

COMPUTER-GESTEUNDE EN ANALYTISCHE FOTOGRAMMETRIE

TOEPASSINGEN IN DE BOSBOUW

Luchtfoto's kunnen een belangrijk hulpmiddel zijn bij het beheer van het bos. In het begin van deze eeuw werden luchtfoto's hoofdzakelijk gebruikt voor de vervaardiging van boskaarten (overzichtskaarten); nauwkeurige fotogrammetrische metingen en karteringen konden alleen uitgevoerd worden door middel van ingewikkelde, optisch-mechanische (analoge) apparaten. Tegenwoordig is het meet- en verwerkingsproces gedigitaliseerd waardoor werkzaamheden eenvoudiger zijn en sneller verlopen. Luchtfoto's worden niet meer alleen gebruikt voor het vervaardigen van overzichtskaarten, maar met name ook bij bosinventarisaties, bijvoorbeeld om boomhoogten en kroonafmetingen fotogrammetrisch te bepalen. De nieuwste ontwikkeling in de fotogrammetrie wordt gevormd door relatief goedkope en gebruikersvriendelijke analytische fotogrammetrische systemen. Dit artikel beschrijft achtereenvolgens het gebruik van computer-gesteunde fotogrammetrie bij het bepalen van afmetingen van kronen en een toepassing van de analytische fotogrammetrie bij het produceren van boskaarten.

In veel landen wordt in de bosbouw al jaren gebruik gemaakt van luchtfoto's. Al in 1924 bijvoorbeeld werd de kartering van de Irrawady Delta uitgevoerd door het Forestry Department of Burma: een gebied van 3600 km², vastgelegd op 4500 foto's. Tegenwoordig wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van luchtfoto's ten behoeve van opstandsclassificatie en voorraadsinventarisatie, waarbij de gewenste informatie wordt afgeleid uit parameters als boomhoogte en kroondiameter. Recentelijk staan kleur-infrarood luchtfoto's in de belangstelling omdat deze informatie bevatten over de gezondheidstoestand van bossen. Veel werkzaamheden kunnen door een bosbouwer met een basistraining in luchtfoto-interpretatie verricht worden, met behulp van eenvoudige apparatuur. Voor een accurate vastlegging van opstandsgrenzen en andere details in boskartering is

echter het gebruik van gecompliceerde en dure instrumenten noodzakelijk.

Nieuwe ontwikkelingen in de computer-gesteunde fotogrammetrie hebben er toe geleid dat het de laatste jaren steeds eenvoudiger is geworden om nauwkeurige fotogrammetrische metingen relatief snel uit te voeren, zonder dat daar veel fotogrammetrische kennis voor nodig is. Dit is vooral het resultaat van de digitalisering van het verwerkingsproces. Bij traditionele fotogrammetrische apparaten wordt een optischmechanisch ruimtelijk model gevormd uit twee elkaar deels overlappende luchtfoto's. Het meetwerk wordt verricht in dit model, waarbij de meetresultaten direct via een pantograaf naar een tekentafel naast het instrument worden overgebracht. Het gebruik van dergelijke analoge apparatuur vereist specialistische kennis en is tijdrovend.

SUMMARY:

Application of computer-aided and analytical photogrammetry in forest management.

