

AQUATIC: Identifizierung und Monitoring von Landnutzungs-/Landoberflächen-Typen in einem multitemporalen/multisensoralen Ansatz

Claudius MOTT, Thorsten ANDRESEN, Caroline ROGG, Thomas SCHNEIDER, Ulrich AMMER

Zusammenfassung

In diesem Artikel werden Ergebnisse des Projektes AQUATIC vorgestellt. Bei diesem Kooperationsvorhaben zwischen dem Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz der TU München und der Limnologischen Station Iffeldorf wurde der Einsatz von sehr hoch auflösenden Satellitendaten im operationellen Umfeld vorbereitet. Erklärtes Ziel von AQUATIC war es, die Auswertung auch im großmaßstäblichen Auflösungsbereich (1:5000 bis 1:10000) zu automatisieren, zumal die visuelle Interpretation oder der Geländebegang sehr zeit- und kostenintensiv sind. Der Schwerpunkt des hier beschriebenen Projektteils lag auf der Ausarbeitung von automatisierten Klassifikationsstrategien für ufernahe Landnutzung/Landbedeckung.

Im ersten Abschnitt des Artikels wird der Bedarf an aktuellen und detaillierten Geo-Daten beleuchtet, sowie die Schwierigkeiten bei der automatisierten Klassifikation sehr hoch auflösender Daten. Anschließend werden die Grundprinzipien der hier verwendeten objektorientierten Analysemethoden erläutert und die Trennung nach „stabilen“ und „instabilen“ Objekteigenschaften erklärt. Zusammenfassend wird ein Überblick über den Ablauf einer objektorientierten Klassifikation gegeben.

Das Untersuchungsgebiet des Projektes AQUATIC wird in Abschnitt zwei dargestellt. Es umfasst den Starnberger See und die Region um die Osterseen, das 20 km bis 55 km südwestlich von München liegt.

Anhand von drei Beispielstudien werden im dritten Abschnitt die Einsatzmöglichkeiten objektorientierter Analysemethoden dargestellt. Es wird gezeigt, dass sich digitale Luftbilder und Satellitendaten mit automatisierten Methoden bei sehr hohen Genauigkeiten klassifizieren lassen. Des Weiteren wird die Aktualisierung und Fortschreibung von bestehenden GIS-Daten als ein potenzielles Einsatzfeld an einem Beispiel dargestellt. Dies spielt besonders in Zusammenhang mit der Monitoring- und Berichtspflicht entsprechend der FFH-Richtlinie eine wichtige Rolle.

1. Einleitung

Die Landschaft Europas hat sich in den vergangenen Jahrzehnten einschneidend verändert. Arten und Lebensräume wurden durch die Ausbreitung von Siedlungsgebieten, Industrie und Verkehrsflächen deutlich dezimiert. Verschiedene gesetzliche Richtlinien wurden in den vergangenen Jahrzehnten erlassen, um eine nachhaltige Entwicklung in den Mitgliedstaaten der EU zu gewährleisten. Für das Vorhaben „AQUATIC“, das hier vorgestellt wird, sind vor allem zwei Richtlinien relevant. Die „Fauna-Flora-Habitat-Richt-

linie“ (FFH-RL) und die „Wasserrahmenrichtlinie“ (WRRL) setzen verbindliche Maßnahmen zur Erhaltung eines natürlichen Zustandes der Landschaft Europas, wie auch zur Bewahrung der Gewässergüte.

Die Planungsbehörden der Länder haben die Aufgabe die Anforderung der genannten Richtlinien umzusetzen und die entsprechenden naturschutzfachlichen Ziele durchzusetzen. Um diese Aufgabe zu erfüllen sind flächendeckende Kartierungen und Grundlagen-erhebungen bezüglich der Landnutzung und Landschaftsstruktur notwendig.

Fernerkundliche Erfassungsmethoden eignen sich um den Planungsbehörden räumliche Informationen zu liefern. Große Flächen können vergleichsweise kostengünstig und regelmäßig erfasst werden. Es besteht eine große Auswahl an verschiedenen Datentypen, die in räumlicher und spektraler Auflösung variieren und so entsprechend der Nutzeranforderung gewählt werden können. Diese Technologie hat in bestehende Inventur-, Überwachungs- und Planungsverfahren der Behörden bislang nur wenig Eingang gefunden. Dies hat vielerlei Ursachen. Die bis vor wenigen Jahren verfügbaren Satellitendaten konnten aufgrund ihrer technischen Limitierungen die geforderte Detailtiefe nicht erfüllen. Satellitensensoren der jüngsten Generation liefern nun höchstaflösende Bilddaten, welche den Nutzeransprüchen gerecht werden. Des Weiteren liegt zum Teil ein Informationsdefizit auf Seiten der Behörden vor, was Fernerkundungsanwendungen tatsächlich liefern können und wo potentielle Einsatzmöglichkeiten innerhalb der Planungsverfahren bestehen.

Die Aufgabe eines Vorhabens wie *AQUATIC* liegt darin, den Einsatz von Fernerkundungsdaten im operationellen Umfeld vorzubereiten. Als qualitativer Maßstab für das automatisierte Verfahren gilt das Leistungsvermögen eines menschlichen Interpreters, der bei solchen Aufgaben nach wie vor die Methode der Wahl darstellt. Am menschlichen Interpret sind im Wesentlichen zwei Punkte zu kritisieren. Seine Arbeit ist sehr zeitintensiv und somit teuer, und die Ergebnisse sind subjektiv, also nicht reproduzierbar.

Grundsätzlich gilt es nachzuweisen, dass sich höchstauflösende Fernerkundungsdaten mit den entwickelten Ansätzen bei der notwendigen Genauigkeit auswerten lassen, bestenfalls bei einem Kostenvorteil gegenüber der konventionellen Methode. Ist dieses, rein wissenschaftliche, Ziel erreicht, so ist als nächstes die Umsetzung in die praktische Anwendung anzustreben.

Hochauflösende Fernerkundungsdaten

Fortschritte in der Sensortechnologie führen zur Entwicklung geometrisch, radiometrisch und spektral immer höher auflösender Systeme. Man erhofft sich von den damit erfassten Daten genauere Kenntnisse über die Bodenbedeckung, um daraus neue Anwendungen im großmaßstäblichen Bereich zu entwickeln. Mit jeder Verbesserung der Auflösung steigt auch die Komplexität des Informationsgehaltes. Bei einer Pixelgröße von unter 5 m, die heute von der IKONOS Sensor Generation erreicht wird, stoßen die herkömmlichen, Pixelbasierten Klassifikationsmethoden an ihre Grenzen (DE KOK ET AL. 1999; SCHNEIDER & STEINWENDNER 1999). Traditionelle fernerkundliche Klassifikationsverfahren bewerten mit verschiedensten mathematisch-statistischen Methoden die spektrale Ausprägung eines Bildpunktes und weisen diesem eine Klasse zu. Einzelne Bildpunkte werden als voneinander unabhängige Elemente betrachtet. Bei sehr hoch auflösenden Fernerkundungsdaten steigt die spektrale Varianz der Pixelwerte, die eine thematisch sinnvolle Klasse abbilden. Auf Bildpunktebene ist das empfangene Signal nicht mehr eindeutig einer Klasse zuzuordnen. Die aus Pixelbasierten Klassifikationen resultierenden thematischen Karten sind zum Teil unvollständig und in der Flächenausbreitung stark zergliedert. Man hat in diesem Zusammenhang den aus dem Radar-Bereich stammenden Begriff „Salt and Pepper“-Effekt übernommen (BLASCHKE et al. 2000). Mit zunehmender Auflösung tritt dieser Effekt verstärkt auf. Die Grenzen Pixelbasierter Verfahren bei der Auswertung sehr hoch auflösender Datensätze haben Objektorientierte Analysemethoden in den Mittelpunkt des Interesses gerückt.

