake was van hoog- en laagvenen en moerassen (De Gement). De dijk moest om deze reden op palen gefundeerd worden. De grachten langs de dijk werden gevoed met water van de rivier de Dommel. Hiertoe werd ten zuiden van 's-Hertogenbosch de rivier afgedamd en werd een stelsel van kanalen gegraven dwars door de Vughtse Heide. Via deze kanalen kon het water de grachten van de linedijk bereiken.

##### Geraadpleegde beelden

RAF luchtfoto's

Op RAF foto's uit de periode van de Tweede Wereldoorlog zijn her en der nog sporen van de Hollandsche Dijk te zien.

Opname jaar 1943-1947

Opname seizoen: divers

Type opname: overboord

Luchtfoto's (digitaal, kleur)

Opnamejaar: 2018

Opnameseizoen: zomer

Type opname: overboord

Op een inspectievlucht door het Waterschap Aa en Maas heeft de piloot J. Jacobsen ten noorden van Vught de contouren van oude vestingwerken waargenomen en gefotografeerd (afb. 1 en 2). Dankzij de extreme droogte tekenden voormalige grachten zich onverwacht vanuit de lucht als verkleuringen in het gras en de mais af.

Dronebeelden (digitaal, kleur)

Opnamejaar: 2018

Opnameseizoen: zomer

Type opname: niet van toepassing

Naar aanleiding van berichtgevingen door Omroep Brabant heeft de gemeente Vught opdracht gegeven aan AGEL adviseurs om samen met Alfadrone een dronevlucht uit te voeren om de verdedigingswerken uit 1629 verder in kaart te brengen (afb. 3 en 4). De dronevlucht moest in ieder geval nog tijdens de periode van droogte uitgevoerd worden. De beelden zijn ingewonnen en gekarteerd in het Stelsel van de Rijksdriehoeksmeting (RD).

Op basis van de orthofoto en puntenwolk zijn de verkleuringen gekarteerd met behulp van het softwareprogramma dg DIALOG. De beelden worden door de archeologische dienst gebruikt voor een exact beeld van de ligging van de grachten behorende tot de zeventiende-eeuwse verdedigingslinie.

De ingemeten beelden zijn gedeeld met de vrijwilligers van De Groene Vesting en worden momenteel samengevoegd met de gehele Linie 1629. Een groot deel van de Hollandsche Dijk is hiermee gekarteerd en gekoppeld aan de overige beschikbare informatie van de Linie.

##### Wat zien we?

Op de luchtfoto's en dronebeelden (afb. 1 t/m 4) zijn hoofdzakelijk lijnvormige elementen als donkergroene verkleuringen in gras- en maispercelen zichtbaar. Deze *crop marks* zijn het resultaat van een andere vochtuithouding van de bodem waardoor op deze plaatsen het gras en de mais beter groeit en gezonder/groener is. Deze locaties vallen samen met voormalige, door de mens uitgegraven greppels waar de bodemcondities net iets gunstiger (vochtiger) zijn dan in de drogere delen van de percelen. Buiten de gras- en maispercelen zijn de lijnen verder te vervolgen en tekenen zij zich af als duidelijk donkerder gekleurde *soil marks*.

##### Wat is de archeologische interpretatie?

De *crop marks* en *soil marks* vormen de contouren van vestingwerken en mogelijk ook aangelegde waterwerken uit de tijd van het Beleg van 's-Hertogenbosch door Frederik Hendrik in 1629. Als voorbereiding op de belegering van de stad legde Frederik Hendrik een meer dan 40 kilometer lange verdedigingslinie rond de stad aan. De Linie bestond uit een aaneenschakeling van dijken en grachten die werden beschermd door tientallen uitkijkposten, schansen, hoornwerken en redoutes. Een groot deel van deze elementen is nog altijd in het landschap aanwezig. Op sommige





Afb. 1 De contouren van de vroegere vestingwerken of mogelijk aangelegde waterwerken uit de tijd van het Beleg van 's-Hertogenbosch door Frederik Hendrik (foto: J. Jacobsen, 8 augustus 2018, © Waterschap Aa en Maas).



Afb. 2 De contouren van de vestingwerken in het Bossche Broek (foto: J. Jacobsen, 8 augustus 2018, © Waterschap Aa en Maas).

locaties zijn ze op het AHN zichtbaar als subtiele, lijnvormige hoogteverschillen, terwijl op andere locaties (bijv. in het Gement/Rijskampen) niets op het AHN te zien is. Op weer andere locaties zijn overblijfselen duidelijk zichtbaar in de vorm van oude dijken en restanten van fortificaties.

De Hollandsche Dijk was de bijnaam van de circumvallatielinie tussen Vught en Engelen. De dijk vormde hét sluitstuk van de Linie van Frederik Hendrik. In het laagste gedeelte van de Gement werd in 1629 met man en macht gewerkt aan het sluiten van de Linie die als een ring rondom de stad lag. Met takkenbossen, plaggen en aarde werd de Hollandsche Dijk opgeworpen, vernoemd naar de Hollanders die bij de aanleg werden ingezet. Direct na het beleg werd de dijk weer afgebroken. Dit werd gedaan om het natuurlijke

watersysteem te herstellen én om te voorkomen dat de dijk vervolgens tegen de Staaten werd gebruikt.

De Linie 1629 is onderdeel van de Zuiderwaterlinie, de langste meeste benutte waterlinie van Nederland, en loopt dwars door Brabant. De Zuiderwaterlinie is tevens een geologische overgang van zandgrond naar kleigrond. De Gement is een inudatievlak geweest tijdens de belegering, ook omdat er sprake is van kwelwater (water dat zich door de overgang van zand naar klei omhoog drukt).

Het beloop van de dijk was tot 1957 nog zichtbaar aan de hand van het slotenpatroon. Door de ruilverkaveling van de Gement zijn alle sporen echter uitgewist. Dankzij de luchtfoto's en gedetailleerde hoogtekaarten kon dit beloop weer volledig gereconstrueerd worden.





Afb. 3 In een maïspaneel tekenen zich de voormalige grachten duidelijk af als donkergroen gekleurde lijnen (© gemeente Vught).



Afb. 4 Een blik op een ander maïspaneel waarin de lijnen van de voormalige grachten zich duidelijk aftekenen (© gemeente Vught).

#### **Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?**

Naar aanleiding van de op de luchtfoto's en dronebeelden heeft er (nog) geen validerend veldwerk plaatsgevonden om de interpretatie van de luchtfoto's en dronebeelden te toetsen. Het College van B&W van de Gemeente Vught heeft in het 'Uitvoeringsprogramma 2021-2026 – Een nieuwe start' opgenomen om in 2023 te onderzoeken of de Hollandsche Dijk weer zichtbaar gemaakt kan worden. Ambtelijk is het idee ontstaan om de zichtbaarheid te koppelen aan klimaatopgave middels plaatsen van zonnepanelen / windmolens op de oude dijk. Temeer omdat hiermee meerdere beleidsdoelen in een kwetsbaar gebied samen kunnen komen.

#### **Wat zijn belangrijke leermomenten?**

Er is bij de vondst direct opgeschaald om goede (PR) foto's te maken. Het inmeten van de sporen liet enige tijd op zich wachten in verband met beperkte budgetten. Leerpunt kan zijn om direct belang van de vondst kenbaar te maken bij het bestuur zodat er prioriteit gegeven kan worden aan het inmeten.



## 7.2 Casestudy Kloosterzande-Drogendijk

### Cirkels in het Zeeuwse land

Auteur: L. Theunissen (RCE)

#### Administratieve gegevens

Provincie: Zeeland

Gemeente: Hulst

Plaats: Kloosterzande

Toponiem: Drogendijk

Centrumcoördinaten: 189.008/411.852

ARCHIS-onderzoekmelding: 31737 [zaakidentificatienummer 2220374100]

Grondgebruik: bouwland met gewas (tarwe)

#### Literatuur:

Theunissen, L., A. Müller & A.M.J. de Kraker, 2011: *Cirkels in het Zeeuwse land. Waarderend veldonderzoek aan de Drogendijk bij Kloosterzande (gemeente Hulst)*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 193).

#### Landschappelijke ligging

Landschap volgens Archeologische Landschappenkaart

Hoofdlandschap: jonge zeeinbraken

Landschapszone: kwelders

#### Geraadpleegde beelden

Luchtfoto's

Opnamejaar: 2004, 2005, 2008 en 2009

Opnameseizoen: zomer (juli en augustus)

Type opname: oblique vanuit deltavlieger en Mistral (eenmotorig vliegtuig)

In de zomers van 2004, 2005, 2008 en 2009 nam A.M.J. de Kraker verschillende foto's van het gebied ter weerszijden van de Drogendijk waar een brede variatie aan verkleuringen in de gewassen (o.a. graan, tarwe) te zien was, waaronder een paar opvallende.

#### Wat zien we?

In de gras- en graanpercelen zijn verschillende typen donkergroene verkleuringen te zien (afb. 1 t/m 3):

- rechtlijnige patronen van 6 tot 8 meter brede banen die parallel en haaks op elkaar staan;
- meanderende, vertakkende patronen van ca. 4 tot 40-50 meter breed;
- verschillende ronde en een paar vierkante lijnvormige elementen in ca. 1 meter brede banen. De omvang van deze structuren is 10 meter.

Op de foto's van 2004, 2005 en 2008 zijn 28 structuren van de c-categorie herkend. Een jaar later, in de zomer van 2009, kwamen daar nog elf bij.



Afb. 1 De gewasverkleuringen in het perceel ten noorden van de Drogendijk bij Kloosterzande (foto: A.M.J. de Kraker, 30 juli 2004).





Afb. 2 De gewasverkleuringen in het perceel ten zuiden van de Drogendijk bij Kloosterzande (foto: A.M.J. de Kraker, 28 juni 2005).



Afb. 3 Gewasverkleuringen in een perceel ten oosten van de Noordstraat bij Kloosterzande (foto: A.M.J. de Kraker, 4 juli 2009).



**Wat is de archeologische interpretatie?**

De aandacht ging uit naar c-categorie, de ronde en vierkante structuren die tussen de opgevlude verkavelingsgreppels (a) en de natuurlijke krekens (b) zijn gesitueerd.

In eerste instantie, direct na de ontdekking van de eerste cirkelvormige structuren in 2004, werd verondersteld dat de greppelstructuren overblijfselen zouden kunnen zijn van grafmonumenten uit de late prehistorie, in analogie van de vele cirkels die in het aangrenzende Oost- en West-Vlaanderen zijn herkend en onderzocht. Ondanks de gelijkenis in vorm was er een duidelijk verschil in de ondergrond. De Zeeuwse cirkels zijn gesitueerd in jongere, mariene afzettingen, terwijl de Vlaamse exemplaren zijn ingegraven in pleistocene gronden. Bovendien zijn de Zeeuwse cirkels een stuk kleiner in omvang, ca. 10 meter tegenover 20-35 meter voor die in Vlaanderen.

Tijdens het beoordelen en het georefereren van de luchtfoto's zijn de structuren aangemerkt in vijf zekerheidsklassen, variërend van klasse 1 (onzeker) tot klasse 5 (zeer zeker).



Afb. 4 Ronde structuur 6 komt bij de aanleg van het vlak tevoorschijn.



Afb. 5 Vierkante structuur wordt vrijgelegd.

**Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?**

Ja, de RCE heeft een veldtoets uitgevoerd, begin 2009, waarbij onder andere zes gerichte proefsleuven zijn gegraven over dertien gewasverkleuringen om deze te toetsen (afb 4 t/m 6). Zes daarvan – vijf cirkelvormige en een vierkante – bleken te zijn veroorzaakt door greppels die duidelijk door menshand zijn gegraven. De andere structuren waren onder meer natuurlijke opvullingen, banen met veel ijzeroxide en schelpfragmenten. De sporen van de antropogene structuren tekenden zich scherp af, ondanks het geringe kleurverschil tussen spoorvulling en natuurlijke ondergrond. De vullingen zijn opvallend homogeen en schoon (afb. 6).

Op basis van een combinatie van luminescentiedateringen en (schaars) vondstmateriaal uit oversnijdende en geassocieerde sporen mag geconcludeerd worden dat de greppelstructuren uit de late middeleeuwen, en wel in periode van de twaalfde-veertiende eeuw. Waarschijnlijk gaat het om relictten van een tijdelijke, eenmalige opslag van materiaal (ruiters, oppers, schelven etc.) op het land, bijvoorbeeld rijshout.

**Wat zijn belangrijke leermomenten?**

- Niet alle gewasverkleuringen bleken antropogene relictten te zijn. Ook natuurlijke verschijnselen kunnen zich zeer scherp (als zekere structuur, klasse 4) op een luchtfoto aftekenen;
- Samenwerking met een historische geograaf en het gebruik van veel historisch kaartmateriaal is vruchtbaar;
- Het onderzoek heeft informatie over de exploitatie in de late middeleeuwen van onbedijkte landschappen opgeleverd. Over dit soort overblijfselen van een extensief gebruik van nog ongecultiveerde, 'marginale' gronden, is nog weinig bekend. Een van de redenen is dat het archeologisch gezien weinig sporen nalaat. Deze casus laat zien dat luchtfotografische survey, gevolgd door een veldtoets, belangrijke aanknopingspunten oplevert over activiteiten die zich buiten de bewoonde wereld hebben afgespeeld.



Afb. 6 De greppelvulling van de vierkante structuur tekent zich scherp af, in een hoekige vorm.

### 7.3 Casestudy Diepenheim-Den Haller

#### Remote sensing en veldonderzoek van de mogelijke voorganger van het huidige kasteel van Diepenheim

Auteur: B. Terlouw (amateurhistoricus en -archeoloog)

##### Administratieve gegevens

Provincie: Overijssel

Gemeente: Diepenheim

Plaats: Diepenheim

Toponiem: Den Haller

Google maps coördinaten; 52.195134, 6.573199

Grondgebruik akkerland, bebouwd

##### Literatuur:

Rooij, K. de, 2020: *AWN-Afdelingen 18 en 19. Verslag van de resultaten van de veldverkenning op 6 oktober 2018 te Diepenheim in de buurt van de watermolen, zonder plaatsnaam.*

Spiekhout, D., 2020: *Het middeleeuwse kastelenlandschap van het Oversticht. De ontwikkeling van bisschoppelijke burchten, adellijke huizen en versterkingen in relatie tot het landschap en de samenleving in Noordoost-Nederland tussen 1050 en 1450, 452-453.*

##### Overige bronnen:

Google Earth

Satellietdataportaal.nl V1

##### Landschappelijke ligging

Landschap volgens Archeologische Landschappenkaart

Hoofdlandschap: Noordelijk zandgebied

Landschapszone: Dekzandvlakte

##### Geraadpleegde beelden

Satellietbeelden

Opname jaar: 2018

Opname seizoen: zomer (augustus)

Type opname: satellietopname Google Earth

Satellietdataportaal.nl V1 ( filtering op d.d. 2-8-2018)

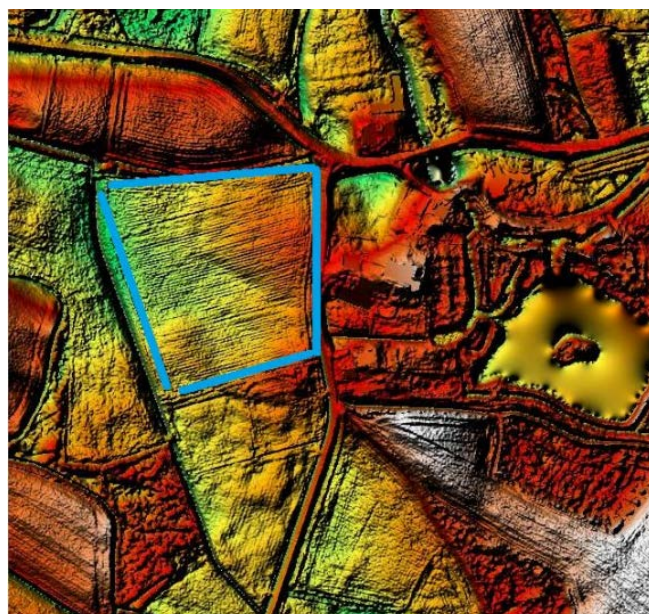
##### Wat zien we?

Op het satellietbeeld uit augustus 2018 is in het weiland ten westen van de boerderij aan de Nijhofweg 1 te Diepenheim een deel van een rechthoekig, door drie donkergroene banen omgeven terrein te zien (afb. 1). De banen liggen parallel aan elkaar en hebben aan de westzijde afgeronde hoeken. Aan de oostzijde verdwijnen de banen onder de bestaande bebouwing. Ook op het erf van de boerderij lijken er zich structuren af te tekenen. Daaromheen bevindt zich een zone met verschillende lineaire donkergroene banen met verschillende oriëntaties. Sommige hiervan volgen de contouren van de drie parallelle

banen, terwijl andere daar haaks op staan. De banen omsluiten verschillende rechthoekige terreintjes en lijken elkaar niet te oversnijden hetgeen op gelijktijdigheid en gelijke ouderdom wijst. Twee van de parallelle banen zijn ook te zien op het AHN2 (afb. 2).



Afb. 1 Uitsnede uit satellietbeeld van Den Haller uit augustus 2018 (bron: Google Earth).



Afb. 2 Uitsnede AHN2 van het complex Den Haller (bron: Actueel Hoogtebestand Nederland).

Op de ANH-beelden zijn tevens twee parallelle gebogen structuren ten westen van de bebouwing te zien. Ten oosten van het erf bevinden zich in een bosperceeltje twee parallelle verhogingen (wallen?) aan de buitenkant begrensd door een laagte (gracht?). Deze fenomenen sluiten niet mooi aan op die in het gebied ten westen van het erf, maar zouden toch wel tot hetzelfde complex kunnen horen.



**Wat is de archeologische interpretatie?**

Mogelijk gaat het om de resten van een middeleeuws kasteel. Mogelijk is het complex bij Den Haller een voorganger van het huidige kasteel van Diepenheim. Het geslacht Diepenheim wordt voor het eerst vermeld in 1105. In dat jaar was Bernardus van Diepenheim een van de eregasten bij de wijding van de herbouwde Sint Walburgskerk in Zutphen. Volgens de bronnen bezat deze Bernardus een versterking. In een oorkonde uit 11609 wordt Wolbertus van Diepenheim genoemd die "hield hof op syn Castrum benevens de Watermolen liggende". Het huis wordt opnieuw vermeld in 1177 toen het werd verwoest door troepen van de bisschop van Utrecht. In 1180 werd op een andere plek een nieuw kasteel gebouwd. Dit is de locatie van het huidige kasteel.

**Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?**

In het gebied Den Haller is op 6 oktober 2018 door de AWN-afdelingen 18 en 19 en Historische vereniging Old Deep'n een veldkartering in combinatie met metaaldetectie uitgevoerd. Het onderzoek vond plaats kort nadat het weiland was omgezet in akkerland. In totaal is ca. 20.000 m<sup>2</sup> akker verkend.



