

Die Eignung der Fernerkundung für geowissenschaftliche Untersuchungen in Bayern

Friedrich Wieneke

1. Einleitung

In der Fernerkundung werden Geländeausschnitte aus geringerer oder größerer Entfernung mit Hilfe elektromagnetischer Strahlung registriert. Es entsteht ein Rohbild, das geometrisch und radiometrisch bearbeitet wird, bevor die Anwender es in analoger Form (als Papierabzug oder auf Transparenzfilm) oder in digitaler Form (auf Magnetband) erhalten. Das dem Auswerter vorliegende Bild ist inhaltlich und formal einerseits von der Aufnahmetechnik und den Bearbeitungsverfahren bestimmt, andererseits vom Geländeausschnitt selbst mit seinem spezifischen Objekthalt. Am deutlichsten wird dieser Geländeeinfluß im Wechsel der Atmosphären- und Beleuchtungszustände, im Wechsel des Objektinventares und der Objektzustände, in regionsspezifischen Objektvergesellschaftungen und räumlichen Mustern im Gelände. Der Raum Bayern liegt im südlichen Mitteleuropa und ist räumlich heterogen; diese Tatsache beeinflußt die Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung über die genannten raumspezifischen Größen.

Formal betrachtet sind Luft- und Satellitenbilder räumlich zweidimensional geordnete Strahlungsmesswerte eines bestimmten Augenblickes. Als solche besitzen sie die drei fundamentalen Dimensionen räumlich, zeitlich und elektromagnetisch. Die elektromagnetische Dimension der Bilder (spektral und radiometrisch) ist bisher am häufigsten untersucht worden; aus ihr resultiert der multispektrale Ansatz. Daneben wird seit einiger Zeit verstärkt die zeitliche Dimension der Bilder untersucht mit der Zielsetzung optimierter Aufnahmezeiten und multitemporaler Auswertung. Die räumliche Dimension der Bilder ist bisher vor allem unter dem Aspekt kartographischer Anwendung untersucht worden, jedoch weniger der Einfluß geländespezifischer räumlicher Muster und Strukturen auf Luft- und Satellitenbilder. An dieser Stelle sollen Überlegungen entwickelt werden, wie weit der Raum Bayern die Eignung von Fernerkundungsverfahren für geowissenschaftliche Untersuchungen beeinflußt.

2. Die elektromagnetische Dimension

Ohne Berücksichtigung möglicher Veränderungen der Strahlungssignale in der Atmosphäre auf dem Weg vom Gelände zum Sensor ist die empfangene Strahlung eine Funktion der Objektstrahlung im Gelände und der Strahlungsempfindlichkeit des Sensors. Die objektspezifische Strahlung (Reflektion und Emission) in Abhängigkeit von der Wellenlänge wird als spektrale Signatur des strahlenden Objekts bezeichnet. Abb. 1 zeigt unten einen Ausschnitt (von 0,4 bis 2,6 μm) der spektralen Signaturen von klarem Wasser, trockenem unbedecktem

Boden und grüner Vegetation. Es wurde früh erkannt, daß Geländeobjekte erfolgreicher voneinander getrennt werden können, wenn Sensoren genutzt werden, die mehrere Ausschnitte der spektralen Signaturen nebeneinander erfassen. Dies ist das Grundprinzip der multispektralen Methode. Die Abb. 1 zeigt oben Spektralempfindlichkeitsbereiche verschiedener Sensoren (LANDSAT MSS und -TM, SPOT HRV-MS und -PC, panchromatische Emulsion und Farbinfrarot-Emulsion). Die ersten drei Systeme sind multispektral, die letzten drei monospektral. Es wird deutlich, daß derzeit noch der Vorteil multispektraler Aufnahmen mit dem Nachteil geringerer räumlicher Bodenauflösung (hier in Bodenpixelgröße angegeben) erkauft werden muß.

Um den multispektralen Ansatz der Fernerkundung zu optimieren, sind zahlreiche Strahlungsmessungen im Labor und im Gelände vorgenommen worden. Als deren Ergebnis liegen Kurven spektraler Signaturen für viele Objekte vor. Es zeigte sich nur, daß sich die spektralen Signaturen vieler Geländeobjekte im Laufe der Zeit ändern, so daß Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten erforderlich wurden. Die Abb. 2 zeigt anhand von Flugzeugmessungen im Osterseengebiet für elf nebeneinander liegende Spektralbereiche, daß die spektralen Signaturen ausgewählter Objektgruppen vom April bis zum Sommer sich deutlich änderten. Solche Effekte behindern rechnergestützte multispektrale Auswertungen und demonstrieren die Bedeutung einer genaueren Betrachtung der zeitlichen Dimension der Bilder.

3. Die zeitliche Dimension

Aufnahmezeitpunkt und Aufnahmedauer sind die wichtigen Aspekte der zeitlichen Dimension von Luft- und Satellitenbildern. Während photographische Aufnahmen für den gesamten erfaßten Geländeausschnitt im Bruchteil von Sekunden synchron erfolgen, benötigen nichtphotographische Systeme eine gewisse Zeit für die Aufnahmen eines Bildes von der Anfangszeile bis zur Endzeile – LANDSAT z. B. etwa 30 Sekunden, METEOSAT 25 Minuten. Schnelle bewegliche Objekte wie Wellen oder Wolken können während der Dauer einer Aufnahme ihre Position verändern. Von größerem Einfluß als die Dauer ist jedoch der Aufnahmezeitpunkt, da die Aufnahmesituation sich teils minütlich, teils stündlich im Tagesgang etwa –, teils wöchentlich oder monatlich – im Jahresgang etwa –, darüber hinaus von Jahr zu Jahr ändert. Sehr verschiedene Zeitskalen sind hier wirksam, und es wird schwierig, in Abstimmung der zeitlichen Missionsparameter einerseits und der zeitlichen Geländeparameter i. w. S. andererseits den Aufnahmezeitpunkt zu optimieren.