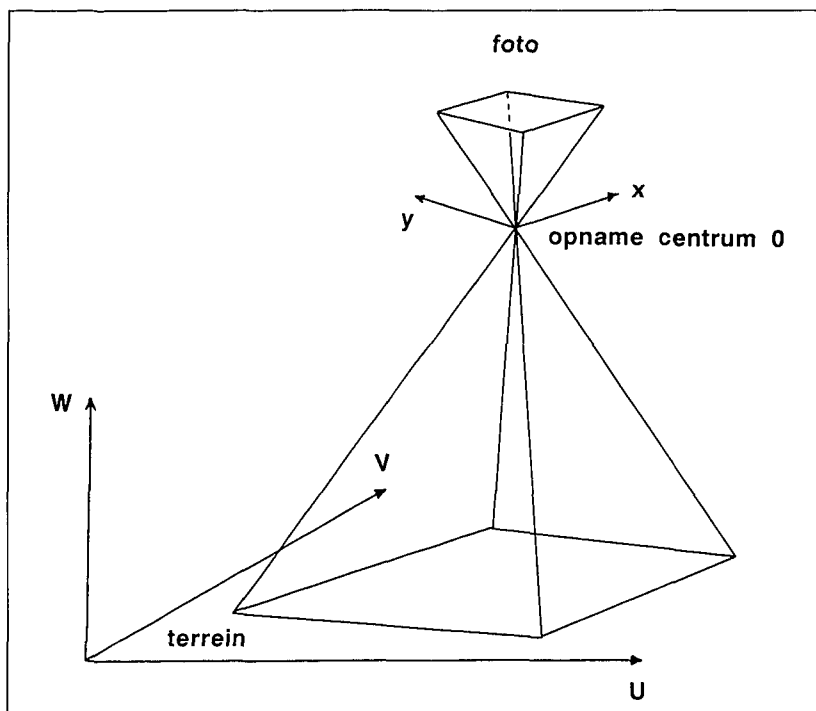
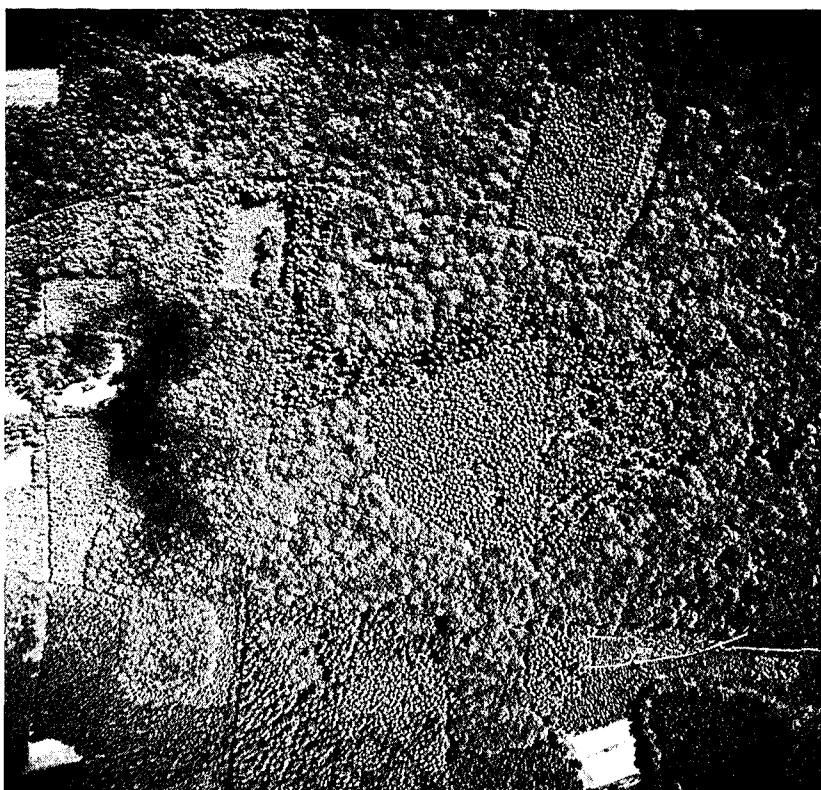
Aerial photographs can be an important source of information for forest management. The main application has been for the production of forest type maps. In the past, accurate photogrammetric measurement could only be carried out with the aid of complicated optical-mechanical (analogue) instrument. Nowadays, digital methods are increasingly employed in order to

simplify and speed up the process of measurement. Aerial photographs are not only used for forest type mapping but also in forest inventories in which parameters such as tree height and crown measurements are measured photogrammetrically. Recent developments in analytical photogrammetry have resulted in relatively inexpensive, user-friendly photogrammetric systems. This article describes the application of computer-supported and analytical photogrammetry for the measurement of tree crowns and for the production of forest maps.

¹⁾ International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Dept of Land Resource Surveys, Postbus 6, 7500 AA Enschede.

²⁾ Instituut voor Bosbouw en Groenbeheer "De Dorschkamp", Postbus 23, 6700 AA Wageningen.

■ Luchtfoto van het bosreservaat in boswachterij het Speulder- en Sprielderbos; opname-schaal bij benadering 1 : 4000. Aerial photograph of the forest reserve in the Speulder- and Sprielderbos forest area; photo scale approximately 1 : 4000.



■ **Figuur 1**
Fundamentele relatie tussen foto- en terreincoördinatenstelsels
Basic relationship between photo and terrain coordinate systems.

Door delen van het verwerkingsproces te digitaliseren, ontstaat een flexibeler en gebruikers-vriendelijker systeem.

Recent zijn analytische fotogrammetrische systemen ontwikkeld die gekoppeld zijn aan personal computers. Het gebruik van micro-electronica om veel van de tamelijk grote en ingewikkelde optisch-mechanische componenten van traditionele fotogrammetrische instrumenten te vervangen, zorgt er voor dat zulke systemen kleiner zijn en goedkoper te fabriceren. Bovendien, nog veel belangrijker, vereenvoudigt dit de methode van gegevensverzameling en brengt metingen, gegevensanalyse en grafische weergaven bijeen in een flexibel "desktop"-systeem. Dit artikel beschrijft het gebruik van een digitaal-analoog systeem bij het meten van kronen in permanente proefperken en de toepassing van analytische fotogrammetrische systemen bij de vervaardiging van boskaarten.

