

Allgemeine Einführung in das fernerkundliche Umfeld

Thomas SCHNEIDER ^{1), 2)} & Stefan ZIMMERMANN ¹⁾

Abstract

Bei vielen Praktikern weckt der Begriff „Fernerkundung“ lediglich die Assoziation „Luftbild“. Die Information eines Luftbildes ist auch dem Nicht-Fernerkundler zugänglich, da die Abbildung der Realität mit den vertrauten Sehgewohnheiten übereinstimmt. Im wissenschaftlichen Bereich ist das klassische Luftbild schon längst von digitalen Systemen abgelöst. Im Gegensatz zur photo-chemischen Strahlungserfassung des Luftbildes lassen sich die photovoltaisch erfassten Signale digitaler Systeme eichen und in physikalische Messwerte umwandeln. Darüber hinaus haben die Detektoren moderner digitaler Systeme eine deutlich höhere Lichtempfindlichkeit und decken Spektralbereiche ab, die für photographische Verfahren nicht zugänglich sind. Die geforderte „quantitative“ thematische Fernerkundung ist über digitale Systeme wesentlich besser möglich. Für die Identifikation und Zustandsbeschreibung liefern multi- bis hyperspektrale optische Systeme mit Abstand die besten Ergebnisse. Ein Schwerpunkt der fernerkundlichen Grundlagenforschung befasst sich heute mit Fragen der Normalisierung der Fernerkundungsdaten einschließlich der Korrektur von atmosphärischen, topographischen, Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung abhängigen Effekten hin zum „physikalischen Messwert“. Erst dieser erlaubt die Erstellung eines übertragbaren „Fingerabdrucks“ oder „Profils“ der gesuchten Landbedeckungsklassen.

Fernerkundung ist immer bloß die Interpretation einer Abbildung der Realität. Die thematische Auflösung eines vor Ort kartierenden Fachmannes kann daher nie erreicht werden. Im Gegenzug ist der Fachmann nicht in der Lage, die Grenzen der kartierten Einheiten so genau zu erfassen, wie dies der Fernerkundung möglich ist. Speziell für Monitoring-Aufgaben wird daher ein kombiniertes Verfahren vorgeschlagen: die Basisinventur sollte über „Vor Ort Kartierung“ unter Einbindung von „a priori“ Information aus Fernerkundungsdaten erhoben werden. Ein Monitoring in verkürzten Intervallen von zwei bis fünf Jahren sollte über FE Daten erfolgen. Bei Auftreten von Verdachtsmomenten können diese Flächen terrestrisch überprüft werden.

Zumindest für Forschungs- und Entwicklung von Expertensystemen im naturschutzfachlichen Umfeld der lokalen Maßstabebene, denen sich der Workshop gewidmet hat, sind multi- bis hyperspektrale Systeme mit geometrischen Auflösungen im Meterbereich gefordert. Hochwertige Systeme, die in der Lage sind, die gewünschten Informationen zu liefern, sind allerdings teuer. Zur Kostensenkung wird eine fachübergreifende Mehrfachnutzung hochwertiger Datensätzen in integralen Ansätzen vorgeschlagen. Modular wird für jedes Landschaftselement ein eigenes Expertensystem entwickelt, das über die Verknüpfung von Wachstums- mit Reflexionsmodellen die bestmögliche Zustandsbeschreibung erlaubt und darüber hinaus die Entwicklung von Szenarien ermöglicht. Die Ergebnisse der einzelnen Module werden dann zu Aussagen auf Landschaftsebene zusammengeführt.

1. Einleitung

Fernerkundung – laut klassischer Definition ist das eine **„Methode um Informationen über Objekte abzuleiten ohne mit diesen in direktem Kontakt zu stehen“**. Viele Praktiker assoziieren mit dem Begriff Fernerkundung (FE) bis heute immer noch den Begriff „Luftbild“. Dabei ist das analoge Luftbild herkömmlicher Art heute nur noch auf der lokalen fachlichen Ebene im Einsatz. Bei regionalen bis globalen Fragestellungen und in der Wissenschaft ist das Luftbild seit vielen Jahren bereits durch digitale FE-Systeme abgelöst. Dieser Trend setzt sich zunehmend auch auf der lokalen Maßstabebene durch.

Dem Fernerkundler muss allerdings klar sein, dass der thematisch arbeitende Fachmann Erhebungsmethoden anwendet, die im jeweiligen fachlichen Umfeld etabliert und allgemein akzeptiert sind. Die FE, soweit sie überhaupt eine Rolle spielt, ist eine unter mehreren Informationsquellen. Am häufigsten wird das Luftbild genutzt und zwar zur einfachen Orientierung im Gelände, sowie als Kartiergrundlage ähnlich einer Kartengrundlage. Bevor Bewährtes durch neue Methoden ersetzt wird, müssen gute Gründe dafür vorliegen. Mit den Entwicklungen der letzten Jahre, sowohl auf dem Sensor- als auch auf dem Softwaresektor, sind wir der Meinung, dass die FE heute in der Lage ist Alternativen anzubieten, die den Praxisansprüchen genügen. Hinzu kommt, dass die knappen Mittel der Öffentlichen Hand und die zunehmenden Verpflichtungen nationaler und internationaler Abkommen und Richtlinien auch die Verwaltungen zwingen, über neue Wege nachzudenken.

Bevor näher auf die heutigen Entwicklungen der Fernerkundung und auf die speziellen Anforderungen der lokalen Maßstabebene eingegangen wird, soll erstmal aus der Sicht des Fernerkunders hinterfragt werden, was die Praxis von der FE erwartet:

- die Fernerkundung soll Bereiche erfassen, die schwer zugänglich sind
- soll schnelle Übersicht schaffen
- soll quantitative Aussagen treffen
- soll Dokumentation, bildliche Darstellung der Aussagen ermöglichen
- etc.

¹⁾ Limnologische Station

²⁾ Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München

Impliziert wird, dass FE die Aufgaben löst, die ein im Gelände arbeitender Fachmann nicht oder nur schwer bewältigen kann. Erwartet werden vergleichbare Ergebnisse ohne die „subjektive“ Komponente des menschlichen Bearbeiters! D.h., es ist eine Erwartungshaltung da, die so nicht erfüllt werden kann. Wieso das so ist, liegt vor allem an dem hoch komplexen Prozess zwischen „Bild“ und „Information“. Auf den ersten Blick sind das alles „ja bloß bunte Bilder“. Bei den „Bunten“ sehen die Farben meist „künstlich“ aus, jedenfalls völlig anders, als in Natura oder auf dem Farbfoto. Es sind so genannte „Falschfarben“, die durch Belegung der Rot-, Grün-, Blau-Farbkanonen (RGB-Darstellung) der Braunschen Röhren unserer Computerbildschirme mit Signalen anderer Spektralbereiche entstehen. Erkennbar bleiben in jedem Fall Strukturen, wie z.B.:

- die Verteilung der Häuser in Ortschaften
- das Straßennetz
- das Entwässerungssystem
- Berge und Täler, Seen, Wälder und Äcker
- etc.,

alles Elemente, die so oder ähnlich auch in der Topographischen Karte zu sehen sind. Durch Analogieschlüsse sind wir sogar in der Lage, Entfernungen abzuschätzen. Wenn z.B. bekannt, dass München von Garmisch etwa 80 km entfernt ist, kann geschätzt werden, wo die Hälfte dieser Strecke liegt, etc..

Mit dem Wort „Analogieschluss“ nähern wir uns allmählich dem Kernanliegen thematischer, fernerkundlicher Auswertungen: Dem „Bildverstehen“, der Informationsextraktion aus „Bildern“ oder „digitalen Daten“. Dieses beruht auf völlig anderen Informationen, als die, die dem kartierenden Fachmann beim Geländebezug zur Verfügung stehen! KENNEWEG et al. (1991) beschreiben diesen Sachverhalt sehr anschaulich: Sowohl Aufnahmeeinheit, als auch Informationseinheit und Informationsart sind bei Geländeerhebung und fernerkundlicher Auswertung völlig unterschiedlich. Für den Forstfachmann etwa ist die **Aufnahmeeinheit** der Baum im Bestand, die **Informationseinheit** der Baum, bzw. Baumteile und die **Informationsart** sind die Originalsymptome wie Vergilbung, Nadelausfall, etc.. Im klassischen, visuell auszuwertenden Luftbild ist die Abbildung der zu beurteilenden Objekte vertraut. Sie sind vergleichbar

dem Blick aus der Ferne, etwa vom Gegenhang im Gebirge. Die Detailtreue wird zugunsten des synoptischen Blicks auf die Umgebung reduziert. So können einzelne Nadeln nicht mehr betrachtet werden, die Informationsart bleibt aber vergleichbar: es ist die Farbe, die Struktur der Einzelelemente. Ganz anders stellt sich die Situation im Falle digitaler Systeme dar. Digitale Satellitensysteme erfassen als **Aufnahmeeinheit** etwa ganze Großräume, im Falle von Flugzeuggestützten Systemen immerhin noch ganze Bestände, Vegetationseinheiten. Völlig unterschiedlich ist die **Informationseinheit** und die **Informationsart** digitaler Systeme. Informationseinheit ist das Pixel, also das pro Detektorelement integral abgebildete Rückstreusignal in dem entsprechenden Spektralbereich. Die Informationsart hingegen wird über die Intensität des pro Pixel und pro Wellenlängenbereich erfassten Rückstreusignals abgeleitet. Die in einem Pixel enthaltene Information ist bei erster Annäherung etwas ziemlich Abstraktes, dem Laien nicht direkt Zugängliches. Erst das Wissen über die Hintergründe erlaubt es aus einem Pixel fachliche Information zu extrahieren. Dem Fachpraktiker fehlt dieses spezielle Wissen in der Regel, dem „reinen“ Fernerkundler meist das fachliche Wissen um die Information richtig zu deuten. Notwendig ist ein „aufeinander Zugehen“.

