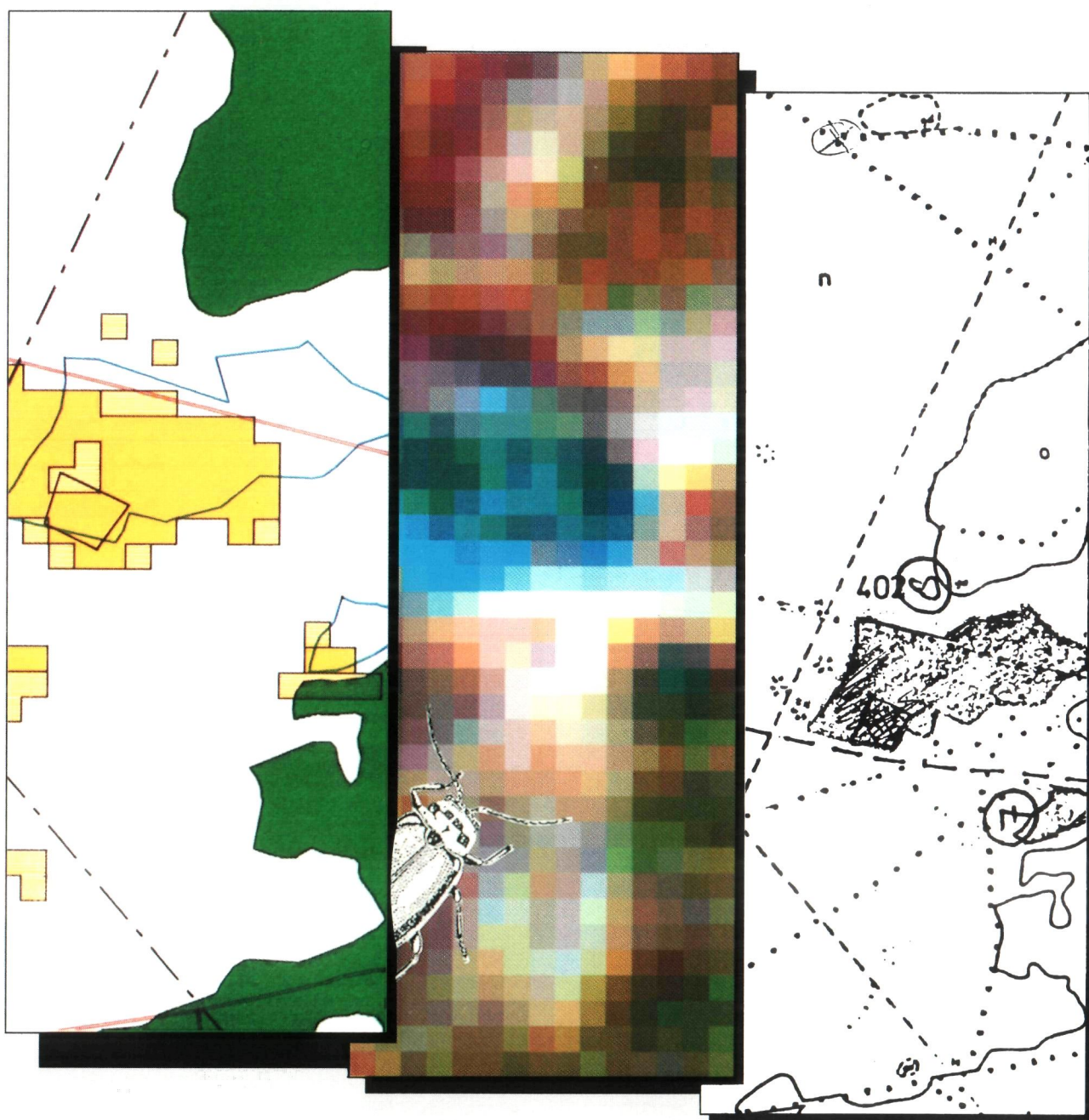


Monitoring van heidekevervraatschade

De situatie in 1990

E.J. van Kootwijk - J.P. Moen



landbouw, natuurbeheer
en visserij



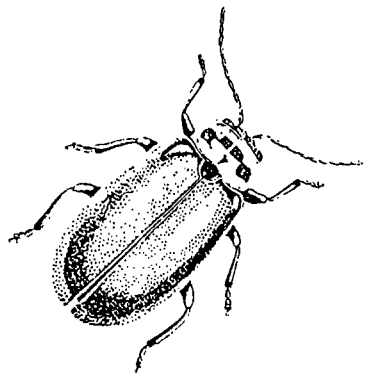
GIS and remote sensing consultants
environmental surveys • mapping • monitoring

Monitoring van heidekevervraatschade

De situatie in 1990

E.J. van Kootwijk - J.P. Moen

Augustus 1991



81x851

1997290572

natuurbeheer

Ministerie van Landbouw,
Natuurbeheer en Visserij
Directie Natuur, Bos, Landschap
Fauna

K & M
GIS and remote sensing consultants
Amsterdam

DANKWOORD

Hierbij willen wij de medewerkers van GeoPerfect TWI bedanken voor hun ondersteuning bij het gebruik van het ERDAS beeldverwerkingssysteem en het GENAMAP GIS.

Ook bedanken wij de beheerders van heideterreinen die ons situatiebeschrijvingen hebben gestuurd.

K & M GIS and remote sensing consultants

Evert van Kootwijk

Peter Moen

Amsterdam, augustus 1991

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1. INLEIDING	7
1.1 Kader	7
1.2 Doelstelling	7
1.3 Opbouw van het rapport	8
2. METHODEN	9
2.1 Remote sensing	9
2.2 Waarneming van vraatschade met SPOT	9
2.3 Geografisch Informatiesysteem	10
2.4 Stappenschema	13
2.5 Bepaling van het gebied van toepassing	14
2.6 Selectie van de pixels met aangetaste heide	14
2.7 Bijwerken van gemaskeerde schadebeelden	15
2.8 Weergave van de resultaten	16
3. STUDIEGEBIED	17
4. MATERIAAL	19
4.1 Beschikbare informatie	19
4.2 Fotomateriaal	19
5. RESULTATEN	22
5.1 De verspreiding van de plaag	22
5.2 Plaagdynamiek	24
5.3 Betrouwbaarheid	25
5.3.1 Detectie	25
5.3.1.1 Praktische schatting van de detectienauwkeurigheid	26
5.3.1.2 Bronnen van detectiefouten	28
5.3.1.3 Onzekerheidsschatting d.m.v. een gevoeligheidsanalyse	28
5.3.2 Locatie	30
6. CONCLUSIES	31
6.1 Inleiding	31
6.2 Het monitoringsysteem	31
6.3 De plaag	32
6.4 Het beheer	32
7. AANBEVELINGEN	33
8. TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN	34
9. LITERATUUR	35

BIJLAGE A	Schadekaartjes	36
BIJLAGE B	Geometrische registratie van de satellietbeelden	65
BIJLAGE C	Karakteristieken van trainingspixels en instelling level slicing	70
BIJLAGE D	Hardware en Software	73
BIJLAGE E	Verklarende woordenlijst	74

SAMENVATTING

Dit onderzoek, uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, is een vervolg op het in 1989 door de Universiteit van Utrecht uitgevoerde onderzoek naar detectie en kartering van vraatschade door heidekevers (*Lochmaea suturalis* Thoms.) in Nederlandse heideterreinen. Doel van beide onderzoeken is de ontwikkeling van een monitoringsysteem voor het signaleren en registreren van vraatschade, ter ondersteuning van het beheer van heideterreinen. Het onderzoek van 1989 richtte zich vooral op de waarneming van vraatschade met behulp van remote sensing technieken. Het bleek dat een combinatie van SPOT-satellietbeelden en kleinformat luchtfoto's Dit onderzoek had tot doel het monitoringsysteem uit te breiden met een geografisch informatiesysteem (GIS).

Naast de verdere ontwikkeling van het monitoringsysteem is in het huidige onderzoek, net als in 1989, met behulp van SPOT-satellietbeelden een overzicht gemaakt van de schadeplekken die in 1990 aanwezig waren. Deze plekken zijn in 1989 of in 1990 ontstaan. Vergelijking met de plekken die in 1989 gekarteerd zijn, leverde de vraatschade op die in 1990 ontstaan is.

De belangrijkste conclusies die uit het onderzoek naar voren kwamen, zijn:

1. De in 1989 ontwikkelde waarnemingsmethode is ook in 1990 met succes toegepast. De GIS-component die dit jaar is toegevoegd maakt monitoring daadwerkelijk mogelijk. Er is een begin gemaakt met de opbouw van een nationaal heide-GIS. Op dit moment zijn er digitale basiskaarten van alle onderzochte terreinen aangemaakt, met daarin de omgrenzing van de gebieden van toepassing en de vraatschade tot en met 1990.
2. Het door heidekevers aangetaste oppervlak is in 1990 toegenomen met ongeveer 50% van het oppervlak dat in 1989 was aangetast. In meer dan de helft van de onderzochte terreinen was zelfs geen nieuwe aantasting te vinden. De plaag heeft zich dus in dit tweede jaar beduidend minder snel uitgebreid dan in 1989.
3. Het totale oppervlak aangetaste struikheidevegetatie in de 35 hier onderzochte terreinen bedraagt iets meer dan 850 ha. Deze 35 terreinen beslaan samen een oppervlak van 14.000 ha, en vormen daarmee ongeveer de helft van het oppervlak aan heideterrein dat voor monitoring in aanmerking komt. Er vanuit gaande dat, in het algemeen, de struikheidevegetatie ongeveer een derde van het terreinoppervlak inneemt bedraagt het percentage aangetaste struikheide bijna 20%.

De plagen beslaan vaak een periode van drie jaar. Pas wanneer ook in 1991 een inventarisatie gehouden wordt, kan de volledige omvang van de plaag in kaart worden gebracht, en kan een compleet beeld worden opgebouwd van de plaagdynamiek. Voor wat betreft de verdere ontwikkeling van het monitoringsysteem: het ligt in de bedoeling in een derde fase systeem te completeren met een waarschuwingssysteem.

SUMMARY

This research was carried out under the authority of the ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries. It is a continuation of a research carried out by the University of Utrecht in 1989. The main goal of both researches was the development of a management supporting monitoring system, with which areas in Dutch heathlands that were affected by plagues of the heather beetle (*Lochmaea suturalis* Thoms.) could be detected, mapped and analyzed. The main theme of the 1989 research was the selection of remote sensing methods that were best fitted to spot the damage. During this research the attention was focused on the incorporation of a geographical information system (GIS) in the monitoring system, facilitating the registration of damaged areas through the years, and making analysis of plague dynamics possible.

Just as in 1989, a large scale inventory of beetle damage was carried out during this research. SPOT satellite images, together with small format aerial photos, were used for this purpose. The images showed the areas that were affected in 1989 and in 1990. Substraction of the areas mapped in 1989 yielded the newly affected areas.

The main conclusions of this research are:

1. The method developed in 1989 to spot beetle damage was used successfully again this year. Now that a GIS has been added, monitoring is actually possible. A start has been made with the setup of a national heathland GIS database. At this moment, digital base maps of all reserves studied in this investigation are available, specifying the areas of interest and the beetle damage caused in 1989 and 1990.
2. The beetle plague was less severe in 1990 than it was in 1989: only an area half as big as the area affected in 1989 was affected in 1990. In more than half of the nature reserves investigated in this research no new damage was encountered at all.
3. Of the 35 reserves examined here, the total affected area amounts to 850 ha. These 35 reserves cover an area of 14.000 ha., forming about half of the area where beetle damage can be expected. Of this area, only the parts where *Calluna vulgaris* grows are susceptible to the beetle. Assuming that *Calluna* covers about one third of Dutch heathlands, almost 20% of the vegetation is now affected.

Because these plagues often go on for three summers in a row, the inventory will only be complete when the damage caused in 1991 will have been mapped. Only then a full image of the plague and its dynamics can be obtained. As for the further development of the monitoringsystem: a third phase is projected, in which the system will be completed with an early warning system.

1. INLEIDING

1.1 Kader

Dit onderzoek, uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, is een vervolg op het in 1989 door de Universiteit van Utrecht uitgevoerde onderzoek naar methoden van detectie en kartering van vraatschade door heidekevers in Nederlandse heideterreinen (Vels, Moen en De Smidt 1990). Het doel van genoemd onderzoek en het huidige onderzoek is de ontwikkeling van een monitoringsysteem voor het signaleren en registreren van vraatschade. Dit monitoringsysteem heeft drie hoofdcomponenten:

1. Detectie
2. Opslag, analyse en kaartproductie
3. Waarschuwing

De eerste component, detectie, betreft de waarneming van vraatschade met behulp van satellietbeelden en luchtfoto's. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een digitaal beeldverwerkingssysteem.

De tweede component betreft de opslag van de gegevens die uit de satellietbeelden kunnen worden afgeleid in een geografisch informatiesysteem. Hierin kunnen zij vergeleken worden met gegevens uit voorgaande jaren, en met gegevens uit andere bronnen, zoals bijvoorbeeld kaarten met uitgevoerde beheersmaatregelen. Tevens kunnen de gegevens na analyse in dit systeem tot nieuwe kaarten verwerkt worden.

De derde component betreft de vroegtijdige waarschuwing van alle betrokken instanties. Gegevens over de plaagomvang en de verspreiding ervan kunnen onder andere gebruikt worden ter ondersteuning van het beheer.

Was het onderzoek in 1989 vooral gericht op het vinden van de meest geschikte remote sensing techniek, in het huidige onderzoek stond de ontwikkeling van de tweede component, het gebruik van een geografisch informatiesysteem, centraal. In het derde onderzoek, dat voor 1991-1992 gepland is, zal het monitoringsysteem worden uitgebreid met een waarschuwingssysteem. Omdat heidekeverplagen vaak een periode van drie jaar beslaan, zal ook dan weer een kartering van nieuwe schade kunnen worden uitgevoerd.

1.2 Doelstelling

Het hoofddoel van dit onderzoek is de verdere ontwikkeling van een monitoringsysteem waarmee kevervraatschade gedetecteerd, gekarteerd en geanalyseerd kan worden, en op basis waarvan betrokken instanties gewaarschuwd kunnen worden. Omdat inmiddels bekend is, welke waarnemingsmethoden voor het beoogde doel het meest geschikt zijn, is in het huidige onderzoek aandacht besteed aan een ander aspect van monitoring: het onderbrengen van de beeldverwerkingsresultaten in een geografisch informatiesysteem (GIS), en het combineren van deze gegevens met gegevens die langs andere weg zijn verkregen, zoals van bestaande kaarten en luchtfoto's.

Daarnaast heeft dit onderzoek ten doel de kevervraatschade die in 1990 is opgetreden zo

volledig en betrouwbaar mogelijk in kaart te brengen.

1.3 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt beschreven welke terreinen in deze inventarisatie zijn opgenomen en over welk gedeelte van het heideareaal een uitspraak wordt gedaan.

Hoofdstuk 3 behandelt de theoretische achtergrond van de detectie en kartering van vraatschade. Tevens wordt hier het GIS-gebruik beschreven.

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van het beschikbare remote sensing materiaal.

In hoofdstuk 5 worden de resultaten gepresenteerd. Deze omvatten de omvang van de plaag tot en met 1990, en de toename ten opzichte van 1989. Ook worden er enige paragrafen gewijd aan de betrouwbaarheid van de resultaten. Kaarten van de vraatschade in alle onderzochte terreinen zijn ondergebracht in bijlage A.

Na de conclusies in hoofdstuk 6 en de aanbevelingen en voorziene ontwikkelingen in hoofdstuk 7 volgen nog een aantal bijlagen met technische specificaties. Bijlage E bevat een verklarende woordenlijst waarin een aantal begrippen worden verduidelijkt.

2. METHODEN

2.1 Remote sensing

In het rapport Detectie en Kartering van Vraatschade door Heidekever in Nederland (Vels, Moen en De Smidt 1990, zie par. 1.1) worden de volgende inventarisatie- en waarnemingsmethoden behandeld:

- a. 'Handheld' kleinbeeldformaat oblique luchtfoto's vanuit een vliegtuigje;
- b. SPOT-satellietbeelden;
- c. Interviews met beheerders;
- d. Veldwerk.

In het rapport worden de voor- en nadelen van een aantal combinaties van methoden belicht en wordt tevens een prijsindicatie gegeven van een aantal inventarisatiemethoden.

Als belangrijkste conclusie komt uit het onderzoek naar voren dat de goedkoopste en meest betrouwbare methode er een is waarbij satellietbeelden gebruikt worden, aangevuld met kleinbeeldformaat luchtfoto's en steekproefsgewijs veldwerk.

In navolging van de inventarisatie van 1989 is ook in 1990 gebruik gemaakt van SPOT-satellietbeelden, kleinbeeldformaat luchtfoto's en gegevens uit interviews met beheerders. Deze waarnemingsmethoden zijn elk op zich ontoereikend om een compleet beeld van de schade te vormen, maar ze vullen elkaar goed aan. De satellietbeelden leveren in principe het volledige overzicht, maar er is extra kennis nodig om ze goed te kunnen interpreteren. In veel gevallen zijn hiervoor veldgegevens nodig. De luchtfoto's nemen de rol van veldwerk grotendeels over; schade kan er goed op herkend worden, waarna de karakteristieken van deze plekken in het satellietbeeld kunnen worden teruggezocht. Er kan met enkele terreinbezoeken volstaan worden om vast te stellen hoe de schade zich op de foto's voordoet, en om enkele twijfelgevallen na te trekken. Ook is extra informatie nodig over het type terrein en het vegetatietype. Niet ter zake doende typen moeten buiten beschouwing gelaten worden. Ook hierbij spelen luchtfoto's een belangrijke rol.

De belangrijkste reden om SPOT-beelden te gebruiken, is dat deze satelliet in opdracht opnamen maakt, waarmee de kans op bruikbaar beeldmateriaal vergroot wordt.