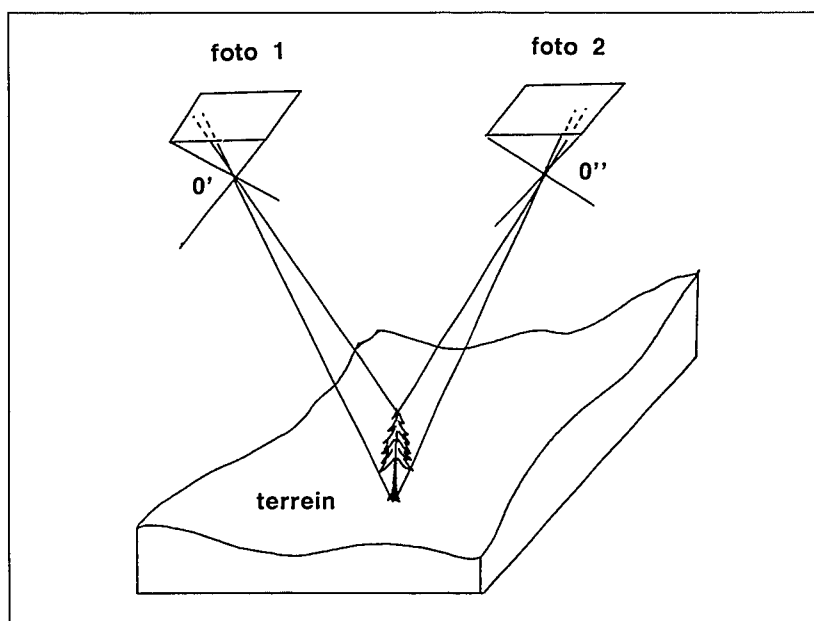
Wiskundige basisprincipes

Om de mogelijkheden en beperkingen van de fotogrammetrie te verduidelijken, worden kort de belangrijkste wiskundige basis-principes beschreven. De uitgangssituatie wordt daarbij gevormd door de relatie tussen de positie van een object in het terrein en de weergave van dit project op een foto. Elk terreinpunt P met de coördinaten U, V, W kan gezien worden als de oorsprong van een lichtstraal die door de lens van de camera gaat en vervolgens een beeldpunt $p(x, y)$ op de film vormt (figuur 1). Er worden dus twee coördinatenstelsels gehanteerd: een drie-dimensionaal terreinstelsel (U, V, W) en een twee-dimensionaal fotostelsel (x, y). De fotogrammetrie houdt zich bezig met het leggen van de relatie tussen deze twee coördinatenstelsels zodat terreincoördinaten U, V, W , bepaald kunnen worden uit gemeten foto-coördinaten x, y . Hiervoor is kennis van de geometrie van de camera (met name de brandpuntsafstand) nodig om een zogenaamde "inwendige oriëntering" te realiseren. Voor de berekening van de relatie tussen de twee

coördinaten-stelsels (de "absolute" oriëntering) moeten de coördinaten van tenminste drie punten in beide stelsels bekend zijn. Hierdoor is het mogelijk om de camera-oriëntering (de hoek die de camera maakt met het aardoppervlak op het moment van opname), de vlieghoogte en de fotoschaal te bepalen en deze vervolgens te gebruiken om terreincoördinaten van elk willekeurig punt op de foto af te leiden. Deze eenvoudige relatie gaat echter alleen op als W constant is, of met andere woorden: als het terrein vlak is. Aangezien dit zelden het geval is, is aanvullende hoogte-informatie (W) nodig. Deze kan bijvoorbeeld verkregen worden uit dubbele (stereoscopische) metingen van fotocoor­dinaten in twee, elkaar deels overlappende opnamen (figuur 2). Om dit ruimtelijke model te creëren is het nodig de positie van de eerste foto, relatief ten opzichte van de tweede, te bepalen door middel van een relatieve oriëntering. Deze benadering wordt traditioneel in fotogrammetrische instrumenten toegepast door middel van gecompliceerde optisch-mechanische systemen, die de samenhang tussen het uit de twee foto's gecreëerde ruimtelijk model en het terrein op analoge wijze vaststellen. Een andere mogelijkheid is het invoeren van hoogtegegevens, afkomstig van een topografische kaart (b.v. door middel van gedigitaliseerde hoogtelijnen) of van een raster van hoogtepunten (een zogenaamd Digitaal Hoogte Model). Deze benadering is alleen mogelijk bij gebruik van een computer voor opslag van de hoogte-gegevens en voor berekening van de coördinaten van ieder gemeten fotopunt. Een voorbeeld van deze methode is het Monoplot-systeem, ontwikkeld bij de Vakgroep Landmeetkunde en Teledetectie van de Landbouwuniversiteit Wageningen (Molenaar & Stuiver, 1987).

Meting van kronen in een digitaal/analoog systeem

Sinds een aantal jaren worden in diverse bosgebieden door Staatsbosbeheer bosreservaten ingesteld. In deze reservaten zal een onderzoeksprogramma uitgevoerd worden, waar-



■ **Figuur 2**

Bepalingen van hoogte (W) via dubbele (stereoscopische) meting van fotocoor­dinaten in twee, elkaar deels overlappende, luchtfoto's.

Determination of height (W) by means of double (stereoscopic) measurement of photo-coordinates in two, partly overlapping aerial photographs.

bij onder andere gegevens over boomkronen verzameld moeten worden. Recent is onderzocht of luchtfoto's gebruikt kunnen worden voor het volgen van ontwikkelingen van kronen in permanente proefperken (Bartelink, 1988). Daartoe zijn fotogrammetrische metingen uitgevoerd en de meetresultaten verwerkt in een digitaal/analoog systeem. Onderwerp van onderzoek vormde het bosreservaat in de boswachterij Speulder- en Sprielderbos. Het opname-materiaal bestond uit kleur-infrarood diapositieven, formaat 230×230 mm, op schaal 1:4.000.

Werkwijze

Voor de verwerking van het fotomateriaal is gebruik gemaakt van twee stereo-uitwerkingsapparaten, de Zeiss PSK (verder aangeduid als PSK) en de Wild Autograph A7 (verder aangeduid als A7). Beide instrumenten zijn alleen geschikt voor bewerking van negatieven of diapositieven.

