

Verkrijgen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's



# **Verkrijgen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's**

**B.J. van Bleek  
P.G. Lentjes**

**Rapport 228**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1992**

## REFERAAT

B.J. van Bleek en P.G. Lentjes, 1992. *Verkrijgen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 228 69 blz.; 9 fig.; 1 tab.; 12 ref.; 3 aanh.

Binnen LNV wordt door diverse instanties gebruik gemaakt van luchtfoto's. Luchtfoto's geven de werkelijkheid aan het aardoppervlak op een bepaald moment zeer volledig weer en zijn daarom geschikt voor oriëntatiedoelinden en kunnen een aanvulling vormen op de topografische kaarten. Ruimtelijke informatie uit luchtfoto's kan op verschillende wijzen worden omgezet in een digitaal (vector)bestand. De grootste problemen doen zich voor bij het verkrijgen van geometrische informatie. Deze problemen hebben betrekking op nauwkeurigheid, kosten, gebruiksgemak en computercapaciteit. Naar verwachting zal het inwinnen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's een grote vlucht nemen doordat er een digitaal topografisch basisbestand van Nederland komt, het aanbod van luchtfoto's groter wordt, computers steeds krachtiger worden en er misschien een digitale hoogtekaart komt.

Trefwoorden: topografie, geometrie, fotogrammetrie, scannen, GIS, vector, raster, karteren, landbouw, natuur

ISSN 0927-4499

©1992 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen  
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

Project 485

# INHOUD

	blz.
WOORD VOORAF	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	13
1.1 Doel	13
1.2 Historie	13
1.3 Projectorganisatie	14
1.4 Onderzoeksopzet oriëntatiefase	14
2 TECHNISCHE ASPECTEN	15
2.1 Kenmerken van opnamen	15
2.2 Geometrische aspecten	16
2.2.1 Afbeelding van vlak en horizontaal terrein	17
2.2.2 Afbeelding van niet-horizontaal terrein	18
2.3 Fotogrammetrie	19
2.3.1 Enkelbeeldkartering	20
2.3.2 Stereo-kartering of dubbelbeeldkartering	22
2.3.3 Aerotriangulatie en blokvereffening	23
2.4 Scannen	25
2.4.1 Begripsbepaling	25
2.4.2 Resolutie	26
2.4.3 Hoeveelheid data	26
2.5 Werken met gescande luchtfoto's	27
2.5.1 Vervaardigen van een digitaal terreinmodel (DTM)	28
2.5.2 Vervaardigen van een orthofoto	28
2.5.3 Visuele ondersteuning van andere digitale ruimtelijke informatie	29
2.5.4 Digitaliseren van vectorinformatie	30
2.5.5 Automatische beeldclassificatie	32
3 BELANGSTELLING EN GEBRUIKSERVARING BINNEN LNV	33
3.1 Activiteiten waarbij luchtfoto's gebruikt worden	33
3.1.1 Landinrichtingsdienst	33
3.1.2 Staatsbosbeheer	34
3.1.3 IKC-Natuur, Bos, Landschap en Fauna	34
3.1.4 DLO-Staring Centrum	34
3.1.5 DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek	36
3.2 Mogelijke toepassingen van luchtfoto's	36
3.2.1 Landinrichtingsdienst	36
3.2.2 Plantenziektenkundige Dienst	36
3.2.3 IKC-Natuur, Bos, Landschap en Fauna	37
3.2.4 DLO-Staring Centrum	37
3.2.5 DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek	38
3.3 Voor- en nadelen van gebruik van luchtfoto's	38
3.3.1 Landinrichtingsdienst	38
3.3.2 Staatsbosbeheer	39

3.3.3	Plantenziektenkundige Dienst	39
3.3.4	IKC-Natuur, Bos, Landschap en Fauna	39
3.3.5	Directie Openlucht Recreatie	40
3.3.6	DLO-Staring Centrum	40
3.4	Ervaringen met en mogelijke toepassingen van gescande luchtfoto's	40
3.4.1	Staatsbosbeheer	40
3.4.2	IKC-Natuur, Bos, Landschap en Fauna	41
3.4.3	DLO-Staring Centrum	41
3.4.4	DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek	41
3.5	Conclusies	42
4	GEBRUIKSERVARING BUITEN LNV	43
4.1	Inwinning van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's	43
4.1.1	Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat	43
4.1.2	Topografische Dienst Nederland	44
4.1.3	ITC	44
4.1.4	Eurosense	45
4.1.5	Centraal Bureau voor de Statistiek	45
4.1.6	KLM-Aerocarto	45
4.1.7	Hansa Luftbild	46
4.1.8	ROBAS	47
4.2	Kenmerken van opnamen	47
4.3	Scannen	48
4.4	Kosten van opname en bewerking	49
4.5	Conclusies	50
5	ANALYSE	51
6	AANBEVELINGEN	57
	LITERATUUR	59
	AANHANGSELS	
1	Lijst van afkortingen	61
2	Lijst van geïnterviewde personen en instanties	63
3	Concept projectvoorstel gescande luchtfoto's -fase 2-	65
	FIGUREN	
1	Fotografische afbeelding van een plat, horizontaal, vierkant terreinobject	17
2	Principe van optische ontschrinking	18
3	Verskil tussen orthogonale en centrale projectie	19
4	Verschillende mogelijkheden bij enkelbeeldkartering	21
5	Verschillende verplaatsing van twee punten in een stereomodel	23
6	Ligging van overdrachtpunten op naast- en onderliggende foto's	24
7	Scannen van een luchtfoto	25
8	Verschillende methoden om vanaf een gescande foto te digitaliseren	30
9	Verschillende methoden van inwinning van geometrische informatie	54
	TABELLEN	
1	Activiteiten binnen LNV waarbij routinematig luchtfoto's gebruikt worden	51

## WOORD VOORAF

Op aangeven van de Adviesgroep Ruimtelijke Informatievoorziening (ARI) van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij heeft DLO-Staring Centrum een project gestart om de gebruiksmogelijkheden van gescande luchtfoto's binnen het ministerie te onderzoeken. Het project betreft een eerste fase, die bestaat uit literatuuronderzoek en interviews binnen en buiten het ministerie. Dit rapport is het resultaat van de eerste fase. Het rapport mondt uit in een voorstel voor de tweede fase. In deze tweede fase zullen verschillende verwerkingsmethoden praktisch getest worden.

De ARI heeft een begeleidingsgroep ingesteld om de eerste fase te begeleiden. De begeleidingsgroep heeft de volgende samenstelling:

H.J. Gesink	-	directie Organisatie & Efficiency;
R. de Jonge	-	DLO-Staring Centrum;
Th.J. Linthorst	-	DLO-Staring Centrum;
G.J.A. Nieuwenhuis	-	DLO-Staring Centrum;
J.H. Loedeman	-	Landbouw Universiteit Wageningen;
A.C. la Rivière	-	Staatsbosbeheer;
P.A.M. van der Waal	-	Plantenziektenkundige Dienst.

De informatie van de personen die geïnterviewd zijn, is van wezenlijk belang voor dit rapport. We willen de geïnterviewden en de betrokken instellingen dan ook bedanken voor hun bijdragen aan dit rapport.





## SAMENVATTING

Het doel van dit onderzoek luidt: "Onderzoeken van de wijze waarop luchtfoto's kunnen bijdragen aan de behoefte aan digitale ruimtelijke informatie en de rol van scannen hierin. De methode van scannen wordt vergeleken met andere methoden om ruimtelijke informatie uit luchtfoto's te verkrijgen, waarbij ook het kostenaspect wordt meegenomen."

Het rapport bevat een beschrijving van de technische aspecten en een uitwerking van interviews die zowel binnen als buiten het ministerie LNV zijn gehouden. In een vervolgonderzoek zullen op basis van dit rapport enkele praktische testen worden uitgevoerd.

Fotogrammetrie is de methode om met behulp van één of meer fotografische opnamen van objecten, de afmeting en de ligging van deze objecten te bepalen (Ligterink, 1989). Fotogrammetrische bewerkingen zijn vaak complex, tijdrovend en dus duur. De ontwikkelingen op het gebied van geautomatiseerde fotogrammetrische bewerkingen zijn in volle gang. De kosten van fotografie en bewerking variëren en hangen af van gebiedsgrootte en aantal foto's. De kosten van bewerkingen bedragen vaak een veelvoud van de opnamekosten. Geometrische bewerkingen zijn noodzakelijk om geo-gereferende informatie uit een luchtfoto te kunnen halen. Thematische informatie kan door middel van visuele interpretatie uit een luchtfoto worden ingewonnen. Inwinnen van thematische informatie door middel van automatische classificatie levert nog te veel problemen op en kan daarom niet als een operationele mogelijkheid worden beschouwd.

Luchtfoto's kunnen voor verschillende doelen worden gebruikt, namelijk:

- oriëntatie in het veld (terrestische inwinning van gegevens);
- verkrijgen van geometrische informatie (ligging, vorm, grootte en topologie);
- verkrijgen van thematische informatie (objectidentificatie via foto-interpretatie);
- als achtergrondplaatje in een geografisch informatiesysteem (GIS).

De combinatie van geometrische en thematische informatie levert een object-georiënteerde beschrijving van het terrein (kartering).

Door het digitaliseren van informatie uit een luchtfoto kan een vectorbestand verkregen worden. Dit digitaliseren kan gebeuren door enkelbeeld- of door stereokartering. Bij stereokartering wordt direct een geometrisch correct vectorbestand gekregen. Wanneer gebruik wordt gemaakt van enkelbeeldkartering kan de geometrische correctie vooraf op de luchtfoto worden uitgevoerd, of achteraf op het vectorbestand. Voor nauwkeurige resultaten is een digitaal terreinmodel (DTM) vereist, hetgeen bij stereo-kartering niet nodig is. Er kan vanaf de digitaliseertafel of vanaf het beeldscherm worden gedigitaliseerd. Wanneer vanaf het beeldscherm wordt gedigitaliseerd moet de luchtfoto eerst worden gescand. Scannen is een techniek om een analoog beeld, zoals een kaart of een foto, om te zetten in een digitaal beeld, dat bestaat uit een raster waarin elke rastercel een bepaalde grijswaarde krijgt. Digitaliseren vanaf beeldscherm kan met een hogere nauwkeurigheid dan digitaliseren

vanaf de digitaliseertafel. De pixelgrootte van de gescande foto moet dan wel kleiner zijn dan 125 dpi (= 200 µm). Een gescande foto vereist, afhankelijk van de pixelgrootte (resolutie) waarmee is gescand, veel dataruimte. Hierbij wordt een afweging gemaakt tussen mate van detail in het beeld (pixelgrootte) en het digitale ruimtebeslag. Scannen kan het beste vanaf diapositief of -negatief gebeuren. Gescande luchtfoto's kunnen voor de volgende doeleinden worden gebruikt:

- vervaardigen en visualiseren van een digitaal terreinmodel (DTM);
- vervaardigen van een digitale orthofoto (fotografische afbeelding met de geometrische eigenschappen van een kaart);
- achtergrondplaatje voor visuele ondersteuning van andere digitale ruimtelijke informatie;
- digitaliseren van vectorinformatie (lijnenkaart).

De apparatuur waarmee gescand wordt varieert. De meeste bedrijven die scannen voor klanten zeggen afhankelijk van de vraag te kunnen scannen met verschillende resoluties, zowel zwart-wit als kleur. Er wordt steeds meer vanaf het beeldscherm gedigitaliseerd.

Voor geometrische correctie zijn de terreincoördinaten van paspunten (referentiepunten in de foto) nodig. Indien de topografische kaart gebruikt wordt voor het inwinnen van de paspuntcoördinaten, zal de correctie niet beter kunnen zijn dan circa 2 meter bij gebruik van de 1 : 10 000 serie en 5 meter bij de 1 : 25 000 serie. Voor nauwkeuriger geometrische correctie van luchtfoto's dienen de terreincoördinaten van paspunten dan ook door metingen in het terrein bepaald te worden. Door gebruik te maken van aerotriangulatie kan het aantal paspunten dat in het terrein gemeten wordt beperkt blijven.

Waar binnen het ministerie LNV gewerkt wordt met ruimtelijke gegevens, wordt of werd in mindere of meerdere mate gewerkt met luchtfoto's. Informatie uit luchtfoto's wordt voor de volgende doeleinden gebruikt:

1. verkrijgen van geometrische informatie ter aanvulling of actualisatie van topografische kaarten (perceelsgrenzen, lineaire beplantingen, enz.);
2. verkrijgen van thematische informatie (gewastype, gewastoeestand, enz.) en visuele interpretatie van het landschap;
3. als ondergrond voor veldinventarisatie;
4. voor tellingen en toestandsopnamen op bepaalde tijdstippen (monitoring);
5. ter oriëntatie in het veld;
6. om het veldwerk te plannen.

Bij verschillende bedrijven en instanties wordt (vaak sinds kort) gewerkt met gescande luchtfoto's, maar dit gebeurt nog op een beperkte schaal en voor slechts enkele toepassingen. Binnen LNV heeft alleen IBN-DLO ervaring opgedaan met scannen van luchtfoto's.

Er zijn verschillende bedrijven die in opdracht luchtfoto's maken en deze verder bewerken. Een grote afnemer van luchtfoto's is de Topografische Dienst (TDN), die zwart-wit foto's op schaal 1 : 18 000 van heel Nederland laat maken. Deze kunnen door derden worden gekocht. Ook ROBAS is bezig om landsdekkend foto's te laten maken. De foto's van ROBAS zullen echter met een hogere frequentie, op een grotere schaal (1 : 12 000) en in kleur worden gemaakt. Deze foto's zullen binnenkort op

de markt gebracht worden. Alleen Eurosense levert op grote schaal kleuren orthofoto's, met name van Vlaanderen. Voor Nederland zijn er echter weinig orthofoto's beschikbaar. De gebruikers zijn min of meer afhankelijk van het aanbod van luchtfoto's, omdat het laten uitvoeren van een fotovlucht te duur wordt gevonden. Ook wordt een orthofoto te duur gevonden. Wanneer binnen een instantie wordt overgestapt op een nieuwe manier van ruimtelijke informatie inwinning, dan zal dit financiële investeringen eisen. Voor een aantal instanties zal dit een te hoge drempel kunnen betekenen.

Verwacht wordt, dat het inwinnen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's een grote vlucht zal nemen. De volgende zaken hebben hier invloed op:

- er komt een digitaal topografisch basisbestand beschikbaar voor heel Nederland;
- er komen binnenkort regelmatig recente luchtfoto's beschikbaar;
- computers worden steeds krachtiger en de opslagcapaciteit wordt steeds groter;
- er zijn momenteel besprekingen gaande om de hoogtekartaar van Nederland te digitaliseren;
- er komt steeds meer en betere software beschikbaar.

Gebruik van luchtfoto's zal vaak leiden tot een nieuwe werkwijze, vooral als geometrische correctie uitgevoerd moet worden. Dit zal gevolgen hebben voor het personeel en de organisatie (bijvoorbeeld herscholing en omscholing). Ook zal er in apparatuur geïnvesteerd moeten worden. Wat betreft de kosten die hiermee gepaard gaan moet een afweging worden gemaakt tussen de initiële en operationele kosten van de nieuwe werkwijze en de kosten van de huidige werkwijze, waarbij ook de kwaliteit meegenomen moet worden.

In een vervolgonderzoek zal aan de volgende zaken aandacht besteed moeten worden;

- het gebruik van orthofoto's in combinatie met een digitaal topografische bestand, mede gezien de toekomstige ontwikkelingen op dit gebied;
- het vervaardigen van orthofoto's en vergelijking van methoden om ruimtelijke informatie uit luchtfoto's in te winnen, waarbij geometrische correctie wordt toegepast. Hierbij moet met name op kosten, nauwkeurigheid, benodigde computercapaciteit en gebruiksgemak gelet worden. Om inzicht te krijgen in de verschillen in nauwkeurigheid is het zinvol om gedeeltelijke en volledige (twee- en driedimensionale) geometrische correctie met elkaar te vergelijken;
- het verlies aan detail bij het verlagen van de resolutie van de foto (om het digitale ruimtebeslag te beperken). Ook de verschillende technieken voor datacompressie moeten nader bekeken worden;
- het verschil in gebruiksgemak tussen de methode waarbij alle objecten vanaf de foto gedigitaliseerd worden en de methode waarbij een gedeelte uit een bestaand vectorbestand gekopieerd wordt en de rest vanaf de foto gedigitaliseerd wordt;

In het verdere onderzoek kan het inventariseren van grondgebruik en lineaire beplantingen het beste gekozen worden als onderwerp in het verdere onderzoek, omdat deze informatie het best aansluit bij de behoefte binnen het ministerie van LNV.



# 1 INLEIDING

## 1.1 Doel

De oorspronkelijke doelstelling van het project gescande luchtfoto's zoals beschreven in het projectplan luidt: "Onderzoeken van de toepassingsmogelijkheden van gescande luchtfoto's voor LNV en het toetsen van alternatieve verwerkingsmethoden op hun praktische werkbaarheid. Het kostenaspect dient hierbij meegenomen te worden." Omdat al in een vroeg stadium van het onderzoek bleek dat scannen slechts één van de mogelijkheden is om op geautomatiseerde wijze informatie uit de luchtfoto te verkrijgen is de doelstelling enigszins aangepast en als volgt geformuleerd: "Onderzoeken van de wijze waarop binnen LNV luchtfoto's kunnen bijdragen aan de inwinning van benodigde digitale ruimtelijke informatie en de rol van scannen hierin. De methode van scannen wordt vergeleken met andere methoden om ruimtelijke informatie uit luchtfoto's te verkrijgen, waarbij ook het kostenaspect meegenomen wordt."

## 1.2 Historie

In 1991 heeft de SIA (de departementale Stuurgroep Informatievoorziening en Automatisering) de Adviesgroep Ruimtelijke Informatievoorziening (ARI) in het leven geroepen. De ARI kreeg onder andere tot taak initiatieven van directies voor het automatiseren van de ruimtelijke informatievoorziening te coördineren en fungeert als stuurgroep voor projecten die beogen algemene voorzieningen op dit terrein tot stand te brengen. De ARI is te zien als opvolger van de Kerngroep Vastgoed Informatie (KVI) die in 1990 een drietal vooronderzoeken verrichtte naar de noodzaak en mogelijkheden van algemene voorzieningen op het gebied van de ruimtelijk informatievoorziening. Deze drie vooronderzoeken hadden betrekking op:

- een catalogus van relevante gegevensbestanden over het landelijk gebied;
- een gemeenschappelijke digitale topografische kaart;
- een overzichtssysteem voor bestuurlijk-ruimtelijke informatie, in eerste instantie gericht op natuurbeleid.

Daarnaast werd door de KVI een globale plaatsbepaling uitgevoerd van de gebruiksmogelijkheden van gescande luchtfoto's binnen LNV. De aanleiding daartoe werd gevormd door:

- ontwikkelingen bij de Topografische Dienst Nederland (TDN) om de techniek van het scannen van luchtfoto's toe te passen in het productieproces van digitale topografische bestanden;
- ideeën bij de Plantenziektenkundige Dienst (PD) voor het opzetten van een perceelsregistratiesysteem op basis van gescande luchtfoto's.

De uitkomsten van zowel de drie vooronderzoeken als van de globale plaatsbepaling van het gebruik van gescande luchtfoto's, zijn vastgelegd in het eindrapport van de

KVI: "Aanpak Ruimtelijke Informatievoorziening" (1991). De KVI heeft constateert, dat er binnen het ministerie belangstelling bestaat voor het gebruik van gescande luchtfoto's, maar dat er op de punten van technische mogelijkheden en kosten/baten afwegingen nog de nodige onduidelijkheden bestaan. Dit heeft ertoe geleid dat DLO-Staring Centrum in 1991 begonnen is aan het project "Gescande luchtfoto's".