2.2 Waarneming van vraatschade met SPOT

Het nabij-infrarode licht wordt door de blaadjes van de heideplant sterk gereflecteerd. Doordat de kever vooral de blaadjes van de planten eet, neemt de infraroodreflectie van aangetaste heide af. Deze afname t.o.v. vitale heide maakt het mogelijk de schade op de SPOT-beelden waar te nemen. De veranderde infraroodreflectie wordt dus vooral veroorzaakt door een veranderde structuur van de vegetatie, en niet door de kleurverandering die wij met het blote oog in het veld waarnemen. Deze roodkleuring heeft een andere oorzaak: doordat de groene blaadjes worden weggevreten blijft er een

kaal staketsel van rode stengels over. Als de planten vervolgens afsterven verandert de rode kleur in grijs. In het veld en op de true color luchtfoto's is dit verschil tussen recente vraat (rood) en vraat uit voorgaande jaren (grijs) duidelijk te zien. De structuur van de heideplanten verandert echter niet als zij sterven; het blijft een kaal staketsel. De infraroodreflectie blijft daarmee gelijk, waardoor oude en nieuwe vraatschade in de infrarode band van het satellietbeeld niet van elkaar te onderscheiden is. Weliswaar is de toename in het rood ook op het satellietbeeld terug te vinden, maar deze toename is te gering om de schade met enige zekerheid te kunnen vaststellen. Alleen door de aangetaste gebieden van verschillende jaren in een GIS met elkaar te vergelijken kan recente uitbreiding in kaart worden gebracht. In par. 2.6 wordt nader ingegaan op de manier waarop pixels met een verminderde infraroodwaarde in het beeld geïsoleerd worden. In bijlage C zijn de relatieve reflectiewaarden in het rode en infrarode deel van het spectrum in beeld gebracht, voor de categorieën vitale heide en aangetaste heide.

SPOT

De SPOT satelliet draait op 830 km hoogte om de aarde, 14 maal per dag. Eens in de 26 dagen komt hij over hetzelfde punt op aarde, maar omdat de sensoren richtbaar zijn, kunnen vaker opnamen van hetzelfde gebied gemaakt worden. SPOT-beelden bestrijken een oppervlak van 60 x 60 km. Er kan in zwart/wit (PAN) worden opgenomen, of in kleur (XS). In dat laatste geval wordt de door de aarde gereflecteerde zonnestraling geregistreerd in drie golflengtegebieden: groen, rood en nabij infrarood. De afmeting van de pixels (beeldelementen) bedraagt dan 20 x 20 m op de grond.

Een voordeel van de detectie aan de hand van veranderde infraroodreflectie is, dat er geen verwarring optreedt met droogteschade. Droogte heeft ook een rood/bruinverkleuring van de heide tot gevolg, maar de blaadjes zitten dan nog wel aan de plant. Inmiddels zal duidelijk zijn dat de verwarring wel in het veld optreedt, afgaand op de veranderde roodreflectie, maar niet in het infrarode kanaal van het satellietbeeld: de structuur van de planten blijft gelijk.

2.3 Geografisch Informatiesysteem (GIS)

Dit jaar is bij het volgen van de keverplaag voor het eerst gebruik gemaakt van een GIS. In een GIS kunnen diverse soorten terreininformatie op een gemeenschappelijke geografische basis bijeen worden gebracht. Afgezien van het feit dat dit een goede manier van archivering is, worden hiermee ook de analysemogelijkheden sterk vergroot. In het GIS worden gegevens, die in een bepaald jaar over de plaagomvang verkregen zijn, als digitale kaart opgeslagen, waarna zij gerelateerd kunnen worden aan gegevens van voorgaande jaren. Voor het monitoren van de plaagdynamiek is dit een vereiste. Wanneer tevens gegevens over het gevoerde beheer worden opgeslagen, wordt de beheersgeschiedenis van een terrein vastgelegd. Koppeling van deze gegevens met de vraatschadegegevens maakt een evaluatie mogelijk van de beheerseffectiviteit. In dit onderzoek zijn de schadeplekken zoals die uit de satellietbeelden zijn afgeleid, opgeslagen in een GIS.

Een voor monitoring belangrijk begrip is wat hier het gebied van toepassing genoemd zal worden. Met gebied van toepassing wordt het gedeelte van het heideterrein bedoeld dat

ligt binnen de terreingrenzen, zonder die delen die niet als heidevegetatie aangemerkt kunnen worden. Vergraste heide wordt wel tot het gebied van toepassing gerekend, bosjes, paden, wegen, open water, moeras, landbouwgrond, gebouwen, e.d. niet.

Het belang van het begrip gebied van toepassing is tweeledig. Ten eerste fungeert het als een masker, waarmee niet ter zake doende terreindelen verwijderd worden. Hiermee wordt voorkomen, dat de beeldanalyse gegevens oplevert die een geheel andere betekenis hebben dan bedoeld. Een voorbeeld: wanneer de detectiemethode voor aangetaste heide, zoals die in dit onderzoek gebruikt is, wordt losgelaten op landbouwgebieden of steden, is het goed mogelijk dat ook hier aangetaste heide geconstateerd wordt. Dit is niet zozeer een tekortkoming van de methode als wel een gevolg van gebruik buiten het toepassingsdomein.

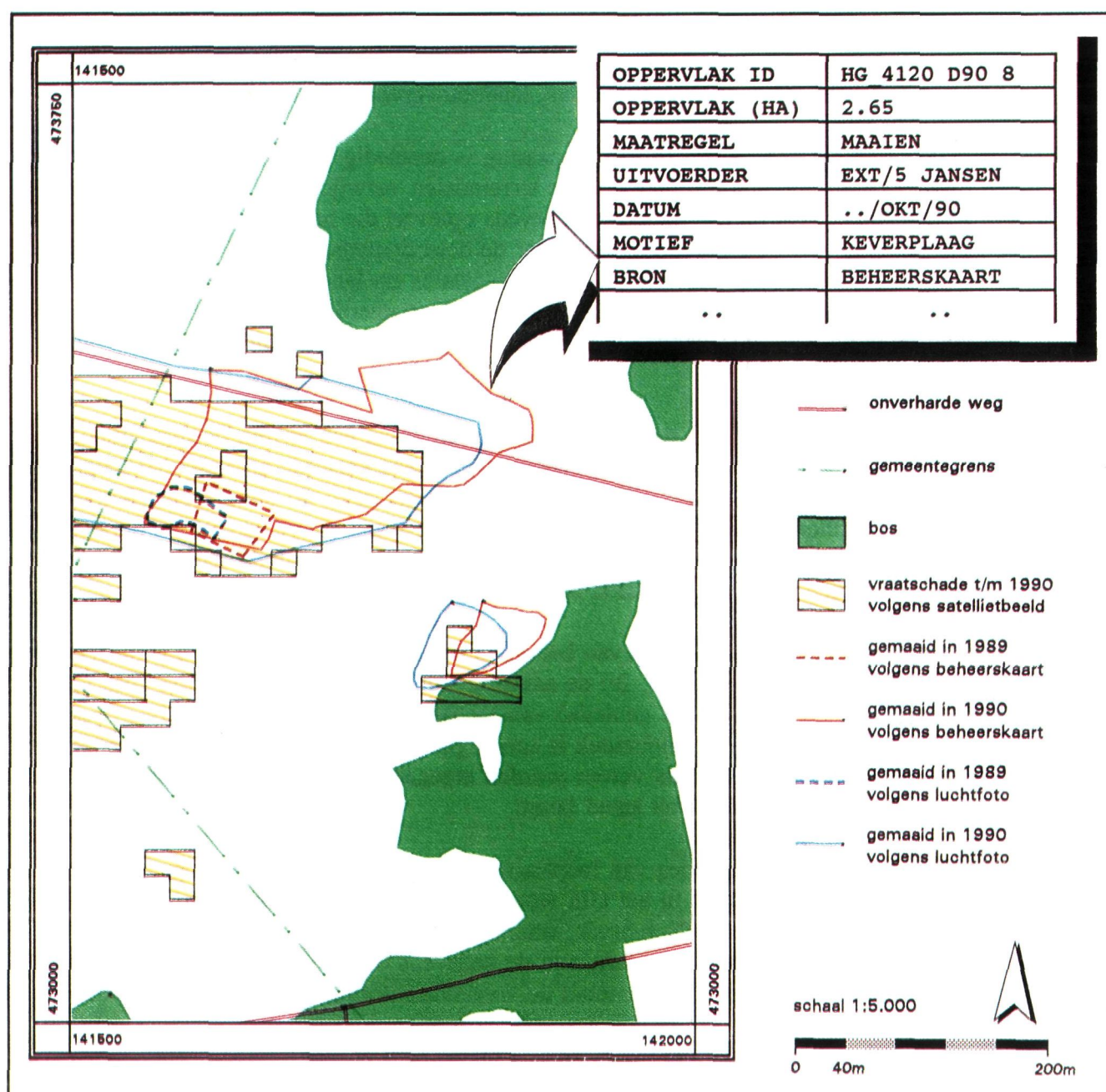
Ten tweede is het van belang, dat wanneer de toestand van een terrein in verschillende jaren met elkaar vergeleken wordt, dit gebeurt met steeds dezelfde arealen. Als ieder jaar het gebied van toepassing opnieuw bepaald moet worden, leidt dit onherroepelijk tot jaarlijkse verschillen in de ligging van de grens. De uitspraken over de toestand van het terrein betreffen dan niet steeds het zelfde areaal, waardoor zij minder nauwkeurig worden. Bovendien vergt de herhaalde afgrenzing veel arbeid.

Om bovengenoemde redenen is het van belang in een monitoringsysteem de gebieden van toepassing op te slaan in een GIS. Bij de aanvang van dit onderzoek was nog geen GIS-bestand voorhanden waarin deze gebieden van toepassing voor elk heideterrein gespecificeerd werden. In dit onderzoek is een begin gemaakt met de opbouw van een dergelijk bestand. In par. 2.5 zal verder worden ingegaan op de manier waarop de afbakening van deze gebieden tot stand komt.

Naast de opslag van de gebieden van toepassing, belangrijk voor monitoring, kunnen in principe ook andere gegevens in het GIS worden ondergebracht. Figuur 1 is een voorbeeld van verdergaand GIS-gebruik, waarbij beheersmaatregelen gekarteerd worden. Hoewel het hier een voorbeeld betreft, zijn de gegevens ontleend aan bestaande beelden, foto's en beheerskaarten. De figuur toont de volgende informatielagen (punt 1 is reeds geïmplementeerd):

1. Vraatschade uit verschillende jaren, zoals gedetecteerd op het satellietbeeld;
2. Plaats en omvang van beheersmaatregelen zoals gedetecteerd op het satellietbeeld;
3. Plaats, omvang en aard van beheersmaatregelen zoals die te zien zijn op de luchtfoto's;
4. Plaats, omvang, aard en tijdstip van beheersmaatregelen zoals opgegeven door de beheerder.

De plaats en omvang van beheersmaatregelen zoals opgegeven door de beheerder zijn gekarteerd op basis van veldwaarnemingen. Dit voorbeeld laat zien hoe luchtkarteringen de veldwaarnemingen kunnen ondersteunen en verbeteren. Zij bieden, in combinatie met een GIS, de mogelijkheid om op efficiënte wijze een volledige administratie van uitgevoerde beheersmaatregelen te voeren. Overigens brengen beheerders de uitgevoerde beheersmaatregelen niet altijd zelf in kaart. Luchtfoto's vormen dan de belangrijkste informatiebron.



Figuur 1: Voorbeeld van de verschillende typen informatie die in het GIS kunnen worden opgeslagen. Elk object bevat een verwijzing naar een database waarin gegevens over dat object zijn opgeslagen.

Naast mogelijkheden van GIS gebruik, toont dit voorbeeld ook enige moeilijkheden. De verschillende informatiebronnen hebben ieder een eigen onnauwkeurigheid, zowel in locatie als in detectie. Het is op dit moment nog niet goed duidelijk welke nauwkeurigheid vereist is, en hoe nauwkeurigheid en kosten zich verhouden. In par. 5.3 wordt nader ingegaan op de nauwkeurighedsaspecten.

2.4 Stappenschema

De stappen die nodig zijn om van satellietbeeld tot schadekaart te komen, zijn in onderstaand schema weergegeven. In de bij de stappen vermelde paragrafen wordt een nadere omschrijving gegeven.

Schema 1: Stappen in het productieproces van satellietbeeld tot kaart

Registreren van beelden op topografische kaart	1 bijlage B
Opsplitsen van het beeld in deelbeelden met steeds een heideterrein	2
Selecteren van trainingspixels waarvan op basis van veldwaarneming of luchtfoto's aantasting vaststaat	3 par. 2.6
Keuze klassegrenzen in de infrarode band	4 par. 2.6, bijlage C
Selectie van pixels met aangetaste heide d.m.v. 'level slicing'	5 par. 2.6, bijlage C
Controle van de ontstane schadeplekken aan de hand van oblique luchtfoto's en gegevens en kaarten die door beheerders zijn geleverd	6 par. 5.3.1.1
Maskering van voorlopige schadebeelden: verwijderen van pixels die geen heidevegetatie bevatten aan de hand van de topografische kaart en zwart/wit luchtfoto's 1:18.000	7 par. 2.5
Bijwerken van gemaskeerde schadebeelden ter verwijdering van classificatiefouten	8 par. 2.7
Overbrengen van schadepixels naar het GIS	9 bijlage D
Aanmaken van een GIS basiskaart met een omgrenzing van het gebied van toepassing	10 par. 2.5
Op schaal uitprinten van de schadebeelden samen met de omgrenzing van het gebied van toepassing	11 par. 2.8
Toevoegen van een topografische ondergrond aan de schadekaarten	12 par. 2.8

2.5 Bepaling van het gebied van toepassing

Voor de afgrenzing van het gebied van toepassing (zie par. 2.3) wordt gebruik gemaakt van vier verschillende informatiebronnen:

1. kaarten met terreingrenzen, indien beschikbaar;
2. de topografische kaart, met daarop de landschapselementen die als heide te boek staan;
3. grootformaat zwart/wit luchtfoto's 18:000, voor het uitsluiten van delen die inmiddels (t.o.v. de topografische kaart) verbost zijn.
4. satellietbeelden, waarin zaken als bosjes, open water en stuifzand makkelijk te herkennen zijn;

Op dit moment geschiedt de afgrenzing nog op twee plaatsen. Ten eerste in het beeldverwerkingssysteem, waar niet van toepassing zijnde delen van het satellietbeeld worden gemaskeerd met behulp van alle bovengenoemde informatiebronnen. Hierbij worden met een handgestuurde cursor grenzen getrokken op het satellietbeeld, terwijl de bronnen 1, 2 en 3 als visuele ondersteuning gebruikt. Een tweede afgrenzing vindt plaats door middel van digitalisatie van de kaarten genoemd onder punt 1 en 2. Hiervoor wordt een digitaliseertablet gebruikt. Deze grens wordt direct in het GIS ingevoerd.

De uiteindelijke definitie van het gebied van toepassing is de combinatie van de toepassingsgebieden die op het satellietbeeld en door kaartdigitalisatie en op het GIS bepaald zijn. Het gebied van toepassing is nu dus nog op twee plaatsen gedefinieerd. Op de kaarten in bijlage A is alleen het gebied aangegeven dat door digitalisatie van informatiebronnen 1 en 2 verkregen is. Het masker dat op het beeldverwerkingssysteem gemaakt is, komt alleen tot uitdrukking door het ontbreken van pixels die buiten het toepassingsdomein vallen.

Zoals al eerder vermeld (par. 2.3) dient de bepaling van het gebied van toepassing twee doelen: eliminatie van niet ter zake doende pixels en vaststelling van het areaal waarover een uitspraak wordt gedaan. Bij de digitalisatie van de kaarten spelen deze twee doelen door elkaar. Bosjes e.d. die aan de rand van het terrein liggen worden meteen buitengesloten. In de toekomst zullen de verschillende typen grenzen (van terreinen, eigendommen, landschapselementen, etc.) in aparte lagen in het GIS kunnen worden opgeslagen. Nu is uit praktische overwegingen gewerkt met een gecombineerde grens, die in één GIS-laag is opgeslagen. Deze dient voorlopig als GIS-basiskaart.

2.6 Selectie van de pixels met aangetaste heide

Centraal in de verwerking van de satellietbeelden staat de selectie van die pixels, die aangetaste heide bevatten. Hierbij worden de volgende stappen gevolgd:

1. Op de beelden worden een aantal plekken uitgezocht waarvan op basis van luchtfoto-interpretatie of veldwaarneming bekend is dat het schadeplekken zijn.
2. Er wordt een trainingsset samengesteld van schadepixels. Aan de hand van deze set wordt de reflectiekaracteristiek van aangetaste heide bepaald. Deze karakteristiek wordt beschreven door de gemiddelde pixelwaarde, de standaard deviatie en de maximale en

minimale pixelwaarde, zowel in het rood als in het infrarood. Uit een vijftal terreinen, verspreid over de vier SPOT-beelden, zijn uit negen bekende schadeplekken zo'n 500 pixels geselecteerd. Bijlage C bevat de statistieken van deze trainingsset.

3. Op basis van deze karakteristiek worden klassegrenzen vastgesteld. Alle pixels buiten deze grenzen worden verondersteld niet-aangetaste heide te bevatten, alle pixels daarbinnen wel. De vraatschade is in twee klassen in beeld gebracht:

1. Aangetaste heide.
2. Gedeeltelijk aangetaste heide.

De tweede klasse betreft zogenaamde mixed pixels, waarin aangetaste heide slechts een deel van het oppervlak inneemt. In bijlage C zijn de spectrale karakteristieken van deze klassen te vinden.

4. De schadepixels worden in het beeld geïsoleerd door middel van een level slicing. Dit is een beeldverwerkingstechniek waarbij een reeks pixelwaarden tot één klasse wordt omgezet, in dit geval de klasse van aangetaste heide.
5. De juistheid van de ligging van de klassegrenzen wordt visueel gecontroleerd door de vorm en afmeting van de geïsoleerde plekken te vergelijken met luchtfoto-interpretaties en veldwaarnemingen. Eventueel worden de grenzen hierna bijgesteld, tot een bevredigend resultaat is bereikt.