Objektorientierte Auswertung in der Fernerkundung

Im Projekt *AQUATIC* wurde das seit 1999 verfügbare Bildanalyseprogramm eCognition eingesetzt. Diese Software nutzt einen so genannten objektorientierten Ansatz zur Analyse von Fernerkundungsdaten. In der Fernerkundung bedeutet Objektorientierung, dass nicht einzelne Pixel in ihrer spezifischen spektralen Ausprägung betrachtet werden, sondern vielmehr Cluster angrenzender Pixel, so genannte Segmente oder Bild-Objekte. Diese Bild-Objekte werden in einem ersten Segmentierungsschritt aus benachbarten Bildpunkten aufgrund ihrer spektralen Ähnlichkeit gebildet. Man geht davon aus, dass benachbarte Bildpunkte, die spektral ähnlich sind, wahrscheinlich zur selben Landbedeckungsklasse gehören. Parallel zur Segmentierung wird in eCognition eine Objektdaten-

bank aufgebaut, die für jedes Segment die spezifischen Eigenschaften speichert. Das sind unter anderem die spektralen Mittelwerte eines jeden Kanals, die Standardabweichung über das Segment, Formparameter oder Nachbarschaftsbeziehungen. Für SCHNEIDER et al. stellen gerade die Nutzung der Objektdatenbank einen entscheidenden Schritt dar. Die Fernerkundungswelt hat durch die Nutzung der Objektdatenbank Zugriff auf Analysemethoden, die bisher nur der GIS-Welt vorbehalten waren (SCHNEIDER et al. 2000). Die Formulierung von Klassifikationsregelwerken entspricht im Prinzip dem Aufbau einer komplexen Datenbankabfrage.

Des Weiteren lässt sich mit eCognition eine hierarchische Bildobjektstruktur aufbauen mit Bildobjektebenen mit verschiedenen großen Segmentausprägungen. Die Objektebenen sind sowohl vertikal als auch horizontal miteinander vernetzt, d.h. jedes Segment „kennt“ seine Nachbar-, Über- und Unterobjekte (Abb. 1). Diese Information ist in einer Datenbank verfügbar und kann in Klassenregelwerke implementiert werden. So lassen sich Objekte thematisch zusammenfassen. Eine Streuobstwiese besteht beispielsweise in den Unterobjekten aus einem Teil Wiese und einem Teil Obstbaum.



Abbildung 1:

zeigt schematisiert die hierarchische Verknüpfung zwischen verschiedenen aufgelösten Ebenen (oder Level). Die Segmente auf Level 2 „kennen“ die Zusammensetzung der Segmente auf Level 1 und können so thematisch zusammengefasst werden.

Die Zugehörigkeit eines Bild-Objektes zu einer Klasse wird über Regelwerke bestimmt. Es werden Gültigkeitsbereiche eines Objektattributes (oder Objekteigenschaft) für die jeweilige Klasse festgelegt. Auf diese Weise wird das Wissen des Experten über die Eigenschaftsausprägung einer Klasse implementiert. In eCognition steht eine Vielzahl an verschiedensten Objekteigenschaften zur Verfügung, welche im Handbuch ausführlich beschrieben werden (BAATZ et al. 2002).

Bei Ansicht eines Bildes nimmt der Betrachter unbewusst eine Vielzahl von Informationen auf und hat entsprechend seiner Erfahrung verschiedene Assoziationen. Die Art und Weise wie der Experte einen bildlichen Datensatz wahrnimmt und analysiert lässt sich in eCognition ansatzweise nachbilden. Zum Verständnis sei hier ein Beispiel für die Klasse Straßenkörper genannt. Ein Straßenkörper ist visuell sofort

Tabelle 1

Links dargestellt sind die Erkennungsmerkmale der Klasse „Straßenkörper“ und rechts die Klassenattribute, die bei der Umsetzung in eCognition verwendet wurden.

Straßenkörper visuell	Straßenkörper eCognition
<ul style="list-style-type: none"> - grauer Farbton - langgezogene, nicht natürliche Strukturen - typische, netzartige Strukturen 	<ul style="list-style-type: none"> - geringer bis mittlerer Grauwert - geringe Textur - Form: <ul style="list-style-type: none"> Länge zu Breite, Shape Index, Verhältnis Segmentgrenze zu Fläche - keine Objekthöhe (DOM)

durch seine typische vernetzte Struktur, seinen Farbton und seiner Linienhaften Formen erkennbar. Diese Struktureigenschaften lassen sich in eCognition durch Formattribute beschreiben. In Abbildung 1 sind die visuellen Erkennungsmerkmale auf einem Luftbild den Klassenmerkmalen in eCognition gegenüber gestellt (Tab. 1).

„Stabile“ und „instabile“ Objektattribute

Die Objektattribute lassen sich in instabile und stabile Attribute unterscheiden (MOTT et al. 2002). Als „instabil“ gelten Eigenschaften eines Segmentes die auf den Werten der Datengrundlage beruhen. Als Beispiel hierfür seien die spektralen Objektmittelwerte oder die Standardabweichung pro Segment genannt.

Die Instabilität dieser Eigenschaften hat verschiedene Ursachen:

- **Sensorspezifische Einflüsse.** Jeder Sensor hat spezifische Abbildungseigenschaften, sowohl räumlich als auch spektral.
- **Atmosphärische Einflüsse.** Arbeitet man mit Datensätzen unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte, so ist der atmosphärische Einfluss auf die Daten verschieden stark ausgeprägt. Dies resultiert in unterschiedlichen Spektralmesswerten einer Klasse.
- **Topografische Einflüsse.** Deutliche Geländemorphologie hat Einfluss auf die Reflektionsantwort. So hat ein Landoberflächentyp auf der Sonnenabgewandten Seite eine Hangs andere Spektralmeswerte als auf der Sonnenzugewandten Seite.
- **Blickwinkelabhängige Einflüsse.** Abhängig vom Blickwinkel des Sensors im Verhältnis zum Sonnenstand ist die Reflektion verschieden. Dieser Effekt wird Anisotropie genannt und ist Schwerpunkt aktueller Forschung.
- **Temporale Einflüsse.** Bei unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten spielt die jeweilige Vegetationsperiode eine entscheidende Rolle. Abhängig davon zu welchem Zeitpunkt im Jahr eine Aufnahme gemacht wird, haben Landbedeckungsklassen unterschiedliche Eigenschaften. So hat ein Kartoffelacker im April eine völlig andere Signatur als im August.

„Stabile“ Eigenschaften beschreiben dagegen die Beziehungen zwischen einzelnen Segmenten. Diese werden in der Literatur häufig als räumliche Beziehungen („spatial relationships“) adressiert (TON et al. 1991). Durch Hinzunahme solcher Beziehungen lassen sich auch Klassen unterscheiden, welche spektral nicht voneinander trennbar sind (GURNEY und TOWNSHEND 1983).

Zum Verständnis des Unterschiedes zwischen „stabilen“ und „instabilen“ Eigenschaften sei ein Beispiel genannt. Der spektrale Mittelwert für einen Bootsteg ist in einem Luftbild, einem PAN-IKONOS Bild und CASI-Infrarotkanal verschieden. Auch bei einer IKONOS-PAN Aufnahme an einem trüben Tag kann sich die spektrale Erscheinung eines Bootstegs von der eines wolkenfreien Tages unterscheiden. Als „stabil“ gelten semantische oder räumliche Beziehungen zwischen Objektklassen. So ist ein Bootsteg immer in direkter Nachbarschaft zu Wasser und hat ein bestimmtes Verhältnis von Länge zu Breite.

Das bedeutet, dass „instabile“ Eigenschaften für jeden Datentyp und Aufnahmezeitpunkt angepasst werden müssen, während die „stabilen“, also die semantischen Beziehungen, übernommen werden können. Die Trennung nach semantischen und von der Datengrundlage abhängigen Parametern erleichtert eine Übertragbarkeit der Regelwerke.