Afb. 3 Op lijn: veldkartering en metaaldetectie op het terrein Den Haller door leden van de AWN-afdelingen 18 en 19 en Historische vereniging Old Deep'n.

Op lijn is het terrein in ruim 3 uur door 15 personen op het oog en met metaaldetectoren afgezocht, waarbij elke vondst ter plaatse in een plastic zakje is gedeponneerd (afb. 3). Zo ontstond er een beeld van bepaalde concentraties. De vondsten zijn daarna per vondstconcentratie (afb. 4: gele, rode en bruine cirkels) of terreindeel (afb. 4: roze en zwarte zones) verzameld. Een klein deel van het terrein is niet afgezocht (blauwe zone).

Uit de concentratie in het midden van het omgrachte terrein (afb. 4: gele cirkel) komt een klein aantal scherven middeleeuws aardewerk, waaronder handgevormd kogelpotaardewerk, steengoed zonder oppervlaktebehandeling uit Siegburg en grijs- en roodbakend aardewerk. Verder leverde deze concentratie enkele objecten van ijzer en koperlegeringen, ijzerslakken, tegelfragmenten, stukken onbewerkt natuur- en vuursteen, drie

vuurstenen artefacten en een groot aantal scherven post-middeleeuws aardewerk en bouwmetaal op. Beide andere vondstconcentratie (afb. 4: rode en bruine cirkel) leverden grote hoeveelheden ijzerslakken (waaronder vloeslakken) en ijzeroer op.



Afb. 4 Ruimtelijke verspreiding van de verschillende vondstgroepen op het terrein Den Haller.

Uit de overige delen van de percelen kwamen aanzienlijke aantallen scherven handgevormd en draaischijfaardewerk, stukken natuur- en vuursteen, ijzerslakken, objecten van ijzer en koperlegeringen, delen van kleipijpen, stukken glaswerk en fragmenten bouwmetaal. Het materiaal kent een ruime datering van mogelijk ijzertijd tot nieuwste tijd. De meeste vondsten dateren uit de achttiende tot twintigste eeuw en lijken samen te hangen met bemesting van de akkers. Op grond van de waargenomen sporen/structuren, en de samenstelling en ruimtelijke verspreiding van het vondstmateriaal kan worden geconcludeerd dat het terrein vanaf de prehistorie in gebruik is. Een deel van de vondsten hangt waarschijnlijk samen met de waargenomen grachten. Dit geldt zeker voor de vondsten op het binnenterrein en mogelijk ook voor de concentratie ijzerslakken en ijzeroer daarbuiten. Deze laatste vondsten wijzen op ijzerproductie. Deze kan echter ook jonger of ouder zijn dan de sporen/structuren op de satellietbeelden. Het overgrote deel van de vondsten houdt verband met bemesting in de laatste paar eeuwen.



Afb. 5 Enkele vondsten van de veldkartering: roodbakkerd aardewerk met loodglazuur en delen van kleipijpen (links) en steengoed met zoutglazuur, engode en beschildering (rechts).

#### Wat zijn belangrijke leermomenten?

- Het combineren van de droogtebeelden in de vorm van *crop marks*, de AHN-beelden en historische gegevens is van groot belang. Hierdoor ontstaat een completer beeld van wat er zich mogelijk in de bodem bevindt;
- Daarnaast is het uitvoeren van een veldtoets cruciaal. In dit geval is gekozen voor een combinatie van metaaldetectie en veldkartering. Het is belangrijk dat hiervoor voldoende mensen worden gemobiliseerd en dat deze goed worden geïnstrueerd.

Verder is een goed plan, waarin beloopstrategie en verzamelwijze duidelijk uiteen worden gezet, van groot belang. Wel moet er ruimte zijn om het plan aan te passen. Goed overleg met de terreineigenaar is cruciaal;

- Bij de uitwerking is voldoende materiaalkennis onontbeerlijk. Op basis hiervan kunnen verspreidingskaarten worden gemaakt en inzicht worden verkregen in de datering/fasering van het complex.

## 7.4 Casestudy Maredsous-Biert (B.)

### Vlekken in akkerland ten zuiden van Maredsous

Auteur: K. Deforce (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen en Universiteit Gent)

#### Administratieve gegevens

Land: België

Provincie: Namen

Gemeente: Anhée

Plaats: Maredsous

Toponiem: Biert

Centrumcoördinaten: Latitude 50.271567 N, Longitude 4.728808 E (decimale graden)

ARCHIS-onderzoekmelding: niet van toepassing

Grondgebruik: bouwland

#### Literatuur:

Castiau E., C. Neuray, M. Nielsen, T. Pons, V. Vanderheyden, C. Van der Kaa & C. De Witte 2011: *Le Plateau condrusien, Atlas des Paysages de Wallonie*, Namur.

Deforce, K., B. Groenewoudt & K. Haneca 2021: 2500 years of charcoal production in the Low Countries. The chronology and typology of charcoal kilns and their relation with early iron production, *Quaternary International* 593-594, 295-305.

Goblet D'Alviella, F., 1930: *Histoire des bois et forêts de Belgique (deel IV)*, Brussel.

Hardy, B. & J.E. Dufey 2015: La forêt wallonne, composante vitale de la sidérurgie préindustrielle, *Forêt.Nature* 135, 10-18.

#### Overige bronnen:

Google Maps

Google Earth

#### Landschappelijke ligging

Landschap volgens de Waalse landschapsatlas (Castiau *et al.* 2011).

Hoofdlandschap: Condroz (leemplateau)

Landschapszone: Vallei van de Moline

#### Geraadpleegde beelden

Satellietbeelden en luchtfoto's op Google Maps en Google Earth

Opnamejaar: 2021

Opnamesizoen: voorjaar

#### Wat zien we?

In de akkerlandpercelen ten zuiden van Maredsous zijn vele zwarte cirkelvormige of elliptische vlekken te zien, van ca. 15 tot 40 m in doorsnede (afb. 1-4). Deze vlekken zijn *soil marks*. Deze liggen op onderlinge afstand van ca. 50 m van elkaar en vormen zo uitgestrekte patronen van honderden donkere stippen in het landschap. Ook verder naar het westen, bijv. ten noorden van Florennes, komen deze vlekken talrijk voor op akkerpercelen.



Afb. 1 Satellietbeeld van Google Earth, van de regio ten zuiden van Maredsous.





Afb. 2 Satellietbeeld van Google Earth, ingezoomd op akkerland.



Afb. 3 Satellietbeeld van Google Maps, omgeving Biert.





Afb. 4 Satellietbeeld van Google Maps, ingezoomd op akkerland.

#### Wat is de archeologische interpretatie?

Uit onderzoek naar vergelijkbare verschijnselen elders is bekend dat het hier gaat om resten van houtskoolmeilers. Dat zijn plaatsen waar houtskool is geproduceerd in het verleden. Tot ca. 1300 na Chr. gebeurde dit in kleine kuilen. Nadien in grote koepelvormige stapels hout die werden afgedekt met aarde (afb. 5). De geproduceerde houtskool was voornamelijk bestemd al brandstof voor ijzerproductie.

De donkere vlekken die we hier zien, zijn restanten van houtskoolproductie in koepelvormige meilers. Door herhaald ploegen is het houtskoolresidu van de oude meilers in de bouwvoor opgenomen en zo verspreid geraakt. De hier zichtbare meilerresten dateren heel waarschijnlijk uit de periode tussen het einde van de veertiende en het begin van de negentiende eeuw, wanneer Wallonië een belangrijk productiecentrum van ijzer was maar er nog geen steenkool of cokes werd gebruikt in de hoogovens. In deze periode, met een hoogtepunt tussen 1750-1830 na Chr. werd er op heel grote schaal houtskool geproduceerd in de regio. De meilers waren oorspronkelijk in het bos gesitueerd, maar dat is ondertussen omgezet naar akkerland. Ook in de bossen in de omgeving zijn er nog resten van houtskoolmeilers aanwezig. Deze zijn niet zichtbaar op satellietbeelden of luchtfoto's. Ze zijn echter wel goed zichtbaar als kleine lage heuvels op LiDAR-beelden.



Afb. 5 Houtskoolproductie in een koepelvormige meiler, Bos van Anlier, Ardennen (foto: Goblet d'Alviella, 1930).

#### Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?

In Maredsous is geen veldtoets uitgevoerd, maar uit opgravingen in Louvain-la-Neuve, Zoersel en het Zoniënwoud (België) en de Veluwe (Nederland) is bekend hoe deze meilers er archeologisch uit zien. Ze zijn herkenbaar als een houtskoolrijke laag van ca. 10 tot 50 cm diep net onder het oppervlak (afb. 6). Naast houtskool bevatten ze gewoonlijk geen archeologisch materiaal.



Niet enkel op satellietbeelden en luchtfoto's maar ook op het terrein zijn ze zichtbaar als donkere vlekken aan het oppervlak in geploegde akkers waar nog geen gewassen op staan (afb. 7).

**Wat zijn belangrijke leermomenten?**

- Houtskoolmeilers komen vaak voor in 'marginale' zones, gebieden ver van de bewoning verwijderd, omdat het houtskool in bosgebieden werd geproduceerd. De aanwezigheid van dit soort donkere stippen in het landschap geven dan ook voormalig beboste gebieden aan;
- Door houtskool in deze meilers te dateren met <sup>14</sup>C-dateringsmethode kunnen we bepalen wanneer op die locatie bos aanwezig was;
- Anthracologisch onderzoek van houtskool uit deze meilers laat toe om de samenstelling van het voormalige bos te achterhalen en eventueel ook de gebruikte bosbeheersystemen (bijv. hakhoutbeheer).



Afb. 6 Coupe doorheen de resten van een houtskoolmeiler in Bois de Lauzelle bij Louvain-la-Neuve, België (foto: Joseph Dufey, 2012).



Afb. 7 Terreinfoto van enkele meilers uit Biert (foto: Joseph Dufey 2012).



## 7.5 Casestudy Ieper-Frezenberg (B.)

### 'Het Westelijke Front' in België (1914-1918)

Auteurs: B. Stichelbaut en J. Bourgeois (Universiteit Gent, Vakgroep Archeologie)

#### Administratieve gegevens

Provincie: West-Vlaanderen

Gemeente: Zonnebeke

Plaats: Ieper

Toponiem: Frezenberg

Kaartblad 1:25.000: niet van toepassing

Centrumcoördinaten: Latitude 50.520948 N, Longitude 2.570364 E (decimale graden)

ARCHIS-onderzoekmelding: niet van toepassing

Grondgebruik: bouwland met gewas

#### Literatuur:

Stichelbaut, B., W. Gheyle, V. Van Eetvelde, M. Van Meirvenne, T. Saey, N. Note, H. Van den Berghe, & J. Bourgeois. 2017:

The Ypres Salient 1914-1918. Historical aerial photography and the landscape of war, *Antiquity* 91 (355), 235-249.

Stichelbaut, B. (red.), 2018: *Sporen van oorlog. Archeologie van de Eerste Wereldoorlog*, Brugge.

Stichelbaut, B., P. Chielens & J. Bourgeois 2018: Archeologie vanuit de lucht, in: B. Stichelbaut (red.), *Sporen van oorlog. Archeologie van de Eerste Wereldoorlog*, Brugge, 138-155.

#### Landschappelijke ligging

Geopunt Vlaanderen: Polder Leie-Interfluvium, zandleem- en leemstreek, zuidelijke IJzervlakte en het land van Ieper

#### Geraadpleegde beelden

Historische luchtfoto's

Historische luchtfoto uit de Eerste Wereldoorlog (opnamejaren 1915-1918), dergelijke beelden zijn beschikbaar voor het volledige westelijke gedeelte van België. Doordat de beelden gelijktijdig zijn met de periode van de Eerste Wereldoorlog zijn ze een uitgelezen bron voor de studie van twintigste-eeuwse conflictarcheologie.

Er bestaan nog ruim een half miljoen historische luchtfoto's van het westelijke front in België en Frankrijk. Ze worden bewaard in België, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk, de Verenigde Staten en Australië.

Luchtfoto's (digitaal, kleur)

Opname jaar: 2015

Opname seizoen: zomer

Type opname: oblique luchtopnames vanuit een Morane sportvliegtuig, speciaal gemaakt voor archeologische prospectie-doelinden.

#### Wat zien we?

Een schuine (oblique) luchtfoto, genomen in juli 2015 nabij Frezenberg in de gemeente Zonnebeke, toont een veld tussen de Ieperstraat en de Felix Nadarstraat – toevallig is de straat genoemd naar de luchtfotopionier, die in 1864 een ballonvlucht maakte tussen Brussel en Ieper – met daarop sterk uitgedroogde gewassen (afb. 1). Op de foto is een bijzondere reeks positieve en negatieve *crop marks* waargenomen die te linken zijn aan de Eerste Wereldoorlog. Op de voorgrond van de oblique foto zien we de restanten van een betonnen bunker die als relict in het landschap bewaard is gebleven. In de sterk uitgedroogde gewassen net achter deze bunker zijn tal van positieve *crop marks* te zien (afb. 1). Het gaat enerzijds om duidelijk afleesbare sporen van gevecht-sloopgraven met typische vierkante traversen en kenmerkende zigzag-verbindingsloopgraven. Tientallen donkergroene vlekken komen wellicht overeen met diepe en ondiepe granaattrechters die het gevolg zijn van intensieve artilleriebeschietingen in deze regio. Op de achtergrond is een rechthoekige negatieve *crop mark* te zien van een begraven bunker waarboven de gewassen veel minder sterk groeien.

#### Wat is de archeologische interpretatie?

De interpretatie van deze structuren wordt mogelijk gemaakt dankzij de uitgebreide collectie van historische luchtfoto's die tijdens de Eerste Wereldoorlog genomen zijn.

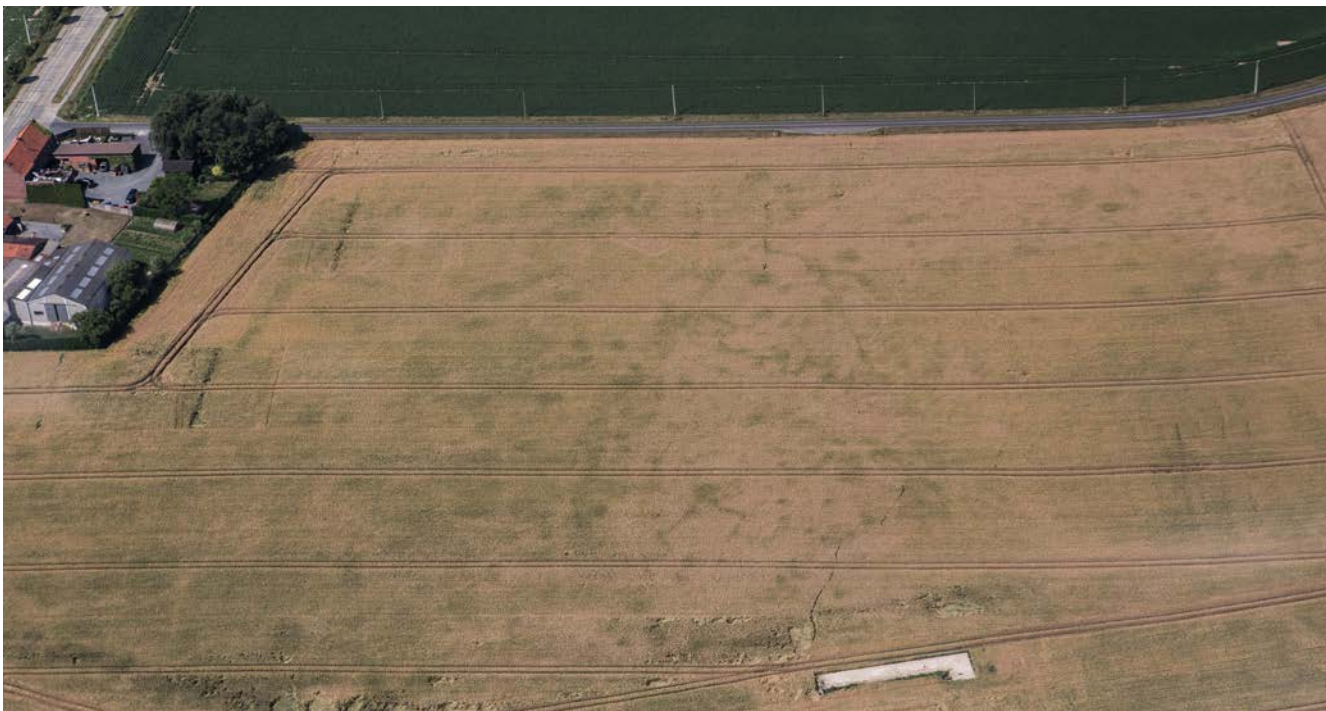
Met ArcMap 10 werden de schuine luchtfoto's 'rechtgetrokken' om de sporen in kaart te kunnen brengen. Vergelijking van de recente foto met een luchtbeeld van 24 september 1918 bevestigt het vermoeden dat de gewasmarkeringen hun oorsprong vinden in de Eerste Wereldoorlog. Een gedetailleerde interpretatie van het beeld en nauwkeurige vergelijking met historische luchtfoto's onthulde nog twee andere begraven bunkers (afb. 2).

De vergelijking toont tevens dat niet alle loopgraven en granaattrechters op de historische luchtfoto ook zichtbaar geworden zijn als gewasmarkering. De vorming van *crop marks* is immers afhankelijk van een samenloop van omstandigheden: de droogte, het bodemtype én een luchtfotograaf die de vindplaatsen opmerkt en een foto neemt van de sporen die soms maar enkele dagen zichtbaar zijn.

#### Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?

Er is geen validerend veldonderzoek uitgevoerd. Wel leverde de nauwkeurige vergelijking tussen enerzijds de recente oblique luchtfoto met *crop marks* en anderzijds de historische luchtfoto's genomen tijdens de Eerste Wereldoorlog een interpretatie en identificatie van de waargenomen structuren op.

