

Geo- Processing Reihe



Geoprocessing Series

Andreas STOFFEL

GIS ALS INSTRUMENT ZUR ÖKOLOGISCHEN WERTANALYSE

Geographisches Institut der
Universität, Zürich 1992

Vol. 19

GEOPROCESSING SERIES / GEOPROCESSING REIHE

Geographisches Institut
Universität Zürich

Andreas STOFFEL

GIS ALS INSTRUMENT ZUR
ÖKOLOGISCHEN WERTANALYSE

Vol. 19
Zürich 1992



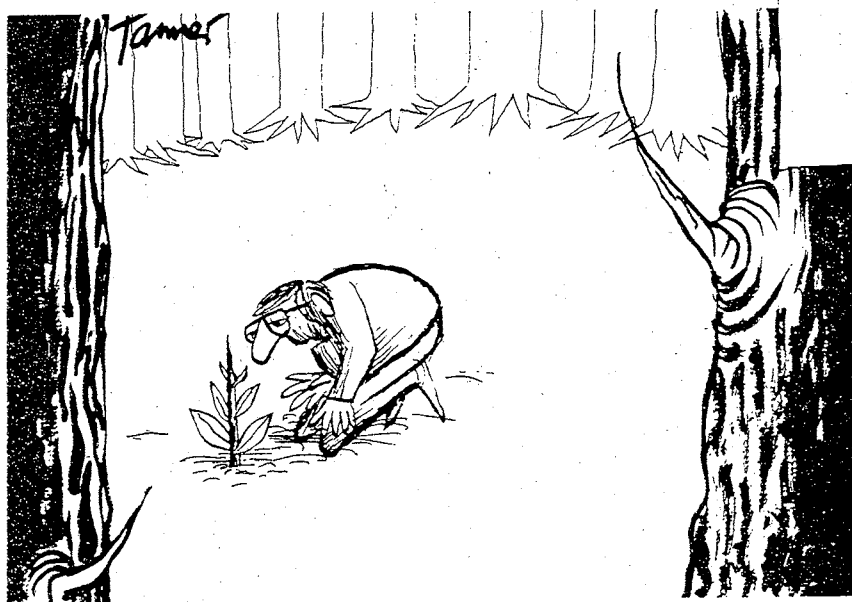
Universität Zürich-Irchel
Geographisches Institut
Winterthurerstrasse 190
CH-8057 Zürich
Schweiz

Diese Arbeit wurde am 16. Juli 1992 von der Philosophischen
Fakultät II der Universität Zürich als Diplomarbeit angenommen.

Copyright 1992:
Geographisches Institut
Universität Zürich-Irchel

All rights reserved

ISBN 3-906254-19-4



Are you part of nature's delicate harmonious balance
or just another bloody weed?

Unasyuva 166, Vol. 42, 1991

Vorwort

Im Herbst 1989 erfüllte sich mein Wunsch, das Studium für einen Praktikumsaufenthalt in den USA zu unterbrechen. Dank den Kontakten und der Hartnäckigkeit von Professor Dr. K. Brassel fand ich für drei Monate beim United States Geological Survey in Reston, VA Unterschlupf. Während dieser Zeit sammelte ich in der Forschungsabteilung der National Mapping Division erste praktische Erfahrungen mit dem Geographischen Informationssystem ARC/INFO. Nach diesem wertvollen Einblick in die Arbeitswelt und Naturschönheiten Nordamerikas war ich angeregt, ein anwendungsorientiertes Diplomarbeitsthema im Bereich der Geographischen Informationsverarbeitung anzupacken.

Das Horgener Büro für Landschaftspflege (heute Geo Data Weibel) wagte damals im Sommer 1990 den Einstieg in die ARC/INFO-Umgebung. Der Leiter des Büros, Dipl. Forsting. ETH Th. Weibel, war sofort bereit eine Diplomarbeit im Naturschutz-Bereich zu unterstützen. In Dr. M. Gfeller vom ORL-Institut fanden wir einen Experten für die thematische Zusammenarbeit, insbesondere in bezug auf die Bewertungsproblematik.

Allen bisher erwähnten Personen möchte ich für ihre Unterstützung und die kritische Durchsicht dieser Arbeit danken. Besonderen Dank gebührt Professor Dr. K. Brassel für seine Erlaubnis, die Diplomarbeit in externer Betreuung durchzuführen und für die Möglichkeit während dieser Zeit als Assistent am Geographischen Institut tätig zu sein.

Weiter danke ich Lorenz Hurni vom Institut für Kartographie ETHZ für die Mitarbeit bei der automatischen Datenerfassung sowie allen Kollegen der Abteilung Brassel, die in irgendeiner Weise zur Entstehung dieser Arbeit beitrugen, insbesondere Christian Gees, Dr. Robert Weibel und Martin Brändli für Rat und Tat im technischen und moralischen Bereich. Ebenso dankbar bin ich allen weiteren Beteiligten, ohne deren breite Unterstützung der Schlusspunkt hinter diese Arbeit heute noch nicht gesetzt wäre.

Nicht zuletzt möchte ich Otto Simonett für seine Hilfe in allen Stadien des Studiums und als Wegbereiter für die anwendungsorientierten Anliegen in der Geographischen Informationsverarbeitung am Geographischen Institut der Universität Zürich meinen herzlichen Dank aussprechen.

