

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 146 (1995)

**Heft:** 6

**Artikel:** Satellitenbilder als Arbeitshilfe bei der Erstellung eines standortkundlichen Kartierungsschlüssels für Wälder im Mittelland

**Autor:** Bodmer, Hans-Caspar / Stocker, Richard

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-766970>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 31.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# **Satellitenbilder als Arbeitshilfe bei der Erstellung eines standortkundlichen Kartierungsschlüssels für Wälder im Mittelland**

Von *Hans-Caspar Bodmer* und *Richard Stocker*

*Keywords:* site mapping, satellite remote sensing, digital image processing.

FDK 101: 585: 587.7

## **1. Einleitung**

Standortkundliche Karten bilden wichtige Grundlagen für die Planung in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Natur- und Landschaftsschutz. In der Schweiz sind nur in wenigen Kantonen solche Kartenwerke flächendeckend verfügbar.

Die finanzielle Situation der öffentlichen Hand erlaubt heute nur noch selten, grossflächige und flächendeckende Inventare auszuarbeiten. Grossräumige Übersichten fehlen weitgehend. Zudem sind die einzelnen Informationen nur schwer miteinander vergleichbar, da sie oft auf unterschiedlichen Grundlagen basieren.

Mit dem vorliegenden Bericht sollen drei Möglichkeiten erläutert werden, die eine Beschaffung von umweltrelevanten Informationen über grossräumig verteilte Wälder unter den heutigen gesellschaftlichen, technischen und vor allem finanziellen Rahmenbedingungen auf praktische Art und Weise ermöglichen:

- schriftliche Umfrage bei den Förstern
- Interpretation von Luftbildern
- digitale Auswertung von Satellitendaten.

## **2. Problemstellung und Lösungsansätze**

Im Auftrag der Kantone Bern und Freiburg wird für 160 000 ha Wald im Mittelland, in den Voralpen und in den Alpen ein standortkundlicher Kartie-

rungsschlüssel entwickelt. Dazu sollen etwa 700 für diese Fragestellung relevante Probeflächen vegetations- und bodenkundlich untersucht werden.

Die Untersuchungen sollen im wesentlichen auf möglichst naturnah bestockten Waldstandorten durchgeführt werden. Da jedoch ein erheblicher Teil der Bestände im Mittelland und im Alpenvorland von standortsfremden Baumarten dominiert wird, stellte sich die Aufgabe, eine finanziell tragbare Methode zu entwickeln, die hinreichende Hinweise auf dafür taugliche Bestände gibt.

### *Försterumfrage*

Als erste Informationsquelle wurde eine Umfrage bei den betroffenen Förstern ins Auge gefasst. Sie sollen der Projektleitung auf einer Karte mitteilen, wo sie in ihren Revieren solche naturnah bestockten Flächen kennen.

Ein erster Pilotversuch hat schnell einige Schwachstellen dieses Ansatzes gezeigt. Der Forstdienst ist diesem Vorgehen mit einer gewissen Zurückhaltung begegnet, und die erhaltenen Informationen waren von sehr heterogener Qualität. Denn einerseits interpretiert jeder Förster den Begriff «naturnah» auf seine Weise, und andererseits ist nicht bekannt, auf welche Grundlagen sich die Informationen stützen.

Diese Unsicherheiten lassen einen weiteren Ansatz in die Betrachtung miteinbeziehen.

### *Interpretation von Luftbildern*

Das oft und zu Recht gerühmte Luftbild eignet sich für schnelle, flächendeckende Übersichten, es stösst aber dort an seine Grenzen, wo das Beobachtungsgebiet sehr gross ist und die Anforderungen an die gesuchten Informationen seinen Detailreichtum nicht ausschöpfen. Würden die in den vergangenen 10 Jahren aufgenommenen Infrarot-Farbluftbilder eingesetzt, müssten im vorliegenden Beispiel weit über 2000 Bilder analog ausgewertet werden. Auch bei der Verwendung von Schwarzweiss-Luftbildern des Bundesamtes für Landestopographie im Massstab 1 :30 000 würden über 150 Aufnahmen benötigt, mit deren Hilfe die Unterscheidung von Nadel- und Laubwald nicht immer einfach ist.