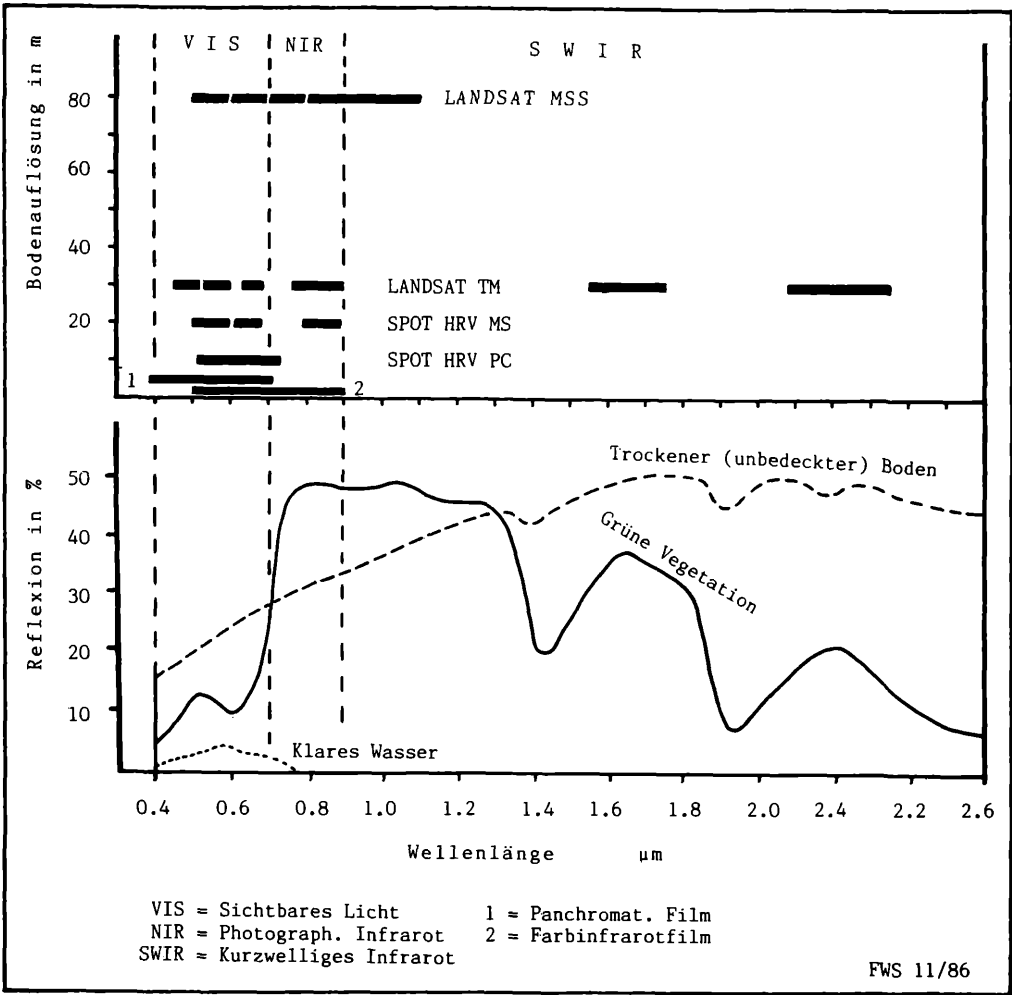


Abbildung 1
Spektrale Signaturen dreier Objektklassen und Spektralempfindlichkeitsbereiche von sechs Aufnahmesystemen im Wellenlängenintervall 0.4 bis 2.6 µm (aus STRATHMANN 1987).

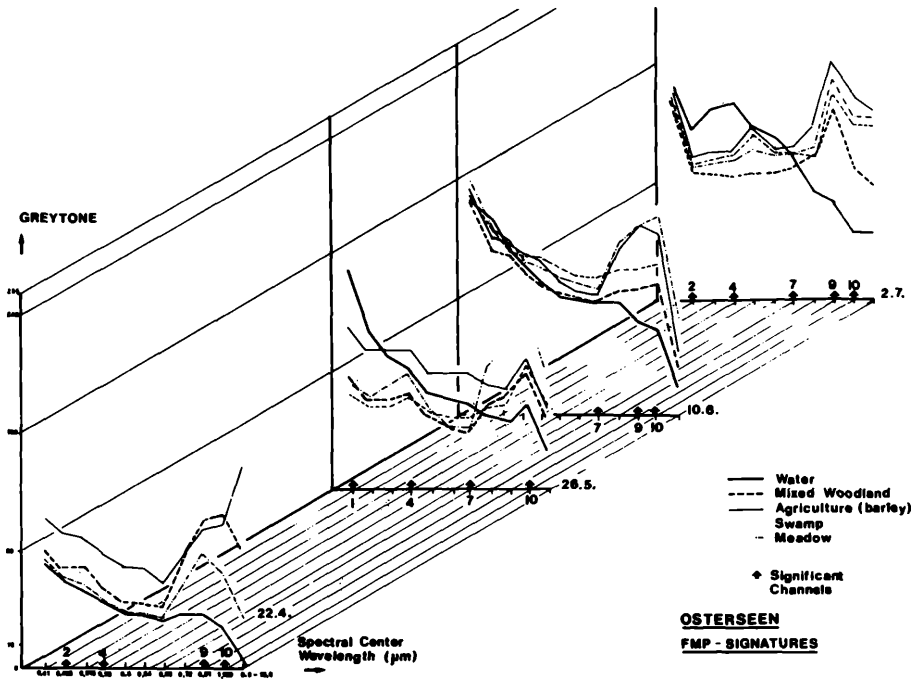


Abbildung 2
Jahreszeitlicher Wandel spektraler Signaturen von Objekten des Osterseengebietes/Obb. (aus BODECHTEL et al. 1978).

Geländeabhängig wandeln sich in verschiedenen Zeitskalen die Beleuchtungsgeometrie – soweit mit reflektierter Sonnenstrahlung gearbeitet wird –, der Atmosphärenzustand – soweit er die Strahlungssignale auf dem Weg vom Gelände zum Sensor beeinflusst –, der Geländezustand – nach Objektinventar, -position und -zustand – sowie die Begehbarkeit des Geländes, die unerlässlich ist zur Bodenreferenz der Bildauswertung. Während für Bayern eine prinzipielle Begehbarkeit des Geländes i. a. angenommen werden kann, unterliegen die übrigen Größen zeitlichen, z. T. periodischen Veränderungen, deren Art und Ausmaß raumspezifisch sind und die Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung beeinflussen.

3.1 Beleuchtungsgeometrie

Lässt man aktive Fernerkundungssysteme – LASER und RADAR – unberücksichtigt und ebenso diejenigen der passiven Systeme, die emittierte Strahlung nutzen, so basieren die restlichen Systeme einschließlich der photographischen Verfahren auf der Nutzung erdoberflächlich reflektierten Sonnen- und Himmelslichtes. Ersteres fällt gerichtet auf das Gelände, letzteres diffus. Je nach den Reflektions-eigenschaften der Geländeobjekte strahlen diese die direkt einfallende Sonnenstrahlung diffus, gemischt oder direkt gerichtet wieder ab, und die Relation von Rückstrahlungsrichtung und Aufnahmerichtung bestimmt sehr stark die Intensität der auf den Sensor fallenden Strahlung.

