

Möglichkeiten der Analyse dynamischer Prozesse mit Hilfe Geographischer Informationssysteme

Thomas BLASCHKE

Abstract

Dynamics are central features within ecosystems. We have to understand the dynamics of our physical and living surroundings and how to interact with them. Surveys and measurements of dynamics require multithematic and multitemporal data. Remote sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) offer functions to reduce the lack of cohesive data. Outlining some possibilities of GIS-Technology within a case study in the alluvial flood plain of the river Salzach (Bavaria, Germany) it is tried to stimulate discussion on GIS for handling ecological data, so that implementation can be expedited if and when the enabling circumstances (and legislation) for an operational long-term use are established (and enacted). The potential GIS applications in this area are huge, from monitoring populations of indicator species to modelling the impacts of human activities, or analyzing the effects of management practices.

Although for the most data in ecological studies the location of observation is an important attribute, there seems to be a lag in the use of this technology in ecological studies. Analytical capabilities are not used as much as possible. In this case study geomorphological, hydrological and field data of vegetation and fauna are combined in a GIS to analyse the status quo of a disturbed ecosystem (the Salzach has incised several meters after rectification and bed load removal leading to the loss of regular flooding, lowering of the river's groundwater level and particularly to the loss of biodiversity) in order to find out, how far flora and fauna are yet connected with the irregular flood dynamics, what will happen changing these dynamics artificially, and to evaluate the conservational value of the ecosystem. Therefore, not the results of the study should be focused, but the way to handle information in an interdisciplinary research with the aim of evaluating this ecosystem.

1 Einleitung

"Dynamik ist eine zentrale Eigenschaft von Ökosystemen" (PLACHTER 1991, S. 228).

Natürliche Dynamik ist aus mitteleuropäischen Kulturlandschaften fast völlig verdrängt (PLACHTER 1992 b, S. 193). Natürliche dynamische Vorgänge, wie Sukzession der Vegetation, Arealveränderungen von Arten, lokales Aussterben und Einwandern von Arten werden durch menschliche Einflüsse entschei-

dend gestört. Auch Auswirkungen von (Natur-) Katastrophen tragen zu einer vielfältigen natürlichen Dynamik bei.

Zur Untersuchung dynamischer Prozesse sind in der Regel Zeitreihen notwendig. Die Datenerfassung ist zeitaufwendig bzw. in manchen Fällen nicht vollständig möglich. Häufig werden ursprüngliche Zustände (etwa vor Eingriffen oder Katastrophenergebnissen) als Ausgangsdaten benötigt, für diesen Zeitraum liegen aber keine Daten vor. In manchen Fällen ist durch eine nachträgliche Auswertung von vorliegenden Fernerkundungsdaten und/oder die Modellanbindung an ein GIS eine integrative, multitemporale Auswertung von Umweltdaten möglich.

Eine weitere, bisher kaum genutzte Einsatzmöglichkeit Geographischer Informationssysteme (GIS) ist die Analyse von Metapopulationen und der Dynamik von Teilpopulationen. Migration ist zweifellos ein entscheidender Faktor von Dynamik, nur so sind Aussterben und Einwandern von Individuen und Teilpopulationen möglich. Die Analyse der Wanderungsbewegungen, -distanzen und -konnektivitäten mit GIS steht nach Ansicht des Autors erst am Anfang. In ökologischen Studien wird bisher selten *Raum* als kontinuierliches Phänomen gehandhabt, vielmehr werden einzelne Raumausschnitte ohne topologische Beziehungen in diskretisierter Form wie aräumliche Daten verarbeitet. Eine Trendwende scheint sich jedoch anzudeuten: In den in den letzten Jahren in Deutschland geschaffenen Ökosystemforschungszentren nehmen Geographische Informationssysteme eine zentrale Rolle ein.

Die zwingende Notwendigkeit eines soliden Umweltmanagements läßt immer mehr Planungs- und Verwaltungsstellen auf Geographische Informationssysteme zurückgreifen. Diese werden aber bisher oft nur zur Verwaltung von Datenbeständen, als Abfragesystem und zur graphischen Ausgabe eingesetzt, wobei die eigentliche Stärke Geographischer Informationssysteme, die Analysefähigkeit, weitgehend ungenutzt bleibt.

Wenn temporal und räumlich hoch auflösende Daten nicht vollständig vorliegen oder mit vertretbarem Aufwand erfaßt werden können, sind parallel zur eigentlichen Analyse Verfahren der Modellbildung und Simulation notwendig. Räumliche Analyse ist mehr als "aräumliche Analyse angewandt an räumlichen Daten". Obwohl in der Praxis häufig so vorgegangen wird, stehen durch die Geostatistik zahlreiche tools zur Verfügung, um die räumlichen Be-

ziehungen als solche aufzuspüren und auszuwerten (vgl. FOTHERINGHAM & ROGERSON 1993).

In natürlichen Ökosystemen ist Dynamik von molekularer bis zur geochorischen Ebene hin ein entscheidender Faktor, der in ökosystemarer Hinsicht vor allem in größeren geschlossenen Gebieten wirksam werden kann (in Auwaldfragmenten von wenigen Hektar herrscht zwar auch eine Dynamik, diese kann sich aber nicht entsprechend der natürlichen Spannweite manifestieren). In der vorliegenden Fallstudie "Salzachauen" ist die Triebfeder der Auedynamik, die natürliche Hydrodynamik, stark gestört. Eine verhältnismäßig junge Entwicklung führte zu einer weitgehenden Isolation der Salzach von den flußbegleitenden Auwäldern. Über den Ist-Zustand hinaus ist es mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems möglich, auch mit mangelhaften Daten räumlich-zeitliche Analysen durchzuführen und Trends (mit bestimmter Datenschärfe) aufzuzeigen.

2 Geographische Informationsverarbeitung

2.1. Gegenwärtiger Stand Geographischer Informationssysteme (GIS)

Der Begriff *Geographisches Informationssystem* bzw. *Geo-Informationssystem*, *Umweltinformationssystem*, *Rauminformationssystem* usw. hat sich in vielen Disziplinen etabliert und bezeichnet Systeme zur Datenverarbeitung, in denen raumbezogene Daten erfaßt, verwaltet und analysiert werden. In einem GIS können Themen und Daten unterschiedlicher Herkunft zum Zwecke der gemeinsamen Verarbeitung miteinander verknüpft werden. Daher ist der Auffassung zu widersprechen, Geographische Informationssysteme "sind im Grunde genommen nichts anderes als in digitalisierte Einzelschichten zerlegte Karten" (BECKEL 1988, S. 55). Das *Layer- (Schichten-, Overlay-) konzept* beinhaltet zwar die Einteilung einzelner Themen in verschiedene Schichten, darf aber nicht so verstanden werden, wie z.B. die definitive Trennung einzelner Karteninhalte in verschiedenen farbige Druckvorlagen.

Der Zugriff auf räumliche Daten ist sowohl über ihre Sachattribute als auch über ihre geographische Lage möglich. Letzteres unterscheidet geographische von "normalen" räumlichen Daten und impliziert, daß der Umgang mit räumlichen Daten gewisse Probleme bereitet, aber eine sehr breite Palette von Anwendungen dadurch erst möglich ist. So können Eigenschaften wie räumliche Abhängigkeiten, Nachbarschaft etc. nur anhand von geographischen Daten untersucht werden.

Räumliche Objekte und ihre Beziehungen sind sowohl in theoretischer (fuzzy-Daten) als auch in statistischer Hinsicht mit Ungenauigkeiten verbunden: Die Beschäftigung mit der Unsicherheit und Ungenauigkeit von räumlichen Daten und die Analyse der Fortpflanzung dieser Ungenauigkeiten während des Bearbeitungsprozesses ist gegenwärtig ein Forschungsschwerpunkt. Weil in den meisten Fällen ein

klares Konzept über Genauigkeit und Konsistenz der Daten fehlt, werden bis heute räumliche Objekte mit den üblichen kartographischen Methoden behandelt, was gerade für den großen Bereich der kontinuierlichen Daten inadäquat ist.

Ein Spezifikum von GIS ist der Anspruch des Generierens neuer Informationen durch theoriegeleitete Kombination vorliegender Datenbestände. Dabei stellen die auf bestimmte Fragestellungen abgestimmten Untersuchungsabläufe meist eine individuelle Kombination einer Vielzahl von Analyseschritten dar, deren Anwendung theoretische, methodische und instrumentelle Qualifikation erfordert (vgl. STROBL 1992).

Raster- und Vektormodelle können grundsätzlich als zwei alternative Datenmodelle angesehen werden (vgl. EHLERS et al. 1991, STAR & ESTES 1990, BURROUGH 1986). In Wirklichkeit existieren auch andere Modelle und innerhalb der Raster- und Vektordatenmodelle bestehen verschiedene Ansätze, so daß eigentlich von Raster- und Vektordatenmodellgruppen gesprochen werden müßte. Es kann keine generelle Antwort auf die Frage geben, welches Modell "besser" oder "schlechter" sei (vgl. z.B. EHLERS et al. 1991, S. 671), bzw. erübrigt sich durch die aktuelle technische Entwicklung (EHLERS 1993) die Diskussion zunehmens.

Die Lagegenauigkeit von **Rasterdaten** ist durch die Maschenweite des Gitters vorgegeben. Darüber hinaus sind die generische Form der Repräsentation und die räumlichen Beziehungen implizit vorgegeben. So verfügten bereits Anfang der 70er Jahre Raster-GIS über einfache lokale Operatoren. Später kamen Bool'sche Operatoren hinzu, die große Möglichkeiten der statistischen und räumlichen Modellierung eröffneten. Rasterdaten können aus Punkt- und Vektordaten mit geringem Aufwand abgeleitet oder direkt durch Fernerkundungssensoren gewonnen werden. Eine immer bedeutendere Form der Datengewinnung ist das Scannen von vorhandener analoger Information.

Vektordaten bestehen aus Punkten, Linien und Flächen (Polygonen) sowie aus alphanumerischen Attributen, die in einer Datenbank - im Gegensatz zu CAD-Lösungen mit topologischer Struktur - mitgeführt werden. Durch dieses Datenmodell kann die Wirklichkeit "beliebig genau" abgebildet, bzw. räumliche Objekte annähernd in der Erfassungsgenauigkeit von Phänomenen der realen Welt gehandhabt werden:

"Every geographical phenomenon can in principle be represented by a point, line or area plus a label saying what it is" (BURROUGH 1986, S. 13).

Geographische Informationssysteme sollen Werkzeuge für eine breite Palette von Techniken zur räumlichen Analyse bieten, um neue Objektklassen zu erzeugen, ihre Lage und Attribute zu analysieren und die verschiedenen Klassen der Objekte und ihre Beziehungen untereinander zu analysieren. Dazu sind geometrische Operationen wie die Berechnung von Zentroiden der Polygone, Bufferfunktionen ("Distanzkorridore") oder die Berechnung des kür-

zesten Wegs in einem Netzwerk notwendig. Gute Systeme ermöglichen eine Reihe von Analysefunktionen.

Für räumliche Analysen müssen kontinuierliche Daten meist diskretisiert werden. Die Datenungenauigkeit, die daraus resultiert, wird außer acht gelassen. Forschungsfelder sind somit u.a. die Integration von komplexen multivariaten und multitemporalen Analysen in GIS, Genauigkeitsabschätzung, Fehlerverfolgung, dynamische Rückkoppelung usw.

2.2 Perspektiven von GIS und Fernerkundung für Naturwissenschaften und Umweltschutz

Fernerkundungsdaten stellen vor allem für großräumige Betrachtungen, in zunehmendem Maße aber auch für planungsrelevante Maßstäbe von 1 : 50.000 und darunter eine vielseitige Informationsquelle für Analysen der Umweltsituation und ihrer Veränderung dar. Ein wesentlicher Vorteil ist ihre weitgehende Maßstabsunabhängigkeit und die Kontinuität des Informationsgehalts, der nur durch die unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen getrübt wird. Im Vergleich zur besseren Auflösung des analogen Luftbilds eröffnen sich bei multispektralen Aufnahmen (auch von Flugzeugen aus) zusätzliche Auswertungsmöglichkeiten.

Der Informationsgehalt von Fernerkundungsdaten ist abhängig vom Aufnahmezeitpunkt und vom aufgenommenen Gebiet. Generelle Anleitungen zur Analyse und Interpretation sind daher schwierig. Vielmehr ist jede Analyse von Fernerkundungsdaten wie ein Individuum zu behandeln, was großes Hintergrundwissen und viel Erfahrung verlangt.

Obwohl die Auflösung der ersten Landsat-Satelliten von 80 m auch im mittleren Maßstabbereich bei der Erkennung und Interpretation von Einzelelementen und linearen Erscheinungen Probleme bereitete, war es erstmals möglich, über große Räume und schwer zugängliche Gebiete Karten zu erstellen. Die operationelle Satellitenfernerkundung steigerte damit ihre Verbreitung entscheidend. Seit mit dem **Thematic Mapper (TM)** ein Multispektralscanner mit einer höheren spektralen, radiometrischen und geometrischen Auflösung zur Verfügung steht, stieg die Anzahl der Anwender sprunghaft. Vor allem in kleingliedrigeren Kulturlandschaften, wie z.B. in vielen Teilen Europas, hielt die Satellitenfernerkundung dadurch erst ihren Einzug.

Bei **SPOT** ist durch die Schwenkbarkeit der Sensoren die stereoskopische Auswertung der Daten möglich, was für die Herstellung topographischer Karten und digitaler Geländemodelle notwendig ist. Auch ist die Wiederholungsrate nicht auf den Umlaufzyklus von 26 Tagen beschränkt, sondern sinkt in Abhängigkeit von der Geographischen Breite. Vor allem für die kleingliedrigen mitteleuropäischen Kulturräume rückt die Satellitenfernerkundung durch das Auflösungsvermögen von bis zu 10 m (SPOT P) bzw. 2 m (russische KVR-1000 Satelliten-

photos) auch in planungsrelevante Anwendungsgebiete mit Maßstäben von 1:25.000 und darunter.