### 1.3 Projectorganisatie

Het project "Gescande Luchtfoto's" is opgedeeld in twee fasen:

- oriëntatiefase. In deze fase worden de wensen met betrekking tot het gebruik van gescande luchtfoto's binnen LNV geïnventariseerd. Ook wordt onderzocht wat de technische mogelijkheden zijn en welke kosten hieraan zijn verbonden.
- experimentele fase. Afhankelijk van de in de oriëntatiefase geformuleerde aanbevelingen worden alternatieve verwerkingsmethoden op hun praktische werkbaarheid getoetst.

De ARI fungeert als stuurgroep voor het project, zij bewaakt de voortgang en ziet toe op de kwaliteit van de geleverde produkten. De oriëntatiefase van het project wordt uitgevoerd door medewerkers van DLO-Staring Centrum. Door de ARI is een begeleidingsgroep ingesteld die wordt gevormd door vertegenwoordigers van directie Organisatie en Efficiency, DLO-Staring Centrum, Landbouw Universiteit Wageningen, Staatsbosbeheer en Plantenziektenkundige Dienst. De begeleidingsgroep is verantwoordelijk voor de activiteiten in de oriëntatiefase van het project.

### 1.4 Onderzoeksopzet oriëntatiefase

De aanpak en uitwerking van de oriëntatiefase van het project is opgebouwd uit vijf stappen:

1. uiteenzetting van de technische aspecten die een rol spelen bij het werken met en het verwerken van luchtfoto's en gescande luchtfoto's. Om de volgende hoofdstukken beter te kunnen begrijpen worden in hoofdstuk 2 de belangrijkste technische kenmerken en bewerkingen van luchtfoto's toegelicht;
2. inventarisatie van de gebruikservaring met luchtfoto's en de belangstelling voor gebruik van gescande luchtfoto's en afgeleide produkten. Dit betreft een inventarisatie binnen LNV. De uitwerking hiervan staat beschreven in hoofdstuk 3;
3. inventarisatie van de gebruikservaring met gescande luchtfoto's. Dit deel van het onderzoek is verricht buiten het ministerie. In hoofdstuk 4 wordt dit uitgewerkt;
4. analyse van de gebruiksmogelijkheden van gescande luchtfoto's, waarbij de belangrijkste bevindingen uit de voorafgaande hoofdstukken op een rijtje worden gezet. In hoofdstuk 5 wordt dit beschreven;
5. aanbevelingen voor het opstellen van het projectplan voor de experimentele fase. Dit wordt in hoofdstuk 6 beschreven.

Het voorliggende rapport betreft het eindrapport van de oriëntatiefase.

## 2 TECHNISCHE ASPECTEN

In dit hoofdstuk worden de technische aspecten bij het verkrijgen van informatie uit luchtfoto's toegelicht, zonder echter in detail te treden. Voor gedetailleerde technische informatie wordt verwezen naar de "Manual of Photogrammetry" (Slama, 1980).

De ruimtelijke informatie, die uit luchtfoto's gehaald kan worden, bestaat uit een geometrische en een thematische component. De geometrische informatie is de beschrijving van de ligging in het terrein van lijn-, punt- of vlakvormige objecten, uitgedrukt in een coördinatenstelsel. De thematische informatie geeft aan wat de betekenis is van het object, bijvoorbeeld vegetatie en grondgebruik bij vlakken en weg, waterloop of perceelsgrens bij lijnen. Deze informatie is altijd gekoppeld aan de geometrische informatie.

De geometrische informatie, zoals bijvoorbeeld de ligging van percelen, wegen en gebouwen, kan vastgelegd worden op een bestaande kaart (bij correcties of aanvullingen van de topografische kaart), in een geheel nieuwe kaart, of in een geografisch informatiesysteem (GIS). Bij het verkrijgen van geometrische informatie is het belangrijk dat de geometrie van de foto wordt omgezet in de geometrie van het terrein. De geometrische aspecten van luchtfoto's worden in paragraaf 2.2 besproken. Vooral bij het maken van een nieuwe kaart of het vastleggen in een vectorbestand (digitaal bestand van punten, lijnen en/of vlakken) moeten de terreincoördinaten bekend zijn. Het afleiden van de terreincoördinaten uit de foto wordt beschreven in paragraaf 2.3.

De thematische informatie uit luchtfoto's, wordt meestal door visuele interpretatie van de luchtfoto verkregen. Veldwaarnemingen, satellietbeelden en automatische classificatie van luchtfoto's kunnen additionele thematische informatie leveren.

In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op de verschillende mogelijkheden bij opname van luchtfoto's (paragraaf 2.1), de aspecten van scannen (paragraaf 2.4) en de bewerkingen die met gescande foto's gedaan kunnen worden (paragraaf 2.5).

### 2.1 Kenmerken van opnamen

Afhankelijk van de grootte en vorm van het gebied wordt in stroken gevlogen. In elke strook worden meerdere opnamen gemaakt. De opnamen binnen een strook hebben meestal een overlap van 60%. Dit wil zeggen dat 60% van de inhoud van een foto ook op de naastliggende foto voorkomt. De overlap is nodig om stereobeelden te kunnen krijgen. De overlap van 2 stroken is meestal 20%. Het geheel aan foto's die elk een bepaalde overlap met elkaar hebben wordt een fotoblok genoemd.

Er worden grofweg 3 typen film onderscheiden voor luchtfotografie:

- zwart-wit;
- kleuren;
- false-color.

False-color opnamen, ook wel infra-rood opnamen genoemd, worden vooral gebruikt voor opnamen van vegetatie.

De film kan zowel diapositief als negatief zijn. Negatieve films worden meestal gebruikt indien afdrukken gemaakt moeten worden.

Het seizoen waarin gevlogen wordt is afhankelijk van het doel waarvoor de foto's gebruikt worden. Als het gaat om het inventariseren van topografische grenzen, is het belangrijk dat de bomen niet in blad zijn. De zon moet echter al zo hoog staan, dat er geen lange schaduwen optreden. Einde maart tot mei is de beste periode. Voor opnamen van vegetatie is de periode van juni tot augustus het meest geschikt.

De schaal van de foto wordt enerzijds bepaald door de vlieghoogte en anderzijds door de brandpuntsafstand van de camera. Voor foto's van het landelijk gebied wordt vaak schaal 1 : 18 000 gebruikt. Deze schaal wordt bereikt bij een vlieghoogte van 2700 meter met een brandpuntsafstand van 15 cm of een hoogte van 3800 meter en een brandpuntsafstand van 21 cm. De formule voor berekening van het schaalgetal is als volgt:

$$\text{Schaalgetal} = H / c \quad (\text{H} = \text{vlieghoogte, } c = \text{brandpuntsafstand})$$

Afhankelijk van het gewenste detail in de foto wordt de schaal gekozen. Aangezien er met vier verschillende brandpuntsafstanden gewerkt wordt (standaard lenzen), zijn bij een gekozen schaal een beperkt aantal vlieghoogten mogelijk. De keuze van de combinatie brandpuntsafstand/vlieghoogte kan van verschillende factoren afhangen. Uit de bovenstaande formule blijkt dat hoogteverschil in het terrein leidt tot lokaal schaalverschil binnen één foto (zie paragraaf 2.2.2).

## 2.2 Geometrische aspecten

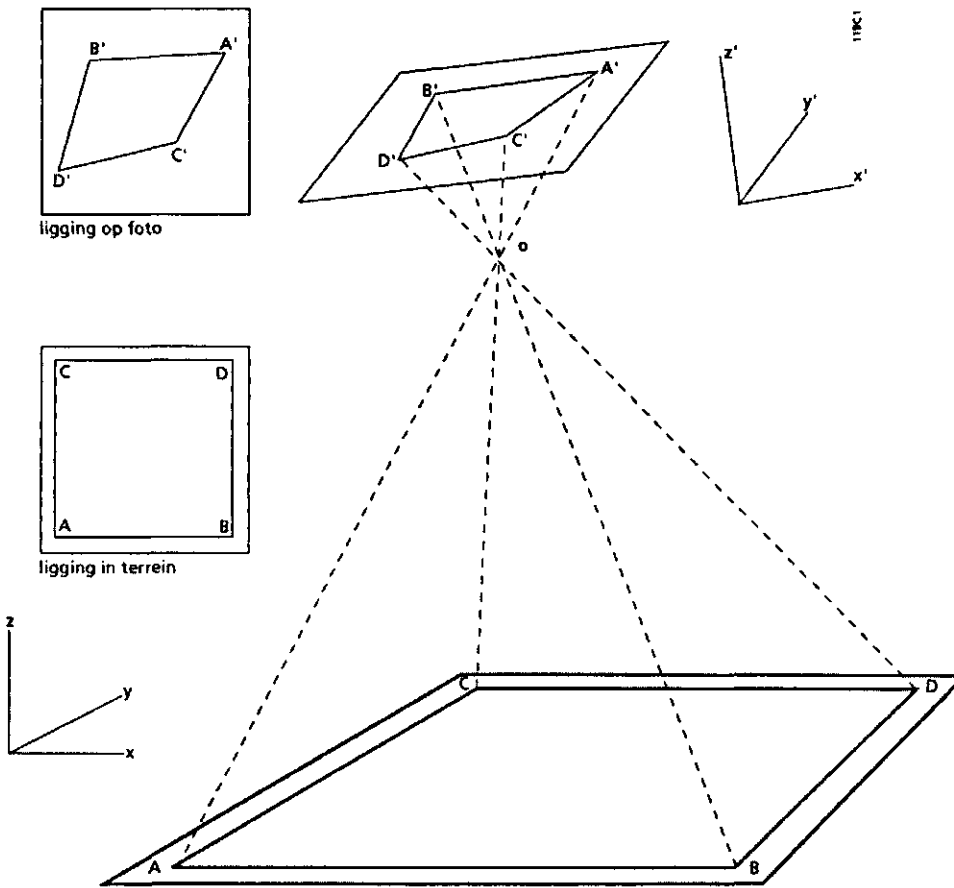
Voor oriëntatie in het veld en voor het verkrijgen van thematische informatie hoeft een foto in principe niet geometrisch gecorrigeerd te worden. Dit is echter wel nodig indien geometrische informatie aan de luchtfoto ontleend moet worden. In deze paragraaf wordt beschreven waarom geometrische correctie nodig kan zijn. Daarbij onderscheiden we twee gevallen:

- de afbeelding van vlak en horizontaal gelegen terrein (paragraaf 2.2.1);
- de afbeelding van niet-horizontaal terrein (paragraaf 2.2.2).

Het afbeeldingsprincipe van een (lucht)foto kan wiskundig goed worden beschreven met een centrale projectie (zie figuur 1). De Nederlandse topografische kaarten zijn geometrisch bij benadering te beschouwen als afbeeldingen volgens een orthogonale



projectie. Dientengevolge zullen voor een zelfde terreindeel een topografische kaart en een luchtfoto geometrisch van elkaar verschillen (zie figuur 3).

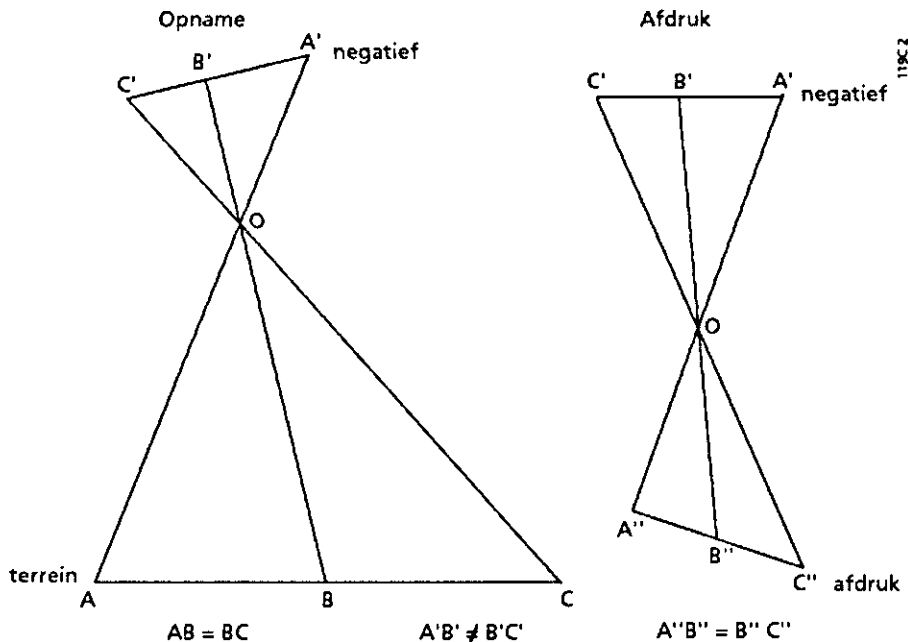


*Fig. 1 Fotografische afbeelding van een plat, horizontaal, vierkant terreinobject*

### 2.2.1 Afbeelding van vlak en horizontaal terrein.

Door bewegingen van het vliegtuig is het projectievlak van de camera nooit volkomen horizontaal, dus niet evenwijdig aan het aardoppervlak. Deze kanteling leidt ertoe, dat object en afbeelding niet dezelfde vorm hebben, zoals in figuur 1 te zien is. Hierdoor resulteren gelijke afstanden in het terrein niet in gelijke afstanden op de foto. Deze vertekening kan gecorrigeerd worden door een afdruk van de foto te maken, waarbij het projectievlak van de afdruk eveneens gekanteld is (zie figuur 2). Deze methode heet optisch ontschraken of onthoeken. Ontschranking via numerieke weg met behulp van een computer is ook mogelijk. Deze methode wordt beschreven in paragraaf 2.3. De camera kan zodanig in het vliegtuig gemonteerd worden, dat deze de schommelingen van het vliegtuig grotendeels op kan vangen. Dit wordt door een zogenaamde gyroscopische ophanging gerealiseerd, een techniek die meer en

meer ingang vindt. Kleine verschillen blijven echter bestaan. Bij voldoende stabilisatie is ontschanking van foto's van vlak en horizontaal terrein niet meer nodig.



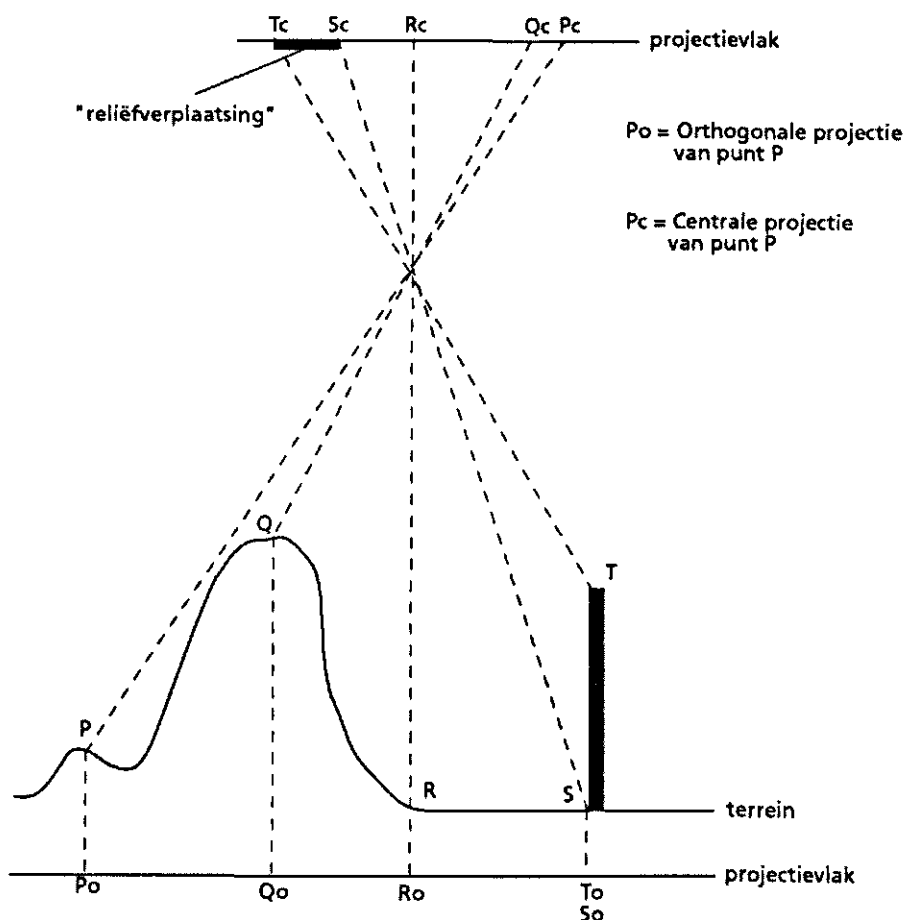
**Fig. 2 Principe van de optische ontschanking**

### 2.2.2 Afbeelding van niet-horizontaal terrein

In volkomen vlak terrein is na fotografische ontschanking de schaal van de foto overal gelijk. Hoewel Nederland als vlak bekend staat, zijn er wel degelijk hoogteverschillen. Niet alleen in reliëfrijk gebied zoals Zuid-Limburg en langs de kust, maar ook bij dijken en bruggen. Hoogteverschillen in het terrein geven lokale schaalverschillen in de foto. Deze verschillen hebben niets te maken met de stand van de camera, maar met de projectie van het terrein op de film. Bij een camera gaan de lichtstralen namelijk door één punt (de lens), waardoor een centrale projectie ontstaat. Dit heeft tot gevolg dat hogere delen van het terrein verplaatst worden ten opzichte van lagere delen. Dit effect wordt "reliëfverplaatsing" genoemd. Vooral bij hoge gebouwen is dit duidelijk te zien: ze schijnen om te vallen richting rand van de foto, waardoor de zijkant van het gebouw op de foto te zien is. In dit geval wordt over "omvalling" gesproken.

Bij een kaart is sprake van een orthogonale projectie: de punten van het terrein zijn loodrecht geprojecteerd op een plat vlak. In figuur 3 is het verschil tussen centrale en orthogonale projectie te zien. De reliëfverplaatsing is het kleinst in het midden van de foto en het grootst aan de randen. Bij kartering vanaf een enkele foto moet met deze reliëfverplaatsing rekening gehouden worden. Bij stereokartering

(dubbelbeeld) daarentegen kan dit effect gebruikt worden voor hoogtemetingen. In paragraaf 2.3 wordt hier verder op ingegaan.



*Fig. 3 Verschil tussen orthogonale en centrale projectie*

Correctie van reliëfverplaatsing kan zowel numeriek gebeuren met als resultaat een digitale orthofoto, als optisch-mechanisch met als resultaat een fotografische orthofoto. De tweede methode wordt nog wel gebruikt, maar moet als achterhaald beschouwd worden.

### 2.3 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie is de methode om met behulp van één of meer fotografische opnamen van objecten, de afmeting en de ligging van deze objecten te bepalen (Ligterink, 1989). Bij gebruik van luchtfoto's kan met fotogrammetrie geometrische en thematische informatie van het terrein tegelijkertijd verkregen worden. Deze informatie kan dan op een kaart gezet worden of in een GIS gebruikt worden. In deze paragraaf wordt de methode van kartering verder beschreven. Het coördinatenstelsel

van de foto (fotocoördinaten) moet gerelateerd worden aan het coördinatenstelsel dat op de kaart of in het GIS gebruikt wordt (terreinfoördinaten). In Nederland is dit meestal het coördinatenstelsel van de Rijksdriehoeksmeting.

### 2.3.1 Enkelbeeldkartering

Bij enkelbeeldkartering wordt op één enkele foto gemeten. Hierbij worden in één foto verschillende punten gemeten in fotocoördinaten en vervolgens omgezet in terreinfoördinaten. Bij metingen waarbij niet voor hoogteverschillen gecorrigeerd hoeft te worden (twee-dimensionale correctie), is het voldoende om van minimaal drie punten in de foto de terreinfoördinaten (X en Y) en de gemiddelde terreinhoogte (Z) te weten (Molenaar, 1986). Van elk punt waarvan de fotocoördinaten bekend zijn, kunnen dan vervolgens de terreinfoördinaten (X en Y) berekend worden.

Deze werkwijze is alleen bruikbaar indien de hoogteverschillen in het terrein marginaal zijn, of wanneer de uiteindelijke eisen aan nauwkeurigheid gering zijn. Hoe groter de hoogteverschillen zijn, hoe groter de onnauwkeurigheid is door niet gecorrigeerde reliëfverplaatsingen.