2.7 Bijwerken van gemaskeerde schadebeelden

De level slicing is een simpele beeldclassificatie met drie klassen: 'wel aangetast', 'gedeeltelijk aangetast' en 'niet aangetast'. Iedere classificatie van remote sensing beelden heeft echter een beperkte nauwkeurigheid. Door het overlappen van spectrale eigenschappen van objecten ontstaan classificatiefouten.

Ook met aangetaste heide is dit het geval. De klassegrenzen zijn zodanig gekozen dat de trainingsset met een zo klein mogelijke fout werd geclassificeerd. Bij de gekozen instelling zijn er echter ook andere objecten die binnen de klasse 'aangetast' vallen. Als dit een veel voorkomend verschijnsel zou zijn, was de methode onbruikbaar, en zou een andere classificatietechniek gebruikt moeten worden, waarbij bijvoorbeeld de spectrale karakteristieken uit meer dan één band gebruikt worden. Het is echter gebleken dat met de simpele level slicing de verwarring met andere objecten gering is. (Let wel dat veel objecten waarmee verwarring op zou kunnen treden al in een eerder stadium gemaskeerd zijn, zie par. 3.5). Alleen terreindelen die in de schaduw van bosranden en hoge bomen liggen, alsmede overgangszones tussen open water en heide (randen van vennen bijvoorbeeld) lijken in hun infraroodreflectie sterk op aangetaste heide.

De classificatiefouten kunnen vrij eenvoudig bijgewerkt worden omdat de betreffende pixels makkelijk te herkennen zijn: ze liggen meestal in lijnvormige formaties langs open water en bosranden. Het bijwerken gebeurt na visuele inspectie door hercodering van de pixels.

2.8 Weergave van de resultaten

De kaarten in bijlage A waarop de schadeplekken zijn aangegeven bevatten drie informatielagen:

1. de schadepixels, afkomstig uit de satellietbeelden;
2. de terreingrenzen, afgeleid van de topografische kaart of een terreinkaart als die voorhanden was;
3. topografische informatie, zoals de ligging van wegen, paden, bosjes, etc. Deze informatie is nodig om de ligging van de schadeplekken van het kaartje te kunnen lezen. In eerste instantie is de topografische informatie ook in digitale vorm aan de bestanden toegevoegd. Het bleek echter dat de duidelijkheid van de topografische kaart moeilijk te evenaren was door digitalisatie van een aantal wegen en paden. De topografische kaart geeft aanzienlijk meer relevante terreininformatie, zoals de ligging van heuvels en ruggen, hoogtelijnen, hekwerken, etc. Digitalisatie van al deze gegevens voor alle terreinen zou te veel werk zijn geweest. Daarom is er voor gekozen de bestaande topografische kaart als ondergrond te gebruiken.

Informatielagen 1. en 2. worden met een laserprinter op schaal geprint op een transparant. Dit transparant wordt op een kopie van de topografische kaart aangebracht, waarna beide, samen met de legenda en teksten, gekopieerd kunnen worden.

3. STUDIEGEBIED

Bij de selectie van de heideterreinen zijn de volgende criteria gehanteerd:

1. Het terrein ligt op de pleistocene zandgronden (het Drents plateau, in Salland, op de Veluwe, in het Gooi, in de Kempen, in het midden van Noord-Brabant en in Limburg). In 1989 is al geconstateerd dat de schade vooral hier optreedt. Omdat tot nu toe kevervraat niet in duinheidevegetaties en vochtige heidevegetaties is waargenomen, zijn deze vooralsnog buiten beschouwing gelaten.
2. Het terrein bevat droge struikheidevegetatie, zodat er mogelijk vraatschade op kan treden. Terreinen met voornamelijk vastgelegd stuifzand, mosvegetaties of juniperusstruweel vallen daarmee af.
3. Het terrein is niet kleiner dan ongeveer 30 ha. Het karteren van kleinere heideterreinen is zeer arbeidsintensief. Bovendien zijn zij moeilijker op de SPOT-beelden te herkennen.

In tabel 1 wordt een schatting gemaakt van het voor monitoring in aanmerking komende areaal, op basis van gegevens uit het rapport De Heide Heeft Toekomst! (Werkgroep Heidebehoud en Heidebeheer, 1988).

Tabel 1: Berekening van het voor monitoring in aanmerking komende areaal volgens de criteria die in de tekst worden genoemd (Bron: Werkgroep Heidebehoud en Heidebeheer 1988).

Oppervlakte (ha)	Heidetype
42.000	totale heide-areaal
2.000	duinheide
1.000	natte heide
<u>39.000</u>	resteert
8.000	heide met 20 tot 60% bomen bedekt
<u>5.500</u>	terreinen kleiner dan 30 ha.
<u>25.500</u>	voor monitoring in aanmerking komend

In het onderzoek van 1989 zijn, op basis van bovenstaande criteria, 37 terreinen in beschouwing genomen. Omdat niet van alle terreinen remote sensing materiaal voorhanden was, is uiteindelijk van 22 terreinen een kaart gemaakt.

Een aantal terreinen is dit jaar, in tegenstelling tot 1989, niet meer in beschouwing genomen:

1. het Balinge/Mantinger Zand (Dr), omdat het naast kaal stuifzand voornamelijk Juniperusstruweel bevat;
2. de Otterlose Heide (Gld), omdat deze voornamelijk uit mosvegetatie bestaat;

Daarnaast is een aantal terreinen voor het eerst opgenomen, te weten:

1. Ermelose Heide (Gld)
2. Grote Heide (Gld)
3. Kleine Heide (Gld)
4. Het Keizand (Gld)
5. De Valenberg (Gld)
6. Zilvense Heide (Gld)
7. Lemelerberg (Ov)

Een aantal terreinen is gesplitst in twee of drie terreinen:

1. Kraloërheide (voorheen samen met Dwingelose Heide)
2. Westerheide (voorheen samen met Bussumerheide)
3. Zuiderheide (voorheen samen met Bussumerheide)
4. Blaricummerheide (voorheen samen met Tafelbergheide)

Drie terreinen komen onder een andere naam voor:

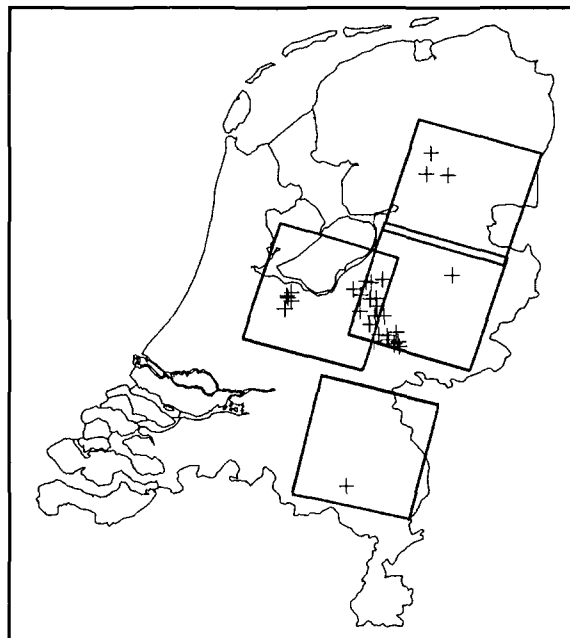
De Posbank (Gld) wordt nu Rhedense Heide genoemd, de Leukerheide (Lim) heet nu Gemeente Heide, en de Uffeltse Heide staat hier als Uffelterveen te boek.

In het volgende hoofdstuk (tabel 2) staan de terreinen vermeld die in het huidige onderzoek in beschouwing zijn genomen.

4. MATERIAAL

4.1 Beschikbare informatie

Tabel 2 laat zien welke gegevens beschikbaar zijn voor de terreinen die in deze inventarisatie betrokken zijn. Alleen voor de 39 terreinen waarvan satellietbeeldmateriaal beschikbaar is, kan de vraatschade in beeld gebracht worden. Deze 39 terreinen staan in tabel 3, hoofdstuk 5 vermeld. In figuur 2 is de ligging van deze terreinen weergegeven, samen met de ligging van de satellietbeelden. Er zijn vier SPOT-beelden gebruikt, die op 2 en 3 augustus 1990 zijn opgenomen. Met dit aantal kon ongeveer 90% van de heide-terreinen in beeld worden gebracht, terwijl met elk extra beeld slechts een klein aantal terreinen in Limburg of midden-Brabant kon worden toegevoegd.



Figuur 2: De ligging van de vier SPOT-beelden en de terreinen uit tabel 3.

De terreinen waar uiteindelijk een uitspraak over kan worden gedaan vormen dus niet het totale voor monitoring in aanmerking komende areaal, maar een steekproef hieruit. Deze steekproef beslaat ongeveer 14.000 ha (zie par. 5.1). Dit oppervlak is iets meer dan de helft van het aantal voor monitoring in aanmerking komende hectaren (25.500 ha, zie hst. 3). Het verschil wordt voor een belangrijk deel verklaard door het buiten beschouwing laten van kleine terreinen en het ontbreken van satellietbeeldmateriaal van een aantal grote terreinen. Omdat de steekproef zo groot is en over het hele land verspreid, mag worden aangenomen dat de resultaten representatief zullen zijn voor de situatie in Nederland.

4.2 Fotomateriaal

Ook in 1990 zijn er weer oblique luchtfoto's gemaakt, ditmaal van 23 terreinen. Een aantal terreinen is niet gefotografeerd, omdat in eerste instantie vanuit het vliegtuig geen nieuwe schade was waar te nemen. De spectaculaire grote rode plekken zoals die in 1989 vanuit de lucht te zien waren, deden zich in 1990 niet voor. Bij nauwkeurige bestudering van de foto's bleek later dat er hier en daar wel uitbreiding van schade te zien was. Omdat het aantal reeds gefotografeerde terreinen voldoende leek om er de satellietbeelden mee te kunnen interpreteren, zijn verder geen foto's meer gemaakt.

De slechte waarneembaarheid vanuit de lucht van nieuwe schade wordt voornamelijk veroorzaakt door de geringe afmeting van de plekken.

Tabel 2: Overzicht van het materiaal dat van de verschillende terreinen voorhanden is.

	Terrein	Top-kaart	Aanwezig op SPOT-beeld	Oblique Lucht-foto's	Kaart gemaakt	Beheers-informatie in 1990
1	Noordse Veld (Dr)	12B	-	-	-	geen
2	Doldersummer Veld (Dr)	16F	'89 '90	'90	'89 '90	mond.med.
3	Wapserveld (Dr)	16F	'89 '90	'90	'89 '90	mond.med.
4	Uffelterveen (Dr)	16H	'89 '90	-	'89 '90	geen
5	Dwingelose Heide (Dr)	17C	'89 '90	'89 '90	'89 '90	mond.med.
6	Kraloërheide (Dr)	17C	'89 '90	'89 '90	'89 '90	geen
7	Lemelerberg (Ov)	28A	'89 '90	'90	-	geen
8	Haarlerberg (Ov)	28C	'89 '90	'89 '90	'89 '90	geen
9	Blaricumheide (NH)	26C	'90	'89 '90	'90	kaart
10	Tafelbergheide (NH)	26C	'90	'89 '90	'90	kaart
11	Hoorneboogse Heide (NH)	31F	'90	'89 '90	'90	kaart
12	Bussumerheide (NH)	32A	'90	'89 '90	'90	kaart
13	Westerheide (NH)	32A	'90	'89 '90	'90	kaart
14	Zuiderheide (NH)	32A	'90	-	'90	kaart
15	Ermelose Heide (Gld)	26H	'90	'90	'90	geen
16	Elspeetse Heide (Gld)	27C	'90	'89 '90	'90	kaart
17	Het Greveld (Gld)	27C	'89 '90	'90	'89 '90	geen
18	Landgoed Welna (Gld)	27C	'89 '90	'90	'89 '90	geen
19	Houtdorper Veld (Gld)	32F	'90	'89	'90	kaart
20	Kootwijkse Veld (Gld)	32F	'90	'89	'90	geen
21	Asselse Heide (Gld)	33A	'89 '90	'89 '90	'89 '90	mond.med.
22	Hoog Buurlose Heide (Gld)	33A	'89 '90	'89	'89 '90	mond.med.
23	Hoog Soerense Veld (Gld)	33A	'89 '90	'89	'89 '90	mond.med.
24	Uddelse Buurtveld (Gld)	33A	'90	'89	'90	mond.med.
25	Leesterhei (Gld)	33B	'89 '90	-	'89 '90	mond.med.
26	Deelense Zand (Gld)	33C	'89 '90	-	'89 '90	geen
27	Oud-Reemster Veld (Gld)	33C	'89 '90	'89 '90	'89 '90	geen
28	Zuiderheide, Harskamp (Gld)	33C	'89 '90	'89	'89 '90	geen
29	Grote Heide (Gld)	33D	'89 '90	-	'90	geen
30	Het Keizand (Gld)	33D	'89 '90	-	'90	mond.med.
31	Kleine Heide (Gld)	33D	'89 '90	-	'90	geen

	Terrein	Top-kaart	Aanwezig op SPOT-beeld	Oblique Lucht-foto's	Kaart gemaakt	Beheers-informatie in 1990
32	Rheder/Worthrhederheide (Gld)	33D	'89 '90	'89 '90	'89 '90	mond.med.
33	Rozendaalse Veld (Gld)	33D	'89 '90	'89 '90	'89 '90	mond.med.
34	Terletse Heide (Gld)	33D	'89 '90	'90	'89 '90	mond.med.
35	De Valenberg (Gld)	33D	'89 '90	'90	'90	mond.med.
36	Zilvense Heide (Gld)	33D	'89 '90	'90	'90	mond.med.
37	Rhedense Heide (Gld)	40B	'89 '90	'89 '90	'89 '90	geen
38	Rechte Heide (NBr)	50F	-	-	-	geen
39	Kampinase Heide (NBr)	51A	-	-	-	geen
40	Strabrechtse Heide (NBr)	51H	'89 '90	'89 '90	'89 '90	kaart
41	Groote Heide, Leenderbos (NBr)	57E	'89	'89	'89	geen
42	Gemeente Heide (Lim)	46G	'89	-	'89	kaart
43	Looierheide (Lim)	52E	'89	'89	'89	mond.med.
44	Meijnweg (Lim)	58G	'89	-	'89	mond.med.

5. RESULTATEN

5.1 De verspreiding van de plaag

De explosieve groei van de keverpopulaties zoals die in 1989 te zien was, heeft zich in 1990 niet voortgezet. Een mogelijke oorzaak hiervoor is wellicht de droge zomer van 1990 geweest, waardoor de kevers zich niet goed hebben kunnen vermenigvuldigen.

Als gevolg hiervan is de nieuwe schade in 1990 beperkt gebleven. Weliswaar is in een achttal terreinen nieuwe schade geconstateerd, doch de omvang ervan was steeds veel kleiner dan in 1989. Een uitzondering hierop vormt het Keizand van de Loenermark, dat in 1990 voor de helft is aangetast, terwijl er in 1989 geen schade geconstateerd werd.

In tabel 3 is een schade-overzicht te vinden voor die terreinen uit tabel 2 waarvan satellietbeelden beschikbaar waren. Van die terreinen waarvan dat bekend was zijn ook de maatregelen vermeld die tegen de plaag genomen zijn. Overigens werd in een aantal gevallen voor het niet nemen van maatregelen het argument genoemd dat het maaisel niet vervoerbaar is door een te hoog lood- en cadmiumgehalte.

Het totale oppervlak van de gebieden van toepassing bedraagt bijna 14.000 ha, van de 25.500 ha die voor monitoring in aanmerking komen (zie hst. 2.). Deze 14.000 ha vormen een bruto-oppervlak, waarvan vitale heide slechts een deel inneemt. Het percentage aangetaste heide van dit bruto-oppervlak bedraagt 6%. Het is echter veel interessanter om te weten welk deel van de in een terrein aanwezige struikheide is aangetast. Immers, als slechts 6% van het terrein door struikheide wordt ingenomen, betekent dat, dat alle struikheide is aangetast. Het is op dit moment nog moeilijk om een schatting te maken van het percentage dat in de Nederlandse heideterreinen wordt ingenomen door struikheide. Volgens Van Kootwijk (1989) is dit ongeveer een derde van het bruto-oppervlak. In dat geval bedraagt het percentage aangetaste struikheide bijna 20%.

Tabel 3: Schade-overzicht op basis van satellietbeelden. De waargenomen plekken omvatten zowel schade die in 1989 als schade die in 1990 is ontstaan. Als beheersgegevens beschikbaar zijn, zijn deze ook vermeld. De terreinen in de tabel omvatten samen 14.000 ha, iets meer dan de helft van het voor monitoring in aanmerking komend oppervlak.

	Terrein	Totale schade t/m 1990 (ha)	Nieuwe schade waargenomen door beheerder	Beheer gericht tegen schade
1	Doldersummer Veld (Dr)	2	neen	geen
2	Wapserveld (Dr)	0	neen	geen
3	Uffelterveen (Dr)	2	?	?
4	Dwingelose Heide (Dr)	10	neen	geen
5	Kraloërheide (Dr)	12	?	?

	Terrein	Totale schade t/m 1990 (ha)	Nieuwe schade waargenomen door beheerder	Beheer gericht tegen schade
6	Haarlerberg (Ov)	32	?	?
7	Tafelbergheide (NH)	0	neen	geen
8	Blaricummerheide (NH)	1	ja	gemaaid
9	Hoorneboegse Heide (NH)	1	ja	gemaaid
10	Bussumerheide (NH)	0	ja	gemaaid
11	Westerheide (NH)	8	ja	gemaaid
12	Zuiderheide (NH)	8	ja	gemaaid
13	Ermelose Heide (Gld)	54	?	?
14	Elspeetse Heide (Gld)	134	ja	gemaaid
15	Het Greveld (Gld)	34	?	?
16	Landgoed Welna (Gld)	36	?	?
17	Houtdorper Veld (Gld)	146	ja	gemaaid
18	Kootwijkse Veld (Gld)	26	neen	gemaaid
19	Asselse Heide (Gld)	62	neen	gemaaid
20	Hoog Buurlose Heide (Gld)	8	neen	geen
21	Hoog Soerense Veld (Gld)	4	neen	geen
22	Uddelse Buurtveld (Gld)	61	ja	gemaaid
23	Leesterhei (Gld)	6	neen	geen
24	Deelense Zand (Gld)	12	?	?
25	Oud-Reemster Veld (Gld)	2	?	?
26	Zuiderheide, Harskamp (Gld)	2	?	geen
27	Grote Heide (Gld)	1	?	?
28	Het Keizand (Gld)	7	ja	geen
29	Kleine Heide (Gld)	0	?	?
30	Rheder/Worthrhederheide (Gld)	10	neen	geen
31	Rozendaalse Veld (Gld)	6	neen	geen
32	Terletse Heide (Gld)	30	neen	geen
33	De Valenberg (Gld)	0	neen	geen
34	De Zilvense Heide (Gld)	0	neen	geen
35	Rhedense Heide (Gld)	25	?	?
36	Strabrechtse Heide (NBr)	120	ja	geen
		862		

In de Gemeente Heide (Lim) en de Meijnweg (Lim) is door de beheerder vraatschade waargenomen. Deze terreinen zijn niet in bovenstaande tabel opgenomen omdat er geen satellietbeeldmateriaal van voorhanden was.