### *Digitale Auswertung von Satellitendaten*

Zur Überwachung des Naturraumes wurden in den letzten Jahren weltweit schon verschiedentlich Satellitenbilder verwendet (Keil 1988, Boresjö 1989,

DLR 1989, Howard 1991, Bodmer 1993). Zum operationellen Einsatz gelangen sie vor allem in Drittweltländern, wo sie als Kartenersatz schnell Informationen über grosse Gebiete liefern, oder sie sind dort von Nutzen, wo aktuelle Zustandsdaten gefragt sind, wie nach Umweltkatastrophen (Stürme, Erdbeben oder Tankerunfälle, Krieg usw.).

Zweifelsohne führen alle drei Ansätze zu den gesuchten Informationen, die Analyse von Satellitendaten verspricht jedoch durch eine automatisierte Auswertung von sehr grossen Gebieten wesentliche Vorteile.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Prüfung der praktischen Anwendbarkeit von Satellitendaten und deren Umsetzung zu planerischen Zwecken. Dabei werden die folgenden Fragen aufgeworfen:

- Können mit Satellitendaten «reine» Laubwaldbestände nachgewiesen werden?
- Erzielt die aufgezeigte Methode praxistaugliche Resultate?
- Können Aussagen über die Konkurrenzfähigkeit dieser Methode gemacht werden?

### **3. Material und Untersuchungsgebiet**

Für die vorliegende grossflächige Untersuchung wurden die Satellitenszenen 195/27 vom 11. Juli 1991 und 195/28 vom 18. September 1987 des amerikanischen Erderkundungssatelliten Landsat 5 verwendet. Dieser kreist in 720 km Höhe um die Erde und tastet mit einem sogenannten Multispectralscanner die Erdoberfläche ab. Die Informationen werden in sieben Wellenlängenbereichen aufgezeichnet und erlauben eine automatische Unterscheidung verschiedener Landnutzungen und Oberflächen der Erde. Die beiden Szenen bieten zusammen einen Überblick über mehr als 6 Millionen ha mit einer geometrischen Auflösung von 30 m, d.h. das kleinste, einzeln erkennbare Bildelement, das sogenannte Pixel (picture element) misst auf der Erdoberfläche 30 m x 30 m.

Das Testgebiet ist durch die konkrete Fragestellung vorgegeben. Es umfasst Teile des Kantonsgebiets von Bern und Freiburg und erstreckt sich von Châtel-St-Denis nach Wynau und von Spiez bis nach Moutier.

### **4. Methode**

Mit einer affinen Rückwärtstransformation werden mit Hilfe von 35 Passpunkten die Satellitendaten auf die Schweizerische Landeskarte mit einem Lagefehler von etwa 15 m bis 20 m, d.h. weniger als einem Pixel, überlagert.

Von den sieben Spektralkanälen des Thematic Mappers (TM) auf Landsat 5 liefern Kanal TM3 (0,62  $\mu\text{m}$  bis 0,69  $\mu\text{m}$ , rot) und TM5 (1,55  $\mu\text{m}$  bis 1,75  $\mu\text{m}$ , mitt-

leres Infrarot) genügend Informationen für die gegebene Problemstellung. Kanal TM3 erlaubt eine Unterscheidung zwischen Wald- und Nichtwaldflächen. Kanal TM5 zeigt Unterschiede innerhalb des Waldes auf (vgl. *Abbildung 1*).

Im Kanal TM3 heben sich die Waldflächen mit ihrer dunklen Signatur deutlich von Landwirtschafts- und Siedlungsgebiet ab. Ebenfalls dunkel erscheint allerdings auch das Wasser, so dass es sich nicht sauber vom Wald trennen lässt. Diese Signaturüberschneidung kann mit Kanal TM5 behoben werden. Wasser absorbiert die infrarote Strahlung fast vollständig und wird im Bild schwarz. Anders dagegen reflektiert Vegetation das mittlere Infrarot sehr stark. Dadurch wird Wasser deutlich von Wald trennbar. Hingegen treten häufig Fehlklassifikationen zwischen Wald und Landwirtschaftsgebiet auf.

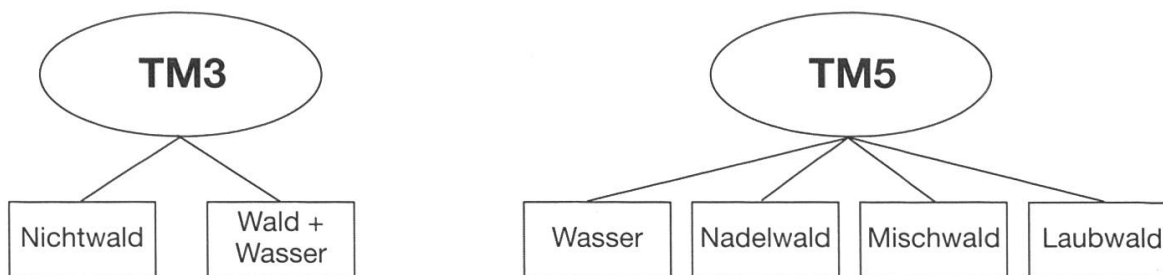


Abbildung 1. Kombination von TM3 und TM5 zur Erkennung von Wald.