Der 1991 gestartete Satellit **ERS-1** sendet zur Untersuchung der Landnutzung Mikrowellenimpulse aus (*Synthetic Aperture Radar*) und fängt die von der Erdoberfläche reflektierten Impulse. Durch die Fähigkeit von Mikrowellen, Wolkendecken zu durchdringen, können wetterunabhängig Aufnahmen von der Erdoberfläche gemacht werden. Daneben werden auch auf dem photographischen Prinzip beruhende Kameras eingesetzt, die sich in Flugzeugen bestens bewährt haben. Dennoch sind die Voraussetzungen für den Einsatz in Satelliten anders: Abgesehen von der großen Flughöhe und der dadurch benötigten enormen Brennweite stellt sich das Problem des Transports des Filmmaterials. Daher wird diese Technik außer bei den sowjetischen Weltraumprogrammen nur bei bemannten Raumflügen eingesetzt (*Metric Camera, Large Format Camera*).

Die meisten meteorologischen Satelliten bewegen sich auf einer *geostationären* Umlaufbahn in 36.000 km Höhe und "stehen" dadurch über dem Äquator. Eine hohe geometrische Auflösung wie bei den Erdbeobachtungssatelliten ist nicht notwendig, dafür aber eine hohe spektrale Auflösung. Die zweite Gruppe der meteorologischen Satelliten bilden die fast polar umlaufenden Systeme, die beispielsweise Temperaturverhalten von Oberflächenmaterialien, Verlauf und Intensität von Wärmeströmungen, Bildung von Kaltluftseen usw. erforschen. Anfangs war eines der Hauptziele die Verbesserung der agrarischen Planung und des Marketings. Eine präzise Abschätzung von Erträgen und Ernten sowie die Früherkennung von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten konnte weltweit verbessert werden. Umgekehrt werden angesichts der enormen Nahrungsmittelüberschüsse beispielsweise in der EG Flächenextensivierungsprämien bezahlt und der Anbau mittels ERS-1-Aufnahmen überwacht.

In Hinblick auf eine **potentielle Landnutzung** spielen Aspekte der Bodenkunde eine wichtige Rolle. Für die unzugänglichen und fast ständig wolkenbedeckten **tropischen Regenwälder** kann die passive Fernerkundung kaum eine flächendeckende Kartierung gewährleisten. Neben der in vielen Staaten dringlichen Aufgabe der Erstellung eines topographischen Gesamtkartenwerkes entstehen Planungsmöglichkeiten für die Landwirtschaft oder andere wirtschaftliche Nutzungen des "Urwalds", wie die systematische Holzentnahme oder für Erschließungsprojekte. Aber nicht nur für die Ausbeutung sondern gerade für den Schutz der verbliebenen, stark dezimierten Regenwälder sind Satellitenaufnahmen von größter Bedeutung.

Satellitenbilder als Kartierungsgrundlage waren im Gegensatz zu Luftbildern lange Zeit auf kleinmaßstäbige Fragestellungen beschränkt und wurden daher zumeist für die Erfassung großer, unwegsamer Gebiete eingesetzt (Wüsten, Polargebiete...). Auch in kleinräumig gegliederten Landschaften, wie z.B. in Mitteleuropa, werden Satellitendaten zunehmend für Planungsentscheidungen herangezogen.

Da in vielen Bereichen die Oberfläche permanent durch Vegetation und/oder Wolken verdeckt ist, können Aussagen über die Beschaffenheit des Bodens (Bodentyp, Bodenart, Mineralgehalt etc.) nur indirekt aufgrund von Indikatoren erschlossen werden, etwa über Grau- und Farbtöne, die sich durch die Reflexionseigenschaften der Oberfläche und der Eigenschaft des jeweiligen Sensors ergeben. Zur Ermittlung der Erosion und des Bodenabtrags, aber auch für mittel- und kleinmaßstäbige Untersuchungen der Bodenversalzung werden in bedeutendem Umfang Satellitendaten verwendet. Vor allem die Bodenfeuchte kann durch Radarfernerkundung in dem Wellenbereich von 5 bis 10 cm bestimmt werden. Andere Parameter, wie z.B. die Evapotranspiration, können über Modellbildung berechnet werden. Geographische Informationssysteme eröffnen hier die Möglichkeiten der räumlichen Analyse (über die Verknüpfung mit Digitalen Geländemodellen, Abflußmodellen, dynamischen Modellen), der Simulation (thematische und räumliche Variation der Variablen) und der Bewertung unter verschiedenen Prämissen.

Die Raum- und Landesplanung konnte ebenso wie der Naturschutz und alle Fachplanungen früher nur auf die amtlichen Statistiken und das Kartenwerk der Landesvermessung als wesentliche Planungunterlagen zurückgreifen. Die Verknüpfung dieser Quellen zu einer einheitlichen Planungsgrundlage wurde bisher meist manuell durchgeführt. Angesichts der Ressourcenverknappung und des großen Druckes auf die verbleibenden Naturlandschaften sowie der Notwendigkeit des Managements der Landschaft erscheint das Angebot an ökologischen Grunddaten auf Basis analoger Informationen als unzureichend.

Eine ganze Reihe von planungsrelevanten Flächen- und Daten liegen in umfangreichen Kartenwerken bei verschiedensten Behörden vor (u.a. geologische und hydrologische Karten, Bodenkarten, meteorologische und phänologische sowie land- und forstwirtschaftliche Karten). Die Einbeziehung dieser Informationsquellen wird zunehmend erleichtert durch die verbesserte Scannertechnologie und durch leistungsfähigere Raster-Vektor-Umwandlungsalgorithmen. Für regionale Planungsaufgaben waren diese Entwicklungen dringend erforderlich, da mit herkömmlichen Erhebungsmethoden und konventionell erstellten Karten die Fülle der benötigten aktuellen und zumeist flächendeckenden Informationen kaum bereitgestellt werden kann (vgl. ALBERTZ 1991, S. 171).

Ein großer Vorteil der Satellitendaten ist deren Maßstabsunabhängigkeit. Da technisch aus digitalen Fernerkundungsdaten jeder Maßstab ableitbar bzw. darstellbar ist, jedoch Darstellungen über die Detailerkennbarkeit von Objekten hinaus als sinnlos bzw. falsch zu bezeichnen sind, wird für Fernerkundungsdaten in der Regel ein Maßstabbereich angegeben. Die Auswahl der Daten hängt vom gewünschten Betrachtungsmaßstab und dem Untersuchungsthema ab. Oft ist auch eine Kombination

verschiedener Datenquellen von Vorteil, z.B. die Kombination von Landsat TM und SPOT P. Obwohl die spektrale Auflösung für die Analyse- und Anwendungsmöglichkeiten eine zentrale Rolle spielt, entscheidet in der Praxis meist die Detailerkennbarkeit von Objekten über den Einsatz von Satellitendaten.

2.3 Integration von Fernerkundung und GIS

"Geographic Information Systems and remote sensing are linked, linked in both an historic context and functionally" (STAR, ESTES & DAVIS 1991, 643). Die Kombination von Satellitenbildern und anderen Daten in einem Geographischen Informationssystem ist schon seit einigen Jahren möglich und findet nicht zuletzt aufgrund der sinkenden Hardwarekosten zunehmende Verbreitung auch außerhalb von Forschungseinrichtungen. Während dieser Trend in Europa erst wenige (ca. 3 - 5) Jahre zu beobachten ist, wurden in den USA bereits Ende der 70er Jahre Fernerkundungsdaten in größerem Umfang in ein GIS integriert. Dabei fehlte zunächst ein theoretisches *GIS/Remote Sensing Processing Concept* (EHLERS 1989, S. 43). Inzwischen existieren zahlreiche Abhandlungen zu diesem Thema, so daß meiner Ansicht nach nicht von einem Theoriedefizit gesprochen werden kann (vergl. FAUST, ANDERSON & STAR 1991, LAUER et al. 1991, LUNETTA et al. 1991, EHLERS et al. 1991, DAVIS et al. 1991).

Bis vor einigen Jahren mußten fast immer die aus analogen Quellen gewonnenen digitalen Daten in ein Geographisches Informationssystem transferiert werden, um sie mit anderen geokodierten Daten verknüpfen zu können, was oft zu Beschränkungen führte, oder negativer gesehen: *"Such an interface between image processing and vector (or raster) GIS analysis is, at best, awkward and at worst, counter productive"* (DYKSTRA 1990, S. 2). Umgekehrt wurden zur Klassifikation von Satellitenbildern gescannte Zusatzinformationen vor allem für schwierige Gebiete herangezogen. Die leistungsfähigen Geographischen Informationssysteme bieten zu Beginn der 90er Jahre vielfach Methoden, um große Datenmengen handzuhaben und effektiv zu nutzen. Fernerkundungsdaten können nun von vielen Systemen als Grunddatenbasis genutzt werden, wodurch auch große Gebiete abgedeckt werden können. Umgekehrt besteht für die Fernerkundung die Möglichkeit, Vektor- oder Rasterdaten als Zusatzinformationen für Bildverarbeitungsprozesse zu integrieren.

Die Lösung der Zukunft ist daher eine **volle** Integration von Vektor-, Raster-GIS und Bildverarbeitungsalgorithmen. Hier zeichnen sich neue Entwicklungen ab. Selbst für den PC werden bereits Geographische Informationssysteme mit (meist eingeschränkten) Bildverarbeitungsfähigkeiten angeboten, ebenso wie den Bildverarbeitungssystemen zunehmend Raster-GIS Funktionen verliehen wer-

den, so daß die Fixierung in der Raster-Vektor-Dichotomie gelockert wurde. EHLERS et al. (1991, S. 670/671) teilen beispielsweise die Daten nach ihrem Ursprung ein (*raster data, vector data, field data, deterministic model data, survey measurements*).

Ein weiterer Aspekt, warum nach wie vor Vorbehalte gegen den Einsatz von Satellitendaten und digitaler Bildverarbeitung in der praktischen Planung und Umweltbeobachtung bestehen, soll an dieser Stelle nur angedeutet werden. Es scheint eine Kommunikationsbarriere zwischen Natur- oder Umweltwissenschaftlern und Technikern und/oder zwischen Wissenschaftlern und Planern bzw. Politikern zu bestehen (vgl. LAUER et al. 1991, S. 647).

2.4 GIS in der Ökosystemforschung und die Situation im deutschsprachigen Raum

Während beispielsweise in nordamerikanischen Nationalparks Geographische Informationssysteme in Verbindung mit Fernerkundung seit Jahren in großem Umfang eingesetzt werden (NYQUIST 1991), handelt es sich in Europa bzw. im deutschen Sprachraum um eine sehr junge Entwicklung, wobei der GIS-Einsatz in dem MAB-Projekt Berchtesgaden (vgl. SPANDAU 1988) als richtungweisend gelten kann. Mittlerweile sind jedoch sowohl die meisten deutschen Nationalparke und Biosphärenreservate als auch die Ökosystemforschungszentren mit GIS ausgestattet.

Bei einer kritischen Durchsicht der Veröffentlichungen kann man sich jedoch des Eindrucks nicht erwehren, daß Geographische Informationssysteme weitgehend als Kartographie-, Präsentations- und Besucherinformationssystem akzeptiert, häufig auch als zentrales Forschungs-, Planungs- und Managementinstrument geplant sind, bislang jedoch meist die Analysekapazitäten wenig genutzt wurden. Vielfach dient das GIS zur Verwaltung von Datenbeständen, als Abfragesystem und zur kartographischen Darstellung. Dabei ist zweifellos zu berücksichtigen, daß es sich hierbei um eine junge Entwicklung handelt und anfangs (oft viele Jahre) zwangsläufig ein Hauptaugenmerk der Datenerfassung und Datenorganisation zu widmen ist.

Als ein positives Beispiel der jüngsten Entwicklung hin zu analytisch-instrumentellen Systemen sei die Ökosystemforschung Bornhöveder Seenplatte genannt (vgl. BLUME et al. 1992), wo das GIS eine zentrale Rolle einnimmt, um in einem theoretisch fundierten hierarchischen Hypothesenmodell möglichst umfassend funktionale Zusammenhänge zu untersuchen und darzustellen. Ein derartiger GIS-Einsatz in der Ökosystemforschung kann mit dem klassischen Geographischen Ansatz in Verbindung gebracht werden, Prozesse durch ihren räumlich-funktionalen Bezug zu ergründen.

Wozu kann ein GIS in der Ökosystemforschung dienen?

- Blattschnittfreie Verwaltung aller Grundlagendaten
- Variabilität der Darstellung innerhalb eines (sinnvollen) Maßstabsbereiches
- Flächenbilanzen, statistische Analysen
- Verschneidung von Datenschichten (multithematisch, multitemporal)
Abgrenzung homogener Einheiten (Habitate, Lebensgemeinschaften, Einzugsgebiete), die nicht aus der Primärdatenerfassung hervorgehen
- Nutzungskonflikte
- Potentielle Gefährdungen
- Potentialgebiete
- Modellierung der Belastung eines Ökosystems
- Verbreitungs- und Ausbreitungsmuster an Vorkommen an Arten (potentielle Verbreitung, home range) oder Schadstoffen (Propagation, Diffusion)
- Stofftransport, Energieflüsse, Netzwerkanalyse
- Analyse von Höhendaten: Digitales Geländemodell (DGM), abs. und rel. Höhenlage, Exposition, Hangneigung
- Analyse von Sachdaten in Verbindung mit dem Digitalen Geländemodell (Abflußmodell, Sonneneinfall, Dispersal)
- Analysen von Komplexität oder Homogenität/Heterogenität von Geländeauschnitten
- Analyse der Struktur (connectivity, connectedness, patch size)
- Variantenbewertung, Szenariotechnik

3 GIS und dynamische Prozesse

Jedes System besteht aus verschiedenartigen Elementen, die durch ein dynamisches Wirkungsgefüge zu einer Gesamtheit organisiert sind. In natürlichen Ökosystemen ist Dynamik von molekularer bis zur geochorischen Ebene hin ein entscheidender Faktor, der in ökosystemarer Hinsicht vor allem in größeren geschlossenen Gebieten wirksam werden kann. Auen sind in vieler Hinsicht hochdynamische Systeme. Hochwasser bestimmen durch ihre erosive wie sedimentative Wirkung das Auenrelief, das oft als ein Mikrorelief mit zahlreichen rezenten und historischen Flutrinnen, aus Schüttungen und Buckeln bestehen kann. Die Dynamik des Wasserhaushaltes mit ihrer Periodizität der Hoch- und Niedrigwasser, der Verweildauer der einzelnen Zustände, der vertikalen und horizontalen Grundwasserbewegungen und die Schleppkraft des Flusses bedingen die Ausprägungen verschiedener Systemzustände und der Sukzession (vgl. GERKEN 1988).