5.2 Plaagdynamiek

De schadekaarten die in deze inventarisatie zijn vervaardigd omvatten de terreindelen die in 1989 of in 1990 zijn aangevreten. Door deze kaarten te vergelijken met de kaarten uit 1989 kan de plaagontwikkeling in beeld gebracht worden.

Tabel 4 bevat de lijst van terreinen waarbij dit mogelijk is, dus waarvan uit beide jaren kaarten voorhanden zijn. De vergelijking is in het GIS uitgevoerd, door de kaarten, in de vorm van rasterbestanden, over elkaar te leggen en een verschilbeeld te maken.

In drie gevallen is één der jaargangen geometrisch niet juist geregistreerd en is het verschilbeeld niet betrouwbaar. In die gevallen is er geen verschilbeeld gemaakt, maar zijn de totale oppervlakten vergeleken. Uit deze steekproef blijkt, dat de aantasting in 1990 ongeveer de helft bedroeg van de aantasting in 1989.

Tabel 4: Toename van de vraatschade tussen 1989 en 1990 in die terreinen, waar zowel in 1989 als in 1990 schadekaarten van zijn gemaakt. De oppervlakte van de schade in 1990 is berekend door het verschil te nemen tussen de totale schade t/m 1990 en de schade in 1989.

	Terrein	schade in 1989 (ha)	schade in 1990 (ha)	totale schade t/m 1990 (ha)	schade uitgebreid in 1990
1	Doldersummer Veld (Dr)	1	1	2	
2	Wapserveld (Dr)	0	0	0	
3	Dwingelose Heide (Dr)	0	0	10	
4	Kraloërheide (Dr)	6	6	12	■
5	Haarlerberg (Ov)	12	20	32	■
6	Het Greveld (Gld)	34	0	34	
7	Landgoed Welna (Gld)	36	0	36	
8	Asselse Heide (Gld)	62	0	62	
9	Hoog Buurlose Heide (Gld)	8	0	8	
10	Hoog Soerense Veld (Gld)	3	0	3	
11	Leesterhei (Gld)	7	0	7	
12	Deelense Zand (Gld)	2	10	12	■
13	Oud-Reemster Veld (Gld)	2	0	2	

	Terrein	schade in 1989 (ha)	schade in 1990 (ha)	totale schade t/m 1990 (ha)	schade uitgebreid in 1990
14	Zuiderheide, Harskamp (Gld)	2	0	2	
15	Het Keizand (Gld)	0	7	7	■
16	Rheder/Worthrhederheide (Gld)	0	10	10	■
17	Rozendaalse Veld (Gld)	1	5	6	■
18	Terletse Heide (Gld)	2	0	2	
19	Rhedense Heide (Gld)	7	19	26	■
20	Strabrechtse Heide (NBr)	65	55	120	■
		260	133	393	

5.3 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van de uitspraken over vraatschade hangt van twee foutenbronnen af:

1. De fout in de schadedetectie. Fouten treden op als er schade gedetecteerd wordt die er in werkelijkheid niet is, of als werkelijke schade juist niet gedetecteerd wordt.
2. De fout in de locatie van de gedetecteerde schade.

5.3.1 Detectie

De beste manier om een schatting te maken van de nauwkeurigheid waarmee schadeplekken gedetecteerd worden, is om het beeldbewerkingsresultaat in het veld te controleren. Een dergelijke controle was binnen dit project echter niet meer mogelijk. In plaats daarvan is voor een aantal terreinen een vergelijking gemaakt tussen schadedetectie op het satellietbeeld, schadedetectie op basis van luchtfoto's en schadesignalering door beheerders. De resultaten hiervan staan in par. 5.3.1.1.

Om een indruk te krijgen van de oorzaken van detectiefouten, wordt in par. 5.3.1.2 een aantal foutenbronnen genoemd, samen met een indicatie van het belang van de bron. Hierbij is er vanuit gegaan, dat detectiefouten die veroorzaakt worden door atmosferische variaties tussen verschillende delen van het beeld, verwaarloost kunnen worden.

Ten slotte is in par. 5.3.1.3 gekeken hoe het oppervlakte aangetaste heide afhangt van de keuze van de klassegrenzen. Hiermee wordt een indruk verkregen van de gevoeligheid van het aantal berekende hectaren aangetaste heide voor de ligging van de klassegrenzen.

5.3.1.1 Praktische schatting van de detectienauwkeurigheid

Een indruk van de detectienauwkeurigheid in de praktijk kan verkregen worden door de uitspraken op basis van de satellietbeelden te vergelijken met uitspraken van beheerders. De ter beschikking gestelde beheerskaarten zijn niet goed te gebruiken als controlemiddel. Ten eerste is bij vergelijking met de luchtfoto's gebleken dat de plekken met een grotere onnauwkeurigheid op de beheerskaarten zijn ingetekend dan de genoemde locatieonzekerheid van 20 m die uit de satellietbeelden volgt. Hieruit blijkt hoe moeilijk het is om op basis van veldwaarneming alleen een goede kartering uit te voeren. Ten tweede tonen de kaarten de uitgevoerde beheersmaatregelen die gericht zijn tegen de schade, en niet de schadeplekken zelf. De kaarten zijn, samen met mondelinge mededelingen van beheerders, alleen te gebruiken als controle op het wel of niet voorkomen van schade in een terrein. In tabel 5 zijn de terreinen bijeengebracht waarvan informatie van beheerders uit zowel 1989 als 1990 beschikbaar is. In de tabel is aangegeven of de detectie op basis van het satellietbeeld door de beheerders bevestigd of ontkend wordt.

In drie van de negentien terreinen blijkt er een discrepantie te bestaan tussen het satellietbeeld en de opgave van de beheerder. In twee van die drie gevallen bevestigen de oblique luchtfoto's de aanwezigheid van schade echter wel, zodat aangenomen mag worden dat de satellietbeelddetectie correct was. In één geval is een dergelijke controle niet uit te voeren door het ontbreken van luchtfoto's.

Concluderend kan gesteld worden dat in nagenoeg alle gevallen de aanwezigheid van schade in het terrein met behulp van het satellietbeeld juist is vastgesteld.

Tabel 5: Terreinen waarvan het voorkomen van schade zoals dat uit het satellietbeeld bleek, gecontroleerd is aan de hand van opgaven van beheerders en luchtfoto's.

	Terrein	Informatie aanwezig bij beheersorganisatie in '89 en '90	Satellietbeeld	Luchtfoto '89 en '90
1	Doldersummer Veld	schade	schade	schade
2	Wapserveld	geen schade	geen schade	-
3	Tafelbergheide	geen schade	geen schade	-
4	Blaricummerheide	schade	schade	schade
5	Horneboegse Heide	schade	schade	schade
6	Bussumerheide	schade	schade	schade
7	Westerheide	schade	schade	schade
8	Zuiderheide	schade	schade	-
9	Elspeetse Heide	schade	schade	schade
10	Houtdorper Veld	schade	schade	schade

	Terrein	Informatie aanwezig bij beheersorganisatie in '89 en '90	Satellietbeeld	Luchtfoto '89 en '90
11	Kootwijkse Veld	geen schade	schade	-
12	Asselse Heide	schade	schade	schade
13	Hoog Buurlose Heide	schade	schade	schade
14	Hoog Soerense Veld	schade	schade	schade
15	Uddelse Buurtveld	schade	schade	schade
16	Leesterhei	schade	schade	-
17	Rheder- en Worthrhederheide	geen schade	schade	schade
18	Rozendaalse Veld	geen schade	schade	schade
19	Terletse Heide	schade	schade	schade
20	Strabrechtse Heide	schade	schade	schade

Daarnaast zijn van een aantal terreinen alle schadeplekken die op de oblique luchtfoto's te vinden waren, teruggezocht op de schadekaarten. In tabel 6 zijn alle terreinen vermeld, waarvoor een dergelijke controle mogelijk was. De terreinen waaruit al eerder trainingspixels waren geselecteerd, zijn hier natuurlijk buiten beschouwing gelaten.

Het is moeilijk om uit deze controles een betrouwbaarheidspercentage uit af te leiden; we kunnen niet spreken van een statistisch verantwoorde steekproef. In feite zijn alle terreinen die met het beschikbare materiaal gecontroleerd konden worden, ook gecontroleerd. Het algemene beeld dat uit de controles naar voren komt, is dat de detectie betrouwbaar is.

Tabel 6: Controle van schadeplekken op het satellietbeeld aan de hand van oblique luchtfoto's

	Terrein	Resultaat fotocontrole van het satellietbeeld
1	Doldersummer Veld	stemt overeen
2	Westerheide	stemt overeen
3	Blaricummerheide	stemt overeen
4	Oud-Reemster Veld	stemt overeen
5	Terletse Heide	stemt overeen

5.3.1.2 Bronnen van detectiefouten

Detectiefouten kunnen op twee manieren ontstaan:

1. Wanneer aangevreten heide geen consistente spectrale karakteristiek heeft, bijvoorbeeld omdat de omstandigheden waaronder het voorkomt sterk variëren: heide op zand, heide op een dikke strooisellaag, natte heide, droge heide, etc. Het is dan mogelijk dat aangevreten heide onder afwijkende omstandigheden niet als zodanig herkend wordt.
2. Wanneer andere objecten dezelfde spectrale karakteristiek hebben als aangevreten heide, zodat deze ten onrechte als aangetaste heide worden aangemerkt.

Het eerste geval blijkt nauwelijks een rol te spelen, omdat de kevervraat zich vrijwel altijd in dezelfde omstandigheden afspeelt: oude struikheidevegetaties met daaronder een dikke strooisellaag. De verschijningsvorm hiervan op het satellietbeeld is zeer consistent. De tweede foutenbron is grotendeels geëlimineerd door andere objecten al voor het toepassen van de level slice uit het beeld te verwijderen (zie par. 2.5 en 2.7).

Sommige schadeplekken zijn in 1989 wel, maar in 1990 niet meer gedetecteerd. Oorzaken hiervoor kunnen zijn:

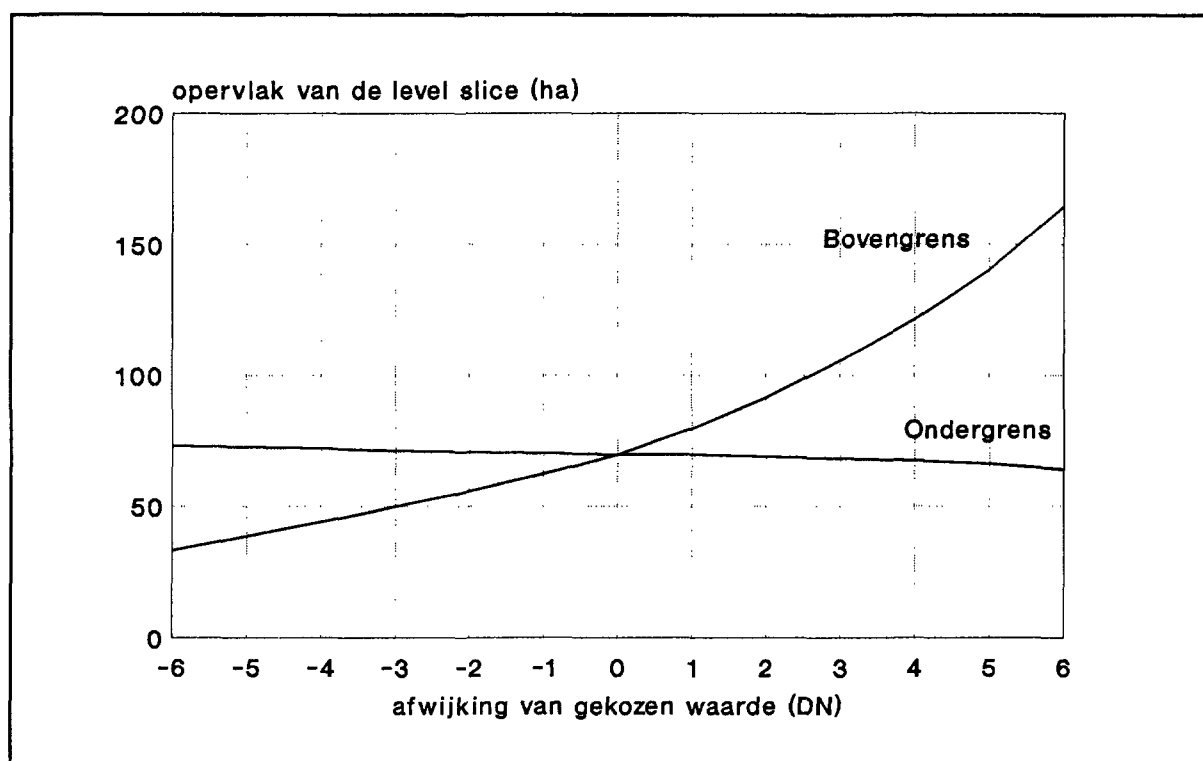
1. De plekken zijn in 1989 onterecht als aangetast aangemerkt.
2. De plekken zijn in 1990 over het hoofd gezien.

Deze inconsistenties zijn het gevolg van het feit dat de detectie van schade niet 100% nauwkeurig verricht kan worden. Zonder verder onderzoek kunnen deze oorzaken niet van elkaar onderscheiden worden. Om een indruk te geven van het belang van dit verschijnsel: in 9 van de 20 terreinen waar vergelijking mogelijk was, zijn plekken te vinden die in 1989 wel, en in 1990 niet gekarteerd zijn. Het betrof hier steeds relatief kleine plekken, tussen 0,2 en 2 ha.

Overigens is er nog een derde mogelijkheid: de heide is, na te zijn aangevreten, geregenereerd. Vooral in jonge heide lijkt dit mogelijk te zijn, wellicht in combinatie met een schimmelinfectie van de kever. Dit is een interessant verschijnsel vanuit ecologisch en beheerstechnisch oogpunt, en verdient nader onderzoek.

5.3.1.3 Onzekerheidsschatting d.m.v. een gevoeligheidsanalyse

In figuur 3 is aangegeven hoe het oppervlak aangetaste heide afhangt van de keuze van de klassegrenzen. Als deze grenzen ruimer worden gekozen, d.w.z. de bovengrens krijgt een grotere waarde en de benedengrens een kleinere, zal een groter gebied binnen de level slice vallen en zal het areaal aangetaste heide toenemen. Op de x-as is de afwijking aangegeven van de waarden die in dit onderzoek gebruikt zijn (zie tabel 19). Uit de figuur blijkt dat variatie van de ondergrens nauwelijks invloed heeft. De keuze van de ligging van de grens is niet kritisch. Variatie in de ligging van de bovengrens is wel kritisch: wordt de grens vier pixelwaarden groter gekozen, dan heeft dat een verdubbeling van het oppervlak tot gevolg.



Figuur 3: *Het oppervlak dat wordt aangemerkt als aangetast (in ha) als functie van de ligging van de level slice grens (in digital numbers, de eenheid van pixelwaarden).*

Hoe groot is nu de kans dat de ligging van de grens anders gekozen zou zijn? Als de ligging bij $x=0$ (overeenkomend met pixelwaarde 49) even waarschijnlijk is als de ligging bij $x=4$ (overeenkomend met pixelwaarde 53), dan hebben we met een zeer onbetrouwbare methode te maken: de voorspelde oppervlakten kunnen + of - 100% variëren!

Deze vraag kan alleen in de praktijk beantwoord worden. Zoals in par. 2.6 is beschreven wordt de ligging van de klassegrenzen zodanig gekozen, dat de resulterende schadeplekken van een testgebied in vorm en grootte overeenkomen met het beeld dat van deze plekken is opgebouwd met behulp van luchtfoto's en veldwaarnemingen. Het is gebleken, dat bij het vaststellen van de bovengrens er twijfel kan bestaan over één pixelwaarde meer of minder, maar dat twee pixelwaarden meer of minder al een duidelijk verkeerd beeld oplevert. De bovengrens kan dus evengoed bij $x = -1$, $x = 0$ of $x = 1$ gelegd worden. Deze onzekerheid komt overeen met een aangetast oppervlak (in figuur 3) van respectievelijk 62,4 ha, 69,7 ha en 79,6 ha, oftewel een onzekerheid van ongeveer - 10% en +14%.

Het zal duidelijk zijn dat deze schatting van de onzekerheid slechts indicatief gebruikt kan worden. Ten eerste betreft het hier slechts één van de mogelijke foutenbronnen, en zijn hier gegevens uit één heideterrein gebruikt.

5.3.2 Locatie

De betrouwbaarheid van de locatie van de schadeplekken wordt vooral bepaald door:

- a. de nauwkeurigheid in de registratie van de satellietbeelden, waar de schadeplekken uit afgeleid zijn, en
- b. de nauwkeurigheid in de registratie van de topografische kaart bij het aanmaken van de GIS-basiskaart van een terrein, waarin de schadeplekken uiteindelijk gepositioneerd worden.

De satellietbeelden zijn geregistreerd met een RMS-fout kleiner dan 20 m (zie bijlage B). De registratieonnauwkeurigheid van de topografische kaarten is aanzienlijk kleiner. Na registratie kunnen controlepunten vrijwel altijd met een fout kleiner dan 4 m worden aangewezen, oftewel 0,16 mm op kaartschaal. Deze fout is onafhankelijk van de beeldregistratie.