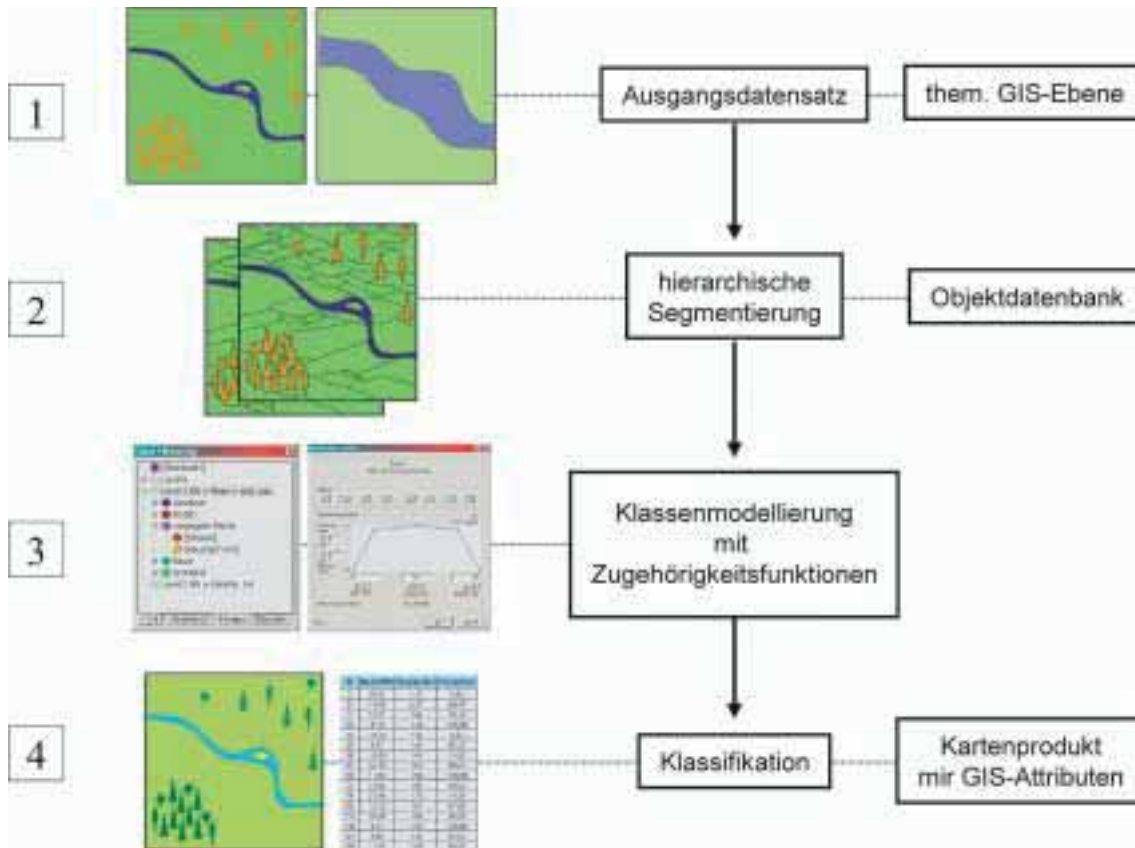
Überblick

Das Ergebnis einer Objektorientierten Klassifikation lässt sich als Vektordatensatz im ArcView Shape-Format ausgeben. Dem Nutzer stehen die Geometrien, die zugewiesene Landnutzungs-kategorie und die Objektattribute zur Weiterverarbeitung und Verwaltung in einem GIS zur Verfügung.

In Abbildung 2 sind die Schritte einer objektorientierten Klassifikation schematisiert dargestellt.

2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet des Projekts *AQUATIC* umfasst den Starnberger See und die Region um die Osterseen. Es liegt etwa 20 bis 55 km südwestlich von München und verteilt sich auf 15 Gemeinden innerhalb der Landkreise Starnberg, Bad Tölz und Weilheim-Schongau. Das Untersuchungsgebiet liegt im Ammer-Loisach-Hügelland und ist als Eiszerfallslandschaft mit seinen typischen glazialen Geländemorphologien zu charakterisieren. Das Landschaftsbild ist vielseitig und durch einen kleinräumigen Wechsel von verschiedenen Landschaftselementen geprägt. Dies sind vor allem Siedlungen, Kulturland, Wälder und freie Moorflächen. Das Kulturland wird in der Hauptsache in Form von Mähwiesen und Weiden genutzt. Ein kleiner Teil der landwirtschaftlichen Nutzflächen wird auch zum Maisanbau genutzt. Das Gesamtgebiet ist zu einem großen Teil bewaldet, wobei hier Aufforstungen durch Fichten dominieren.

**Abbildung 2****Schematischer Ablauf einer Objektorientierten Klassifikation**

1. Ausgehend von einem Bilddatensatz können Zusatzinformationen, wie z. B. Höhenmodelle oder bereits existierende Kartierungen, in den Klassifikationsprozess integriert werden.
2. Segmentierung von Bildobjekten anhand der Homogenität benachbarter Bildpunkte. Parallel dazu wird eine Objektdatenbank aufgebaut, welche die Objekteigenschaften verwaltet. Bei der Segmentierung ist die Integration von externen GIS-Datenebenen möglich, d. h. bestehende Geometrien bzw. Segmentgrenzen können übernommen werden. Die Segmentierung kann in verschiedenen Maßstabsebenen durchgeführt werden, wobei die einzelnen Ebenen miteinander verknüpft sind.
3. Aufbau eines Regelwerkes, welches die Zugehörigkeit eines Bildobjektes anhand seiner Eigenschaften beschreibt. Dieses Regelwerk repräsentiert die Wissensdatenbank die für die Klassifikation aufgebaut wird. Die spektralen, strukturellen und kontextuellen Eigenschaften und Beziehungen einer Objektklasse werden nachmodelliert.
4. Klassifikation der Objekte. Das Ergebnis kann als Vektordatensatz ausgegeben werden, inklusive der Eigenschaften aus der Objektdatenbank.

Die Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets wird durch die Ausdehnung der verfügbaren IKONOS-Satellitendaten vorgegeben und beträgt ca. 265 km². Naturschutzfachlich interessant sind vor allem die Feuchtflächen, die eine Vielzahl von geschützten Tier- und Pflanzenarten beheimaten. Eine Fläche von 74 km² sind als Naturschutz-, FFH- oder SPA- Gebiet (Special Protected Area – nach (79/409/EWG)) ausgezeichnet, wobei das SPA-Gebiet Starnberger See allein 56 km² umfasst.

Innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes wurden kleinere Testgebiete ausgewählt, welche für das Gebiet typische Landschaftsstrukturen aufweisen. In diesen Testgebieten wurden verschiedene methodische Ansätze unter Nutzung von höchstauflösenden Luftbildern, multisaisonalen IKONOS-Daten und externen GIS-Datenebenen entwickelt. Im Folgenden

werden Methode und Ergebnisse des Projektes *AQUATIC* im Teilbereich Landnutzung anhand verschiedener Anwendungsbeispiele vorgestellt.

3. Methoden und Ergebnisse**3.1 Analyse von hochauflösenden Luftbildern**

Im bayerischen Landesvermessungsamt werden Luftbilder seit Beginn der 40er Jahre archiviert. Luftbilder sind die einzige Datenquelle, welche eine Analyse der Landschaftsentwicklung über mehr als fünf Jahrzehnte erlaubt. In diesem Abschnitt soll auf die Fragestellung eingegangen werden, inwieweit es mit Objektorientierten Analysemethoden möglich ist, die Landnutzung aus aktuellen S/W Luftbildern festzustellen und retrospektiv die Landschaftsentwicklung



Abbildung 3

Testgebiet „Iffeldorfer Seengruppe“. S/W Luftbild von 6/2000. Größe: 136ha.

zu erfassen, um Entwicklungstendenzen abzuleiten. Als Testgebiet wurde die „Iffeldorfer Seengruppe“ gewählt, da sowohl Siedlungs-, Wald-, als auch Feuchtgebiete zu finden sind (Abb. 3). Zur Bearbeitung standen S/W Luftbilder aus den Jahren 1956, 1976 und 2000, welche im Frühsommer und Herbst geflogen wurden zur Verfügung. Die Luftbilder lagen digital vor und hatten eine räumliche Auflösung von 40-80 cm/Pixel.