Deze casestudy toont een zeldzaam beeld waarbij *crop marks* worden waargenomen van sporen afkomstig uit de Eerste Wereldoorlog. Dit is bijzonder omdat het zware gronden betreft die een relatief lange periode van droogte nodig hebben voordat ze duidelijke *crop marks* vertonen. In Vlaanderen wordt daarom



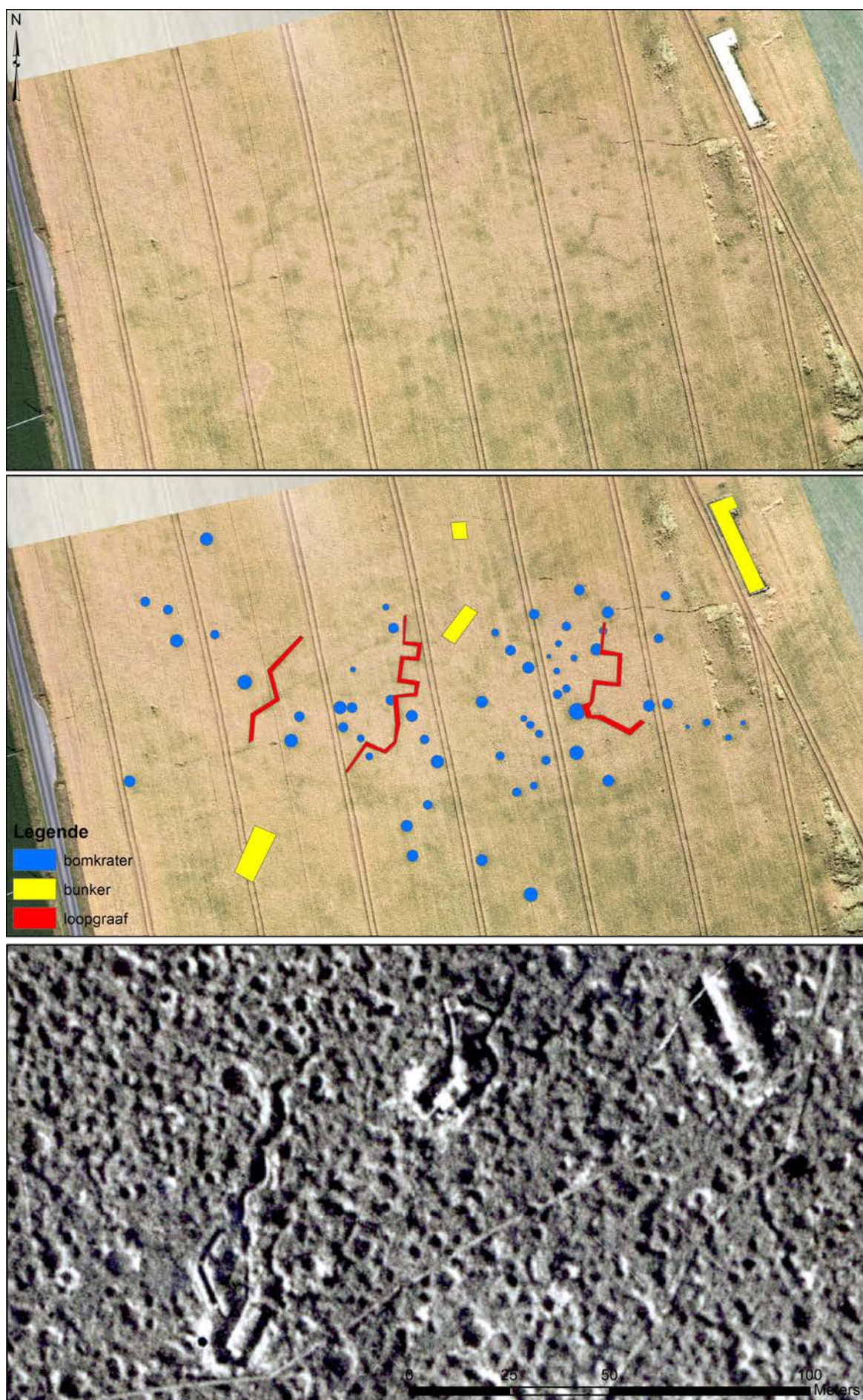
Afb. 1 Oblique luchtfoto van het perceel aan de Felix Nadarstraat met de crop marks, juli 2015 (@ B. Stichelbaut, UGent).

zelfs meestal uitgegaan van de sterkte van de historische luchtfoto's. Vrijwel overal is het zo dat op plekken waar er op de historische luchtfoto's (uit de periode van 1914-1918) sporen van loopgraven, versterkingen of bunkers zichtbaar zijn, ze ook in het ondergrondse bodenarchief worden aangetroffen. Vooral er in de regio van het front bodemingrepen gepland zijn, worden bureauonderzoeken uitgevoerd waarop enkel en alleen op basis van de analyse van historische luchtfoto's een inschatting wordt gemaakt of er al dan niet materiële relictten van de oorlog worden aangetroffen.

#### **Wat zijn belangrijke leermomenten?**

- Voor grote delen van West-Europa zijn er aanzienlijke archiefbronnen beschikbaar die genomen zijn tijdens de Eerste en Tweede Wereldoorlog. Vandaag helpen ze om inzichten te krijgen in de mogelijk bewaarde materiële resten van die conflicten;
- De opbouw van een grote collectie aan historische luchtfoto's is van zeer groot belang. Eerder dan een sitegerichte aanpak (met hedendaagse remote sensing-beelden) proberen onderzoekers van de Universiteit Gent oorlogslandschappen in hun totaliteit te bestuderen aan de hand van historische luchtfoto's. Elke historische luchtfoto is slechts een klein stukje van een uitgebreide puzzel. Door honderden of zelfs duizenden van die historische luchtfoto's met elkaar te combineren kunnen we inzichten verkrijgen in de densiteit, diversiteit en verspreiding van oorlogsrelictten. Hoewel we deze aanpak vooral toespitsen op het oorlogslandschap van de Eerste Wereldoorlog heeft deze aanpak evenveel potentieel voor het bestuderen van Tweede Wereldoorlog in België, Nederland of elders in Europa.





Afb. 2 Combinatie tussen georectificeerde luchtfoto (boven), interpretatie (centraal) en historische luchtfoto uit 1918 (onder). (bron: UGent Vakgroep Archeologie, Historische luchtfoto In Flanders Fields Museum).



## 7.6 Casestudy Lichtenvoorde-Het Harreveld

### Burgerparticipatie in de luchtfotografie

Auteur: H. van Londen (UvA)

#### Administratieve gegevens

Provincie: Gelderland

Gemeente: Oost-Gelre

Plaats: Lichtenvoorde

Toponiem: Het Harreveld

Centrumcoördinaten: 233.076/444.934

ARCHIS-onderzoekmelding: niet van toepassing

Grondgebruik: grasland, akkerland

#### Literatuur:

Derks, G.J.M., J.B. Bootsma & R.J.A. Crols 2006, *Cultuurhistorische gebiedsbeschrijving Oost Gelre. Een beeld van ontginningsporen tot wederopbouwarchitectuur*, Gelders genootschap.

Londen, H. van, J. Waagen, I. Korver & M. Schelvis 2019: Droogte maakt begraven landschap zichtbaar, *Het Nederlands Landschap, Tijdschrift voor landschapsgeschiedenis*, 37-1, 14-24.

Nijs, G. & H. Manschot-Tijdink 1994: *Harreveld doorgrond. Historisch-archeologisch onderzoek naar 'eene oude haevesaete'*, Doetinchem.

Stortelder, A., 2021: *Bewoningsgeschiedenissen van de boerderijen in Harreveld*, z.p.

#### Overige bronnen:

<https://okvharvelt.nl/wp-content/uploads/2021/03/Boerderijen-Harreveld-versie-2.pdf>

<https://www.oudheidkundelichtenvoorde.nl/node/50>

#### Landschappelijke ligging

Landschap volgens Archeologische Landschappenkaart

Hoofdlandschap: Noordelijk zandgebied

Landschapszone: dekzandruggen en rivierduinen

De omgeving wordt gekenmerkt door landbouwgronden en verspreid liggende dorpjes. Oude cultuurgronden zijn te vinden op de hoger gelegen zandrug tussen Harreveld en Zieuwent.

De woeste gronden van Harreveldse heide liggen westelijk daarvan. Deze gronden zijn pas in de laatste eeuw ontgonnen (Derks *et al.* 2006, 59).

#### Geraadpleegde beelden

Luchtfoto (digitaal, kleur)

Foto genomen vanuit een zweefvliegtuig met een mobiele telefoon (door A. Bakker). Dit levert inzicht in de verdwenen verkaveling behorend bij het Harreveld, de locatie van de Havezate Harreveld met de voormalige pachtboerderijen Manschot, Wiegas en Op 't Hulshof.

Tijdens de droge zomer van 2018 ontstond een spontane samenwerking tussen zweefvliegers van de Noordoostpolder met een

groep archeologen van de Universiteit van Amsterdam (UvA). De zweefvliegers hadden opnames gemaakt van oude landschappelijke structuren. De UvA opende een apart e-mailadres voor het insturen van opnames en stelde een handleiding op als hulp voor het nemen van foto's. Er werd een database ingericht. Zo kwam er een project met een *citizen science* insteek tot stand. M. Schelvis en I. Korver, masterstudenten van de UvA, analyseerden de beelden. J. Waagen hielp met de inrichting van de database en de analyse van het beeldmateriaal. Er bevinden zich ca. 200 beelden in de database.

Opname jaar: 2018

Opname seizoen: zomer

Type opname: overboord

#### Satellietbeeld

Opnamejaar: 2018

Opnameseizoen: zomer (augustus)

Type opname: TripleSat 80 cm, RGB

De sporen die zijn waargenomen vanuit het zweefvliegtuig bleken herkenbaar te zijn op het satellietbeeld. Deze zijn geïnterpreteerd, ingedeeld in clusters (clusters 1 en 2) en vergeleken met historische kaarten. De sporen blijken in ieder geval ouder dan de kaart uit 1830 waarop sommige (maar niet alle) sporen staan.

#### Wat zien we?

Op de luchtfoto en het satellietbeeld zijn oude verkavelingsstructuren (clusters 1 en 2) en wegenpatronen (cluster 2) te zien (afb. 1 t/m 4). De luchtfoto (afb. 1) is genomen met de mobiele telefoon vanuit het zweefvliegtuig en biedt vanzelfsprekend niet de kwaliteit van gespecialiseerde remote sensing-technieken. Desondanks gaf deze foto voldoende aanleiding om de sporen terug te zoeken op satellietbeeld uit dezelfde periode (augustus 2018) en deze verder te onderzoeken.

Goed zichtbaar in het landschap is het kruispunt van een voormalig stuk weg (afb. 2, cluster 1).

Als de ingetekende sporen van beide clusters op de satellietbeelden over de historische kaart worden gelegd (afb. 5), blijkt dat de oude verkaveling gerelateerd lijkt aan de Havezate Harreveld (ca. 1450-1800 n.Chr.) (cluster 1) en drie grote voormalige – meer oostelijk gelegen – pachtboerderijen, te weten Manschot, Wiegas en Op 't Hulshof (cluster 2). Deze drie beschikten samen over 57 ha grond. De oudste vermelding van Harreveld dateert uit ca. 1200, de boerderijen kunnen op basis van genealogieën teruggevoerd worden tot in de zestiende eeuw (Stortelder 2021, 3).

De foto brengt juist de oude cultuurgronden op de zandrug in beeld die pal ten westen van Lichtenvoorde ligt. De zandrug viel met allerlei lichte tekening door de droogte op. De schaalgrootte van de foto past goed bij de omvang van dat oude cultuurlandschap. De AHN bleek geen goede bron, omdat de sporen zich niet onderscheiden door hoogteverschil.



Afb. 1 Foto van de zandrug bij Lichtenvoorde genomen vanuit een zweefvliegtuig met de mobiele telefoon in de zomer van 2018. Op een groot aantal percelen zijn oude verkavelingsstructuren zichtbaar. Ofschoon de foto niet de kwaliteit heeft van beelden verkregen door gespecialiseerde remote sensing technieken, gaf deze voldoende aanleiding om de sporen op te zoeken op satellietbeeld (foto A. Bakker 2018).



Afb. 2 Satellietbeeld van Lichtenvoorde/Harreveld in de gemeente Oost-Gelre. Op het satellietbeeld uit de droge zomer van 2018 zijn de waarnemingen van de luchtfoto ook zichtbaar. In het kader is een kruispunt van wegen en verkaveling uitgelicht (cluster 1 Harreveld) (bron: Van Londen et al. 2019, 16).



Afb. 3 Verdwenen sporen van landinrichting zijn ingetekend op het satellietbeeld van Lichtenvoorde/Harreveld. Het satellietbeeld is gebruikt om de sporen op de luchtfoto 's' recht' te krijgen (bron: Van Londen et al. 2019, 16).



Afb. 4 De sporen zijn ingedeeld in clusters. Cluster 1 betreft Harreveld met in het midden de locatie van de Havezate Harreveld. Cluster 2 betreft Lichtenvoorde met de locatie van de drie pachtboerderijen (bron: Van Londen et al. 2019, 17).



Afb. 5 De sporen zijn gelegd over de historische kaart van Lichtenvoorde en Harreveld (De Grote Historische Atlas deel 3, 1830-1855, kaartnummer 103). De oude verkaveling hoort waarschijnlijk bij de zestiende-eeuwse pachtboerderijen Manschot, Wiegas en Op 't Hulshof. Deze waren in bezit van de heren van de Havezate Harreveld (bron: Van Londen et al. 2019, 17).

**Wat is de archeologische interpretatie?**

De landinrichting is niet archeologisch onderzocht en geldt wellicht eerder als historisch geografisch landschapselement dat zich goed leent om met oude kaarten te analyseren. De Havezate Harreveld is daarentegen wel archeologisch onderzocht in de jaren negentig van de vorige eeuw. Vooral de gracht leverde een vrucht aan vondstmateriaal op (Nijs & Manschot-Tijdink 1994). De drie boerderijen zijn net als de Havezate gesloopt, maar het historische cultuurlandschap ligt er nog, zij het begraven.

Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?

Met een aantal hulpmiddelen is gezocht naar de precieze plaats van de oude sporen. Dat begon met de fotobestanden zelf. Moderne fototoestellen en telefoons registreren de lengte- en breedtegraden, waardoor de regio te achterhalen is. Daarnaast is Google Maps gebruikt zodat gebouwen, wegen en rivieren vergeleken konden worden. De sporen op de foto's konden vanaf dat moment nagekeken worden op de satellietbeelden en het

AHN. De sporen waren niet zichtbaar op de AHN, maar wel op de satellietopnames uit dezelfde periode dat de piloot de opnames deed. De stappen van validatie zijn weergegeven in de opeenvolgende afbeeldingen. Er heeft geen toets in het veld plaatsgevonden.

**Wat zijn belangrijke leermomenten?**

Het belangrijkste leermoment is dat ook niet professioneel genomen luchtfoto's waardevolle informatie kunnen opleveren over verdwenen landschappen. Het rectificeren van de hoek was een eenvoudige handeling vanwege de voorhanden zijnde satellietbeelden uit dezelfde tijd waarin de piloot de opname maakte. De zweefvliegers kunnen zo waarnemingen aanleveren. Dat betekent dat burgerparticipatie in de luchtfotografie heel goed mogelijk is. Bovendien leveren dergelijke luchtfoto's een schaal op die het mogelijk maakt grotere landschappelijke structuren te herleiden.



## 8 Casestudy's sensorbeelden niet-zichtbare deel van het spectrum

### 8.1 Casestudy Gennep-Genneperhuis

#### Multispectrale luchtfoto's en het onderzoek van de Staats-Spaanse linie bij Gennep

Auteur: J. van Doesburg (RCE)

##### Administratieve gegevens

Provincie: Limburg

Gemeente: Gennep

Plaats: Gennep

Toponiem: Circumvallatielinie Genneperhuis

Centrumcoördinaten: 195.819/413.235; 195.881/413.475;

196.207/413.348; 196.001/413.169

ARCHIS-onderzoekmelding: 30114

Grondgebruik: grasland, akkerland, bebouwd

##### Literatuur:

Anonymus, 2009: Innovaties in archeologisch vooronderzoek.

Eindrapportage project RGI 166.

Doesburg, J. van & A. Müller (red.), 2011: *Zoeken naar een speld in een hooiberg? Gecombineerd geofysisch en archeologisch onderzoek naar de Staats-Spaanse linie rond Gennep (2008)*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 188).

Dinter, W. van, 1998: *De nadagen en de teloorgang van het Genneperhuis (1641-1998)*, Gennep.

Orbons, J., 2008: *Gennep, Locatie 4 Gracht/greppel uit 1640, Geofysisch onderzoek*, Maastricht (ARCheorPro Notitie o6-001-S RGI).

Polman, S.P., 2000: *Genneperhuis en omgeving, gemeente Gennep. Een toeristisch-recreatieve advieskaart*, Amsterdam (RAAP-rapport 598).

##### Overige bronnen:

Kaart van de circumvallatielinie rond Gennep, van C.J. Visscher uit 1645.

Kaart met circumvallatielinie en de aftocht van de Spaanse troepen eind juli 1641. Kopergravure uit 'Nassouser Heldens Pronktoneel, gecierd door de onovertreffelijke daadden, van de Alder-Dappersten en Kloek-modigsten Frederik Henderik, en Wilhelm II', uitgegeven door Jan Jansz. op 't Water, in Amsterdam in 1663.

Kaart 'Belägerung vesten Schloss und Statt des Gennep', uit de tweede helft van de zeventiende eeuw.

De stad Gennep. Oudgekleurde gravure uit 'Thoneel der Steden ende Sterckten van 't Vereenight Nerdelandt. Gheteekent door Io. Peeters ende ghemaect met sterck water door C. Bovvats' uit 1672.

Anonieme kaart van de circumvallatielinie rond Gennep uit het midden van de zeventiende eeuw.

##### Landschappelijke ligging

Landschap volgens Archeologische Landschappenkaart

Hoofdlandschap: Maasdal

Landschapszone: uiterwaarden

##### Geraadpleegde beelden

Multispectrale luchtfoto's

Opname jaar: 2007

Opname seizoen: zomer (augustus)

Type opname: multispectrale luchtfoto's (blauw, groen, rood en nabij-infrarood)

Korte toelichting: Ecoflight heeft in augustus 2007 multispectrale luchtfoto's gemaakt van de verschillende deelgebieden. Het onderzoek is uitgevoerd in zeven deelgebieden (1 t/m 7) verspreid over de gehele linie. Hiervoor is gebruik gemaakt van multispectrale luchtfoto's met een detailniveau van 25 cm. Voor de analyse van de luchtfoto's zijn op perceelsniveau de contrasten geoptimaliseerd met verschillende methoden. Vervolgens is gekeken of in de beelden sporen van de grachten, wallen of kampementen van de circumvallatielinie konden worden herkend.

Overige bronnen: Google Earth.

##### Wat zien we?

In twee van de zeven deelgebieden zijn structuren waargenomen die met de circumvallatielinie zouden kunnen samenhangen. In de overige niet. De twee deelgebieden met structuren worden hieronder besproken.