De belangrijkste foutenbron is dus de satellietbeeldregistratie, resulterend in een locatieonzekerheid van ongeveer 20 m.

6. CONCLUSIES

6.1 Inleiding

Deze inventarisatie van heidekevervraat is de tweede in successie. Het doel van het onderzoek was tweeledig:

1. verdere ontwikkeling van het monitoringsysteem voor signalering en registratie van kevervraat, waarmee in 1989 is begonnen;
2. kartering van de kevervraatschade die in 1990 is ontstaan.

Was het onderzoek in 1989 nog vooral gericht op het vinden van de meest geschikte remote sensing techniek, in dit onderzoek stond het gebruik van een geografisch informatiesysteem (GIS) centraal.

In dit hoofdstuk zullen de belangrijkste conclusies uit het rapport nog eens op een rij worden gezet. Er is daarbij een onderverdeling gemaakt naar onderwerp. Ten eerste worden een aantal conclusies genoemd over stand van zaken bij de ontwikkeling van het monitoringsysteem. Vervolgens worden een aantal punten genoemd met betrekking tot het verloop van de keverplaag. Tenslotte is er nog een conclusie gewijd aan het gevoerde beheer.

6.2 Het monitoringsysteem

1. In het algemeen kan gesteld worden dat het waarnemingssysteem dat in 1989/1990 ook nu weer goed gefunctioneerd heeft. Bovendien is het systeem nu uitgebreid met een GIS-component, waardoor een aantal nieuwe mogelijkheden ontstonden:
 - a. De resultaten van de schadekartering konden zodanig worden opgeslagen dat zij met gegevens uit toekomstige jaren kunnen worden gecombineerd.
 - b. Gegevens over beheersmaatregelen konden in kaartvorm worden opgeslagen en gecombineerd met schadegegevens.
 - c. De schadekaarten konden automatisch en daardoor objectiever geproduceerd worden.

Kort gezegd: het monitoringsysteem is operationeel.

2. Er is een begin gemaakt met de opbouw van een nationale heide-GIS-database. Op dit moment zijn er digitale basiskaarten van alle onderzochte terreinen aangemaakt, met daarin de omgrenzing van de gebieden van toepassing en de vraatschade tot 1990.
3. De oblique luchtfoto's zijn van grote waarde gebleken, niet alleen voor het selecteren van trainingspixels, maar ook voor het controleren van de uitspraken achteraf.
4. Afgaande op de uitgevoerde controles, lijkt de detectiemethode redelijk betrouwbare resultaten op te leveren. De positionele nauwkeurigheid van de schadeplekken wordt geschat op 20 m. In de bepaling van de aangetaste oppervlakten zit een onzekerheid van ongeveer -10% en +15%.

6.3 De plaag

6. Bij een vergelijking van 20 heideterreinen was het door heidekevers aangetaste oppervlak toegenomen van 260 ha in 1989 naar bijna 400 ha in 1990. Deze toename werd veroorzaakt door nieuwe schade in 9 van de 20 terreinen. In meer dan de helft van de terreinen was geen nieuwe aantasting te vinden.
7. Het totale oppervlak aangetaste struikheidevegetatie in de 35 hier onderzochte terreinen bedraagt iets meer dan 850 ha. Deze 35 terreinen beslaan samen een oppervlak van 14.000 ha. Het is niet goed bekend hoeveel van deze 14.000 ha door struikheidevegetaties wordt ingenomen, en dus is het moeilijk aan te geven welk deel van de voor schade gevoelige heide is aangetast. Als wordt aangenomen, bij het ontbreken van betere gegevens, dat de struikheidevegetatie ongeveer een derde van het oppervlak inneemt van de heideterreinen die nu onderzocht zijn, bedraagt het percentage aangetaste struikheide bijna 20%.

6.4 Het beheer

8. Van 28 terreinen zijn gegevens verzameld over de beheersmaatregelen die in reactie op de keverplaag genomen zijn. In 17 van die gevallen zijn er geen maatregelen genomen. In 10 gevallen is er gemaaid, in 1 geval geplagd. Als we niet naar het aantal terreinen maar naar het aantal beheerders kijken, dan blijkt dat 12 van de 18 geïnterviewde beheerders geen maatregelen hebben genomen, 5 hebben er gemaaid en 1 heeft geplagd. In een aantal gevallen werd als argument voor het niet nemen van maatregelen het hoge lood- en cadmiumgehalte van de bovenste bodemlaag en van de vegetatie aangevoerd.

7. AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden puntsgewijs een aantal suggesties van technische aard genoemd, die de resultaten van vervolgonderzoek kunnen verbeteren.

1. Om alle belangrijke heideterreinen te bedekken zijn meer dan vier SPOT-beelden nodig; vijf is waarschijnlijk het meest gunstige compromis tussen bedekking en kosten.
3. Hoewel er geen aanwijzingen zijn dat de hier gepresenteerde schadeoverzichten erg onnauwkeurig zijn, is een eenduidig cijfer voor de betrouwbaarheid nog niet te geven. Het is daarom aanbevelenswaardig om bij een volgend onderzoek de resultaten achteraf op een statistisch verantwoorde wijze te controleren.
4. Het kaartmateriaal met beheersgegevens dat in dit onderzoek beschikbaar is gekomen, is ontoereikend voor de invulling van de beheersinformatielaag in het heide-GIS. In de volgende inventarisatieronde voorzien wij in een systeem waarin de beheerders de genomen maatregelen intekenen op door ons geleverde standaardkaarten.
5. Als ondergrond voor de schadekaarten zijn kopieën van de gekleurde topografische kaart 1:25.000 gebruikt. Hier kleven twee belangrijke nadelen aan:
 - a. De kopieën zijn op een gewoon kopieerapparaat gemaakt en zijn daarom niet schaalvast; dit betekent dat, hoewel de GIS-bestanden op schaal zijn en geometrisch correct, er toch discrepanties kunnen bestaan in de ligging van bijvoorbeeld gedigitaliseerde terreingrenzen en terreingrenzen op de topografische ondergrond;
 - b. Kleurenkaarten zijn lastig in zwart/wit te kopiëren.

Een betere oplossing is om geen kopieën als ondergrond te gebruiken, maar originele ongevouwen grijsdrukken schaal 1:25.000 van de topografische kaart.

8. TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

Een aspect dat tot nu toe niet aan de orde is gekomen is de waarschuwingfunctie die een monitoringsysteem kan hebben. Omdat van een groot aantal terreinen informatie centraal wordt verzameld kan in een vroeg stadium een overzicht van de plaagomvang en intensiteit worden verkregen. Hierdoor kan al vroeg duidelijk worden welke inspanning in het najaar geleverd zal moeten worden ter bestrijding van de plaag. Beheerders kunnen attent gemaakt worden op het voorkomen en de locatie van kevervraat. Op dit moment zijn de technieken voor een dergelijk waarschuwingssysteem operationeel. Wat nog ontbreekt is een organisatiestructuur, waarin informatie niet alleen centraal wordt ingezameld, maar waarin ook binnen een bepaald tijdsschema conclusies over de plaag naar de betrokken instanties verspreid worden. Dit aspect kan al in een volgende inventarisatieronde nader uitgewerkt worden.

Het einddoel van deze onderzoeken is een monitoringsysteem op basis van satellietbeelden waarmee niet alleen kevervraatschade maar ook vergrassing en verbossing in beeld gebracht kan worden. In het GIS dat aan het monitoringsysteem gekoppeld is, kunnen alle gegevens die van belang zijn voor het beheer van de heide worden ondergebracht: terreingrenzen, eigendomsgrenzen, vraatschadeplekken, vegetatietypen, landschapselementen, vergraste plekken, uitgevoerde beheersmaatregelen, etc. De belangrijkste functie van een dergelijk systeem is de ondersteuning en de evaluatie van het beheer. Daarnaast levert het gegevens die gebruikt kunnen worden in het beleid en ten behoeve van wetenschappelijk onderzoek.

Er is in dit onderzoek een begin gemaakt met de opzet van een nationale heide-GIS-database. De volledige invulling hiervan vergt een aanzienlijke inspanning, die te groot is om binnen een project als het huidige te kunnen verwezenlijken. Als blijkt dat het monitoringsysteem met de geleverde informatie in een duidelijke behoefte voorziet, is er echter veel meer mogelijk. Dergelijke grote databestanden kunnen gaanderweg tijdens het gebruik van het systeem worden opgebouwd en onderhouden. Voorwaarde voor exploitatie blijft echter de vraag naar de producten.

9. LITERATUUR

Van Kootwijk, E.J., 1989. Inventarisatie van de vergrassing van de Nederlandse heide. RIN-rapport 89/1, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem.

Vels, L.L., J.P. Moen en J.T. de Smidt, 1990. Detectie en kartering van vraatschade door heidekever in Nederland, 1989. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, directie Natuur-, Milieu- en Faunabeheer. Instituut voor Ruimtelijk Onderzoek, faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Rijksuniversiteit Utrecht.

Werkgroep Heidebehoud en Heidebeheer, 1988. De heide heeft toekomst! Staatsbosbeheer, Utrecht.

Niet aangehaalde, maar relevante literatuur:

Berdowski, J.J.M. & R. Zeilinga, 1987. Transition from heathland to grassland: Damaging effects of the heather beetle. *J. Ecology* 75: 159-175.

Berdowski, J.J.M., 1987. The catastrophic death of *Calluna vulgaris* in Dutch heathlands. Thesis, University of Utrecht, The Netherlands.

Blankwaardt, H.F.H., 1977. Het optreden van plagen van de Heidekever (*Lochmaea suturalis* Thomson) in Nederland sedert 1912. *Entomol. Ber.* 37: 33-40.

Brunsting, A.M.H. & G.W. Heil, 1985. The role of nutrients in the interaction between a herbivorous beetle and some competing plant species in heathlands. *Oikos* 44: 23-26.

Burrough, P.A., 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford.

Marrs, R.H., 1986. The role of catastrophic death of *Calluna* in heathland dynamics. *Vegetatio* 66: 109-115.

Miles, J., 1981. Problems in heathland and grassland dynamics. *Vegetatio* 64: 61-74

Schowengerdt, R.A., 1983. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Academic Press, New York.

Smidt, J.T. de, 1977. Interaction of *Calluna vulgaris* and the heather beetle (*Lochmaea suturalis*). *Vegetation Und Fauna*, R. Tüxen (ed.), pp. 179-186. Cramer, Vaduz, Liechtenstein.

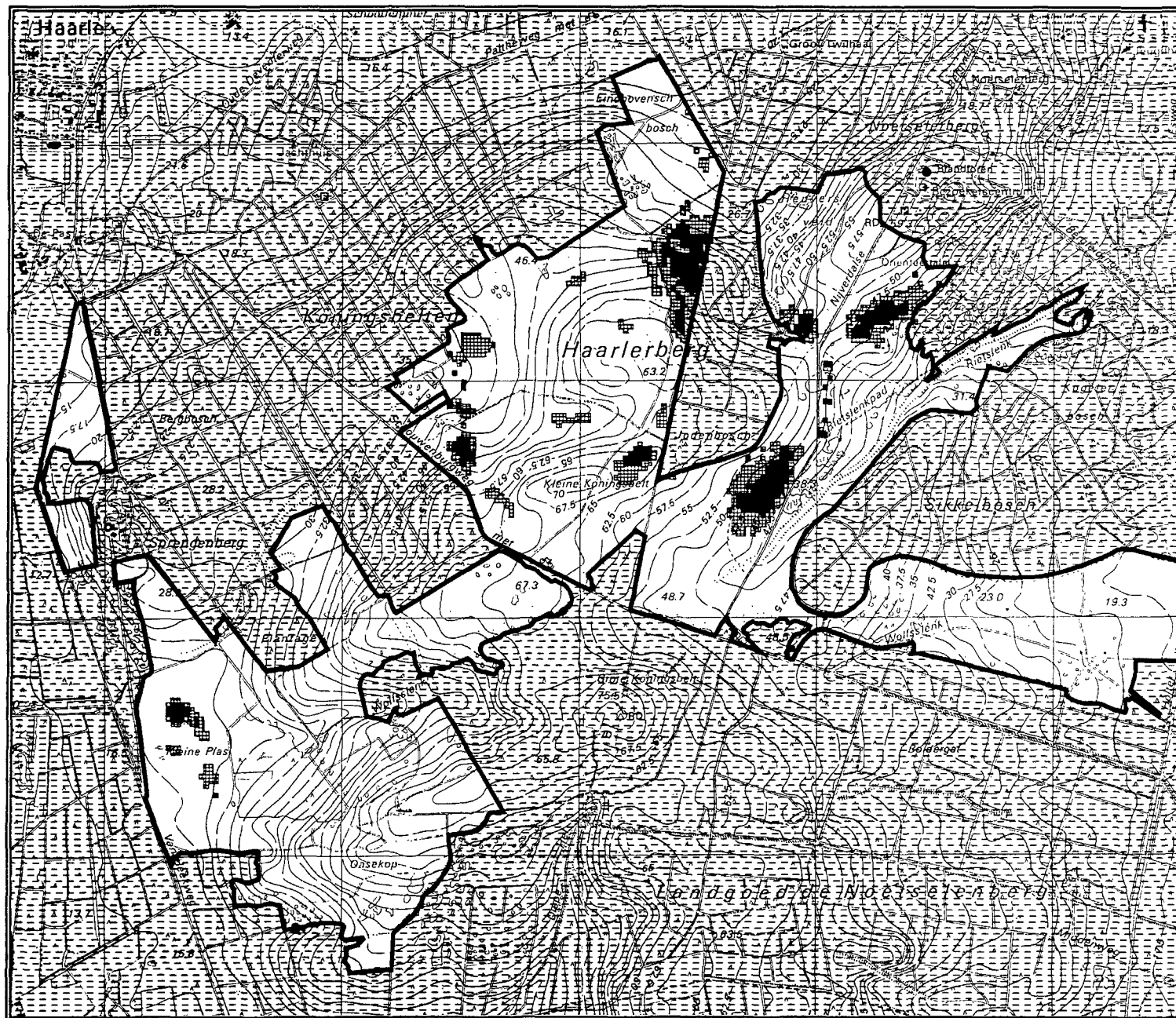
Smidt, J.T. de, J.J.M. Berdowski, A.M.H. Brunsting, G.W. Heil & R. Zeilinga, 1984. Hedendaags heidebeheer. *Natuur en Techniek* 52: 691-709.

Smidt, J.T. de & A.M.H. Brunsting, 1990. Tegengaan van vergrassing bij Heidekeverplaag. *De Levende Natuur* 91.

BIJLAGE A Schadekaartjes

Deze bijlage bevat de volgende 28 kaarten van heideterreinen waarop de schadeplekken zoals die uit de satellietbeeldbewerking naar voren kwamen, zijn aangegeven.

Kaart	Terrein
1	Wapserveld en Doldersummer Veld (Dr)
2	Uffelterveen (Dr)
3	Dwingelose Heide en Kraloërheide (Dr)
4	Haarlerberg (Ov)
5	Tafelbergheide en Blaricumheide (NH)
6	Hoorneboegse Heide (NH)
7	Bussumerheide, Westerheide en Zuiderheide (NH)
8	Ermelose Heide (Gld)
9	Elspeetse Heide, oost (Gld)
10	Elspeetse Heide, west (Gld)
11	Landgoed Welna en Het Greveld (Gld)
12	Houtdorper Veld (Gld)
13	Kootwijkse Veld (Gld)
14	Asselse Heide (Gld)
15	Hoog Buurlose Heide (Gld)
16	Hoog Soerense Veld (Gld)
17	Uddelse Buurtveld (Gld)
18	Leesterhei (Gld)
19	Deelense Zand (Gld)
20	Oud-Reemster Veld (Gld)
21	Zuiderheide, Harskamp (Gld)
22	Kleine Heide en Grote Heide (Gld)
23	Zilvense Heide, Het Keizand en De Valenberg (Gld)
24	Rheder/Worthrhaderheide (Gld)
25	Rozendaalse Veld (Gld)
26	Terletse Heide (Gld)
27	Rhedense Heide (Gld)
28	Strabrechtse Heide (NBr)



KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Haarlerberg



- terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
 Topografische ondergrond: Topografische
 kaart van Nederland®
 Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
 Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Tafelbergheide
Blaricummerheide