Um das Erstellen von Regelwerken einfach und vor allem transparent zu gestalten, wurde beim Aufbau der binäre Ansatz eines Entscheidungsbaumes verfolgt. In einem ersten Schritt wurde „Wasser“ von „Nicht-Wasser“ unterschieden. Die Klasse „Nicht-Wasser“ setzte sich aus „Siedlung“ und „Nicht-Siedlung“ zusammen. Die Klasse „Nicht-Siedlung“ bestand aus „Wald“ und „Nicht-Wald“. Die nächste Unterteilung von „Nicht-Wald“ setzte sich schließlich aus „Feuchtgebiete“ und „Sonstige Flächen“ zusammen. Abbildung 4 zeigt ein Schema des prinzipiellen Aufbaus. Dieser Aufbau hat sich hinsichtlich der Übertragung auf die unterschiedliche Luftbildjahrgänge als sinnvoll erwiesen (ROGG 2003).

In den jeweiligen Aufnahmen der Jahre 1956, 1976 und 2000 ließen sich, abhängig von der Qualität der Luftbilder noch weitere Klassen unterscheiden. In Abbildung 5 ist die Klassifikation des Luftbildes von 2000 für die Iffeldorfer Seengruppe dargestellt. So wurde für das Jahr 2000 in dem Gebiet „Iffeldorfer Seengruppe“ Flachwasser von Tiefenwasser unterschieden. Es wurden kleinere Gehölzstrukturen von

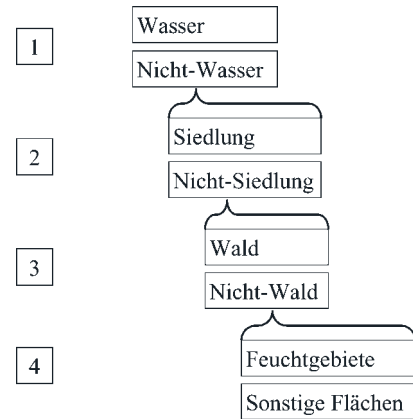


Abbildung 4

Aufbau des Klassifikationsregelwerks in Anlehnung an einen Entscheidungsbaum

größeren Waldflächen diskriminiert und innerhalb der Feuchtgebiete sogar aquatisches Schilf klassifiziert. Bei den Siedlungen konnten zusätzlich Straßen getrennt werden, sowie Grünflächen innerhalb der Siedlung. Zur Erstellung der Regelwerke wurden hauptsächlich der mittlere Grauwert eines Objektes, seine Standardabweichung und verschiedene Texturparameter verwendet. Ein hoher zusätzlicher Informationswert stellte die Höheninformation dar, die aus Stereoluftbildpaaren abgeleitet wurde. Vor allem für die Klassifikation von Wald- und Siedlungsflächen war die Höheninformation wertvoll. Zum Teil wurden Nachbarschaftsbeziehungen verwendet, wie bei der Klasse „aquatisches Schilf“, welche in unmittelbarer Nachbarschaft zu offenen Wasserflächen liegt. Auch bei der Klasse „Siedlungsgrün“ war die Nachbarschaft zur Klasse „Siedlung“ Bedingung.

Um die Qualität der Klassifikation zu prüfen wurde eine Genauigkeitsanalyse durchgeführt. Als Referenz diente eine Landnutzungskartierung die im Rahmen einer Diplomarbeit an der Limnologischen Station erstellt wurde (KANGLER 2003). Für einen sinnvollen Vergleich hat man die Landnutzungsklassen der Kartierung thematisch zusammengefasst.

Die Analyse der Produzentengenauigkeit (Pixel, die innerhalb einer Landbedeckungsklasse der Referenz als richtig klassifiziert wurden) für das Testgebiet „Iffeldorfer Seengruppe“ 2000 ergab für die Klasse „Wasser“, dass 96% der kartierten Wasserflächen erkannt wurden. Von der Klasse „Siedlungs- und Verkehrsflächen“ wurden 78% erfasst und für „Wald/Gehölze“ 90% der Waldfläche. Die Klasse „Feuchtgebiete“ erreichte 55% Übereinstimmung (Tab. 2).

Die Analyse der Benutzergenauigkeit (Pixel, die innerhalb einer Landbedeckungsklasse der Klassifikation als richtig klassifiziert wurden) ergab, dass die Wasserflächen zu 98% mit der Kartierung übereinstimmten. Bei den „Siedlungs- und Verkehrsflächen“ waren 95% klassifizierter Siedlungsfläche korrekt und bei der Klasse „Wald/Gehölze“ war die Übereinstimmung

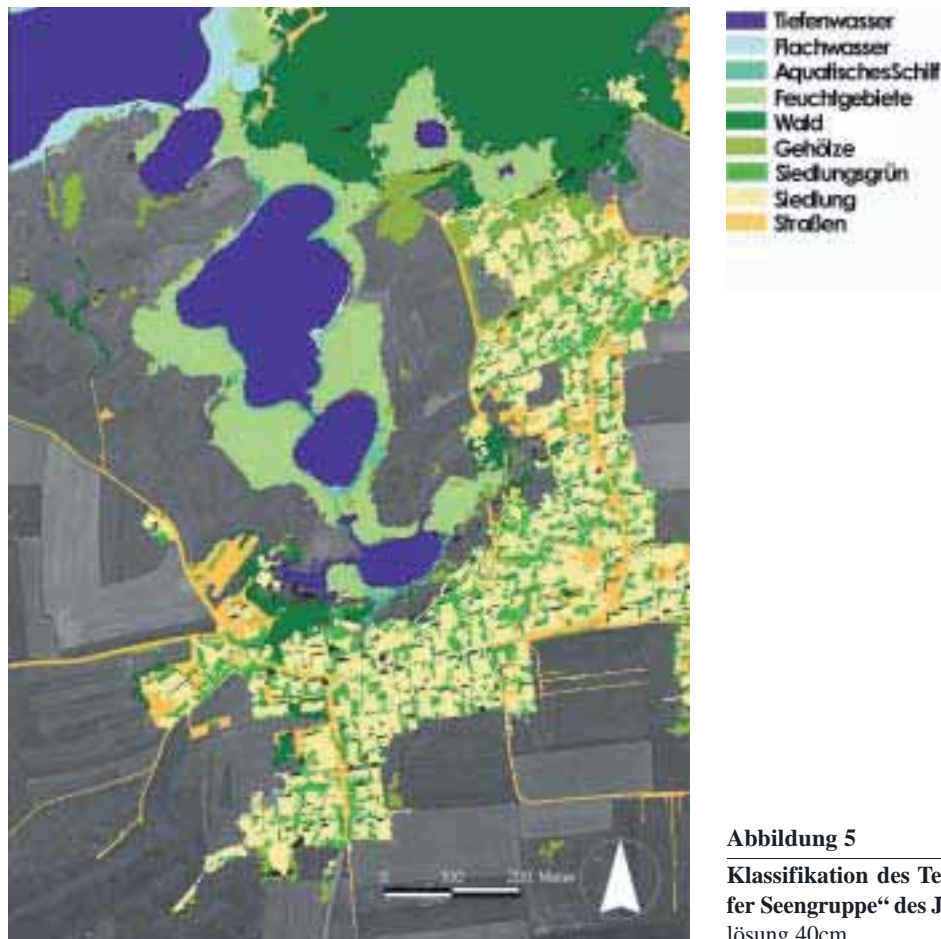


Abbildung 5

Klassifikation des Testgebietes „Iffeldorfer Seengruppe“ des Jahres 2000. Pixelauflösung 40cm

	Produzentengenauigkeit	Benutzergenauigkeit
Wasser	14 ha / 14,6 ha 96%	14 ha / 14,3 ha 98%
Siedlung/Verkehr	27 ha / 34,8 ha 78%	27,1 ha / 28,5 ha 95%
Wald/Gehölze	11,7 ha / 13,0 ha 90%	11,7 ha / 17,5 ha 67%
Feuchtgebiet	8,9 ha / 16,2 ha 55%	8,9 ha / 10,3 ha 86%

Tabelle 2

Zusammenfassung der Produzenten- und Benutzergenauigkeit für das Testgebiet „Iffeldorfer Seengruppe“ 2000

mung 67%. Bei der Klasse „Feuchtgebiete“ stimmte ein Anteil von 86% der klassifizierten Fläche (Tab. 2).