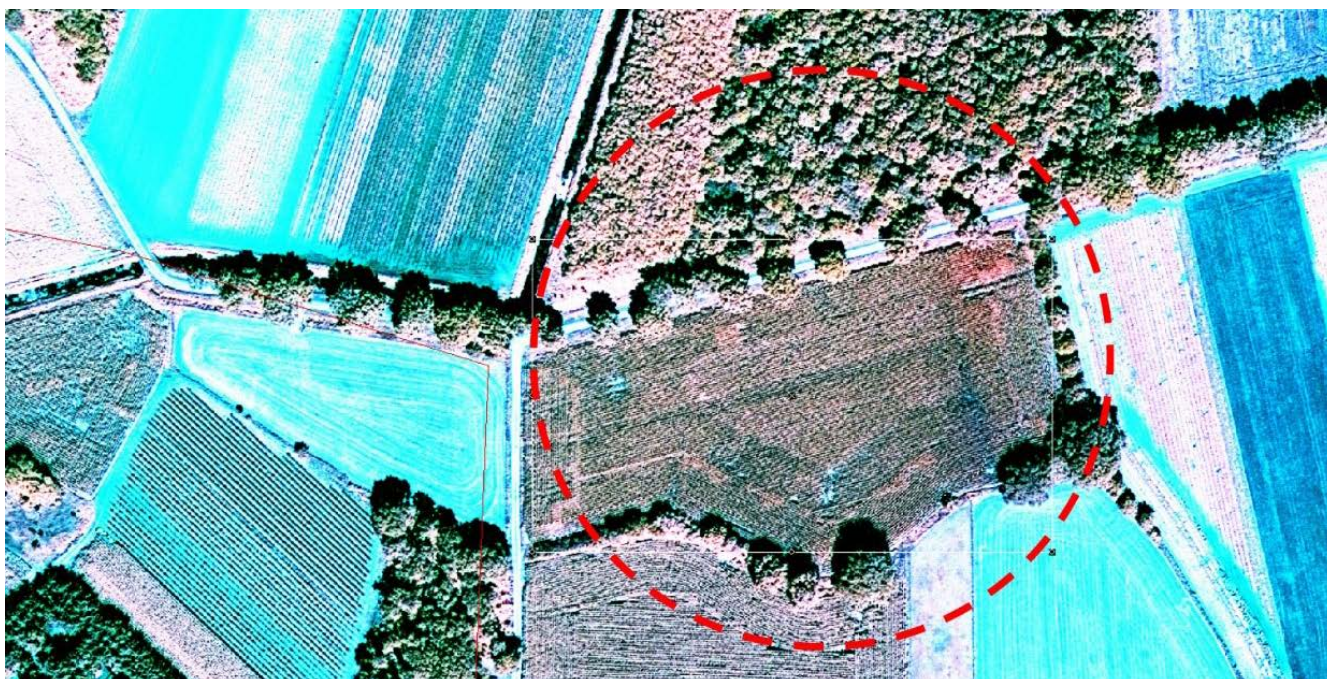
##### Deelgebied 2 Middelaar-Bloemstraat

Een eenvoudige perceelsgebonden contrast optimalisatie laat hier een duidelijke driehoekige vorm in de vegetatie zien (afb. 1, in cirkel). Deze vorm is veroorzaakt door te maaien in een patroon dat de vorm van het perceel volgt. De driehoekige vorm manifesteert zich onafhankelijk van de maaibanen. Op Google Earth-opnamen wordt de oriëntatie van de maaibanen bevestigd en is tevens duidelijk dat in de kale grond geen sporen van de driehoekige vorm zichtbaar zijn (afb. 2).

##### Deelgebied 5 Oeffelt-De Melder en Het Venneke

Een eenvoudige perceelsgebonden contrast optimalisatie rondom dit gebied laat een stervormige structuur in de vorm van meerdere lijnen zien (afb. 3, in cirkel). Niet geheel duidelijk is of de donkere vlek rechts van de stervormige structuur verband houdt met deze structuur of veroorzaakt wordt door lokale vernatting van de bodem. Op de AHN en op Google Earth-opnames zijn geen significante hoogtevariaties of sporen van de stervormige structuur zichtbaar.





Afb. 1 Eenvoudige perceelsgebonden contrast optimalisatie van multispectrale luchtfoto van deelgebied 2 (bron: Van Doesburg & Müller 2011, afb. 39a).



Afb. 2 Google Earth-opname deelgebied 2 uit 2008 (bron: Van Doesburg & Müller 2011, afb. 39b).



Afb. 3 Eenvoudige perceelsgebonden contrast optimalisatie van multispectrale luchtfoto van deelgebied 5 (bron: Van Doesburg & Müller 2011, afb. 40a).



**Wat is de archeologische interpretatie?**

Op basis van de kaart van C.J. Visscher uit 1645 wordt vermoed dat in deelgebied 2 een gedeelte van het kampement van graaf Frederik Hendrik in de linie is waargenomen, namelijk de wal en grachten van een driehoekig bastion aan de westzijde van het kamp (afb. 4, in cirkel). In deelgebied 5 is sprake van een gedeelte van een hoornwerk aan de buitenkant van de linie bestaande uit een wal en dubbele gracht (afb. 5, in cirkel).



Afb. 4 Uitsnede uit Kaart van C.J. Visscher uit 1645 van deelgebied 2 (bron: Van Doesburg & Müller 2011, afb. 39c). In deelgebied 5 is sprake van een gedeelte van een hoornwerk aan de buitenkant van de linie bestaande uit een wal en dubbele gracht (afb. 5, in cirkel).



Afb. 5 Uitsnede uit de kaart van C.J. Visscher uit 1645 van deelgebied 5 (bron: Van Doesburg & Müller 2011, afb. 40b).

**Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?**

Nee, er is voor de deelgebieden waar sporen/structuren zijn waargenomen (deelgebieden 2 en 5) geen veldtoets uitgevoerd. De reden hiervoor is dat voor de percelen waarin deze fenomenen liggen geen betredingstoestemming is verkregen om de resultaten

in het veld te toetsen. In de deelgebieden waar geen duidelijke sporen/structuren van de linie zijn waargenomen, is wel een veldtoets uitgevoerd. Deze bestond in deelgebied 6 uit een weerstandsonderzoek, gevolgd door een booronderzoek, een veldkartering met metaaldetectie en proefsleuven. Hierbij is een dubbele liniegreppel gevonden (afb. 6).



Afb. 6 Liniegreppel in deelgebied 6 in het opgravingsvlak van een van de proefsleuven. De greppel tekent zich vooral door de brokkelige vulling af.

De liniegreppels hebben allemaal min of meer dezelfde breedte, diepte en vorm. De breedte varieert van 2.8 tot 3.4 m en de diepte varieert van 1.5 tot 1.7 m (11,00-11,90 m NAP).

De greppels hebben een vrij steile insteek met een binnenhoek variërend van 50° tot 65° en een vlakke bodem. Ook de opbouw en de samenstelling van de vulling vertonen grote overeenkomsten. De greppels kennen twee of drie vullingslagen (afb. 7). De onderste vulling bestaat meestal uit een zandig pakket, waarin horizontale, humeuze banden aanwezig zijn. De bovenste vulling bestaat over het algemeen uit zandige klei, vermengd met kleibrokken.

De opbouw van de vulling en de samenstelling van de verschillende lagen van de greppels zeggen ook iets over het gebruik van het systeem en post-depositionele processen. Het systeem is in



minimaal twee fasen opgevuld. In de onderste dunne vulling zijn veel humeuze banden aangetroffen die min of meer parallel aan de insteek in de vulling liggen. Dit verschijnsel wijst erop dat de greppels langzaam zijn dichtgeslibd met materiaal dat van de aanwezige wallen is afgespoeld, bijvoorbeeld door betreding door mens en dier en bij hevige regenbuien. Dit proces heeft zich enkele malen herhaald, gezien de verschillende humeuze banden. De bovenste dikke vulling is duidelijk anders van samenstelling (afb. 7). De aanwezigheid van verspitte kleibrokken suggereert het doelbewust dichtstorten van de sporen in een korte periode. De greppels bevatten geen dateerbaar vondstmateriaal. In de andere deelgebieden zijn lagen aangeboord die kunnen worden toegeschreven aan sporen van de linie, vooral greppels. Deze hebben een opvallende vulling met brokken klei. In delen van de deelgebieden 2 en 4 is tevens een veldkartering met metaaldetectie uitgevoerd. Deze leverden geen aanwijzingen voor elementen van de linie of gevechtshandelingen op. Het overgrote deel van de vondsten moet als stadsvuil voor bemesting van de akkers worden geïnterpreteerd. In deelgebied 4 zijn al in 2001/2002 proefsleuven gegraven. Hierbij is een deel van de dubbele liniegracht aangetoond. De opbouw hiervan komt overeen met die in deelgebied 6.

#### Wat zijn belangrijke leermomenten?

- De toepassing van multispectrale luchtfoto's binnen de archeologie staat nog in de kinderschoenen. Het jaargetijde waarin de opnamen worden gemaakt, lijkt van grote invloed te zijn op de uitkomsten. De keuze voor het jaargetijde is afhankelijk van verschillende factoren, waarvan bodemsoort en -vochtigheid, grondgebruik en begroeiing en de te verwachten archeologische resten enkele voorbeelden zijn. Meer onderzoek is nodig;
- Bij uitvoering van een dergelijk non-destructief verkennend onderzoek moet een veldtoets in de vorm van boringen en proefsleuven, eventueel met een weerstandonderzoek als tussenfase, zijn gegarandeerd. Alleen op deze wijze kan worden getoetst wat er op de multispectrale luchtfoto's te zien is.



Afb. 7 Gedeelte van de liniegreppel in het profiel in deelgebied 6 met specifieke vorm en laagopbouw.

## 8.2 Casestudy Siegerswoude-Middenwei

### Thermisch infrarood remote sensing van een laatmiddeleeuwse nederzetting

Auteurs: J. Waagen (UvA) en M. van der Heiden (RCE)

#### Administratieve gegevens

Provincie: Friesland

Gemeente: Opsterland

Plaats: Siegerswoude

Toponiem: Middenwei

Centrumcoördinaten: 213.784,5/568.631,2

ARCHIS-onderzoekmelding: 4735433100

Grondgebruik: grasland

#### Literatuur:

Doesburg, J. van & M. van der Heiden (red.), in voorbereiding: Onderzoek naar de bruikbaarheid van geofysische prospectie in het kader van de precisielandbouw voor de archeologie op basis van onderzoek naar een laatmiddeleeuwse nederzetting in het Voorwerkersveld in Siegerswoude (prov. Friesland), Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg).

#### Overige bronnen:

Kaart van het Opsterland uit Schotanus-Halma atlas uit 1718

Actueel Hoogtebestand Nederland, versie 3

#### Landschappelijke ligging

Landschap volgens Archeologische Landschappenkaart

Hoofdlandschap: keileemgebied

Landschapszone: keileemvlakte

#### Geraadpleegde beelden

Dronebeelden, thermisch infrarood

Opnamejaar: 2019

Opnameseizoen: eind van de zomer (15 september)

Type opname: thermisch infrarood (8-15 µm)

Korte toelichting: thermisch infrarood remote sensing is een relatief nieuwe techniek in het spectrum van archeologische prospectiemethoden. Het gebruik van een thermische camera onder een drone in plaats van een vliegtuig of een satelliet verkleint de afstand en daarmee atmosferische verzwakking (attenuatie) van de emissie van thermische energie door objecten op en onder het aardoppervlak. Het thermografisch onderzoek door middel van een drone te Siegerswoude is onderdeel van een systematisch onderzoek naar gunstige omstandigheden voor het herkennen en in kaart brengen van archeologische sporen, uitgevoerd door ACASA (UvA), in dit geval in samenwerking met de RCE. Afbeelding 1 toont een opname van 1.30 uur 's nachts, bestaande uit een fotogrammetrisch gecreëerde orthofoto van de

thermische straling, opgebouwd uit 92 gecalibreerde thermogrammen. De foto's zijn genomen op 100 m hoogte. Aangemerkt zijn de meest in het oog springende sporen (A t/m E) waaraan een archeologische interpretatie wordt gegeven.

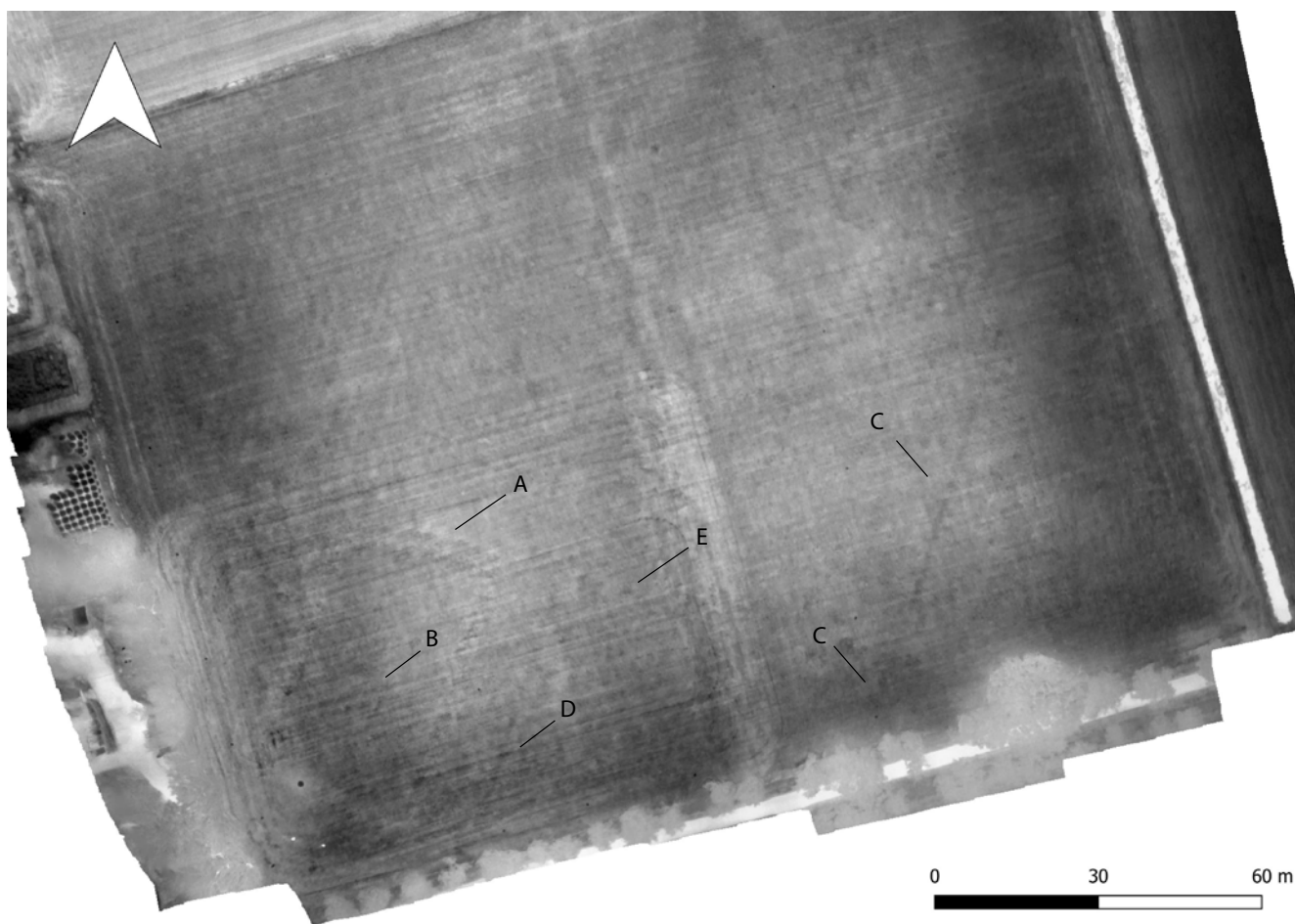
#### Wat zien we?

Het meest in het oog springende spoor is de rechthoekige greppel in het westelijke terrein (A) (afb. 1). Deze greppel is ook te zien op de luchtfoto en op de AHN<sub>3</sub> gegevens, maar heeft dus ook een duidelijk thermisch signatuur (warmer dan de directe omgeving). De noordelijke greppel laat een dubbele lijn zien, die licht waarneembaar is op de orthofoto en niet op het AHN<sub>3</sub>. In het centrum van het omgreppelde terrein bevindt zich een donker (kouder dan de directe omgeving) afgerond rechthoekig spoor (B) in dezelfde oriëntatie als de greppel. De exacte interpretatie van dit spoor is onduidelijk, maar het zou een ondiepe greppel kunnen zijn. Het signatuur is vergelijkbaar met andere sporen, met name de lijnen die zich vanuit het zuidwesten naar het noordoosten uitstrekken (C), en de greppel van het oostelijke perceel (D). De greppel van het oostelijke perceel lijkt de hoek om te gaan en door te lopen in een greppel (E) met een vergelijkbaar signatuur als de noordelijke dubbele greppel van het westelijke perceel, die traceerbaar is op het AHN<sub>3</sub>. Het duidelijkst is een spoor dat niet waarneembaar is op de orthofoto maar wel op het AHN<sub>3</sub>, zoals aangegeven is in afbeelding 1 (C). In het thermische beeld is ook te zien dat het spoor doorloopt in het zuidelijke deel van het veld, daar waar het op het AHN<sub>3</sub> niet meer zichtbaar is. Dat zou kunnen betekenen dat de strakkere donkere sporen kleine greppels zijn.

In de dagen voorafgaand aan de thermische opnames heeft het vrijwel elke dag geregend. De temperatuurverschillen tussen dag en nacht waren groot, ca. 21 °C overdag tot ca. 6 °C 's nachts, met bewolking en af en toe directe zon. Dat betekent dat de zandige toplaag van de lokale bodem vochtig is geweest, en overdag geleidelijk is opgewarmd. De donkere sporen houden waarschijnlijk meer vocht vast en veranderen minder snel van temperatuur. Ze blijven kouder. Boven de greppels daarentegen groeit minder vegetatie en daar wordt juist minder vocht vastgehouden, waardoor deze overdag sneller opwarmen en 's nachts sneller afkoelen. Dit effect valt af te leiden uit de opnames die om 6.00 's ochtends zijn gemaakt.

#### Wat is de archeologische interpretatie?

De thermische opnames laten twee grote rechthoekige terreinen zien met dezelfde oriëntatie en afmetingen. Het westelijke terrein tekent zich zeer duidelijk af, terwijl het oostelijke terrein veel minder zichtbaar is. De terreinen zijn 1200 m<sup>2</sup> groot en zijn geïnterpreteerd als erven, begrensd met een greppel. De greppel rondom het westelijke terrein is veel breder uitgegraven. Mogelijk duidt dit op een verschil in functie tussen beide erven.



Afb. 1 Op de thermische beelden zijn verschillende verkleuringen (A t/m E) te zien.

De terreinen liggen ten oosten van een voorwerk van het Benedictinessenklooster uit Smalle Ee en vermoedelijk is deze grond ook in eigendom geweest van het klooster. Op de kaart van het Opsterland uit de Schotanus-Halma-atlas uit 1718 staan op deze locatie zes 'oude huys steeden'. Het feit dat ze in de vroege achttiende eeuw nog genoemd worden, doet vermoeden dat zij niet al te lange tijd verlaten zijn op dat moment.

#### Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?