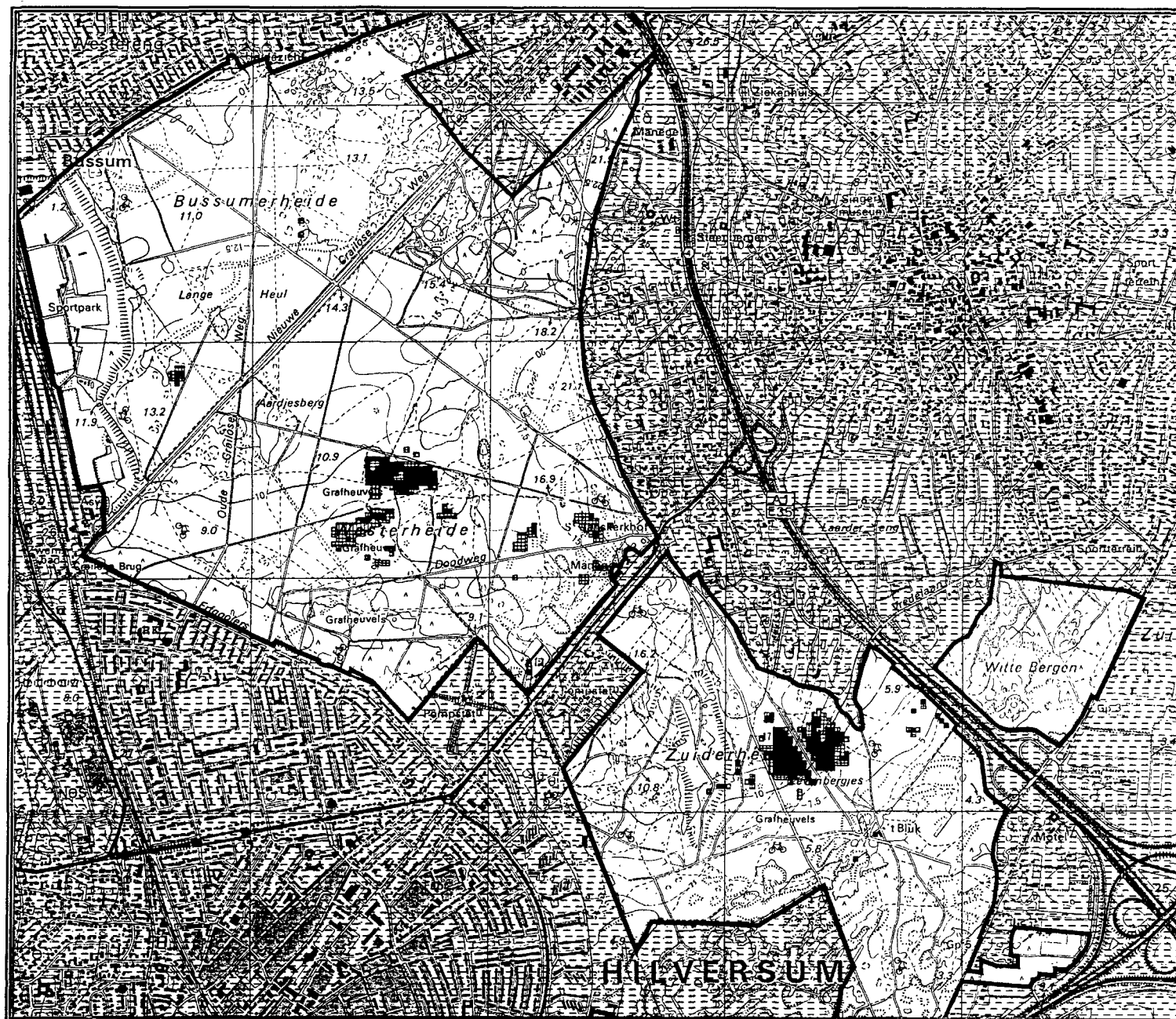
- terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische
kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Het Gooi:

- Bussumer Heide
- Westerheide
- Zuiderheide



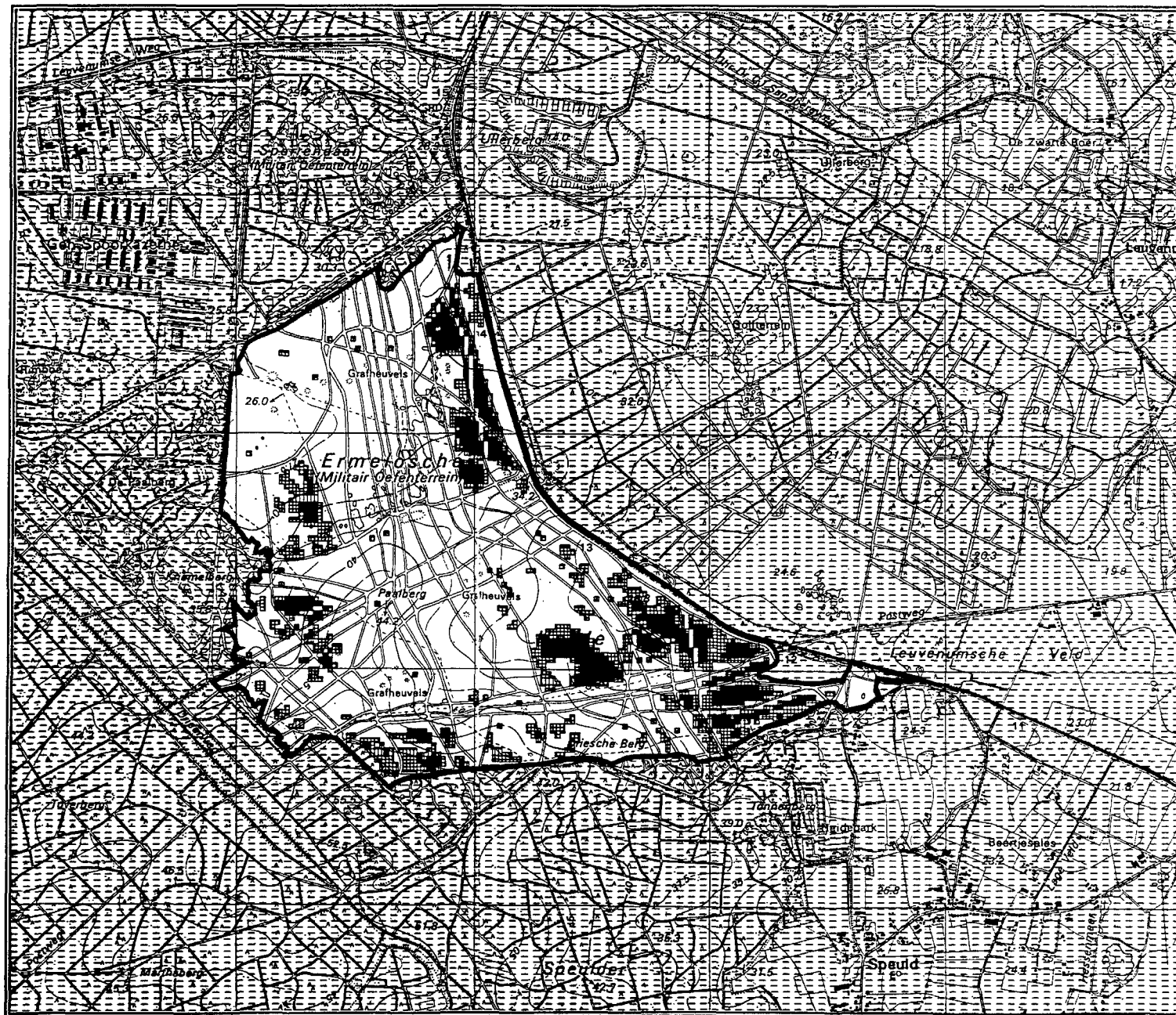
- terreingrens
- ▨ gedeeltelijk aangetaste heide
- aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland©
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Ermelose Heide



- terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Elspeetse Heide (oost)



- terreingrens
- ▨ gedeeltelijk aangetaste heide
- aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische
kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™







KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Houtdorper Veld



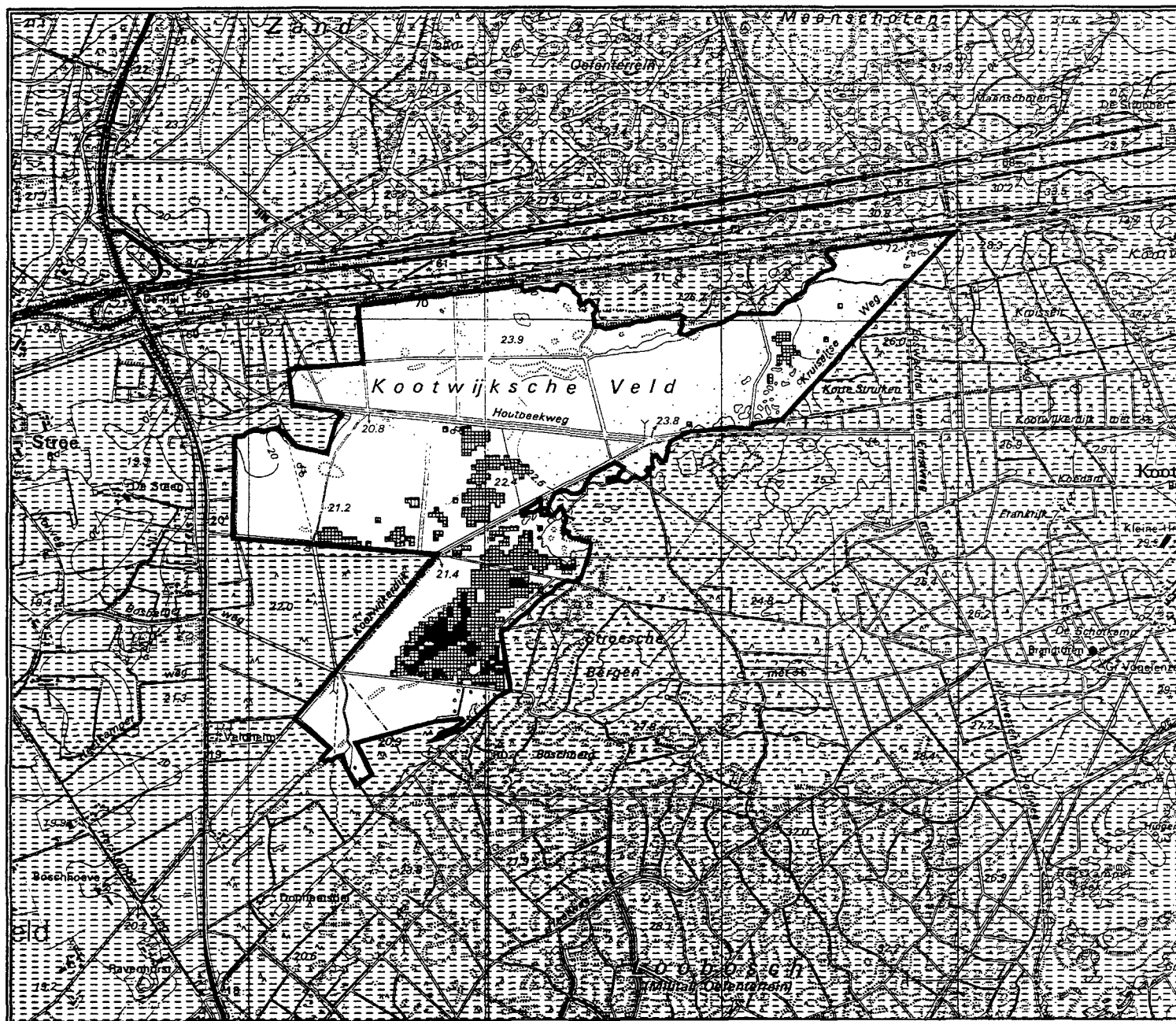
- terreingrens
- ▨ gedeeltelijk aangetaste heide
- aangetaste heide

schaal 1:25.000

0 200m 1km

Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Kootwijkse Veld



- terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische
kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Asselse Heide



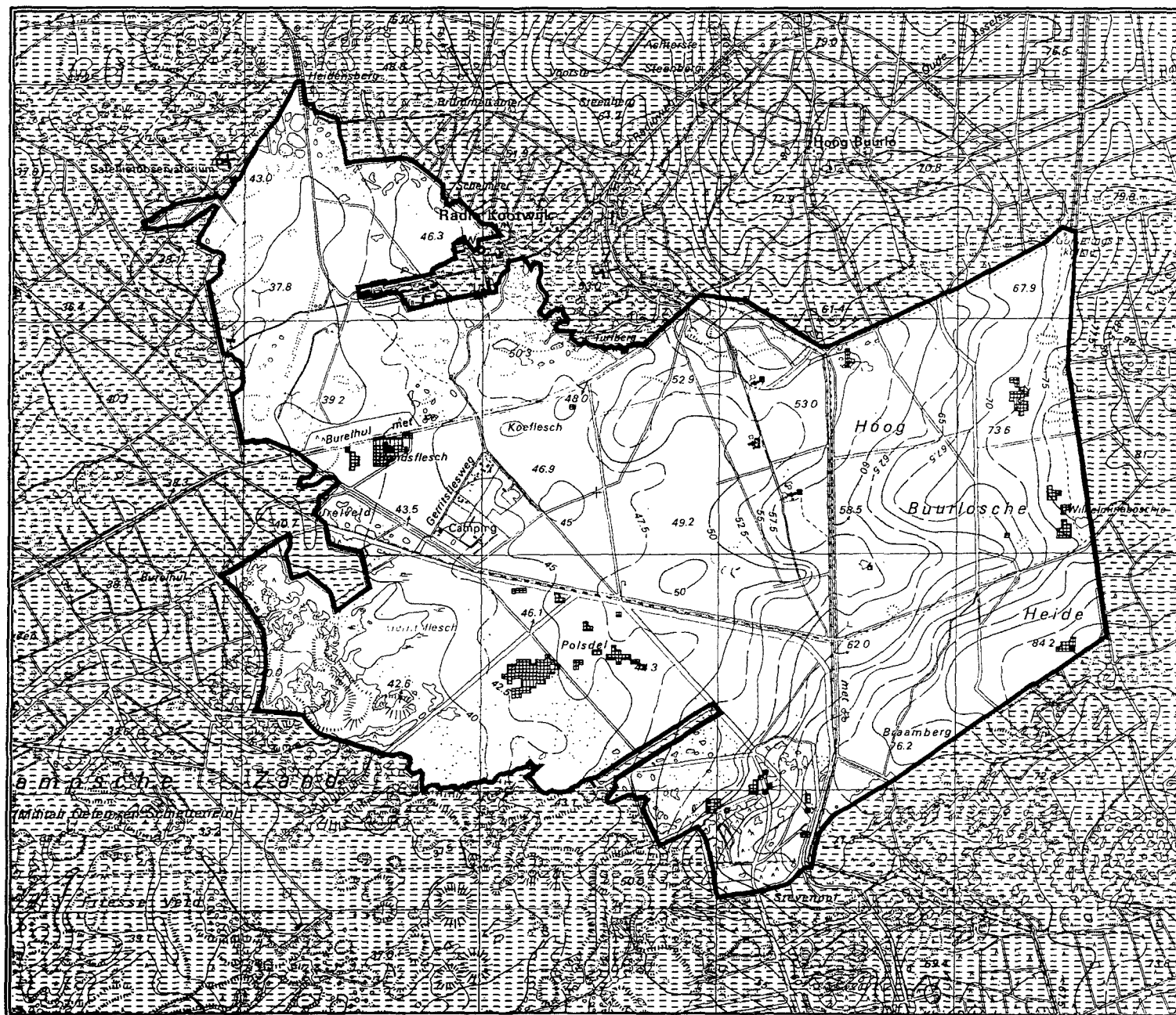
- terreingrens
- gedeeltelijk aangetaste heide
- aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Hoogbuurlose Heide



- terreingrens
- ▨ gedeeltelijk aangetaste heide
- aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland[®]
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS[™]
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP[™]





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Hoog Soerense Veld



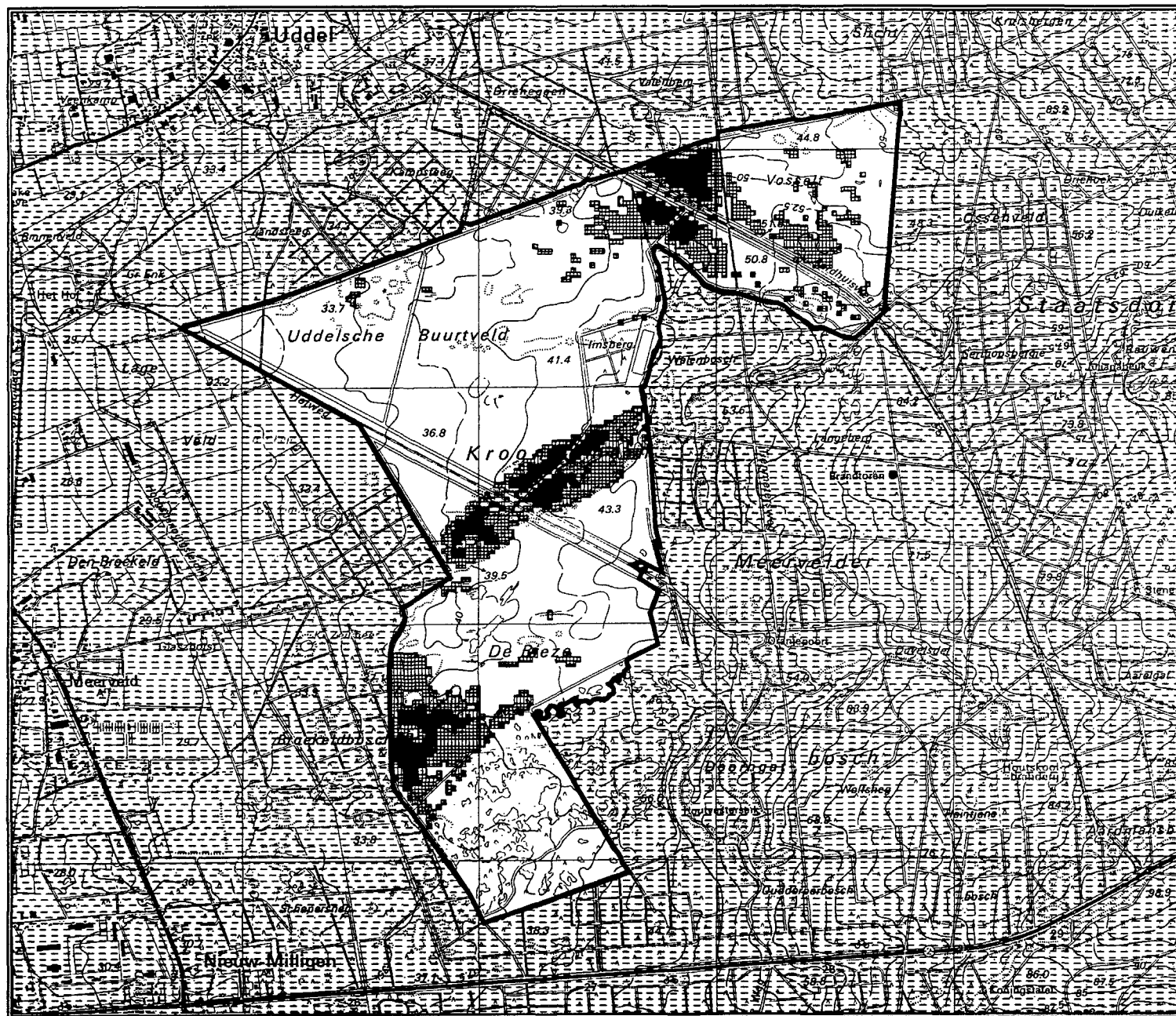
-  terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Uddelse Buurtveld