Alle „Fernerkundler“, die Beiträge zu diesem Band liefern, haben eine fachliche Ausbildung als Naturwissenschaftler und befassen sich seit Jahren mit Umweltrelevanten Fragestellungen. In dem speziellen Dialog zwischen Fernerkundler und Praxis fühlen wir uns als Vermittler:

- Als Ökologen befassen wir uns mit den Prozessen. Physiologisch/phänologisch bedingten auf Objektebene, mit Vernetzungen, Strukturen, Stofftransportprozessen auf Landschaftsebene.
- Als Fernerkundler möchten wir den aktuellen Zustand so genau wie möglich beschreiben und versuchen dazu den „Fingerabdruck“ oder das „Profil“ der Objekte unseres Interesses in den FE-Daten zu finden. Wir sehen unsere Rolle darin, **reproduzierbare, objektive** Verfahren zur **automatisierten** Ableitung der benötigten Informationen aus FE-Daten zu entwickeln.

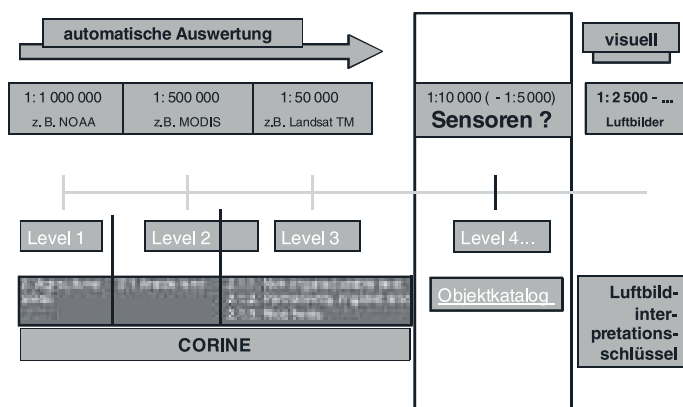
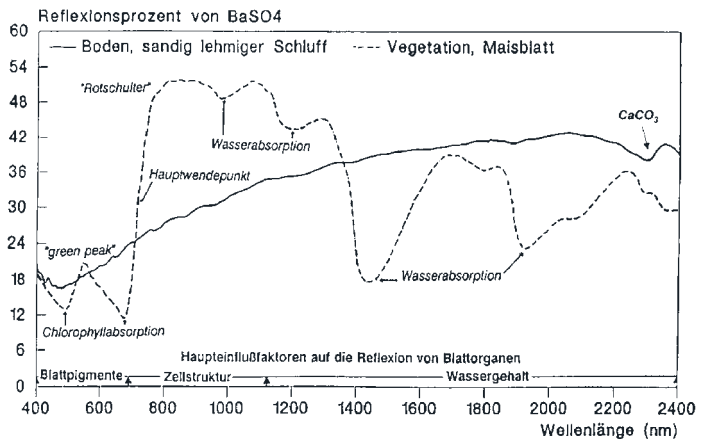


Abbildung 1
Maßstabsbereich der Untersuchungen im „lokalen“ Umfeld. Die „Automatisierung“ der Informationsextraktion auf dieser Maßstabsebene ist im Umweltbereich Neuland (MOTT et al., 2002)

Abbildung 2

Laborspektren (Spektralsignaturen) eines sandig lehmigen Schluffs und eines Maisblattes. Markiert sind Bereiche die Hinweise auf den Pigment- und Wassergehalt sowie auf die Zellstruktur erlauben sowie diagnostisch wichtige Absorptionszonen (nach SCHNEIDER, 1995)



Die Herausforderung der wir uns stellen ist, dass wir Lösungen im „lokalen“ Umfeld suchen! Es ist der Bereich zwischen regionaler Erhebung, die typischer Weise mit Systemen des Landsat Typs bei Bodenauflosungen zwischen 15 und 30 m erhoben werden, und der Ebene auf der lokale Maßnahmen umgesetzt werden, also 1:1000 und größer (Abb. 1). In dem angestrebten Maßstabbereich von ca. 1:5000 fällt jede Fehlklassifikation sofort auf. Damit die Methode auf dieser Ebene der lokalen Kontrolle akzeptiert wird, müssen die Ergebnisse mindestens gleiche Genauigkeit haben, die Kosten sollten aber geringer, bzw. der Nutzen höher sein. Die Beiträge dieses Bandes sollen einen Eindruck vermitteln, wie wir uns die Informationsextraktion aus FE-Daten vorstellen, welche Teilaspekte zu beachten sind und, als Ausblick, wo wir weiterhin Forschungsbedarf sehen.

2. Rahmenbedingungen Fernerkundung

2.1 „Signaturen“ die Informationsträger

Die quantitative FE versucht den „Fingerabdruck“ oder das „Profil“ der Objekte herauszuarbeiten, die fachlich von Interesse sind. Dazu gehören sowohl die typischen „Objektsignaturen“, als auch der räumliche Kontext in den ein Objekt eingebettet ist. Die Objektsignaturen sind mit allen Bildanalysepaketen analysierbar. Nachbarschaft, Topologie oder gar Kontextwissen ist erst seit Einführung der objektorientiert arbeitenden Bildanalysesoftware eCognition einer breiteren Anwenderschicht zugänglich. Für SCHNEIDER et al. (2000) stellen diese neuen Möglichkeiten einen Paradigmenwechsel in der Bearbeitung von Fernerkundungsdaten dar. Wie die Methode eCognition funktioniert und welche Ergebnisse damit erzielt werden können wird in den Aufsätzen von ANDRESEN et al. und MOTT et al. in diesem Band vorgestellt und soll daher an dieser Stelle nicht weiter behandelt werden.

Was versteht man aber unter „Signaturen“? Im herkömmlichen Sinne sind das „Unterschriften“, also Charakteristika, die Objekte eindeutig kennzeichnen. Ist man in der Lage die Signaturen zu „lesen“ können Oberflächen identifiziert und Rückschlüsse auf deren Zustand gezogen werden. Fünf Signaturtypen

sind bekannt, die grundsätzlich zur Ableitung thematischer Informationen aus FE-Daten geeignet sind: **spektrale, texturale, temporale, polarisations- und richtungsabhängige** Signaturen.

Der **spektralen Signatur** wird allgemein der höchste Informationsgehalt bezüglich der ableitbaren Objekteigenschaften zugerechnet. Die spektrale Signatur ist bis auf die unterste, auf die Zellebene bzw. noch tiefer, auf die atomare/molekulare Ebene, zurückzuführen. Auf dieser Ebene finden die Absorptions-, Transmissions-, und Mehrfachreflexionsvorgänge, aber auch die Emissionsvorgänge statt, welche die charakteristischen Spektralsignaturen von Objekten der Erdoberfläche bestimmen (Abb. 2). Hinzu kommt, dass sich die spektralen Signaturen durch alle fernerkundlich erfassbaren Skalenebenen durchpausen und auch auf allen Skalenebenen relevant sind. Dabei sind neben den abgedeckten Spektralbereichen auch die Anzahl der Spektralbänder und möglichst schmale Bandbreiten wichtig, um eine möglichst genaue Quantifizierung der abgeleiteten Merkmale zu erzielen. Abbildende Spektrometer (oder Hyperspektralsensoren) sind für die detaillierte Erfassung spektraler Signaturen ausgelegt. Eine Auflistung der momentan im Einsatz befindlichen Systeme dieser Bauart und deren Spezifikationen ist u.a. bei SCHAEPMANN (2003) über das Internet abrufbar.

Bezogen auf den landwirtschaftlichen Bereich, nennt GERSTL (1990) die **richtungsabhängigen Signaturen** als diejenigen mit dem möglicherweise höchsten Informationsgehalt. Richtungsabhängige Signaturen sind auf die Anisotropie der Rückstrahlung zurückzuführen und haben ihre Extreme in der spiegelnden und der diffusen Reflexion (Abb. 3). Bei Vegetationsoberflächen wird das Anisotropieverhalten von der Pflanzenarchitektur und Bestandesstruktur beeinflusst und überlagert die Spektralinformation. Sensoren mit on-track multidirektionaler Datenerfassung (MOMS-02, Spot5, ALOS, MISR, Chris/Proba) erlauben die Auswertung der Anisotropieinformation. Für die quantitative Analyse richtungsabhängiger Signaturen, aber auch für die Korrektur von Anisotropieeffekten spektraler Signaturen, ist allerdings ein Reflexionsmodell

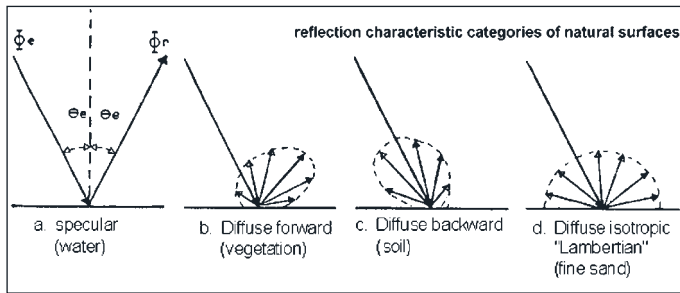


Abbildung 3
Reflexionscharakteristik natürlicher Oberflächen (SCHNEIDER et al., 1999)

der jeweiligen Oberfläche Voraussetzung (SCHNEIDER & MANAKOS, 2000).