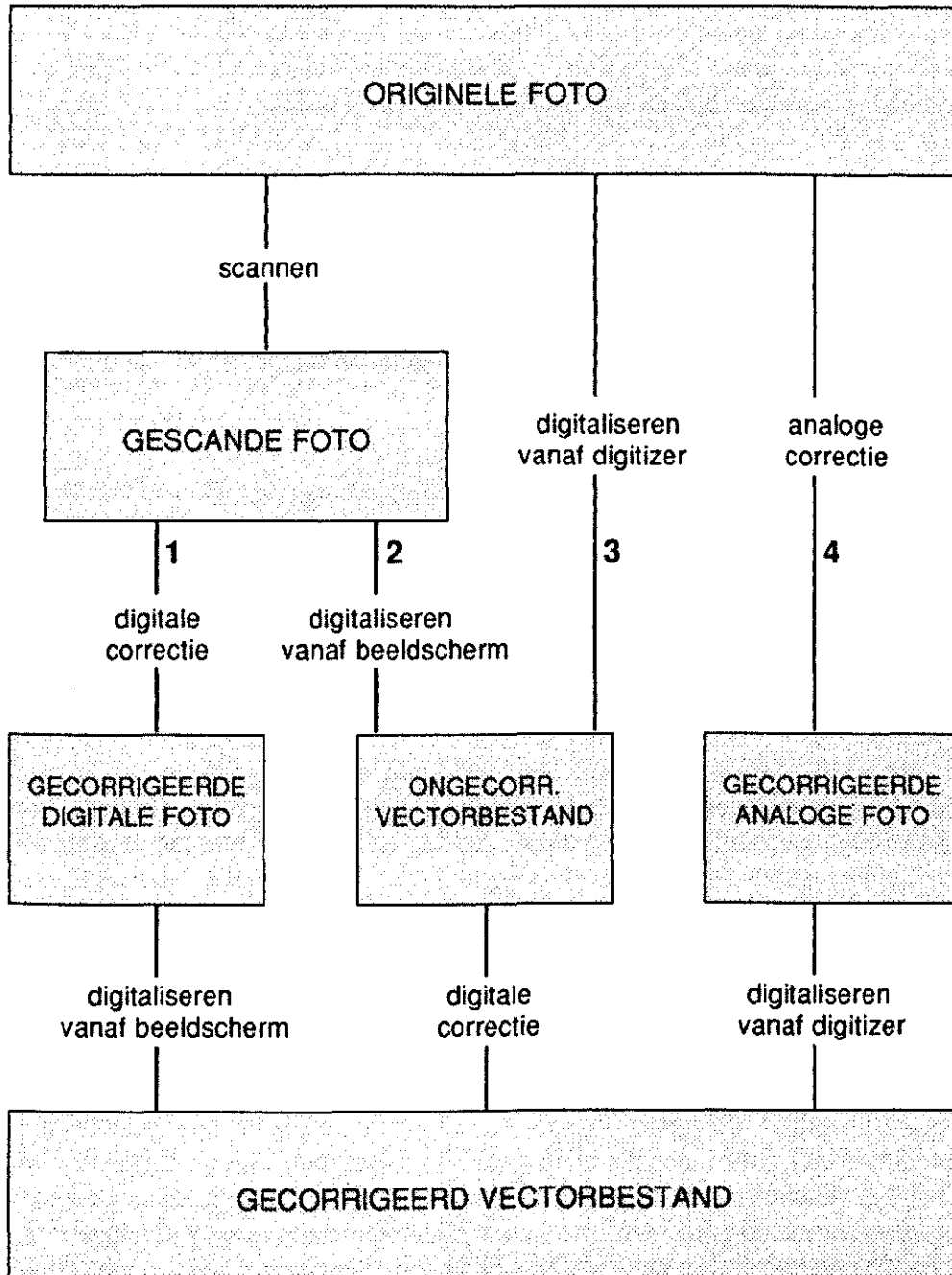
Bij metingen waarbij wél voor hoogteverschillen gecorrigeerd wordt (drie-dimensionale correctie), is het noodzakelijk dat van elk gemeten punt ook de hoogte bekend is. Deze hoogteinformatie kan ontleend worden aan een digitaal terreinmodel (DTM). Een DTM is een digitaal bestand van hoogtepunten, meestal in een regelmatig grid vastgelegd. Door interpolatie kan voor elk willekeurig punt in het terrein de hoogte bepaald worden. De hoogtegegevens voor dit DTM worden meestal verkregen door metingen in een stereomodel met behulp van een fotogrammetrisch instrument. Er is ook een methode om hoogtegegevens via een geautomatiseerde berekening (beeldcorrelatie) uit gescande luchtfoto's te verkrijgen. In paragraaf 2.5 wordt hier verder op ingegaan. Als een DTM eenmaal beschikbaar is kan het bij volgende bewerkingen opnieuw gebruikt worden.

De fotocoördinaten van punten kunnen op verschillende wijzen gemeten worden:

- vanaf een analoge foto (hard-copy) met een digitizer;
- vanaf het gescande foto op het beeldscherm (soft-copy) met een muis. De nauwkeurigheid van de meting is afhankelijk van de resolutie van de gescande foto (zie par. 2.5), maar is meestal nauwkeuriger dan bij gebruik van een digitizer.

Ook kan met een fotogrammetrisch instrument gemeten worden. Dit instrument is echter ontwikkeld voor stereokartering en wordt niet voor enkelbeeldkartering gebruikt.

Foto's kunnen echter ook voorafgaand aan het karteren, geometrisch gecorrigeerd worden. Wordt alleen de kanteling van de camera gecorrigeerd (2D-correctie), dan spreekt men van ontschrante foto's. Wordt ook gecorrigeerd voor de reliëfverplaatsing (3D-correctie), dan spreekt men van orthofoto's. Digitale vervaardiging van een orthofoto wordt in paragraaf 2.5 verder beschreven.



*Fig. 4 Verschillende mogelijkheden bij enkelbeeldkartering. De kartering kan zowel zonder als met correctie voor hoogteverschillen gebeuren (2D- en 3D correctie). Analoge 3D-correctie (orthofoto vervaardiging) wordt vrijwel niet meer toegepast*

Indien een geometrisch gecorrigeerde foto gebruikt wordt, zijn in principe twee punten met bekende terreincoördinaten voldoende om van andere punten de fotocoördinaten om te kunnen zetten naar terreincoördinaten.

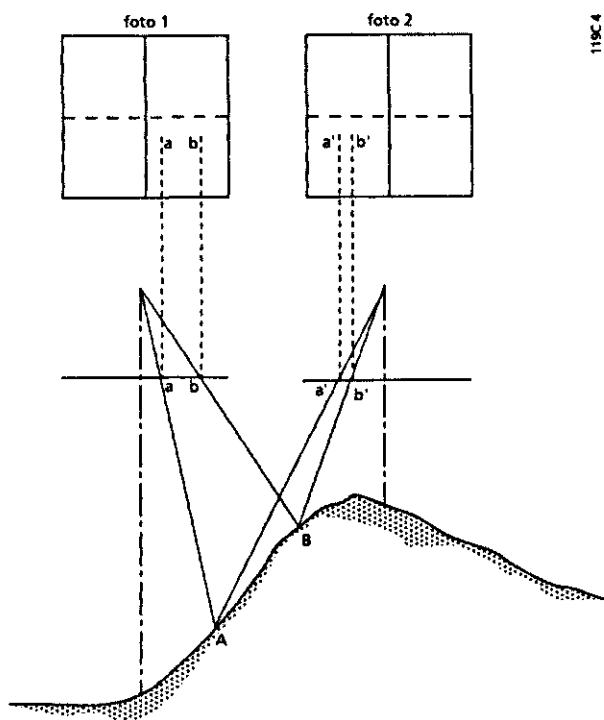
Figuur 4 toont een overzicht van de vier methoden die gevolgd kunnen worden bij enkelbeeldkartering. De geometrische correctie kan zowel met als zonder correctie voor hoogteverschillen gebeuren. Totaal zijn er dus acht verschillende methoden voor enkelbeeldkartering. Kartering zonder geometrische correctie is meestal te onnauwkeurig en kan dus buiten beschouwing gelaten worden.

### 2.3.2 Stereo-kartering of dubbelbeeldkartering

Bij stereo-kartering wordt in een stereomodel gemeten. Een stereomodel is het overlappende gedeelte van twee foto's waarop gedeeltelijk hetzelfde terrein is afgebeeld. In figuur 6 is het overlappende gedeelte van twee foto's weergegeven. Als deze foto's onder een stereoscoop worden gelegd, kunnen hoogteverschillen gezien worden in het overlappende gedeelte. Onze hersenen kunnen dit hoogteverschil registreren, doordat het positieverschil tussen een hoog en een laag punt in de eerste foto anders is dan in de tweede foto (zie figuur 5). Dit komt doordat de reliëfverplaatsing op de eerste foto anders is dan op de tweede foto. In een stereoscopisch meetinstrument kan dit positieverschil gemeten worden en omgezet worden in een hoogteverschil. Daarom is bij stereokartering geen DTM nodig. De hoogte moet bij enkelbeeldkartering wel in de vorm van een DTM toegevoegd worden om de ligging van het punt (X, Y) nauwkeurig in terreincoördinaten te kunnen berekenen.

Bij stereo-kartering wordt eerst de relatieve oriëntering van een stereomodel bepaald. De relatieve oriëntering is de stand (draaiingshoeken) van de camera van de tweede foto ten opzichte van de eerste foto. Hiervoor worden van minimaal vijf punten de fotocoördinaten in beide foto's gemeten (Molenaar, 1986). Als nu van minimaal drie punten ook de terreincoördinaten bekend zijn, kan vervolgens de absolute oriëntering bepaald worden, dit is de werkelijke stand (draaiingshoeken) en locatie (horizontale en verticale terreincoördinaten) van de camera bij de opname van beide foto's. Van elk afgebeeld terreinpunt dat in beide foto's gemeten wordt, kunnen dan de terreincoördinaten (X, Y en Z) berekend worden.

In theorie is het mogelijk om deze metingen voor beide foto's afzonderlijk uit te voeren, maar deze werkwijze stuit op praktische bezwaren. In de praktijk gebeurt dit met een karteringsinstrument (stereoscopisch meetinstrument), waarin het stereopaar gemonteerd is. In het stereobeeld kan vervolgens gemeten worden door een cursor naar een bepaald punt in het stereobeeld te brengen. Er is dus sprake van twee cursors, één in elk van de twee beelden. Door een druk op de knop worden de fotocoördinaten van beide cursors tegelijk uitgelezen. Samen met de oriënteringsparameters worden hieruit de terreincoördinaten (X, Y en eventueel Z) berekend. De hier beschreven werkwijze staat bekend als de analytische methode, ter onderscheiding van de analoge methode, waarbij de relatieve oriëntering fysiek in



118C4

**Fig. 5** *Vershillende verplaatsing van twee punten in een stereomodel (Naar: Lillesand and Kiefer, 1987)*

het instrument wordt uitgevoerd. Deze laatste werkwijze moet als achterhaald beschouwd worden, ondanks dat deze in de praktijk nog veel voorkomt.

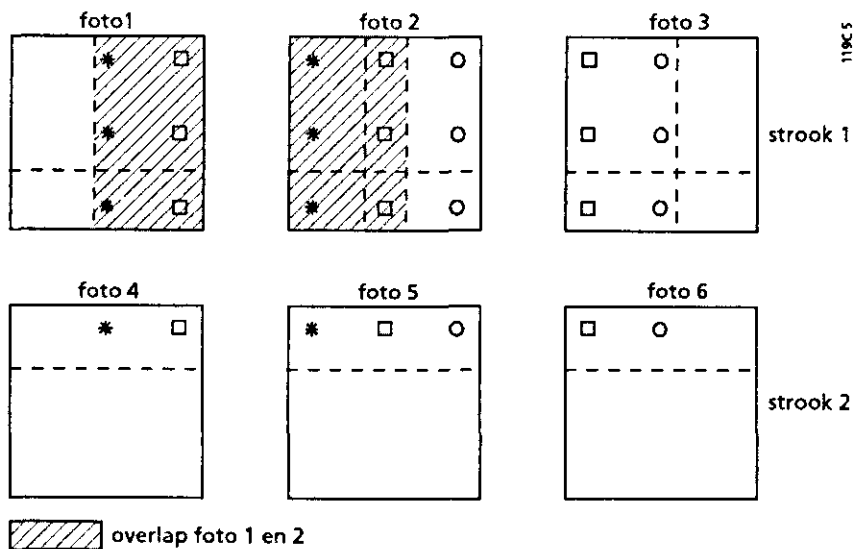
De jongste ontwikkeling op het gebied van stereokartering is de softcopy-techniek, waarbij twee gescande luchtfoto's op een beeldscherm stereoscopisch worden waargenomen. Hoewel veelbelovend, staat deze techniek nog in de kinderschoenen.

### 2.3.3 Aerotriangulatie en blokvereffening

Kartering is pas mogelijk als er verschillende punten op de foto te vinden zijn waarvan de terreincoördinaten en de hoogte bekend zijn. Deze punten heten paspunten. Deze paspunten moeten op de foto goed te herkennen zijn. Voor de bepaling van terreincoördinaten van paspunten is de topografische kaart, gegeven de schalen van de kaartseries, niet altijd nauwkeurig genoeg, doordat objecten vaak zijn gegeneraliseerd. Voor kaartbladen 1 : 10 000 bedraagt de precisie omgerekend naar het terrein circa 2 meter in X en Y richting; hoogteinformatie (Z) ontbreekt in deze serie. Uit kaartbladen van de 1 : 25 000 serie zijn de terreincoördinaten af te leiden met een precisie van circa 5 meter (X, Y en Z). Indien de topografische kaart gebruikt wordt voor als basis voor het inwinnen van de paspuntcoördinaten en voor de geometrische correctie van luchtfoto's, zal de correctie niet beter kunnen zijn dan

circa 2 respectievelijk 5 meter. Voor nauwkeuriger geometrische correctie van luchtfoto's kunnen de terreincoördinaten van paspunten niet uit de topografische kaart gehaald worden, maar zijn metingen in het terrein noodzakelijk. Vaak worden deze paspunten als zwart-witte schijven in het terrein aangebracht voordat de foto's gemaakt worden. Via terrestische metingen of met GPS (Global Positioning System) worden de terreincoördinaten en de hoogte van deze punten bepaald. Het is echter niet nodig om in elke foto een aantal paspunten te hebben. Via fotogrammetrische weg kan het aantal punten waarvan de terreincoördinaten en de hoogte bekend zijn uitgebreid worden. Met deze methode, aerotriangulatie genaamd, kunnen per foto voldoende punten met bekende terreincoördinaten berekend worden. De berekenings-procedure die bij fotoblokken gebruikt wordt heet blokvereffening.

Bij aerotriangulatie worden op elkaar aansluitende foto's aan elkaar gerelateerd door overdrachtspunten. Overdrachtspunten zijn punten die op beide foto's van een stereopaar herkenbaar zijn, zoals bijvoorbeeld een hoekpunt van een gebouw. Door het inmeten van de overdrachtspunten wordt de relatie tussen foto's onderling berekend (relatieve oriëntering). Zo'n fotoblok kan bestaan uit honderden foto's. Meestal kan worden volstaan met 10 à 20 paspunten in het gehele fotoblok. Per stereomodel wordt met minimaal 2 x 3 overdrachtspunten gewerkt. In figuur 6 is de ligging van overdrachtspunten in verschillende foto's te zien. De berekening van de oriënteringsparameters gebeurt met de computer. Het inmeten van de overdrachtspunten is echter nog steeds handwerk, hoewel er reeds mogelijkheden zijn om dit proces te automatiseren (Han, 1992).



**Fig. 6** Ligging van overdrachtspunten op naast- en onderliggende foto's

Na blokvereffening zijn voor alle foto's de terreincoördinaten en de hoogte van alle overdrachtspunten bekend. Tevens zijn voor elke foto de 3 draaiingshoeken van de camera bekend (langs X, Y en Z-as).

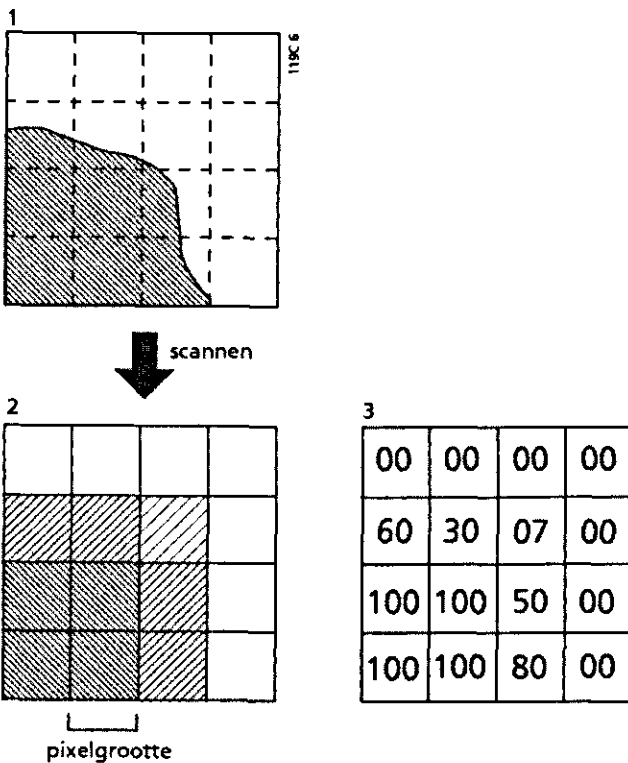


De gegevens uit de blokvereffening kunnen gebruikt worden voor zowel stereo-kartering als enkelbeeldkartering.

## 2.4 Scannen

### 2.4.1 Begripsbepaling

Scannen is de techniek om een analoog beeld, zoals een kaart of een foto, om te zetten in een digitaal beeld dat bestaat uit een regelmatig raster waarin elke rastercel een bepaalde grijswaarde krijgt.



*Fig. 7 Scannen van een luchtfoto; 1 = originele foto; 2 = gescande foto; 3 = grijswaarden van pixels*

Bij scannen wordt de beeldrager (bijvoorbeeld kaart, fotoafdruk of diapositief) als het ware in een groot aantal kleine vierkante vlakjes (de rastercellen) opgedeeld. De intensiteit van het teruggekaatste licht (bij niet-transparante beeldragers) of doorgelaten licht (bij transparante beeldragers) van elk van die rastercellen wordt gemeten en vastgelegd. Deze rastercellen worden pixels genoemd, de lichtintensiteit van elke pixel wordt in een grijswaarde vastgelegd (zie figuur 7).

Voor scannen worden zowel de originele films als afdrukken gebruikt. Door ontwikkelen en afdrukken wordt het oorspronkelijk beeld enigszins veranderd door

rek en/of krimp van film en/of papier. Omdat het beeld op de originele film de minste verandering heeft ondergaan is scannen van de originele film, negatief dan wel positief, te prefereren boven scannen van een afdruk of een vergroting. Een gescand negatief kan vervolgens worden omgezet in een digitaal positief, zonder dat bij deze omzetting verlies aan detail optreedt.

#### 2.4.2 Resolutie

De resolutie van een analoge foto wordt uitgedrukt in het aantal lijnpaaren per mm dat visueel nog net te onderscheiden is. Een lijnpaar bestaat uit een donkere en een lichte lijn die beide even breed zijn. In zwart-wit foto's is de resolutie ongeveer 50 lijnpaaren/mm; dit wil dus zeggen dat bij een lijnbreedte van 10  $\mu\text{m}$  de lichte en de donkere lijnen nog net te onderscheiden zijn.

De resolutie van een gescand (digitaal) beeld wordt uitgedrukt in het aantal pixels per inch ("dots per inch" = dpi) of in de grootte van de pixels (in  $\mu\text{m}$ ). Een resolutie van 1000 dpi wil zeggen: 1000 pixels per inch. De pixelgrootte is dan:  $2,54/1000 * 10^4 \approx 25 \mu\text{m}$ . Wanneer het aantal pixels per inch toeneemt, neemt de pixelgrootte af en neemt de resolutie toe.