Het westelijke terrein is door middel van proefsleuven onderzocht (afb. 2). Het terrein is niet direct een erf te noemen vanwege het ontbreken van een boerderij. Al is het mogelijk dat deze op een wijze is geconstrueerd die weinig tot geen sporen achterlaat (bijv. op stiepen). Op basis van het archeologische onderzoek in combinatie met een bureauonderzoek wordt het geheel geïnterpreteerd als een aanzet tot ontginning van het omliggende veengebied. Vermoedelijk werd dit vanuit het klooster geïnitieerd waarbij eerst meerdere percelen zijn uitgezet met smalle greppels. Delen hiervan waren te zien op de thermische opnames (A, D, E). Op het westelijke perceel wordt de initiële smalle greppel vergroot en men legt een vier meter brede gracht aan. De gracht heeft deels een functie gehad in de ontwatering van het veengebied, maar ook heeft men hiermee leem gewonnen. De brede gracht is tot anderhalve meter onder het huidige maaiveld gegraven, dwars door een compact leempakket (afb. 3). De leem die hiermee gedolven is, is gebruikt om het terrein op te hogen. Ten noordoosten van het omgrachte terrein waren ontwateringgreppels

gegraven die ook op de thermische opnames zichtbaar waren (C). De centrale depressie blijkt een verdieping te zijn waarbij het zand is afgegraven tot men op de harde leem kwam. Hierna is in de verdieping een waterput aangelegd, geflankeerd door enkele palen. Van de afgeronde rechthoek (B) die op de infrarood beelden te zien is rondom deze centrale depressie is geen spoor teruggevonden. De vermoedelijke oorzaak hiervan moet gezocht worden in een geringe diepte van het spoor in combinatie met de onregelmatige diepe ploegvoren.

Op basis van aardewerkvondsten wordt deze ontginning in de dertiende eeuw gesitueerd. Succesvol is de ontginning waarschijnlijk niet geweest, er is slechts een handvol scherven aangetroffen. Ook lijkt het oostelijke perceel nooit in gebruik te zijn genomen.

#### Wat zijn belangrijke leermomenten?

In het kader van het experimentele karakter van het drone thermografisch onderzoek is de casestudy Siegerswoude zeer nuttig geweest. Thermografie is goed in staat om sporen te traceren, ook waar deze niet zichtbaar zijn op de orthofoto en op het AHN3. Keerzijde is wel dat het mogelijk meest interessante spoor (B) geen archeologisch waarneembaar profiel heeft, waardoor de interpretatie en de exacte diepte onduidelijk blijft. Zoals bekend zijn variabelen als bodemsamenstelling, de aard van de archeologische sporen, tijdstip van opname en vochtigheid belangrijke factoren in thermische prospectie, en deze casestudy is daar een goed voorbeeld van.





Afb. 2 Ook in de proefsleuven bleken de grote en brede sporen die op de remote sensing-beelden duidelijk zichtbaar waren, aanwezig te zijn als opgevulde greppels van ca. 4 m breed.



Afb. 3 De vulling van de greppels kent een vrij rommelige structuur van zand en dunne, venige lagen.

### 8.3 Casestudy Nordfriesland-Pellworm (D.)

#### Radaronderzoek van middeleeuwse nederzetting in Duitse Waddenzee

Bron: Gade, Kohlus & Kost 2017

##### Administratieve gegevens

Land: Duitsland

Deelstaat: Sleeswijk-Holstein

Kreis: Nordfriesland

Amt: Amt Pellworm

Plaats: Pellworm

Kaartblad 1:25.000: niet van toepassing

Centrumcoördinaten: Latitude 54.58580 N, Longitude 8.77640 E (decimale graden)

ARCHIS-onderzoekmelding: niet van toepassing

Grondgebruik: waddengebied

##### Literatuur:

Gade, M., J. Kohlus, & C. Kost 2017: SAR Imaging of Archaeological Sites on Intertidal Flats in the German Wadden Sea, *Geosciences* 7, 105, 1-14. [doi:10.3390/geosciences7040105](https://doi.org/10.3390/geosciences7040105)

##### Landschappelijke ligging

De archeologische resten komen voor op intergetijdenplaten in de Duitse Waddenzee. Het gebied waar deze intergetijdenplaten tegenwoordig liggen, behoorde in de middeleeuwen tot het vasteland. Dit land overspoelde tijdens grote stormvloed in de veertiende en zeventiende eeuw.

##### Geraadpleegde beelden

Voor het onderzoek door Gade, Kohlus & Kost (2017) zijn 19 hoge resolutie Synthetic Aperture Radar (SAR)-beelden geraadpleegd. Hierbij gaat het om TerraSAR-X/TanDEM-X/Radarsat-2 beelden met een pixelgrootte variërend van 1 x 1 m tot 0,22 m x 0,22 m. De SAR-beelden zijn gemaakt tussen 2012 en 2017, tijdens of nabij laagtij.

##### Wat zien we?

Op de beelden zijn verschillende antropogene fenomenen te zien (afb. 1 en 2). Het gaat hierbij om rechte lijnen die op een afstand tussen 10 en 20 m naast elkaar voorkomen en tientallen meters lang zijn. Deze lijnen hebben een breedte van 0,1 tot 0,3 m.

##### Wat is de archeologische interpretatie?

De rechte lijnen worden geïnterpreteerd als (de randen van) greppels. De greppelranden zijn verstevigd door plantenwortels, ander plantmateriaal en schelpen en daarom harder en compacter dan het waddensediment. Door deze compactheid zijn deze structuren zichtbaar op de radarbeelden. De lineaire structuren worden geïnterpreteerd als huisplattegronden en de ronde anomalieën als kuilen en waterputten die samen deel uitmaakten van nederzettingen. De archeologische resten stammen uit de middeleeuwen, van voor de stormvloed, uit de periode dat het gebied nog geen deel uitmaakte van het Duitse Waddenzee maar van het vasteland.

##### Wel of geen validatie, en zo ja, wat heeft dit opgeleverd?

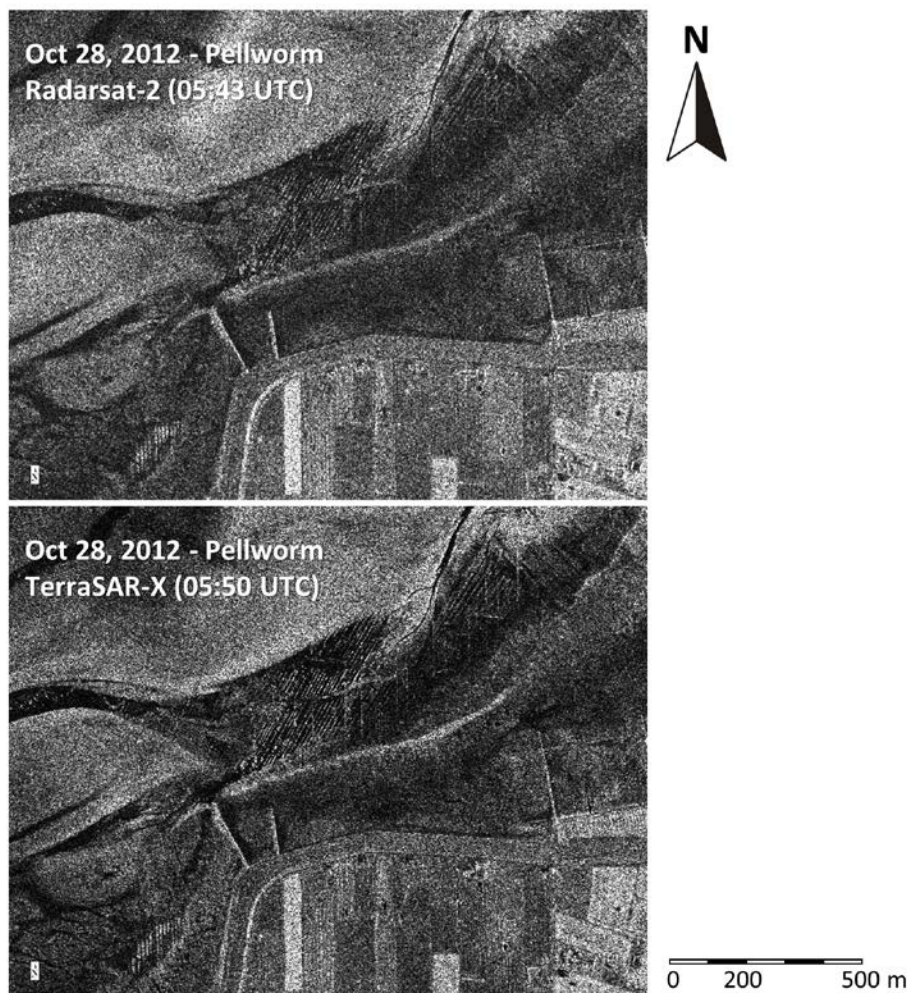
Greppels: een deel van de greppels is tijdens laagtij bezocht (afb. 3 en 4).

Nederzettingen: de nederzettingen zijn niet via veldonderzoek gevalideerd. Er is wel een luchtfoto beschikbaar van het gebied waarop duidelijk de huisplattegronden zichtbaar zijn (afb. 5).

##### Wat zijn belangrijke leermomenten?

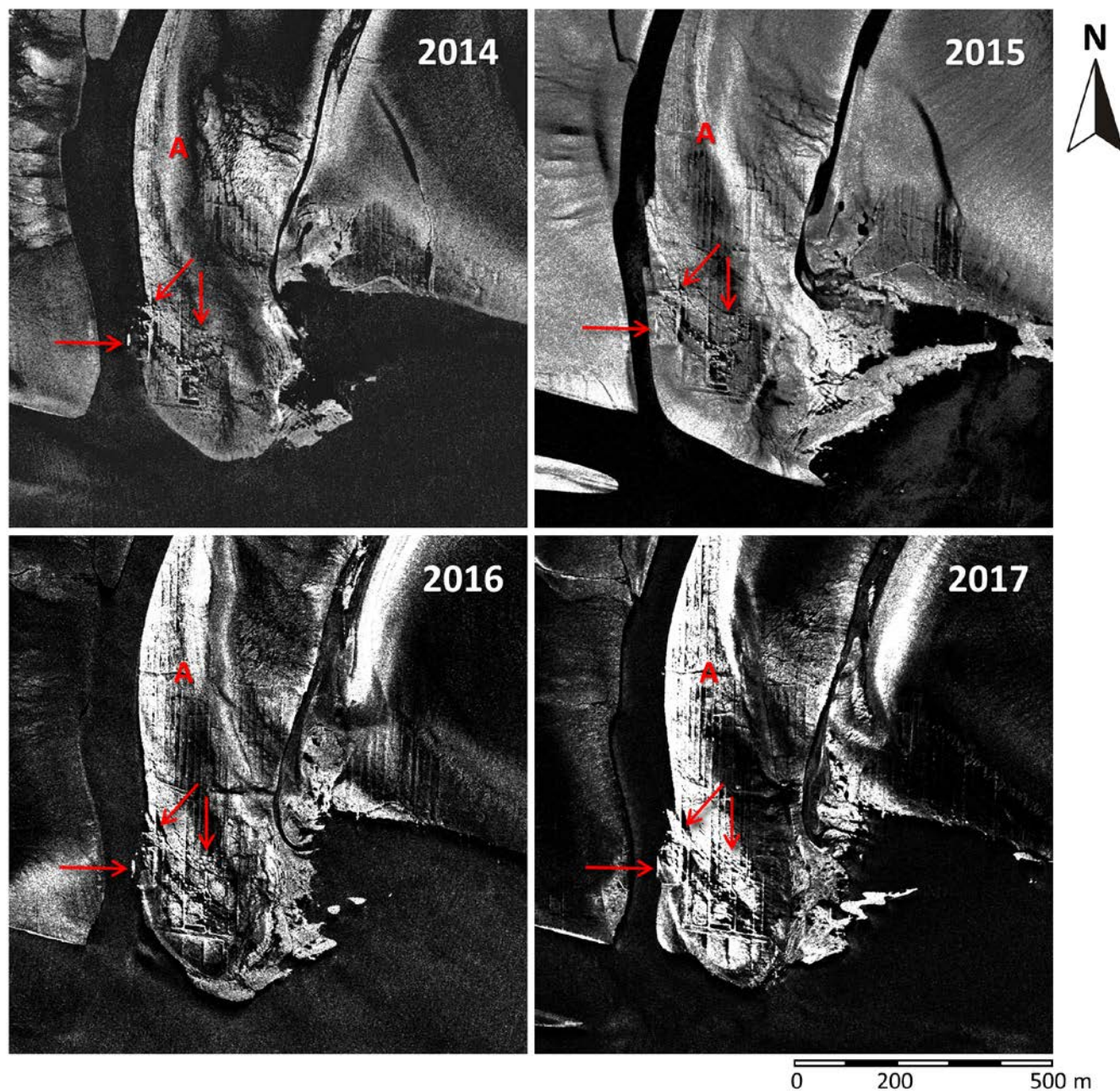
- Dat er SAR-beelden (tegen betaling) beschikbaar zijn in hoge resolutie, namelijk met een pixelgrootte van 1 m x 1 m tot 0,22 m x 0,22 m;
- De zeer goede bruikbaarheid van radarbeelden voor het opsporen van archeologische resten in een landschappelijke context die ook in Nederland veelvuldig voorkomt, namelijk verdrinken landschappen en intergetijdenplaten.





Afb. 1 De TerraSAR-X beelden van 28 oktober 2012 van het gebied waarop de grootschalige, lineaire structuren zichtbaar zijn (bron: Gade, Kohlus & Kost 2017, 6). Ook zijn op de beelden lineaire structuren waargenomen, en waren ronde anomalieën zichtbaar.





Afb. 2 Deze vier beelden, genomen tussen 2014 en 2017, laten een gebied van 1 x 1 km zien in de Duitse Waddenzee. De beelden zijn verkregen met een TerraSAR-X/TanDEM-X Staring/Spotlight-modus. De rode pijlen wijzen naar zichtbare middeleeuwse huisplattegronden (bron: Gade, Kohlus & Kost 2017, 8).





Afb. 3 en 4 Foto's die zijn genomen tijdens laagtij in juni 2017. Duidelijk zichtbaar zijn de randen van de greppels met plantenwortels, ander plantmateriaal en schelpen (bron: Gade, Kohlus & Kost 2017, 10).





Afb. 5 De luchtfoto met de lineaire en ronde grondsporen die duidelijk afsteken tegen het bruingrijze waddensediment (bron: Gade, Kohlus & Kost 2017, 7).



## **Deel III – Verdiepende informatie voor fijnproevers**

## 9 Remote sensing: wat zijn de achterliggende principes en technieken?

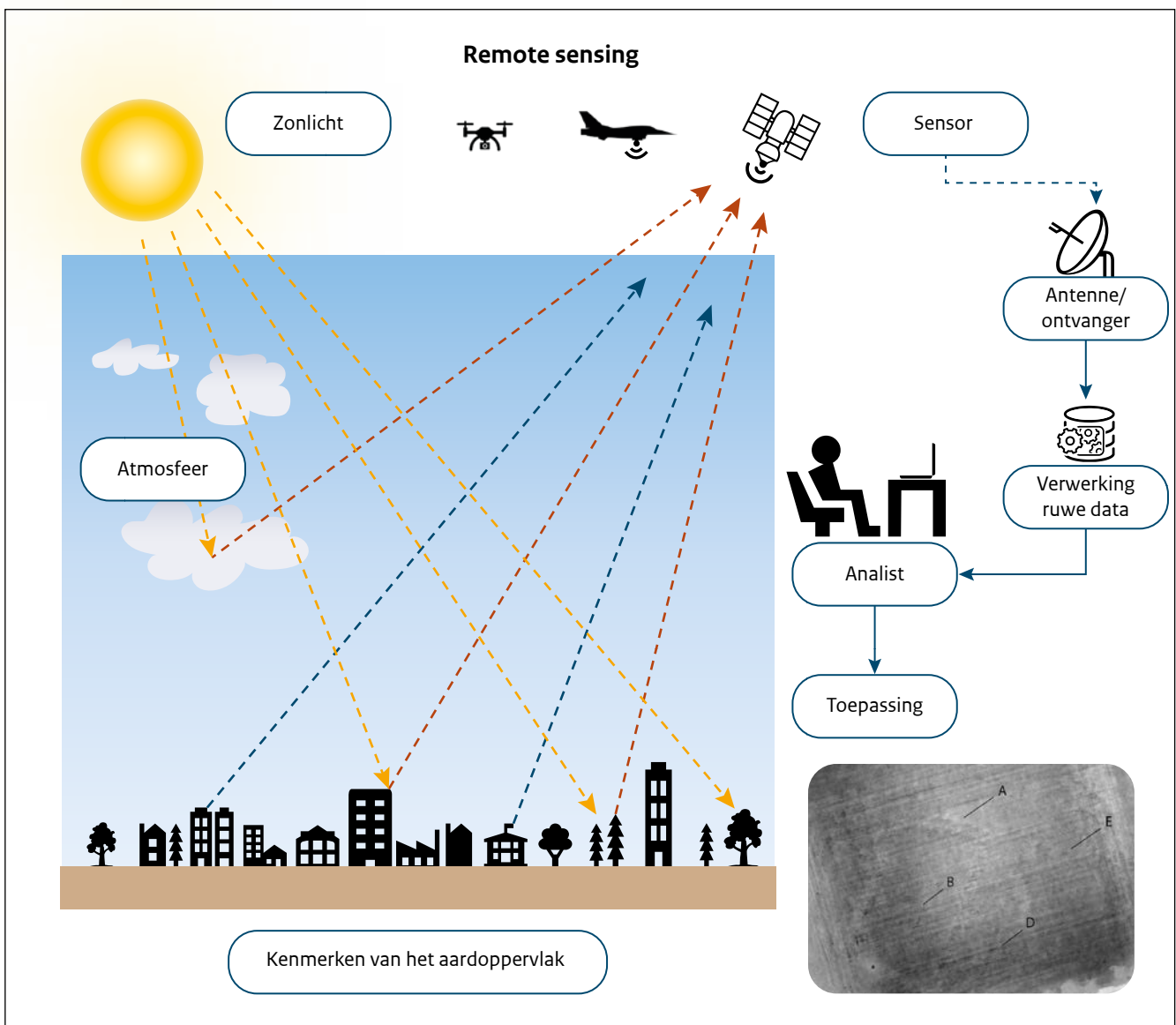
### 9.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bespreekt het achterliggende principe en technieken van remote sensing. We beginnen met een korte introductie over het principe van remote sensing en lichten het onderscheid tussen opnamen (beelden) in het zichtbare en het niet-zichtbare deel van het spectrum toe. Er zijn verschillende technieken van remote sensing en belangrijke daarvan voor archeologische prospectie, waaronder analoge luchtfotografie, digitale luchtfotografie en infrarood, worden in dit hoofdstuk besproken. Ook wordt het principe van laseraltimetrie (LiDAR) kort besproken.