Eine Genauigkeitsanalyse für die Klassifikationen der Jahre 1956 und 1976 war nicht möglich, weil hierfür keine Referenzdaten vorlagen. Da die Herangehensweise dieselbe war, ist davon auszugehen, dass die Genauigkeiten in einem ähnlichen Bereich liegen.

Die Information über die frühere Landnutzung erlaubt eine Ableitung von Entwicklungstendenzen. Als Beispiel wurde die Siedlungsentwicklung von Iffeldorf herausgegriffen. Die Analyse hat ergeben, dass die Siedlungsfläche in nur 44 Jahren um 124% zugenommen hat, also mehr als eine Verdoppelung in weniger als 5 Dekaden. In Abbildung 6 ist die Siedlungsfläche gegen die Zeit in einem Diagramm dargestellt.

Es ist erkennbar, dass der Entwicklungstrend sich leicht exponentiell verhält und hier möglicherweise bezüglich des Flächenverbrauchs Maßnahmen zu treffen sind.

3.2 Klassifikation von IKONOS-Daten

Im Projekt *AQUATIC* wurden zwei IKONOS-Datensätze vom April 2001 und August 2001 bearbeitet. Es galt zu analysieren, ob diese Daten mit objektorientierten Analysenmethoden flächendeckend klassifiziert werden können. Multispektrale IKONOS-Daten haben eine räumliche Auflösung von 4 m und messen in

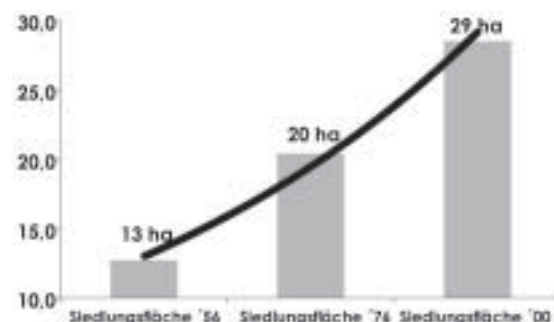


Abbildung 6

Entwicklung der Siedlungsfläche Iffeldorf von 1956 bis 2000

vier Spektralbereichen (blau, grün, rot und nahes Infrarot). Zudem wird ein panchromatischer Kanal (PAN) aufgenommen, der vom blauen Spektrum bis in das nahe Infrarot reicht. Bei diesem liegt die räumliche Auflösung bei 1 m. In der vorgestellten Untersuchung wurden kombiniert PAN und multispektrale Daten rund um die Osterseen bis zum südlichen Ende des Starnberger Sees bearbeitet. Das FFH- und Naturschutzgebiet Osterseen war vollständig abgedeckt. Das Gebiet umfasst eine Fläche von ca. 4500 ha. Hinsichtlich des Klassifikationsmaßstabs sind die Vorgaben des LWF und LfU aus der Kartieranleitung für Lebensraumtypen der FFH-RL berücksichtigt worden. Die Landbedeckungsklassen wurden im Maßstab 1:5000 mit einer Mindestkartiergröße von 0,01 ha erfasst (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003). Dementsprechend wurden die Segmentierungsparameter gewählt.

Um eine Übertragbarkeit und Weiterverarbeitung der Klassifikation zu gewährleisten wurde das Klassenschema am normierten Schlüssel des BfN angelehnt (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 1995). Das waren „2000 Binnengewässer“, „4000 landwirtschaftliche Nutzflächen“ („4200 Wiesen- und Weiden“, „4120 Mais“), „6000 Einzelbäume, Feldgehölze, Gebüsche“, „7000 Wälder“ („7100 Laubwald“, „7200 Nadelwald“) und „9000 Siedlung, Verkehr, Freizeit und Erholung“. Die Klasse „Feuchtgebiete“ wurde in diesem Projektteil zusammengefasst betrachtet. Diese stand für „3000 Moor, Sümpfe“, „2100 Ufervegetation“ und „2200 Röhrichtvegetation“. Die Abgrenzung der Feuchtgebiete wurde im Wesentlichen aus den Ergebnissen des Projektpartners der Limnologischen Station übernommen (ANDRESEN et al. 2004).

Bei der Entwicklung der Regelwerke für die Klassentrennung flossen verschiedene Aspekte ein. Bestimmend war das Expertenwissen des Bearbeiters und zahlreiche Literaturangaben (insbesondere BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 1995) darüber welche Objektattribute typisch oder untypisch für eine Klasse sind. Neben dem Expertenwissen war die Analyse von Testsegmenten entscheidend. Für jede der gesuchten Klassen wurden repräsentative Trainingssegmente ermittelt. Die Auswahl dieser Segmente beruhte auf der Feldkenntnis des Bearbeiters und dem Erscheinungsbild des Segmentes. Mit den in eCognition zur Verfügung stehenden Werkzeugen wurden die Objektattribute der Testsegmente hinsichtlich der Trennbarkeit der Klassen untersucht. Hier waren neben den spektralen Werten, besonders die Texturereigenschaften, d.h. die Grauwertvariationen innerhalb eines Segments, von großer Bedeutung.

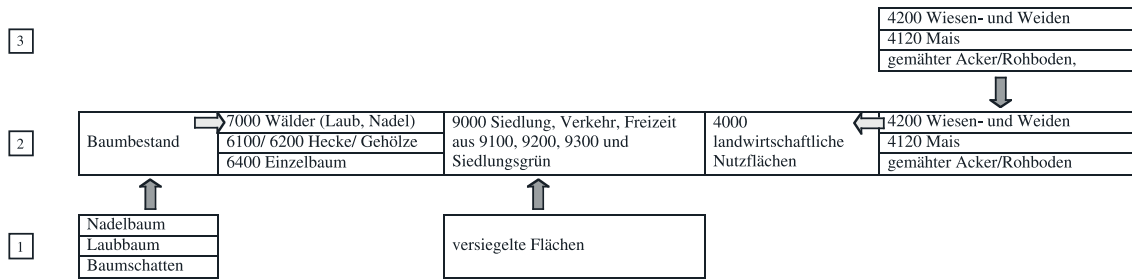
Die Klassifikation wurde auf verschiedenen Maßstabsebenen durchgeführt. Vergleichbar der Beschreibung von CURRAN und ATKINSON (2002) wiesen die gesuchten Klassen in den einzelnen Ebenen verschiedene Merkmalsausprägungen auf. Manche der Klassen waren auf einer kleineren Maßstabsebene besser trennbar, als auf einer großmaßstäblichen Ebene.

ne. Dementsprechend wurden drei verschiedene Ebenen erstellt.

Auf der Ebene 1 mit den kleinsten Segmenten wurden Laubbäume von Nadelbäumen unterschieden, da hier die Trennung durch das Spektralsignal am eindeutigsten war. Um Laubbäume und Nadelbäume noch genauer zu unterscheiden wurden Spektralinformationen aus den IKONOS-Datensätzen beider Aufnahmezeitpunkte verwendet. In der Aprilszene waren die Laubbäume unbelaubt. Zudem wurden Schatten in Baumbeständen durch Nachbarschaftsbeziehungen extrahiert. Dies war notwendig, da auf der höheren Ebene 2 mit größeren Segmenten die Baumbestände inklusive Schatten zu „7000 Wälder“ zusammengefasst wurden. Auf Ebene 2 wurden auch „6400 Einzelbäume“ und „6200 Gehölze“ anhand von Nachbarschaftsbeziehungen und Schwellwerten bei den Segmentgrößen diskriminiert.