Mit Hilfe von Kanal TM3 wird mit einer Schwellenwertbildung (density slicing) eine Wald-Wasser-Maske erzeugt (vgl. *Tabelle 1*). Die nicht unterteilbare Klasse Wald und Wasser wird mit dem Videowert 1, der Rest mit Videowert 0 versehen. In Kanal TM5 werden der Klasse Wasser der Wert 0 und den Waldklassen die Videowerte 10, 125, bzw. 200 zugeordnet. Durch die Multiplikation der beiden Klassifikationen werden alle irrtümlicherweise als Wald klassifizierten Nichtwaldpixel auf 0 gesetzt. Somit sind alle Nichtwaldpixel inklusive des Wassers gleich 0. Für den Kartenausdruck wurde für die Erhöhung der Lesbarkeit der Wert 0, der Schwarz bedeutet, durch den Videowert 255, Weiss, ersetzt (vgl. *Abbildung 2*).

Die Klassifikationsresultate wurden für die Feldarbeiten auf knapp 50 Blättern im Format A3 in Ausschnitten von jeweils 12,8 km x 12,8 km im Massstab 1:50 000 auf einem Laserprinter ausgedruckt und für die Überlagerung mit der Landeskarte auf Folien umkopiert.

*Tabelle 1.* Die mit TM3 erzeugte Wald-Wasser-Maske wird mit der Klassifikation in TM5 multipliziert und ergibt die thematische Karte mit den Klassen Nadelwald, Laubwald, Mischwald und Nichtwald/Wasser. Die Videowert-Differenzen zwischen den Szenen 1 und 2 sind durch atmosphärische und phänologische Unterschiede zwischen den beiden Aufnahmezeiten erklärbar.

Kanal	Schwellenwert		Klasse	Videowert	Kartenwerte
	Szene 1	Szene 2			
TM3 →	1– 22	1– 20	Wald + Wasser	→ 1	} TM3*TM5 → Nichtwald → 0 Wasser → 0 Nadelwald → 10 Mischwald → 125 Laubwald → 200
	23–255	21–255	Nichtwald	→ 0	
TM5 →	1– 19	1– 16	Wasser	→ 0	
	20– 35	17– 33	Nadelwald	→ 10	
	36– 46	34– 40	Mischwald	→ 125	
	47– 71	41– 59	Laubwald	→ 200	

## 5. Verifikation

Die Verifikation der Wald/Nichtwaldausscheidung erfolgte gutachtlich auf den der Karte überlagerten Folien. Diese einfache Beurteilung genügt als Verifikation, weil für das konkrete Anliegen Hinweise über die ungefähre Lage der gesuchten Waldkomplexe ausreichen und keine pixelgenaue Übereinstimmung erforderlich ist.

Für die Verifikation der Waldklassifikation wurden über das Testgebiet verteilte Ausschnitte neuerer Bestandskarten beigezogen. Ein gutachtlicher Vergleich von reinen Waldbeständen in der Klassifikation mit den Bestandskarten erlaubt einen Eindruck über die Brauchbarkeit solcher thematischer Karten.

## 6. Resultate

### 6.1 Die Eignung von Satellitenbildern zur Beurteilung grossräumig verteilter Waldbestände

Die spektralen Reflexionseigenschaften von Wald und die Wahl der spektralen Kanäle von Landsat Thematic Mapper erlauben eine Trennung einerseits zwischen Wald und Nichtwald, andererseits innerhalb des Waldes zwischen Nadelwald, Mischwald und Laubwald. Dabei ist es allerdings ohne weiterführende Untersuchungen und Vergleiche mit aktuellen Bestandskarten nicht möglich, die Grenzen zwischen reinem Laub- bzw. Nadelwald und dem Mischwald zu quantifizieren. Erfahrungen (Keil 1988, Bodmer 1993, vgl. auch AFL 1984) weisen für einen «Reinbestand» auf 10% bis 20% beigemischte Laub- bzw. Nadelbäume hin.