-  terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Leesterhei



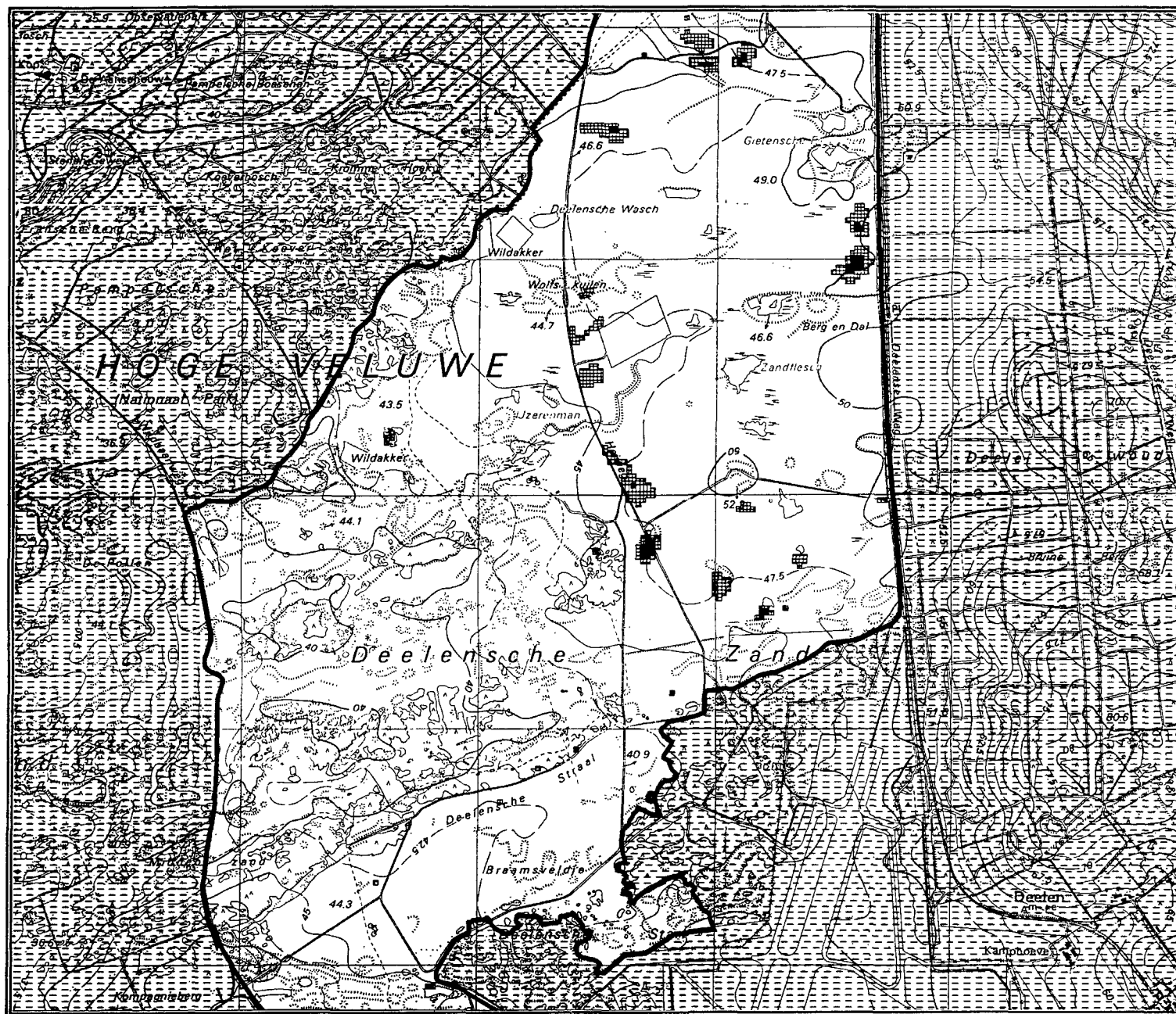
- terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Deelense Zand



- terreingrens
- ▨ gedeeltelijk aangetaste heide
- aangetaste heide

schaal 1:25.000

0 200m 1km



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Zuiderheide (Gld)



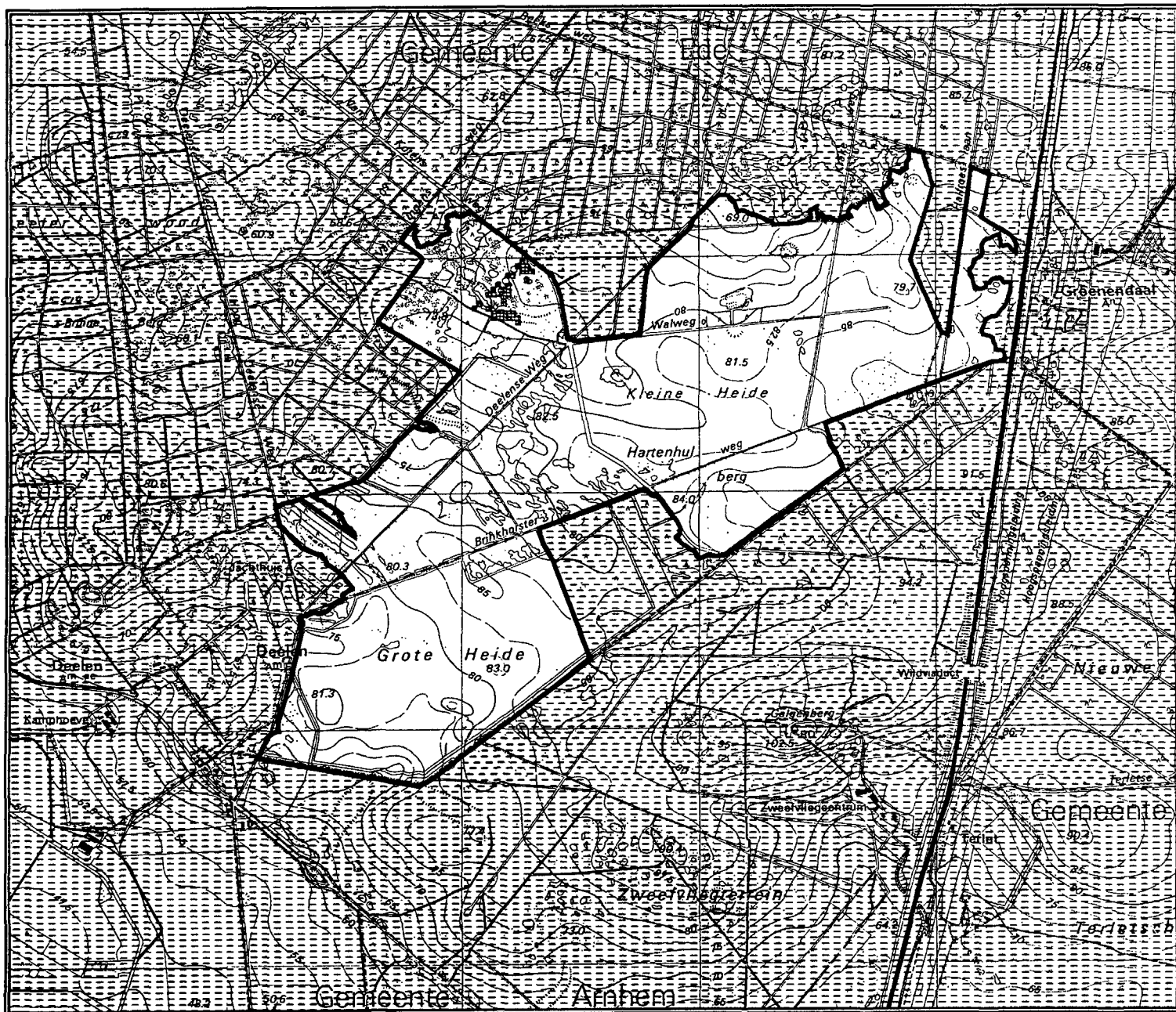
- terreingrens
- ▨ gedeeltelijk aangetaste heide
- aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Kleine Heide (Gld)
Grote Heide (Gld)



- terreingrens
- ▨ gedeeltelijk aangetaste heide
- aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische
kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Zilvense Heide
Keizand
Valenberg



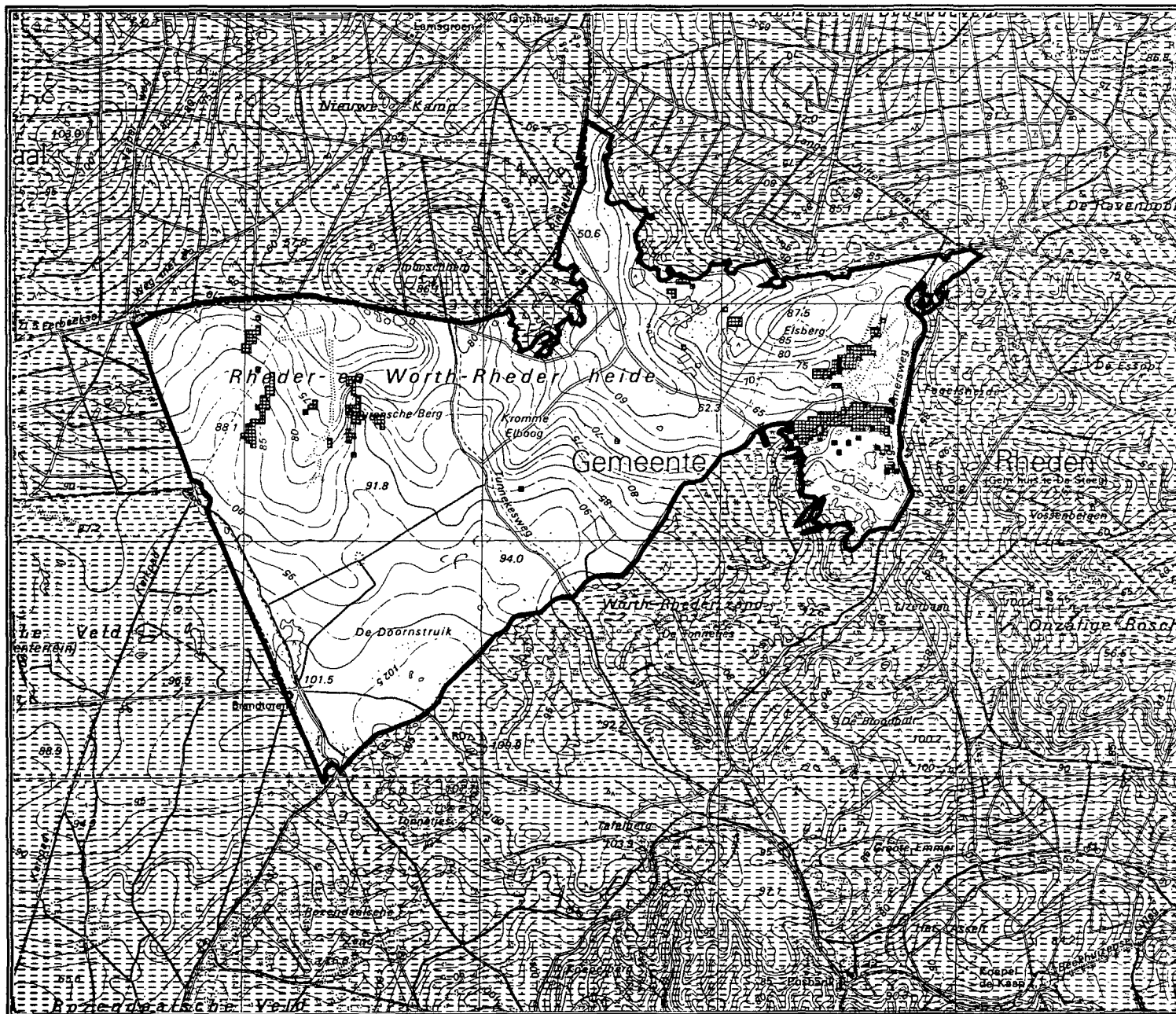
- terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische
kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Rheder- en Worth- rhederheide



- terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische
kaart van Nederland[®]
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS[™]
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP[™]





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Rozendaalse Veld



-  terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Terletse Heide



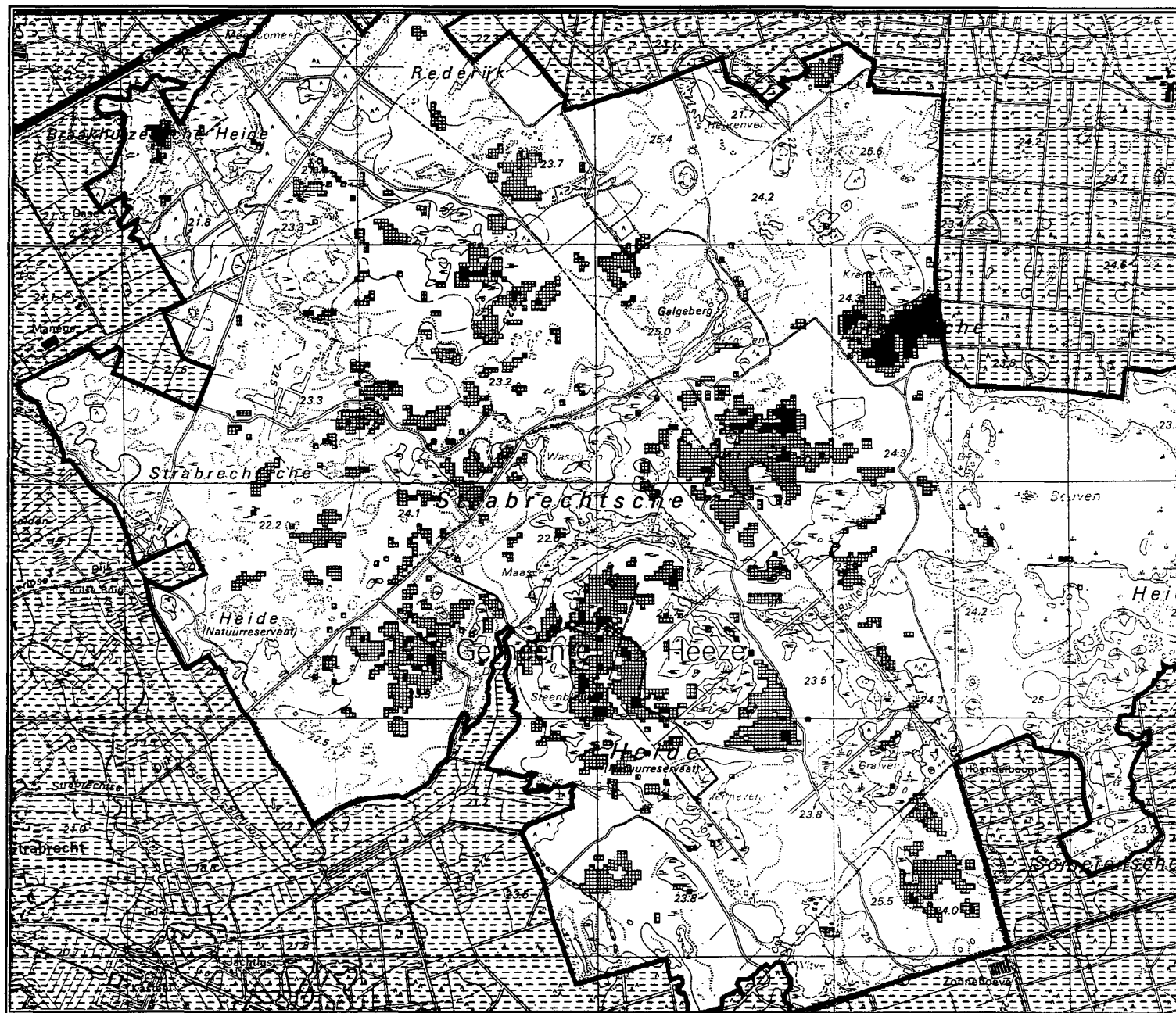
- terreingrens
-  gedeeltelijk aangetaste heide
-  aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 2-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische
kaart van Nederland[©]
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™





KEVERVRAATSCHADE IN 1989 EN 1990

Strabrechtse Heide



- terreingrens
- ▨ gedeeltelijk aangetaste heide
- aangetaste heide

schaal 1:25.000



Bron: SPOT-satellietbeeld 3-aug-90
Topografische ondergrond: Topografische kaart van Nederland®
Beeldverwerkingssoftware: ERDAS™
Geografisch informatiesysteem: GENAMAP™



BIJLAGE B Geometrische registratie van de satellietbeelden

De SPOT-beelden zijn door de leverancier voorberekt tot niveau 1B. Dit betekent dat er gecorrigeerd is voor vervormingen die veroorzaakt worden door het panoramisch effect, de aardrotatie, de bolling van de aarde en variatie in satelliihoogte. De pixels van een dergelijk beeld liggen in een orthogonaal raster en zijn van gelijke grootte.

De onzekerheid in de locatie van de pixels is echter nog groot: ongeveer 500 m RMS, te veel om de beelden (of afgeleide kaarten) samen te kunnen voegen met informatie uit andere bronnen. Bovendien ligt het beeld nog niet noord-zuid. Omdat de beelden uiteindelijk over de topografische kaart gelegd worden, is er voor gekozen de beelden, evenals alle andere informatie, te registreren op het nationale, rechthoekige coördinaatstelsel van de Rijksdriehoekmeting (RD). Hiertoe wordt in het beeld een aantal paspunten aangewezen met bekende RD-coördinaten. Aan de hand van deze controlepunten wordt een lineaire transformatie berekend tussen het beeldcoördinatenstelsel en het RD-stelsel, waarna het beeld naar het RD-stelsel wordt omgezet.

In onderstaande tabellen staan de paspunten vermeld die gebruikt zijn voor de registratie van de beelden. De registratie is niet met hele SPOT-beelden uitgevoerd, maar met stukken ervan. Deze stukken bevatten steeds een aantal heideterreinen.

Tevens zijn de RMS-fouten weergegeven. Deze geven een indruk van de nauwkeurigheid in de lokalisatie van de getransformeerde pixels. De eenheid van de RMS-fout is de pixelafmeting (20 m). Een RMS van 1 wil zeggen dat de gemiddelde locatiefout op 1 pixel geschat wordt. De RMS wordt berekend uit de verschillen tussen de coördinaten van het aangewezen paspunt, zoals die van de topografische kaart worden afgelezen, en de coördinaten die het punt krijgt na transformatie. Er is naar gestreefd de RMS-fout te beperken tot maximaal 1 pixel.