In der vorliegenden Fallstudie "Salzachauen" ist die Triebfeder der Auendynamik, die natürliche Hydrodynamik, stark gestört. Eine verhältnismäßig junge Entwicklung führte zu einer weitgehenden Isolation der Salzach von den flußbegleitenden Auwäldern. Der Zustand kann mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems in mehrfacher Hinsicht analy-

siert werden, wie in Kap. 4 an einigen Beispielen gezeigt wird. Doch wie können Veränderungen einer Dynamik analysiert werden, wenn von einem anzunehmenden Ausgangszustand kaum Daten vorhanden sind? Vor diesem Problem stehen sehr viele Bearbeiter, ob mit oder ohne GIS.

Insgesamt ist der Einsatz von Geographischen Informationssystemen bei der Analyse dynamischer Prozesse (noch) nicht sehr umfangreich. Zwar werden Auswirkungen der Dynamik aufgespürt, analysiert und quantifiziert (z.B. Landnutzungsänderungen), doch steht der Prozeß nicht immer im Mittelpunkt der Analyse. Auch in dieser Studie können nur exemplarisch einige einfache Möglichkeiten aufgezeigt werden, über Modellbildung rückschließend Ausprägung und Änderung einer Dynamik abzuschätzen.

GIS und Modelle

"Although GIS have developed rapidly as tools for the storage, retrieval and display of geographic data, they have been less rapid to develop in the area of spatial analysis" (FOTHERINGHAM & ROGERSON 1993, S.3).

Die gegenwärtigen Voraussetzungen der Informationstechnologie sowie der theoretischen Fundierung eröffnen jedoch nach Ansicht des Autors interessante Möglichkeiten der Integration von Modellen durch theoriegeleitete, integrative Auswertungen von Umweltdaten. Zwar bieten bereits die in high-end-Systemen enthaltenen Analysewerkzeuge Geographischer Informationssysteme (overlay, buffer, selection, interpolation....) vielfältige tools zur regionalisierten Umweltbeobachtung, doch ist zur angemessenen Erfüllung prognostischer Aufgaben oft zusätzlich der Einsatz von numerischen Simulationsmodellen notwendig (vgl. ZÖLITZ-MÖLLER & REICHE 1992). Räumliche Analyse erfordert eine explizite Dimensionierung des Phänomens Raum. Es genügt daher nicht, den Raum als Attributinformation in herkömmlichen Statistikprogrammen zu analysieren, vielmehr sind eigenständige räumliche Analysemethoden (*spatial analysis*, Exploration von Punktdaten, Regionalisierung, Klassifikation, räumliche Autokorrelation, Allokation, Diffusion, Kriging usw.) notwendig, bisher jedoch wenig verbreitet (vgl. GOODCHILD 1987, ANSELIN 1992, FISCHER & NIYKAMP 1992, FOTHERINGHAM & ROGERSON 1993).

In Modellen sind stets explizit oder implizit Hypothesen über Wirkungszusammenhänge enthalten. Da grundsätzlich jedem GIS-Einsatz wie überhaupt jeder Abstraktion eines Sachverhaltes eine Modellbildung vorausgehen muß (und sei es unbewußt), ist vor allem bei Aussagen über dynamische Zusammenhänge ein hierarchisches Hypothesenmodell notwendig (vgl. SPANDAU 1988, SPANDAU et al. 1990, BLASCHKE 1993).

Eine wichtige und mehrfach erfolgreich angewandte Technik im Bereich der Umweltprognose ist die Kombination räumlicher Analyse mit der zeitlichen

Dynamik durch die Verknüpfung systemdynamischer Modelle mit GIS-Systemen, die vor allem für die Früherkennung und flächenbezogene Darstellung von Risiken mittels Zeitkarten geeignet ist (HABER et al. 1991, GROSSMANN & SCHALLER 1990, SCHALLER & DANGERMOND 1991). In der anschließenden Fallstudie soll diese Technik für die Simulation von Grundwasserständen im Salzachauenökosystem angewandt und nach einer Analyse der gegenwärtigen Dynamik der Ist-Zustand analysiert werden (Kap. 4.2.).

GIS und Fernerkundung zur Erfassung von Umweltveränderungen

Eine klassische Anwendung beider Instrumentarien ist die Untersuchung von Landnutzungsänderungen. Diese sind jedoch anthropogen bedingt und sollen daher ebenso wie weitere Zustandsänderungen des Naturraums (Beispiel Waldschadensforschung) nicht im Mittelpunkt stehen.

GIS erweist sich auch als ein sinnvolles Instrument bei der Desertifikationsbekämpfung (ROENICK 1993). Dabei können GIS-Funktionen in mindestens drei Bereichen wertvolle Hilfe leisten: Bei der Analyse der komplexen Interaktion aller desertifikationsrelevanten Faktoren, bei der flächenhaften Interpolation zur Abdeckung eines großen Raumausschnittes sowie bei der zeitlichen Modellierung und kontinuierlichen Überwachung der Wüstenbildungsprozesse. Bei Begriffen wie *Monitoring* oder *sustainable development* sind Fernerkundung und Geographische Informationssysteme heute unverzichtbare Bestandteile der Methodik.

GIS in der angewandten Ökologie

Auch zur Untersuchung von Populationsdynamik erscheint GIS als ein geeignetes Werkzeug. Die Analyse von Teilpopulationen erfordert jedoch die explizite Handhabung des Attributes *Raum* und der *räumlichen Beziehungen* und wird bisher in der Ökologie meist wie aräumliche Phänomene behandelt. Folgende ökologische Konzepte und Begriffe lassen sich mit Geographischen Informationssystemen operationalisieren:

- *patch size* (*Flächengröße*, vgl. z.B. Van DORP & OPDAM 1987, OPDAM et al. 1985, LAVERS & HAINES-YOUNG 1993);
- *dispersal* (vgl. z. B. STENSETH 1983);
- *connectivity* und *connectedness* (vgl. BAUDRY & MERRIAM 1988);
- *Diversität* (z.B. WILSON 1992);
- der Zusammenhang von *Flächengröße* und *Diversität* (WILSON 1992);
- der Zusammenhang von *Flächengröße* und *Stabilität* (z.B. REMMERT 1993);
- der Zusammenhang von *Flächengröße* und *dispersal* (vgl. LEVKOVITCH & FAHRIG 1985, HANSSON 1988), ausgehend von der *equilibrium theory* (Mc ARTHUR & WILSON 1967) der Inselbiogeographie und der endlosen Diskussion der Schlußfolgerungen für den Naturschutz.

Den praktischen Arbeiten fehlen jedoch grundlegende Umsetzungsanleitungen der Handhabung des Phänomens Raum bzw. räumlich-kontinuierlicher Daten.

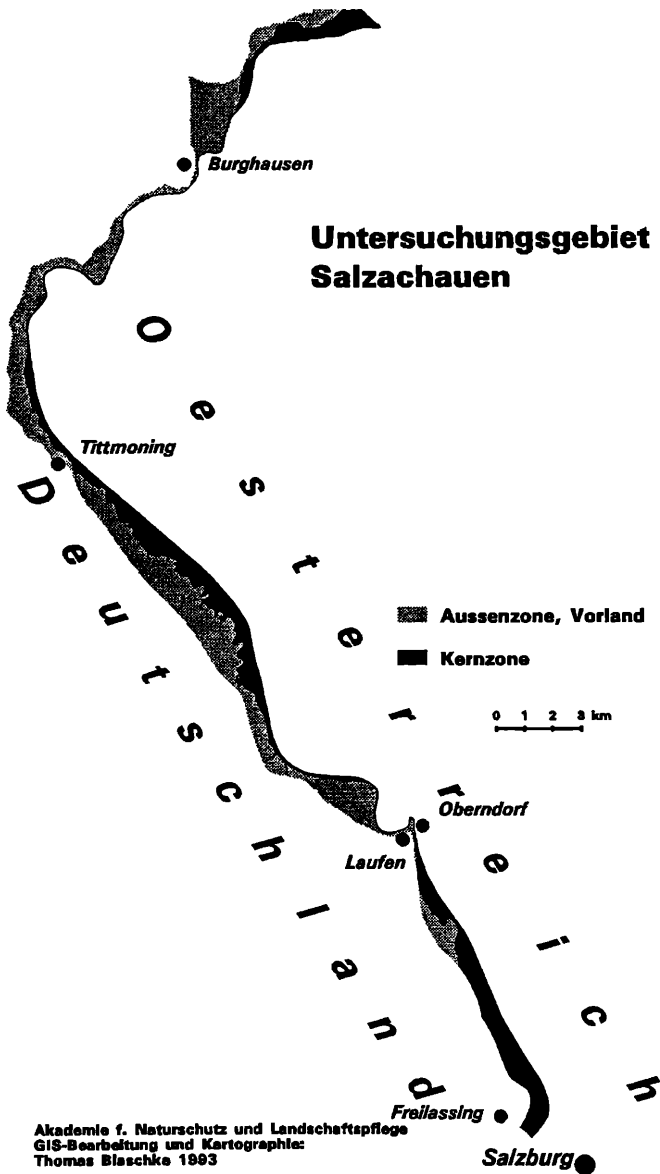
Während in manchen Bereichen, etwa bei avifaunistischen Analysen des Habitats (z.B. DAVIS et al. 1990, GRIFFITHS et al. 1993) in jüngster Zeit viel zu diesem Thema veröffentlicht wird (wenn auch nicht im deutschsprachigen Raum), so besteht in anderen Anwendungsgebieten noch großer Forschungsbedarf, vor allem für mittel- und großmaßstäbige Betrachtungen von natürlichen und naturnahen dynamischen Prozessen. Günstiger erscheint die Situation in globalen Fragestellungen. Vor allem durch höheres politisches Interesse (Rio-Konferenz, Biodiversität, global change), aber auch schon zuvor, gab und gibt es ausgehend von einem riesigen Datenpotential durch die Satellitenfernerkundung unüberschaubar viele Arbeitsgruppen und Forschungsinitiativen zu (global bis überregional)-dy-

namischen Phänomenen. Die angewandte Ökologie benötigt jedoch nach Ansicht des Autors auch zusätzliche Konzepte für großmaßstäbige Fragestellungen, nicht zuletzt in Hinsicht auf die naturschutzfachliche Relevanz, die meist rechtlich-verbindliche koordinatenscharfe Aussagen voraussetzt.

Umweltmanagement

In der Umweltbeobachtung wird versucht, quantitative und qualitative Veränderungen von abiotischen und biotischen Ressourcen zu ermitteln und zu erklären. Das Ziel von Umweltmonitoring und Dauerbeobachtung ist daher, den derzeitigen Zustand zu beschreiben und eventuelle Veränderungen so rechtzeitig wie möglich zu erkennen, um Gegenmaßnahmen einleiten zu können (vgl. SCHALLER & DANGERMOND 1991).

Ein Beispiel des effizienten Einsatzes von Fernerkundung und Geographischen Informationssystemen ist die Kontrolle des Flächenextensivierungs-



Akademie f. Naturschutz und Landschaftspflege
GIS-Bearbeitung und Kartographie:
Thomas Blaschke 1993

Abbildung 1

Untersuchungsgebiet Salzachauen

programmes der Landwirtschaft in der Europäischen Union. Dabei wird der Anbau landwirtschaftlicher Produkte bzw. die Nutzung einzelner Parzellen (über einer Mindestgröße) durch den europäischen Radarsatelliten ERS1 über eine multispektrale Klassifikation der Satellitendaten mit den Angaben im Extensivierungsprogramm verglichen.

4 Fallstudie: GIS zur Analyse der Dynamik in einem Auen-Ökosystem

4.1 Ausgangssituation und Untersuchungsgebiet

Die Salzach gehört in ihrem Unterlauf zu den wenigen Alpenvorlandflüssen, die über eine längere Fließstrecke nicht durch Staustufen verbaut sind. Strukturvielfalt, Dynamik und hoher Artenreichtum bedingen die ökologische Reichhaltigkeit des in Mitteleuropa immer seltener werdenden Ökosystems Aue. Ein großer Teil der Salzachauen ist jedoch von der Überflutungsdynamik abgetrennt und unterliegt nur noch Grundwasserschwankungen. In Folge von Flußkorrekturmaßnahmen und der Errichtung von Hochwasserdämmen tiefte sich die Salzach in den letzten Jahren stark ein und es entstand bereits in Teilen des Untersuchungsgebietes eine weitgehend überschwemmungsfreie Altaue. Standörtlich echte Weichholzaunen sind fast nur noch im Mündungsbereich vorzufinden.