Will man den Momentzustand der Landbedeckung im natürlichen oder naturnahen Umfeld erfassen, so ist eine hohe räumliche und auch spektrale Genauigkeit von Vorteil. Eine kombinierte Auswertung von **richtungsabhängigen, textuellen, temporalen und polarisations Signaturen** kann zusätzliche Hinweise liefern, mit deren Hilfe die Identifikation und Zustandsbeschreibung verbessert werden kann.

2.2 Das „passende“ Aufnahmesystem

Der Fachpraktiker fordert immer höhere „Auflösung“ und meint damit, dass immer kleinere Details erkennbar sein sollen. Für den Fernerkundler ist damit die räumliche, oder „geometrische“ Auflösung gemeint, die ja lediglich einen der fernerkundlich relevanten Auflösungstypen darstellt. Der Sinn des Wunsches nach höherer geometrischer Auflösung ist aus Sicht des Praktikers einleuchtend: mit zunehmender räumlicher Auflösung sehen die Bildprodukte einem klassischen Luftbild immer ähnlicher. Der Praktiker kann das „Bild“ verstehen und wie ein Luftbild visuell, d.h. qualitativ auswerten.

Der FE-Fachmann ist mit digitalen Daten in der Lage quantitativ zu arbeiten. Die pro Pixel erfassten Strahlungsäquivalenten Signale sind Messwerte anhand derer Objekte identifiziert und deren Zustand beurteilt werden kann. Die Frage, die sich dem Praktiker immer stellt ist die, wie das gewünschte Ergeb-

nis mit möglichst geringem Aufwand erzielt werden kann. Diese Frage hängt primär mit dem von der Aufgabenstellung geforderten Aufnahmesystem zweitens aber auch mit der gewählten Auswertemethode zusammen.

Hilfestellung bei der Entscheidung für das passende System gibt die „Checkliste Sensor“ in Tabelle 1, welche eine Reihe von Entscheidungs-Kriterien auflistet und die Alternativen anreißt. Ausgehend von der avisierten Anwendung für Inventur und Monitoring im **lokalen, natürlichen bis naturnahen** Umfeld soll anhand dieser Liste aus der Vielzahl vorhandener Systeme zur Erdbeobachtung eine Auswahl der in Frage kommenden Systeme getroffen werden.

Ein FE-Sensor „sammelt“ sehr vereinfacht ausgedrückt, Photonen. Ob das aus dem Weltraum oder aus der Luft geschieht, spielt prinzipiell erstmal keine Rolle. Im Falle der photo-chemischen Methode des klassischen Luftbildes werden die Photonen, bildlich gesprochen, grob „gewogen“. Die photo-voltische Strahllichtmessung erlaubt es Photonen zu zählen. An diesem Punkt setzt die digitale FE an: sie ermöglicht es, die Reflexion/Emission der Objekte zu „messen“ und damit zu quantifizieren! Darüber hinaus lassen sich die Ergebnisse digital abspeichern und in vorhandene Konzepte, etwa Fachinformationssysteme (FIS) integrieren.

Eine Schlüsselstellung zum Verständnis der Zusammenhänge spielt das Kriterium „Auflösung“. Die

Plattform Position:	<ul style="list-style-type: none"> • Flugzeug (Luft) • Satellit (Weltraum)
Signal Erfassung:	<ul style="list-style-type: none"> • foto-chemisch ➔ analoge FE <ul style="list-style-type: none"> • Fotografie: SW, Farb-, CIR • foto-voltisch ➔ digitale FE <ul style="list-style-type: none"> • aktive: Radar, Laser, Sonar • passive: Video, Scanner, Digitalfotografie
Spektralbereich:	<ul style="list-style-type: none"> • optisch: (400 - 2500 nm) • thermal: (3,5 - 6 μm, 9 - 13 μm) • Mikrowellen (Radar): (0,0001 - 1 m)
Auflösung:	<ul style="list-style-type: none"> • geometrische • spektrale • radiometrische • zeitliche (temporale)
Andere:	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten !!!! • Integrierbarkeit in vorhandene Konzepte (GIS) • etc.

Tabelle 1
Kriterien zur Auswahl des adäquaten Systems bei gegebener Fragestellung „Checkliste Sensor“

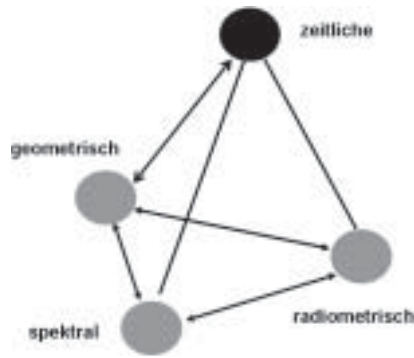


Abbildung 4
Tetrapode der Sensor-Kriterien „Auflösung“

Verbesserung der Leistungsmerkmale eines FE-Systems wird über die Optimierung der „technischen“ Parameter geometrische, spektrale und radiometrische Auflösung erreicht. Jede Änderung eines „technischen“ Parameters (spektral, geometrisch, radiometrisch) hat Einfluss auf die beiden anderen (Abb. 4). Das technisch Machbare im Bereich Detektorempfindlichkeit, also die Fähigkeit Photonen zu zählen (radiometrische Auflösung), gibt hier den Takt vor. Die Verbesserung der geometrischen Auflösung von 20 m auf 10 m führt zu einer Reduktion der theoretisch erfassbaren Photonen auf 25% (Wurzelfunktion, Pixelgröße wird zwar über die Kantenlänge definiert, die Wirkung bezieht sich aber auf die Fläche!), die Halbierung der spektralen Bandweite um 50% (lineare Beziehung). Lediglich Silizium-Detektoren sind derzeit empfindlich genug, um den Submeter-Bereich von einer Weltraum-Plattform aus zu erreichen. Die geometrisch „sehr hoch auflösenden“ Weltraumgestützten Systeme Ikonos (Space Imaging Caterra, 1999), Quick Bird (2001) müssen sich aus diesem Grund auf den sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich beschränken. Abbildende Spektrometer, die dem Anwender einen optimalen Zugriff auf die Eigenschaften der Objekte der Erdoberfläche bieten, sind mit der für lokale Anwendungen geforderten geometrischen Auflösung im Meterbereich derzeit lediglich als Flugzeugsensoren verfügbar. „Günstige“ Systeme, wie AVIS (GTCO), CASI-1, oder spektral sehr hoch auflösende Systeme, wie ROSIS (DLR), arbeiten ebenfalls nur im Silizium Bereich von ca. 400-1000 nm. Systeme, die den kurzwelligen Infrarotbereich abdecken (HyMap, CASI-2), oder sogar in das thermale Infrarot Daten erfassen können (AVIRIS, ARES), sind technisch wesentlich anspruchsvoller, da die Detektoren stabil gekühlt werden müssen.

Die zeitliche Auflösung ist prinzipiell eine reine Kostensache. Bei Flugzeuergfassung müsste häufiger geflogen werden, bei Satellitensystemen würden mehrere, baugleiche Systeme eine deutliche Verbesserung der Datenerfassungswahrscheinlichkeit mit sich bringen. Das Rapid Eye Konzept, das letztere Variante vorsieht, und vor allem die Landwirtschaft mit Daten versorgen möchte, ist leider bis heute nicht

realisiert. Von praktischem Interesse, da mit Auswirkungen auf die notwendigen Vorverarbeitungsschritte, ist auch die Beziehung zwischen geometrischer und zeitlicher Auflösung. Mit zunehmender geometrischer Auflösung werden die Bodenstreifen schmäler. Von 180 km bei Landsat TM/ETM+ auf 11 km bei Ikonos. Die gewünschten Bahnparameter, polar, um die gesamte Erde abzudecken, sonnensynchron, d.h. immer zur gleichen Uhrzeit, um vergleichbare Aufnahmebedingungen zu haben, geben den Takt für die Umrundungszeiten vor (ca. 90 min bei einer Bahnhöhe von ca. 750 km). Bei diesen Vorgaben überfliegt der Landsat Sensor das gleiche Objekt im 16 Tage-Rhythmus, bei Ikonos würde das ca. 240 Tage dauern. Die von der Betreiberfirma angegebene Wiederholfrequenz wird nur dadurch erreicht, dass das System um +/- 40° geneigt werden kann und durch diesen Schrägblick den Aufnahmebereich auf ca. 600 km rechts und links der projizierten Bahnspur ausweiten kann. Die Folgen sind allerdings vergleichbar dem Weitwinkelleffekt bei Flugzeugsensoren: unterschiedliche Beleuchtungssituationen je nach Blickwinkel sowie geometrische „Verzeichnungen“ aufgrund der Topographie.

