

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse  
**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein  
**Band:** 140 (1989)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Der Wald in thermografischen Luftaufnahmen  
**Autor:** Bodmer, Hans-Caspar  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-764226>

### **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:** 02.02.2025

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

## Der Wald in thermografischen Luftaufnahmen

Von *Hans-Caspar Bodmer*  
(Institut für Wald- und Holzforschung der ETH Zürich,  
Fachbereich Forsteinrichtung, CH-8092 Zürich)  
und *Mahmoud Zobeiry*  
(College of Natural Resources, University of Theran, Karaj/Iran)

Oxf.: 587.6

### Einleitung

In der Nacht vom 17. auf den 18. Februar 1988 wurden die vom Bauamt II der Stadt Zürich in Auftrag gegebenen thermischen Luftaufnahmen durchgeführt. Der Zweck des Projektes war, Energieverluste in privaten und öffentlichen Gebäuden der Stadt Zürich und der umliegenden Gemeinden aufzuzeigen. Neben überbautem Gebiet wurden auch verschiedene Teile der Waldungen von Zürich überflogen und aufgezeichnet.

Die Firma Gepard Sensor Technologies Systems AG stellte uns freundlicherweise die Aufnahmen der thermischen Überwachung zur Verfügung. Sie sollten auf die Anwendungsmöglichkeiten für forstliche Fragestellungen geprüft werden.

### Problemstellung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das erhaltene Bildmaterial genauer gesichtet, um abzuklären, ob thermische Aufnahmen in der Forstwirtschaft sinnvoll eingesetzt werden können.

Dafür wurden folgende Fragen aufgeworfen:

1. Lassen sich die aufgenommenen Bäume im Gelände lokalisieren?
2. Können Baumarten bestimmt werden? Gibt es andere Kriterien als der Habitus für eine Unterscheidung der Baumarten?
3. Kann eine Aussage über den Vitalitätszustand der erfassten Bäume gemacht werden?
4. Können Baumdaten, wie Baumhöhen oder Brusthöhendurchmesser, und Bestandesdaten, wie Entwicklungsstufen, Deckungsgrad usw., in den Bildern gemessen respektive beurteilt werden?
5. Lassen sich die Unterscheidungskriterien für die Baumarten in einem Schlüssel erfassen?

## Methode und Untersuchungsmaterial

Zu Beginn dieses Kapitels sollen einige Grundlagen des elektromagnetischen Spektrums mehr Klarheit über die thermografischen Aufnahmen schaffen (ASPRS, 1983).

Das thermische Infrarot, auch fernes Infrarot genannt, umfasst den spektralen Bereich von 8 bis 14  $\mu\text{m}$ . Es kann weder von Auge wahrgenommen noch mit Hilfe von fotografischen Mitteln direkt aufgezeichnet werden. Es unterscheidet sich dadurch deutlich vom nahen Infrarot, das mit 0,8 bis 1,1  $\mu\text{m}$  gerade auf den sichtbaren Teil des Spektrums folgt und auf infrarotempfindlichen Filmen festgehalten werden kann, wie wir sie von den Luftaufnahmen vom Sanasilva-Programm her kennen.

Das Maximum der Sonneneinstrahlung auf der Erde liegt bei 0,52  $\mu\text{m}$  (Grünbereich). Sie wird von Materie in Abhängigkeit der Oberfläche und Beschaffenheit reflektiert, transmittiert und absorbiert. Die absorbierte Energie wird als langwellige, energieärmere Strahlung mit zeitlicher Verzögerung emittiert. Das Maximum bei dieser Wärmeabstrahlung liegt bei 10 bis 12  $\mu\text{m}$ .

Auch Bäume emittieren Wärmeenergie, die einerseits von Assimilation und Respiration und andererseits von umgewandeltem Sonnenlicht herrührt.

Zur Erfassung der thermischen Infrarotstrahlung wurde ein Scanner mit Cadmium-Tellurid-Detektoren verwendet. Die Stalium-Arsenid-Optik ist für den Wellenbereich von 8 bis 12  $\mu\text{m}$  transparent. Sie erlaubt die Messung von Strahlung im sogenannten zweiten thermischen Fenster, einem Bereich des magnetischen Spektrums, in dem der störende Einfluss von Wasserdampf, Kohlendioxid und Ozon in der Atmosphäre relativ gering ist.