In het onderzoek is de absolute oriëntering gerealiseerd aan de hand van in het veld uitgezette vliegschijven. De

hoogteligging en positie van deze zogenaamde paspunten is daarvoor in het veld vastgesteld. Wegens de hoge sluitingsgraad van het bos waren slechts enkele vliegschijven zichtbaar op de opnamen, hetgeen te weinig paspunten opleverde om het stereo-model absoluut te oriënteren. Om toch genoeg paspunten te verkrijgen, zijn meerdere stereo-modellen aan elkaar gekoppeld. Bij deze techniek, de aerotriangulatie, wordt de relatie tussen de stereo-modellen afgeleid uit de posities van de opname-centra en van de (foto-) coördinaten van een aantal overdrachtpunten. Dit zijn punten die voorkomen in het overlapgebied van twee opeenvolgende modellen (figuur 3). Er bleken vijf modellen (gelegen in een strook) nodig te zijn om zowel het reservaat als voldoende paspunten af te beelden. De koppeling van deze modellen is gerealiseerd in de PSK met behulp van het programma RELOR (Stuiver, 1986). Vervolgens zijn de terreincoördinaten van alle overdrachts- en paspunten berekend in een blokvereffeningsprocedure. Na de blokvereffening is ieder stereomodel in de A7 geplaatst voor het

feitelijk meten van de boomkronen. De twee opnamen van het stereopaar worden in afzonderlijke houders geplaatst. De relatieve oriëntering van de twee foto's geschiedt optisch/mechanisch en vereist specialistische kennis. Vervolgens kunnen de inwendige en relatieve oriënteringen plaatsvinden met behulp van de hiervoor beschikbare programmatuur. In dit geval is gebruik gemaakt van het programma REGDIG (Stuiver, 1986).

In de A7 is een meetmerk zichtbaar in een drie-dimensionale ruimte, waarmee de positie van elk punt in het model geregistreerd kan worden. Het hierbij gebruikte programma REGDIG (Stuiver, 1986) berekent aan de hand van de in de PSK berekende transformatie-parameters uit de modelcoördi-

naten direct de terreincoördinaten en slaat deze op in een gegevensbestand. De inhoud van dit gegevensbestand kan vervolgens door een plotter getekend worden, resulterend in een kronenprojectiekaart (figuur 4).