Das engere Untersuchungsgebiet umfaßt die Salzachauen auf bayerischer Seite zwischen der Saalachmündung und der Mündung der Salzach in den Inn. Es ist etwa 60 km lang, zwischen 10 und 1000 m breit und weist ca. 1860 ha auf. Darüberhinaus wurde in einer Landnutzungsklassifikation auch das angrenzende Gebiet erfaßt, das auf 3600 ha hauptsächlich landwirtschaftliche Flächen sowie einige Siedlungsräume (Laufen, Tittmoning, Nonnreit, Burghausen) umfaßt. Zum Untersuchungsgebiet gehören die meist geschlossenen Waldgebiete der aktuellen und historischen Flußauen. Nach Osten bildet die

Salzach die durchgehende Grenze, während als Abgrenzung nach Westen die Verbreitungsgrenze der rezenten Aue genommen wurde. Für die Landnutzungskartierung gilt zumeist die Bundesstraße 20 als Grenze. Das Untersuchungsgebiet fällt großteils in die Naturraumeinheit 039 *Salzach-Hügelland*. Ab Reitenhaslach wird in einem Durchbruchstabschnitt die Naturraumeinheit 054 *Unteres Inn* erreicht. Durch die Siedlungstätigkeit ist der Auwaldbereich im Raum Burghausen nur noch ein schmales Relikt. Dagegen besitzen die Auwälder im Mündungsbereich der Salzach in den Inn eine nicht nur flächenmäßige Bedeutung.

Nach der detaillierten Erhebung der notwendigen ökologischen Grunddaten im terrestrischen Bereich des Talraums seit 1989 wurden die Ergebnisse in einem GIS zusammengeführt. Gegenwärtig erfolgt nach umfassender Analyse eine Bewertung des Ist-Zustands der bayerischen Salzachauen aus ökologischer Sicht sowie aus der Sicht des Naturschutzes und der Landschaftspflege. In einer weiteren Phase sollen Zieldefinitionen zur Optimierung des Systems erarbeitet werden. Im Rahmen der *Wasserwirtschaftlichen Rahmenuntersuchung* werden von der Bayerischen Landesanstalt für Wasserforschung die gewässerbiologischen Grundlagenuntersuchungen im aquatischen Bereich (Hydrochemie, Gewässergüte, schwebstoffgebundene Stoffbelastung, Makrozoobenthon, Ökomorphologie, Fischfauna) und vom Bayerischen Geologischen Landesamt hydrogeologische Untersuchungen der Salzach durchgeführt (BLASCHKE & KÖSTLER 1994).

4.2 Analyse der aktuellen Überflutungsdynamik und ihrer Entwicklung

Die relativ jungen anthropogenen Veränderungen der Flußlandschaft zeigen vielfältige Auswirkungen auf das Ökosystem. Obwohl bereits Ende der 20er Jahre die Regulierung der Salzach abgeschlossen war, herrschte weiterhin eine starke Hydrodynamik. Genauere Unterlagen fehlen zwar, doch lassen Pe-

Tabelle 1

Ökologischer Feuchtegrad und Bodenfeuchte (AG Bodenkunde 1982, S. 167)

Beispiele Vegetationseinheiten	Ökologische Feuchte (ELLENBERG)	DIN 19686 E	Beispiele Bodentypen
Röhricht, Großseggenried	meist offenes Wasser, 9 und mehr	I	
Kleinseggenried, Hochstaudenflur	naß, 8	II	Anmoorgley, Naßgley
Mädesüß-Hochstaudenfluren, Feuchtwiesen	feucht, 7	III	Gley, Auenkalkgley
Ahorn-Eschenwald, Carex alba	mäßig feucht und wechselfeucht, 6	IV	Auenkalkgley-Auenkalkbraunerde
	frisch und mäßig frisch, 5	V	Auenkalkbraunerde

gelmessungen den Schluß zu, daß erst mit der massiven Eintiefung der Salzach die Auendynamik entscheidend gestört wurde. Diese Eintiefung findet vor allem seit Mitte der 50er Jahre in Zusammenhang mit dem Geschieberückhalt und massiven Geschiebeentnahmen statt (vgl. WEISS 1981).

Gegenwärtig kann man davon ausgehen, daß die charakteristischen und ökologisch wichtigen Wechselwirkungen zwischen Fluß und Flußaue kaum mehr gegeben sind (FOECKLER et al. 1992). Genauere Aussagen sind jedoch erst möglich nach Abschluß des Gesamtprojektes, in dem einer der Schwerpunkte in der Ermittlung der Hydrodynamik der verbliebenen Auwälder liegt. Großflächige Überschwemmungen fast der gesamten Aue sind z.B. im Gebiet zwischen der Saalachmündung und Laufen nur für die Hochwasser 1954 und 1964 nachgewiesen. Selbst das Hochwasser vom August 1991 konnte den südlichen Teil dieses Abschnittes nur partiell überfluten. Nach ELLENBERG (1982) sind Pflanzengesellschaften und Böden nur soweit zur Flußaue zu rechnen, wie überhaupt Überschwemmungen reichen. Wo das nicht mehr der Fall ist, mache sich das Fehlen eines beherrschenden Faktors früher oder später im Artengefüge bemerkbar.

Die natürliche Hydrodynamik

Das Flußbett der unregulierten Salzach entsprach bis auf die Durchbruchsstrecken im Großteil des Untersuchungsgebietes dem eines Mittellaufes mit breiten Umlagerungsstrecken. In Folge der häufigen Hochwässer bei saisonal stark schwankender Wasserfüh-

rung waren die Auen einer stetigen, raschen Umformung unterworfen. Die für die Aue und ihre Auwälder bestimmenden Faktoren sind die Hochwasser mit den damit verbundenen Überflutungsereignissen und das hoch anstehende Grundwasser. Fauna und Flora sind in solchen unregulierten Systemen dynamischen Verjüngungsprozessen ausgesetzt, die in unserer heutigen Kulturlandschaft selten geworden sind. Die an Fließgewässerdynamik gebundenen Tierarten sind vielfach gefährdet. Die für die Salzach als Alpenfluß typischen (früh)sommerlichen Hochwasser fallen in die Hauptvegetationszeit. Auch über die Hochwasser hinaus sind die Auen von wechselnden Flußwasserständen abhängig, da zwischen dem Grundwasser und dem fließenden Wasser ein unmittelbarer Zusammenhang besteht. Bei Niedrigwasser und Mittelwasser wird der Fluß zusätzlich vom Grundwasser gespeist, während bei Hochwasser sich das zum Fluß hin bewegende Grundwasser aufstaut.

Im Falle der Salzach ist diese natürliche Dynamik insofern beeinträchtigt, daß sich die Salzach vor allem zwischen der Saalachmündung und Laufen stark eingetieft hat (Ergebnisse langjähriger Untersuchungen werden bis Ende 1994 vorliegen).

Direkte und indirekte Erfassung der Hydrodynamik mit einem GIS

Aus dem digitalen Geländemodell (DGM) und hydrologischen Messungen können mittels eines GIS Oberflächenabflußmodelle und Grundwassermodelle berechnet werden. Für die Fallstudie steht ein

Tabelle 2

Verbreitung der häufigsten Bodentypen im Untersuchungsgebiet

	Bodentyp	bodenkundl. Feuchtegrad	Häufigkeit	Fläche in ha
10	Auenkalkbraunerde	V	312	231,9
11	Auenkalkbraunerde	V	312	163,1
12	Auenkalkbraunerde	V	430	530,6
13	Auenkalkbraunerde	V	1	0,1
14	Auenkalkbraunerde	V	130	72,3
15	Auenkalkgley-Borowina	IV	9	1,8
16	Auenkalkgley-Auenkalkbraunerde	IV	20	2,9
17	Auenkalkgley-Auenkalkbraunerde	IV	219	82,4
18	Auenkalkbraunerde-Auenkalkgley	IV	35	7,7
19	Auenkalkbraunerde-Auenkalkgley	III	150	42,6
20	Auenkalkgley	III	30	19,9
21	Auenkalkgley	III	123	38,5
22	Auenkalknaßgley	II	66	14,7
23	kalkhalt. Auenanmoorgley	II	21	3,6

Tabelle 3

Feuchtegrad der Vegetationsklassen Wald

Nr.	Vegetation	ökolog. Feuchte	ha
31	Uferweiden	7,4	54,7
32	Silberweiden-Auwald u. <i>Salix alba</i> -Ausbildung d. Grauerlen-Auwald	6,9	124,7
33	Grauerlen-Auwald, reine Ausprägung	6,6	251,6
41	Grauerlen-Auwald mit Frühjahrsgeophyten	6,8	371,1
42	Grauerlen-Auwald, <i>Equisetum hymale</i>	6,6	43,1
43	Grauerlen-Auwald, <i>Brachypodium pinnatum</i>	5,8	3,8
44	Grauerlen-Auwald, <i>Arum maculatum</i>	6,5	163,5
51	Ahorn-Eschenwald, <i>Carex alba</i> mit <i>Alnus incana</i>	6,0	41,1
52	Ahorn-Eschenwald, <i>Carex alba</i>	5,7	109,6
53	Ahorn-Eschenwald, <i>Carex alba</i> mit <i>Fagus sylvatica</i>	5,6	16,8

genaues Geländemodell zur Verfügung, die notwendigen Grundwasserdaten liegen jedoch noch nicht vollständig vor. Daher konnte in der ersten Analysephase dieser **direkte** und zielführende Weg der Analyse nicht beschränkt werden. Sobald die nötigen Daten zugänglich sind, werden entsprechende Berechnungen vorgenommen, nicht zuletzt zur Genauigkeitsabschätzung der indirekten Ermittlung der Dynamik. Generell ist eine solche Situation sicher nicht selten: Oft muß ohne exakte (vor allem quantitative und räumlich und zeitlich ausreichend auflösende Daten) relativ rasch eine Beurteilung erfolgen, vor allem wenn Eingriffe geplant sind. Auch in diesem Zusammenhang sollen die nachfolgenden Beispiele der indirekten Ermittlung der Dynamik als Anregungen gesehen werden, wie alternativ dazu im Sinne einer "Schnellansprache" Datenschichten als Indikatoren genutzt werden können.

Beispiele der indirekten Ermittlung der Hydrodynamik mit Hilfe eines GIS

Daher wird von folgender **Hypothese** ausgegangen: Unterschiedliche Typen von Auwäldern sind an einen bestimmten Rhythmus von Überschwemmungen angepaßt. Bei Veränderungen dieser Dynamik kann die Baumschicht nur sehr langsam reagieren, die Krautschicht dagegen schneller.

Daher können aus der getrennten Kartierung von Baum- und Krautschicht Schlüsse auf die Entwicklungsphase einer gegebenen Umwandlungsdynamik gezogen werden.

Deutlich schneller als die Vegetation reagiert jedoch der Boden auf Veränderungen des Feuchteregimes. Eine Eintiefung, die das Ausbleiben von Hochwässern und ein Absinken des Grundwasserspiegels bewirkt, sollte daher in groben Zügen durch das Auseinanderklaffen der getrennt erhobenen Datenschichten charakterisiert werden können.

Tabelle 4

Frühjahrsgeophyten

Geophytenklassen	Häufigkeit	Fläche
1a	112	330,31
1b	67	158,23
2	72	166,62
3	44	64,52
4	41	57,21
5a	1	3,16
5	15	14,13

Bodenkartierung

Aus der detailliert vorliegenden Kartierung der Bodentypen können die ökologischen bodenkundlichen Feuchtegrade (I offenes Wasser, VIII sehr trocken) und Kategorien des Grundwasserabstandes abgeleitet werden. Tab. 2 zeigt das Vorkommen der häufigsten der 23 Bodentypen im Untersuchungsgebiet.

Ökologische Feuchtezahl der Vegetation

Im Zuge der Kartierung der realen Vegetation wurden für jede Vegetationseinheit verschiedene Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1991) berechnet. Davon wird zunächst die Feuchtezahl, die das durchschnittliche ökologische Verhalten gegenüber der Bodenfeuchtigkeit bzw. dem Wasser als Lebensmedium ausdrückt, detailliert betrachtet.

Diese beiden unterschiedlichen Feuchtezahlen sind schwierig miteinander zu vergleichen. Zwar entspricht ein bodenkundlicher Feuchtwert von 4 in etwa einer Ellenberg'schen Feuchtezahl von 6 (vgl.