Bayern liegt in einer geographischen Breite von

ca. 47.5° n.Br. bis ca. 50.5° n.Br. Damit verläuft der Tagbogen der Sonne ganzjährig über Süden und steht die Sonne ganzjährig stundenweise über dem Horizont, erreicht aber nie den Zenit. Gleichwohl weist im Laufe der Jahreszeiten der Tagbogen der Sonne große Unterschiede auf. H. LOUIS (1957) kennzeichnet die Bestrahlungsverhältnisse der Mittelbreiten durch einen „echten Hochwinter mit tiefem Mittagssonnenstand und sehr kurzen Tagen“, einen „echten Hochsommer mit hohem Mittagssonnenstand und sehr langen Tagen“ sowie ausgeprägte Unterschiede von Sonnen- und Schattenseiten des Reliefs. Abb. 3 (aus REIDAT 1955/56) verdeutlicht die Tagbögen der Sonne für einen beliebigen Ort in 48° n.Br. Aus dem Diagramm können für jeden Tag des Jahres und jede Stunde des Tages die Sonnenhöhe über dem Horizont und das Azimut abgeleitet werden. Für die Tageszeiten ist das Diagramm symmetrisch auf den Sonnenhöchststand, d. h. auf 12 Uhr WOZ (wahre Ortszeit) bezogen. Die Differenz auf MOZ (mittlere Ortszeit) gibt die im Diagramm oben eingetragene Zeitgleiche an, die Differenz zur MEZ berechnet sich aus der Differenz der geographischen Länge des Ortes zu 15° ö. L.

Das vom Sonnenlicht bestrahlte Gelände ist in der Regel keine horizontale Ebene. In Bayern z. B. wechseln schwach geneigte, überwiegend ebene Flächen mit hügeligem Gelände, mit zerteilten Bergländern, mit steiflankigem Hochgebirge. Die einzelnen Reliefeile wechseln rein geometrisch betrachtet nach Neigung und Exposition.

Aus dem Zusammenspiel von Sonnenhöhe und

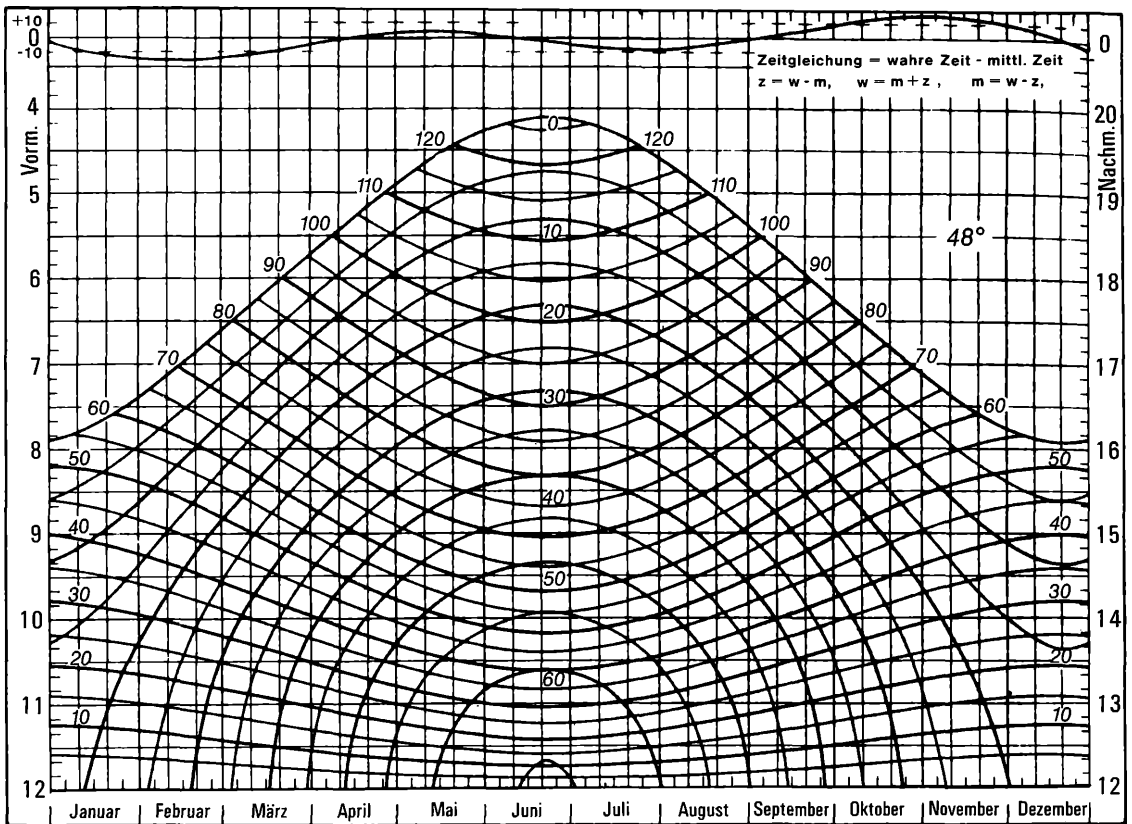


Diagramm zur Ermittlung der Sonnenposition für 48° N-Br. (Erläuterung siehe Text)

Abbildung 3

Diagramm zur Ermittlung der Sonnenposition für 48° n.Br., d. h. etwa Memmingen, Starnberg, Rott/Inn (aus REIDAT 1955/56).