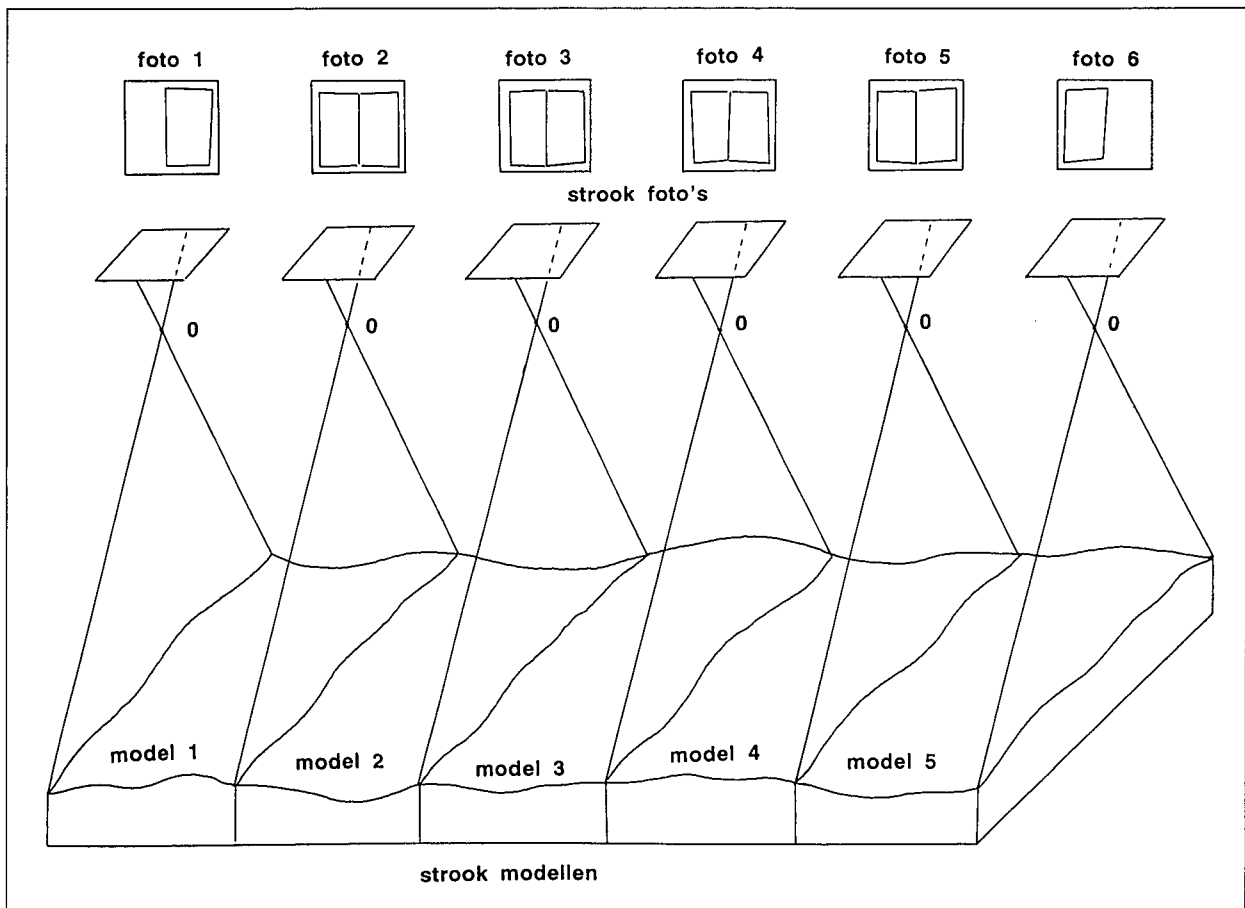
Resultaten

De oriënteringsprocedure, van het zoeken van geschikte overdrachtpunten tot en met de definitieve blokvereffening, kostte circa een week, maar zou met enige ervaring sneller gerealiseerd kunnen worden. Als gevolg van het feit dat bij het koppelen van de modellen noodgedwongen meestal boomtoppen gebruikt zijn, resteerden na de absolute oriëntering relatief grote sluitfouten van gemiddeld 0,2 m en 0,4 m in respectievelijk het horizontale en verticale vlak. Wan-

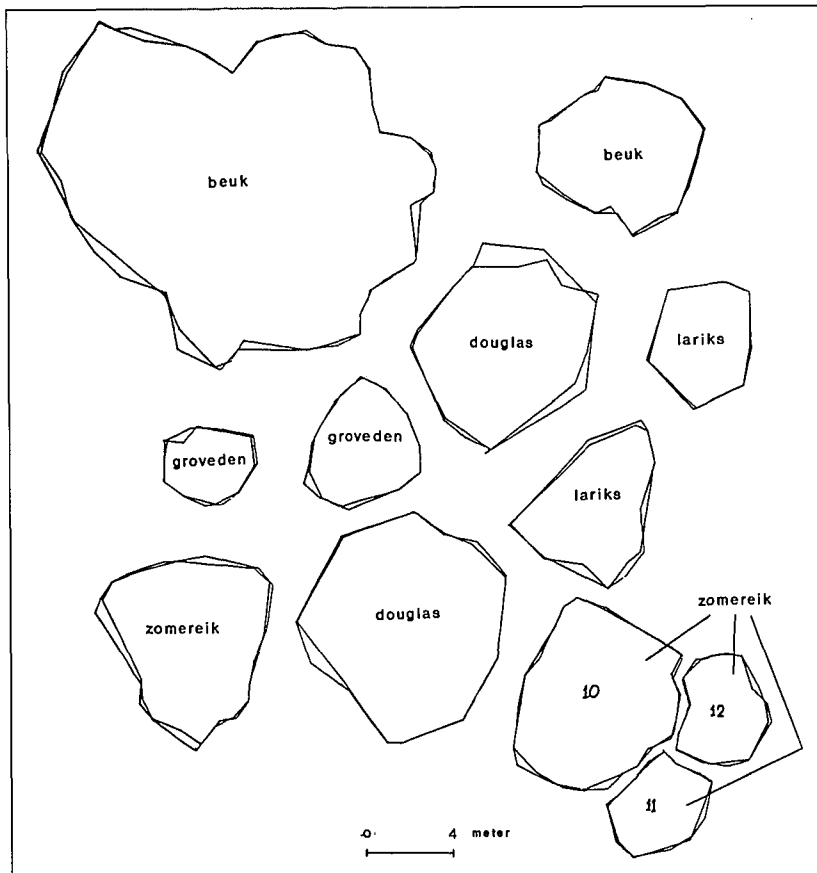
neer beter geschikte overdrachtpunten dan boomtoppen gevonden kunnen worden, zullen deze fouten kleiner zijn; de sluitfouten kunnen worden teruggebracht tot enkele centimeters. Ook hier speelt ervaring een belangrijke rol.

Het bij herhaling meten van een aantal kronen leerde dat eenmaal gekozen meetpunten zeer goed terug te vinden zijn; de meetfout bedroeg 5-15 cm. Ter vergelijking: de nauwkeurigheid van schattingen aan kronen in het veld is 1 meter.

De benodigde meettijd wordt behalve door ervaring bepaald door het aantal meetpunten waarmee een kroon wordt gekarakteriseerd. Het doel van de kronenmetingen, met andere woorden de gewenste nauwkeurigheid van de beschrijving van de kroon-



■ **Figuur 3**
Koppeling van opeenvolgende modellen in een strook tot een foto-blok (O = opnamecentrum, M = model).
Strip formation by joining successive models (O = projection centre, M = model).



■ **Figuur 4**

Verticale projecties van kroonperiferieën. De oriëntatie van de kronen ten opzichte van elkaar is niet de werkelijke situatie; alleen de posities van de drie zomereiken rechts onderin de figuur komen overeen met de werkelijkheid.

Orthogonal projections of crown peripheries. The orientation of the crowns relative to one another does not show the actual situation; only the positions of the three oaks, right in the lower half of the figure, correspond to the actual situation.

eigenschappen, bepaalt het aantal punten waarmee een kroon wordt beschreven. Het is mogelijk gebleken een kroon binnen 1 à 2 minuten afdoende gedetailleerd te beschrijven, waarbij in dat geval 10 tot 30 punten gemeten zijn. Bartelink (1988) noemt drie tot zes werkdagen, nodig voor het vastleggen van de kronen op een oppervlakte van 3 ha.