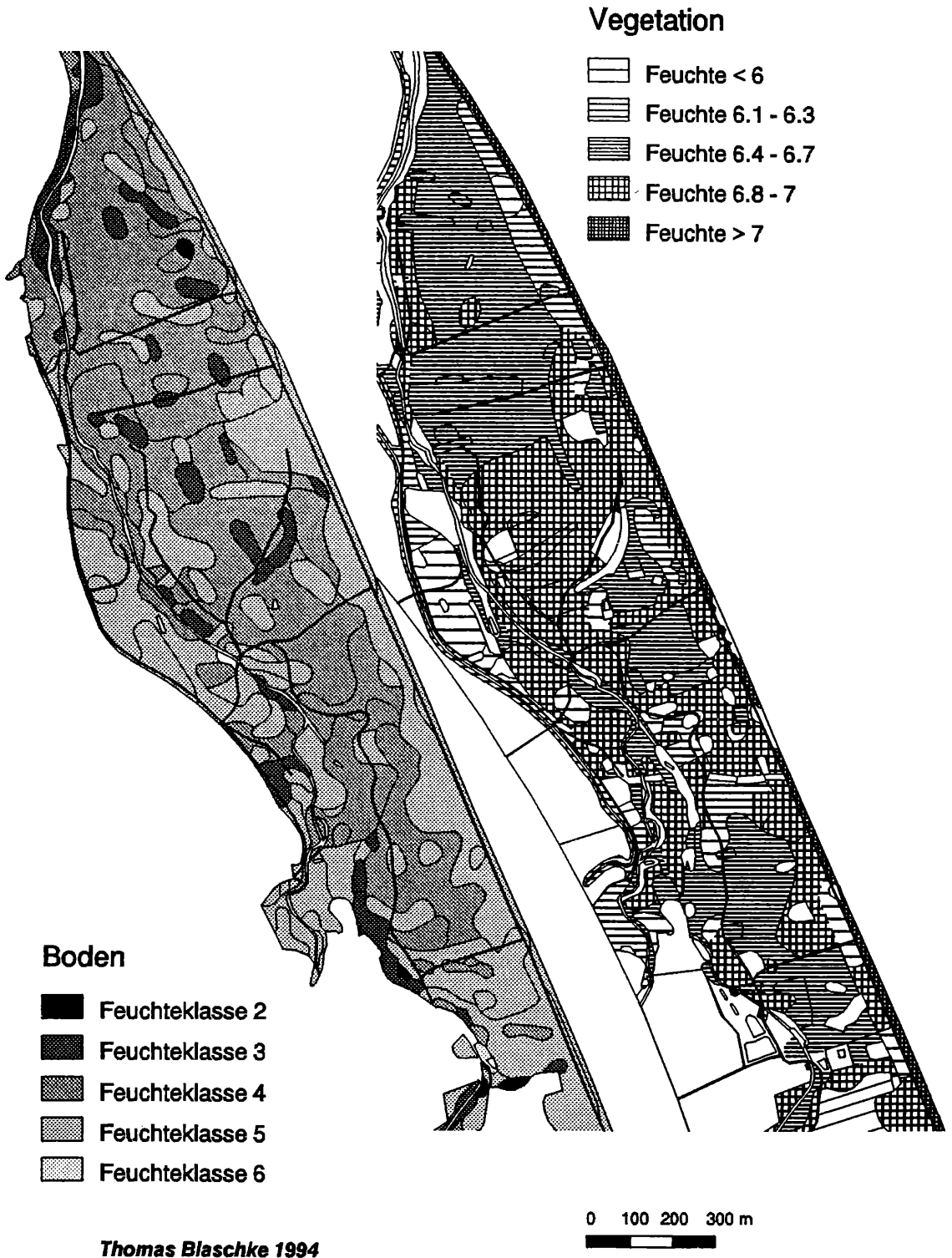


Abbildung 2

Feuchte aus der Vegetationskartierung (nach ELLENBERG) versus Feuchte aus der Bodenkartierung: Visueller Vergleich. Untersuchungsgebiet bayerische Salzachauen, Ausschnitt Surmündung (Salzach Flußkilometer 53 bis 49)

Berechnung: Feuchte der realen Vegetation nach ELLENBERG minus inverser Bodenfeuchtwert der DIN 19686 E

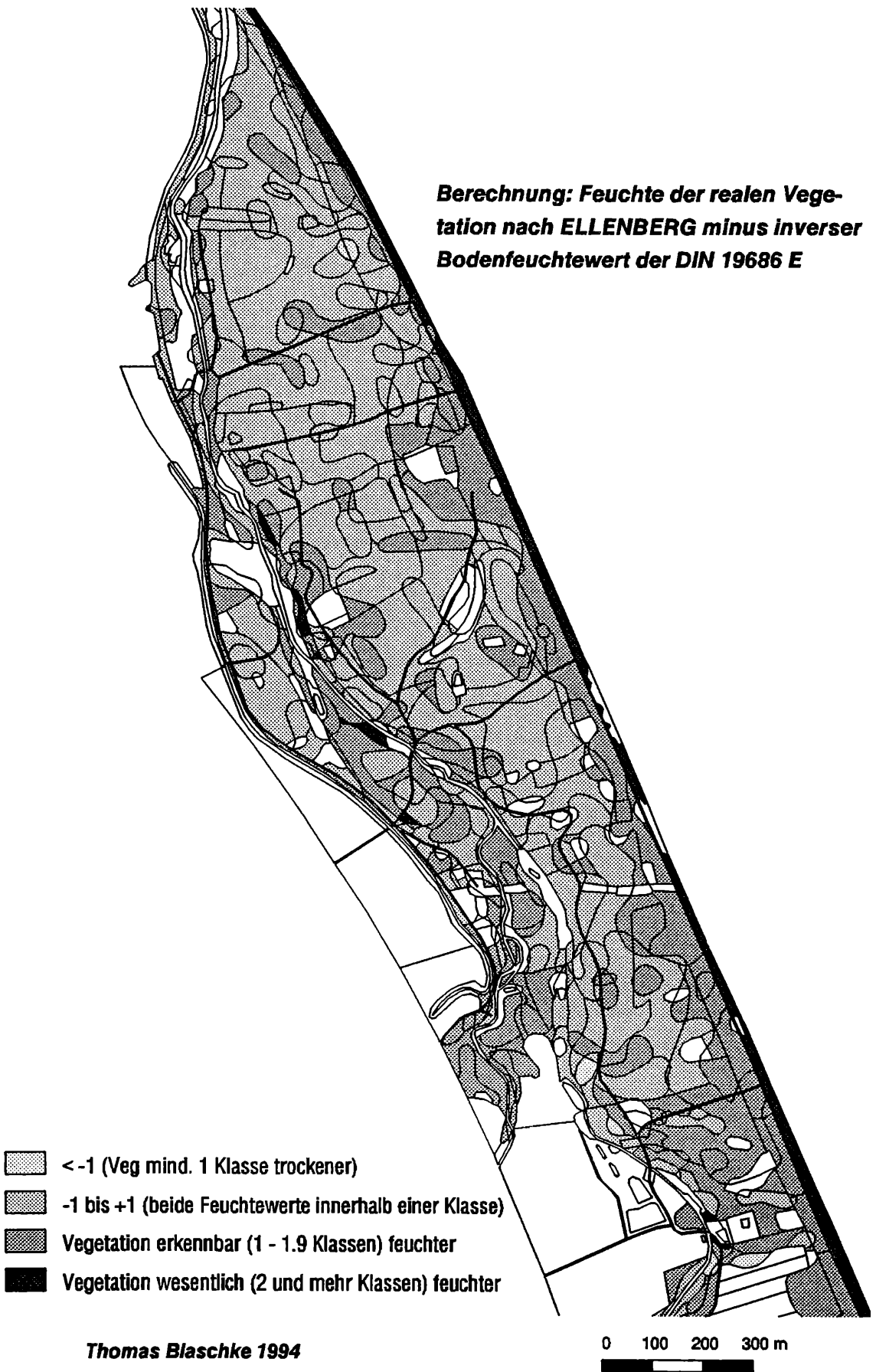


Abbildung 3

Differenz aus dem ökologischen Feuchtwert und dem Feuchtwert aus der Bodenkartierung. Untersuchungsgebiet bayerische Salzachauen, Ausschnitt Surmündung (Salzach Flußkilometer 53 bis 49)

AG Bodenkunde 1982) (vgl. Tab. 1), doch wie ist die Feuchtezahl von 6,4 einzuordnen? Trotz dieser Unschärfe werden beide Ausprägungen in Abb. 2 visuell gegenübergestellt. Die Kartierung der Vegetation ergibt einen im Schnitt um eine Klasse höheren (= feuchteren) Wert.

Die sehr feuchten Bereiche von Gräben und ehemaligen Flutrinnen zeigen in beiden Kartierungen jedoch großteils gleichwertige Feuchteklassen. Es scheinen daher Indizien vorzuliegen, daß die Eintiefung der Salzach eine allmähliche Austrocknung der Aue zur Folge hat. Dies ist jedoch nur eine Interpretationshilfe innerhalb der langjährigen Studie und kein Endergebnis.

Es soll an dieser Stelle dazu dienen, die Möglichkeiten Geographischer Informationssysteme anzudeuten, die auch bei einem Fehlen quantifizierbarer Informationen durch Ableitung sekundärer (nicht im Gelände meßbarer) Datenschichten gegeben sind. Eine rechnerische Gegenüberstellung der bei-

den Datenschichten wäre auf analogem (nicht digitalen) Weg kaum möglich.

Eine vorläufige Schlußziehung (im Sinne einer Interpretationshilfe zur weiteren Vorgangsweise, nicht eines wissenschaftlichen Beweises) scheint daher die zu Grunde liegende Hypothese zu bestätigen, daß eine mittel- bis langfristige Veränderung der Feuchtigkeitsverhältnisse vorliegt, auf die der Boden schneller reagiert als die Vegetation.

Bioindikation der Hydrodynamik durch Frühjahrsgeophyten

Zu einer groben Einschätzung der Hydrodynamik kann bei fehlenden Daten auch das Vorkommen verschiedener Pflanzen aus der Vegetationskartierung dienen. Im vorliegenden Fall wurde, bevor genauere Daten vorlagen, in einem ersten Schritt versucht, Frühjahrsgeophyten als Zeigerarten zur Interpretation der Feuchtigkeitsverhältnisse heranzuziehen. Die Frühjahrsgeophytenbestände der Salz-

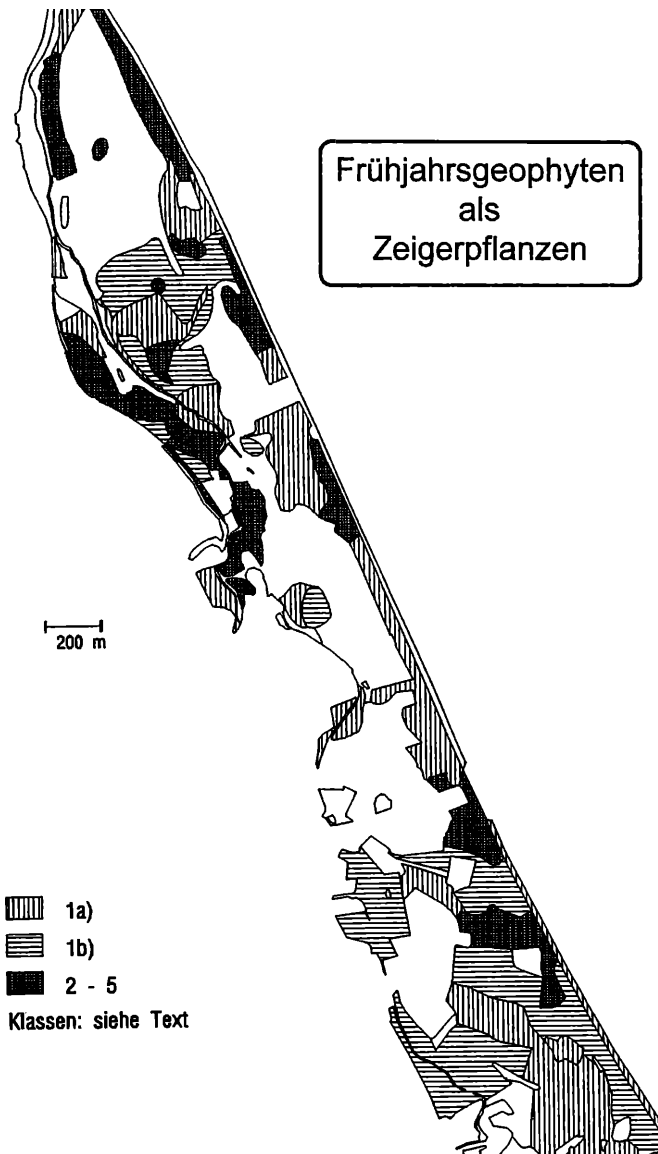


Abbildung 4

Frühjahrsgeophyten als Zeigerpflanzen. Untersuchungsgebiet bayerische Salzachauen, Ausschnitt Surmündung (Salzach Flußkilometer 53 bis 49)

achauen, besonders Schneeglöckchen (*Galanthus nivalis*) und Märzenbecher (*Leucojum vernum*) sind von überregionaler bis landesweiter Bedeutung.

Es wurden folgende Kartiereinheiten unterschieden:

0: Praktisch frei von Geophyten

1: Gruppe der wenig differenzierenden Arten (*Scilla biofolia*, *Anemone ranunculoides*, *Allium ursinum*, *Primula elatior*)

1a: spärliches Auftreten von 1)

1b: zerstreutes bis verbreitetes Aufkommen von 1)

2: Schwerpunktorkommen von *Galanthus nivalis* von anderen Arten aus 1) begleitet

3: gemeinsames Auftreten von *Galanthus nivalis* und *Leucojum vernum* mit Arten aus 1)

4: wie 3), aber ohne *Galanthus nivalis*

5: Arten aus 1) ohne *Galanthus nivalis* und *Leucojum vernum*, mit *Hepatica nobilis* und *Carex alba*

5a: wie 5), jedoch mit *Galanthus nivalis* und/oder *Leucojum vernum*

Es wurde von der Annahme ausgegangen, daß die Weichholzaue weitgehend frei von Geophyten sei, da diese langandauernde Überflutungen meiden und diese hauptsächlich wenn auch mit unscharfen Übergängen und Verzahnungen - die Hartholzaue besiedeln.

Andererseits führt die starke Eintiefung der Salzach vor allem zwischen Freilassing und Laufen zu einem Rückgang der Hartholzauen und einer Umwandlung in standörtlich trockenere Ahorn-Eschenwälder. Nur bei ausreichend hohem Grundwasserspiegel oder austretendem Qualmwasser können sich Geophyten langfristig halten. Diese ersten, groben Einschätzungen scheinen sich auch in Abb. 4 zu bestätigen. Die wertvollsten Bestände (*Galanthus* und *Leucojum*) folgen im dargestellten Ausschnitt teils den Seitenbächen.

Auch die Karte der Bodenfeuchte zeigt, daß eine bei ungestörten Verhältnissen zu erwartende Abfolge von den Uferweidenbeständen über die Weichholzaue hin zur Hartholzaue nicht gegeben ist. Dort, wo die Kartierungsergebnisse der Geophyten nicht mit der Baumschicht übereinstimmen, z.B. ein massives Vorkommen in der Weichholzaue, ist also zu prüfen, ob dies auf ein Fortschreiten der Sukzession durch geänderte hydrologische Verhältnisse zurückzuführen ist.

Bei der Analyse der räumlichen Verbreitung der Frühjahrsgeophyten und ihrer Korrelation mit anderen Datenschichten mittels des Geographischen Informationssystems konnten erste Ergebnisse abgeleitet werden, die die weitere Vorgangsweise im Gesamtprojekt z. T. beeinflussen.