Ferner wurden auf Ebene 1 kleine versiegelte Flächen klassifiziert. Diese lagen innerhalb von Siedlungsbereichen und Straßenzügen. Auf Ebene 2 wurde diese Information abgefragt und mit weiteren Attributen verknüpft, um „9200 Verkehrsflächen“ und „9100 Siedlung/Gewerbe“ zu klassifizieren. Die Bedingung für diese Klassen war, dass jede einen gewissen Anteil an versiegelten Flächen in den Unterobjekten auf Ebene 1 aufweisen musste. War diese Bedingung erfüllt, so wurde nach Form und Textur geprüft. Bei hoher Textur und deutlich fraktaler Ausprägung des Segments wurde die Klasse „9100 Siedlung/Gewerbe“ zugewiesen. War die Form des Segments länglich oder hatte einen hohen Wert beim Verhältnis Segmentlänge zu Segmentfläche, so wurde die Klasse „9200 Verkehrsflächen“ zugewiesen. Die Unterscheidung von „9100 Siedlung/Gewerbe“ und „9200 Verkehrsflächen“ war zum Teil nicht exakt und beinhaltete auch „9300 Freizeit- und Erholungsflächen“, die sich nicht trennen ließen. So wurden diese Klassen „9100“, „9200“, und „9300“ zur Klasse „9000 Siedlung, Verkehr und Freizeit“ zusammengefasst. Das Siedlungsgrün innerhalb der Siedlungsfläche wurde über Nachbarschaftsbeziehungen integriert.

Auf der dritten Maßstabsebene wurden die Klassen „4200 Wiesen“, Weiden und Grünland“, „4120 Mais“ und „abgeernteter Acker/Rohboden“ klassifiziert. Diese kleinste Maßstabsebene war am besten geeignet um flächige Landbedeckungsklassen zu finden. Durch großflächige Segmente wurde die spektrale Varianz dieser Klassen (z.B. hervorgerufen durch Ackerfurchen oder natürliche Inhomogenitäten) integriert. Zur Klassenbeschreibung dienten neben den spektralen Mittelwerten, auch die Flächengröße und die Form. Wiesen und Weiden weisen meist eine Mindestgröße auf und Äcker tendieren zu rechteckigen oder zumindest kompakten Formen. Diese Eigenschaften sind erst auf der kleinmaßstäblichen Ebene 3 deutlich ausgeprägt und wurden dort entsprechend beurteilt. Auf Ebene 2 wurde wiederum die Information der übergeordneten Ebene 3 abgefragt und zur Klasse „4000 landwirt-

**Abbildung 7**

Auf Ebene 2 wird die Information aus der kleineren Maßstabsebene 3 und der größeren Maßstabsebene 1 zusammengeführt. Manche der Objekteigenschaften sind nur bei bestimmten Maßstäben kennzeichnend. So wurde für jeden Landoberflächentyp der optimale Klassifizierungsmaßstab gewählt. Durch Abfrage der Ober- und Unterobjekte wurde Ergebnis anschließend auf Maßstabsebene 2 zusammengeführt

schaftliche Nutzflächen“ zusammengefasst. In Abbildung 7 sind die beschriebenen multiskalaren Zusammenhänge schematisiert dargestellt.

Die Genauigkeitsanalyse wurde auf Segmentbasis durchgeführt. Die Auswahl der Referenzsegmente erfolgte über eine Feldkampagne, wobei hier sowohl GPS-Punkte als auch Vor-Ort-Fotografien zur Dokumentation genommen wurden. Insgesamt wurden 282 Segmente ausgewählt, wobei sich diese von den Trainingsflächen unterschieden. Feuchtgebiete und offene Wasserflächen (3000 Moor, Sümpfe, 2100 Ufervegetation und 2200 Röhrichtvegetation, 2000 Binnengewässer) wurden von der Analyse ausgenommen.

Auf höchsten Abstraktionsebene (Klassen 4000, 7000, 9000) wurden hervorragende Genauigkeitswerte von über 98 % erreicht (Tab. 3). Nur bei „9000 Siedlungen, Verkehr, Freizeit, Erholung“ erreichte die Genauigkeit einen niedrigeren Wert von 85,2 %. Hier traten Verwechslungen mit „4000 landwirtschaftlichen Nutzflächen“ und unklassifizierten Flächen auf. Der Grund mag darin liegen, dass „4200 Weiden und Wiesen“ im Randbereich von Siedlungen fälschlicherweise als Siedlungsgrün ausgewiesen wurden. Des Weiteren war diese Klasse sehr heterogen in ihrer Merkmalsausprägung, weshalb Teile unklassifiziert blieben (3,3 %).

Auf einer niedrigeren Abstraktionsebene wurden „Laub-“ und „Nadelbäume“, „6100/6200 Hecke/Gehölze“ und „6400 Einzelbaum“ geprüft. Zudem auch die Unterklassen von „4000 landwirtschaftliche Nutzflächen“. Die Ergebnisse bewegten sich zwischen 80 % und 100 % und damit im Rahmen dessen, was ein erfahrender Photointerpreter leisten kann. Hinzuweisen ist allerdings, dass das Computergestützte eCognition Verfahren gewisse Schwachstellen aufweist: die Abstraktionsfähigkeit des Menschen bei der räumlichen Grenzziehung kann nicht nachgeahmt werden. Die automatische Segmentierung bewertet ausschließlich die spektralen Homogenitäten benachbarter

Pixel. Es werden zum Teil Grenzen gezogen, welche ein menschlicher Bearbeiter nicht anfertigen würde. So werden zum Beispiel Straßenzüge unterbrochen, weil sie von Alleebäumen überdeckt sind. Diese Art von (systembedingtem) Fehler lässt sich mit der Hinzunahme thematischer Ebenen ausgleichen. GIS-Daten mit Straßengeometrien existieren landesweit (z.B. ATKIS) und können als Vorinformation integriert werden. Dadurch lässt sich gezielt in sensiblen und veränderlichen Bereichen klassifizieren, während Flächen, die über lange Zeiträume unveränderlich sind, einfach übernommen werden.

3.3 Aktualisierung von bestehenden Kartierungen.

Die Zusammenführung und Nutzung von GIS-Daten und der Information aus aktuellen FE Daten im Auswertungsprozess wurde in zahlreichen Studien untersucht (z.B. BUCK et al. 1999, MCNOLEG 1996). Bei der Segmentierung in eCognition lassen sich GIS-Ebenen integrieren und die Information aus diesen im Klassifikationsprozess nutzen. Vektor-Daten können als so genannte thematische Ebenen eingelesen werden. Bei der Segmentierung selbst werden die Grenzen der thematischen Ebenen berücksichtigt, das heißt existente Geometrien übernommen. Die inhaltlichen Attribute der Polygone können zur Klassifikation herangezogen werden.

In dem vorstellten Anwendungsbeispiel wurde ein kleiner Teil der Bayernweiten Seeuferkartierung (SUK) von 1987 im Naturschutzgebiet Osterseen verwendet. Ziel war es zu demonstrieren, dass es möglich ist bestehende Geoinformation zu nutzen und zu aktualisieren. Die Seeuferkartierung lag digital im ArcView-Shape Format vor und konnte direkt in den Klassifikationsprozess integriert werden. Die Aktualisierung wurde beispielhaft für Gehölz- und Waldstrukturen durchgeführt. Die Basisklassen der SUK waren „Azonale Gehölze“ und „Wald/Forst“. Der Vektordatensatz

Benutzer- / Prod.genauigkeit	4000 lw Nutzfl.	9000 Siedlung, ...	7000 Wälder	unklassif.
4000 lw Nutzfl.	98,4% / 99,6%	0% / 0%	0% / 0%	/ 0,4%
9000 Siedlung, ...	1,6% / 6,8%	100% / 85,2%	1,2% / 4,7%	/ 3,3%
7000 Wälder	0% / 0%	0% / 0%	98,8% 99,5%	/ 0,5%