Conclusie

De zwakke schakel wordt gevormd door het feit dat het kronendak er vanaf de grond anders uitziet dan vanuit de lucht. De onderzoeker heeft dus geen goed referentie-materiaal bij het meten van kronen (eventuele oudere opnamen niet meegerekend). Met

name bij metingen in het boombos (voornamelijk beuk) is gebleken dat het moeilijk, zo niet onmogelijk is om exact aan te geven welke bladmassa bij een bepaald individu behoort. Het is mogelijk om afmetingen van delen van het kronendak te bepalen en veranderingen in de tijd te volgen; deze bladmassa's kunnen echter bestaan uit meerdere individuen (cluster) of slechts een deel van een kroon vormen (het uiteenvallen in deelkronen bij oude bomen). Problemen ontstaan wanneer het beeld in het model vertaald moet worden naar de situatie in het veld. Fouten zijn dus niet zozeer het gevolg van meet-onnauwkeurigheden als wel van interpretatiefouten. De grootte en het voorkomen van in-

terpretatiefouten worden beïnvloed door het aantal meetpunten, door ervaring en door de terreinsituatie. Het voordeel van luchtfoto's is dat eventuele fouten achteraf hersteld kunnen worden, hetgeen bij veldinventarisaties meestal niet het geval is. Het vastleggen van kroon- of kronendakgegevens door middel van luchtfoto's is zowel qua meetnauwkeurigheid als qua benodigde meettijd een aantrekkelijk alternatief voor veldwerk gebleken. Het meten in luchtfoto's kan dermate nauwkeurig gebeuren dat het mogelijk is individuen of delen van het kronendak aan de hand van oude opnamen op recentere opnamen te localiseren en zo kroon-ontwikkelingen vast te leggen. Door middel van een analoge/analytische werkwijze is daarbij in korte tijd veel informatie over het kronendak te verkrijgen. Een belangrijke kostenpost wordt echter gevormd door het in het veld inmeten van de vliegschijven. In het onderzoek is daarom tevens getracht de absolute oriëntering te realiseren aan de hand van de topografische kaart. De uitkomsten van deze proef waren positief; de resterende sluitfouten lagen weliswaar relatief hoog (circa 0,3 m en 0,5 m in respectievelijk het horizontale en verticale vlak), maar nauwelijks hoger dan bij de oriëntering naar de vliegschijven.

Kartering met analytische fotogrammetrische systemen

In een gedigitaliseerd fotogrammetrisch systeem zoals boven beschreven, wordt de computer gebruikt om transformaties en andere berekeningen toe te passen op de gemeten coördinaten. Het fotogrammetrisch instrument zelf blijft echter een analogo toestel, vandaar dat de term "computer-gesteund" gebruikt wordt om dit type fotogrammetrisch systeem te beschrijven.

Bij een analytische plotter daarentegen, is de computerondersteuning aanmerkelijk uitgebreider. Ten behoeve van oriëntering en meting worden de twee foto's in een x, y-vlak verplaatst door servo-motoren, die gestuurd worden door de computer.

De complexe optisch-mechanische componenten, die we in traditionele instrumenten aantreffen, zijn dus grotendeels overbodig. Een analytische plotter heeft een eenvoudiger constructie en is flexibeler in het gebruik dan een analog instrument. Niet alleen kunnen terreincoördinaten direct bepaald worden uit de gemeten fotocoor­dinaten, het is tevens mogelijk om het meetmerk naar opgegeven ter­reinpunten in het ruimtelijke model te sturen. Een toepassing van deze mogelijkheid ziet men in het Zwitserse "Landesforstinventar" (Mahrer, 1988). Deze nationale bosinventarisatie van Zwitserland is gebaseerd op een raster van permanente proefperken. Gegevens over deze proefperken worden deels door terreinmetingen en deels vanaf luchtfoto's verzameld. Door gebruik van een analytische plotter (van het type DSR1 van de firma Kern) is het mogelijk om automatisch in de luchtfoto's naar de exacte ter­reinpositie van ieder steekproefpunt te gaan en dan de verschillende para­meters benodigd voor de inventarisatie fotogrammetrisch te meten.

Analytische fotogrammetrische instru­menten met hoge precisie worden met name gebruikt voor kadastrale en nauwkeurige topografische kartering. De nauwkeurigheidseisen van de meeste bosdiensten zijn daarmee vergeleken veel lager, zodat het volle po­tentieel van zulke (relatief dure) appa­raatuur zelden wordt gebruikt. Pas sinds kort zijn een aantal instrumenten van een mindere precisie (en dus la­gere prijs) te verkrijgen. Deze instru­menten worden gekoppeld aan PC's waarop de besturings-programma's voor het fotogrammetrische instru­ment draaien, eventueel in combinatie met software voor de analyse en kar­tografische weergave van de gemeten gegevens (Warner, 1988). Twee van zulke instrumenten, de MPS-2 en het APY-systeem, zijn op het ITC getest op hun bruikbaarheid voor de bosbouw. Deze testen werden uitgevoerd met luchtfoto's (schaal 1:30.000) van een bosgebied in Oostenrijk.