Zum Wert unscharfer Ableitungen aus Primärdaten innerhalb der Studie Salzachauen

Trendabschätzung

Da Langzeitbeobachtungen derzeit nicht vorliegen, sollen mit Hilfe eines Geographischen Informati-

onssystems die vorliegenden, meist unitemporalen Datenschichten verknüpft werden, um eine integrative Betrachtung zu ermöglichen. Bei den Feuchtewerten fällt auf, daß die aus der Datenschicht *Boden* und *Reale Vegetation* konstruierten Werte nicht genau übereinstimmen, jedoch denselben Trend zeigen. Es zeigt sich, wie zuvor beschrieben, ein klares Bild der herrschenden Hydrodynamik, ohne jedoch diesen Trend quantifizieren zu können.

Fuzzy-Daten

Man darf die Ergebnisse der Modellbildung nicht mit flächenscharfen Daten verwechseln, sondern muß sie im Sinne einer *fuzzy logic* als **räumliche Antreffwahrscheinlichkeiten** eines bestimmten Zustandes ansprechen. Die Ergebnisse eignen sich daher auch nicht zur koordinatengenauen räumlichen Abgrenzung, etwa einer Schutzgebietsausweisung. Andererseits werden hierdurch Trendanalysen mit thematisch und temporal eigentlich nicht hoch genug auflösenden Ausgangsdaten ermöglicht, die bisher nur Experten mittels analoger Vergleiche mit Erfahrungswissen möglich waren.

Qualitative und quantitative Aussagen ergänzen sich

Eine komplexe Betrachtung der aktuellen Hydrodynamik und bestehenden Entwicklungstendenzen ist auf den beschriebenen Wegen der indirekten Ermittlung trotz limitierender Rahmenbedingungen (zeitlich, finanziell, personell) möglich. Hinsichtlich einer Quantifizierung dieser Dynamik sind jedoch die exakten Daten (siehe "direkter Weg") nötig, die in der Studie Salzachauen in Kürze vorliegen und mit deren Hilfe eine Genauigkeitsabschätzung der indirekten Ermittlungsmethoden durchgeführt werden kann. Es darf dabei jedoch nicht übersehen werden, daß ein digitales Grundwasser- und Abflußmodell nur den gegenwärtigen Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme wiedergibt und alle Möglichkeiten der Simulation bietet, jedoch keinen Aufschluß über die Entwicklung der Hydrodynamik in den letzten Jahren gibt. Es stellt sich daher heraus, daß beide Vorgangsweisen sich nicht ausschließen sondern vielmehr **ergänzen**.

5 Beispiel faunistischer Analyse: Das "Potential range"-Konzept

Strukturvielfalt, Dynamik und hoher Artenreichtum bedingen die ökologische Reichhaltigkeit des Ökosystems Aue. Wie zuvor kurz beschrieben, stellen die Auwälder der unteren Salzach einen nicht mehr natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten, dennoch sehr wertvollen und selten gewordenen Lebensraum dar. Aus ornithologischer Sicht zählen die Auwälder zu den artenreichsten Waldbiotopen Europas. Daher soll aus dieser Artengruppe im folgenden ein kleines Beispiel dargestellt werden, um aus ornithologisch-ökologischer Sicht Aussagen über den Zustand des Gebietes treffen zu können.

5.1 Vom Punkt zur Fläche

In der einfachsten kartographischen Darstellung von punkthaften Phänomenen wird jedem Beobachtungspunkt eine einzelne Signatur zugewiesen. Dies ist für verschiedene Anwendungen zielführend, nicht jedoch, wenn flächenhafte Aussagen abgeleitet werden sollen.

Die Kartographie bietet seit Jahrzehnten standardisierte Methoden, Flächenkarten zu erstellen (Punkt- oder Punktstreuungskarten, Isolinien- oder Isarithmenkarten, Choroplethenkarten, Rasterdarstellungen). In Abhängigkeit vom "Niveau" der Daten (nominal, ordinal, metrisch ...) können bei der Konstruktion der Flächendarstellungen auch Distanzen, Gewichtungen und zum Teil topologische Beziehungen berücksichtigt werden. Dagegen wird der Raum, in dem die Interpolation erfolgt, als homogen angenommen. Diese Restriktion trifft in der Realität jedoch selten zu, vor allem für die Verbreitung von Tierarten ergeben die klassischen Verfahren der Kartographie keine befriedigenden Ergebnisse.

Ausgehend von autökologischen Kenntnissen aus der Literatur und empirischen Beobachtungen wird unter der Annahme einer hohen Korrelation zwischen Habitatparametern und den ökologischen Ansprüchen einer Art deren potentielle Verbreitung (*potential range*, BUSBY 1988, DAVIS et al. 1990, D'OLEIRE-OLTMANNNS 1991, BLASCHKE 1993) konstruiert. Dabei werden die punkthaften Beobachtungsdaten mit flächenhaft vorliegenden Daten der Habitatausprägung (Vegetation, Struktur, Landnutzung, Boden, Höhenlage etc.) verschnitten. Jedem Beobachtungspunkt wird zunächst eine Fläche in Form eines Kreises (*buffer*, "Distanzkorridor") zugeordnet, dessen Mittelpunkt der Beobachtungspunkt ist. Technisch möglich, erscheint es angesichts der im Vergleich etwa zur Vegetation geringen Aufnahme Genauigkeit jedoch als bedenklich, punktgenau vorzugehen, vor allem bei der Avifauna, wo teilweise nach Gehör kartiert wird und daher einige Zehner von Metern Abweichung möglich sind.

Die Korrelationen zwischen den Beobachtungspunkten und den einzelnen Datenschichten werden überprüft und die Datenschichten mit einem hohen (signifikanten) Erklärungsgehalt an der Verteilung einer Art zur Erstellung eines Verbreitungsmodells herangezogen. Vor allem die Strukturkartierung, aber auch weitere Merkmale der Fundorte (Reale Vegetation, Boden, Hangneigungsklasse ...) sowie die theoretisch benötigten Strukturen aus einem Literaturvergleich werden mit den beobachteten Verteilungen verglichen. In der konkreten Fallstudie werden die als Buffer dargestellten Beobachtungspunkte mit flächenhaften Datenschichten verschnitten und mit Hilfe einer χ^2 -Einfachanordnung die Abweichungsmaße über alle Klassen mit einem Flächenanteil am Verschneidungsergebnis von mehr als 2 % ermittelt.

Das Ergebnis ist im Gelände auf seine Plausibilität zu überprüfen und gegebenenfalls die Ableitungsvorschriften zu verändern bis durch immer verfeinerte Verfahren potentielle Verbreitungskarten entstehen (vgl. D'OLEIRE-OLTMANNNS 1991, SCHUSTER 1990, STOMS et al. 1992). Auch mit weiteren Grunddatenschichten werden Verschneidungen durchgeführt und die Ergebnisse statistisch getestet, welche Datenschichten auf welchem Signifikanzniveau Aussagen ermöglichen. Ein weiterer, wichtiger Schritt wäre, die Flächendaten mit zufallsgenerierten Punktdaten zu verschneiden, um mögliche Fehlerquellen, etwa Verletzungen statistischer Bedingungen und/oder räumlicher Autokorrelationen aufzudecken.

Bei der praktischen Umsetzung des "potential range"-Konzeptes ergeben sich jedoch Probleme: Man kann nicht für alle Arten gleich vorgehen. Für einige Taxa, wie z.B. den Libellen, scheint die beschriebene Vorgangsweise zu genügen. Beim Graureiher müssen dagegen verschiedene genutzte Gebiete unterschieden werden. Eine reine Hochrechnung auf zur Verfügung stehende Brutgebiete aufgrund der vorliegenden zwei Beobachtungen im Untersuchungsgebiet ergäbe hunderte von potentiellen Brutgebieten. Hier müssen zusätzliche Kriterien aus der Literatur über theoretisch benötigte Habitate miteinfließen. Die vorgestellte Methode der Konstruktion von potentiellen Verbreitungsgebieten erscheint aufgrund der bisherigen Erfahrungen im vorliegenden Projekt sowie im Nationalpark Berchtesgaden (vgl. D'OLEIRE-OLTMANNNS 1991, SCHUSTER 1990) als sinnvoll, wenn auch problematisch. Man darf jedoch die Ergebnisse der Modellbildung nicht mit flächenscharfen Daten verwechseln, sondern muß sie im Sinne einer *fuzzy logic* als Antreffwahrscheinlichkeiten betrachten (vgl. OPEN-SHAW 1989).

Während Aussagen über Häufigkeiten und über die Populationsdynamik in der Regel nur durch arbeitsintensive Felderhebungen getroffen werden können, ist es in dieser Methode mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen möglich, aus Punktbeobachtungen (vgl. D'OLEIRE-OLTMANNNS 1991) und aus deren Verknüpfung mit Fernerkundungsdaten (vgl. ASPINALL & VEITCH 1993, GRIF-FITHS et al. 1993) mittels Modellbildung potentielle Verbreitungsgebiete abzuleiten. Andererseits wird angesichts des vorliegenden Betrachtungsmaßstabs (Kartierungen meist 1:5000, Auswertungen meist 1:10000) die Grenze der Anwendbarkeit dieser Methodik erreicht, die für den *landscape scale* (vgl. LAVERS & HAINES-YOUNG 1993) konzipiert wurde. Dem Autor ist trotz intensiver Literaturstudie keine *potential-range*-Studie ähnlichen Betrachtungsmaßstabes bekannt.

5.2 Das Leitarten-Konzept

Im Projekt Salzachauen wird zur Analyse des Ökosystems u. a. auf das Konzept der *Charakterarten*, *Zeigerarten* oder *Leitarten* (vgl. MÜHLENBERG