Die derzeitigen Grenzwerte der „Auflösung“ ziviler Systeme liegen bei:

- spektrale (Bandbreite, -anzahl):
 10nm, über 200 Bänder von 400 bis 2500
 und von 8000 bis 13000 nm
 (Rosis, AVIRIS, HyMap, ARES)
- geometrisch (räumliche A):
 0,05m (HRSC AX)
- radiometrisch (Dynamikbereich Detektor):
 16 BIT entsprechend 64536 Grauwerte
- zeitlich (Aufnahmewiederholung):
 2-3 Tage aus dem Weltraum
 (Ikonos, Quick Bird)

Für den avisierten Anwendungsbereich im lokalen, natürlichen bis naturnahen Umfeld sind Systeme gefragt, die diesen Grenzwerten möglichst nahe kommen. Das in Kapitel 3 vorgestellte Gesamtkonzept sowie die in diesem Band vorgestellten Untersuchungen beruhen auf weltraumerfassten Daten des Ikonos-Typs (AQUATIC Vorhaben) sowie auf hyperspektrale Flugzeugdaten der Systeme DAIS, ROSIS und HyMap (HTO Vorhaben).

2.3 Notwendigkeit der „Normalisierung“

Die Zielsetzung von Objektivität und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse führt zur Notwendigkeit der Eichung der vom Sensor erfassten relativen Signale. Erst durch diese „Normalisierung“ werden die Daten zu „physikalischen Messwerten“. Die Faktoren, die das FE-Signal verändern und berücksichtigt werden müssen, lassen sich grob in drei Gruppen einteilen:

- Sensor spezifische (Detektorkalibrierung, Objektivverzeichnungen)
- Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel abhängige Einflüsse (Anisotropieeffekte)

- Atmosphärische und topographische Einflüsse, im Falle der Gewässerfernerkundung zusätzlich Einflüsse durch die Wassersäule und die Wasseroberfläche

Die kombinierte topographisch- und atmosphärische Korrektur von Fernerkundungsdaten ist der entscheidende Schritt zu den geforderten „physikalischen Messwerten“ (ATCOR 4, Richter & Schläpfer, 2002) (in naher Zukunft unter Berücksichtigung von Blickwinkelwirkungen). Neuralgische Punkte in diesem Umfeld sind (i) das Fehlen hochgenauer, aktueller Oberflächenmodelle für die Korrektur Topographie bedingter Einflüsse sowie (ii) ausreichende Information über die Atmosphäre während der Aufnahmen.

- Die simultane Befliegung mit hyperspektralen Systemen, zur Ableitung der spektralen Signaturen, und photogrammetrischen Systemen, zur Berechnung eines hochgenauen, aktuellen Oberflächenmodells, ist die Methode der Wahl. Dieser Lösungsansatz ist allerdings sehr kostspielig. Im Rahmen des HTO Vorhabens (2001) ist eine gemeinsame Befliegung von HyMap und HRSC erfolgt, die zu diesem Zeitpunkt allerdings noch nicht ausgewertet ist.
- Während einer Sensorbefliegung werden zeitgleich Spektrometermessungen am Boden durchgeführt. Durch den Vergleich von Boden- und Flugzeugerfassten Daten kann für jeden Wellenlängenbereich die Transmission der Atmosphäre bei der Normalisierung berücksichtigt werden.

Die zu „physikalischen Messwerten“ korrigierten Daten sind der Input für die Berechnung von abgeleiteten Parametern. Diese werden direkt für die Initialisierung von Modellen, etwa so genannter „Soil, Vegetation, Atmosphere Transfer“ (SVAT) Modelle zum Stofftransport, zur Klimaforschung und vielem mehr genutzt.

Diese Modelle simulieren die Wechselwirkungen zwischen EM-Strahlung und dem Objekt der Erdoberfläche und dienen u.a. der Ableitung von phänologisch/physiologischen Merkmalen, wie sie für die Parametrisierung von Wachstums- und Ertragsmodellen benötigt werden. Kurz angerissen wird dieser Punkt in Kapitel 2.5, der Einsatz der FE im „precision farming“ Konzept.

Das Erreichen der Zielsetzung der Normalisierung von FE-Daten zu „physikalische Messwerte“ möchte ich als „Hausaufgabe der Fernerkundung“ bezeichnen. Die Korrektur von Anisotropieeffekten hat bis heute den Status der Grundlagenforschung nicht verlassen. An dieser Stelle soll daher nicht vertiefend darauf eingegangen werden. Einen Einblick in die Komplexität solcher „Normalisierungen“ geben die Aufsätze von GEGER et al. (2004), und HEEGE et al. (2004) in diesem Band für den Bereich der Gewässerfernerkundung.

2.4 Automatisierung der Auswertungen

In der Auswertung führt die Forderung nach immer besserer Auflösung unweigerlich zur Konfrontation mit dem **Prinzip der Inkompatibilität von „Genauigkeit“ und „Komplexität“** (precision and complexity), das ZADEH (1973) wie folgt beschreibt: *„as the complexity of a system increases, the ability to make precise and yet significant statements about its behaviour diminishes...“*

In der fernerkundlichen Praxis bedeutet das nichts weiter als dass mit zunehmender „Auflösung“, – wobei nicht nur die räumliche sondern auch die spektrale, radiometrische, zeitliche und nicht zuletzt die thematische Auflösung gemeint sind – die Automatisierung der Auswertungen schwieriger wird, da die Komplexität der Daten vielfach zunimmt. Dies bedeutet auch, dass sich die Merkmalsräume der gesuchten Klassen immer mehr überlagern (KENNEWEG et al., 1991). Anschaulich kann dieses Verhalten anhand der zunehmenden geometrischen Auflösung dargestellt werden (Abb. 5). Das Landsat TM Pixel mit 30 m (weiße, äußere Markierung) ist eindeutig als „Waldpixel“ zu klassifizieren. Mit zunehmender Auflösung „zerfällt“ das Objekt in Pixel mit unterschiedlichen Bedeutungen: Krone Sonnenbeschienen, Krone im Schatten, Schatten am Boden, Vegetation, Fels, nackter Boden, sämtliche Übergänge. In der FE spricht man von einer spektralen Dekorrelation mit der Folge steigender Varianz der Grauwerte innerhalb von „nutzedefiniert sinnvollen“ Objekten, in diesem Fall des „Objektes“ Wald. Dieses „Übergangsphänomen“ ist mit der Fraktaltheorie von MANDELBROT (1983) gut zu beschreiben. Ist Pixel- und

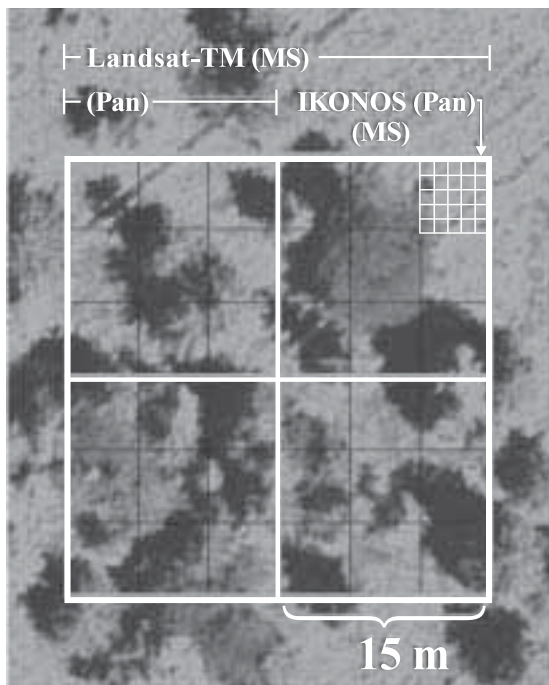
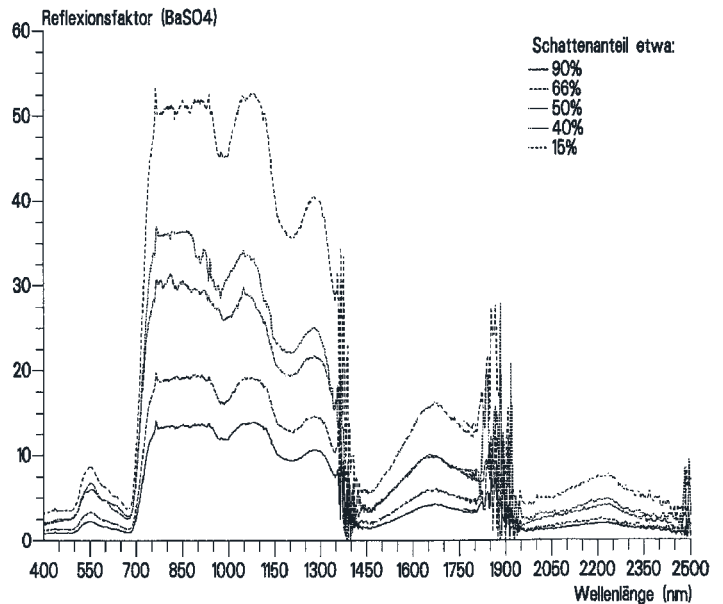