### 9.2 Wat zijn de achterliggende principes?

Remote sensing, ofwel 'op afstand waarnemen', richt zich op het verzamelen van gegevens over het aardoppervlak (zowel land als water) en processen die zich daarop afspelen.<sup>65</sup> Door middel van analyse van deze gegevens kan informatie worden ontleend, niet alleen over het aardoppervlak zelf, of de bedekking van dit oppervlak, maar ook over de aard en toestand van de processen en de fase waarin zij zich bevinden. Deze informatie wordt

<sup>65</sup> Zie bijvoorbeeld Curran 1985.



Afb. 9.1 Schematische weergave van het principe (de werking) van remote sensing. Een bron (zoals de zon) straalt elektromagnetische straling uit. Deze straling gaat door de atmosfeer waar straling wordt geabsorbeerd. De mate van absorptie is golflengte-afhankelijk. Als de elektromagnetische straling het object (bijvoorbeeld het aardoppervlak) raakt, dan kan deze straling worden doorgelaten, geabsorbeerd of gereflecteerd. Dit is afhankelijk van de eigenschappen van het materiaal van het object. De gereflecteerde elektromagnetische straling kunnen we meten als een golflengte. Dit wordt ook wel spectrale reflectie genoemd.

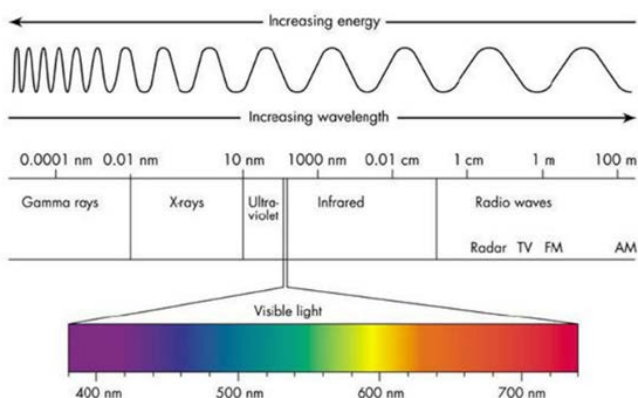


**Tabel 9.1 Spectrale banden, golflengtes en eigenschappen (bronnen: NASA en Sueur 2006, 16: tabel 1, met aanvullingen).**

Spectrale band	Golflengte	Eigenschap
Rood, groen en blauw (RGB) (zichtbaar)	0,4-0,7 $\mu\text{m}$	Natuurgetrouw beeld van de werkelijkheid. Blauw: informatie over bodem en vegetatietypen, gebouwen, wegen, kust en water. Groen: begrenzing tussen vegetatie en wegen of gebouwen. Rood: sterke absorptie door planten, weerkaatsing bij objecten als wegen en gebouwen.
Laser	0,4-0,7 $\mu\text{m}$	Nauwkeurige afstandsmeting en hoogtemeting.
Nabij infrarood	0,7-1,1 $\mu\text{m}$	Reflectie in het nabije infrarood is zeer hoog voor vegetatie, hoger dan in het zichtbare groen. Metingen in het infrarode gebied geven inzicht in de (afwijking van de) bodemstructuur, biomassa, vegetatiestress en typen van vegetatie. Grote mate van absorptie bij water, geeft goed contrast nat-droog. Stresssituaties, zoals droogte, ziekte maar ook afwijkingen in de bodemstructuur ten gevolge van archeologische relictten veroorzaken een verandering van de gemiddelde biomassa en dus van de reflectie van infrarood.
Midden infrarood	1,1-2,5 $\mu\text{m}$	De principes zijn gelijk aan die voor het nabije infrarood. De combinatie van metingen in nabij infrarood en midden infrarood verhoogt de kwaliteit van de biomassabepaling. De hoeveelheid bodemvocht kan echter beter worden bepaald dan met nabij infrarood. Onderscheidt ook verschillende gesteentesoorten.
Thermisch infrarood	3,0-5,0 $\mu\text{m}$ 8,0-14,0 $\mu\text{m}$	Verschillen in warmte-emissie van vegetatie en bodem is te relateren aan verschillen in bodemsamenstelling (al dan niet antropogeen), archeologische materialen in de bodem, materialen aan de oppervlakte, topografische verschillen, en vegetatiestress.
Microwave (radar)	1 mm-1 m	Ongevoelig voor weersinvloeden; dag en nacht inzetbaar; gevoeligheid voor vochtverschillen in de bodem; gevoeligheid voor textuurverschillen in bodem en vegetatie; kan door vegetatie heen de bodem waarnemen. Reageert in zeer droge gebieden sterk op water (absorbeert radargolven) en gesteenten in ondergrond. Ook menselijke structuren in dergelijke bodems kunnen zichtbaar worden gemaakt.

afgeleid uit de wijze waarop door het aardoppervlak en objecten aan het aardoppervlak elektromagnetische (EM-) straling wordt gereflecteerd en/of wordt uitgezonden. De EM-straling is daarmee de drager van de informatie.

De EM-straling die gebruikt wordt bij passieve remote sensing-toepassingen is over het algemeen afkomstig van de zon (afb. 9.1). Alle objecten op of dicht onder het aardoppervlak reflecteren, absorberen of laten EM-straling in verschillende golflengtes door, waarvan de intensiteit per golflengte kan worden vastgelegd in een opname. De eigenschappen van de EM-straling die voor remote sensing het meest van belang zijn, zijn de golflengte ('kleur') en de amplitude ('signaalsterkte' of 'intensiteit'). De gemeten hoeveelheid straling, golflengte en amplitude



Afb. 9.2 Een overzicht van golflengtes in het zichtbare spectrum en het niet-zichtbare spectrum.

verschafft informatie over de materie-eigenschappen van het waargenomen object en de toestand waarin het zich bevindt. Voor elk object is deze combinatie van golflengte en reflectiecoëfficiënt uniek.<sup>66</sup> Dit wordt de spectrale signatuur van een object genoemd. Binnen bepaalde intervallen van het spectrum wordt de EM-straling geheel geabsorbeerd door de atmosfeer en kan dus ook niet weerkaatst worden door de aarde. Deze golflengtes zijn daarom niet vast te leggen. Niet alleen kan teruggekaatste straling worden gemeten: een deel van de EM-straling wordt door water en land geabsorbeerd en komt, voor een deel, in een later stadium weer vrij in de vorm van warmte (thermisch infrarood). Het licht dat door de mens met het oog en zonder verdere bewerking kan worden waargenomen, bestaat uit EM-straling met een golflengte tussen 0,4 en 0,7 micrometer ( $\mu\text{m}$ ).<sup>67</sup> Buiten deze zichtbare range is EM-straling aanwezig met golflengtes olopend van minder dan 0,000.000.1 m (0,1  $\mu\text{m}$ ) tot meer dan 100 m (onder andere gammagolven, röntgen, UV, nabij infrarood, midden infrarood, thermisch infrarood, microgolf en radiogolf, afb. 9.2).<sup>68</sup> Met behulp van speciale sensoren kunnen deze voor het menselijk oog niet waarneembare golflengtes worden vastgelegd. Hiermee wordt het 'zichtveld' van de mens met een factor miljoen verbreed.

Een overzicht van verschillende golflengtes met een globale beschrijving van de remote sensing-toepassing is opgenomen als tabel 9.1. De golflengtes zijn gebundeld in bereiken met min of

<sup>66</sup> Reflectiecoëfficiënt is de mate waarin licht reflecteert/teruggekaatst wordt. Deze mate heeft invloed op de intensiteit van straling die wordt gemeten.

<sup>67</sup> De tekst van deze paragraaf is grotendeels overgenomen uit Sueur 2006, 14-16.

<sup>68</sup> Een micrometer ( $=\mu\text{m}$ ) is gelijk aan 10<sup>-6</sup> m oftewel 0,000.001 meter, een miljoenste deel van een meter.

meer dezelfde fysieke karakteristieken: dit worden spectrale banden genoemd. De bandbreedte wordt bepaald door het verschil tussen de hoogste en laagste golflengte binnen de band. Voor de begrenzing van de verschillende kleurenbanden bestaat geen eenduidige gebruiksdefinitie.

### 9.3 Wat zijn de technieken?

#### 9.3.1 Analoge luchtfotografie

Bij analoge ('klassieke') fototoestellen wordt de beeldinformatie, die als licht de lens passeert, opgeslagen op een lichtgevoelige film. Deze film moet eerst worden ontwikkeld (chemisch bewerkt), waarna de foto's via een nieuwe stap, weer met een chemisch proces, kunnen worden afgedrukt.<sup>69</sup>

#### 9.3.2 Digitale luchtfotografie

Digitale camera's gebruiken geen lichtgevoelige film. Het aftasten van het beeld gebeurt door een lichtgevoelige elektronische sensorchip. Het bewaren van de foto's gebeurt niet op de sensor, maar in het geheugen van de camera, waarna de afbeelding kan worden opgeslagen op een geheugenkaart of een andere gegevensdrager. Daarna kunnen de foto's afgedrukt worden.<sup>70</sup>

#### 9.3.3 Infrared imaging

Infrarood (infra red) imaging is een passieve techniek. Infrarood bestaat uit EM-straling met een frequentie tussen 0,7 en 15  $\mu\text{m}$  en wordt meestal onderverdeeld in de volgende spectrale banden: Nabij infrarood (NIR, 0,7-1,0  $\mu\text{m}$ ), midden infrarood (MIR, 1,0-3  $\mu\text{m}$ ) en thermisch infrarood (TIR, 3-15  $\mu\text{m}$ ). Infrarood-sensoren registreren de verschillen in warmtestraling (reflectie en emissie) op een perceel. Deze verschillen zijn bijvoorbeeld het resultaat van verschillen in vochtgehalte of vegetatiegroei. De verschillen kunnen duiden op de aanwezigheid van archeologische resten en structuren (afb. 9.3).<sup>71</sup> Infraroodbeelden kunnen daarom interessant zijn voor archeologische doeleinden, vooral thermisch infrarood lijkt daarbij veelbelovend.<sup>72</sup>

#### 9.3.4 Radar (RADAR Detection And Ranging)

Radar is een actieve techniek, dat wil zeggen dat het zelf energie uitzendt (en weer ontvangt) in plaats van alleen energie te ontvangen, zoals bij infrared imaging. Hierdoor kunnen ook 's nachts metingen worden gedaan. Een antenne zendt radar-pulsen (korte pulsen van elektromagnetische energie) zijwaarts en dezelfde antenne ontvangt de retourpulsen van het terrein. Vergelijk de verzonden en teruggekaatste lijnen in afb. 9.4.

De reflectie of terugverstrooiing (*backscatter*) door de verschillende objecten (sterker of zwakker) produceert een afbeelding met verschillende grijstinten.<sup>73</sup> *Synthetic aperture radar* (SAR) is een radartechniek die golflengtes meet op de microwave schaal (1 mm tot 1 m).<sup>74</sup> De atmosferische absorptie van deze straling is laag, waardoor bijvoorbeeld wolken de metingen niet in de weg staan. Met de metingen kan een digitaal hoogtemodel gecreëerd worden. Een meer nauwkeurige techniek is die van *Interferometric synthetic aperture radar* (InSAR), waarbij met behulp van minstens twee radaropnamen een digitaal hoogtemodel wordt gemaakt. In principe kunnen hiermee millimeter nauwkeurige hoogteverschillen in kaart worden gebracht. Een probleem van deze techniek is echter de grote onnauwkeurigheid in locatiebepaling. Om dit te verbeteren worden de gegevens ook wel gekoppeld aan nauwkeurige hoogtemetingen (in Nederland bijvoorbeeld aan het AHN).<sup>75</sup> Radar wordt in Nederland onder andere gebruikt voor deformatiemetingen van gebieden, voornamelijk verzakkingen en bodemdaling.<sup>76</sup> Met radar kunnen met sediment of dichte begroeiing afgedekte (natuurlijke of antropogene) fenomenen zichtbaar worden gemaakt.<sup>77</sup>

#### 9.3.5 Multispectral en hyperspectral imaging

Spectrale gegevens zijn gegevens van opnames vanuit satellieten, vliegtuigen en drones die meerdere spectrale banden tegelijkertijd vastleggen. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen multi- en hyperspectrale opnames.<sup>78</sup> Het gaat om passieve technieken die uitgaan van hetzelfde principe, namelijk gelijktijdige opnames van meerdere spectrale banden. Het verschil tussen de technieken is de breedte van de banden en het aantal (zie afb. 9.5). Bij multispectrale opnames worden 3 tot 15 banden tegelijkertijd vastgelegd. De banden hebben een relatief vrij groot bereik (0,1-0,3 micrometer) en bestaan vaak uit rood, groen, blauw en bijna-infrarood. Hyperspectrale opnames leggen wel honderden tot duizenden verschillende spectrale banden vast. Deze banden hebben een veel kleiner bereik (0,01 tot 0,02 micrometer). De zeggingskracht is hierdoor veel groter dan bij multispectrale opnames. Buiten Nederland heeft multispectraal imaging (NIR) zich al meermaals bewezen als waardevolle toepassing van archeologisch onderzoek.

#### 9.3.6 LiDAR (Laser Imaging Detection And Ranging)

LiDAR (Laser Imaging Detection And Ranging) – of LIDAR (Light Detection And Ranging) – is een techniek die de afstand tot een object of oppervlak bepaalt door middel van het gebruik van

69 [https://nl.wikipedia.org/wiki/Digitale\\_fotografie](https://nl.wikipedia.org/wiki/Digitale_fotografie).

70 [https://nl.wikipedia.org/wiki/Digitale\\_fotografie](https://nl.wikipedia.org/wiki/Digitale_fotografie).

71 Sueur 2006, 76.

72 Mondelinge mededeling prof. dr. S. de Jong UU, op 22-1-2020. De archeologische toepassing van thermisch infrarood was het onderwerp van de online presentatie 'Drone thermography for archaeological applications' door J. Waagen op *Joint Chapter Meeting of CAA Netherlands/Flanders and CAA Germany*, 3-12-2020.

73 De Jong, Addink & Heuff 2015, 37.

74 Chen, Lasaponara & Masini 2017.

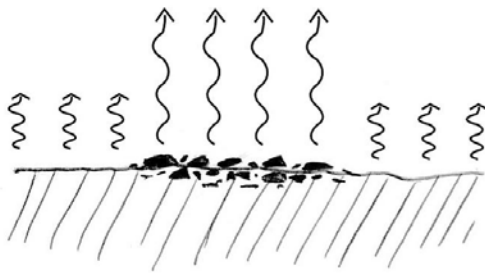
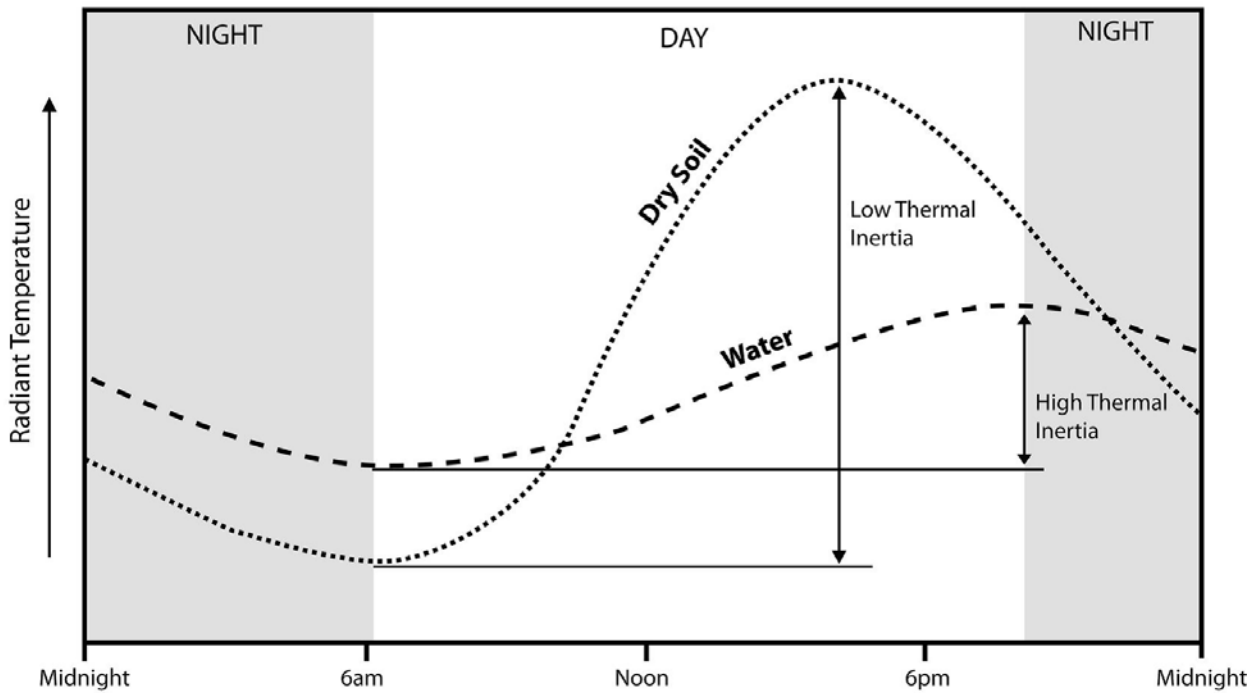
75 Van Natijne 2018.

76 Onder andere Muntendam-Bos et al. 2009; McCormack, Thomas & Solomon 2011; Swart 2013.

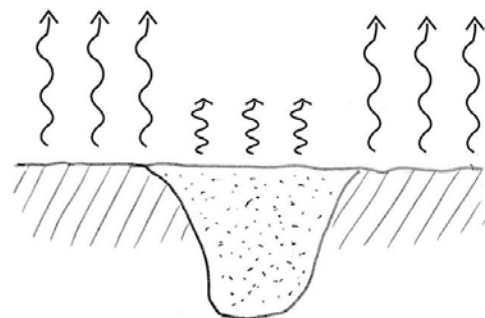
77 Parcak 2009, 73. 'The penetrating capacity of radar enables it to obtain information on subsurface features when low soil density and low soil moisture conditions permit' (citaat uit: De Jong, Addink & Heuff 2015, 37).