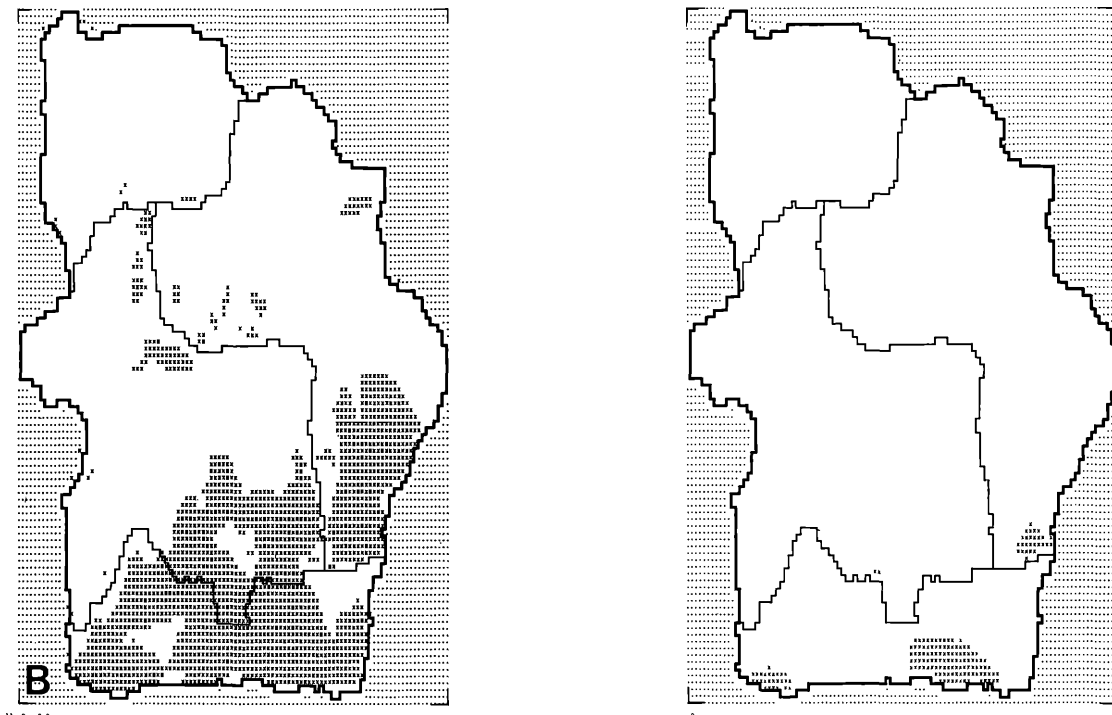


Abbildung 4

Computersimulation der beschatteten Flächen im Einzugsgebiet des Lainbaches unterhalb der Benediktenwand (unterer Rand) in Abhängigkeit der jahreszeitlichen Sonnenstandsänderung – links 1.2. 11 Uhr, rechts 1.4. 11 Uhr (nach Arbeitskarten WAGNER, WILHELM, Inst. f. Geogr. Univ. München).

-azimut einerseits und von Reliefneigung und -exposition andererseits ergibt sich, ob überhaupt eine Ausleuchtung des Geländes im Aufnahmezeitpunkt stattfindet (oder Bergschatten alles weitgehend verdeckt) und ob eine mehr oder weniger direkte Rückstrahlung in Richtung des Aufnahmesystems stattfindet. Um die Schattenwirkung abzuschätzen, kann der durch Relief und Bauten, auch hohe Vegetation, vorgegebene wirkliche Gesichtskreis nach Höhe über dem Horizont und Azimut in Kreisdiagramme des Sonnenstandes eingetragen werden. Andererseits kann man über Computerberechnungen für gezielt gewählte Sonnenstände bei vorgegebenem Gelände den Beschattungseffekt simulieren und in Kartenskizzen ausdrucken lassen (Abb. 4).

3.2 Atmosphärenzustand

Auf dem Weg vom Gelände zum Sensor durchläuft die elektromagnetische Strahlung einen einige Hundert bis einige Tausend Meter (Luftaufnahmen) oder einen einige Hundert bis mehrere Tausend Kilometer (Satellitenaufnahmen) langen Weg durch die Erdatmosphäre. Hierbei wird die Strahlung beeinflusst, verändert durch Absorption, Streuung usw. Art und Ausmaß der Signalabschwächung hängen ab von der Wegstrecke und vom Zustand der Atmosphäre. Zustandsänderungen der Atmosphäre nennen wir Wetter und somit ist das raumspezifische Wetter eine essentielle Größe für die Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundung – ausgenommen Systeme, die langwellige Strahlung nutzen und damit wetterunabhängig werden.

Bewölkung, Nebel und Dunst sind fernerkundungsrelevante Wetterparameter; indirekt wären Nieder-

schläge, bes. auch Schnee, dazu zu rechnen, da sie den Geländezustand (3.3) verändern. Die genannten Wetterparameter sind in ihrem Auftreten in Bayern an mehr oder weniger sicher auftretende Witterungsregelfälle i.S. von FLOHN und HESS gebunden. Nach BLÜTHGEN (1965, S. 43) sei hier die Statistik der Witterungsregelfälle für Mitteleuropa aufgrund der Großwetterlagenstatistik 1881 – 1947 vorgestellt (Tab. 1). Es werden nur Witterungsfälle berücksichtigt, die in dieser Jahresreihe in mindestens 67% der Fälle eintraten, wobei die angegebenen Eintrittszeiträume sich per definitionem um je 5 Tage nach vorn oder hinten verschieben können.

FLOHN (1954) gibt ergänzend eine Beschreibung des durchschnittlichen Witterungsablaufes für Mitteleuropa. Es gibt keine räumlich präzisere, auf Bayern oder bayerische Teilräume bezogene, und keine neuere, auf jüngeren Jahrgängen basierende Aufstellungen. Aufgrund der Zusammenstellung läßt sich aber z. B. zeigen, daß mit großer Häufigkeit Ende Mai / Anfang Juni eine Hochdruckwetterlage mit guten Aufnahmebedingungen wiederkehrte oder im Juni und Juli mehrere Schlechtwetterwellen mit großer Häufigkeit die Aufnahmesituation behindern können.

Luftbildbefliegungen können gezielt geplant werden und wetterabhängig auch verschoben werden. Satelliten kreisen jedoch auf fest installierten Bahnen um die Erde und überfliegen in genau festliegenden zeitlichen Abständen erneut den gleichen Geländestreifen (Repetitionsrate, z. B. bei LANDSAT-4/5 16 Tage). Fällt die Überfliegszeit in Schönwetterregelfälle mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit, so sind eher gute Aufnahmebedingungen zu erwarten, als bei Schlechtwetter-

Tabelle 1

Witterungsregelfälle für Mitteleuropa nach FLOHN 1954 (aus BLÜTHGEN 1965).