Om geen verlies aan detaillering te krijgen, zou een foto met een resolutie van 2500 dpi (10  $\mu\text{m}$ ) gescand moeten worden. Bij duurdere scanners kan de resolutie ingesteld worden. Sommige scanners kunnen een resolutie van circa 3300 dpi (7,5  $\mu\text{m}$ ) halen. Goedkopere scanners hebben vaak een vaste resolutie, meestal 300 dpi (85  $\mu\text{m}$ ). In de praktijk blijkt een pixelgrootte van 25  $\mu\text{m}$  (1000 dpi) tot acceptabele resultaten te leiden.

#### 2.4.3 Hoeveelheid data

Afhankelijk van de scanner kan in zwart-wit of in kleur gescand worden. Bij zwart-wit scannen wordt per pixel één grijswaarde vastgelegd. Voor luchtfoto's is het wenselijk om voldoende verschillende grijswaarden te kunnen onderscheiden. Als de grijswaarde in 1 byte (8 bits) in de computer worden opgeslagen, zijn 256 verschillende grijswaarden mogelijk. Bij het scannen van kleurenfoto's worden voor de drie basiskleuren de grijswaarden vastgelegd. Dus elke pixel heeft een grijswaarde voor rood, voor groen en voor blauw, dit is 3 byte per pixel.

Bij een resolutie van 1000 dpi (25  $\mu\text{m}$ ) en een fotooppervlakte van 23 x 23 cm worden er  $82 * 10^6$  pixels gescand. Voor zwart-wit foto's is dan 82 Mb aan diskruimte nodig. Voor een kleurenfoto wordt dit zelfs 246 Mb. Ter vergelijking: alle digitale bodemkaarten van Nederland 1 : 50 000 zijn gezamenlijk 50 Mb groot. Door datacompressietechnieken kan de benodigde diskruimte met ongeveer een factor 2 worden teruggebracht. Ook kan de benodigde opslagcapaciteit verminderd worden, door minder bits per grijswaarde te gebruiken. Bij 4 bit per grijswaarde zijn echter

nog maar 16 verschillende waarden te onderscheiden, waardoor een aanmerkelijke hoeveelheid informatie verloren gaat. Bij een hoge resolutie, dus bij een kleine pixel, kan met minder bits per pixel volstaan worden, omdat de ruis door de verdeling van de zilverkorrels in de film dan toeneemt.

Voor toepassingen waarvoor een resolutie van 1000 dpi niet noodzakelijk is, kan met een lagere resolutie gescand worden. Bij een resolutie van 500 dpi (50  $\mu\text{m}$ ) is nog maar 20 Mb aan diskruimte nodig voor een zwart-wit foto. Bij een fotoschaal van 1 : 10 000 is de pixelgrootte omgerekend naar het terrein dan echter teruggelopen tot 0,5 meter. Bij deze resolutie zijn bijvoorbeeld in een perceel aardappelen de individuele rijen niet meer van elkaar te onderscheiden.

Heel Nederland heeft een oppervlakte van ca. 3,3 miljoen ha (exclusief Noordzee, Waddenzee en IJsselmeer). Eén foto (23 x 23 cm) met een schaal 1 : 18 000 beslaat een gebied van ca. 1700 ha. Er zijn dus ongeveer 2000 foto's nodig om heel Nederland te bedekken. Met een overlap van 60% in de vliegrichting en 25% tussen de stroken zijn er zelfs 6000 foto's nodig. Als al deze foto's in kleur gescand worden met een resolutie van 500 dpi (50  $\mu\text{m}$ ), zou hiervoor bijna 360 Gb (3,6 \* 10<sup>5</sup> Mb) data nodig zijn. Gecomprimeerd met een factor 2 is dit nog steeds 180 Gb. Voor deze hoeveelheid data zijn ongeveer 300 CD's (ca. 600 Mb per CD) of 1800 gewone tapes (ca. 100 Mb per tape) nodig. Bij de definitieve data-opslag in de vorm van digitale orthofoto's kunnen de overlappende delen van de foto's buiten beschouwing gelaten worden. In dit geval kan met 1/3 deel van de hoeveelheid opslagcapaciteit volstaan worden. Dit is 60 Gb voor gecomprimeerde foto's.

Wanneer voor grote gebieden met een hoge resolutie gescande luchtfoto's gewerkt moet worden zal het met de huidige computers en opslagmedia dus een grote klus zijn om de grote hoeveelheid data te verwerken. De opslagmogelijkheden worden echter steeds groter en de datacompressietechnieken worden steeds geavanceerder.

## 2.5 Werken met gescande luchtfoto's

Gescande luchtfoto's kunnen voor de volgende werkzaamheden gebruikt worden:

- vervaardigen van een DTM;
- vervaardigen van een orthofoto;
- achtergrondplaatje voor visuele ondersteuning van andere digitale ruimtelijke informatie;
- digitaliseren van vectorinformatie;
- automatische beeldclassificatie.

Al deze aspecten zijn reeds aan de orde gekomen, maar in deze paragraaf wordt de werkwijze nader toegelicht.

### 2.5.1 Vervaardigen van een digitaal terreinmodel (DTM)

Een digitaal terreinmodel is een bestand met punten waarvan de terreincoördinaten en de hoogte bekend zijn. Meestal is het een regelmatig grid van hoogtecijfers. Bij de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat wordt onderzoek verricht om vrijwel automatisch hoogtes te meten in een gescand stereopaar (Han, 1992). Na het opgeven van oriënteringsgegevens van de foto's en de paspunten met coördinaten, wordt automatisch een regelmatig grid van hoogtepunten gegenereerd op basis van gescande stereoparen. Met deze methode kunnen ongeveer 50 metingen per seconde worden gedaan. Ook kunnen hoogtes van individuele punten of van te voren geselecteerde lijnen worden berekend.

### 2.5.2 Vervaardigen van een orthofoto

Bij digitale vervaardiging van een orthofoto wordt uitgegaan van een gescande originele luchtfoto. Voor elke pixel worden de terreincoördinaten berekend en worden de pixels verplaatst conform hun locatie in het nieuwe coördinatenstelsel. Omdat nu geen sprake meer zou zijn van een regelmatig raster, worden alle pixels vervolgens opnieuw gerangschikt in een regelmatig raster. De kleur (grijswaarden) van een nieuwe pixel is dan vaak een gemiddelde van meerdere oorspronkelijke pixels. Hierdoor is het detail in een orthofoto wat gedegradeerd ten opzichte van de oorspronkelijke gescande foto.

Naast de gescande foto gebruikt het computerprogramma de gegevens die afkomstig zijn uit de blokvereffening: de oriëntering van de foto en de terreincoördinaten van de pas- en overdrachtpunten. Om de reliëfverplaatsing te kunnen bepalen moet van elke pixel de hoogte bekend zijn. Dit wordt bereikt met een DTM. De hoogte van punten die niet in het DTM zitten, wordt door interpolatie berekend.

Als een gescande foto met een resolutie van 50  $\mu\text{m}$  (500 dpi) wordt georthogonaliseerd, moet er voor  $21 \cdot 10^6$  pixels een transformatie berekend worden. Hiervoor is een krachtige computer nodig.

Er is ook een methode die het maken van een orthofoto benadert voor gebieden met weinig reliëf. Hierbij wordt alleen gebruik gemaakt van de centrale gedeelten van elke foto. Vooral als er sprake is van een vlak terrein en er hoog gevlogen is met een grote brandpuntsafstand, komt het midden van een foto vrijwel overeen met een orthogonale projectie. In het midden van de foto is de reliëfverplaatsing namelijk het kleinst en opnamen op grotere hoogte geven ook minder reliëfverplaatsing. Door met een overlap van 80% te vliegen en met een brandpuntsafstand van 30 cm in plaats van 15 cm te werken kan door monteren van de verschillende fotoonderdelen een orthofoto worden vervaardigd. Alle foto's dienen wel eerst ontschrinkt te worden. Samenvoegen van de verschillende foto's kan het beste digitaal gebeuren, waarvoor gescande beelden nodig zijn.

### 2.5.3 Visuele ondersteuning van andere digitale ruimtelijke informatie

Als een luchtfoto gebruikt wordt voor visuele ondersteuning van andere digitale informatie, bijvoorbeeld een vectorbestand in een GIS, dan moeten zowel de luchtfoto als het vectorbestand gelijktijdig op het beeldscherm getoond worden. De luchtfoto moet dus eerst gescand worden. Verder is het van belang dat de foto en het vectorbestand dezelfde geometrie hebben. Hierbij zijn er vier mogelijkheden:

- 1a. de foto wordt vooraf getransformeerd naar de geometrie van het vectorbestand, waarbij de foto twee-dimensionaal gecorrigeerd wordt. Dit kan met een eenvoudige ontschrankingsprocedure gedaan worden. Binnen ARC/INFO kan dit bijvoorbeeld met het TRANSFORM commando (ESRI, 1991a). Indien de foto alleen voor visuele ondersteuning wordt gebruikt is een nauwkeurige geometrische correctie meestal niet nodig, zodat deze mogelijkheid goed voldoet;
- 1b. de foto wordt vooraf getransformeerd naar de geometrie van het vectorbestand, waarbij de foto drie-dimensionale gecorrigeerd wordt. Deze mogelijk moet toegepast worden als een nauwkeurige geometrische correctie vereist is; de foto dient dan omgezet te worden in een orthofoto;
- 2a. de vectoren worden naar de geometrie van de foto getransformeerd waarbij twee-dimensionale correctie wordt toegepast.
- 2b. de vectoren worden naar de geometrie van de foto getransformeerd waarbij drie-dimensionale correctie wordt toegepast. Hierbij wordt de methode voor het vervaardigen van een orthofoto als het ware omgekeerd toegepast op het vectorbestand.

Na transformeren van de foto (mogelijkheid 1a en 1b) is de oorspronkelijke foto niet meer nodig. Na transformeren van het vectorbestand (mogelijkheid 2a en 2b) is het oorspronkelijke vectorbestand echter nog wel nodig. Bij visuele ondersteuning wordt een foto meerdere malen gebruikt met het vectorbestand. Als bij de methoden 2a en 2b de transformatie maar één keer wordt gedaan, zijn er twee verschillende versies van het vectorbestand nodig: het oorspronkelijke en het getransformeerde bestand. Dit is geen werkbaar situatie, zodat hier gekozen moet worden voor een methode waarbij het vectorbestand alleen tijdens het afbeelden naar de geometrie van de foto wordt getransformeerd. ARC/INFO heeft deze mogelijkheid. De transformatieparameters hoeven hierbij maar één keer opgegeven te worden. Er wordt hierbij echter een lineaire affine transformatie gedaan (ESRI, 1991b). Deze transformatie is eigenlijk niet geschikt voor luchtfoto's, maar gebruik is verantwoord indien geen correctie voor hoogteverschillen nodig is (methode 2a) en wanneer de stand van de camera vrijwel loodrecht is (zoals bij gyroscopische ophanging het geval is). Drie-dimensionale correctie (methode 2b) is binnen ARC/INFO niet mogelijk en zou ook te veel tijd vragen om steeds weer opnieuw uitgevoerd te moeten worden.

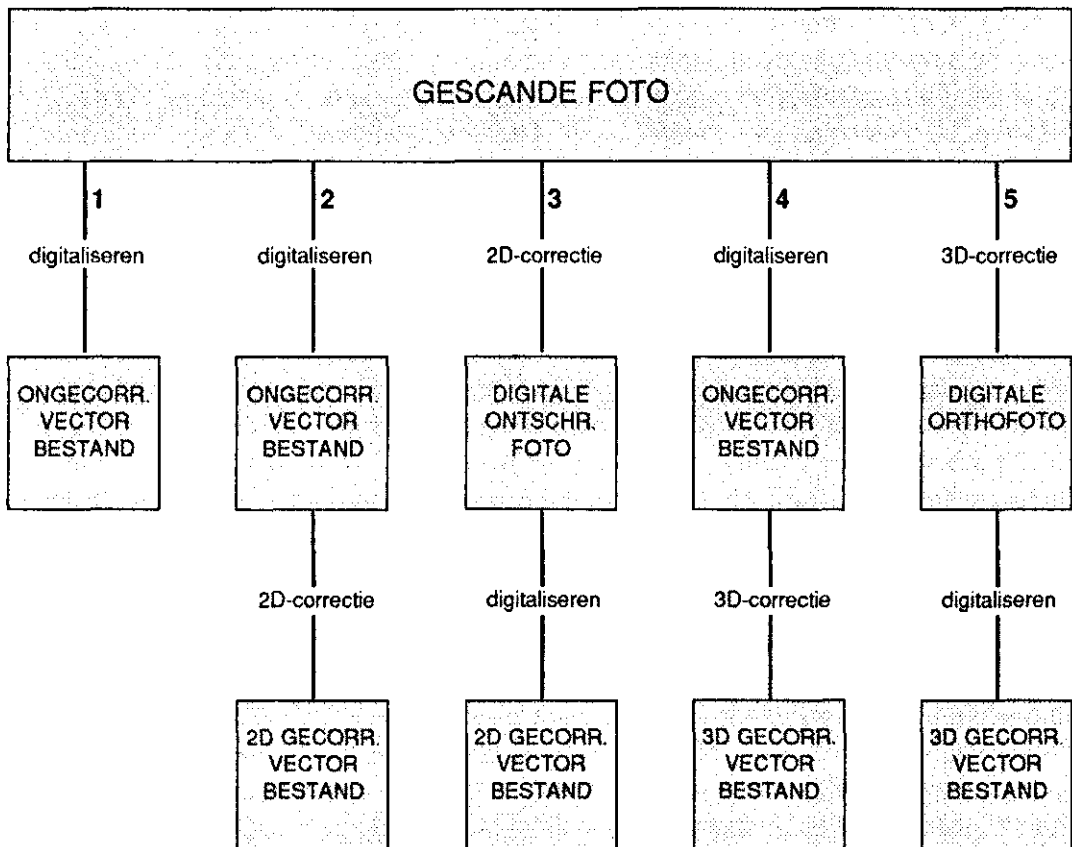
Als er nog geen orthofoto's beschikbaar zijn, dan vraagt methode 1b de meeste rekentijd, terwijl ook een DTM vereist is. Methode 1a vraagt minder rekentijd dan methode 1b, maar de transformatie moet wel steeds herhaald worden. De methoden 1a en 2a hebben als nadeel dat de vectorbestanden niet altijd goed passen op de luchtfoto, maar voor visuele ondersteuning hoeft dit geen probleem te zijn. Methode 2b is met ARC/INFO niet mogelijk en waarschijnlijk ook niet met andere GIS pakketten.

## 2.5.4 Digitaliseren van vectorinformatie

Bij digitaliseren van punten en/of lijnen van een gescande luchtfoto, dus vanaf het beeldscherm, zijn er de volgende mogelijkheden:

1. digitaliseren van een ongecorrigeerd beeld zonder correctie van het gedigitaliseerde vectorbestand;
2. digitaliseren vanaf een ongecorrigeerde foto waarbij naderhand het vectorbestand twee-dimensionaal geometrisch gecorrigeerd wordt;
3. digitaliseren van een digitale ontschrante foto;
4. digitaliseren vanaf een ongecorrigeerde foto waarbij naderhand het vectorbestand drie-dimensionaal geometrisch gecorrigeerd wordt;
5. digitaliseren vanaf een digitale orthofoto.

In figuur 8 zijn de verschillende stappen bij deze vijf methoden schematisch weergegeven. Sinds kort is het ook mogelijk om vanaf een gescand stereopaar op het beeldscherm te digitaliseren. Deze methode is volop in ontwikkeling en is daarom niet meegenomen in het schema.



*Fig. 8 Verschillende methoden om vanaf een gescande foto te digitaliseren*

De eerste methode levert grote problemen op bij periodieke karteringen en bij gebruik met andere vectorbestanden, omdat de bestanden niet goed op elkaar zullen passen. Bij de tweede en de derde methode is de nauwkeurigheid vaak niet optimaal. De vierde en vijfde methode zijn het meest nauwkeurig.

Bij digitaliseren is er sprake van het opbouwen van een nieuw bestand, of van het aanpassen van een verouderd vectorbestand, zoals bijvoorbeeld een verouderde digitale topografisch kaart. Bij het aanpassen van een bestaand vectorbestand moeten dus het bestaande bestand en de luchtfoto beide op het beeldscherm staan.

Digitaliseren van ongecorrigeerde beelden met correctie naderhand (methode 2 en 4) heeft de volgende voordelen:

- het geometrische corrigeren van een gescande foto kost veel meer rekentijd, dan van een vectorbestand (digitaal geografisch bestand);
- bij geometrisch correctie van een gescande foto kan enig informatieverlies optreden, tengevolge van het herberekenen van het pixelraster (resampling). Dit verlies kan voorkomen worden door ervoor te zorgen dat de ongecorrigeerde foto een hogere resolutie heeft dan de gecorrigeerde foto, dus met een hogere resolutie scannen dan voor het resultaat nodig is.

Digitaliseren vanaf orthofoto's (methode 5) heeft de volgende voordelen:

- in reliëfvrije gebieden kan een rechte lijn op een onbewerkte foto een kromme lijn worden op de orthofoto. Indien bij het digitaliseren vanaf de onbewerkte foto de lijn door middel van twee punten vastgelegd wordt, dan zal na transformatie de lijn nog steeds recht zijn, terwijl deze lijn in het terrein niet recht is. Dit kan echter voorkomen worden door meerdere punten op die lijn te digitaliseren. Maar van te voren is niet bekend waar dit verschijnsel zich voor zal doen, zodat of te weinig punten of meer punten dan strikt noodzakelijk worden vastgelegd;
- orthofoto's kunnen gemakkelijk aan elkaar gemonteerd worden, zodat in een groter gebied gedigitaliseerd kan worden. Bij ongecorrigeerde foto's kan alleen per foto gedigitaliseerd worden;
- gebruikers van de foto hoeven zich niet meer te bekommeren om geometrische correctie;
- als een ander vectorbestand als achtergrond bij het digitaliseren gebruikt wordt, of als een vectorbestand aangepast wordt, dan hoeft dit vectorbestand bij gebruik van een orthofoto niet eerst getransformeerd te worden.

Een beeldscherm kan meestal niet alle pixels van een gescande foto gelijktijdig afbeelden. Als men de gehele foto of zelfs meerdere foto's op het beeldscherm wil hebben, voor een totaal overzicht, dan zullen bij het afbeelden van een volledige foto pixels overgeslagen moeten worden. De resolutie wordt dan tijdelijk verkleind. Bij inzoomen moet echter de volledige resolutie van de foto gehaald kunnen worden. Aangezien bij digitaliseren vanaf het beeldscherm veelvuldig ingezoomd moet worden, moet de software in staat zijn om dit snel en soepel te doen.

Digitaliseren kan vanaf een fotoafdruk en vanaf het beeldscherm gedaan worden. Bij digitaliseren vanaf een fotoafdruk kan een nauwkeurigheid van 0.25 mm gehaald worden. Bij een afdruk met schaal 1 : 10 000 is dit 2.5 meter in het veld. Door

gebruik te maken van vergrotingen kan de nauwkeurigheid iets vergroot worden. Bij digitaliseren vanaf het beeldscherm kan door inzoomen in principe de nauwkeurigheid van één pixel gehaald worden. Bij een pixelgrootte van 50  $\mu\text{m}$  (500 dpi) en een schaal van 1 : 10 000 is de nauwkeurigheid 0.5 meter.

#### 2.5.5 Automatische beeldclassificatie

Bij het verkrijgen van thematische informatie uit gescande luchtfoto's doen zich enkele moeilijkheden voor (Han, 1992). Door factoren als bijvoorbeeld schaduw, reflecties, stand van de zon, hoogteverschillen en textuur is de kennis en inzicht van de operateur onmisbaar voor juiste classificatie. Automatische classificatie zoals dat bijvoorbeeld bij satellietbeelden gebeurt, is daardoor voor gescande luchtfoto's een probleem.