Der Scanner war seitlich, kreiselstabilisiert an einem Helikopter angebracht. Er kann äusserlich mit einer Videokamera verglichen werden. Aus einer Flughöhe von rund 200 m über Grund und einem Schrägwinkel von 30° wurde ein Bildausschnitt von etwa 150 bis 250 m Breite mit einer Bodenauflösung zwischen 25 cm und 40 cm erfasst. Pro Sekunde wurden 8 Millionen Punkte abgetastet. Daraus resultieren jede Sekunde 25 Vollbilder mit je 512 x 625 Bildpunkten, die auf einem Videobildschirm aufgezeigt werden. Für jeden Punkt wurde die Temperatur auf  $1/10$  °C genau gemessen. Jeder Temperatureinheit ist ein Grauwert zugeordnet. Es können 256 Grauwerte unterschieden werden. Je wärmer ein Objekt ist, desto heller erscheint es im Videobild.

Der eingesetzte Scanner wurde mit einer automatischen Blendeneinstellung betrieben. Beim Flug über ein extrem warmes oder kaltes Objekt bewirkte dies eine Unterrespektive eine Überbelichtung. Daher sind Temperaturen nur innerhalb desselben Bildes absolut miteinander vergleichbar.

Der thermische Sensor ist unempfindlich auf Tageslicht (0,4 bis 0,7  $\mu$ ). Er wird vornehmlich für Nachtaufnahmen eingesetzt, weil dann unterschiedliche Erwärmung der Objekte durch direkte Sonneneinstrahlung und Schattenwurf entfallen.

Für die Feldaufnahmen verwendeten wir vom Bildschirm abfotografierte Videostandbilder (vgl. *Abbildung 1*). Für die auf den Papierbildern aufbelichteten Bäume wurden im Gelände Brusthöhendurchmesser gemessen, Baumart bestimmt und der Vitalitätszustand beurteilt.

Auf Grund der Helligkeitsunterschiede erstellten wir einen Schlüssel zur Baumartenbestimmung.

Die Kosten der Befliegung belaufen sich auf rund Fr. 20 000.— pro km<sup>2</sup> oder Fr. 200.— pro Hektare bei einer mittleren Fluggeschwindigkeit von 140 km/h. Zu den beachtlichen Kosten ist zu bemerken, dass es sich bei diesem thermischen Scanner um einen Prototypen handelt.

## Testgebiet

Das untersuchte Gebiet liegt östlich von Zürich am Abhang des Adlisberges zwischen Witikon und der Allmend Fluntern. Der Hang ist bis etwa 25° nach Süd-Südwest geneigt. Auf den Moränenböden stocken vorwiegend gemischte Althölzer.

## Resultate und Diskussion

### 1. Lokalisierung der Bäume

Bäume lassen sich im Gelände nur lokalisieren, wenn sie in der Nähe von klar erkennbaren Objekten wie Strassenkreuzungen, Gesteinsbrocken usw. stehen. In dichten Beständen mit Unterwuchs bleibt die Zuordnung oft zweifelhaft.

### 2. Baumartenerkennung

Die Baumarten können im Winterbild an ihrem Habitus unterschieden werden. Einzelne Kronen sind jedoch häufig schlecht sichtbar, weil sie vor allem durch immergrüne Nadelhölzer verdeckt werden. Zudem scheinen kahle Äste im Kronenraum eine Art von Mikroklima zu schaffen, das eine wolkenhafte Signatur im Bild hervorruft (vgl. Vordergrund in *Abbildung 1*).

Auf den Bildern lassen sich der unterschiedlichen Wärmeabstrahlung der Stämme entsprechend verschiedene Helligkeitsstufen erkennen. Eine Unterscheidung der Baumarten allein auf Grund der Wärmestrahlung ist jedoch problematisch.

Nadelhölzer erscheinen dunkler als Laubhölzer. Buche strahlt heller als Eiche, die wiederum heller ist als Esche. Die Abstrahlung steigt mit zunehmendem Stammdurchmesser.

Der Wassergehalt von Buche bleibt im Gegensatz zu anderen Baumarten über das ganze Jahr mehr oder weniger konstant (*Gibbs 1953*). Dies kann die grössere Abstrahlung der Buchenstämme im Winter erklären, weil die spezifische Wärmekapazität von Wasser grösser ist als von Luft und Holz.