Tabel 7 en 8: Paspunten in Drente met RMS-fout

Punt	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat
1	232475	554425
2	233690	553925
3	230920	551380
4	237790	551155
5	223735	535485
6	224720	533085
7	216885	540375

Punt	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat
8	212115	539375
9	214785	541750
10	215220	547350
11	212470	546760

	RMS (in pixels)
In X-richting	0,48
In Y-richting	0,74
Totaal	0,88
Ongebruikte punten	nr. 2

Tabel 9 en 10: Paspunten in Salland met RMS-fout

Punt	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat
1	224242	477485
2	227970	475500
3	229038	478205
4	221270	481150
5	221280	485340
6	221125	489420
7	228250	492470
8	229175	497910
9	222100	498375

	RMS (in pixels)
In X-richting	0,28
In Y-richting	0,26
Totaal	0,38
Ongebruikte punten	nrs. 1, 7

Tabel 11 en 12: Paspunten op de Veluwe (noord) met RMS-fout

Punt	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat
1	199600	485607
2	199430	490533
3	199151	497580
4	194475	498380
5	189850	497167
6	187908	494232
7	191750	484960

	RMS (in pixels)
In X-richting	0,26
In Y-richting	0,67
Totaal	0,72
Ongebruikte punten	-

Tabel 13 en 14: Paspunten op de Veluwe (zuid) met RMS-fout

Punt	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat
1	196740	464975
2	199200	466730
3	197285	473810
4	187490	471685
5	181830	467685
6	181690	472520
7	192525	454690
8	195015	452780
9	186525	461525
10	182525	459505

	RMS (in pixels)
In X-richting	0,66
In Y-richting	0,61
Totaal	0,90
Ongebruikte punten	-

Tabel 15 en 16: Paspunten in Het Gooi met RMS-fout

Punt	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat
1	147725	473475
2	144218	472038
3	145890	474025
4	139645	474705
5	131880	469935
6	132715	467950
7	131840	463820
8	138530	465740
9	136175	461170
10	141000	477050

	RMS (in pixels)
In X-richting	0,47
In Y-richting	0,56
Totaal	0,73
Ongebruikte punten	nrs. 3, 8

Tabel 17 en 18: Paspunten in Brabant met RMS-fout

Punt	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat
1	165535	384490
2	169125	385438
3	173421	383330
4	173788	385785
5	173025	376040
6	172823	395887
7	173400	397890
8	170500	392920

	RMS (in pixels)
In X-richting	0,60
In Y-richting	0,67
Totaal	0,92
Ongebruikte punten	-

BIJLAGE C Karakteristieken van trainingspixels en instelling level slicing

Om de spectrale karakteristieken van aangetaste heide in het satellietbeeld te bepalen, zijn van een aantal plekken pixels bemonsterd, waarvan schade met behulp van oblique luchtfoto's en/of veldwerk was vastgesteld. Deze plekken liggen in de volgende terreinen:

1. Asselse Heide (4 plekken)
2. Dwingelose Heide (1 plek)
3. Haarlerberg (2 plekken)
4. Strabrechtse Heide (1 plek)
5. Bussumerheide (1 plek)

De trainingsset bevatte 503 pixels. In figuur 4 zijn de gemiddelde digitale waarden en de standaard deviatie afgebeeld van aangetaste en vitale heide.

De klassegrenzen zijn in eerste instantie op basis van deze karakteristieken bepaald. De digitale waarden hiervan zijn in tabel 19 weergegeven. Er zijn twee klassen onderscheiden:

1. Aangetaste heide.
2. Gedeeltelijk aangetaste heide.

De tweede klasse betreft zogenaamde mixed pixels, waarin aangetaste heide slechts een deel van het oppervlak inneemt. Deze klasse bestaat in feite uit twee subklassen, die echter steeds als één klasse weergegeven zijn:

- 2a. Onderklasse
- 2b. Bovenklasse

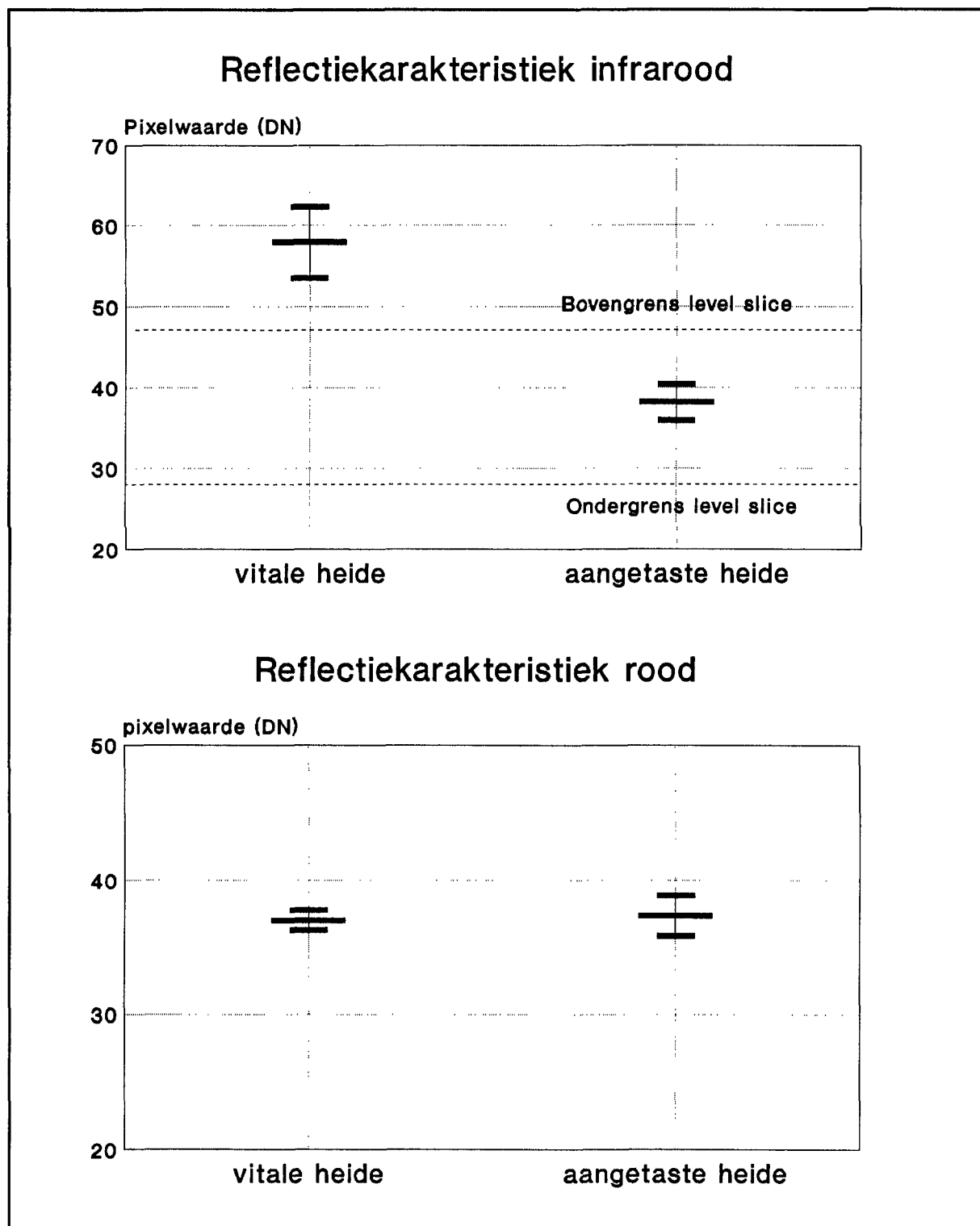
De onderklasse is een mengsel van aangetaste heide met objecten die *minder* infrarood reflecteren dan aangetaste heide. De bovenklasse is een mengsel van aangetaste heide met objecten die *meer* infrarood reflecteren dan aangetaste heide.

Tabel 19: De klassegrenzen die gebruikt zijn voor de level slicing (pixelwaarden).

Klasse	Reeks van pixelwaarden, voor alle beelden
1. (gedeeltelijk aangetast)	
onderklasse	28 - 29
bovenklasse	44 - 47
2. (aangetast)	30 - 43

Deze waarden zijn een *relatieve* maat voor de hoeveelheid gereflecteerd zonlicht. Aangezien de beelden radiometrisch niet absoluut gecalibreerd zijn, kunnen deze waarden van jaar tot jaar verschillen, afhankelijk van de omstandigheden tijdens de opname.

Na het vaststellen van deze grenzen zijn in dezelfde terreinen nog een aantal schadeplekken gecontroleerd, die niet in de trainingsset meededen. De gekozen level slicing leverde hier, na visuele beoordeling, bevredigende resultaten op.



Figuur 4: Gemiddelde en standaard deviatie van de trainingsset (vitale heide: $n=265$, aangetaste heide: $n=238$). De stippellijnen geven de buitenste grenzen van de level slice aan.

BIJLAGE D Hardware en Software

GIS

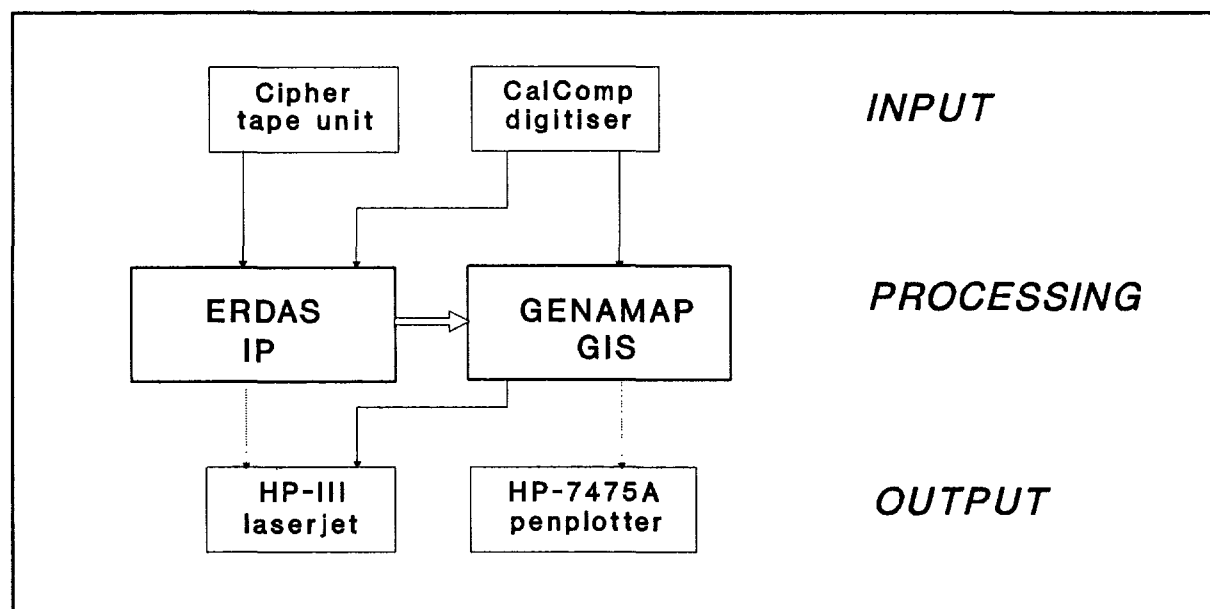
Voor deze inventarisatie is gebruik gemaakt van het GENAMAP GIS van GENASYS. Dit is een systeem dat onder UNIX / X-Windows draait, in dit geval op een 80386 PC met VGA grafische kaart. De grafische uitvoer wordt geschreven in de Hewlett Packard Graphic Language (HPGL). Na conversie met een door K & M ontwikkeld programma kunnen deze op een laserprinter worden uitgeprint.

Een belangrijk voordeel van het GENAMAP GIS is het vermogen om zowel met rasterkaarten (satellietbeelden) als met vectorkaarten (gedigitaliseerde kaarten) te kunnen werken.

Beeldverwerking

De satellietbeelden zijn verwerkt met het ERDAS beeldverwerkingssysteem, geïnstalleerd op een 80386 PC met een 24 bits grafisch kaart en een aparte monitor voor beeld en tekst.

Figuur 5 geeft een schema van het gecombineerde beeldverwerkings- en GI-systeem zoals dat voor dit onderzoek gebruikt is. De gestippelde pijlen geven een vorm van output aan die voor de produktie van de schadekaarten niet essentieel is. De holle pijl tussen het ERDAS image processing systeem en het GENAMAP GIS duidt de overdracht van de geselecteerde schadepixels aan. Op dit moment gebeurt dat nog per floppy. De verbinding kan ook via een netwerk tot stand gebracht worden.



Figuur 5: Componenten van het GIS en beeldverwerkingssysteem.

BIJLAGE E Verklarende woordenlijst

Band van een satellietbeeld	De band duidt het gedeelte van het spectrum aan waarin een satelliet straling detecteert. De SPOT-satelliet doet dat in drie banden: XS1 (groen), van 0,50 tot 0,59 μm ; XS2 (rood), van 0,61 tot 0,68 μm ; XS3 (nabij-infrarood), van 0,79 tot 0,89 μm .
GIS	Geografisch informatiesysteem, een computersysteem voor opslag, analyse en presentatie van ruimtelijk gerelateerde gegevens.
Infrarood licht	Met infrarood licht wordt hier het voor ons onzichtbare deel van het spectrum bedoeld met een iets langere golflengte dan rood licht. Een betere aanduiding is nabij-infrarood, ter onderscheiding van middeninfrarood of thermisch infrarood. Deze laatste betreft straling met een veel langere golflengte die actief door objecten wordt uitgestraald. Nabij-infrarood heeft dus niets met warmtestraling te maken; het is een vorm van gereflecteerd zonlicht.
Level slicing	Level slicing is een beeldverwerkingstechniek waarbij een bepaalde reeks van pixelwaarden geselecteerd of hernummerd wordt. Het is de eenvoudigste vorm van classificatie, die per spectrale band wordt uitgevoerd. Wanneer bijvoorbeeld is vastgesteld dat de pixelwaarden van aangetaste heide zich gemiddeld tussen 30 en 43 bevinden, worden de pixelwaarden zodanig hernummerd dat alle waarden boven en onder deze reeks de waarde 0 krijgen, en alle waarden binnen deze reeks de waarde 1. Het resultaat is een binair beeld (of verspreidingskaart) met aangetaste heide
Monitoringsysteem	Een systeem dat tot doel heeft een bepaald proces te volgen of te bewaken. Het monitoringsysteem omvat hard- en software, voorschriften voor te volgen werkwijzen en een organisatiestructuur waarin het systeem kan functioneren. Een voorbeeld van een dergelijk systeem dat werkt op basis van satellietbeeldinformatie is het ARTEMIS-systeem van de FAO, dat de toestand van klimaat en vegetatie in Afrika in de gaten houdt, en voorspellingen doet over voedselproductie en sprinkhanenplagen.
Oblique luchtfoto	Een luchtfoto die niet verticaal naar beneden is genomen, maar onder een hoek met de verticaal. Bij de hier gebruikte foto's varieert die hoek meestal tussen 30° en 60°.
Pixel	Een beeldelement van een digitaal beeld. Bij een satellietbeeld is per pixel een getal gespecificeerd voor elke band van het beeld. De SPOT-satelliet neemt in drie banden op; per pixel zijn dan ook drie getallen beschikbaar. Deze getallen, de pixelwaarden, liggen tussen 0

en 255. Met de afmeting van een satellietbeeldpixel wordt de afmeting van het gebied op het aardoppervlak bedoeld waarvan de gereflecteerde straling heeft geresulteerd in de waarde van dat pixel.

Raster- en vectorgegevens

Satellietbeelden zijn typisch rastergegevens, waarbij het beeld wordt opgebouwd uit beeldelementjes die in een regelmatig stelsel van rijen en kolommen geordend zijn. In vectorkaarten wordt de geografische informatie in termen van punten, lijnen en vlakken beschreven, waarbij dan de coördinaten van deze elementen worden opgeslagen. Beide typen van representatie verschillen fundamenteel, beide hebben voor- en nadelen en specifieke toepassingen. Een goed GIS kan beide vormen opslaan, bewerken en met elkaar in contact brengen.

Reflectiewaarde

De waarden van de pixels van een satellietbeeld zijn een relatieve maat voor de hoeveelheid straling die door het aardoppervlak gereflecteerd wordt. Deze relatieve maat is zo gekozen, dat gemiddeld genomen de waarden in alle banden tussen 0 en 255 liggen. De onderlinge verhouding van de banden verandert daardoor iets. Door de beelden radiometrisch te ijken zouden de pixelwaarden omgerekend kunnen worden naar absolute hoeveelheden straling in Watt/m² of naar reflectantiewaarden (waarbij 0 staat voor geen reflectie en 1 voor volledige reflectie). Een dergelijke ijking is zeer moeilijk uit te voeren, met name door de wisselende invloed van de atmosfeer. Omdat in dit onderzoek deze absolute grootheden geen rol spelen, maar alleen de relatieve waarden van de pixels onderling, zijn de beelden niet radiometrisch geijkt.

RMS

Root Mean Square, een foutmaat die hier gebruikt wordt om het verschil aan te geven tussen de coördinaat van een paspunt zoals die van de kaart wordt afgelezen, en de coördinaat van dat punt in het beeld, na geometrische correctie van het beeld. De RMS wordt berekend volgens:

$$\sqrt{((x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2)} ,$$

waarin x_i en y_i de kaartcoördinaten zijn, en x_r en y_r de beeldcoördinaten.

Trainingspixel

Een Trainingspixel is een pixel waarvan zowel de waarde als de 'inhoud' bekend is. Met inhoud worden de objecten op de grond bedoeld die zich binnen de afmeting van het pixel bevinden. Aan de hand van een set Trainingspixels kunnen de spectrale eigenschappen van een object (bijvoorbeeld aangevreten heideplanten) in beeld worden gebracht, zodat alle pixels met overeenkomstige spectrale eigenschappen tot dat object gerekend kunnen worden.