### 3 BELANGSTELLING EN GEBRUIKSERVARING BINNEN LNV

Binnen het ministerie LNV worden momenteel bij verschillende activiteiten luchtfoto's gebruikt of wordt overwogen deze te gebruiken. Voor enkele van deze activiteiten bestaan ook plannen om de luchtfoto's te scannen. In dit hoofdstuk wordt hierop ingegaan. Verder wordt beschreven welke gegevens van de luchtfoto's worden afgeleid en welke wensen leven om met gescande luchtfoto's te werken.

Dit hoofdstuk bevat een samenvatting van de uitwerking van de interviews. Dus alleen die onderwerpen die tijdens het interview boven tafel zijn gekomen worden besproken. Pas in de conclusies zijn eigen kanttekeningen geplaatst en commentaren toegevoegd.

#### 3.1 Activiteiten waarbij luchtfoto's gebruikt worden

Bij de Plantenziektenkundige Dienst (PD), Informatie & Kennis Centrum van directie Akker & Tuinbouw (IKC-A&T) en directie Openlucht Recreatie (OR) worden momenteel geen luchtfoto's gebruikt. Bij IKC-A&T worden weinig activiteiten ontplooid waarbij ruimtelijke informatie gebruikt wordt. Bij OR zijn in het verleden wel eens luchtfoto's gebruikt als hulpmiddel bij de interpretatie van de bodemstatistiek, bijvoorbeeld ter beantwoording van een vraag als: "Wordt met 'groen' bermgroen en geluidswallen bedoeld, of grotere elementen?" Bij de afdeling Landschap en Stedelijk Groen van IKC van directie Natuur Bos Landschap en Fauna (IKC-NBLF) worden momenteel geen luchtfoto's gebruikt. Ten behoeve van gebiedskartering is dit ook niet nodig omdat alleen globaal en op landelijk niveau gewerkt wordt.

Deze paragraaf geeft een overzicht van de belangrijkste activiteiten binnen LNV waarbij luchtfoto's gebruikt worden.

##### 3.1.1 Landinrichtingsdienst

Bij de Landinrichtingsdienst (LD) worden luchtfoto's gebruikt voor:

- de inventarisatie van het grondgebruik. Het grondgebruik wordt ingetekend in het veld op 1 : 5 000 vergrotingen van luchtfoto's;
- de bepaling van de perceelsgrenzen voor de 1ste en 2de schatting (bepaling van de waarde van percelen bij een landinrichtingsproject);
- de inventarisatie van wegen en waterlopen;
- ter oriëntatie en als ondergrond om de grondgebruikerssituatie op in te tekenen in het veld;
- tracering van archeologische grondsporen. Dit gebeurt in combinatie met veldwerk en andere bronnen;

- het verkrijgen van een basis bij het uitzetten van raaien bij hoogtemetingen. In de planvorming kan met behulp van een DTM het reliëf bepaald worden. Na het intekenen op de luchtfoto's, worden de lijnen gedigitaliseerd met DIGTOP-LI als digitaal basisbestand. Kavelgrenzen en hartlijnen van wegen die reeds in DIGTOP aanwezig zijn worden gekopieerd, andere lijnen worden toegevoegd.

Praktisch alle karteringen en inventarisaties worden uitbesteed aan onderzoeksinstellingen en ingenieurbureau (ca. 95%).

### 3.1.2 Staatsbosbeheer

Bij Staatsbosbeheer (SBB) werden in het verleden terreinen en de indeling hiervan op ontschrankte luchtfoto's (van TDN) ingetekend en vervolgens gedigitaliseerd. Doordat er geen gebruik werd gemaakt van orthofoto's ontstond een geometrische onnauwkeurigheid. Tegenwoordig wordt gedigitaliseerd vanaf topografische kaarten. Alleen voor natuurgebieden met een grote differentiatie van vegetatie wordt de luchtfoto nog als ondergrond gebruikt. Voor andere gebieden wordt de luchtfoto alleen nog maar gebruikt ter oriëntatie in het veld.

### 3.1.3 IKC-Natuur, Bos, Landschap en Fauna

Bij de afdeling Natuur worden luchtfoto's momenteel niet gebruikt. In het verleden zijn luchtfoto's gebruikt bij zeehondentellingen, door het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (IBN-DLO), en bij het Heimon-(heide monitoring) project (Moen et al, 1991) (zie 3.1.5), projecten waarbij ook NBLF betrokken was.

De afdeling Bos gebruikt luchtfoto's voor de volgende toepassingen:

- via luchtfoto's wordt globaal de boomsoort vastgesteld (naald of loof);
- ter illustratie en beeldvorming bij opname in het veld;
- bij bosreservaten voor het vergelijken van foto's in de tijd. Na het constateren van veranderingen kunnen veldopnames volgen;
- als aanvulling op de topografische kaart. Bijvoorbeeld het al of niet aanwezig zijn van open plekken in het bos;
- ter bepaling van de aard van het bos: "Is het nog steeds hetzelfde oude bos, of bestaat de opstand voornamelijk uit jonge aanplant?" (met de luchtfoto's uit de ROBAS-atlas).

### 3.1.4 DLO-Staring Centrum

Luchtfoto's zijn gebruikt om te inventariseren in hoeverre sloten nog watervoerend zijn. Er deden zich hierbij moeilijkheden voor door zichtbeperking door de

aanwezigheid van vegetatie.

Bij een project in Noord-Holland zou het waterpeil verlaagd worden. Deze peilverlaging heeft gevolgen voor het rottingsproces van de op palen gefundeerde gebouwen in het gebied. Op luchtfoto's werden de lintbebouwingen in beeld gebracht.

In de Biesbosch is een recreatie-onderzoek verricht. Hiertoe werd in vakantietijd 2 tot 4 keer per week in circa 1,5 uur tijd de hele Biesbosch gefotografeerd om tellingen te kunnen verrichten omtrent aantallen vissers en hengels. Hiervoor werden oblique foto's van geringe hoogte gemaakt.

Bij het Remote Sensing onderzoek worden luchtfoto's voornamelijk gebruikt als hulpmiddel bij de interpretatie van vliegtuig- en satellietscannerbeelden. Wanneer een opdracht wordt gegeven om vliegtuigscannerbeelden te maken, dan worden ook luchtfoto's (verticale false-color opnamen) gemaakt, omdat de meerprijs relatief gering is terwijl er veel extra informatie wordt verkregen. Wanneer de afdeling gebruik maakt van satellietopnamen (o.a. radarbeelden van de ERS-1 satelliet, Landsat-TM en SPOT), dan worden van referentiegebieden ook oblique opnamen (in kleur) van geringe hoogte gemaakt. Deze opnamen worden gebruikt bij de interpretatie van de satellietopnamen. Luchtfoto's worden gebruikt ten behoeve van de gewasherkenning en om perceelsgrenzen te kunnen vaststellen hetgeen niet lukt met de gebruikte scannerbeelden.

Samenvattend worden er luchtfoto's bij het RS-onderzoek gebruikt:

- om referentiegegevens te verzamelen voor de interpretatie van vliegtuig- en satellietscannerbeelden;
- voor het digitaliseren van perceelsgrenzen.

Luchtfoto's worden gebruikt ter oriëntering in het veld, bijvoorbeeld voor bodemkarteringen, met name in bossen en natuurgebieden.

In het kader van de Cultuurtechnische Inventarisatie worden in opdracht van de LD door DLO-Staring Centrum (SC-DLO) foto's gebruikt voor het verkrijgen van de volgende informatie:

- grondgebruikerssituatie. De luchtfoto wordt hierbij gebruikt als veldkaart waarop de gebruikerssituatie wordt ingetekend;
- inventarisatie van wegen;
- routebepaling van het perceel naar de boerderij. De tractorsporen zijn op de luchtfoto te zien.

Bij DLO-Staring Centrum wordt gebruik gemaakt van de foto's van TDN, van verticaalopnamen die gelijktijdig met vliegtuigscannerbeelden worden gemaakt en van eigen oblique opnamen.

### 3.1.5 DLO-Instituut voor Bos- Natuuronderzoek

In het Heimon-project werd de mate van heidevergrassing vastgesteld met behulp van RS (Landsat-TM satelliet). Met behulp van luchtfoto's worden verder topografie, plagbanen, vennen, en andere beheersmaatregelen vastgelegd in een GIS. De luchtfoto's zijn afkomstig van TDN.

Voor het project bosreservaten wordt om de tien jaar gevlogen op twee hoogtes voor informatie over:

- het terrein;
- boomkronen.

Met deze luchtfoto's zijn patroonveranderingen te signaleren die niet uit de topografische kaart kunnen worden gehaald omdat de topografische kaart qua volledigheid en te onderscheiden legenda-eenheden niet nauwkeurig genoeg is.

## 3.2 Mogelijke toepassingen van luchtfoto's

Binnen de verschillende instanties bestaan vaak ideeën met betrekking tot het gebruik van luchtfoto's. Deze ideeën zijn soms weinig concreet, omdat de mogelijkheden niet overzien worden. Bij SBB zijn geen nieuwe toepassingsmogelijkheden besproken. IKC-A&T en de OR zien op korte termijn geen eigen toepassingsmogelijkheden. Het IKC-A&T denkt dat mogelijk in de toekomst luchtfoto's dienst kunnen doen bij controles op het naleven van de milieuwetgeving en bij het toekennen van (milieu)-subsidies. Hierbij wordt gedacht aan controles op bemesting en bedrijfsvoering.

### 3.2.1 Landinrichtingsdienst

Bij het inwinnen van informatie ten behoeve van gewasherkenning, hydrologische indicaties en archeologie zouden luchtfoto's informatie kunnen leveren. Voor deze doeleinden zullen false-color foto's in veel gevallen meer informatie kunnen leveren dan gewone zwart-wit foto's.

### 3.2.2 Plantenziektenkundige Dienst

Luchtfoto's zouden gebruikt kunnen worden om de topografische kaart te actualiseren (perceelsgrenzen). Bovendien kunnen luchtfoto's dienst doen bij het inventariseren van gewastype en gewastoeestand (false-color). Jaarlijks wordt een areaal aardappelen van ongeveer 100.000 ha geïnventariseerd. Hiervoor moet een gebied van minimaal 400.000 ha bekeken worden.

### 3.2.3 IKC-Natuur, Bos, Landschap en Fauna

Luchtfoto's zouden voor de afdeling Natuur mogelijk informatie kunnen leveren met betrekking tot veranderingen in kwaliteit en kwantiteit van biotopen (onder andere de ligging) en misschien in beperkte mate zelfs van levensgemeenschappen ("Meetnet Natuur en Landschap"). Verder kunnen luchtfoto's naast de veldwaarnemingen als ondersteuning dienen bij soortopnamen en incidenteel zouden analoge foto's dienst kunnen doen bij lokatiebepalingen.

Bij de afdeling Bos zullen bij de opname van bosreservaten in de toekomst luchtfoto's gebruikt gaan worden om veranderingen door de jaren heen te kunnen constateren (monitoring).

Binnen de afdeling Landschap en Stedelijk Groen bestaan de volgende wensen:

- oblique luchtfoto's zouden gebruikt kunnen gaan worden voor presentatie doeleinden en eventueel in combinatie met gewone foto's voor beschrijving van landschapsbeelden (nog in studie). Ook kunnen er mogelijkheden zijn om archeologische patronen te herkennen met luchtfoto's, ten behoeve van de cultuurhistorie;
- data voor monitoring (al dan niet in meetnetvorm): er is vanuit het beleid belangstelling voor monitoring van het landschap ten behoeve van het Natuurbeleidsplan (meetnet natuur en landschap) en de Beleidsnota Landschap (monitoring landschap);
- thematische studies (ten behoeve van: hydrologie, cultuurhistorie, enz.).

### 3.2.4 DLO-Staring Centrum

De toepassingsmogelijkheden hangen af van de schaal waarop wordt geïnventariseerd. Vooral de kleine waterlopen zijn van belang, omdat die niet op de topografische kaarten staan. Voor waterbalansen (de verdampingscomponent) is van belang:

- de slootdichtheid;
- het oppervlak open water;
- veranderingen in het oppervlakte open water;
- verloop over het jaar van watervoerendheid van sloten (en oppervlak open water);
- topografie, voor zover aanvullend op de topografische kaart en voor de aktualisatie;
- het landgebruik.

Een mogelijke toepassing van luchtfoto's kan liggen bij de bepaling van oppervlakten glas voor het project verstedelijking in glastuinbouwgebieden in het kader van de RROG (Regeling Reconstructie Oude Glastuinbouw).

Er is onderzoek gedaan naar het inventariseren van lineaire beplantingen met behulp van RS beelden. Door de lage resolutie van de beelden bleek dit niet goed mogelijk. De hoop is nu gevestigd op luchtfoto's. Deze informatie is van belang voor de Landschapsecologische Kartering Nederland (LKN). Met zwart-wit luchtfotografie kunnen breedten, hoogten en lengten van lijnvormige elementen bepaald worden. Ook

zouden luchtfoto's gebruikt kunnen worden voor updating van het bestand Oppervlaktewater. Voor de Cultuurhistorische GIS kunnen onder andere oude verkavelingspatronen, oude wegen en oude boerderijen worden geïnventariseerd.

### 3.2.5 DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek

De mogelijkheden met luchtfoto's zijn erg belangrijk voor projecten in het kader van ontwikkelingssamenwerking, vooral als nieuwe techniek bij het digitaliseren. In plaats van de luchtfoto's zelf zijn de scannerbeelden vaak belangrijker, omdat hierbij de spectrale informatie duidelijker is (bijvoorbeeld Caesar of Daedalus scanner). Ook zouden er in de toekomst radarbeelden gebruikt kunnen worden.

## 3.3 Voor- en nadelen van gebruik van luchtfoto's

Het IKC-A&T gebruikt geen luchtfoto's en ziet ook nog geen concrete toepassingsmogelijkheden. Logischerwijs zijn er vanuit IKC-A&T dan ook geen uitspraken gedaan over de voor- en nadelen.

In het interview met IBN-DLO is niet specifiek over de voor- en nadelen gesproken. Binnen IKC-NBLF is alleen met de afdeling Bos over de voor- en nadelen gesproken.

### 3.3.1 Landinrichtingsdienst

Bij de LD bestaat de behoefte om de informatievoorziening goedkoper, betrouwbaarder en sneller te laten worden. De Werkgroep Informatievoorziening Landinrichting heeft de toereikendheid van de huidige informatievoorziening geëvalueerd en aangegeven waar aanpassingen gewenst zijn. De werkgroep stelt onder andere dat luchtfoto's voldoende informatie leveren. Droesen en Jaarsma (1990) stellen dat false-color luchtfoto's meer informatie kunnen leveren dan zwart-wit foto's, met name voor gewasherkenning. Deze foto's zijn echter niet voorhanden. Wanneer de LD toch met false-color luchtfoto's wil gaan werken, dan zullen deze foto's in opdracht van de LD gemaakt moeten worden, waardoor de kosten per luchtfoto hoog worden.

De foto's van de TDN die thans gebruikt worden zijn in de winter gemaakt. Hierdoor is weinig gewasinformatie af te leiden.

De gangbare werkwijze hoeft niet aangepast te worden bij het gebruik van luchtfoto's op het beeldscherm.

### 3.3.2 Staatsbosbeheer

De ontschrante luchtfoto's zijn niet nauwkeurig genoeg voor oppervlaktebepalingen. Ook voor gebruik in een GIS zijn deze luchtfoto's ongeschikt. Bij herziening moeten de kaarten helemaal opnieuw gedigitaliseerd worden, omdat de nieuwe luchtfoto's niet op de oude passen. Bij orthofoto's zal dit probleem zich niet voordoen. Orthofoto's zijn echter te duur.

Een voordeel van luchtfoto's is dat deze een grotere gedetailleerdheid bieden dan de topografische kaart, vooral bij natuurterreinen. Bovendien zijn de topografische kaarten niet altijd actueel.

### 3.3.3 Plantenziektenkundige Dienst

Wanneer luchtfoto's gebruikt zouden kunnen worden, zou dit het veldwerk sterk reduceren. De deelpercelen kunnen in een GIS worden opgeslagen waardoor vergelijking met andere jaren niet meer handmatig hoeft te gebeuren.

De karteerder is tevens onbezoldigd AID ambtenaar en mag daarom proces-verbaal opmaken bij overtredingen. Bij automatische classificatie van aardappelgewassen is er geen controle door een AID ambtenaar geweest. Dit kan consequenties hebben voor de rechtsgeldigheid van eventuele processen-verbaal.

Gewassen mogen absoluut niet ten onrechte als aardappelgewas geclassificeerd worden. Bij een geconstateerde overtreding kan namelijk alleen nog hetzelfde jaar in het veld gecontroleerd worden; er kan niet meer achterhaald worden of er in afgelopen jaren aardappel geteeld is. Steekproeven blijven dus noodzakelijk. Dat sommige velden met aardappel-gewassen niet als zodanig herkend worden is minder erg. Hierbij is een afwijking van 2% acceptabel.

De gegevens afkomstig van luchtfoto's moeten gekoppeld worden aan het Perceels Registratie Systeem (PRS). Tevens moeten de perceelsgrenzen die uit de foto komen passen op de topografische kaart.

### 3.3.4 IKC-Natuur, Bos, Landschap en Fauna

Een nadeel van het gebruik van luchtfoto's is het beperkte zicht door boomkruinen, waardoor herkenningspunten als bospaden slecht of niet te zien zijn. Omdat de plaatsbepaling van de steekproefpunten plaatsvindt met deze herkenningspunten zijn de steekproefpunten moeilijk te lokaliseren.

Opname in het veld blijft noodzakelijk vanwege de precisie (bijvoorbeeld voor stamdiktes groter dan 5 centimeter wordt de exacte plaats bepaald).

Opname met behulp van (gescande)luchtfoto's zou financieel uit moeten kunnen, omdat in de bosstatistiek nu erg veel manjaren zitten.

### 3.3.5 Directie Openlucht Recreatie

Voordelen van het gebruik van luchtfoto's zouden kunnen zijn:

- beter inzicht in het grondgebruik;
- inzicht in de aantallen recreanten, op welke plek en in welke gebieden. Hierbij gaat het vooral om de kwetsbare gebieden in de relatie recreatie - natuur.

Het gebruik van luchtfoto's en hulpmiddelen vereist een financiële investering. De luchtfoto's zullen echter alleen op ad hoc basis worden gebruikt.

### 3.3.6 DLO-Staring Centrum

Een belangrijk voordeel van luchtfoto's is dat hier informatie uit te verkrijgen is, die op andere manieren vaak niet te krijgen is. Luchtfoto's kunnen een additionele of zelfs vervangende waarde hebben voor (thematische-)kaarten en veldopnamen. De belangrijkste informatie waarvoor dit geldt zijn:

- perceelsgrenzen;
- (vnl. lineaire) landschappelijke beplantingen;
- lokaties glastuinbouw.

## 3.4 Ervaringen met en mogelijke toepassingen van gescande luchtfoto's

Binnen IBN-DLO wordt al ervaring opgedaan met het scannen van luchtfoto's. De andere instanties hebben deze ervaring niet, maar bij veel instanties leeft (al dan niet terecht) de gedachte dat het gebruik van gescande luchtfoto's bepaalde wensen zou kunnen vervullen. De OR heeft geen directe belangstelling. Bij de LD, bij kaartproductie op de afdeling Kartografie bestaat belangstelling voor het gebruik van luchtfoto's op het beeldscherm als achtergrond bij digitale kaarten. Het is hierbij niet de bedoeling dat vanaf het beeldscherm gedigitaliseerd wordt. De PD hoopt dat met gescande foto's de gewasclassificatie automatisch kan worden uitgevoerd. De PD heeft ook behoefte aan luchtfoto's als achtergrondplaatje. Nu moeten de perceelsgrenzen op de verouderde topografische kaarten in het veld bijgewerkt worden, met het gebruik van gescande luchtfoto's kan dit op het scherm gebeuren.