Resultaten

i De MPS-2:

De MPS-2 is een in Australië ontwik­kelde analytische plotter, geschikt voor klein formaat foto's (tot 55 X 55 mm). Het gebruik van dergelijke, meestal grootschalige luchtfoto's ten behoeve van bosinventarisaties vindt recent opgang (Befort, 1988). In de MPS-2 worden de twee foto's (diapo­sitieven) elk in een houder gelegd, die door microprocessor-gestuurde ser­vomotoren in de x- en de y-richting verplaatst kan worden door middel van een joystick. De foto's worden be­keken door een zoom-stereoscoop waarin een verlicht meetmerk is ge­bouwd. Een tweede joystick wordt ge­bruikt voor het invoeren van een diffe­rentiële x-beweging in de twee foto's; deze zogenaamde x-parallax wordt zichtbaar als een hoogteverschil, waarna de hoogte gemeten kan wor­den. De gemeten fotocoor­dinaten worden naar een computer (PC) ge­stuurd en omgezet in terreincoördina­ten, met behulp van de coördinaten van tenminste drie paspunten. De ge­meten details worden weergegeven op een kleurenmonitor en opgeslagen in een gegevensbestand. Dit bestand vormt de basis voor toepassingen als het uittekenen van kaarten of het bere­kenen van oppervlakten.

Alhoewel het instrument ontworpen is voor klein-formaat foto's, is het moge­lijk gebleken met normale luchtfoto's met een formaat van 230 X 230 mm te werken; deze opnamen moeten dan echter eerst verkleind worden. De luchtfoto's van het Oostenrijkse bos werden vier keer verkleind tot een for­maat van 55 X 55 mm. De voorberei­dende werkzaamheden (oriënterings­procedure) kostten ongeveer 30 minuten per fotopaar. De werkelijke metingen (het in kaart brengen) van 34 km aan wegen en bosgrenzen duurde ongeveer 50 minuten. De geschatte nauwkeurigheid bedroeg circa 3 me­ter. Uit overwegingen van zowel tijd als nauwkeurigheid, voldeed het instru­ment aan de eisen van de Europese boskartering (Weir, 1988).

Een van de voornaamste redenen om

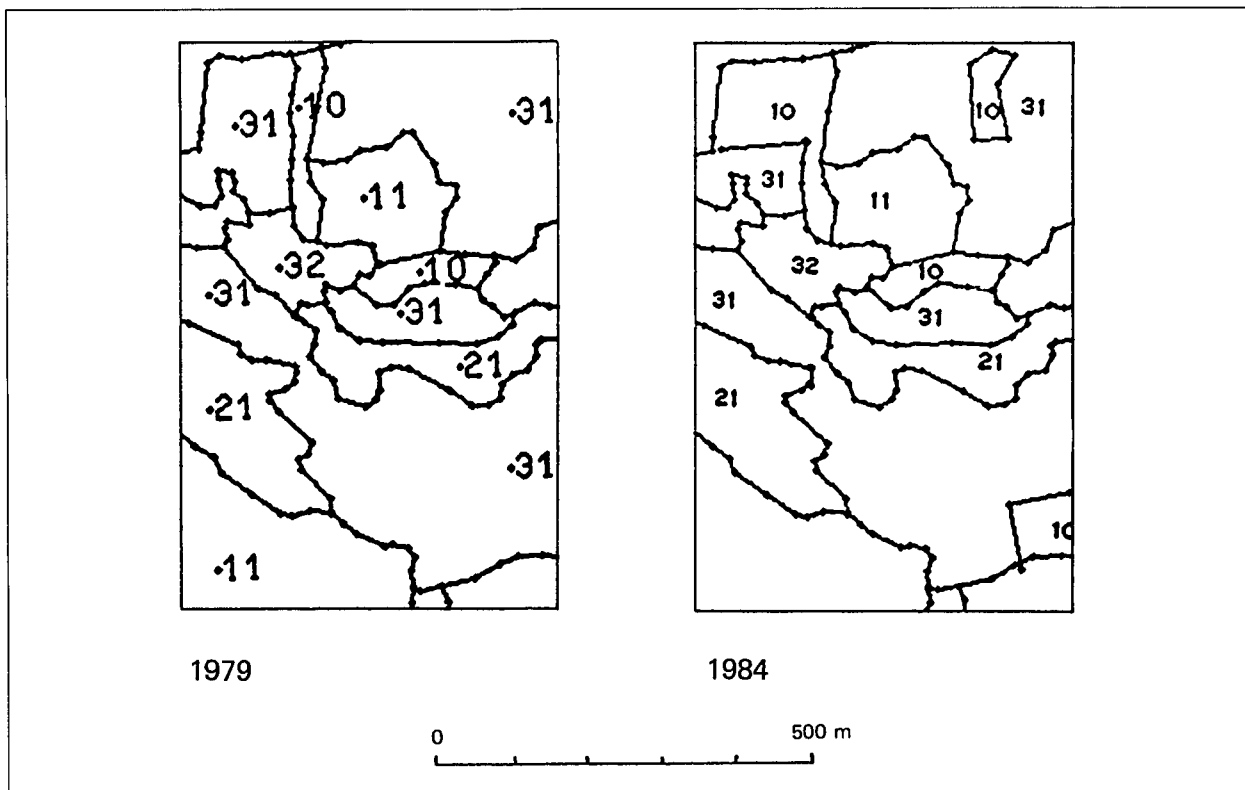
terrein-gegevens in digitale vorm op te slaan is dat het relatief eenvoudig wordt om de oorspronkelijke kaart bij te werken als er veranderingen in het bos plaatsvinden. Het gebruik van fo­to­grammetrie hierbij houdt in het ver­gelijken van "nieuwe" luchtfoto's met de "oude" kaart. Ten behoeve van deze test werd een boskaart, geba­seerd op luchtfoto's uit 1979, vergele­ken met opnamen uit 1984. De 1979 situatie werd op de monitor weerge­geven als een plot van de 1979 data­file, terwijl de luchtfoto's uit 1984 in de MPS-2 bekeken konden worden. Ver­anderingen in de situatie sinds 1979 konden aangebracht worden door in 1984 verdwenen details uit de kaart te verwijderen en nieuwe aan te bren­gen. De MPS-2 is niet geschikt voor het opsporen van kleine veranderin­gen, omdat het niet mogelijk is het nieuwe fotobeeld op de oude kaart te projecteren. Dit probleem is opgelost in het APY systeem, een analytische fotogrammetrische plotter die door de Nederlandse fotogrammetrist Yzer­man is ontwikkeld (Yzerman, 1984).