78 Sueur 2006, Verhoeven 2018.

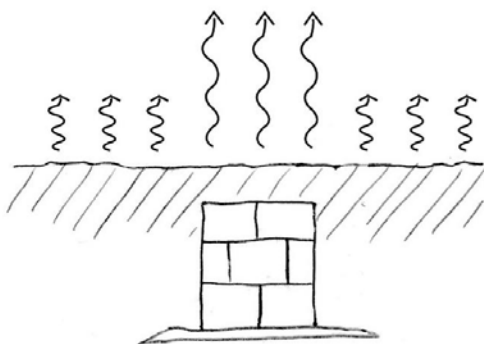




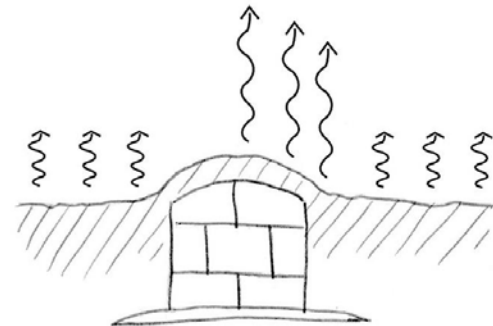
a. Concentrations of artifacts



b. Pits, ditches, and earthworks

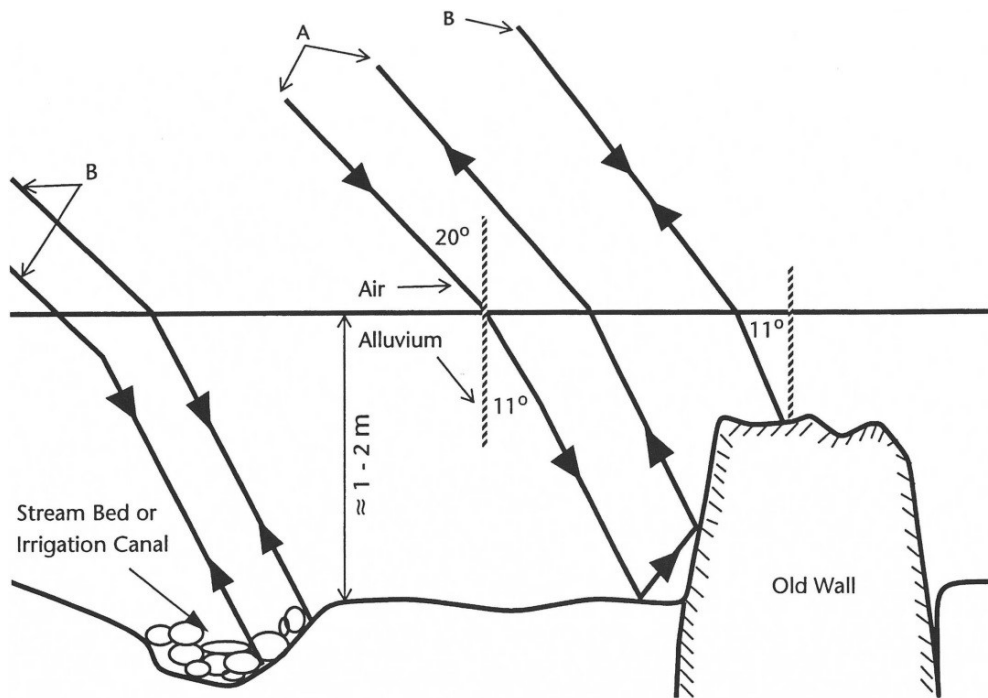


c. Subsurface architecture

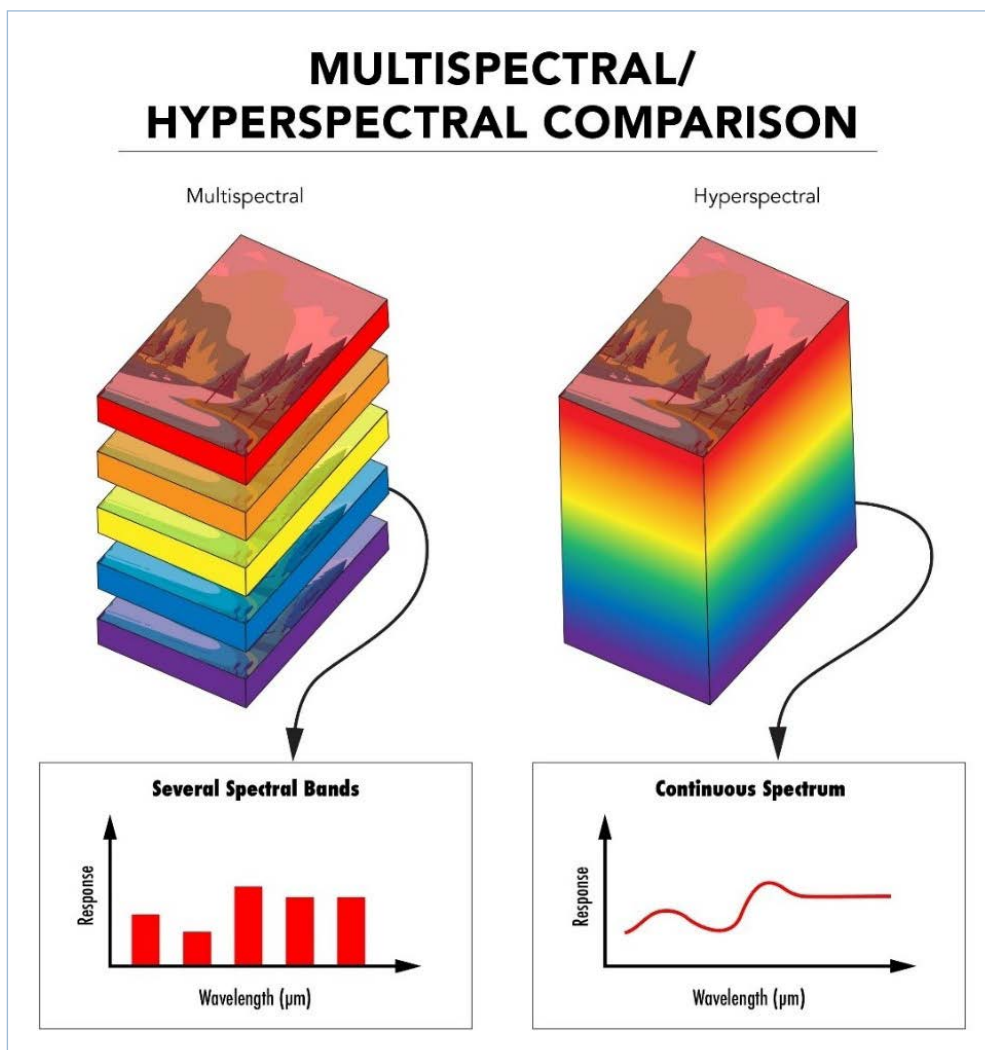


d. Subtle topographic features

Afb. 9.3 De werking van infraroodsensoren voor het opsporen van archeologische resten en structuren (bron: Casana et al. 2017, 312). Het onderste deel van de afbeelding laat archeologische fenomenen zien en de verschillen van de Radiant Temperature tussen de natuurlijke ondergrond en deze fenomenen (waardoor ze dus zichtbaar worden op de beelden).



Afb. 9.4 De werking van radar voor het opsporen van archeologische en natuurlijke structuren (bron: Holcomb & Shingiray 2007, 32).



Afb. 9.5 Het verschil tussen multispectrale en hyperspectrale opnamen (bron: <https://www.edmundoptics.eu/knowledge-center/application-notes/imaging/hyperspectral-and-multispectral-imaging/>).

laserpulsen.<sup>79</sup> Deze techniek staat ook bekend als laseraltimetrie. LiDAR werkt volgens hetzelfde principe als radar: vanuit een vliegtuig of helikopter wordt een signaal (laserstraal) uitgezonden die het aardoppervlak aftast. Enige tijd later wordt dit signaal door reflectie weer opgevangen. De afstand tot het object of oppervlak wordt bepaald door de tijd te meten die verstrijkt tussen het uitzenden van een puls en het opvangen van een reflectie van die puls. Het is een actieve techniek. De meting van de looptijd van de laserreflectie en van de stand en positie van het vliegtuig geven samen een heel nauwkeurig resultaat. Het verschil tussen LiDAR en radar is dat LiDAR gebruik maakt van laserlicht terwijl radar gebruikmaakt van radiogolven.<sup>80</sup> Verschillen in natuurlijk reliëf zijn samen met objecten of elementen die het resultaat zijn van menselijk handelen (zoals bebouwing, dijken en groeves) op LiDAR-gegevens zichtbaar als hoogteverschillen (in Nederland ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil) van het aardoppervlak. Er worden wereldwijd dagelijks enorme hoeveelheden LiDAR-gegevens verzameld. Alleen de in Nederland verzamelde gegevens zijn voor dit rapport relevant. Dit bestand wordt het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) genoemd.<sup>81</sup>

### Eigen bewerking gegevens

GIS-programma's, zoals QGIS of ArcMap, bevatten tools waarmee de AHN-gegevens buiten de AHN-viewer om op andere wijze kunnen worden bewerkt en gevisualiseerd. Hiermee is het mogelijk om specifieke archeologische fenomenen te visualiseren die met de AHN-viewer moeilijk of niet zichtbaar zijn. Zoals we paragraaf 4.4.2

al vermelden, is het moeilijk om kleine archeologisch fenomenen op te sporen met name in gebieden met een grote natuurlijke reliëfverschillen. Naast de tools van de verschillende GIS-programma's is er enkele jaren geleden voor het uitvoeren van de beschreven visualisaties een *Relief Visualization Toolbox* (RVT) ontwikkeld. Hiermee kunnen eenvoudig LiDAR-data van het AHN worden gevisualiseerd.<sup>82</sup> In aanvulling op het *local relief* model (zie paragraaf 4.4.2) volgen hieronder drie andere methoden van visualisatie. Op het moment van schrijven van dit rapport (voorjaar 2021) werden deze methoden nog niet aangeboden in de AHN-viewer van ArcGIS-online.

### Sky view factor

De problematiek van de *hillshade*-visualisatie met de richting van lichtval – waardoor complextypen met een bepaalde oriëntatie niet zichtbaar worden – kunnen worden ondervangen met de *sky view factor* (SVF) methode. Deze visualisatie geeft weer hoeveel van de lucht (in een halve bol) vanaf een bepaald punt zichtbaar is en kent hier een getal tussen 0 en 1 aan toe. Waarden dicht bij 1 zijn plaatsen waar het aandeel lucht dat zichtbaar is, hoog is, zoals vlaktes, steilranden en pieken. Waarden dicht bij 0 zijn plaatsen waar het aandeel zichtbare lucht laag is, zoals diepe kuilen en valleien. De uitkomst van *sky view factor* is afhankelijk van de gebruikte zoekradius, waarbij met name een kleine zoekradius (10 m) geschikt is voor archeologische prospectie. Deze techniek werkt goed in landschappen met een sterk reliëf. Bij toepassing in vlakke terreinen worden met name negatieve fenomenen, zoals putten, dolines, greppels en grachten, zichtbaar.

79 Voor een Engelstalige publicatie over dit onderwerp, zie Holden 2001.

80 bron: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>

81 bron: <https://www.ahn.nl/ahn-making>

82 Kokalj & Hesse 2017; (<http://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt>).

**Tabel 9.2 Geschiktheid van de visualisatietechnieken in relatie tot landschappelijk reliëf.**

Reliëf	Shaded relief elevation	Sky view factor radius	Local relief model radius	Local dominance radius	Openness radius
Vlak terrein	<10°	-	ca. 20 m	10-20 m	10 m
Licht geaccidentieerd	ca. 30°	ca. 10 m	ca. 20 m	10-20 m	10 m
Steile hellingen	ca. 45°	ca. 10 m	ca. 20 m	10-20 m	10 m

**Tabel 9.3 Geschiktheid van visualisaties voor verschillende archeologische verschijnselen.**

Archeologische resten	Shaded relief	Slope	Local relief model	Sky view factor	Openness	Local dominance
Kuilen, schachten, bomkraters	-	-	++	++	++	++
Wallen, raatakkers, dijken	-	0	+	+	+	++
Grafheuvels	+	0	++	0	+	++
Holle wegen, loopgraven	±	+	+	++	++	++
Rabatten, landweren, kadetakkers	-	++	++	++	++	++

- = niet geschikt, 0 = onduidelijk, + = geschikt, ++ = zeer geschikt (naar: Kokalj & Hesse 2017).



**Openness**

De visualisaties *openness* zijn beter leesbaar dan *sky view factor* in een reliëfrijke landschap. Deze visualisatie is vergelijkbaar met *sky view factor*, echter gebruikt *openness* een gehele bol in plaats van een halve bol gebruikt. Er bestaat positieve en negatieve *openness*, waarbij de positieve *openness* de hoge delen grenzend aan laagtes zichtbaar maakt (bijv. de uitgeworpen grond naast een kuil of greppel of de knik in de steilrand) en de negatieve *openness* de laagtes (bijv. de kuil, greppel of holle weg) zelf. Deze visualisatie is doorgaans moeilijk te interpreteren omdat een doorgaande helling hetzelfde wordt afgebeeld als een vlakke. Het voor- en nadeel is dat hierdoor een vlakker beeld wordt gegenereerd, waarmee onderliggend landschap minder prominent aanwezig is.

**Local dominance**

De visualisatie *local dominance* is met name geschikt voor het zichtbaar maken van kleine hoogteverschillen in een vlak landschap. Deze visualisatie geeft de 'dominantie' (de helling van de hoek waarin de een denkbeeldige observator met een bepaalde lengte neerkijkt op het omliggende landschap) van elk punt in het hoogtemodel. De zoekradius kan worden aangepast, afhankelijk van de terrein omstandigheden: van laag bij vlak terrein tot hoog bij reliëfrijke of steil terrein.

In tabellen 9.2 en 9.3 wordt een indicatie gegeven van de bruikbaarheid van de in bovenstaande tekst beschreven visualisaties, e.e.a. afhankelijk van het landschappelijke reliëf en de aard van de verwachte archeologische resten.

## 9.4 Met welke instrumenten worden remote sensing-data ingewonnen?

**Sensoren**

Voor het meten van EM-straling wordt gebruik gemaakt van sensoren. Sensoren zijn mechanismen voor het opmeten van deze energie en kunnen opgedeeld worden in twee groepen: passieve en actieve sensoren. De meeste sensoren werken volgens het passieve principe, waarbij de reflectie of emissie van (natuurlijke) stralingsbronnen, meestal de zon, aan het oppervlak wordt gemeten (passieve sensor). Het meest voorkomende voorbeeld is de fotocamera.<sup>83</sup> Twee specifieke sensoren, radar en LiDAR (laser), treden zelf op als stralingsbron. Zij zenden zelf een elektromagnetische stralingsbundel naar het aardoppervlak en meten de mate van reflectie aan het aardoppervlak om vervolgens daaruit een beeld te construeren. Deze sensoren worden actieve sensoren genoemd.

**Meetstations**

De sensoren kunnen aan verschillende type meetstations worden bevestigd. Het inwinnen van foto's en beelden van het aardoppervlak vindt plaats met behulp van (zweef)vliegtuigen, helikopters, luchtballonnen en drones. Dit wordt *aerial of airborne* remote sensing genoemd. Daarnaast worden foto's en beelden ingewonnen vanuit satellieten, in dat geval wordt gesproken van *spacial of spaceborne* remote sensing.

**Satellieten**

Satellieten gebruikt in remote sensing toepassingen, worden observatiesatellieten genoemd. Iedere satelliet heeft zijn eigen baan om de aarde, bezoekfrequentie en resolutie. Er zijn publieke en commerciële satellieten in de lucht. Satellieten spelen in toenemende mate een rol bij het opnemen van beelden van het aardoppervlak. Inmiddels zijn er talrijke satellieten die wereldwijd dagelijks enorme hoeveelheden remote sensing data verzamelen. Tabel 9.4 toont een (incomplete) overzicht van sensoren die meten in het zichtbare deel en in het niet-zichtbare deel van het spectrum. De meeste sensoren zijn multispectraal (RGB en NIR) en hiervan zijn alleen die met een ruimtelijke resolutie van hooguit enkele meters opgenomen. Sensoren die volledig gericht zijn op (thermisch) infrarood en radar komen veel minder voor. Deze zijn zoveel mogelijk opgenomen in tabel 9.4. Voorbeelden van satellieten waarvan beeldmateriaal online via het internet worden aangeboden, zijn Superview en TripletSat.

Samengesteld met behulp van Hadjimitsis *et al.* (2013, 62), Sueur (2006), Parcak (2009, 42), Orlando & Villa (2011, 151) en US Army Corps of Engineers (2003, appendix D). Sensoren die meten in het zichtbare spectrum RGB (Rood Groen Blauw). Sensoren die meten in het onzichtbare spectrum zijn NIR (Near Infrared), MID-IR (Mid Infrared), TIR (Thermal Infrared) en SW-IR (Short wave infrared).

**Vliegtuigen, helikopters en luchtballonnen**

Sensoren worden van oudsher aan vliegtuigen of luchtballonnen bevestigd met het oog op het inwinnen van luchtfoto's. In Nederland worden vanuit vliegtuigen minimaal twee keer per jaar landsdekkende luchtfoto's gemaakt, één met een grondresolutie van 25 cm en één met een grondresolutie van 10 cm of hoger. De resolutie van luchtfoto's uit vliegtuigen in Nederland is daarmee 25 cm of hoger. Luchtfoto's met een kleinere resolutie dan 3 cm worden in de praktijk niet gemaakt. Verticale luchtfoto's die grotere gebieden maar ook heel Nederland beslaan, worden in stereo ingewonnen. Hiermee wordt bedoeld dat een (losse) luchtfoto met veel overlap met een andere (losse) luchtfoto is genomen (stereofoto's). Dankzij deze werkwijze staat elk punt van Nederland op minimaal twee verschillende, elkaar overlappende foto's of beelden. Ook het inwinnen van hoogtegegevens van het aardoppervlak door middel van laseraltimetrie (LiDAR) vindt plaats vanuit vliegtuigen. Helikopters worden eveneens voor dit doeleinde gebruikt.

83 Een ander voorbeeld van een passieve sensor is een multispectrale camera.

Tabel 9.4 Incompleet overzicht van sensoren die meten in het zichtbare en niet-zichtbare deel van het spectrum.