### 3.4.1 Staatsbosbeheer

Indien gescande en geometrisch gecorrigeerde luchtfoto's beschikbaar zouden zijn,



dan zouden deze naast of in plaats van de topografische kaarten als ondergrond voor de overzichtskaarten kunnen worden gebruikt.

### 3.4.2 IKC-Natuur, Bos, Landschap en Fauna

De afdeling Natuur heeft over het gebruik van gescande luchtfoto's de volgende gedachten:

- wanneer luchtfoto's gebruikt gaan worden zou het wenselijk zijn deze digitaal beschikbaar te krijgen. De eisen ten aanzien van precisie zijn projectafhankelijk. Met betrekking tot de actualiteit worden in afnemende mate eisen gesteld vanuit onderzoek, op technisch niveau, op beheersniveau en op beleidsniveau;
- luchtfoto's op het beeldscherm zouden gebruikt kunnen worden als achtergrond in een GIS;
- gescande luchtfoto's zouden gebruikt kunnen worden voor het project bosreservaten en opname ten behoeve van de vijfde bosstatistiek, voor het corrigeren en inbrengen van grenzen.

Volgens de afdeling Bos zou gebruik en scanning van luchtfoto's en de opbouw van een GIS stuk kunnen lopen op de vereiste investeringen, al zou het zichzelf over langere periode waarschijnlijk terugbetalen, omdat veel manjaren aan veldmetingen uitgespaard kunnen worden.

### 3.4.3 DLO-Staring Centrum

Op de afdeling Informatievoorziening Landelijke Gebieden bestaan plannen om met behulp van gescande luchtfoto's perceelsgrenzen vanaf het scherm te digitaliseren. Ook bij de afdeling RS bestaat hier belangstelling voor. Daarnaast is bij de afdeling RS belangstelling voor het geautomatiseerd verkrijgen van referentiegegevens voor de interpretatie van zowel vliegtuig- als satellietscannerbeelden. Er zijn echter nog nooit concrete projectvoorstellen gedaan waarin het scannen van luchtfoto's werd voorgesteld.

### 3.4.4 DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek

Gescande luchtfoto's werden gebruikt voor kartering van de vegetatieontwikkeling in kwelders bij Terschelling. Deze kartering vond plaats om biomassaveranderingen te detecteren ten gevolge van begrazing door ganzen. Op drie tijdstippen in de maanden maart tot mei werd gevlogen en gefotografeerd met false-color.

Ook van de Weerribben en de Wieden zijn gescande luchtfoto's aanwezig. Onderzocht is de overeenkomst tussen textuurverschillen op de foto en de diversiteit van vegetatie in het terrein. Ditzelfde is gebeurd voor enkele bosgebieden. Voor de Weerribben

zijn ook Caesar (= een vliegtuigscanner) beelden gebruikt. Hierbij is een kleurenfoto gescand en met ERDAS is geprobeerd textuurkenmerken te bepalen. Het resultaat is vergeleken met visuele interpretatie van de foto.

Voor het Heimon-project is een gebied vanaf het beeldscherm gedigitaliseerd. Hetzelfde gebied is ook gedigitaliseerd vanaf de analoge foto met behulp van het monoplotsysteem (Molenaar and Stuiver, 1987). Voornamelijk vanwege problemen bij het inzoomen kreeg het digitaliseren vanaf de analoge foto de voorkeur.

### 3.5 Conclusies

Bij de instanties waar gewerkt wordt met ruimtelijke gegevens, wordt of werd in min of meerdere mate gewerkt met luchtfoto's. Informatie uit luchtfoto's wordt voor de volgende doeleinden gebruikt:

1. verkrijgen van geometrische informatie ter aanvulling of actualisatie van topografische kaarten (perceelsgrenzen, lineaire beplantingen, enz.);
2. verkrijgen van thematische informatie (gewastype, gewastoeestand, enz.) en visuele interpretatie van het landschap;
3. als ondergrond voor veldinventarisatie;
4. voor tellingen en toestandsopnamen op bepaalde tijdstippen (monitoring);
5. ter oriëntatie in het veld;
6. om het veldwerk te plannen.

Foto's worden binnen LNV weinig gebruikt voor doeleinde 1, omdat de foto's geometrisch niet correct zijn. Ze passen niet op de topografisch kaart. Alleen IBN heeft ervaring met digitaliseren vanaf de luchtfoto, waarbij geometrisch gecorrigeerd is. Binnen LNV is wel behoefte om meer geometrische informatie uit luchtfoto's te verkrijgen. IBN-DLO heeft ook als enige instelling binnen LNV ervaring opgedaan met scannen van luchtfoto's.

De informatie voor de doeleinden 1, 2 en 3 wordt meestal in een GIS vastgelegd. Dit houdt in dat de informatie uit de luchtfoto digitaal vastgelegd moet worden. Bij doeleinden 2 en 3 wordt de thematische informatie uit de luchtfoto of uit het veld gekoppeld aan een digitaal topografisch bestand.

Wanneer voldoende thematische informatie uit de luchtfoto gehaald kan worden, kan er op het veldwerk bespaard worden. Er wordt hierbij ook aan automatische classificatie gedacht. De actualiteit van de luchtfoto's speelt hierbij een grote rol.

Voor veel instanties is het laten uitvoeren van een fotovlucht te duur. Ook wordt een orthofoto te duur gevonden. Wanneer een instantie overstapt op een nieuwe manier van ruimtelijke informatie inwinning, dan zal dit financiële consequenties hebben. Voor een aantal instanties zal dit een te hoge drempel kunnen betekenen.

## 4 GEBRUIKSERVARING BUITEN LNV

Om te onderzoeken op welke wijze luchtfoto's gebruikt kunnen worden voor het inwinnen van digitale ruimtelijke informatie en de rol die scannen hierbij speelt, zijn verschillende instellingen buiten LNV bezocht waar ervaring is opgedaan met deze manier van informatievoorziening.

In dit hoofdstuk komen de activiteiten aan de orde waarbij het verkrijgen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's een belangrijke rol speelt. Er wordt verder ingegaan op de kenmerken van de gebruikte opnamen en de werkwijze bij het verkrijgen van digitale bestanden. Bij veel van deze activiteiten speelt scannen van de foto een belangrijke rol. Hieraan is dan ook de nodige aandacht besteed.

### 4.1 Inwinning van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's

#### 4.1.1 Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat

MD-RWS doet een groot aantal karteringen voor met name Rijkswaterstaat. Hierbij zijn een aantal topografische produkten op basis van luchtfoto's vervaardigd. Deze produkten zijn:

- strandprofielen van de Nederlandse kust met een interval van 200 m en ongeveer 600 m landinwaarts;
- overzichtskaarten van het kustgebied met hoogtelijnen, topografie en administratieve gegevens. Schaal 1 : 2000;
- grootschalig digitaal topografisch bestand van Rijkswegen. De nauwkeurigheid komt overeen met schaal 1 : 1000;
- digitale bestanden van rivieren. De nauwkeurigheid komt overeen met schaal 1 : 5000 voor de benedenrivieren en 1 : 2500 voor de bovenrivieren;
- digitale bestanden van vegetatie op verschillende schaal (met behulp van false-color foto's).

Voor de meeste van deze produkten zijn gescande foto's gebruikt. Om na scannen een geometrisch correct GIS-bestand op te kunnen bouwen, zijn ook nog de volgende produkten vervaardigd:

- ontschrante foto's (twee-dimensionaal geometrisch gecorrigeerd);
- digitale terreinmodellen (DTM's) ;
- orthofoto's (drie-dimensionaal geometrisch gecorrigeerd).

Door de ervaring die de MD-RWS heeft opgedaan met het vervaardigen van de laatste drie produkten, kunnen deze ook voor derden ontwikkeld worden.

Vervaardiging van digitale vectorbestanden (GIS bestanden) gebeurt met stereoscopische meetinstrumenten en met een digitale orthofoto vanaf het beeldscherm. Aan beide methoden is aerotriangulatie voorafgegaan.

Digitale ontschrankingen worden vervaardigd door een gescande foto digitaal te transformeren, waarbij gebruik gemaakt wordt van:

- oriënteringsparameters van de luchtfoto's afkomstig uit aerotriangulatie;
- horizontale terreincoördinaten (X en Y) van een aantal punten waarvan ook de fotocoördinaten bekend zijn. Deze gegevens zijn afkomstig uit de aerotriangulatie of van een kaart.

Digitale orthofoto's worden vervaardigd door een gescande foto digitaal te transformeren, waarbij gebruik gemaakt wordt van:

- oriënteringsparameters van de luchtfoto's afkomstig uit aerotriangulatie;
- de horizontale en verticale terreincoördinaten (X,Y en Z) van een aantal punten waarvan ook de fotocoördinaten bekend zijn (ook afkomstig uit aerotriangulatie);
- een DTM voor informatie over "reliëfverplaatsing"

Een DTM wordt vervaardigd door hoogtemetingen in een stereoscopisch meetinstrument. Er wordt momenteel ook onderzoek gedaan naar een geautomatiseerde procedure waarbij gebruikt gemaakt wordt van een gescand stereopaar.

#### 4.1.2 Topografische Dienst Nederland

Bij TDN worden twee belangrijke activiteiten uitgevoerd waarbij luchtfoto's gebruikt worden:

- vervaardigen van topografische kaarten. Sinds kort worden hierbij gescande luchtfoto's gebruikt;
- bepalen van bebouwingsvolumes. Hierbij worden geen gescande luchtfoto's gebruikt.

Het digitaliseren van lijnen gebeurt in de volgende stappen:

- lijnen die in het bestand moeten komen, worden eerst op de foto ingetekend;
- de foto wordt gescand;
- op het beeldscherm worden de lijnen gedigitaliseerd;
- de vectoren (in fotocoördinaten) worden vervolgens getransformeerd naar RD-coördinaten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van dezelfde gegevens als bij het vervaardigen van digitale orthofoto's (zie werkwijze MD-RWS). Het DTM dat hierbij gebruikt is, is een 25 x 25 m grid dat is ontstaan door interpolatie van hoogtelijnen en enkele punten met bekende X,Y en Z waarde, afkomstig uit aerotriangulatie.

#### 4.1.3 ITC

Bij het ITC wordt voor onderwijsdoeleinden veel met luchtfoto's gewerkt. Er zijn echter nog maar een tweetal proefprojecten uitgevoerd waarbij met gescande luchtfoto's gewerkt is. Deze projecten zijn:

- bepalen van bebouwde gebieden in Thailand;
  - bepalen van perceelsgrenzen in landbouwgebieden (Biddinghuizen en omgeving).
- Bij het ITC is niet gevraagd naar andere methoden om op geautomatiseerde wijze informatie uit luchtfoto's te verkrijgen.

Bij het ITC zijn luchtfoto's van Biddinghuizen gescand en vervolgens georthogonaliseerd. Hierbij is het pakket ILWIS gebruikt. Vervolgens zijn op het beeldscherm de perceelsgrenzen gedigitaliseerd.

Bij de foto's van Thailand waren geen randmerken (op de foto) en geen paspunten (in het terrein) aanwezig. Hierdoor kon geen aerotriangulatie worden uitgevoerd. De foto's zijn na het scannen met het ILWIS systeem getransformeerd naar de geometrie van een satellietbeeld van dat gebied. Hierbij werden verschillende overeenkomstige punten op zowel de foto als het satellietbeeld aangewezen. Daarna is vanaf het beeldscherm gedigitaliseerd.

#### 4.1.4 Eurosense

Naast het uitvoeren van fotovluchten worden bij Eurosense ook foto's bewerkt voor verschillende opdrachtgevers. De volgende activiteiten kunnen hierbij onderscheiden worden:

- vervaardigen van orthofoto's met name van Hamburg en Vlaanderen;
- vervaardigen van digitale geografische en kartografische bestanden zoals o.a. vastgoedinformatie voor gemeenten en vegetatiekaarten.

Bij deze activiteiten worden gescande luchtfoto's gebruikt. De bewerkingen bij Eurosense komen sterk overeen met die bij MD-RWS.

#### 4.1.5 Centraal Bureau voor de Statistiek

Bij het CBS worden luchtfoto's gebruikt om veranderingen in bodemgebruik te signaleren. De veranderingen worden vervolgens ingetekend op de bodemgebruikskarten, waarvan ca. 55% in digitale vorm beschikbaar is. De luchtfoto's worden hierbij alleen visueel gebruikt. Er worden dus geen terreincoördinaten vanaf de luchtfoto gemeten. Er is dan ook geen ervaring met gebruik van gescande luchtfoto's. In de nabije toekomst wil het CBS echter overgaan naar een meer geautomatiseerde methode. Bij het CBS worden luchtfoto's nog alleen visueel gebruikt.

#### 4.1.6 KLM-Aerocarto

Evenals bij Eurosense, worden bij KLM-Aerocarto, naast het uitvoeren van fotovluchten, de foto's ook bewerkt voor verschillende opdrachtgevers. De

belangrijkste activiteit hierbij is het vervaardigen van digitale geografische en kartografische bestanden zoals o.a. vastgoedinformatie voor gemeenten en vegetatiekaarten. Ook is een kaart vervaardigd van bomkraters na een bombardement in 1944. Hiervoor is luchtfotomateriaal van de Royal Air Force (RAF) van vlak na het bombardement gebruikt. Tevens zijn van die foto's ook loopgraven gedigitaliseerd. Deze informatie was nodig voor het opsporen van munitie en niet ontplofte bommen in een stadsuitbreidingsgebied bij Venlo. Voor het opsporen van "bommen en granaten" is gebruik gemaakt van gescande luchtfoto's. Veel andere karteringen gebeuren met stereoscopische meetinstrumenten (analoge en analytische plotters), waarvoor geen gescande luchtfoto's nodig zijn.

De digitale bestanden die KLM-Aerocarto maakt, worden vervaardigd met een stereoscopisch meetinstrument. Bij het vervaardigen van de kaart met bomkraters is echter als volgt te werk gegaan:

- scannen van de RAF foto's;
- aanwijzen van punten op de gescande foto waarbij de terreincoördinaten worden opgegeven. Deze coördinaten zijn afkomstig van topografische kaarten;
- transformeren van de foto. Hierbij wordt een digitale ontschanking uitgevoerd;
- digitaliseren van de bomkraters;
- bestand van bomkraters samenvoegen met digitale topografische kaart van het gebied en vervolgens plotten.

#### 4.1.7 Hansa Luftbild

Naast het uitvoeren van fotovluchten, vervaardigt Hansa Luftbild ook digitale geografische en kartografische bestanden voor verschillende opdrachtgevers. Voor de gemeente Nijmegen is een digitale kaart met vastgoedinformatie geactualiseerd met behulp van een gescande luchtfoto.

Ook bij Hansa Luftbild worden de meeste digitale bestanden met stereoscopische meetinstrumenten vervaardigd. Bij het project Nijmegen is als volgt te werk gegaan:

- de 1 : 5 000 kleurenfoto's werden met een factor 2 vergroot en vervolgens gescand met een resolutie van 1000 dpi (= 25  $\mu$ m) en 256 grijswaarden per kleur;
- de luchtfoto's werden getransformeerd naar orthofoto's. Hierbij is een eenvoudig DTM gebruikt, dat is berekend uit 25 hoogtepunten. Door met grotere pixels te werken werd de resolutie van de orthofoto een factor 4 kleiner dan de oorspronkelijke gescande foto;
- de orthofoto's werden samen met de vectorkaart (GIS bestand) op het beeldscherm gezet;
- veranderingen in de topografie werden op het beeldscherm aangepast. Bij het digitaliseren bleek een nauwkeurigheid groter dan 30 cm in het terrein niet haalbaar te zijn.

#### 4.1.8 ROBAS

ROBAS geeft boeken uit met luchtfoto's van heel Nederland. Tot nu toe zijn dit zwart-wit foto's. ROBAS is inmiddels begonnen met het maken van kleurenfoto's voor heel Nederland. Deze foto's zijn dan ook door derden te gebruiken tegen relatief lage kosten. ROBAS is niet van plan om alle foto's te scannen, maar gescande foto's zullen wel bij hun besteld kunnen worden. Het ligt in de bedoeling om elke 2 jaar nieuwe foto's te laten maken. ROBAS ontleent geen informatie uit luchtfoto's.

#### 4.2 Kenmerken van opnamen

Zwart-wit films worden hoofdzakelijk voor opnamen voor TDN gebruikt. De TDN foto's worden door veel andere instellingen gebruikt, zoals CBS en ITC. De meeste opnamen worden met kleurenfilms gemaakt. Vooral voor vegetatiekarteringen is het belangrijk om kleurenfilms te gebruiken. Voor vegetatiekarteringen, bijvoorbeeld voor het bepalen van de vitaliteit van bomen, worden ook false-color films gebruikt. KLM-Aerocarto bekijkt momenteel de mogelijkheid om voor heel Nederland false-color foto's te kunnen maken.

Bij de MD-RWS wordt voor de karteringswerkzaamheden gebruik gemaakt van zwart-wit, kleur en false-color foto's.

Schaal van de opnamen:

- de opnamen voor de topografische kaarten van TDN zijn gemaakt met een brandpuntsafstand van 21 cm, een vlieghoogte van 3800 meter en een schaal van 1 : 18 000;
- de opnamen voor het bebouwingsproject van TDN zijn gemaakt met een brandpuntsafstand van 15 cm, een vlieghoogte van 2700 meter en een schaal van 1 : 18 000;
- de opnamen voor MD-RWS zijn gemaakt op een schaal 1 : 5000 met een vlieghoogte van circa 600 meter. Sporadisch worden close-range foto's gemaakt, bijvoorbeeld ten behoeve van deformatiemetingen. De brandpuntsafstand van de lens bedraagt in het algemeen 153 mm;
- ROBAS is van plan om de opnamen op een schaal 1 : 12 000 te laten maken;
- Eurosense, KLM-Aerocarto en Hansa Luftbild maken voor veel verschillende projecten fotovluchten op verschillende schaal.

Opnamen voor topografische karteringen worden in het algemeen van maart tot mei gemaakt, omdat in die periode het minste blad aan de bomen zit. Voor vegetatieopnamen worden van juni tot augustus opnamen gemaakt. Voor MD-RWS wordt in de volgende periodes gevlogen: maart-mei voor topografische vluchten, juni-augustus voor vegetatie vluchten en maart-augustus voor strandprofielen. De fotovluchten worden uitbesteed.

Frequentie van de opnamen:

- 1 x per 3 jaar voor bebouwingsproject van TDN;
- 1 x per 4, 6 of 8 jaar afhankelijk van het gebied, voor eigen kartering van TDN;

- 1 x 2 jaar voor de toekomstige opnamen van ROBAS, waarbij om de twee jaar in de zomer en in het voorjaar/winter wordt gevlogen;
- 1 x per 7 à 8 jaar voor opnamen van MD-RWS.

#### 4.3 Scannen

Bij de geïnterviewde instellingen werden verschillende typen scanners gebruikt. Niet elke instelling heeft een eigen scanner. De prijs van de scanner is afhankelijk van de mogelijkheden, zoals kleur of zwart-wit, maximale resolutie en maximaal formaat van de foto. Voor een geavanceerde scanner kan de prijs oplopen tot enkele tonnen.

Bij de volgende instellingen is het type scanner ter sprake geweest:

- TDN: Optronix 40 x 40 inch. Max. resolutie is 2000 dpi (12  $\mu$ m);
- ITC:
  - . AGFA 2000 Focus II (A4 formaat). Max. resolutie is onbekend;
  - . Zelfgebouwde scanner (ca. 15 x 15 cm). Max. resolutie is 5000 dpi (5  $\mu$ m). Deze scanner is echter nog niet gebruikt voor het scannen van luchtfoto's;
- Eurosense en MD-RWS: Wild/Leica scanner;
- Hansa Luftbild: ANA Tech Eagle 4050 en een Optronix 5040;
- KLM-Aerocarto: Eagle en een Optronix.