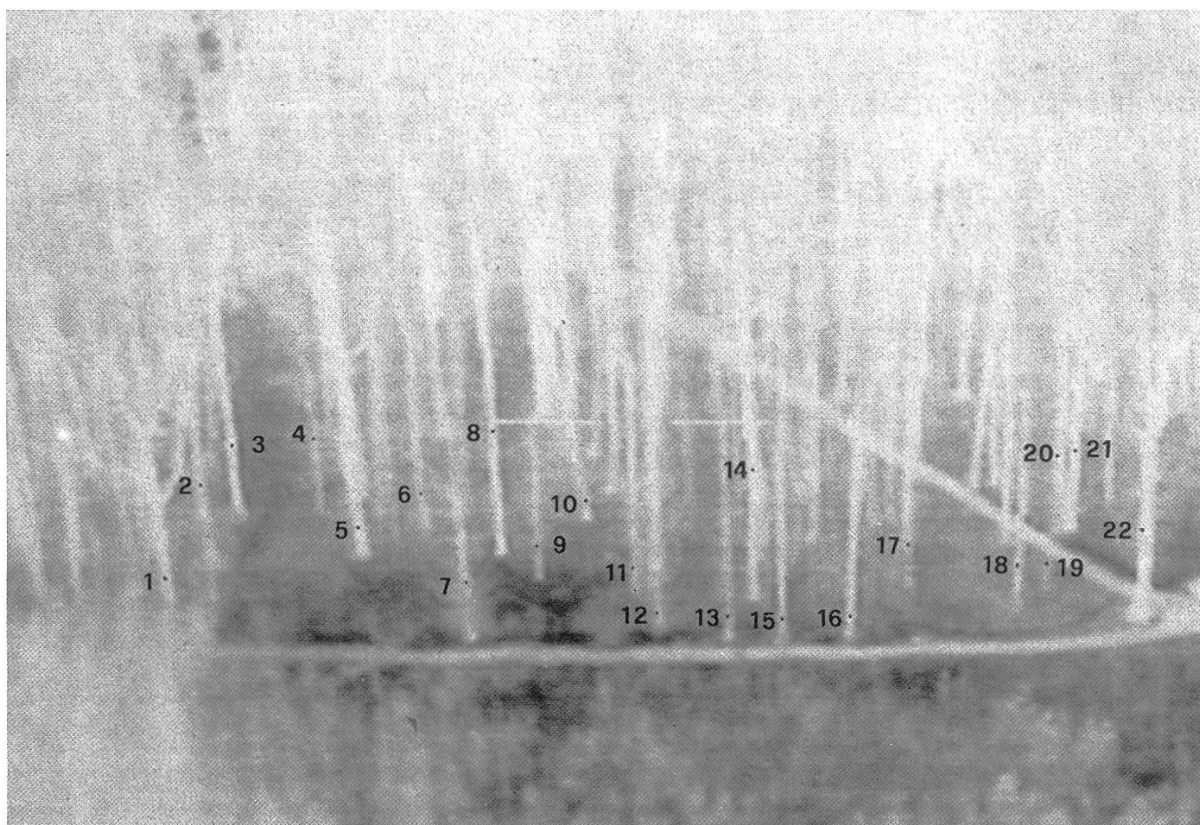


Abbildung 1. Bestandesrand südostexponiert (Bild ATG).

Nr.	BA	BHD	Bem.	Nr.	BA	BHD	Bem.	Nr.	BA	BHD	Bem.
1	Ei	91		8	Bu	47		15	Lä	59	
2	Es	49		9	Hb	23	1	16	Ul	39	2
3	Bu	65		10	Hb	37		17	Ah	25	3
4	Ul	31		11	Ah	39		18	Ul	35	2
5	Ei	77		12	Hb	36		19	Ul	21	
6	Es	50		13	Ul	37	2	20	Fö	18	
7	Hb	33	1	14	Es	60		21	Bu	61	
								22	Ei	125	

BA = Baumart, BHD = Brusthöhendurchmesser, Ei = Eiche, Es = Esche, Bu = Buche, Ah = Bergahorn, Hb = Hagebuche, Ul = Ulme, Fö = Föhre, Lä = Lärche, 1 = Klebäste, 2 = abgestorben, 3 = gipfeldürr

Die Dicke, Beschaffenheit und Farbe der Rinde beeinflusst die Wärmeabstrahlung von Baumstämmen. Gerlach (1929) hat nachgewiesen, dass sich Stämme mit dünner Rinde durch die einfallende Sonnenstrahlung stärker erwärmen als solche mit dicker Rinde. Bei Vergleichsmessungen zwischen gleich starken Fichten und Föhren hat er unter der 0,5 cm dicken Fichtenrinde Temperaturen gemessen, deren Minimum um 1 °C tiefer und deren Maximum um 4 °C höher lag als unter der 2 cm starken Föhrenborke.

Neben der Dicke der Rinde hat die Luft in den Korkzellen eine isolierende Wirkung (Gerlach 1929). Helle Rinden reflektieren einen beträchtlichen Teil der einfallenden Sonnenstrahlung (Mitscherlich 1971). Dadurch ist die Erwärmung und damit auch die Wärmeabstrahlung geringer. Erwartungsgemäss erscheinen Buchen heller als Eichen und Eschen. Föhren und Lärchen sind wegen der dicken Rinde wesentlich dunkler.