ii Het APY-systeem:

APY (Analytical Photogrammetric plotter of Yzerman) is ontworpen voor het verkrijgen van digitale geografische gegevens (b.v. voor bodem- of boskar­tering) uit luchtfoto's. Omdat de lucht­foto's bekeken kunnen worden in di­recte combinatie met een kaart, is het instrument ook geschikt voor de her­ziening van bijvoorbeeld topografi­sche kaarten. De belangrijkste be­standdelen van het instrument zijn:

- een optisch systeem om de foto's en/of de kaart te bekijken, waarin ro­terende platen de twee fotobeelden verschuiven totdat ze als een 3-di­mensionaal stereomodel te zien zijn in combinatie met de kaart;
- een XY-tablet (digitizer) voor het me­ten van coördinaten; direct van de kaart of in het ruimtelijk beeld dat ge­vormd wordt door de twee luchtfoto's;
- een PC met MS-DOS operating sy­stem;
- een dot matrix printer met de moge­lijkheid van grafische weergave.

Figuur 5 laat een deel van een bosop-



■ **Figuur 5**
 Gedeelte van een boskaart (Kobernausserwald, Oostenrijk), geplot door middel van het APY-systeem. Links de oorspronkelijke kaart uit 1979; rechts de herziene situatie in 1984. De getallen zijn codes die verwijzen naar de verschillende boomsoorten en leeftijdsklassen. B.v. 31 = naalddhout ouder dan 80 jaar; 10 = natuurlijke verjonging van naalddhout.

Part of a forest stand map (Kobernausserwald, Austria) compiled on the APY system. Left: the original map from 1979. Right: the revised situation in 1984. The codes refer to the species composition and age class of the stands. E.g. 31 = conifers more 80 years old; 10 = natural regeneration of conifers.

standskaart zien, gemaakt met behulp van APY van 1:30.000 luchtfoto's die in 1979 gevlogen zijn. In de periode 1979-1984 hebben enkele veranderingen in het gebied plaatsgevonden. Door het in 1984 gevlogen luchtfotomateriaal te projecteren op de kaart van 1979, was het mogelijk de in die periode plaatsgevonden veranderingen te ontdekken en de database bij te werken. De benodigde tijd om de data van 1979 te digitaliseren was 2,5 uur. De daaropvolgende herziening van de database kostte circa 1 uur.

Afsluitende opmerkingen

In veel landen zijn luchtfoto's al lang een belangrijk hulpmiddel bij de bosinventarisatie en -kartering. In de Ne-

derlandse bosbouw, waar het accent tot voor kort lag op de foto-interpretatie, schuift de aandacht naar het verkrijgen van inventarisatiegegevens door middel van fotogrammetrische metingen. In het verleden waren zulke metingen, hoewel meestal efficiënter dan puur veldwerk, langdurig en moeilijk. Zoals de bovengenoemde voorbeelden aantonen, lijkt moderne computer-gesteunde en analytische fotogrammetrie de bosbouwsector echter nieuwe mogelijkheden te bieden om snel, eenvoudig en goedkoop gegevens over het bos te verkrijgen.

Literatuur

Bartelink, H. H. 1988. Gebruik van luchtfoto's

to's bij metingen aan kronen in permanente proefplots. Doctoraal-scriptie vakgroep Landmeetkunde en Teledetectie en vakgroep Bosteelt en Bosocologie, Landbouwuniversiteit Wageningen. 44 pp.

Befort, W. 1988. Controlled-scale aerial sampling photography. *Journal of Forestry*, 86(11): 21-28.

Mahrer, F. (red.) 1988. Schweizerisches Landesforstinventar, Berichte Nr. 305, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf. 375 pp.

Molenaar, M. & H. J. Stuijver. 1987. Monoplotting: een systeem voor het bijwerken van kaarten en digitale gegevensbestanden. *Geodesia* 29(2): 51-55.

Stuijver, H. J. 1986. Programmatuur voor Digital PDP 11/73. Vakgroep Landmeetkunde en Teledetectie, Landbouwuniversiteit Wageningen.

Warner, W. S. 1988. A PC-based analytical plotter designed for forestry photogrammetry. *Journal of Forestry*, 86(12): 36-39.

Weir, M. J. C. (red.) 1988. Evaluation of the MPS-2 analytical plotter. Unpublished report, ITC Enschede. 28 pp.

Yzerman, H. 1984. The APY system for analytical photogrammetry. *Photogrammetric Record*, XI(64): 407-413.