Sensor	Platform	RGB	NIR	MID-IR	TIR	SW-IR	Radar	Ruimtelijke resolutie (m)
ACE-FTS	satelliet		x	X	x	x		1
ALOS	satelliet	x	x					2,5-10
ASTER	satelliet		x		x	x		15-90
ATM	vliegtuig	x	x					0,3
ERS1-2	satelliet				x	x	X	30
EROS	satelliet	x	x					1,8
FORMOSAT-2	satelliet	x	x					0,7
IKONOS	satelliet	x	x					1-3,2
Landsat 8	satelliet	x		X	x			15-120
Leica ADS40	vliegtuig	x	x					0,05
MODIS	satelliet	x	x	X	x			250-1000
Pleiades-1	satelliet	x	x					0,5-2
PRISM	satelliet						X	2,5
Quickbird	satelliet	x	X					0,6-2,4
PHARUS	vliegtuig						X	4
RADARSAT	satelliet						X	10-100
SENTINEL	satelliet	x	x			x	X	10-60
SMAP	satelliet						X	35.000-50.000
SPOT	satelliet	x	x	x		x		0,8-20
Vexcel UltraCAM	vliegtuig	x	x					0,018
Worldview	satelliet	x	x					0,5-1,8
XS	satelliet	x				x		20
Z/i imaging DMC	vliegtuig	x	x					0,04
Zenit	satelliet							1,5-2

### Drones

Een drone (of een *Unmanned Aerial Vehicle*, UAV) is een onbemand luchtvaartuig.<sup>84</sup> Drones worden op afstand bestuurd door een piloot, en die vliegt handmatig of in *flight modes*, en er zijn apps waarmee bepaalde routes of grids kunnen worden gedefinieerd waar naartoe wordt gevlogen. Door een drone uit te rusten met één of meer sensoren, bijv. een camera of een thermische sensor, kunnen gedetailleerde metingen worden uitgevoerd. De sensoren zijn verbonden met een computer die de data wegschrijft op een geheugenkaart of doorstuurt via wifi/3G/4G naar een grondstation. De meetgegevens kunnen direct draadloos worden ingelezen voor interpretatie of nadat de sensoren op de grond zijn uitgelezen. Voor het verkrijgen van hoogwaardig beeldmateriaal

van specifieke locaties wordt steeds meer gebruik gemaakt van drones. Alle apparatuur die de lucht in gaat is afhankelijk van stroom en dat is dan ook de grootste beperking van dit type meetstation.<sup>85</sup> Batterijen moeten voldoende capaciteit hebben om alles werkend te houden, maar niet te groot waardoor het totale gewicht van de drone te sterk toeneemt. Een ander nadeel is dat je de beschikking over een drone inclusief ‘grondpiloot’ moet hebben. Voordelen zijn dat drones bijna altijd kunnen vliegen (m.u.v. sterke wind, zware mist en hevige neerslag) en een hoge dataresolutie kunnen halen.

84 De term die in Nederland wettelijk wordt gebruikt voor een drone is RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) of RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*).

85 Er zijn ook RPAS's met andere aandrijvingen dan stroom, maar gebruik ervan is grotendeels beperkt voor militaire doeleinden door het leger. Een andere gebruiker is het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum.

# Literatuur

- Ampe, C., J. Bourgeois, L. Fockedeij, R. Langohr, M. Meganck & J. Semey** 1995: *Cirkels in het Land; een inventaris van cirkelvormige structuren in de provincies Oost- en West-Vlaanderen* Volume 1, Gent.
- Arnoldussen, S.**, 2018: The fields that outlived the Celts. The use-histories of Dutch later prehistoric field systems (Celtic Fields or raatakkers) in the Netherlands, *Proceedings of the Prehistoric Society* 84, 303-327. <https://doi.org/10.1017/ppr.2018.5>
- Arnoldussen, S.**, 2020: Briefrapport Celtic field Nederweert Gebleektendijk, *Grondsporen* 59, Groningen.
- Bewley, R.H.**, 1993: Development of Remote Sensing, in: J. Hunter & I. Ralston (eds), *Archaeological resource management in the UK. An introduction*, Sutton, 197-204.
- Boer, A. de & W. Laan** 2005: *Op zoek naar cultuurhistorie in het Actueel Hoogtebestand Nederland. Hoogtemodellen van West-Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug onderzocht met patroonherkenning*, Amersfoort (ADC-rapport 447).
- Brok, M.F.A.**, 1954: De luchtfoto in dienst van de Archaeologie, *Hermeneus* 26-1, 1-5.
- Brongers, J.A.**, 1964: Photo-archaeology in Holland, *Colloque International d'Archéologie Aérienne*, (31 Août-3 Septembre 1963 Paris), Parijs, 141-142.
- Brongers, J.A.**, 1972: Vaassen een akkercomplex uit de IJzertijd, *Archeologische Monumenten in Nederland* 3, Bussum.
- Brongers, J.A.**, 1976: *Air photography and celtic field research in the Netherlands*, Amersfoort (Nederlandse Oudheden 6).
- Bourgeois, J., M. Meganck & J. Semey** 1998: *Cirkels in het Land; een inventaris van cirkelvormige structuren in de provincies Oost- en West-Vlaanderen* Volume 2, Gent.
- Bourgeois, J., M. Meganck, J. Semey & K. Verlaeckt** 1999: *Cirkels in het Land; een inventaris van cirkelvormige structuren in de provincies Oost- en West-Vlaanderen* Volume 3, Gent.
- Casana, J., A. Wiewel, A. Cool & A.C. Hill** 2017: Archaeological thermography in theory and practice, *Advances in Archaeological practice* 5-4, 310-327. <https://doi.org/10.1017/aap.2017.23>
- Chen, F., R. Lasaponara & N. Masini** 2017: An overview of satellite synthetic aperture radar remote sensing in archaeology. From site detection to monitoring, *Journal of Cultural Heritage* 23, 5-11. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.05.003>
- Crawford, O.G.S.**, 1921: *Man and his Past*, Oxford.
- Curran, P.J.**, 1985: *Principles of Remote Sensing*, London.
- Deforce, K., B. Groenewoudt & K. Haneca** 2021: 2500 years of charcoal production in the Low Countries. The chronology and typology of charcoal kilns and their relation with early iron production, *Quaternary International* 593-594, 295-305. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.020>
- Derks, G.J.M., J.B. Bootsma & R.J.A. Crols** 2006: *Cultuurhistorische gebiedsbeschrijving Oost Gelre. Een beeld van ontginningsporen tot wederopbouwarchitectuur*, Arnhem.
- Doesburg, J. van & A. Müller** 2011: *Zoeken naar een speld in een hooiberg? Gecombineerd geofysisch en archeologisch onderzoek naar de Staats-Spaanse linie rond Gennep*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 188).
- Doesburg, J. van & M. van der Heiden (red.), in voorbereiding:** *Onderzoek naar de bruikbaarheid van geofysische prospectie in het kader van de precisielandbouw voor de archeologie op basis van onderzoek naar een laat-middeleeuwse nederzetting in het Voorwerkersveld in Siegerswoude (prov. Friesland)*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg).
- Doneus, M., G. Verhoeven, C. Atzberger, M. Wess & M. Ruš** 2014: New ways to extract archaeological information from hyperspectral pixels, *Journal of Archaeological Science* 52, 84-96. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.08.023>
- Edis, J., D. Macleod & R. Bewley** 1989: An archaeologist's guide to classification of cropmarks and soilmarks, *Antiquity* 63 (238), 112-126.
- Feiken, R.** 2021: *Matrix zichtbaarheid archeologische complextypen (landbodems). Verantwoordingsdocument (RCE-project Prospectie, intern rapport)*.
- Feiken, R. & M. van der Heiden** 2020: *Remote sensing, deelrapport 3: niet-zichtbaar spectrum* (RCE-project Prospectie, intern rapport).
- Fontijn, D.R., R. Jansen, L. Meurkens, A. Louwen & Q.P.J. Bourgeois** 2019: Forgotten barrows. Preliminary conclusions from the 2018 fieldwork at Baarlo-de Bong and Venlo-Zaarderheiken (NL), S. Arnoldussen, E.A.G. Ball, J. van Dijk, E. Norde & N. de Vries (eds), *Metaaltijden 6. Bijdragen in de studie van de metaaltijden*, Leiden, 123-131.



- Frijtag Drabbe, C.A.J. von**, 1947: De luchtfoto in dienst van de archeologie, in: H.E. van Gelder, P. Glazema, G.A. Bontekoe, H. Halbertsma & W. Glasbergen (red.), *Een kwart eeuw oudheidkundig bodemonderzoek in Nederland* (Gedenkboek A.E. van Giffen), Meppel, 491-496.
- Frijtag Drabbe, C.A.J. von**, 1948: Luchtfotografie en geschiedenis, *Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde* 64, 161-168.
- Gade, M., J. Kohlus & C. Kost** 2017: SAR Imaging of archaeological sites on intertidal flats in the German Wadden Sea, *Geosciences* 7, 105, 1-14. <https://doi.org/10.3390/geosciences7040105>
- Ghauharali, R.**, 2007: Luchtfotografie in het Inventariserend Veldonderzoek, *Archeobrief* 11-1, 17-20.
- Giffen, van, A.E.**, 1939: Het grafveld in de Laundermarke, Bouwstoffen voor de Groninger oer-geschiedenis II, *Verslag Museum van Oudheden Groningen*, 51-87.
- Hadjimitsis, D.G., A. Agapiou, K. Themistocleous, D.D. Alexakis & A. Sarris** 2013: Remote sensing for archaeological applications. Management, documentation and monitoring, in: D. Hadjimitsis (ed.), *Remote sensing of environment. Integrated approaches* (open access), 57-95. <https://doi.org/10.5772/39306>
- Halbertsma, H.**, 1948: Over de verhouding tussen de luchtfotografie en het oudheidkundig bodemonderzoek, *Tijdschrift voor het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, Tweede Reeks 65, 616-623.
- Hesse, R.**, 2010: LiDAR-derived local relief models. A new tool for archaeological prospection, *Archaeological Prospection* 17-2, 67-72. <https://doi.org/10.1002/arp.374>
- Holcomb, D.H. & I.L. Shingiray** 2007: Imaging SAR in archaeological investigations: an image processing perspective, in: J. Wisemann & F. El-Baz (eds) *Remote sensing in archaeology*, Berlin/Heidelberg, 11-45.
- Holden, N.**, 2001: Digital airborne remote sensing: the principles of LIDAR and Csi, *AARGNews* 22, 23-24.
- Janssen, M.**, 2012: Archeologie ontdekken met behulp van gratis toegankelijke remote images, *Westerheem* 61, 96-99.
- Jelsma, J. & W.B. Verschoof-van der Vaart (red.)** 2021: *Meten of vergeten. Een inhoudelijke evaluatie van de toepassing van geofysisch onderzoek tijdens archeologische prospectie van landbodems*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 266).
- Jong, S.M. de, E. Addink & F. Heuff** 2015: *Remote Sensing. A tool for environmental observations. Lecture notes Remote Sensing (GEO2-4208)*, Utrecht.
- Kattenberg, A., A. de Kraker, C. Soonius, P. Stassen, C. Sueur, P. Verhagen, B. Groenewoudt, E. Rensink, H. Peeters, H. Weerts, M. Vermeulen & H. Fokkens** 2008: Hoofdstuk 6, Archeologische Prospectie, *Nationale Onderzoeksagenda Archeologie, versie 1.0*, Amersfoort.
- Kokalj, Z. & R. Hesse** 2017: *Airborne laser scanning raster data. A guide to good practice*, Ljubljana.
- Koomen, A.J.M., H. Kramer, A.J. Griffioen & A. Oosterbaan** 2007: *Landschapsmonitoring. Onderzoek naar alternatieve methoden monitoring van opgaande beplanting, aardkunde en cultuurhistorie*, Werkdocument 60, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen.
- Kort, J.W. de & J. van Doesburg** 2020: *Remote sensing, deelrapport 1: LiDAR* (RCE-project Prospectie, intern rapport).
- Kraker, A.M.J. de, K.-J. Kerckhaert & A. Kattenberg** 2006: Prehistorische grafstructuren in de polders van Zeeuws Vlaanderen, *Archeobrief* 10, 30-34.
- Lambers, K., W.B. Verschoof-van der Vaart & Q.P.J. Bourgeois** 2019: Integrating remote sensing, machine learning, and citizen science in Dutch archaeological prospection, *Remote Sensing* 11-7, 794, 1-20. <https://doi.org/10.3390/rs11070794>
- Lillesand, T.M., R.W. Kiefer & J.W. Chipman** 2004: *Remote sensing and image interpretation* (fifth edition), New York.
- Londen, H. van, J. Waagen, I. Korver & M. Schelvis** 2019: Droogte maakt begraven landschap zichtbaar, *Het Nederlands Landschap* 39-1, 14-24.
- Luo, L. X. Wang, H. Guo, R. Lasaponara, X. Zong, N. Masini, G. Wang, P. Shi, H. Khatteli, F. Chen, S. Tariq, J. Shao, N. Bachagha, R. Yang & Y. Yao** 2019: Airborne and spaceborne remote sensing for archaeological and cultural heritage applications. A review of the century (1907-2017), *Remote Sensing of Environment* 232, 1-34. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111280>
- McCormack, H. Thomas, A. & I. Solomon** 2011: *The capabilities and limitations of satellite InSAR and terrestrial radar interferometry*, Hong Kong.

- Metz, W.H.**, 1999: The role of integrating aerial prospection into the preservation of ancient monuments in the Netherlands, *Revue archéologique de Picardie* 17, 253-259 (= Actes du colloque international d'archéologie aérienne Amiens, 15-18 Octobre 1992. Hommage à Roger Agache pour 35 ans de prospections aériennes dans le Nord de la France).
- Muntendam-Bos, A.G., R.F. Hanssen, K. van Thienen-Visser & S. Samiei-Esfahany** 2009: *PS-InSAR-analyse van de bodemdaling in Noordwest-Friesland*, Utrecht (TNO-rapport TNO-034-UT-2009-02318/A).
- Natijne, A.L. van**, 2018: *Locating PS-InSAR derived deformation using LIDAR point clouds*, Delft (master thesis Technische Universiteit Delft).
- Nijs, G. & H. Manschot-Tijdink** 1994: *Harreveld doorgrond. Historisch-archeologisch onderzoek naar 'eene olde haevesaete*, Doetinchem.
- Opdebeeck, J., M. Manders & R. de Hoop** 2020: 3D-modelleren in de Nederlandse maritieme archeologie, in: J. Bazelmans, E. Beukers, O. Brinkkemper, I.M.M. van der Jagt, E. Rensink, B.I. Smit & M. Walrecht (red.), *Tot op het bot onderzocht. Essays ter ere van archeozoöloog Roel Lauwerier*, Amersfoort (Nederlandse Archeologische Rapporten 70), 309-319.
- Orengo, H.A. & A. Garcia-Molsosa** 2019: A brave new world for archaeological survey. Automated machine learning-based potsherd detection using high-resolution drone imagery, *Journal of Archaeological Science* 112, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105013>
- Orlando, P. & B. Villa** 2011: Remote sensing applications in archaeology, *Archeologia e Calcolatori* 22, 147-168.
- Parcak, S.H.**, 2009: *Satellite remote sensing for archaeology*, Londen.
- Parcak, S.H.** 2017: GIS, remote sensing, and landscape archaeology, Oxford Handbooks online. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199935413.013.11>
- Rensink, E., J.W. de Kort, J. van Doesburg, L. Theunissen & J. Bouwmeester** 2016: *Digitaal informatiesysteem Prospectie op Maat. Werkwijze en verantwoording. Eindversie (juli 2016)*, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort.
- Rensink, E. & L. Theunissen** 2020: *Remote sensing, deelrapport 2: zichtbaar spectrum* (RCE-project Prospectie, intern rapport).
- Riley, D.N.**, 1979: Factors in the development of crop marks, *Aerial Archaeology* 4, 28-32.
- SIKB** 2018: *Kwaliteitsnorm Nederlandse Archeologie, versie 4.1*. Gouda.
- Stortleder, A.**, 2021: *Bewoningsgeschiedenissen van boerderijen in Harreveld*, z.p.
- Sueur, C.**, 2005: Het microreliëf van Nederland in beeld gebracht, *Archeobrief* 8-1, 8-13.
- Sueur, C.**, 2006: *Remote sensing voor archeologische prospectie en monitoring*, Amsterdam (RAAP-rapport 1261).
- Swart, L.M.Th.**, 2013: *Praktische toepassing van deformatiemeting met InSAR. Techniek, projecten, ontwikkelingen en aanbieders*, Dongen (Swartvast rapport 1203.03).
- Theunissen, E.M. & J.W. de Kort** 2014: *Prehistorische raatakkers op de Hoorneboegse Heide bij Hilversum. Verslag van een veldtoets*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 225).
- Theunissen, E.M., J.W. de Kort, E. Rensink, C.A.M. van Rooijen & L.B.M. Verhart** 2013: *Prehistorisch grafveld de Busjop bij Heythuysen weer zichtbaar*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 214).
- Theunissen, L., A. Müller & A.M.J. de Kraker** 2011: *Cirkels in het Zeeuwse land; waarderend archeologisch veldonderzoek aan de Drogendijk bij Kloosterzande (gemeente Hulst)*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 193).
- US Army Corps of Engineers**, 2003: *Remote Sensing, Engineer Manual No. 1110-2-2907*.
- Verhoeven, G.**, 2013: Drones: een nieuwe kijk op archeologische luchtfotografie, *Archeobrief* 17-3, 16-21.
- Verhoeven, G.**, 2018: Satellite hyperspectral and multispectral imaging, in: S.L. López Varela (ed.), *The encyclopedia of archaeological sciences*, New York, 1-4.
- Vliet, J. van der**, 2007: Archeologie uit de hoogte, *Archeobrief* 11-1, 5-8.
- Vries-Metz, W.H. de**, 1993: *Luchtfoto-archeologie in oostelijk West-Friesland. Mogelijkheden en resultaten van archeologische remote sensing in een verdwijnend prehistorisch cultuurlandschap*, Amsterdam (proefschrift Universiteit van Amsterdam).

**Vries-Metz, W.H. de,** 1994: *Archeologische monumenten in Noord-Holland: het observeren, controleren en beschermen van archeologische monumenten vanuit de lucht*, Amsterdam.

**Verschoof-van der Vaart, W.B. & K. Lambers** 2019: Learning to look at LiDAR. The use of R-CNN in the automated detection of archaeological objects in LiDAR data from the Netherlands, *Journal of Computer Applications in Archaeology* 2-1, 31-40 <https://doi.org/10.5334/jcaa.32>

**Waldus, W.B. & H.M. van der Velde (red.)** 2006: *Archeologie in vogelvucht. Toepassingsmogelijkheden van het AHN in de archeologie*, Amsterdam (Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 6).

**Willemse, N.** 2013: Speuren naar archeologie in digitale oppervlaktemodellen, *Archeobrief* 17-3, 7-15.

**Wit, G. de & A. Sloos** 2008: *De interpretatie van archeologische waarnemingen in Archis. Een concept voor een nieuwe set complextypen*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 165).

**Zijverden, W. K. van & W.N.H. Laan** 2005: *Landscape reconstructions and predictive modelling in archaeological research, using a LIDAR based DEM and digital boring databases* (Archäologie und computer 2004, workshop 9), Wenen.



## Colofon

Titel: Archeologische prospectie vanuit de lucht. Remote sensing in de Nederlandse archeologie (landbodems)

Programma: Kennis voor Archeologie (2019-2021)

Project Prospectie

Redactie: E. Rensink, L. Theunissen en H. Feiken

Auteurs: E. Rensink, L. Theunissen, H. Feiken, J. van Doesburg, M. van der Heiden, D. Jansen en J.W. de Kort

Met bijdragen van: J. Bourgeois, K. Deforce, N. de Jong-Lambregts, H. van Londen, E. Meylemans, B. Stichelbaut, B. Terlouw, G.J.J.J. Timmermans en J. Waagen

Goedgekeurd door autorisator: B. Groenewoudt, augustus 2021

Illustraties: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed en M. Haars (BCL-Archaeological Support), tenzij anders vermeld

Opmaak: Xerox/Osage Utrecht

© Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort, 2021

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Postbus 1600

3800 BP Amersfoort

The Netherlands

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