Regelfall (mit Abkürzung) zyklonal antizyklonal	Zeitraum	Großwetterlage zyklonal antizyklonal	rel. Häufigk. 1881–1947
Tauwetter 2(T ²)	1.–10.XII.	Westwetter	81%
Frühwinter (Wf)	14.–25.XII.	Winterhoch Osteuropa	67%
Weihnachtstauwetter (T ³)	23.XII.–1.I.	Westwetter	72%
Hochwinter (Wh)	15.–26.I.	Kontinentalhoch	78%
Spätwinter (Ws)	3.–12.II.	Winterhoch Nordosteuropa	67%
Vorfrühling (Fv)	14.–25.III.	Kontinentale Hochs	69%
Spätfrühling (Fs)	22.V.–2.VI.	Nord- u. Mitteleur.hochs	80%
Sommermonsun 2(M ²) (Schaffkälte)	9.–18.VI	Nordwestwetter	89%
Sommermonsun 5(M ⁵)	21.–30.VII.	Westwetter	89%
Sommermonsun 6(M ⁶)	1.–10.VIII.	Westwetter	84%
Spätsommer (Ss)	3.–12.IX.	Mitteleuropahochs	79%
Frühherbst (Hf) (= Altweibersommer)	21.IX.–2.X.	Mittel- und Südost- europahochs	76%
Mittherbst (Hm) (= Martinssommer)	28.X.–10.XI.	Mitteleuropahochs	69%
Spätherbst (Hs)	11.–22.XI.	Mitteleuropahochs	72%

regelfällen mit ausgedehnten Wolkenfeldern und Niederschlagsgebieten, aber z. B. auch als bei herbstlichen Hochdruckwetterlagen mit Nebelbildungen. Jedoch sind raumspezifisch bei uns die infraannuellen Schwankungen der Witterungsjahresgänge zu hoch und die zeitlichen Abfolgen nicht hinreichend prognostizierbar, um gesicherte Empfehlungen für günstige Aufnahmezeitpunkte in Bayern ableiten zu können. Mit neuen Satellitenentwicklungen (SPOT z. B.) versucht man, dieses Problem zu verringern durch schwenkbare Sensoren, die von einer benachbarten Umlaufbahn wenige Tage später das gleiche Gelände erneut, nun jedoch aus anderer Blickrichtung aufnehmen können und somit eine größere Chance bieten, ein bestimmtes Gelände bei geeignetem Atmosphärenzustand aufzunehmen.

3.3 Geländezustand

Klimatisch bedingt und witterungsmäßig gesteuert verändert sich der aufzunehmende Geländeausschnitt im Jahresgang. Eis und Schnee sind winterliche Phänomene, die Vegetationszeit fällt in die Zeit vom Frühjahr bis zum Herbst. Auch gerade landschaftsgestaltende anthropogene Aktivitäten sind stark jahreszeitenabhängig, so z. B. Verkehr und Freizeitverhalten oder Verkehrs- und Siedlungsbauten. Raumspezifisch ändern sich die Verbreitungs- und Zustandsmuster solcher Geländezustände. In Bayern spielt der hypsometrische Wandel – für die Mittelgebirge wie fürs Hochgebirge – eine wichtige Rolle. Der höhenstufenabhängige Wandel ist am Beispiel phänologischer Phasen in den Alpen, z. B. von GAMS (nach SCHMIDT 1969, 83) dokumentiert. Mit wachsender Meereshöhe werden vom Vorfrühling bis zum Hochsommer für ein bestimmtes Aufnahmedatum immer frühere, vom Früh- bis Spätherbst immer spätere phänologische Phasen erfaßt. Insgesamt nimmt die Anzahl auftretender phänologischer Phasen mit der Meereshöhe ab. Stellvertretend für alle Aspekte von Geländezu-

ständen in Bayern seien die prinzipiellen Probleme am Beispiel von Grünland erläutert. Abb. 5 a zeigt schematisch verschiedene Blühaspekte von Wiesengesellschaften im Jahresgang. Je nach Aufnahmedatum werden unterschiedliche bildwirksame Oberflächen der Pflanzenbestände erfaßt. Ergänzend dazu zeigt Abb. 5 b (beide SCHMIDT 1969) in der Aufsicht die Veränderungen eines kleinen Geländeausschnittes (Dauerquadrat) vom Mai bis Juli und von einem Jahr zum nächsten. STEINER (1961, 1970) hat für das Schweizer Mittelland an Kulturpflanzen dokumentiert, wie mit dem phänologischen Jahresgang sich im Bild Grauton, also registrierter Strahlungswert, Stereoeffekt, also Wuchshöhe, und Textur, also Muster und Struktur der bildwirksamen Oberfläche, ändern. Da mitteleuropäisches Gelände bis auf wenige Ausnahmen bewirtschaftet ist, wird die natürliche Entwicklung im Jahresgang durch agrare anthropogene Aktivitäten beeinflusst, ja unterbrochen. Als Beispiel mag Abb. 6 (aus ELLENBERG, 1982) dienen, das in schematischen Profilen den Einfluß verschiedener Mähzyklen auf Zustand und Entwicklung des Grünlandes aufzeigt. Mit Geländephotoserien aus dem Freiburger Raum hat DÖRFEL (1978) den Einfluß des phänologischen Zustandes von Vegetation auf die Erfäßbarkeit im Photo untersucht und dokumentiert. Es bleibt eine bislang nicht gelöste Aufgabe, für Bayern aufgrund der mittleren phänologischen Jahresgänge und anthropogener Aktivitätsabläufe unter Berücksichtigung intraannueller Schwankungen Zeitabschnitte bestimmter Geländezustände zu erarbeiten, um besonders die Auswertung von Satellitenbilddaten zu erleichtern.

4. Die räumliche Dimension

Ein aufgenommener Geländeausschnitt hat im Augenblick der Aufnahme ein bestimmtes Objektinventar mit bestimmten räumlichen Eigenschaften: Die einzelnen Objekte besitzen eine absolute und relative Lage, sie haben Größe, Form, Richtung;

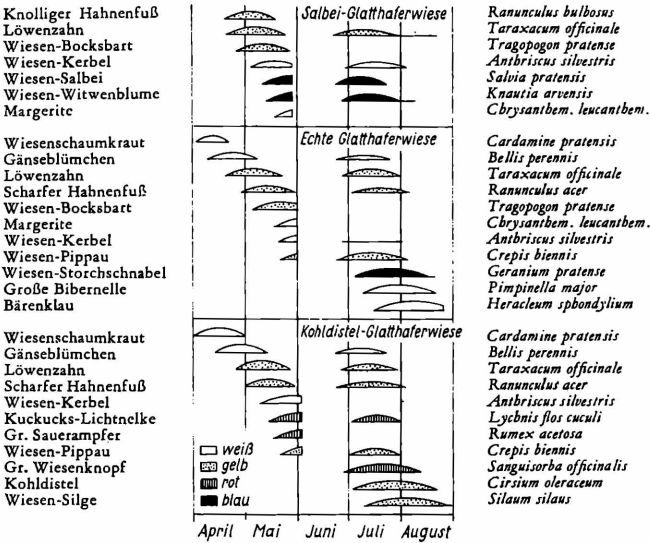


Abbildung 5 a
Wandel des Blühaspektes von Wiesengesellschaften im Jahresgang (aus SCHMIDT 1969).