Weil für die vorliegende Untersuchung keine digitalen Informationen der Landeskarte verfügbar waren, ist eine Quantifizierung der Genauigkeit der

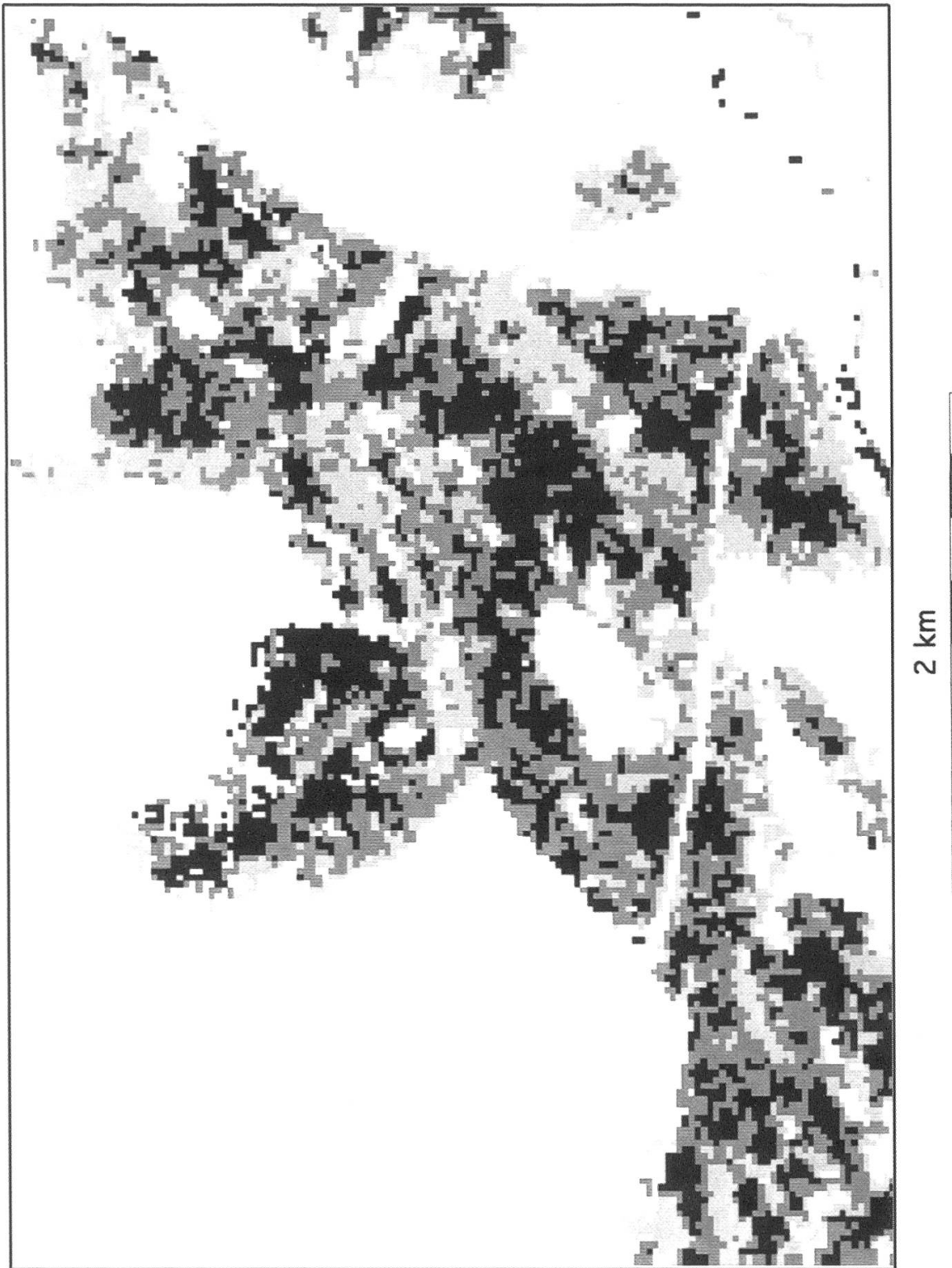


Abbildung 2. Klassifikationsergebnis für den Längswald zwischen Oensingen und Aarwangen. Weiss bedeutet Nichtwald, Hellgrau sind Laubholzbestände, Dunkelgrau Mischwald und Schwarz schliesslich Nadelholzbestände.