Vorkommen von Leitarten der Avifauna und aggregierte Vegetation

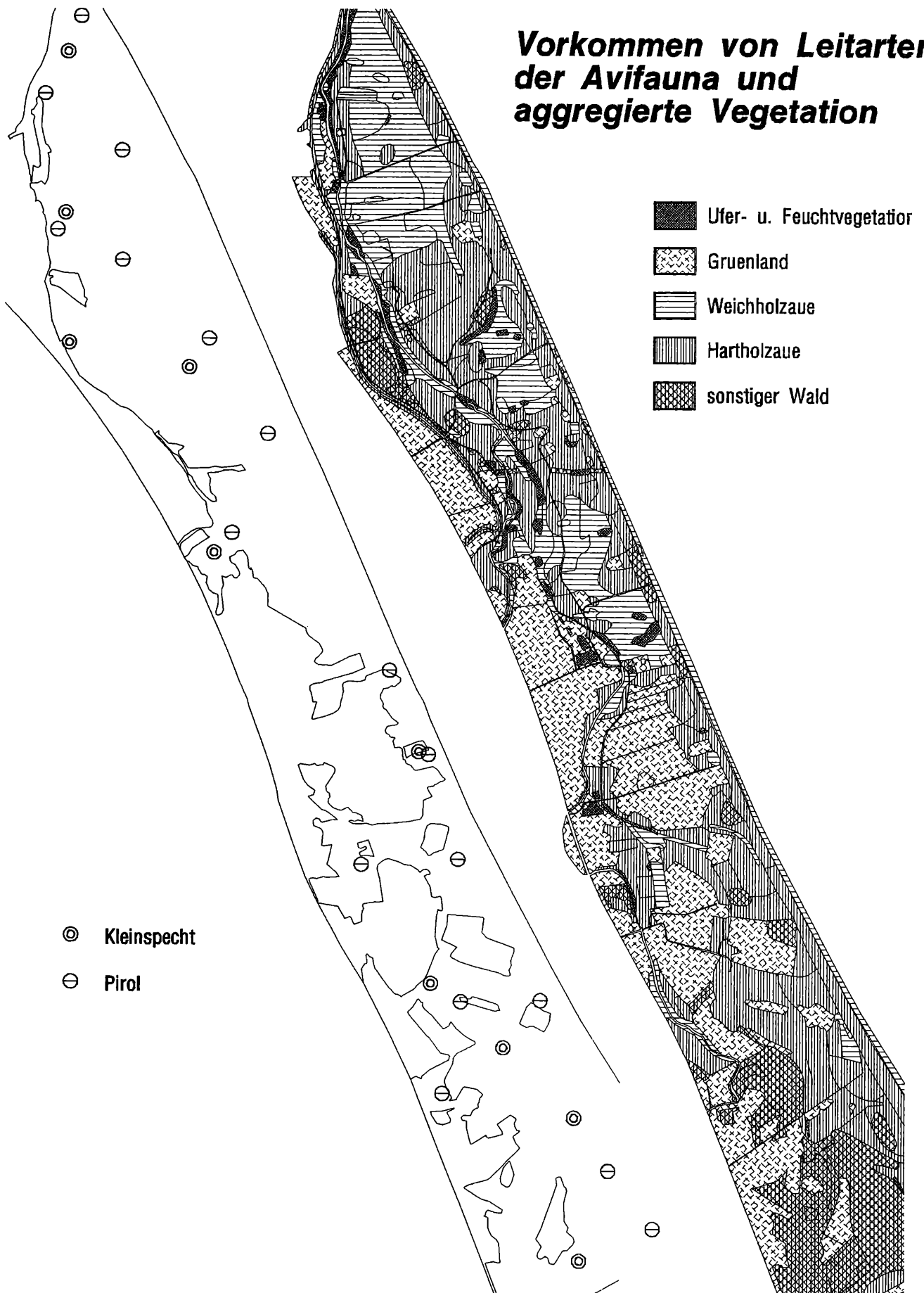



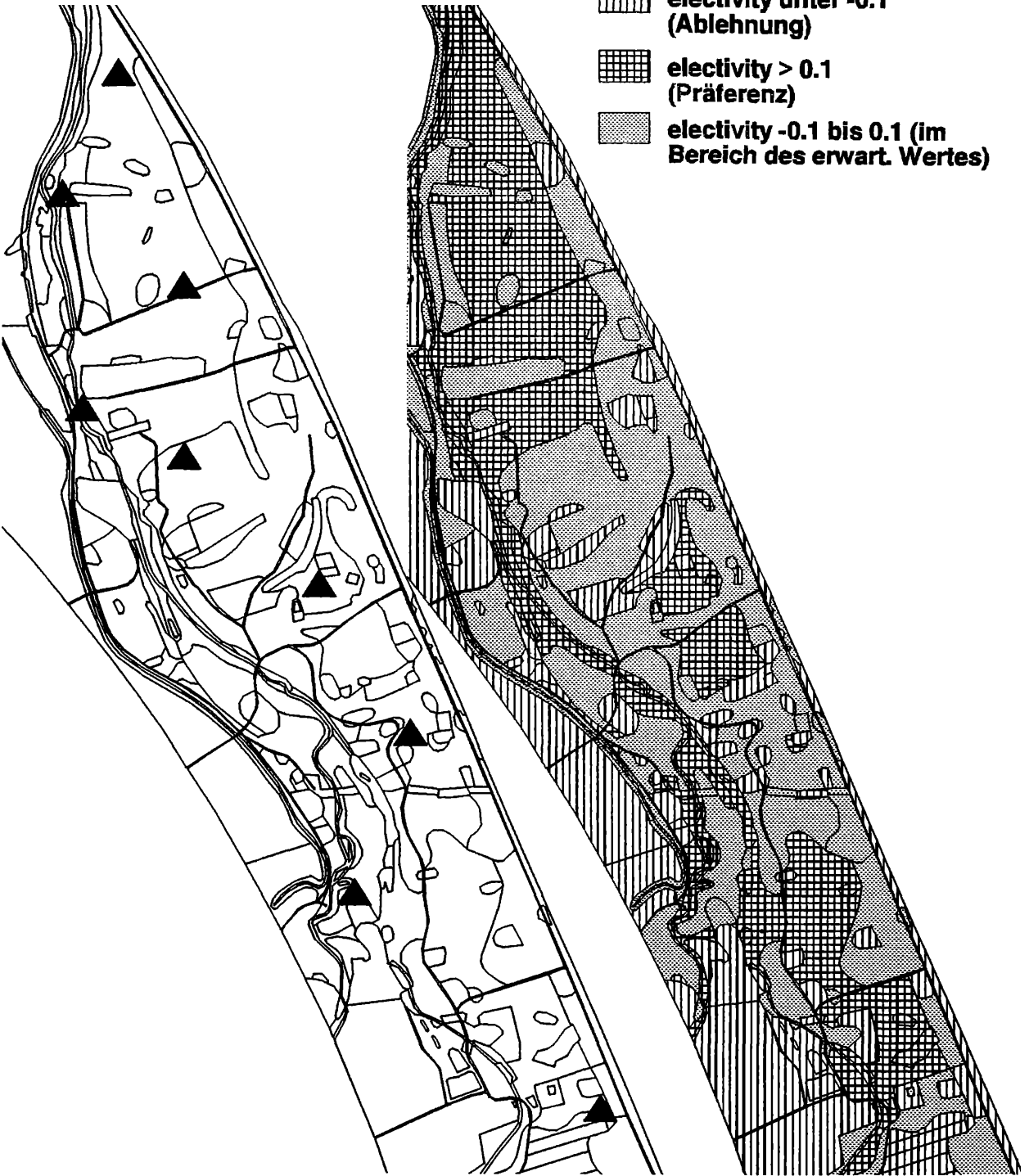


Abbildung 5

Vorkommen von Leitarten der Avifauna und aggregierte Vegetation. Untersuchungsgebiet bayerische Salzachauen, Abschnitt zwischen Freilassing und Surmündung (Flußkilometer 59 bis 49)

-  **electivity unter -0.1 (Ablehnung)**
-  **electivity > 0.1 (Präferenz)**
-  **electivity -0.1 bis 0.1 (im Bereich des erwart. Wertes)**



▲ Beobachtungspunkte Pirol, $r = 35\text{m}$

Thomas Blaschke 1994


0 100 200 300 m


Abbildung 6

Beobachtungspunkte des Pirol und Ergebnis der Habitatanalyse mittels electivity-Index. Untersuchungsgebiet bayerische Salzachauen, Ausschnitt Surmündung (Salzach Flußkilometer 53 bis 49)

Tabelle 5

Pirolvorkommen und wichtigste Strukturtypen bei 35 m *buffer*-Radius

Nr.	Strukturtyp	Häufigkeit	Fläche (ha)	Str.typ gesamt	beob. Wert (% der Kreisfl.)	erwart. Wert	Präferenz Faktor	elec- tivity	Abwei- chung
74	Baum, Altholz, gleichalt	71	11,76	572,35	39,18	30,68	1,28	0,12	2,35
73	Stangenholz	43	4,47	278,52	14,89	14,93	1,00	0,00	0,00
81	Baum, Altholz, gestuft	16	3,13	174,81	10,43	9,37	1,11	0,05	0,12
82	off. Strukt., lück. Baumschicht	8	1,50	38,59	5,00	2,07	2,42	0,41	4,15
72	Dickung, Jungwuchs	21	1,38	90,26	4,60	4,84	0,95	-0,03	0,01
52	Wirtsch.grünland int.	12	1,25	194,67	4,16	10,44	0,40	-0,43	3,78
41	Röhricht	19	1,10	36,90	3,66	1,98	1,85	0,30	1,43
61	Damm	18	0,90	41,99	3,00	2,25	1,33	0,14	
11	Stillgewässer	8	0,61	52,27	2,03	2,80	0,73	-0,16	
13	Bach, Graben	16	0,52	18,70	1,73	1,00	1,73	0,27	
43	Hochstaudenflur	6	0,52	15,72	1,73	0,84	2,06	0,35	
71	Aufforstung, gleichalt	5	0,41	32,55	1,37	1,74	0,78	-0,12	
	gesamt		30,017	1865,47					11,84

Tabelle 6

Pirolvorkommen und wichtigste Lebensraumtypen bei 35 m *buffer*-Radius

LEB	Häufigkeit	Fläche (ha)	beobachteter Wert (% der Kreisfläche)	erwarteter Wert	Faktor	electivity	Abweichung
ABB	58	9,65	25,59	23,4	1,09	0,04	0,20
ADB	10	0,63	1,67	7,5	0,22	-0,64	4,53
BD	6	0,21	0,56	2,6	0,21	-0,65	1,61
ABC	7	0,83	2,20	7,1	0,31	-0,53	3,38
EBA	12	1,26	3,34	11,0	0,30	-0,53	5,33
ADA	39	3,79	10,05	11,9	0,84	-0,08	0,29
ABA	45	6,19	16,41	11,7	1,40	0,17	1,90
EAB	22	1,77	4,69	6,9	0,68	-0,19	0,71
gesamt		33,713	77,67				19,80

ABA: Weichholzaue
 ABB: Hartholzaue
 ABC: Niederungswald
 ADA: Laubholzforst

BD: Feuchtgebüsch
 EAB: Aufforstung
 EBA: Grünland
 ADB: Nadelholzforst

1989, PLACHTER 1991, PLACHTER 1992a) der Fauna zurückgegriffen, indem das Vorkommen bzw. Nicht-Vorkommen einzelner, ausgewählter Arten als wertbestimmendes Kriterium eines Biotopes angesehen wird. Nicht zuletzt, da die Bewertung der Fauna wiederum nur ein Element der Gesamtbewertung des Lebensraumes darstellt, erscheint diese Vorgangsweise der Bioindikation gerechtfertigt. Von der früher üblichen Artendiversität als Wertkriterium eines Lebensraums wird mehr und mehr Abstand genommen, da der grundlegende Zusammenhang zwischen Artenreichtum und anderen ökologischen Größen, wie z. B. Stabilität, angezweifelt werden muß (vgl. BEGON et al. 1990).

5.3 *potential range:* Beispiele für zwei Vogelarten

Der **Pirol** (*Oriolus oriolus*) bevorzugt lichte Nadelwälder und nähert sich im Untersuchungsgebiet seiner Verbreitungsgrenze. In randalpiner Lage sind die Auwälder ein Verbreitungsschwerpunkt (vgl. FEIGE 1986). Die Siedlungsdichte im Untersuchungsgebiet wird von WERNER & WINDING (1988) mit 5,8 bis 6,3 pro km² angegeben. Mit Hilfe des Geographischen Informationssystems kann noch weiter differenziert werden, als selbst die Originalbearbeiter dieser Untersuchung mit analogen Daten konnten.

Wenn beispielsweise statt der vorgegebenen Abgrenzung des Untersuchungsgebietes nur der Lebensraum *Aue im weiteren Sinne* herangezogen wird und intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen, die teils weit ins Untersuchungsgebiet vordringen (inselhafte Einbuchtungen im südl. Teil der Abb. 2 bis 5) und Fichtenforste ausgegrenzt werden, erhöhen sich die Werte für den Pirol auf bis zu 7,5 BP/km².

In Tab. 5 werden die wichtigsten Strukturtypen und ihr Erklärungsgehalt am Vorkommen des Piroles dargestellt. Dabei werden die Anteile der Strukturtypen an der Summe der gebufferten Kreise (beobachteter Wert) mit dem zu erwartenden Wert einer theoretisch angenommenen Gleichverteilung (Nullhypothese) gegenübergestellt. Ein einfacher Präferenzfaktor (beobacht. Wert/erwart. Wert) gibt Aufschluß über die Präferenz einer einzelnen Klasse (in diesem Fall *Strukturtyp*). Ein Wert unter 1 bedeutet eine Ablehnung, ein Wert größer als 1 eine Bevorzugung. In dieser Skala sind jedoch schwer Grenzwerte festzulegen, ab welchem Schwellwert signifikante Präferenz herrscht, da die mögliche Werteskala von 0 bis + unendlich reicht. Statt einer logarithmischen Umformung des Wertebereiches wird auf den Elektivitätsindex (*electivity index*, vgl. z.B. RICKLEFS 1979), der eigentlich für Räuber-Beute-Beziehungen verwendet wird, zurückgegriffen:

$$E = (r - p) / (r + p)$$

wobei r den beobachteten und p den zu erwartenden Anteil der Klasse darstellt. Anschließend wird auf

alle relevanten Klassen (beobachteter Wert > 5 % + max. 3 Klassen < 5 %) eine Chi²-Einfachabweichung gerechnet, deren Summe das Abweichungsmaß bildet.

Der **Buntspecht** (*Picoides major*) ist eine ökologisch sehr plastische Art, der eine geringe Spezialisierung aufweist. Er ist daher im Gegensatz zu anderen Arten in seiner Verbreitung nicht gefährdet. Rückschlüsse auf die Biotopqualität können jedoch aufgrund der Siedlungsdichte getroffen werden (WERNER & WINDING 1988). Die Siedlungsdichte in den Salzachauen wird mit 14,8 bis 15,8 BP/km² angegeben. Eigene Berechnungen auf der Grundlage der Kartierung von WERNER & WINDING (1988) für den Südteil des Untersuchungsgebietes (UG) ergeben verschiedene Werte, je nach dem, wie man das UG abgrenzt. Bei der Originalgröße von 680 ha ergeben sich rechnerisch 11,2 BP/km², bei der Berücksichtigung der Aue im weiteren Sinn (ohne die Wirtschaftsflächen und Fichtenforste, = 508 ha) ergeben sich ca. 15 BP/km².

5.4 Was hat dies mit Dynamik zu tun?

Bei der faunistischen Betrachtung stellt sich hinsichtlich der Dynamik folgende Frage:

Ist eine Analyse der Veränderungen von Habitatqualität und Verbreitung einer Art möglich, ohne daß der Ausgangsbestand genau bekannt ist?

Ein möglicher Lösungsansatz ist der Umweg über die zuvor beschriebene Konstruktion von potentiellen Verbreitungskarten. Die aus empirischen Beobachtungen und autökologischen Kenntnissen aus der Literatur erstellten potentiellen Verbreitungskarten beschreiben nicht nur den Ist-Zustand, sondern ermöglichen, Veränderungen der Habitatzusammensetzung und damit einer potentiellen Verbreitung unter anderen Parametern zu simulieren.

Die gezeigten Beispiele sind hier etwas aus dem Zusammenhang gerissen. Es sollen an dieser Stelle jedoch nicht die Ergebnisse im Vordergrund stehen, sondern vielmehr die zusätzlichen Möglichkeiten aufgezeigt werden, die sich für die angewandte Ökologie durch den Einsatz Geographischer Informationssysteme ergeben.

6 Potential und Grenzen des GIS-Einsatzes

Geographische Informationssysteme bieten vielfältige zusätzliche Möglichkeiten des Generierens, der Analyse und der Darstellung von raumbezogener Information. In manchen Projekten übersteigt der Aufwand der Datenerfassung und Aufbereitung den der eigentlichen Analyse jedoch bei weitem (vgl. STROBL 1992). Es besteht daher die latente Gefahr, daß Geographische Informationssysteme als Präsentationswerkzeuge mißbraucht werden. Dabei sind gerade die Möglichkeiten der Integration von Modellen eine der Stärken der GIS-Technologie.

Der weitere Ausbau von Monitoringprogrammen in der Ökosystem- und Naturschutzforschung ist zwei-

fellos notwendig, doch kann in vielen konkreten Fällen, wo umweltrelevante Entscheidungen getroffen werden, nicht auf die Ergebnisse von Langzeitbeobachtungen gewartet werden. Die räumliche und/oder zeitliche Extrapolation von Parametern bietet hier ergänzend eine breite Palette an Simulations- und Szenariotechniken sowie vergleichende Bewertungen unter verschiedenen Prämissen (Variantenbewertung). Die Berechnungs- und Bewertungsergebnisse, die meist unter unvollständigen Parametern getroffen werden müssen, sind jedoch als "fuzzy" Daten zu verstehen. Dies gilt für den räumlichen (Flächenschärfe) wie auch für den inhaltlichen Bezug (z.B. Aussagen auf ordinalem Niveau bei Bewertungen, Wahrscheinlichkeiten).