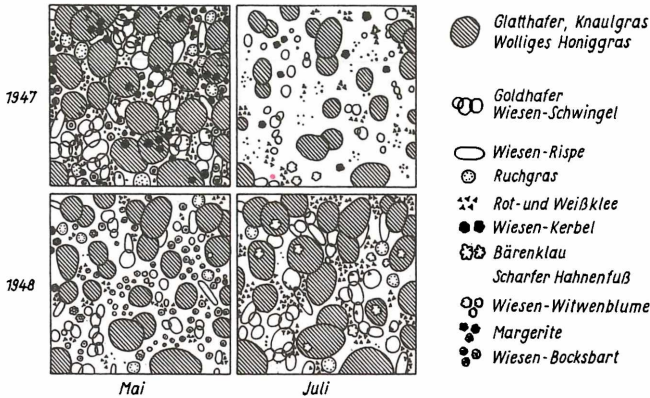


Abbildung 5 b
Wandel der bildwirksamen Oberfläche eines Dauerquadrates von Mai bis Juli und von einem Jahr zum nächsten (aus SCHMIDT 1969).

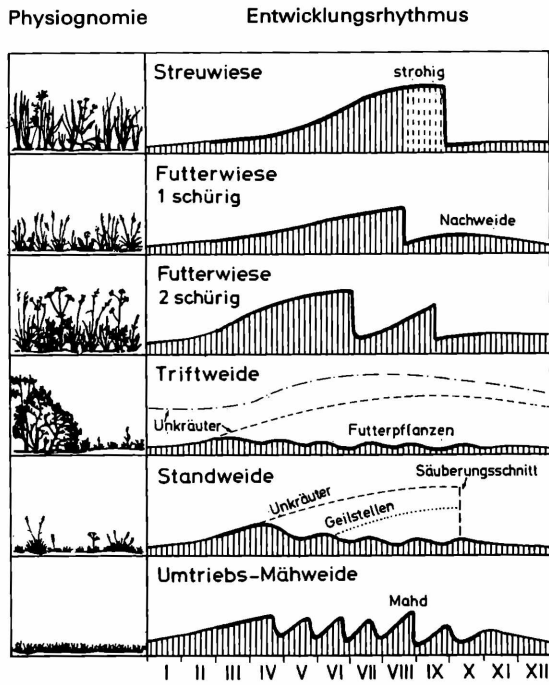


Abbildung 6
Einfluß der Bewirtschaftungsform (Mahd, Beweidung) auf den Zustand von Grünland (aus ELLENBERG 1982).

die Objekte sind stets vergesellschaftet, d. h. sie weisen eine bestimmte Dichte und u. U. eine typische Struktur auf; sie erzeugen Räummuster. Diese räumlichen Eigenschaften des Geländes bedingen in Abhängigkeit von den räumlich-geometrischen Eigenschaften des Aufnahmesystems die räumlichen Eigenschaften des Bildes. Wie weit die räumlichen Eigenschaften oder Merkmale der Bildobjekte als Auswertungsindikatoren genutzt werden können, d. h. wie gut ihnen Geländeobjekteigenschaften zugeordnet werden können, wird v. a. durch die Abbildungsgeometrie, den Maßstab und die räumliche Auflösung bestimmt.

Die Ausdehnung des aufgenommenen Geländeausschnitts wird maßstäblich in die Ausdehnung der Bildobjekte überführt. Hier legt die räumliche Auflösung des Aufnahmesystems eine untere Grenze fest. Die Ausdehnungen mehrerer Objekte in Vergesellschaftung erzeugen ein räumliches Muster, dem Muster, im Gelände entsprechendes Muster im Bild, das im Makrobereich des Bildes Struktur, im Mikrobereich Textur oder Feinstruktur genannt wird (P. MEIENBERG, 1966). Die Lage, absolut wie relativ, der Objekte im Bild wird durch die Abbildungsgeometrie aus der Lage der Objekte im Gelände erstellt. Sie liefert Information für die Auswertung und ist von fundamentaler Bedeutung für die kartographische Darstellung der Fernerkundungsdaten und der Auswerte- und Interpretationsergebnisse.

4.1 Aufnahmetechnik und Bearbeitungsverfahren

Die Abbildungsgeometrie ist nicht trivial. Besonders nichtphotographische Aufnahmesysteme besitzen in verschiedenen Richtungen unterschiedliche Geometrie. Photographien sind zentralperspektivisch und damit geometrisch richtungsunabhängig. Durch Neigungen des Aufnahmesystems gegen die Vertikale können Lagefehler entstehen, ebenso durch den Einfluß von Erdkrümmung und Relief (s. u.). Bevor die Bilder an Nutzer ausgegeben werden, sind sie in der Regel geometrisch und radiometrisch überarbeitet. Die größte Genauigkeit ist erreicht, wenn sie lagemäßig auf geographische oder geodätische Koordinaten umgerechnet wurden. Der Maßstab gibt das Verkleinerungsverhältnis des Bildes an und hat in der Fernerkundung eine analoge Bedeutung zu der in der Kartographie. Der Maßstab hängt nicht von der Flughöhe über Grund alleine ab, sondern auch von Sensorkonstanten (bei Photographien von der Brennweite). Unter der Auflösung oder dem Auflösungsvermögen eines Aufnahmesystemes wird seine Fähigkeit verstanden, dicht beieinander liegende Signale zu unterscheiden, sei es räumlich, zeitlich, spektral oder radiometrisch.

P. ROSENBERG (1971) hat betont, daß die räumliche oder geometrische Auflösung, wie alle technischen Begriffe, in bezug auf ein Meßverfahren definiert sein muß. In der Praxis zeigt sich, daß die räumliche Auflösung realer Objekte geringer ist als diejenige von Testobjekten. Da ein Objekt durch den Strahlungsunterschied zu seiner Umgebung festgestellt und erkannt, also unterschieden wird, ist die räumliche Auflösung stark kontrastabhängig. Der Auflösung eines Aufnahmesystems entspricht eine Boden- oder Geländeauflösung, die sich über den Maßstab aus der Bildauflösung errechnen läßt. Um die Sichtbarkeit oder Detailerkennbarkeit von Objekten zu beschreiben, verwendet P. ROSENBERG (a. a. O.) zusätzlich zur räumlichen Auflösung zwei Erkennbarkeitsbegriffe. Unter „Wahrnehmung“ wird die Fähigkeit von Aufnahmesystem und Auswerter zusammen verstanden, die Existenz eines Signals festzustellen, unter „Erkennbarkeit/Identifizierbarkeit“ die Fähigkeit, das festgestellte Signal zu identifizieren.