Resolutie bij scannen:

- TDN: de foto's worden met een beperkte resolutie gescand (250 dpi = 100  $\mu$ m). De reden hiervan is dat de resolutie van het beeldscherm beperkt is. Hoe hoger de resolutie waarmee gescand wordt, hoe kleiner het deel van de foto die op het scherm past. De kwaliteit van het (digitale) fotobeeld is wel wat lager, maar de ingetekende informatie is nog goed te onderscheiden;
- ITC: 90 dpi (270  $\mu$ m) op de AGFA scanner. Deze resolutie komt overeen met een grondresolutie van 5 m. Hierdoor kan het gescande beeld gemakkelijk met SPOT beelden, die een maximale resolutie van 10 meter hebben, bewerkt worden;
- Hansa Luftbild: 1000 dpi (= 25  $\mu$ m) in kleur op de Optronix. Bij vervaardiging van de orthofoto is naar een lagere resolutie teruggegaan. Zwart-wit is ook op de ANA Tech Eagle met een resolutie van 400 dpi (= 25  $\mu$ m) gescand;
- Eurosense scant meestal met een resolutie van 650-1000 dpi (= 25 - 40  $\mu$ m);
- MD-RWS scant meestal tussen 500-1000 dpi (= 25 - 50  $\mu$ m);
- KLM-Aerocarto scant meestal met 500 à 600 dpi.

Scannen heeft zowel voor- als nadelen. De volgende voordelen werden genoemd:

- door scannen is het mogelijk digitale orthofoto's te maken. Het maken van analoge orthofoto's is zeer arbeidsintensief en daardoor duurder dan digitale orthofoto's. Met digitale orthofoto's is het ook mogelijk om vanaf het beeldscherm te digitaliseren zonder gebruik te hoeven maken van dure fotogrammetrische apparatuur;
- door scannen is het mogelijk foto's op het beeldscherm te zien;
- door scannen kunnen contrast en helderheid van foto's verbeterd worden;



- door scannen kunnen bepaalde onderdelen van de fotogrammetrie geautomatiseerd worden. Deze automatische technieken zijn echter nog in ontwikkeling;
- met gescande foto's kan het grondgebruik geclassificeerd worden. Hier is nog vrij weinig ervaring mee opgedaan (wel met satellietbeelden).

Als nadelen werden genoemd:

- voor scannen is veel opslagcapaciteit nodig;
- de resolutie van een gescande foto is vrijwel altijd minder groot dan van een originele foto.

#### 4.4 Kosten van opname en bewerking

Informatie over kosten is moeilijk te krijgen. De kosten zijn afhankelijk van de omvang van het project. Bovendien zijn veel geautomatiseerde technieken nog in ontwikkeling. De geïnterviewde personen bij de dienstverlenende instanties waren vaak ook niet op de hoogte van kosten en/of tarieven. Uitgaande van een groter project, dus niet voor één of twee luchtfoto's, kan wel een globale aanduiding van kosten van producten en bewerkingen gegeven worden, zoals de (commerciële) bedrijven deze aanbieden:

- vliegen is sterk afhankelijk van de grootte van het project. Vliegen van heel Nederland in zwart-wit op schaal 1 : 18 000 kost ongeveer f 1.500.000,-. Afdrukken van TDN foto's zijn f 30,- per stuk (zwart-wit). De prijs van luchtfoto's van ROBAS zijn nog niet bekend; de publieksmarkt zal echter het grootste deel van de initiële kosten dekken, zodat de prijs per foto laag zal zijn;
- scannen: f 100,- per foto in zwart-wit en f 250,- per foto in kleur;
- vervaardigen digitaal topografisch bestand: f 12,50 per ha voor landelijk gebied (kartering uit 1 : 18 000 fotografie ten behoeve van 1 : 5000 kaart);
- vervaardigen van een digitale orthofoto: f 2000,- per foto (incl. vliegen en scannen);
- vervaardigen van een DTM: f 700,- per stereomodel.

Als voorbeeld kan een gebied van 5000 ha (10 x 5 km) gekozen worden. Bij een schaal van 1 : 10.000 en 60% overlap in de vliegrichting worden 12 foto's in een strook van 10 km gemaakt. Bij 25% overlap tussen de stroken worden 3 stroken gevlogen. Totaal dus 36 foto's. Voor dit project kunnen globaal de volgende kosten berekend worden bij gebruik van kleurenfoto's:

- vliegen: f 10.000,- á f 15.000,-.

Nadat de foto's zijn gemaakt kunnen de volgende bewerkingen worden uitgevoerd:

- scannen: ongeveer f 9.000,-;
- DTM vervaardiging: ongeveer f 25.000,-;
- vervaardigen van orthofoto's: ongeveer f 35.000,- (exclusief de kosten voor een DTM die hiervoor noodzakelijk is);
- vervaardigen van een digitaal topografisch bestand (met een fotogrammetrisch instrument): f 62.500,-.

## 4.5 Conclusies

Er zijn verschillende bedrijven die in opdracht luchtfoto's maken en deze verder bewerken. Een grote afnemer van luchtfoto's is TDN, die zwart-wit foto's van heel Nederland laat maken. Deze kunnen door derden worden gekocht. Ook ROBAS is van plan om landsdekkend foto's te laten maken. De foto's van ROBAS zullen echter met een hogere frequentie en in kleur worden gemaakt.

De karteringen worden meestal via stereokartering met fotogrammetrische instrumenten verricht. Bij verschillende bedrijven en instanties wordt (vaak sinds kort) gewerkt met gescande luchtfoto's, maar dit gebeurt nog op een beperkte schaal en voor enkele toepassingen. Digitaliseren vanaf beeldscherm met een digitale orthofoto komt steeds vaker voor. Alleen Eurosense levert op grote schaal orthofoto's (met name van Vlaanderen).

Fotogrammetrische bewerkingen zijn vaak complex, tijdrovend en dus duur. De ontwikkelingen op het gebied van geautomatiseerde fotogrammetrische bewerkingen zijn in volle gang. De kosten van fotografie en bewerking variëren en hangen af van gebiedsgrootte en aantal foto's. De kosten van bewerkingen bedragen vaak een veelvoud van de opnamekosten.

De apparatuur waarmee gescand wordt varieert. De meeste bedrijven die scannen voor klanten zeggen afhankelijk van de vraag te kunnen scannen met verschillende resoluties, zowel zwart-wit als kleur. De grootte van de foto en de scanresolutie bepalen de benodigde digitale opslagruimte. Het digitale ruimtebeslag van gescande luchtfoto's levert vaak problemen op.

De topografische kaart is een produkt dat is afgeleid uit luchtfoto's. Voor exacte bepaling van terreincoördinaten is de topografische kaart niet altijd nauwkeurig genoeg, doordat lijnen vaak gegeneraliseerd zijn en omdat niet bekend is in hoeverre er voor reliëfverplaatsing is gecorrigeerd. Vooral voor nauwkeurige (meestal driedimensionale) geometrische correctie van luchtfoto's kunnen de terreincoördinaten van paspunten niet uit de topografische kaart gehaald worden, maar zijn metingen in het terrein noodzakelijk, meestal gevolgd door aerotriangulatie.

## 5 ANALYSE

Binnen het ministerie LNV wordt bij een aantal instanties in min of meerdere mate gebruik gemaakt van luchtfoto's. In tabel 1 zijn de activiteiten aangegeven waarbij routinematig van luchtfoto's gebruik gemaakt wordt of kan worden. Bij de verschillende activiteiten is aangegeven wat de kenmerken van de opname zijn, of het accent ligt op het verkrijgen van thematische of op geometrische informatie en bij welke instanties deze activiteiten plaatsvinden.

*Tabel 1 Huidige en toekomstige activiteiten binnen LNV waarbij routinematig luchtfoto's gebruikt worden*

ACTIVITEIT	GEOMETRIE/ THEMATIEK	KENMERKEN OPNAME	INSTANTIE
monitoring hydrologische situatie	thematiek	false-color	NBLF, SC, LD
bepalen van ligging perceelsgrenzen	geometrie	zwart-wit of kleur	SC, LD, PD, SBB
locatiebepaling punten	geometrie	zwart-wit of kleur buiten groeiseizoen	NBLF
ondergrond voor intekenen gegevens	thematiek	zwart-wit	SC, LD
inventarisatie wegen en waterlopen	geometrie	zwart-wit of kleur buiten groeiseizoen	SC, LD
inventarisatie archeolo- gische objecten	thematiek (geometrie)	zwart-wit of kleur of false-color	LD, NBLF
inventarisatie cultuur- historische objecten	thematiek (geometrie)	zwart-wit of kleur	NBLF, SC
inv. boomsoort/vitaliteit + open plekken	thematiek	false-color	NBLF, SBB
monit. bosreservaten	thematiek	zwart-wit of kleur	IBN, NBLF
monitoren watervoerend- heid waterlopen	thematiek	zwart-wit of kleur	SC
inventarisatie grondgebruik	thematiek	false-color groei- seizoen	LD, PD, SC, SBB
routebepaling perceel- boerderij	geometrie	zwart-wit of kleur	LD
monitoring vergrassing heide	thematiek	false-color groei- seizoen	IBN
inventarisatie lineaire beplantingen	geometrie (thematiek)	zwart-wit of kleur	SC
oriëntatie	n.v.t.	zwart-wit	allemaal

De kenmerken van de opnamen zijn belangrijk voor het mogelijke gebruik van luchtfoto's. Hiervoor gelden de volgende relaties:

- tijdstip van de opname. Voor de meeste doeleinden is het voorjaar de beste periode om opnamen te maken, vanwege de meteorologische omstandigheden (o.a. zonlicht)

en het zicht (nog geen last van zichtbeperking door begroeiing). Wanneer gewasinformatie moet worden ingewonnen, dan is het groeiseizoen de beste tijd. Toestandsopnamen en monitoring kan op elk tijdstip gewenst zijn, afhankelijk van het doel;

- schaal. Het schaalgetal wordt bepaald door de mate van detail dat in de foto nodig is. Het schaalgetal wordt verkregen door een combinatie van vlieghoogte en brandpuntsafstand:  $\text{schaaletal} = \text{vlieghoogte} / \text{brandpuntsafstand}$ ;
- brandpuntsafstand. De standaard brandpuntsafstand is 153 mm. Een grotere brandpuntsafstand (210 mm of 300 mm) kan worden gekozen in combinatie met een grotere vlieghoogte om een fotobeeld te krijgen dat (in het midden van de foto) bij benadering een geometrisch correct beeld geeft, zonder dat verdere bewerkingen nodig zijn. Wanneer de zo verkregen nauwkeurigheid voldoet, dan kan dit een goedkoop alternatief zijn;
- soort film. De mogelijkheden zijn zwart-wit, kleur of false-color. Kleur kan in sommige gevallen meer informatie geven dan zwart-wit (met name grondgebruik). False-color geeft het meeste informatie over de hydrologische toestand en gewastype en -toestand.

Binnen LNV worden vooral de zwart-wit foto's van TDN als basismateriaal gebruikt, omdat deze foto's tegen geringe kosten verkregen kunnen worden. Ook wordt wel eens een eigen opdracht tot een fotovlucht gegeven, bijvoorbeeld wanneer de foto's van TDN qua actualiteit of schaal niet voldoen. In dat geval liggen de kosten per foto veel hoger. Eind 1992 zullen er waarschijnlijk voor heel Nederland kleurenfoto's door ROBAS op de markt gebracht worden. ROBAS is van plan deze foto's met een cyclus van twee jaar uit te brengen. Voor veel toepassingen zal dit een uitstekend alternatief voor de TDN foto's zijn.

Uit tabel 1 blijkt dat er binnen LNV zowel behoefte is aan geometrische als aan thematische informatie. Bij activiteiten gericht op het verkrijgen van thematische informatie, ligt de geometrie reeds vast op een kaart of in een digitaal ruimtelijk bestand. Bij activiteiten waarbij het accent ligt op het verkrijgen van geometrische informatie gaat het om het vastleggen van lijnen, vlakken of punten op een kaart of een digitaal ruimtelijk bestand. De thematische informatie die bij die lijnen, vlakken of punten hoort komt natuurlijk ook uit de foto, eventueel aangevuld door andere inventarisaties.

Voor het verkrijgen van thematische informatie kan gebruik gemaakt worden van visuele interpretatie van een originele analoge foto of een gescande foto op het beeldscherm. Hierbij is het niet nodig dat de foto geometrisch gecorrigeerd is. Indien de thematische informatie aan een digitaal ruimtelijk bestand wordt toegevoegd, is het niet noodzakelijk dat de foto op het beeldscherm staat. Alleen als de foto in combinatie met andere digitale ruimtelijke bestanden gebruikt wordt, dient de foto op het beeldscherm getoond te worden en moet dus eerst gescand worden. In dit geval kan het beste met een digitale orthofoto gewerkt worden. Ook voor automatische classificatie is een gescande foto nodig, maar er doen zich hierbij nog zoveel problemen voor, dat deze werkwijze in de nabije toekomst niet gebruikt zal worden.

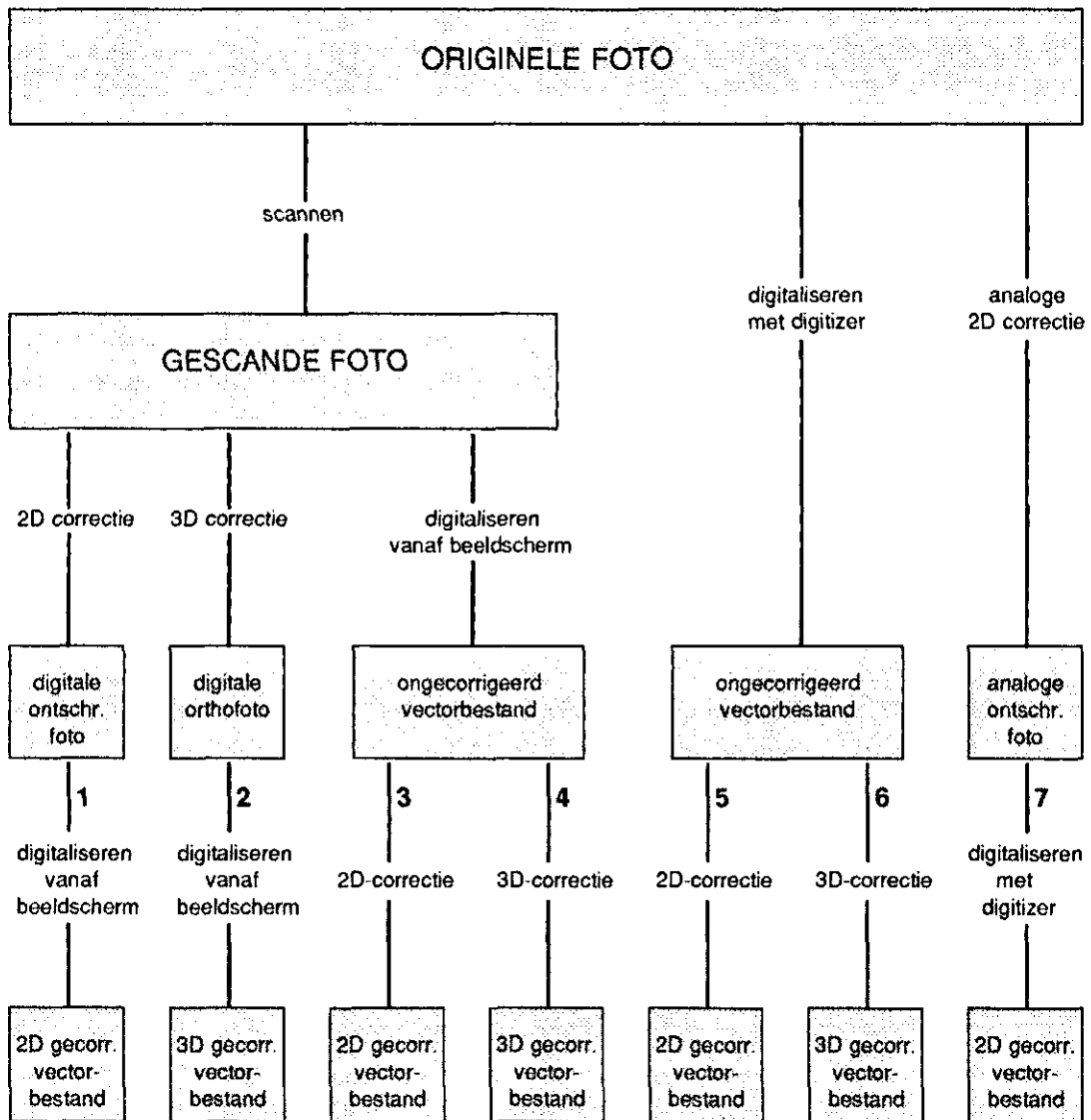
Door scannen kan het detail in een foto verminderen, waardoor het moeilijker kan zijn om thematische informatie vanaf het beeldscherm te verkrijgen dan vanaf de originele foto. Het verlies van detail heeft vooral te maken met de resolutie van de gescande foto. Het is nog niet duidelijk in hoeverre de resolutie invloed heeft op het verkrijgen van thematische informatie.

De problemen met het verkrijgen van thematische informatie hebben met name betrekking op de beschikbaarheid van het juiste fotomateriaal, waarbij ouderdom van de foto, geschikt seizoen, beschikbaarheid van kleuren of false-color foto's en soms de schaal van de foto een belangrijke rol spelen. Voor het verkrijgen van het juiste fotomateriaal moet in bepaalde gevallen apart gevlogen worden en dat wordt vaak te duur gevonden. De kosten voor bewerking en interpretatie zijn echter in veel gevallen aanzienlijk hoger dan de opnamekosten. Binnenkort zullen er recente kleurenfoto's door ROBAS op de markt gebracht worden. Deze foto's zijn relatief goedkoop en zullen waarschijnlijk een belangrijke stimulans geven aan het gebruik van luchtfoto's.

De grootste problemen doen zich voor bij het verkrijgen van geometrische informatie. De geometrische informatie die tot nu toe uit foto's verkregen werd binnen LNV, blijkt vaak niet nauwkeurig genoeg te zijn. Dit komt omdat de verkregen informatie vrijwel nooit drie-dimensionaal geometrisch gecorrigeerd wordt. Enerzijds is er onvoldoende kennis en apparatuur aanwezig binnen LNV om zelf drie-dimensionale geometrische correcties uit te voeren, anderzijds zijn drie-dimensionaal gecorrigeerde foto's (orthofoto's) nog niet als standaard produkt verkrijgbaar en zijn dus duur. Twee-dimensionaal gecorrigeerde (ontschrankte) foto's van TDN zijn wel tegen redelijke kosten beschikbaar, maar zijn voor bepaalde toepassingen te onnauwkeurig. De grootste behoefte aan geometrische informatie betreft perceelsgrenzen en vergelijkbare topografische informatie.

Er zijn verschillende mogelijkheden voor het verkrijgen van geometrische informatie uit luchtfoto's. Voor LNV is stereokartering niet relevant, omdat dit investering in dure apparatuur vereist en er specialistische kennis nodig is. Enkelbeeldkartering kan uitgevoerd worden met apparatuur die ook voor GIS toepassingen gebruikt wordt. Dit vereist geen of minder hoge investeringen in apparatuur. Bij enkelbeeldkartering kan zowel vanaf het beeldscherm als vanaf een analoge foto gedigitaliseerd worden. Hierbij kan de geometrische correctie voor of na het digitaliseren plaatsvinden. Deze vier methoden zijn reeds in figuur 4 weergegeven. De geometrische correctie kan zowel twee-dimensionaal (zonder correctie voor hoogteverschillen) als drie-dimensionaal (met correctie voor hoogteverschillen) zijn. In totaal zijn er dus acht verschillende methoden mogelijk. Orthofotovervaardiging gebeurt momenteel digitaal, zodat de analoge methode afvalt. Bij digitaliseren vanaf een analoge foto ontbreekt de mogelijkheid om de foto op het beeldscherm te tonen, maar vanuit kosten oogpunt zou deze methode toch bruikbaar kunnen zijn. De voor LNV bruikbare methoden worden in figuur 9 schematisch weergegeven.