Tabelle 3

Benutzer- und Produzentengenauigkeit auf der höchsten Abstraktionsebene

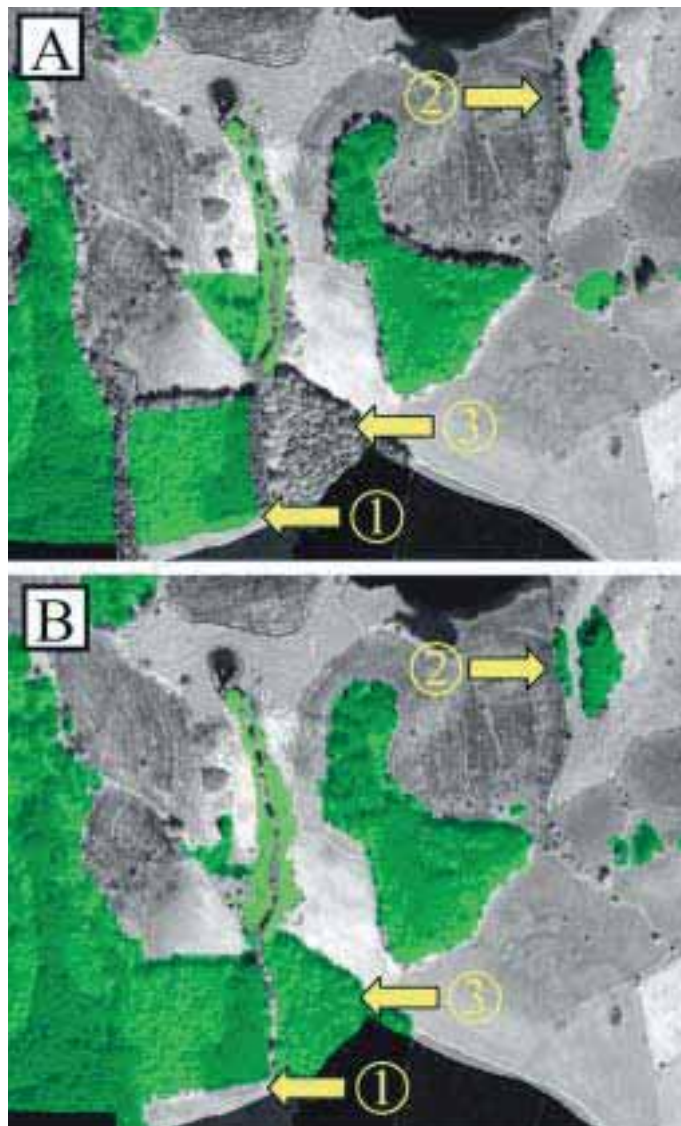


Abbildung 8

(A) zu sehen ist die Seeuferkartierung (SUK) aus dem Jahr 1987 über einer IKONOS-PAN Szene aus dem Naturschutzgebiet Osterseen. Hellgrün angezeigt wird die Klasse „Azonale Gehölze“, dunkelgrün die Klasse „Wald/Forst“. Dunkel unterlegt ist der Bereich, der nicht von der SUK erfasst wurde. Erkennbar sind Lageungenauigkeiten (1), nicht erfasste Strukturen (2). Der Wald bei (3) ist in der SUK als „Wiese/Weide“ deklariert (nicht dargestellt). In (B) ist die aktualisierte Klassifikation dargestellt. Die vorhandenen Abgrenzungen wurden genauer erfasst und erweitert (1, 2, 3)

wies verschiedene „Problemzonen“ auf. Verglichen mit den aktuellen IKONOS-Daten traten Lagefehler und ungenaue Geometrien auf. Diese geometrischen Ungenauigkeiten sind durch die Herangehensweise von 1987 bedingt, da die SUK nicht digital erstellt wurde und hier systembedingte Fehler auftauchten. In Teilbereichen wurde auch inhaltlicher Aktualisierungsbedarf festgestellt. Zum Teil wurden Baumgruppen und Gehölze nicht erfasst. Manche der Flächen, die 1987 als „Wiese/Weide“ deklariert wurden, sind eindeutig der Klasse „Wald/Forst“ zuzuweisen (und müssen aufgrund der Baumgrößen schon damals existiert haben).

Das Regelwerk für die Klassen „Azonale Gehölze“ und „Wald/Forst“ basierte auf den Informationen der SUK. Man ging davon aus, dass diese Klassen im Naturschutzgebiet weitgehend unberührt blieben. Innerhalb der Ausdehnung der Basisklassen in der SUK wurden die aktuellen Spektral- und Texturwerte der IKONOS-Daten abgefragt. Waren die Werte plausibel für Gehölze und Bäume, so wurde die Information der SUK als „richtig“ übernommen. In Be-

reichen in welchen die Spektralwerte mehr für einen anderen Nutzungstyp sprachen, wurde die Grenze aktualisiert. Im nächsten Schritt ging man dann von der Nachbarschaft und Distanz bereits gefundener Regionen aus. Waren in der Nähe einer bereits als „richtig“ befundenen Struktur weitere Gehölze oder Bäume, so wurden diese der nächstgelegenen Klasse entsprechend zugewiesen. Auf diese Weise wurden die Ausdehnungen der Klassen „Azonale Gehölze“ und „Wald/Forst“ erweitert. Es konnten weitere Baumgruppen erfasst werden und vom heutigen Standpunkt falsche Klassifizierungen aktualisiert werden (Abb. 8).

Eine visuelle Überprüfung ergab, dass wenige Einzelbäume nach wie vor nicht erfasst wurden, aber insgesamt die Ausdehnung der Klassen wesentlich genauer war. Dies gilt vor allem in Bezug auf die Bereiche, die 1987 als „Wiese/Weide“ deklariert wurden.

In dieser Detailstudie wurde gezeigt, dass eine Aktualisierung der Flächenabgrenzungen automatisiert möglich ist. Auch Ungenauigkeiten bei der Co-Registrierung verschiedener Datensätze können durch ge-

schickte Formulierung von Distanzbeziehungen vernachlässigt werden. In dieser Studie wurden allerdings nur Ansätze für „Azonale Gehölze“ und „Wald/Forst“ erarbeitet. Eine Weiterentwicklung der Regelwerke hinsichtlich weiterer Klassen der SUK ist denkbar.

4. Schlussfolgerung

Anhand von Anwendungsbeispielen wurden Möglichkeiten Objektorientierter Analysemethoden bei hochauflösenden Fernerkundungsdaten untersucht. Verschiedene Datengrundlagen wurden, teils unter Hinzunahme von externer Zusatzinformation, erfolgreich bearbeitet. Es wurde gezeigt, dass sich auch höchstauflösende FE-Daten mit automatisierten Methoden bei sehr guten Genauigkeiten klassifizieren lassen. Des Weiteren ist die Aktualisierung und Fortschreibung von bestehenden GIS-Daten ein potentielles Einsatzfeld. Dies ist insbesondere in Zusammenhang mit Monitoring- und Berichtspflicht entsprechend der FFH-Richtlinie interessant. Fernerkundungsanwendungen können hier unterstützende Informationen liefern, vor allem bezüglich der Ausdehnung eines Lebensraums oder etwaigen Veränderungen innerhalb einer sensiblen Zone. Mit der Objektorientierten Methode ist es möglich über eine große Fläche die Geometrien auf Vektor-Basis zu ermitteln und entsprechende (Vor-)Klassifikationen zu liefern. Diese können zum Beispiel den Kartierer im Gelände unterstützen. Eine manuelle Delinierung kann so auf ein Minimum reduziert werden. Existieren bereits GIS-Daten über ein Gebiet, wie zum Beispiel die Bayernweite Seeuferkartierung aus den 80er Jahren oder die Biotopkartierung von Bayern, so ist es möglich diese Information zu nutzen. Besonders im Bereich des Monitoring können, wenn eine Erstinventur bereits abgeschlossen ist, FE-Daten Hinweis auf Veränderungen oder Verschlechterung eines Lebensraums liefern.