In Abb. 7 sind Aufnahmen photographischer Fernerkundung koordinatenmäßig als Ausgangspunkt

zweier orthogonaler Pfeile eingetragen. Dieser Punkt hat die Koordinaten Originalmaßstab des Bildes, Aufnahmefläche des Bildes am Boden, Bodenauflösung des Bildes bei visueller Auswertung (Auflösungsvermögen des Auges hier mit 8 lp/mm angesetzt). Für Luftphotos ist nur eine photographische Auflösung von 40 lp/mm berücksichtigt worden, neuere Emulsionen erreichen nominal bis 400 lp/mm. Die beiden Pfeile zeigen den Effekt einer Vergrößerung des Bildes bei visueller Auswertung: Das räumliche Auflösungsvermögen kann nun besser ausgeschöpft werden, der Maßstab vergrößert sich entsprechend. Im Grunde wäre ein diagonaler Pfeil einzuzichnen, da bei gleitender Vergrößerung nutzbare Bodenauflösung und Maßstab gleichzeitig wachsen. Erfolgt die Vergrößerung nicht im virtuellen Bild eines Auswerteinstrumentes, sondern reprototechnisch, so sinkt die Bildqualität und damit nimmt dann das photographische Auflösungsvermögen ab. Für den Praktiker läßt sich abschätzen, welches photographische Aufnahmesystem für seine Fragestellung und sein Untersuchungsgebiet geeignet ist hinsichtlich der Flächendeckung (d. h. Anzahl der erforderlichen Bilder), der Bodenauflösung (d. h. Minimalgröße der zu untersuchenden Objekte) und Maßstab (Untersuchungs- bzw. Kartierungsmaßstab).

4.2 Geländeeinfluß

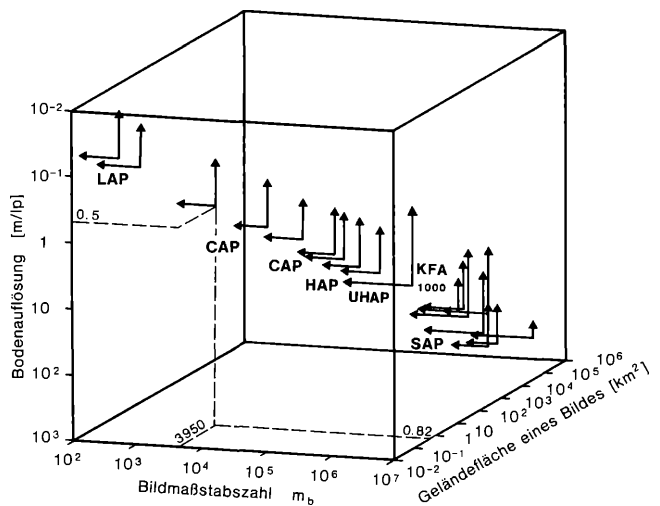
Geometrisch gesehen ist ein aufgenommener Geländeausschnitt eine gekrümmte Fläche, das Bild eine euklidische Ebene. Die Abbildung einer gekrümmten Fläche auf eine Ebene ist verzerrungsfrei nicht möglich. Die Erdkrümmung verursacht Lagefehler v. a. bei Satellitenaufnahmen, das Relief v. a. bei Luftaufnahmen. Beide Einflüsse sind bei Aufnahmen bayerischer Gebiete voll wirksam.

Lage, Form und Größe der Geländeobjekte werden abbildungsgeometrisch und maßstäblich in Lage, Form und Größe der Bildobjekte überführt. Sie sind daher von erheblicher Bedeutung für den Bildinhalt, andererseits Geländeeigenschaften. Am Beispiel von agraren Parzellen mag dies verdeutlicht werden (Abb. 8). Die auf gleichen Maßstab gebrachten Ausschnitte einer oberbayerischen Flur stammen aus einer Photographie und einem Abtastbild. Die Unterschiede der Erfassung bzw. Darstellung der Parzellenstruktur sind deutlich; besondere Probleme treten auf in Abtastbildern durch die

Abbildung 7

**Maßstab, Bodenauflösung und Gelände-
fläche eines Bildes für verschiedene photo-
graphische Systeme.**

LAP = Tiefbefliegungsphoto, CAP = konventionelles Luftphoto, HAP = Hochbefliegungsphoto, UHAP = Ultrahochbefliegungsphoto, SAP = Satellitenphoto, KFA 1000 = Photo der KFA 1000-Kamera vom Kosmos-Satelliten (nach WIENEKE 1987).



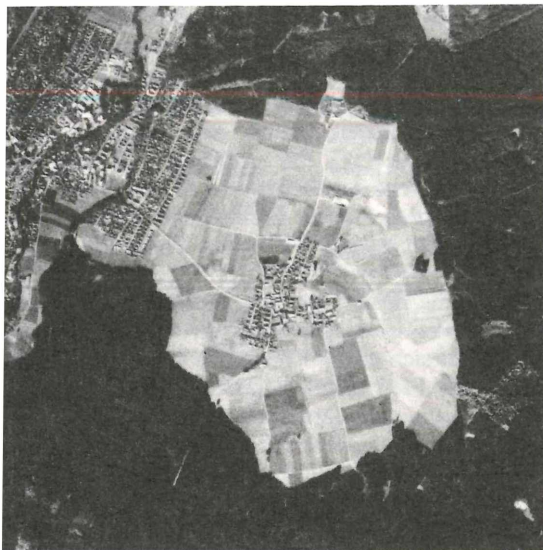


Abbildung 8

Parzellenstruktur einer oberbayerischen Flur im Luftphoto (verkleinert) und im Abtastbild (vergrößert; Bearbeitung STRATHMANN, KAUFMANN 1986). Freigabe Reg. Präs. Münster Nr. 5839/84.

Überlagerung eines Pixelrasters mit der Parzellenstruktur. Die räumliche Lage der Parzellen zur Abtastrichtung, die Form der Parzellen im Vergleich zur Pixelform und die Parzellengröße in Relation zur Pixelgröße verändern die Genauigkeit und Deutlichkeit der Darstellung.