Übereinstimmung zwischen mit Satellitendaten klassifizierten Waldflächen und der Landeskarte nicht möglich. Vergleichbare Untersuchungen aus der Schweiz weisen Werte um 90% auf (Itten 1992, Bodmer 1993).

## 6.2 Praktische Tauglichkeit von Satellitendaten

Nach den in den Feldaufnahmen gemachten Erfahrungen eignen sich solche Satellitenkarten sehr gut für die Lokalisierung der gesuchten, im oben erwähnten Sinne «reinen» Laubwaldbestände. Alle aufgrund der Signatur in der Karte aufgesuchten Bestände waren auch wirklich «reine» Laubwälder. Umgekehrt erschienen auch zufällig im Gelände gefundene Laubwaldbestände in der Satellitenkarte mit der entsprechenden Signatur. Die von Bodmer (1993) im Mittelland nachgewiesenen, pixelgenauen Übereinstimmungen von 60% bis 70% wurden für grössere Waldkomplexe bei weitem übertroffen.

Die durchwegs positiven Erfahrungen beschränken sich in der vorliegenden Untersuchung auf die Waldvorkommen im Mittelland. Im Alpenvorland und in den Alpen bestehen heute noch wesentliche Probleme durch reliefbedingte geometrische Verzerrungen, die durch geometrische Korrekturen allein nicht behoben werden können. Unter Beizug eines digitalen Geländemodells ist es Itten (1992) in einem Testgebiet in der Innerschweiz gelungen, die Genauigkeit einer Waldklassifikation zu erhöhen.

Die Einschränkung für bewegtes Gelände hat sich für die vorliegende Untersuchung nicht besonders ausgewirkt, weil dort die gesuchten Bestände mit einer Gegenhangbeobachtung meist ebenfalls gefunden werden konnten.

Ein weiterer wichtiger Hinweis für die Brauchbarkeit der thematischen Satellitenkarten sind die obenerwähnten durchwegs positiven Reaktionen der Förster. Viele erkannten spontan sowohl «ihre» Laubwaldbestände als auch die standortsfremden Fichtenwälder. Daraus lässt sich schliessen, dass die Genauigkeit der Klassifikation für die vorliegende Problemstellung genügend ist.

## 6.3 Die Konkurrenzfähigkeit thematischer Satellitenkarten

Aufgrund der vorliegenden Untersuchung und von Erfahrungswerten aus dem Bereiche der Luftbildinterpretation können überschlagsmässige Aussagen zur Wirtschaftlichkeit des gewählten Verfahrens gemacht werden. Dabei werden die unten aufgeführten Arbeiten berücksichtigt:

### a) Försterumfrage:

Projektleitung: Vorbereitung eines Fragebogens mit den nötigen Erklärungen, Fragebogen an alle betroffenen Förster verschicken, Antworten



zusammentragen und auswerten, nachfragen nach ausbleibenden Fragebogen usw.

Förster: gewünschte Informationen heraussuchen, auf Karte übertragen und an die Projektleitung schicken.

b) *Luftbilder:*

Luftbilder beschaffen, orientieren, auswerten und Information auf Karte übertragen .

c) *Satellitenbilder:*

Satellitenbilder beschaffen, digital auswerten, thematische Karte ausdrucken und auf Landeskarte übertragen.

Wird nur der zeitliche Aufwand für die Informationsgewinnung mit Hilfe dieser drei Methoden miteinander verglichen, ergibt sich ein Verhältnis von etwa  $a:b:c = 8:13:1$  für die Försterumfrage, die Luftbildinterpretation, bzw. die digitale Satellitenbilddauswertung.

Ein Kostenvergleich gestaltet sich schwieriger, da es nicht ganz einfach ist, die finanziellen Aufwendungen für Material und Auswertegeräte zu berechnen. Werden sowohl für die Luftbilder und Satellitendaten als auch für die Auswertegeräte marktübliche Ansätze veranschlagt, resultiert daraus ein Kostenverhältnis von etwa  $a:b:c = 3:14:2$ .

## 7. Diskussion und Ausblick

Der geringe Zeitaufwand bei vertretbaren Kosten hebt den Vorteil von Satellitendaten für die schnelle Erfassung von Informationen aus grossen Gebieten hervor. Zudem sind die Resultate im Vergleich zu den anderen Erhebungsmethoden vergleichsweise objektiv und jederzeit vollumfänglich nachvollziehbar, und sie lassen sich in Informationssystemen integriert fast beliebig von weiteren Anwendern nutzen.