Abbildung 5

Mit zunehmender geometrischer Auflösung „zerfällt“ das Landsat TM „Waldpixel“ (weiß) in „Unterobjekte“. Eine traditionelle, Pixelgestützte Klassifikation des Waldes ist nicht mehr möglich

Abbildung 6

Einfluss des Schattens auf die Reflexionsintensität (Reflexionsfaktor in Prozent), gemessen mittels eines GER SIRIS Feldspektroradiometers über einer Fichtenkronen des Högelwald Altbestandes



(Unter-)Objektgröße deutlich unterschiedlich ist eine Unterscheidung möglich. Schwierig wird es im Bereich der Fraktalsprünge, d.h. wenn Pixel und Objekt ähnlich groß sind. Wie Fehlert das 1984 theoretisch und KENNEWEG et al. 1991, praktisch nachgewiesen haben, erfolgt bei Wald der „Sprung“ der fraktalen Dimension bei ca. 4 - 6 m! Dieses bedeutet u.a., dass die räumliche Auflösung des Systems an die Größe der gesuchten Objekte angelehnt sein muss, damit die charakteristischen Merkmale erkannt werden können.

Der Einfluss des Schattens, der spektral neutral ist (SCHNEIDER, 1995), d.h. das Verhältnis der Intensitäten über den Wellenlängenbereich nicht verändert, ist in Abb. 6 zu sehen. Übertragen in Grauwerte, etwa für das nahe Infrarot bei 860 nm (Reflexionsfaktor 0% gleich Grauwert 0, Reflexionsfaktor 60% gleich Grauwert 255) würde das Histogramm, das ja als Entscheidungsgrundlage für die Klassenzuordnung dient, eine Verteilung über nahezu $\frac{2}{3}$ des gesamten Merkmalsbereichs allein für diesen Baum aufzeigen.

2.5 Informationsextraktion

Das in den vorigen Abschnitten beschriebene Dilemma der zunehmenden „Auflösung“ betrifft natürlich auch und vor allem die Ansätze zur Übertragung „konventioneller“, auf der visuellen Interpretation beruhender Konzepte, auf „automatisierbare“, auf digitale FE-Daten gestützte Methoden. Als Lösungsansatz wird die Absicherung der Ergebnisse durch vorhandene Informationen mit Methoden der „**Wissensbasierten Bildanalyse**“ vorgeschlagen. Komponenten einer „Wissensbasierten Bildanalyse“ im Umweltbereich haben Buck et al., (2001) als eine Kombination aus vorhandener Wissensbasis, bestehend aus theoretischem und praktischem Wissen von Experten und Praktikern, in Datenbanken gespeicherten GIS Daten und aktuellen Fernerkundungsdaten beschrie-

ben, die über die Schnittstelle einer so genannte „Inferenzmaschine“ in ein computergestütztes Entscheidungssystem integriert werden (Abb. 7). Bei gekonnter Umsetzung werden die Abläufe, die im Kopfe eines Fachmanns ablaufen, wenn er eine Entscheidung trifft, nachvollzogen.

Ein Beispiel, wie so ein Expertensystem für die Teilschlagbewirtschaftung („precision farming“ PF) in der Landwirtschaft aussehen könnte, ist in Abb. 8 skizziert. Das im Rahmen des DFG Gruppenvorhabens IKB Dürnast (AUERNHAMMER et al., 1999) konzipierte Expertensystem „PF“ besteht aus einem Entwicklungsmodul („laboratory loop“) und einem Anwendungsmodul („operational application chain“). Die Entscheidungsfindung beruht auf der Verknüpfung von Reflexions- und Wachstumsmodellen. Diese erfolgt über Messungen im Tagesgang und über die Vegetationsperiode („laboratory loop“) bei bekannten Düngegaben und Witterungsverlauf:

- Der Beobachtungs- und Beleuchtungsabhängigkeit des Oberflächentyps durch Reflexionsmessungen nach dem Goniometerprinzip ➔ Reflexionsmodell
- Der Bestandesparameter durch photogrammetrische Messungen der Blattflächenausrichtung, der spiegelnden, der beschatteten Blattanteile, des Bodens, etc. ergänzt durch destruktive Messungen der Biomasse (feucht/trocken), des Chl-Gehalts, etc. ➔ Wachstumsmodell

Da Wachstums- und Reflexionsmodell anhand des gleichen „Objektes“ entwickelt wurden, kann eine optimale Anpassung erfolgen. Durch Inversion des Reflexionsmodells lassen sich dann die Bestandsparameter mit hoher Korrelationswahrscheinlichkeit bestimmen.

Im „operational application chain“ wird anhand der Wachstumsmodelle eine Schätzung der Bestandsentwicklung vorgenommen. Durch Inversion der FE-Daten wird diese Schätzung überprüft und bei Bedarf angepasst (erwartete Reflexion/tatsächlich

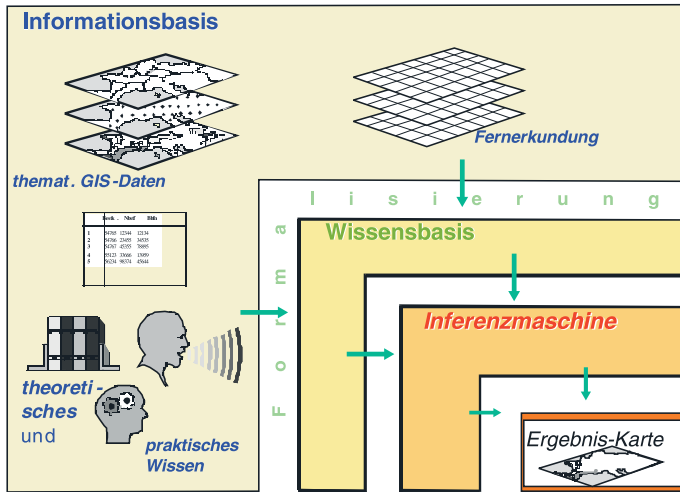


Abbildung 7
 Wissens-, Informations- und Datenfluss in einem Expertensystem zur Bewertung bis Entscheidungsfindung (Buck et al., 2001)

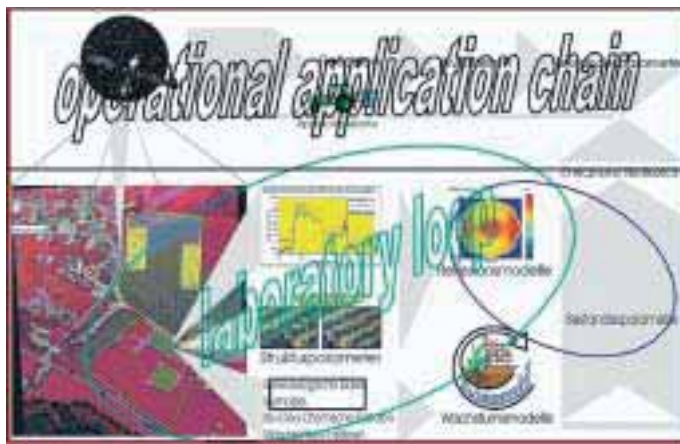


Abbildung 8
 Ablaufschema bei der Entwicklung und Anwendung eines Expertensystems im „Precision Farming“ Umfeld. Die Steuerung erfolgt über Wachstumsmodelle, die mittels FE parametrisiert und dem jeweiligen Entwicklungsstand bei gelungener FE Aufnahme angepasst werden („operational application chain“, oben). Die Entwicklung der Regelwerke hierzu erfolgt durch Geländemessungen („laboratory loop“, unten) bei denen Reflexions- und Wachstumsmodelle geeicht werden. (SCHNEIDER & MANAKOS, 2003)

beobachtete Reflexion). Danach wird die zu applizierende Dünge- oder Spritzmenge bestimmt und die Applikationskarte für den Bordcomputer erstellt. Da FE-Daten optischer Systeme vom Bewölkungsgrad abhängen, wird zwischen der Anpassung des Wachstumsmodells und der Erstellung der Applikationskarte in der Regel eine zeitliche Lücke liegen. Eine Feinabstimmung, die die aktuelle Situation berücksichtigt, soll über einen „real-time“ Sensor erfolgen. Das Signal des „real-time“ Sensors wird wiederum über das Reflexionsmodell „normalisiert“.

PF stellt die zurzeit wohl höchsten Ansprüche an solche Expertensysteme. Identifikation ist kein Thema. Sowohl die Feldfrucht als auch der Standort und die Historie des Schlages sind bestens bekannt. Erkannt werden muss der Zustand, und das möglichst genau. Ökologische aber auch ökonomische Erfolge hängen von der Entscheidung durch das Expertensystem ab. In der „real time“ Ausbaustufe muss die Entscheidungsfindung quasi zeitgleich mit der Ausbringung des Düngers oder Pflanzenschutzmittels erfolgen. Im naturnahen (z.B. Vertragsnaturschutz) bis natürlichen Umfeld (Biotope) sowie auch im Forstbereich ist der Zeitfaktor weniger kritisch. In diesen Bereichen muss die Information nicht in direkt umzusetzende Maßnahmen einfließen, ein jährlicher Abgleich mit den Modellvorhersagen erscheint ausreichend.