Twee-dimensionale correctie is in bepaalde gevallen te onnauwkeurig. De mate van onnauwkeurigheid heeft enerzijds te maken met het soort toepassing en anderzijds met de hoogteverschillen in het terrein. Voor algemeen gebruik heeft drie-



*Fig. 9 Verschillende methoden van inwinning van geometrische informatie vanaf een originele luchtfoto. Stereokartering en analoge orthofotovervaardiging zijn buiten beschouwing gelaten.*

dimensionale correctie daarom de voorkeur. Hierbij heeft het digitaliseren vanaf een digitale orthofoto verschillende voordelen ten opzichte van digitaliseren vanaf een ongecorrigeerde foto. Het is belangrijk dat bij gebruik van een orthofoto de gebruiker zich niet meer hoeft te bekommeren om de geometrische correctie. Orthofoto's zijn momenteel nog niet als standaardproduct te verkrijgen. Daarom dient het vervaardigen van orthofoto's uitbesteed te worden of centraal binnen LNV uitgevoerd te worden. Het is daarom moeilijk om de kosten van orthofoto's te bepalen. Het zelf uitvoeren vereist een krachtige computer. Voor het vervaardigen van een orthofoto dient de originele foto eerst gescand te worden. Dit scannen kan uitbesteed worden. Tevens is een DTM nodig van het gebied dat op de foto is afgebeeld. Een DTM kan vervaardigd worden door digitaliseren van de hoogtekaart of door metingen met een

fotogrammetrisch instrument. Tevens wordt bij MD-RWS onderzoek gedaan om een DTM geautomatiseerd uit gescande luchtfoto's te vervaardigen. DTM-vervaardiging met een fotogrammetrisch instrument is voor LNV niet relevant om dezelfde redenen die gelden voor stereokartering.

Het opslaan van gescande foto's voor heel Nederland is met de huidige stand van de techniek moeilijk uitvoerbaar, omdat hiervoor een gigantische opslagcapaciteit vereist is. De benodigde opslagcapaciteit wordt bepaald door de schaal en resolutie van de foto, gebruik van kleuren- of zwart-wit foto's en de beschikbare technieken voor datacompressie. Voor een gebied van enkele duizenden hectares (10 à 20 foto's), schaal 1 : 18 000 vormt de opslag van data geen probleem. Voor 10 kleurenfoto's is circa 1 à 2 Gb diskruimte nodig.

De verwachting is, dat het inwinnen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's zal toenemen. De volgende zaken hebben hier invloed op:

- er komt een digitaal topografisch basisbestand beschikbaar voor heel Nederland. Dit bestand zal gebruikt worden voor opbouw van andere geografische bestanden. Luchtfoto's kunnen daarbij extra informatie leveren of gebruikt worden voor actualisatie van het bestand;
- er komen binnenkort regelmatig recente luchtfoto's beschikbaar;
- computers worden steeds krachtiger en de opslagcapaciteit wordt steeds groter, waardoor het gemakkelijker wordt om luchtfoto's in een GIS te gebruiken;
- er zijn momenteel besprekingen gaande om de hoogtekartaart van Nederland te digitaliseren. Als dit produkt gereed is, is er een DTM van heel Nederland, waardoor drie-dimensionale correctie van foto's goedkoper en gemakkelijker uitgevoerd kan worden;
- er komt steeds meer en beter software beschikbaar.

Dit zou ertoe kunnen leiden dat er over enige tijd bij verschillende instellingen behoefte is aan een landsdekkend bestand van digitale orthofoto's.

Als van een gebied een digitaal topografisch basisbestand aanwezig is, is het niet zinvol om alle objecten vanaf de luchtfoto te digitaliseren. Lijnen die reeds in het topografisch basisbestand aanwezig zijn, dienen uit dit bestand overgenomen te worden, alleen de aanvullende gegevens moeten uit de luchtfoto gehaald worden. Dit houdt wel in dat beide bestanden gelijktijdig op het beeldscherm te zien moeten zijn en dezelfde geometrie moeten hebben. Aangezien binnenkort het digitaal topografisch basisbestand voor geheel Nederland beschikbaar is, zal er binnen LNV waarschijnlijk niet (meer) vanaf een analoge foto gedigitaliseerd worden.

Gebruik van luchtfoto's zal vaak leiden tot een nieuwe werkwijze, vooral als geometrische correctie uitgevoerd moet worden. Dit zal gevolgen hebben voor het personeel en de organisatie (bijvoorbeeld herscholing en omscholing). Er zal ook in apparatuur geïnvesteerd moeten worden. Wat betreft de kosten die hiermee gepaard gaan moet een afweging worden gemaakt tussen de initiële en operationele kosten van de nieuwe werkwijze en de kosten van de huidige werkwijze, waarbij ook de kwaliteit meegenomen moet worden.





## 6 AANBEVELINGEN

De analyse in hoofdstuk 5 leidt tot de volgende aanbevelingen:

- binnenkort komt er een digitaal topografisch basisbestand voor heel Nederland beschikbaar. Het is belangrijk dat zoveel mogelijk informatie uit dit bestand wordt overgenomen en dat aanvullende gegevens uit de foto worden gehaald. Deze methode zorgt ervoor dat naderhand verschillende bestanden gemakkelijker met elkaar te combineren zijn;
- voor het verkrijgen van geometrische informatie is gebruik van digitale orthofoto's het meest geschikt (methode 2 van figuur 9). Ook voor gebruik van luchtfoto's op het beeldscherm tezamen met andere digitale ruimtelijke bestanden zijn orthofoto's de beste oplossing. Het is belangrijk dat ervaring wordt opgedaan met het gebruik van orthofoto's in combinatie met een digitaal topografische bestand, mede gezien de toekomstige ontwikkelingen op dit gebied;
- orthofoto's zijn nog niet als standaard produkt te verkrijgen. Daarom is het zinvol dat binnen LNV ervaring wordt opgedaan met het vervaardigen van orthofoto's. In dit geval kunnen dan ook de methoden 2 en 4 van figuur 9 met elkaar vergeleken worden (drie-dimensionale geometrische correctie vooraf en achteraf). Hierbij moet met name op kosten, nauwkeurigheid, benodigde computercapaciteit en gebruiksgemak gelet worden;
- in bepaalde gevallen kunnen twee-dimensionaal gecorrigeerde foto's gebruikt worden. Om inzicht te krijgen in de verschillen in nauwkeurigheid is het zinvol om zowel voor een vlak gebied als voor een gebied met hoogteverschillen, twee- en drie-dimensionale correctie met elkaar te vergelijken. Vergelijking tussen methode 1 en 2 van figuur 9 is dan het meest zinvol;
- om veel foto's op te kunnen slaan is het belangrijk om een zo laag mogelijke resolutie te kiezen. Het is daarom noodzakelijk om de invloed van de resolutie op de bruikbaarheid van gescande luchtfoto's nader te onderzoeken. Hierbij dient gekeken te worden naar de geometrische nauwkeurigheid en naar de herkenbaarheid van bepaalde thema's. Voor het bepalen van de relatie tussen resolutie en thematische informatie dienen zowel vlakvormige als lijnvormige objecten bekeken te worden;
- doordat bij scannen van foto's een grote hoeveelheid data beschikbaar komt, moeten verschillende technieken voor datacompressie nader bekeken worden;
- binnen het ministerie LNV is er vooral behoefte aan geometrische informatie van perceelsgrenzen (of vergelijkbare topografische informatie). Tevens is er behoefte aan thematische informatie, gerelateerd aan perceelsgrenzen. De thematische informatie over grondgebruik (voor vlakvormige objecten) en lineaire beplantingen (lijnvormige objecten) sluit hier goed op aan. Daarom kan het grondgebruik en inventarisatie van lijnvormige beplantingen het beste gekozen worden als onderwerpen voor het verdere onderzoek.

In bovenstaande aanbevelingen zijn verschillende voorstellen voor verder onderzoek geformuleerd. Deze voorstellen worden uitgewerkt in een projectvoorstel voor de tweede fase van dit project. Dit projectvoorstel is als aanhangsel 3 bijgevoegd.



## LITERATUUR

DROESEN, W.J., en M.N. JAARSMAN, 1990. *Toepassingen van de remote sensing in de landinrichtingspraktijk*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 48.

ESRI, 1991a. *ARC/INFO User's Guide, 6.0. Map Projections & Coordinate Management*. Redlands (USA), ESRI.

ESRI, 1991b. *ARC/INFO User's Guide, 6.0. Image integration*. Redlands (USA), ESRI.

HAN, C.S., 1992. "GIS en digitale fotogrammetrie bij de Rijkswaterstaat, gericht op kustverdediging". *NGT Geodesia* 92 - 3: 106-111.

KVI, 1991. *Aanpak ruimtelijke informatievoorziening*. Den Haag, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

LIGTERINK, G.H., 1989. *Fotogrammetrie I en II*. Delft. Technische Universiteit.

LILLESAND, T.M., and R.W. KIEFER, 1987, *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York, John Wiley & Sons.

MINISTERIE VAN LANDBOUW EN VISSERIJ, 1989. *Knelpunten informatievoorziening landelijk gebied*. Den Haag, Ministerie van Landbouw en Visserij.

MOEN, J.P., F.J.M. VAN DER WEL, J.T. DE SMIDT, L.L. VELS EN D.J. HARMS, 1991. *Monitoring van heidevergrassing en een geografisch informatiesysteem (HEIMON)*. Delft, BCRS, Rapport 91-12.

MOLENAAR, M., 1986. *Fotogrammetrie*. Wageningen, Landbouwniversiteit Wageningen.

MOLENAAR, M., and J. STUIVER, 1987. "A PC digital monoplottting system for map updating". *ITC-Journal* 1987-4: 346-350.

SLAMA, C.C. (Ed.), 1980. *Manual of Photogrammetry, Fourth Edition*. Falls Church (USA), American Society of Photogrammetry.



## AANHANGSEL 1 LIJST VAN AFKORTINGEN

ARI	-	Adviesgroep Ruimtelijke Informatievoorziening
A&T	-	(directie) Akker- & Tuinbouw
CBS	-	Centraal Bureau voor de Statistiek
DIGTOP-LI	-	digitale topografische basiskaart voor de landinrichting
DLO	-	Dienst Landbouwkundig Onderzoek
dpi	-	dots per inch
DTM	-	Digitaal Terrein Model
GIS	-	geografisch informatie systeem
GPS	-	global positioning system
HEIMON	-	heidemonitoring
IBN-DLO	-	DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek
IKC	-	Informatie- en Kenniscentrum
ITC	-	International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences
KVI	-	Kerngroep Vastgoedinformatie
LD	-	Landinrichtingsdienst
LNV	-	(Ministerie van) Landbouw, Natuur en Visserij
MD-RWS	-	Meetskundige Dienst van Rijkswaterstaat
NBLF	-	(directie) Natuur, Bos, Landschap en Fauna
O&E	-	(directie) Organisatie en Efficiency
OR	-	(directie) Openlucht Recreatie
PD	-	Plantenziektenkundige Dienst
RD	-	Rijksdriehoekstelsel
RS	-	remote sensing
SBB	-	Staatsbosbeheer
SC-DLO	-	DLO-Staring Centrum
SIA	-	Stuurgroep Informatievoorziening en Automatisering
TDN	-	Topografische Dienst Nederland
TM	-	Thematic Mapper
µm	-	micrometer ( $10^{-6}$ meter)



## AANHANGSEL 2 LIJST MET GEÏNTERVIEWDE PERSONEN EN INSTANTIES

Binnen het ministerie is met personen van de volgende instanties gesproken:

- Landinrichtingsdienst (LD): J.M.M. Bouwmans, W. Hoogendoorn, P.J. Kusse, H.A.L.J. Voet;
- Staatsbosbeheer (SBB): A.C. la Rivière;
- Plantenziektenkundige Dienst (PD): P.A.M. v.d. Waal;
- Informatie en Kennis Centrum - Akker & Tuinbouw (IKC-A&T): M. Miedema;
- IKC-Natuur Bos Landschap en Fauna (NBLF): J.H.M. Aalders, F.J. Stuurman, H. Vissers;
- directie Openlucht Recreatie (OR): F. Blok, G.J. v. Wakeren;
- DLO-Staring Centrum (SC-DLO): J. Ariese, L.M. v.d. Berg, J.M.J. Farjon, A. van Hoorn, R. de Jonge, H.A. van Kleef, H.Th.L. Massop, G.J.A. Nieuwenhuis;
- DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO): A. v.d. Berg, R.J. Bijlsma.

Andere onderdelen binnen LNV zijn niet geïnterviewd omdat niet verwacht werd dat daar met luchtfoto's gewerkt wordt.

De bezochte instellingen buiten het ministerie en de daarbij geïnterviewde personen zijn:

- ITC: G. Huurneman;
- Topografische Dienst Nederland (TDN): A.J. Klijnjan;
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS): D. Meuldijk;
- Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat (MD-RWS): C.S. Han en H.J.W. van der Vegt;
- Eurosense België: C. Steenmans;
- KLM-Aerocarto: H. Lambers en C.B. Sneller;
- Hansa Luftbild Duitsland: U. Meyer;
- ROBAS: S. Rompa en R. Kersbergen.





## AANHANGSEL 3 CONCEPT PROJECTVOORSTEL GESCANDE LUCHT- FOTO'S - FASE 2 -

### 1 INLEIDING

Door diverse organisatie-onderdelen binnen LNV worden luchtfoto's gebruikt (o.m. LD, SBB, PD, IKC-NBLF, SC-DLO en IBN-DLO). Luchtfoto's geven de werkelijkheid aan het aardoppervlak op een bepaald moment zeer volledig weer en zijn daarom zeer geschikt voor oriëntatiedoeleinden en voor het leveren van specifieke informatie die niet op - topografische - kaarten voorkomt. Dit voordeel ten opzichte van topografische kaarten geldt zowel in een analoge als in een geautomatiseerde omgeving, waarbij het noodzakelijk is het luchtfotomateriaal via de techniek van scannen in digitale vorm te brengen.

Door de Kerngroep VastgoedInformatie (KVI) werd in 1990 een globale plaatsbepaling uitgevoerd ten aanzien van de verwerkings- en gebruiksmogelijkheden van gescande luchtfoto's. Geconcludeerd werd als volgt:

- bij een aantal organisatie-onderdelen binnen LNV blijkt belangstelling te bestaan voor gebruik van gescande luchtfoto's, met name voor gebruik in combinatie met een digitaal geometrisch of topografisch basisbestand (bijv. PD, SC, LD en SBB). De exacte vraag binnen LNV naar een dergelijk produkt is op dit moment niet te schatten;
- onduidelijk is wat technisch de meest gunstige verwerkingsmethode is. Onduidelijk is welke eisen vanwege de grootte van de bestanden gesteld moeten worden aan de te gebruiken hulpmiddelen (hardware en software), in het bijzonder indien gedacht wordt aan een landsdekkend bestand;
- over de kosten van gescande luchtfoto's in relatie tot te verwachten toepassingen binnen LNV bestaat weinig inzicht.

Aanbevolen werd een project te starten waarin nader wordt onderzocht wat de gebruiksmogelijkheden van gescand luchtfotomateriaal zijn voor LNV. Hierbij is de volgende fasering van het project aangebracht:

- fase 1: oriëntatiefase;
- fase 2: experimentele fase.

Fase 1 is inmiddels afgerond en de resultaten zijn vastgelegd in het SC-DLO rapport nummer 228 getiteld "Verkrijgen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's".

### 2 DOELSTELLING

Het doel van fase 2 is het uitvoeren van de verschillende aanbevelingen die in fase 1 zijn geformuleerd. Deze aanbevelingen hebben betrekking op het vergelijken van verschillende methoden voor het verkrijgen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's.

### 3 ACTIVITEITEN

In fase 2 zal met name gekeken worden naar het verkrijgen van geometrische informatie uit luchtfoto's. Hierbij worden voor het vastleggen van perceelsgrenzen en lineaire landschappelijke beplantingen verschillende methoden van enkelbeeldkartering met elkaar vergeleken. Deze methoden zijn:

1. drie-dimensionaal corrigeren van een gescande originele foto, gevolgd door digitaliseren van de verkregen orthofoto vanaf het beeldscherm, waarbij een digitaal topografisch vectorbestand als achtergrond gebruikt wordt;
2. twee-dimensionaal corrigeren van een gescande originele foto, gevolgd door digitaliseren van de verkregen ontschrante foto vanaf het beeldscherm, waarbij een digitaal topografisch vectorbestand als achtergrond gebruikt wordt. (Methode 1 maar met twee-dimensionale in plaats van drie-dimensionale correctie);
3. digitaliseren van een gescande originele foto vanaf het beeldscherm, gevolgd door drie-dimensionale geometrische correctie van het vectorbestand. Ook hierbij wordt een digitaal topografisch vectorbestand als achtergrond gebruikt. Dit vectorbestand moet voor het digitaliseren van lijnen de geometrie van de foto hebben en na het digitaliseren moet het bestand weer de oorspronkelijke geometrie krijgen.

Bij het digitaliseren worden perceelsgrenzen die in het topografisch basisbestand aanwezig zijn, uit dit bestand gekopieerd en de andere perceelsgrenzen worden vanaf de foto gedigitaliseerd.

Naast het verkrijgen van de geometrische informatie dient ook het verkrijgen van thematische informatie aandacht te krijgen. De relatie tussen resolutie en thema's als grondgebruik en aard van de landschappelijke beplanting dient onderzocht te worden.

Vergelijking van de methoden 1 en 3 dient vooral om inzicht te krijgen in het verschil in gebruiksgemak en benodigde computercapaciteit tussen de methoden waarbij drie-dimensionale correctie plaats vindt. Tevens kan hierbij gekeken worden of er verschillen in nauwkeurigheid te constateren zijn.

Vergelijking van methode 1 en 2 dient vooral om inzicht te krijgen in verschillen in nauwkeurigheid tussen twee- en drie-dimensionale correctie. Omdat de nauwkeurigheid afhankelijk is van de mate van hoogteverschillen in het terrein, dienen gebieden met met verschillend reliëf bekeken te worden. Tevens dient gekeken te worden wat de verschillen zijn in benodigde computercapaciteit en gebruiksgemak tussen deze methoden.

Naast de aspecten als nauwkeurigheid, gebruiksgemak en computercapaciteit dient ook inzicht in de kosten verkregen te worden.

Omdat resolutie van de gescande foto en technieken voor datacompressie grote invloed hebben op benodigde computercapaciteit, dient onderzocht te worden wat de optimale resolutie is en welke compressietechnieken gebruikt kunnen worden.

## 4 PROJECTORGANISATIE

De Adviesgroep Ruimtelijke Informatievoorziening (ARI) fungeert als stuurgroep voor het project. Door de ARI wordt een projectgroep ingesteld die verantwoordelijk is voor de activiteiten.

De projectgroep voert de feitelijke werkzaamheden uit en stelt de resultaten hiervan op schrift. In de projectgroep zitten deskundigen uit directies waarvoor dit onderzoek interessant kan zijn, zoals PD, SBB, LD, IKC-NBLF, DLO en LUW en een projectadviseur van de directie O&E. De technische uitvoering zal bij SC en/of LUW gebeuren. Er dient overwogen te worden om ook de Topografische Dienst in de projectgroep deel te laten nemen, gezien de sterke relatie tussen de foto en het digitaal topografisch basisbestand.

## 5 TIJDSPLAN

Het project moet binnen één jaar afgerond zijn.

## 6 KOSTEN

De kosten bestaan enerzijds uit de loonkosten van de deskundigen en de projectadviseur. Anderzijds uit kosten van materiaal, diensten en apparatuur.

Materiaal:	- foto's van het onderzoeksgebied f 5000,-
Diensten:	- scannen van de foto's f 10.000,- - vervaardigen van DTM's voor drie-dimensionale correctie f 25.000,-
Apparatuur:	- een krachtig werkstation met GIS programmatuur en programmatuur voor uitvoeren van geometrische correcties. f 50.000,-
Onderzoeker:	f 100.000,-
Onvoorzien:	f 10.000,-
Totaal:	f 200.000,-

Wageningen, 9 september 1992