Wesentlich häufiger werden auf politischer oder administrativer Ebene Entscheidungen getroffen, ohne daß die Auswirkungen auf Natur und Umwelt hinreichend bekannt sind. Es erscheint daher notwendig, daß von wissenschaftlicher Seite auch Aussagen getroffen werden, ohne daß sämtliche Einflußgrößen bekannt sind und unter der Gefahr, daß bestimmte Regeln einer Fachdisziplin verletzt werden (**Mut zur Lücke**).

Die Betrachtung ganzer Ökosystemkomplexe mit Hilfe Geographischer Informationssysteme wirft neue Gesichtspunkte auf. Die nicht aus der Primärdatenerfassung hervorgegangenen Informationen (Verschneidungsergebnisse, Intra- und Extrapolationen, Simulationen) müssen ebenso wie die aus Fernerkundungsdaten gewonnenen Informationen auf ihre Relevanz und Genauigkeit hin überprüft werden.

Der nach wie vor hohe Aufwand der Installation eines GIS und/oder eines Bildverarbeitungssystems (beide Technologien wachsen zunehmend ineinander) und die hohen Anforderungen an die Qualifikation der Bearbeiter stellen viele fachbezogene Anwender vor Probleme. Ein GIS-Einsatz erscheint nur bei bestimmten Rahmenbedingungen als sinnvoll (vgl. auch BLASCHKE 1993). Es wird erwartet, daß durch die rapid steigende Rechenleistung bei gleichzeitigem Preisverfall in Zusammenhang mit der weiteren Verbesserung und steigenden Bedienerfreundlichkeit Geographischer Informationssysteme eine zunehmende Verbreitung in Form einer Art *Desktop-GIS* erfolgen wird. Ein Herabsetzen der derzeit hohen Schwelle des Einstiegs in die Geographische Informationstechnologie (GIS, Bildverarbeitung, geostatistische Analyse und kartographische Aufbereitung) erscheint mir unbedingt notwendig für einen weitverbreiteten operationellen Einsatz in Naturschutz, Landschaftspflege, Raumplanung und Umweltbeobachtung.

Angesichts unserer dringenden Umweltprobleme sollte die Aufmerksamkeit von den Systemen hin zur Umsetzung wissenschaftlicher Prinzipien gelenkt werden, um GIS als Schnittstelle inmitten einer Gruppe von Disziplinen mit gemeinsamen Interessen zu etablieren, die von einer Technologie un-

terstützt wird und die Technologie wiederum durch Anwendungsforschung unterstützt. Nur so kann sichergestellt werden, daß eine Technologie nicht zum Selbstzweck wird.

Aber: "*Geographic Information Systems make no guarantee that they will be used to make wise decisions*" (DAVIS et al. 1990, S. 75).

Zusammenfassend und vereinfachend kann daher festgehalten werden, daß Geographische Informationssysteme keine Patentlösungen für umweltrelevante Probleme, aber zusätzliche Möglichkeiten zu deren Aufarbeitung bieten.

Literatur

ALBERTZ, J. (1991):

Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Eine Einführung in die Fernerkundung. Darmstadt.

ANSELIN, L. (1992):

Spacestat Software package available from NCGIA S-92-1 publications, Santa Barbara.

BAUDRY, J. & MERRIAM, H. (1988):

Connectivity and connectedness: Functional versus structural patterns in landscapes. In: SCHREIBER, K.-F. (ed.), *Connectivity in landscape ecology*. - Münstersche Geographische Arbeiten 29, 23-28.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (LFU) (1987):

Ökologische Zustandserfassung der Flußauen an der Salzach von Freilassing bis zur Mündung. Unveröff. Bericht.

BECKEL, L. (1988):

SPOT- und Landsatdaten für den Einsatz in der Kartographie. In: MAYER, F. (Hrsg.): *Digitale Technologie in der Kartographie*. Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 2, 54-65.

BEGON, M., HARPER, J. & TOWNSEND, C. (2nd ed.) (1990):

Ecology, Individuals, Populations and Communities, Oxford.

BLASCHKE, T. (1993):

Analyse eines Ökosystems mit Hilfe eines GIS. Potential und Probleme am Beispiel der Ökosystemstudie Salzachauen. In: *Salzburger Geogr. Materialien*, Bd. 20, 267-274.

— (1994):

Eine Studie zum "Potential range"-Konzept anhand faunistischer Leitarten. In: *Salzburger Geogr. Materialien*, Bd. 21.

BLASCHKE, T. & KÖSTLER, E. (1993):

Aufgaben und Ziel der Ökosystemstudie Salzachauen und die Rolle des Geographischen Informationssystems (GIS). In: *Berichte der Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)*, Nr. 17.

- BLASCHKE, T. & VOGEL, M. (1993):
The long way from Geographical to Ecological Information Systems, a case study in the alluvial flood plain of the Salzach (Bavaria). In: *Proceedings of GIS and Environment, Krakow*, 29-42.
- BURROUGH, P. (1986):
Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford.
- DAVIS, F., STOMS, D., ESTES, J., SCEPAN, J. & SCOTT, M. (1990):
An information systems approach to the preservation of biological diversity. In: *Int. Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 4, No. 1, 55-78.
- DYKSTRA, J. (1990):
Data fusion: Image processing in the spatial context of a topologically structured GIS. In: *ISPRS Commission II, VII int. workshop proceedings, advances in spatial information extraction and analysis for remote sensing*, Orono, Maine, 2-10.
- EHLERS, M. (1989):
The potential of multisensor satellite remote sensing for Geographic Information Systems. In: *ASPRS/ACSM annual convention, Agenda for the 90s*, Vol. 4, 40-45, Baltimore.
- (1993):
Remote Sensing and Geographic Information Systems: Image-Integrated GIS. In: *Vehtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft*, Bd. 9, 89-102.
- EHLERS, M., GREENLEE, D., SMITH, T. & STAR, J. (1991):
Integration of remote sensing with Geographic Information Systems: A necessary evolution. In: *Photogr. Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, 669-675.
- ELLENBERG, H. (1982):
Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht; 3. Aufl., Stuttgart.
- ELLENBERG, H., WEBER, H., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. & PAULIBEN, D. (1991):
Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. - Göttingen; *Scripta Geobotanica* 18.
- FAUST, N., ANDERSON, W. & STAR, J. (1991):
Geographic Information Systems and Remote Sensing future computing environment. In: *Photogr. Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, 655-668.
- FEIGE, K. (1986):
Der Pirol. - Wittenberg.
- FISCHER, D. (1989):
Einsatz von Fernerkundungssystemen für Aufgaben des Umweltschutzes. In: *MARKWITZ, W. & WINTER, R. (Hrsg.): Geo-Informationssysteme: Anwendungen - neue Entwicklungen*, 261-269, Karlsruhe.
- FISCHER, M. & NIJKAMP, P. (1992):
Geographic Information Systems and spatial analysis modelling: potentials and bottlenecks. In: *HARTS, J., OTTENS, H. & SCHOLTEN, H. (eds.), EGIS 92, conference proceedings*, Vol. 1, 214-225.
- FOECKLER, F., DIEPOLDER, U. & DEICHNER, O. (1992):
Water mollusc communities and bioindication of lower Salzach floodplain waters. In: *Regulated Rivers: Research and Management*, Vol. 6, 301-312.
- FOTHERINGHAM, S. & ROGERSON, P. (1993):
GIS and spatial analytical problems. In: *Int. Journal of Geogr. Inform. Systems*, Vol. 7, No.1, 3-19.
- GOODCHILD, M. (1987):
A spatial analytical perspective on geographical information systems. In: *Int. Journal of Geogr. Information Systems*, Vol. 1, 327-334.
- GRIFFITHS, G., SMITH, J., VEITCH, N. & ASPINALL, R. (1993):
The ecological interpretation of satellite imagery with special reference to bird habitats. In: *HAINES-YOUNG, R., GREEN, D. & COUSINS, S. (eds.): landscape ecology and GIS*.
- GROSSMANN, W. & SCHALLER, J. (1990):
Connecting Dynamic Feedback Models with Geographic Information Systems. In: *Proceed. of th 4th Int. Symposium on Spatial Data Handling*, Zürich.
- HABER, W., LENZ, R., SCHALL, P., BACHHUBER, R., GROSSMANN, W., TOBIAS, K. & KERNER, H. (1991):
Prüfung von Hypothesen zum Waldsterben mit Einsatz dynamischer Feedbackmodelle und flächenbezogener Bilanzierungsrechnung für vier Schwerpunktforschungsräume der Bundesrepublik Deutschland. - *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Universität Göttingen, Reihe B*, Bd. 20.
- HANSSON, L. (1988):
Dispersal and patch connectivity as species-specific characteristics. In: *SCHREIBER, K.-F. (ed.): Connectivity in landscape ecology*. - *Münstersche Geographische Arbeiten* 29, 11-113.
- LAUER, D., ESTES, J., JENSEN, J. & GREENLEE, D. (1991):
Institutional Issues affecting the integration and use of remotely sensed data and Geographic Information Systems. In: *Photogr. Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, 6, 647-645.
- LAVERS, C. & HAINES-YOUNG, R. (1993):
Equilibrium landscapes and their aftermath: spatial heterogeneity and the role of new technology. In: *HAINES-YOUNG, R., GREEN, D. & COUSINS, S. (eds.): Landscape ecology and Geographic Information System*, 57-74.
- LEVKOWITCH, L. & FAHRIG, L. (1985):
Spatial characteristics of habitat patches and population survival. In: *Ecological Modelling* 30, 297-308.
- LILLESAND, T. & KIEFER, R. (1987):
Remote Sensing and Image Interpretation (2nd ed.), New York.
- LUNETTA, R., CONGALTON, R., FENSTERMAKER, L., JENSEN, J., MC GWIRE, K. & TINNEY, L. (1991):
Remote Sensing and Geographic Information Systems Data Integration: Error sources and research issues. In: *Photogr. Engineering and Remote Sensing*, Vol 57, 677-787.

- OPDAM, P., RIJSDIJK, G. & HUSTINGS, F. (1985):
Bird communities in small woods in an agricultural landscape: effects of area and isolation. In: *Biological Conservation* 34, 333-352.
- PLACHTER, H. (1991):
Naturschutz. - Stuttgart, Jena.
- (1992a): Grundzüge der naturschutzfachlichen Bewertung. In: *Veröff. Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Würt., Karlsruhe*, 9-48.
- (1992b): Naturschutzkonforme Landschaftsentwicklung zwischen Bestandessicherung und Dynamik. In: *Tagungsbericht "Landschaftspflege - Quo vadis? der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe*, 142-194.
- REMMERT, H. (1993):
Diversität, Stabilität und Sukzession im Licht moderner Waldforschung. In: *Rundgespräche der Kommission für Ökologie*, Bd. 6, *Dynamik von Flora und Fauna - Artenvielfalt und ihre Erhaltung*, München, 15-20.
- RICKLEFS, R. (1979):
Ecology. - (2nd ed.) New York.
- ROENICK, V. (1993):
GIS-Einsatz und Fernerkundung für ein Monitoring zur Bekämpfung der Desertifikation in Patagonien. In: *Geoinformationssysteme*, Heft 2, 26-31.
- SPANDAU, L. (1988):
Angewandte Ökosystemforschung im Nationalpark Berchtesgaden - Dargestellt am Beispiel der sommertouristischen Trittbelastung auf die Gebirgsvegetation, Berchtesgaden (= NP Berchtesgaden, Forschungsbericht 16).
- SPANDAU, L., KÖPPEL, J. & SCHALLER, J. (1990):
Integrierte Umweltbeobachtung auf der Grundlage einer ökosystemaren Untersuchungskonzeption. In: *EL-SASSER, H. & KNÖPFEL, P. (Hrsg.): Umweltbeobachtung, Wirtschaftsgeographie und Raumplanung*, Geogr. Inst. der Univ. Zürich.
- STAR, J. & ESTES, J. (1990):
Geographic Information Systems. An Introduction, Englewood Cliffs.
- STAR, J., ESTES, J. & DAVIS, F. (1991):
Improved Integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems: A background to NCGIA Initiative 12. In: *Photogr. Engineering and Remote Sensing*. Vol 57, 6, 643-645.
- STENSETH, N. (1983):
Causes and consequences of dispersal in small mammals. In: *SWINGLAND et al. (eds.): The ecology of animal movement*, Oxford, 63-101.
- STROBL, J. (1992):
Datenmanipulation und Datenanalyse. In: *KILCHENMANN, A. (Hrsg.): Technologie Geographischer Informationssysteme*, Berlin u. a.
- Van DORP, D. & OPDAM, P. (1987):
Effects of patch size, isolation and regional abundance on forest bird communities. In: *Landscape ecology*, 1, 59-73.
- WERNER, S. & WINDING, N. (1988):
Bewertung der bayerischen Salzachauen zwischen Freilassing und Laufen aus ornithologisch-ökologischer Sicht. Unveröff. Bericht an die ANL, Laufen.
- WILSON, O. (1992):
Ende der biologischen Vielfalt? - Heidelberg.
- ZÖLITZ-MÖLLER, R. & REICHE (o.J.):
Gründe, Voraussetzungen und Möglichkeiten für die Modellanbindung an ein GIS. In: *GÜNTHER, O., SCHULZ, K.-P. & SEGELKE, J. (Hrsg.): Umwelthanwendungen geographischer Informationssysteme*, 232-247, Karlsruhe.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Thomas Blaschke
Institut für Geographie
Universität Salzburg
Hellbrunner Str. 34
A-5020 Salzburg

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [3_1995](#)

Autor(en)/Author(s): Blaschke Thomas

Artikel/Article: [Möglichkeiten der Analyse dynamischer Prozesse mit Hilfe Geographischer Informationssysteme 59-80](#)