3. Konzept auf Landschaftsebene

Die von nationalen und EU Richtlinien, Verpflichtungen etc. den Gemeinden und Kommunen aufgebürdeten Berichtspflichten auf der einen Seite, die Überprüfung der letztendlich vom Steuerzahler finanzierten Subventionen im Agrar- und Umweltbereich auf der anderen Seite – Beispiele für beide Fälle sind von Ammer, Arzet und Rintelen in den vorausgehenden Beiträgen dieses Bandes vorgestellt worden – machen deutlich, dass die gesamte Landschaft mit allen Komponenten in regelmäßigen Abständen inventarisiert bzw. überwacht werden muss. Es geht dabei um regelmäßige, genau definierte Informationserhebungen, um Monitoring. Dabei soll in der Regel nur festgestellt werden, ob sich etwas geändert hat. Diese Information über Geländebegehungen zu erheben ist zu zeitaufwändig und dadurch zu teuer und letztendlich subjektiv. Selten wird derselbe Fachmann zur Verfügung stehen und fast nie wird der gleiche Zustand vorliegen. Auf der anderen Seite ist Fernerkundung immer bloß die Interpretation einer Abbildung der Realität. Die thematische Auflösung eines vor Ort kartierenden Fachmannes kann daher nie erreicht werden. Im Gegenzug ist der Fachmann nicht in der Lage, die Grenzen der kartierten Einheiten so genau zu erfassen, wie dies der Fernerkundung möglich ist.

Speziell für Monitoring-Aufgaben wird daher ein kombiniertes Verfahren vorgeschlagen: die Basisinventur sollte über „Vor-Ort-Kartierung“ unter Einbindung von „a priori“ Information aus Fernerkundungsdaten erhoben werden. Ein Monitoring in verkürzten Intervallen sollte über FE-Daten erfolgen. Ergibt die Auswertung der FE-Daten Verdachtsmomente auf potentielle Verschlechterungen im naturschutzfachlichen Sinn, so können betroffene Flächen gezielt terrestrisch überprüft werden. Auf diese Weise lässt sich der Einsatz des Vor-Ort-Kartierens auf ein Minimum reduzieren.

Um ein derartiges Konzept umsetzen zu können, müssen allerdings erst einmal die Wirkungskreisläufe auf den verschiedenen Maßstabebenen verstanden und Computergerecht modelliert werden. Dieses geht nur in interdisziplinärer Zusammenarbeit. In der Test- und Entwicklungsphase schlagen wir ein „geschlossenes System“ vor. In einem ersten Ansatz betrachten wir das Einzugsgebiet eines Sees als „geschlossenes System“ im Sinne der ökologischen Forschung. Auf dieser Ebene können sowohl die Einzelkomponenten als auch das Gesamtsystem untersucht werden.

Eine Auswahl der Prozesse, die verstanden werden müssen sind:

- Wachstums- und Reflexionsmodelle der Einzelkomponenten
- Wechselbeziehungen zwischen den Komponenten auf Einzugsgebietsebene
- zeitliche Dynamik der Prozesse

Zur Umsetzung dieses Konzepts benötigt man Expertenwissen:

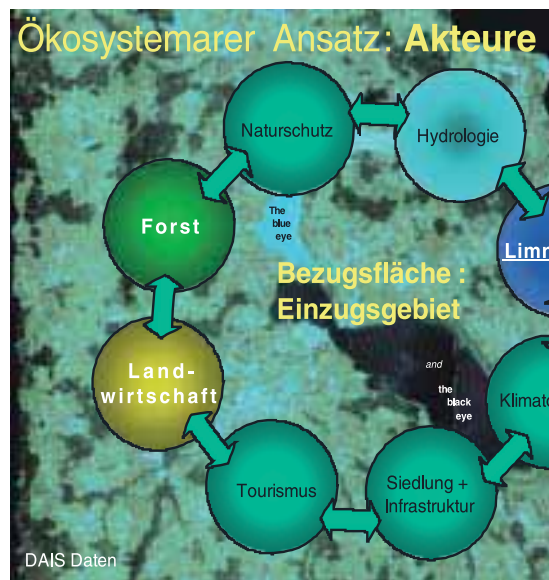


Abbildung 9

Schema des avisierten interdisziplinären Ansatzes in einem „geschlossenen“ System im Einzugsgebiet des Waging-Tachinger Sees. In weißem Fettdruck sind die momentan laufenden Untersuchungen dargestellt (nach: SCHNEIDER et al., 2003)

- phänologisch/physiologisches Wissen auf Ebene der Einzelkomponenten
- Wechselwirkung von Sonneneinstrahlung / Vegetation / Boden / Atmosphäre
- Bildanalyse
- Etc.

In Abb. 9 ist das Schema des avisierten interdisziplinären Ansatzes in einem „geschlossenen“ System am Beispiel der Einzugsgebiete der Waging-Tachinger Seen aufgezeigt. In weißem Fettdruck sind die momentan bearbeiteten Bereiche dargestellt (nach: SCHNEIDER et al., 2003). Die Aufsätze von Schmieder et al., Andresen et al., Mott et al., Gege et al., Heege et al., alle in diesem Band, sowie das vorgestellte Beispiel aus dem Teilschlagbereich vermitteln einen Eindruck über den Stand der Forschung bei der Bearbeitung der einzelnen Module. Die Beiträge von Hoffmann et al. und Klug et al. in diesem Band zeigen auf, wie die Beurteilungsschemata auf Einzugsgebietsebene funktionieren und worauf sie aufbauen.

4. Diskussion und Ausblick

Fernerkundung ist ein Indizienbeweisverfahren! Diese, den Studenten der Erstsemester vorgetragenen Schlagworte sollen darauf hinweisen, dass Fernerkundung immer bloß die Interpretation einer Abbildung der Realität ist. Die thematische Auflösung eines vor Ort kartierenden Fachmannes kann nie erreicht werden. Festsustellen ist allerdings auch, dass der kartierende Fachmann vor Ort heute ebenfalls an seine „Auflösungsgrenzen“ stößt: die eine oder andere Unterart lässt sich erst über gentechnische Bestimmungsmethoden einordnen. Generell müssen wir akzeptieren, dass jede Maßstabsebene spezifische Detailerkennungs-Schwellwerte besitzt. Der Versuch, diese zu verschieben, scheitert unweigerlich.

Sowohl der Ökologe als auch der Fernerkundler muss immer wieder feststellen, dass er die Ergebnisse nie so genau erzielen kann, wie er das gerne hätte. Der Mensch, vor allem der Wissenschaftler, ist immer bemüht eine möglichst gute Absicherung seiner Ergebnisse zu erreichen. Bekannt ist dieses Phänomen als Tendenz zur Überdefinition. Im operationellen Bereich der Auftragsabwicklung stehen Kosten/Nutzen-Aspekte im Vordergrund. Hier lautet das Motto „so viel wie nötig, so wenig wie möglich“. D.h., der Wissenschaftler versucht sein Ergebnis bis auf die letzte Nachkommastelle abzusichern, der Praktiker hingegen mit möglichst geringem Aufwand den bestmöglichen Ertrag zu erzielen. Im wissenschaftlichen Umfeld ist der Bearbeiter sein strengster Kontrolleur. In der Praxis ist es notwendig die abgelieferten Produkte zu kontrollieren. Dem Fachmann, der gutachterlich eine Karte nach Kartierschlüssel erstellt, die bestenfalls mit ausführlicher Dokumentation der einzelnen Aufnahmepunkte abgegeben wird, vertraut man notgedrungen. Dabei ist der Geländekartierer unter Zeitdruck (Kosten!) und von den momentanen Verhält-

nissen (Ausprägung) der zu erfassenden Fläche abhängig (zumindest die quantitative Artenzusammensetzung wird z.B. im trockenen Sommer 2003 deutlich anders aussehen). Er wird auch nicht alle Grenzen ablaufen können, allein schon um das Biotop, das er erfassen soll nicht zu zertrampeln. Die Ergebnisse von FE-Auswertungen können – anders als bei Geländebegangsdaten, die praktisch Unikate darstellen – nicht nur sofort überprüft sondern auch zu einem späteren Zeitpunkt unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse nochmals ausgewertet werden (Dokumentation).

Die Bestrebungen im Geobereich gehen dahin, Expertensysteme zu entwickeln, die es erlauben FE-Daten unter Einbeziehung bereits vorhandener Geodaten sowie von praktischem und theoretischem Wissen auszuwerten. Die Ergebnisse sollen dadurch abgesichert und der Informationsextraktionsvorgang nachvollziehbar und jederzeit reproduzierbar gestaltet werden. Die Zusammenarbeit von Ökologen und Fernerkundler hat das Ziel, aus FE-Daten die Merkmale abzuleiten, die der Ökologe zur fachlichen Bewertung, bzw. – in einer fortgeschrittenen Integrationsstufe – zur Initialisierung seiner Modelle benötigt. In unserem Ansatz stammen die Indizien oder „stützenden Informationen“ aus vorhandenen Geodaten, das Konzept beruht auf theoretischem und praktischem Wissen. Im Idealfall trägt die FE bloß durch Bestätigung oder Ablehnung der Hypothese zur Validierung des Ergebnisses bei. Dieses wiederum ist sofort und eindeutig überprüfbar.