Die Emission der Baumstämme im Winter ist neben den erwähnten Faktoren (vor allem Volumen und Rindenbeschaffenheit) auch abhängig vom Temperaturgang des Vortages und der Exposition der Bäume bezüglich direkter Sonneneinstrahlung. Zudem spielt der Aufnahmezeitpunkt eine bedeutende Rolle.

### *3. Beurteilung der Vitalität*

Interessant sind die Emissionen einer Gruppe von Ulmen entlang einem Waldrand (vgl. *Abbildung 1*). Zwei Ulmen waren im Sommer 1988 abgestorben (Nr. 16 und 18), und bei einer dritten war die Rinde schon abgeblättert (Nr. 13). Zwei weitere Ulmen wurden nach dem Kronenbüchlein der *EAFV* (1986) als gesund angesprochen (Nr. 4 und 19). Die Emissionen der abgestorbenen Bäume direkt am Waldrand sind höher als jene der dahinter stehenden gesunden Ulmen. Der Einfluss der direkten Sonneneinstrahlung des nach Südost orientierten Waldrandes wird hier klar.

Das mit dem thermischen Scanner aufgezeichnete Datenmaterial erlaubt also keine Aussage über die Vitalität. Im Winterzustand wird offenbar die geringe Respirationswärme bei weitem von der gespeicherten Sonnenwärme übertroffen. Um Effekte aufzuzeigen, wie sie *Nilsson* und *Linnér* (1987) erwähnen, wonach Pflanzen mit verminderter Vitalität erhöhte Temperaturen aufweisen, müssen Bäume während der Vegetationsperiode zu verschiedenen Tages- und Nachtzeiten mit dem thermischen Scanner überwacht werden.

### *4. Baum- und Bestandesdaten*

Brusthöhendurchmesser, Baumhöhen usw. können auf dem vorhandenen Bildmaterial gemessen werden, sofern Passpunkte verfügbar sind. Allgemein ist aber die fotogrammetrische Auswertung von Schrägaufnahmen sehr aufwendig und kompliziert.

Entwicklungsstufen sind erkennbar, hingegen bereitet die Beurteilung des Deckungsgrads wegen der Schrägaufnahme Probleme.

### *5. Schlüssel*

Ein Schlüssel zur Baumartenerkennung kann mit Hilfe der Helligkeitsunterschiede und dem Brusthöhendurchmesser erstellt werden. Die automatische Blendeneinstellung des Scanners erschwert dies jedoch, weil nur die Bäume innerhalb eines Bildes absolut miteinander verglichen werden können. Zudem ist die Helligkeitsmessung auf den Fotoabzügen relativ ungenau, und das Überspielen des Videobandes in das Bildverarbeitungssystem, wo exakte Messmöglichkeiten bestehen, ist zurzeit nicht möglich.



## Schlussbemerkungen

Die Methode zur Erfassung von thermischem Infrarot ist für forstliche Fragestellungen interessant. Die Verarbeitung der Schrägaufnahmen bietet jedoch Probleme, die bei Senkrechtaufnahmen entfallen.

Der Wärmehaushalt und die davon abhängigen physiologischen Vorgänge können mit dem thermischen Scanner überwacht werden. Bemerkenswert ist vor allem die Möglichkeit, kleinste Temperaturunterschiede von Objekten zu messen, ohne diese zu berühren und damit zu stören. Für forstliche Anwendungen müssen die Aufnahmen aber vorzugsweise während der Vegetationsperiode und, wenn möglich, zu verschiedenen Tages- und Nachtzeiten gemacht werden.

### Literatur

- American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*, (1983). Manual of Remote Sensing, 2nd ed., Falls Church.
- EAFV* (1986). Kronenbilder, Sanasilva, Birmensdorf.
- Gerlach, E.* (1929). Untersuchung über den Wärmehaushalt von Bäumen, Diss. Leipzig.
- Gibbs, R. D.* (1953). Seasonal Changes in Water Contents of Trees, Proc. int. Bot. Congr., Stockholm.
- Mitscherlich, G.* (1971). Wald, Wachstum und Umwelt, Band 2: Waldklima und Wasserhaushalt, Sauerländer Verlag, Frankfurt.
- Nilsson, H. E., Linnér, H.* (1987). IR-thermography of canopy temperatures of wheat and barley at different nitrogen fertilizations and irrigations, Svergies Landbruksuniversitet, Uppsala.