CRAPPER (1980) hat z. B. Schätzfunktionen für die Flächenmessung an Abtastbildern abgeleitet, die neben der Arealgröße und der Arealform auch die Pixelform und -größe berücksichtigen. Die Untersuchung zeigt, daß mit wachsender Unregelmäßigkeit der Parzellenform und mit abnehmender Parzellengröße der Flächenschätzfehler sehr schnell sehr groß wird (Tab. 2). D. h. flurbereinigte Gebiete Bayerns werden mit geringeren Flächenfehlern abgebildet als z. B. Gewinnfluren in Realerteilungsgebieten.

Tabelle 2

Flächenschätzfehler für LANDSAT-MSS-Aufnahmen unterschiedlich geformter und großer Parzellen (nach CRAPPER 1980).

Parzellenform	Form- faktor	Durchschnittl. Parzellengröße (ha)	Relat. Flächenfehler (%)
Quadratisch	1.13	150	0.17
Quadratisch	1.13	1000	0.17
Rechteckig	1.51	500	0.33
Unregelmäßig	1.82	2	23

5. Synthese

Der bayerische Raum liegt im südlichen Mitteleuropa und ist naturräumlich wie kulturräumlich reich gegliedert. Daher stellt sich der Geländeeinfluß auf die Qualität von Fernerkundungsdaten sehr abwechslungsreich dar. Die räumlichen und zeitlichen Variationen von Atmosphären- und Beleuchtungszuständen, von Objektinventar und Objektzuständen, von Objektvergesellschaftungen und räumlichen Mustern im Gelände verändern die

jeweiligen Bildinhalte. Zur optimalen Bildauswertung ist daher eine räumliche Gliederung Bayerns, statistisch gesehen eine Stratenbildung, unumgängliche Voraussetzung. Hier kann einerseits auf naturräumliche bzw. standortkundliche Landschaftsgliederungen Bayerns (MEYNEN/SCHMITHÜSEN 1953–1959 bzw. WITTMANN 1984) zurückgegriffen werden, andererseits auf wirtschaftsräumliche Gliederungen Bayerns. Die aufgezeigten geländespezifischen Einflüsse auf die Fernerkundungsaufnahmen variieren mit dem räumlichen Wechsel der bayerischen Teillandschaften und sind für jeden Teilraum neu zu untersuchen bzw. zu berücksichtigen. Nur unter Berücksichtigung der instrumentellen Besonderheiten des Aufnahmesystems und der räumlichen Besonderheiten des aufgenommenen Geländes sind optimale Anwendungen der Fernerkundung für geowissenschaftliche Untersuchungen zu erreichen.

6. Literatur

- BODECHTEL, J., FERNANDEZ, R., HAYDN, R., JASKOLLA, F. (1978): The Use of Aircraft and Spaceborne MSS Data (FMP-National Aircraft Measurement Program, Test Area VI, Bavarian Alps; Landsat; Skylab) for the Definition of Optimum Spectral Bands for a Future Multispectral Sensing System; Proc. Sympos. Freiburg/Br. July, 2–8, Vol. I. – Int. Arch. Photogrammetry XXII-7, 519–534.
- BLÜTHGEN, J. (1965): Synoptische Klimageographie. – Geogr. Z. 53, 10–51.
- CRAPPER, P. F. (1980): Errors Incurred in Estimating an Area of Uniform Land Cover Using Landsat. – Photogramm. Engin. Remote Sensing 46 (10), 1295–1301.
- DÖRFEL, H.-J. (1978): Phänologische Aspekte bei der Fernerkundung von Vegetationsflächen; Proc. Sympos. Freiburg/Br. July, 2–8, Vol. II. – Int. Arch. Photogrammetry XXII-7, 1611–1624.
- ELLENBERG, H. (1982): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen; 3. Aufl., Stuttgart: Ulmer, 989 S.

- FLOHN, H. (1954):
Witterung und Klima in Mitteleuropa. – Forsch. dt. Landeskde 78, 3. Aufl., 156 S.
- LUOIS, H. (1957):
Der Bestrahlungsgang als Fundamentalerscheinung der geographischen Klimaunterscheidung. – Schlern-Schriften 190, 155 – 164.
- MEIENBERG, P. (1966):
Die Landnutzungskartierung nach Pan-, Infrarot- und Farbluftbildern. – Münchner Stud. Soz.-Wirtsch. Geogr. I, 133 S. u. Bildmappe.
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J. (1953/1955):
Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands, 1. Lfg./2. Lfg.; Bundesanstalt Landeskde Remagen, 1 – 258.
- REIDAT, R. (1955/56):
Arbeitsblätter zur Ermittlung des Sonnenstandes und der Besonnungsdauer. – Ann. Meteorologie 7, 321 – 337.
- ROSENBERG, P. (1971):
Resolution, detectability and recognizability. – Photogramm. Engin. Remote Sensing 37 (12), 1255 – 1258.
- SCHMIDT, G. (1969):
Vegetationsgeographie auf ökologisch-soziologischer Grundlage; Leipzig: Teubner, 596 S.
- STEINER, D. (1961):
Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpretation, gezeigt am Beispiel des schweizerischen Mittelandes. – Landeskdl. Luftbildausw. mitteleurop. Raum 5, 81 S.
- STEINER, D. (1970):
Time Dimension for Crop Surveys from Space. – Photogramm. Engin. 36 (2), 187 – 194.
- STRATHMANN, F.-W. (1987):
Fernerkundung in der stadtökologischen Planung. Mater. Angew. Geogr. 16, 155 – 168.
- STRATHMANN, F.-W., KAUFMANN, H. (1986):
Urban Development Planning Using Thematic Mapper Data of Munich. – ESA SP-258, 9 – 14.
- WIENEKE, F. (1987):
Der Einfluß der räumlichen Dimension der Daten auf die Einsatzmöglichkeit photographischer Fernerkundung für landschaftsökologische Untersuchungen. Geomethodica 12, 57 – 90.
- WITTMANN, O. (1984):
Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern; Bayer. Staatsmin. Landesentw. Umweltfr.; Materialien 21, 2. Aufl., 30 S.

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Friedrich Wieneke
Institut für Geographie
der Universität München
Luisenstraße 37
8000 München 2

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1990

Band/Volume: [1_1990](#)

Autor(en)/Author(s): Wieneke Friedrich

Artikel/Article: [Die Eignung der Fernerkundung für geowissenschaftliche Untersuchungen in Bayern 47-55](#)