Als Wissenschaftler, Ökologe und/oder Fernerkundler, arbeiten wir wertneutral. Erst der Land- oder Forstwirtschaft, Naturschützer, Kommunalpolitiker, etc. verfolgt konkrete Ziele, deren Erfüllung mit Maßnahmen sichergestellt werden müssen. Erst die Umsetzung dieser Maßnahmen erfordert Planung. Wir bieten die Grundlage dafür. In dem lokalen Maßstabsbereich unserer Untersuchungen sind wir der direkten Kontrolle durch den Endnutzer ausgesetzt. Jeder der betroffenen Akteure kann überprüfen was wir erreicht haben. Er kann uns an den Pranger stellen oder aber anhand einer nüchternen Kosten/Nutzen Analyse feststellen, ob sich die Angelegenheit für ihn rechnet. Es ist wie in der Medizin: der Schritt von der Diagnose durch den Hausarzt zur Gerätemedizin. Oft ist dieser Schritt nicht notwendig, in einigen Fällen aber Leben rettend und für das Erkennen von systematischen Zusammenhängen, etwa von Umwelteinflüssen und Krankheitsbild schlicht unerlässlich. Vergleichbar ist die Folge zunehmender „Auflösung“ auch in der FE: ein Anstieg der Kosten!

Das für Monitoring-Aufgaben vorgeschlagene kombinierte Verfahren mit einer Basisinventur über „Vor-Ort-Kartierung“ unter Einbindung von „a priori“ Information aus Fernerkundungsdaten spart Kosten und verknüpft die Erfahrung des thematisch arbeitenden Fachmanns und des Fernerkundlers bereits in der Planungsphase. Ein „reduzierter“ Monitoringzyklus in

Intervallen von ein, zwei bis fünf Jahren, eingeschaltet zwischen den vorgeschriebenen „großen“ Aktualisierungszyklen, soll über FE Daten erfolgen. Bei Auftreten von Verdachtsmomenten können die „verdächtigen“ Flächen ja jederzeit terrestrisch überprüft werden. Das Verfahren hat sich in dem seit Jahren zur Kontrolle der subventionierten Ackerflächen durchgeführten MARS Programm der EU bestens bewährt. Die zeitliche Staffelung wird durch die Fragestellung und die geforderten Aktualisierungszyklen vorgegeben. In einem Vorschlag von SCHNEIDER et al. (2003) wird dieser Gedanken sogar dahingehend ausgeweitet, dass in geeigneten Fällen das Monitoring sogar auf einzelne sensible Landschaftselemente, in diesem Falle Seen, reduziert werden kann. Die Seen dienen in dem Szenario als Indikatoren für den Zustand des gesamten Einzugsgebietes. Über FE gestützte Verfahren, wie sie in den Beiträgen von GEGE et al. und HEEGE et al. in diesem Band vorgestellt werden, wird eine Art Bioindikation durchgeführt. Stofftransportmodelle, wie von HOFFMANN et al., in diesem Band vorgestellt, erlauben es festgestellte Veränderungen in das Einzugsgebiet bis zum Verursacher zurück zu verfolgen.

Die Frage, welche Systeme für die Bereitstellung der fachlichen Information letztendlich benötigt werden, kann hier und heute nicht abschließend beantwortet werden. Wie komplex die Kriterien zur Auswahl des geeigneten Systems sind, ist in den vorangegangenen Kapiteln angesprochen worden. Die harten Randbedingungen werden in der Praxis in dem Spannungsfeld zwischen Abgabepflicht und verfügbarem Kostenrahmen austariert werden. Aktive Systeme, wie Mikrowellen (Radar), mit dem Vorteil Bewölkungs- und Tageszeit unabhängig zu sein, oder Laserscan an Land und Sonar im Wasserkörper, lassen im ersten Ansatz lediglich die Ableitung von Strukturinformationen zu. Damit können zwar hervorragende Gelände-, Oberflächen- oder Tiefenmodelle erstellt werden, Identifikation und Zustandsbeschreibung sind aber nur sehr eingeschränkt möglich. Es ist aber nicht auszuschließen, dass die Kombination mit optischen Sensoren in Zukunft erfolgreich sein wird. Für die Forschungs- und Entwicklungsphase der Expertensysteme in dem naturschutzfachlichen Umfeld der lokalen Maßstabsebene sehen wir zu jetzigem Zeitpunkt die multi- bis hyperspektralen optischen Systeme mit geometrischen Auflösungen im Meterbereich als am besten geeignet an. Da die Verfügbarkeit eines aktuellen und hochgenauen DOMs für die Einpassung der Fernerkundungsdaten in und an die bereits vorhandenen Geodaten, eine unabdingbare Voraussetzung sind und darüber hinaus natürlich auch die Struktur fachlich interessiert, fordern wir die zeitgleiche Erfassung von Stereodaten mit drei bis fünfmal höherer geometrischer Auflösung. Im Rahmen des HTO Vorhabens am Waging-Tachinger See ist diese Kombination im Sommer 2003 mit HyMap (hyperspektral) und der HRSC (Stereo) geflogen worden. Von den Ergebnissen dieser Flugkampagne erwarten wir die

Bestätigung dieses Konzeptes. Das neue Flugzeuggetragene hyperspektrale System ARES, das gemeinsam von der DLR und dem GFZ ab 2005 betrieben werden wird, sieht diese Sensorkombination als Basis constellation vor.

Zu beachten ist allerdings, dass hochwertige Systeme, die in der Lage sind, die gewünschten Informationen zu liefern, teuer sind. „Günstige“ Daten erscheinen uns hingegen als regelrecht hinausgeschmissenes Geld!! Die Lösung dieses „Gordischen Knotens“ sehen wir in einer fachübergreifenden Mehrfachnutzung hochwertiger Datensätze in integralen Ansätzen. Modular wird für jedes Landschaftselement ein eigenes Expertensystem entwickelt, das über die Verknüpfung von Wachstums- mit Reflexionsmodellen die bestmögliche Zustandsbeschreibung erlaubt und darüber hinaus die Entwicklung von Szenarien ermöglicht. Die Ergebnisse der einzelnen Module werden dann zu Aussagen auf Landschaftsebene zusammengeführt. Voraussetzung hierfür ist die Amtsübergreifende Koordination der Datenerfassung.

Es liegt auf der Hand, dass integrale Konzepte, wie die für die Landschaftsebene und im Detail für die Teilschlagbewirtschaftung skizzierten, noch nicht Umsetzungsreif sind. Andererseits besteht die Freiheit der Forschung u.a. auch darin, heute darüber nachzudenken, was in fünf bis zehn Jahren machbar sein wird. Ob ein derartiges Konzept in die Umsetzungsphase kommt, hängt von den gesetzlichen Rahmenrichtlinien ab. Für das Monitoring naturschutzfachlich (FFH, Ramsar) oder im Vertragsnaturschutz gemeldeter Flächen (z.B. KULAP) kann die Methode heute schon angewandt werden und wird in diesen Bereichen zu merklichen Kosteneinsparungen führen.

5. Danksagung

Die Aussagen, die in diesem Aufsatz vertreten werden, beruhen auf den Ergebnisse diverser Forschungsvorhaben, die durch die DFG (IKB Dürnast), das BMBF/DLR (MOMS-02, AQUATIC) und das Bayerische Forschungsministerium (HTO) gefördert wurden und werden. Des Weiteren bedanke ich mich bei den Mitarbeitern meiner Forschergruppe sowie den Kooperationspartnern von der Uni Hohenheim und vor allem des DLR/DFD, ohne die die vorgestellten Konzepte nicht hätten entwickelt werden können.