Die Klassifikation von Luftbildern wurde bisher hauptsächlich von menschlichen Photointerpretern durchgeführt. Unter Nutzung objektorientierter Methoden ist die automatisierte Auswertung in greifbarer Nähe gerückt. Die zusätzlich verfügbaren Objekteigenschaften erlauben eine detaillierte geometrische, als auch inhaltliche Informationsextraktion bei sehr guten Genauigkeiten. Es wurde gezeigt, dass sich Luftbilder für großmaßstäbliche Klassifikationen eignen und durch die Bearbeitung historischer Luftbilder auch Entwicklungstrends ableiten lassen (ANDRESEN et al. 2004., ROGG 2003). Bayern wird seit dem Jahr 2002 flächendeckend im dreijährigen Turnus durch Farbluftbildbefliegungen erfasst. Das bedeutet, dass diese Datengrundlage auch in Zukunft konstant und regelmäßig verfügbar ist. Dies ist eine Voraussetzung für regelmäßiges Monitoring. Mit den hier vorgestellten Methoden lässt sich

diese Datenquelle automatisiert nutzen und so Veränderungen feststellen.

Hochauflösende IKONOS-Daten sind ebenfalls automatisiert, bei sehr guten Genauigkeiten auswertbar. Die Nutzung von multisaisonalen Daten aus verschiedenen Vegetationsperioden erlaubt ein wesentlich differenzierteres Bild der Landschaft. Durch die Integration von Expertenwissen bei der Klassifikation lassen sich genaue thematische Aussagen treffen. Die Landbedeckung wird sowohl qualitativ, quantitativ als auch geometrisch erfasst. Die Aussagen lassen sich entsprechend dem Informationsbedarf hierarchisch strukturieren. Je nachdem, welche Abstraktionsebene (z.B. „Maisanbaufläche“, „Grünland“, ... „Landwirtschaft“) oder Maßstabsebene (z.B. „Einzelbäume“ („Baumbestand“) gefragt ist.

Eine operationelle Anwendung von Fernerkundung erfordert jedoch eine gewisse „Standardisierung“ der gemessenen Bilddaten. Die „instabilen“ Einflüsse müssen minimiert werden. Eine genaue Kalibrierung der Daten muss das Ziel sein, um eine Übertragbarkeit von Klassifikationsregelwerken zu gewährleisten. Die Modellierung der Einflüsse soll es möglich machen die Reflektionsmesswerte zu normalisieren, also in physikalische und reproduzierbare Werte umzurechnen. Diese Werte sind dann idealerweise Ausgangspunkt einer fernerkundlichen Analyse. Ist dies einmal gegeben so wäre der konsequente nächste Schritt der Aufbau einer Datenbank mit Klassifikationsregelwerken. Diese könnte Information für verschiedenste Landbedeckungsklassen in unterschiedlicher Detailtiefe und zur jeweiligen Vegetationsperiode enthalten.

Das hier vorgestellte Gesamtkonzept kann als eine Art integrativer Ansatz verstanden werden. Bereits vorhandene (Geo-)Information wurde verwendet und weiterverarbeitet. Vorliegendes Wissen wird also gezielt in den Klassifikationsprozess integriert. Dies ist zum einen das Wissen eines Experten um die Merkmalsausprägung und Wechselbeziehungen eines Landbedeckungstyps. Zum anderen kann Vorinformation in digitaler Form vorliegen, wie Oberflächenmodelle oder GIS-Kartierungen (z.B. ATKIS, SUK, Biotopkartierung, etc.). Die Berücksichtigung kombinierter Informationsquellen schafft dem Nutzer ein Informationsplus („value-adding“), verglichen mit der isolierten Betrachtung einzelner Datenquellen.

5. Danksagung

Diese Studie ist im Rahmen des Projektes *AQUATIC* entstanden, welches durch das BMBF gefördert wird. Projektnummer: 50 EE 0040 & 50 EE 0041. Vielen Dank auch an die Diplomanden Caroline Rogg und Florian Löschenbrand.

6. Literatur

ANDRESEN, T.; C. MOTT, S. ZIMMERMANN, T. SCHNEIDER & A. MELZER (2004):

Erfassung und Beurteilung von aquatischen und terrestrischen Feuchtgebieten mit sehr hoch auflösenden FE-Daten. ANL Fachtagung: Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, Laufen.

BAATZ, M.; U. BENZ, S. DEGHANI, M. HEYNEN, A. HÖLTJE, P. HOFMANN, I. LINGENFELDER, M. MIMLER, M. SOHLBACH, M. WEBER & G. WILLHAUK (2002):
eCognition User Guide 3. München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, B.L.F.W.U.F. (2003):
Kartieranleitung für die Lebensraumtypen nach Anhang I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie in Bayern.

BLASCHKE, T.; S. LANG, E. LORUP, J. STROBL & P. ZEIL (2000):
Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: Cremers, A., Greve, K. (2000): Environmental Information for Planning, Politics and the Public. Marburg.

BUCK, A.; R. DE KOK, T. SCHNEIDER & U. AMMER (1999):
Improvement of a forest GIS by integration of remote sensing data for the observation and inventory of „protective forests“ in the Bavarian Alps. IUFRO Conference on Remote Sensing and Forest Monitoring, Rogow, Poland.

BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (1995):
Systematik der Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung (Kartieranleitung). Bonn-Bad Godesberg.

CURRAN, P. J. & P. M. ATKINSON (2002):
Issues of scale and optimal pixel size. In: Stein, A., van der Meer, F.D., Gorte, B. (2002): Spatial Statistics for Remote Sensing. Dordrecht, Boston, London, S.115-133.

DE KOK, R.; T. SCHNEIDER, M. BAATZ & U. AMMER (1999):
Object based image analysis of high resolution data in the alpine forest area. Joint WSf ISPRS WG I/1, I/3 und IV/4: SENSORS AND MAPPING FROM SPACE 1999, Hannover, Deutschland.

GURNEY, C. M. & J. R. G. TOWNSHEND (1983):
The Use of Contextual Information in the Classification of Remotely Sensed Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.49, 1, S.55-64.

KANGLER, G. (2003):
Historisch-geographische Landschaftsanalyse mit GIS als Grundlage für Naturschutzplanung – dargestellt am Gebiet um die Osterseen –. Diplomarbeit, Limnologische Station, TU München, Freising/Weihenstephan.

MCNOLEG, O. (1996):

The Integration of GIS, Remote Sensing, Expert Systems and Adaptive Co-Kriging for Environmental Habitat Modeling of the Highland Haggis using Object-Oriented, Fuzzy-Logic and Neural-Network Techniques. Computers & Geosciences, Vol.22, 5, S.585-588.

MOTT, C.; T. ANDRESEN, S. ZIMMERMANN, T. SCHNEIDER & U. AMMER (2002):
„Selektives“ region growing – ein Objektorientierter Klassifikationsansatz. Angewandte Geographische Informationsverarbeitung (AGIT), Heidelberg, XIV, S.363-368.

ROGG, C. (2003):
Monitoring von naturschutzrelevanten Flächen mit Hilfe Objektorientierter Bildanalyse anhand s/w-Luftbilder im NSG Osterseen. Diplomarbeit, Limnologische Station, TU München, Iffeldorf, 123 S.

SCHNEIDER, T.; R. DE KOK, A. BUCK & I. MANAKOS (2000):
Objektorientierte Bildanalyse – Paradigmawechsel in der thematischen Auswertung von Erdbeobachtungsdaten ? In: Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz (2000): Landnutzungsplanung und Naturschutz. Aktuelle Forschungsberichte. Festschrift zur Emeritierung von Professor Dr. Ulrich Ammer. Freising, S.234-258.

SCHNEIDER, W. & J. STEINWENDNER (1999):
Landcover Mapping by Interrelated Segmentation and Classification of Satellite Images. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.32, 7-4-3 W6.

TON, J. C.; J. STICKLEN & A. K. JAIN (1991):
Knowledge-Based Segmentation of Landsat Images. Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.29, 2, S.222-232.

Anschrift der Verfasser:

Claudius Mott
Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz
Am Hochanger 13
85354 Freising
e-mail: Claudius.Mott@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 Verfassernamen 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)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 2003

Band/Volume: [2_2003](#)

Autor(en)/Author(s): Mott Claudius, Andresen Thorsten, Rogg Caroline, Schneider Thomas, Ammer Ulrich

Artikel/Article: [AQUATIC: Identifizierung und Monitoring von Landnutzungs-/Landoberflächen-Typen in einem multitemporalen/multisensoralen Ansatz 55-65](#)