Die vorliegende Untersuchung zeigt jedoch auch die Grenzen von geometrisch korrigierten Satellitendaten für den praktischen Einsatz im schweizerischen Wald. Während Satellitenbildklassifikationen Felddaufnahmen im Flachland bzw. im Mittelland unterstützen und erleichtern, ist ihr Einsatz im Gebirge immer noch mit Schwierigkeiten geometrischer und radiometrischer Natur verbunden.

In den Voralpen und vor allem im Gebirge können die Daten nicht ohne Berücksichtigung des Reliefs ausgewertet werden. In der Schweiz sind wir in der bevorzugten Lage, schon bald über ein flächendeckendes Geländemodell mit einer Auflösung von 25 m zu verfügen. Die Kosten für die derzeit schon erhältlichen Daten sind allerdings noch sehr hoch.

Es wäre wünschenswert, solche thematischen Karten in kantonalen Forstämtern für das Mittelland vorzufinden, um schnell einen Überblick über den Wald und seine räumliche Verteilung oder über das Vorkommen und die Verteilung von Nadel- und Laubbaumbeständen zu erhalten. Auch in Planungsbüros und Ämtern wäre eine flächendeckende Information über den Wald ganzer Regionen für die anstehenden Planungsarbeiten in der Land- und Forstwirtschaft oder im Natur- und Landschaftsschutz von grossem Nutzen.

### **Zusammenfassung**

Zur Herleitung eines sowohl für die Land- und Forstwirtschaft, als auch für den Natur- und Landschaftsschutz wichtigen standortkundlichen Kartierungsschlüssels für die Kantone Bern und Freiburg wird mit Hilfe von Satellitendaten eine überregionale Waldkarte erzeugt. Aufgrund multispektraler Informationen lassen sich im Satellitenbild Laub-, Nadel- und Mischwälder unterscheiden. Diese Waldkarten ermöglichen im Gelände ein schnelles Auffinden von Testbeständen und erleichtern die Arbeit der Feldequippen daher wesentlich.

### **Résumé**

#### **Images satellites comme aide lors de la définition d'une clé pour le relevé de stations forestières sur le Plateau**

Des cartes forestières suprarégionales sont établies à partir de données satellites afin d'aider à la définition d'une clé de relevé des stations pour les cantons de Berne et Fribourg; cette clé est importante aussi bien pour la foresterie et l'agriculture que pour la protection de la nature et du paysage. Les informations multispectrales des images satellites permettent de différencier forêts de feuillus, de résineux et mélangées. Ces cartes autorisent sur place un repérage rapide des peuplements-test et facilitent ainsi grandement le travail des équipes de terrain.

Traduction: *V. Barbezat*

## Literatur

- AFL* (1984), Biotop-Pflege im Wald, Ein Leitfaden für die forstliche Praxis, Arbeitskreis forstliche Landespflege, Kilda-Verlag, Greven, 230 Seiten.
- Bodmer, H. C.* (1993), Untersuchung zur forstlichen Bestandeskartierung mit Hilfe von Satellitenbildern, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum der ETH Zürich, Zürich, 160 Seiten.
- Boresjö, L.* (1989), Landsat TM and SPOT data for medium-scale mapping of Swedish vegetation types, Naturgeografiska Institutionen vid Stockholms Universitet, Stockholm, 115 Seiten.
- DLR* (1989), Abschlussdokumentation: Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung, Teil A, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen, 244 Seiten.
- Howard, J. A.* (1991), Remote sensing of forest resources, theory and application, Chapman Hall, London, 420 Seiten.
- Itten, K., Meyer, P., Kellenberger, T., Leu, R., Sandmeier, S., Bitter, P., Seidel, K.* (1992), Correction of the impact of topography and atmosphere on Landsat TM forest mapping of alpine regions, Remote Sensing Series Vol. 18., Zürich, 48 Seiten.
- Keil, M., Schurek, A., Winter, R.* (1988), Waldkartierung mit Satellitendaten im Kartenblatt TüK 200, Regensburg, DFVLR, Hauptabteilung angewandte Datentechnik, Oberpfaffenhofen, 16 Seiten.

### Verfasser:

Dr. Hans-Caspar Bodmer, Professur für Natur- und Landschaftsschutz, Departement Wald- und Holzforschung der ETHZ, CH-8092 Zürich.

Richard Stocker, dipl. Forsting. ETH, Burger + Stocker, Forstingenieure ETH, CH-5600 Lenzburg.