6. Liste der verwendeten Abkürzungen:

ALOS: Advanced Land Observing Satellite
 AQUATIC: Einsatz hochauflösender Satellitendaten und moderner Bildanalysemethodik zur Erfassung aquatisch/limnologisch relevanter Parameter der oberbayerischen Seen.
 ARES: A New Reflective / Emissive Imaging Spectrometer for Terrestrial Applications

ATCOR: Atmospheric & Topographic Correction; <http://www.rese.ch/atcor/atcor4/>
 AVIRIS: Advanced Visible Infra Red Imaging Spectrometer, <http://aviris.jpl.nasa.gov/>
 AVIS: Airborne Visible-Infrared Spectrometer, <http://www.infofarm.de/doc/virtmesse/gtco.htm>
 BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung
 CASI 1+2: Compact Airborne Spectrographic Imager, <http://www.casi.ca/>
 CHRIS/Proba: Compact High Resolution Imaging Spectrometer/Project for On-Board Autonomy
 DAIS: Digital Airborne Imaging Spectrometer; <http://www.op.dlr.de/dais/dais-scr.htm>
 DFD: Deutsches Fernerkundungs Datenzentrum
 DFG: Deutsche Forschungsgemeinschaft
 DLR: Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt
 DOM: Digitales Oberflächenmodell
 FE: Fernerkundung
 FFH: Flora Fauna Habitat Richtlinie
 GFZ: Geoforschungszentrum Potsdam
 GTCO: Ground Truth Center Oberbayern
 HRSC: High Resolution Stereo Camera - Airborne; <http://solarsystem.dlr.de/FE/hrsc.shtml>
 HTO: High Tech Offensive Bayern
 HyMAP: Hyperspectral Mapper, Integrated Spectronics, <http://www.intspec.com/>
 IKB: Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung
 Ikonos: Space Imaging Caterna, <http://www.spaceimaging.com/>
 KULAP: Kulturlandschaftsprogramm
 MISR: Multiangle Imaging Spectro Radiometer
 MOMS-02: Modularer Optoelektronischer Stereo Scanner 02
 QuickBird: DigitalGlobe; <http://www.digitalglobe.com/>
 RAMSAR: „Übereinkommen für den Schutz von Feuchtgebieten von internationaler Bedeutung“
 ROSIS: Reflective Optics System Imaging Spectrometer, <http://www.op.dlr.de/neoe/fo/rosis/home.html>
 SPOT: Satellite Probatoire de l'Observation de la Terre
 TM/ETM+: Thematic Mapper/Enhanced Thematic Mapper plus

7. Literatur

ANDRESEN, T.; C. MOTT, TH. SCHNEIDER & S. ZIMMERMANN (2004):
AQUATIC: Erfassung und Beurteilung von aquatischen und terrestrischen Feuchtgebieten mit sehr hoch auflösenden FE-Daten; Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, 11.-12. September 2003 in Laufen

ARZET, K. (2004):
Welche Informationen zur Landnutzung benötigen Behörden und Kommunen zur Erfüllung der Auflagen von Programmen und Richtlinien nationaler und europäischer Art – Bedarf aus wasserwirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Sicht; Fachtagung, Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, 11.-12. September 2003 in Laufen

AUERNHAMMER, H.; M. DEMMEL, F.X. MAIDL, U. SCHMIDHALTER, T. SCHNEIDER & P. WAGNER (1999):
An On-Farm Communication System for Precision Farming with Nitrogen Real-Time Application. ASEA Paper No. 99 11 50, St. Joseph, MI, USA

GERSTL, S. A. W. (1990):
Physics concepts of optical and radar reflectance signatures: A summary review; International Journal of Remote Sensing, Vol. 11:1109-1117.

HEEGE, T. (2004):
Makrophytenkartierung per Fernerkundung; Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, 11.-12. September 2003 in Laufen

HOFFMANN, F. (2004):
Stofftransport-Modellierung zur Bestimmung der potentiellen Einträge aus dem Wassereinzugsgebiet; Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, 11.-12. September 2003 in Laufen

KENNEWEG, H.; B. FÖRSTER & M. RUNKEL (1991):
Diagnose und Erfassung von Waldschäden auf der Basis von Spektralsignaturen. BMFT Abschlussbericht Waldschäden, Techn. Univ.Berlin.

KLUG, H. & T. BLASCHKE (2004):
Erfassung und Beurteilung von Wassereinzugsgebieten auf Landschaftsebene; Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, 11.-12. September 2003 in Laufen

LINSEISEN H.; A. SPANGLER, K. HANK, P. WAGNER, T. STEINMAYR, M. DEMMEL, H. AUERNHAMMER, I. MANAKOS, T. SCHNEIDER & J. LIEBLER (2000):
Daten, Datenströme und Software in einem Informationssystem zur teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion (Data, data flow and software in an information system for site-specific plant production), Zeitschrift für Agrar-informatik, 8(2), pp. 36-43, 2000

MANDELBROT, B.B. (1978):
The fractal geometry of trees and other natural phenomena; Geometrical Probability and Biological Structures: Buffon's 100th Anniversary Conference (Paris, 1977): Ed. Roger Miles & Jean Serra (Lecture Notes in Biomathematics, 23), New York: Springer, 235-249.

MOTT, C.; T. ANDRESEN, C. ROGG, TH. SCHNEIDER, S. ZIMMERMANN & U. AMMER (2004):
AQUATIC: Identifizierung und Monitoring von Landnutzungs-/ Landoberflächen-Typen in einem multitemporalen/multisensoralen Ansatz; Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, 11.-12. September 2003 in Laufen

MOTT, C.; T. ANDRESEN & Th. SCHNEIDER (2002):
Objektorientierte Bildanalyse mit eCognition: Möglichkeiten - Lösungen? - Grenzen!; CGI Nutzertreffen, Iffeldorf, 25/26.02.02

RICHTER, R.; & D. SCHLÄPFER (2002):
„Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 2: atmospheric/topographic correction“; Int. J. Remote Sensing 23:2631-2649 (2002).

RINTELEN, P. (2004):
Welche Informationen zur Landnutzung benötigen Behörden und Kommunen zur Erfüllung der Auflagen von Programmen und Richtlinien nationaler und europäischer Art – Bedarf aus landwirtschaftlicher Sicht; Fachtagung, Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, 11.-12. September 2003 in Laufen

SCHAEPMANN, M.(2003):
Michael Schaeppman's Comprehensive List of Imaging Spectrometers; http://www.geo.unizh.ch/~schaepp/research/apex/is_list.html

SCHMIEDER, K. (2004):
Auswirkungen des Extremhochwassers 1999 auf die Ufer-röhrichte des Bodensees; ; Fachtagung, Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, 11.-12. September 2003 in Laufen

SCHNEIDER, TH. (1995):
Möglichkeiten und Grenzen der spektralen Trennbarkeit ackerbaulicher Oberflächentypen – eine Abschätzung anhand spektroskopischer Untersuchungen über die Vegetationsperiode; Dissertation am Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz der LMU München. Schriftenreihe der ZADI, Band 4, ISSN 0947-661X

SCHNEIDER, TH.; I. MANAKOS, P. REINARTZ & R. MÜLLER (1999):
Anisotropy information from MOMS-02/Priroda stereo data sets – an additional physical parameter for land surface characterisation; International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 7-4-3 W6, Valladolid, Spain, 3-4 June

SCHNEIDER, Th & I. MANAKOS (2000):
Anisotropie der Rückstrahlung – Störfaktor oder Informationsquelle? Erörterung anhand des Beispiels „precision farming“; Berichte der Ges. für Informatik in Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 13; GIL Tagung, S187-190, ISBN3-932987-02-0

SCHNEIDER, Th.; A. BUCK, R. DE KOK & I. MANAKOS (2000):
Objektorientierte Bildanalyse – Paradigmenwechsel in der thematischen Bearbeitung von Erdbeobachtungsdaten?; Festschrift zur Emeritierung von Prof. U. Ammer, Verlag Wissenschaft & Technik Berlin, ISBN 3-89685-564-6

SCHNEIDER, TH. & I. MANAKOS (2003):
BRDF Approximation of maize and canopy parameter retrieval by ProSail inversion; Procc. of the 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Oberpfaffenhofen, May 13-16

ZADEH, L.A. (1983):
The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems; Fuzzy Sets and Systems 11, 199-227, 1983.

Anschrift der Verfasser:

Thomas Schneider und Stefan Zimmermann
Limnologische Station der TUM
Hofmark 3
82393 Iffeldorf
e-mail: Tomi.Schneider@lrz.tum.de

Zum Titelbild: Das Bild zeigt ein Anwendungsbeispiel zur Kartierung von submersen Makrophyten im Flachwasserbereich um die Insel Reichenau (Bodensee). Vergleich der Prozessierungsergebnisse von DAEDALUS- Aufnahmen im Juli 2001 und 2002.

Spezielle MIP-Module korrigieren in dieser Anwendung den Einfluss der Wassersäule auf das Reflexionssignal, ermöglichen die Berechnung der Reflexionseigenschaften des Seegrundes und interpretieren diese Spektren dann als Mischsignal aus verschiedenen Sediment- oder Bewuchsklassen. Im Ergebnisbild werden Klassen von bodennahen Makrophyten (*Characeen*) in der Farbe grün, von hoch wachsenden Makrophyten (hier: hauptsächlich *Potamogeton perfoliatus* & *pectinatus*) in rot und unbedeckte Seegrund-Sedimente in blau dargestellt (siehe Beitrag HEEGE et al. S. 67-71).

Laufener Seminarbeiträge 2/03

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

ISSN 0175 - 0852

ISBN 3-931175-71-5

Die Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege ist eine dem Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz angehörende Einrichtung.

Die mit dem Verfasseramen gekennzeichneten Beiträge geben nicht in jedem Fall die Meinung der Herausgeber wieder. Die Verfasser sind verantwortlich für die Richtigkeit der in ihren Beiträgen mitgeteilten Tatbestände.

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der AutorInnen oder der Herausgeber ist unzulässig.

Schriftleitung und Redaktion: Dr. Notker Mallach (ANL, Ref. 12) in Zusammenarbeit mit Dr. Elisabeth Obermaier

Satz: Fa. Hans Bleicher, Laufen

Druck und Bindung: E. Grauer Offsetdruck, Laufen

Druck auf Recyclingpapier (100% Altpapier)