Für die finanzielle Unterstützung und das damit verbundene Vertrauen danke ich Dr. C. J. Gilli, dem Präsidenten der Schwendener-Stiftung und besonders herzlich meinen Eltern, welche diese Ausbildung ermöglichten.

Bei allen Leserinnen und Lesern dieser Arbeit entschuldige ich mich für die konsequente Verwendung der maskulinen Sprachformen. Diese traditionelle Formulierungsart soll die Lesbarkeit erleichtern. Keinesfalls beabsichtige ich fünfzig Prozent der LeserInnenschaft von der behandelten Thematik auszuschliessen.

April 1992

Andreas Stoffel

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Einsatz eines Geographischen Informationssystems (GIS) zur Bearbeitung von ökologischen Bewertungsverfahren. Am Beispiel der ökologischen Wertanalyse nach Ammer & Utschick, einem auf Naturschutzkriterien aufbauenden Verfahren zur Wertbestimmung im Wald, sollen die Möglichkeiten und Konsequenzen eines analytischen GIS-Einsatzes untersucht werden.

Den theoretischen Teil beginne ich mit einer Einführung zu Geographischen Informationssystemen. Dabei lege ich den Schwerpunkt auf Funktionalitäts- und Anwendungsaspekte. Der darauffolgende Abschnitt behandelt einige Grundlagen zur Bewertungstheorie. Nach einer kurzen Übersicht zu bestehenden Bewertungsverfahren gehe ich näher auf die Probleme des mechanischen Ablaufs nutzwertanalytischer Bewertungsverfahren ein. Aus diesem Kapitel ergeben sich erste Erkenntnisse in bezug auf die Verwendung eines GIS zur Ausführung eines ökologischen Bewertungsverfahrens.

Im Hauptteil der Arbeit teste ich die Möglichkeiten der GIS-Anwendung am Fallbeispiel der ökologischen Wertanalyse. Diese nach nutzwertanalytischem Muster arbeitende Bewertungsmethode beruht auf der Kombination verschiedener thematischer Daten. Dadurch entspricht sie einer sinnvollen Anwendungsmöglichkeit der GIS-Software.

Für das Untersuchungsgebiet Sihlwald zeigt sich im Fortschreiten der Arbeit, dass die im Rahmen der Theoriediskussion erkannten Möglichkeiten der GIS-Unterstützung auch praktisch realisierbar sind. Die Resultate der mittels ARC/INFO berechneten Bewertungsansätze ergeben im Vergleich mit bestehenden Arbeiten im Untersuchungsgebiet eine gute allgemeine Übereinstimmung. Die Darstellung der Resultatwerte zu Naturnähe, Seltenheit, Strukturvielfalt und ökologischem Wert beschliessen die Fallstudie.

Das letzte Kapitel fasst meine Erfahrungen aus dem Fallbeispiel zusammen. An der ökologischen Wertanalyse bemängle ich den grossen Entscheidungsspielraum des Bewerter im Hinblick auf die Kriterienwahl und die Beurteilung des Zielerfüllungsgrades. Zur Verhinderung eines "Bewertungshokuspokus" formuliere ich deshalb Verbesserungsvorschläge zuhanden der Verfechter und Anwender dieses Verfahrens.

Aus der anschliessenden Beurteilung des GIS-Einsatzes folgere ich, dass die Transparenz der Wertbestimmung durch eine GIS-Lösung erhöht wird, die Qualität und Akzeptanz der Resultate jedoch vom Bearbeitungswerkzeug unabhängig sind.

Im Hinblick auf die Entscheidungsfindung aus den Ergebnissen einer traditionellen oder computergestützten ökologischen Wertanalyse muss auf die starke Quantifizierung der Ausgangsinformation hingewiesen werden. Dadurch bleiben wichtige Werte des Naturempfindens unberücksichtigt. Die Resultate einer ökologischen Wertanalyse bilden demzufolge nur ein Teilergebnis im Hinblick auf eine umfassende Bewertung von Waldgebieten.

Summary

This master's thesis deals with the possibilities and the consequences to perform an ecological evaluation process with a Geographic Information System (GIS). Based on the ecological evaluation analysis by Ammer & Utschick a casestudy of the "Sihlwald", a woodland close to Zurich, was performed.

In the first section an introduction to general GIS functionalities and an overview to some evaluation processes is given. A considerable amount of evaluation processes are based on mechanical procedures. These procedures are suitable to GIS applications but they need to be used with special respect to the underlying natural phenomena.

The main part of this thesis deals with the implementation of the ecological evaluation analysis into a GIS. For that purpose the already existing environmental data was used in two models of different complexity. The selected ARC/INFO software proved to be appropriate to build a macro to perform the analysis interactively. The resulting maps show only minor differences between the two alternative models and a good correspondence to existing field studies.

The last section summarises the experience gained in the casestudy. The use of an ecological evaluation analysis based on existing data is nearly unrestricted by the existing literature. That is why some suggestions are given to minimize the user influence on the final results.

The use of a GIS in ecological evaluation processes is considered positive concerning the transparency of the analysis. At the same time the quality and the grade of acceptance of the results depend on various other circumstances than the analysis-tool. In GIS applications a strong emphasis on quantitative information seems to be inevitable. To get the desired comprehensive insight into the ecological value of an ecosystem, all additional qualitative information about a study area has to be considered carefully.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	I
Zusammenfassung.....	III
Summary	IV
Inhaltsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VII
1. EINLEITUNG.....	1
1.1. Einführung	1
1.2. Problemstellung.....	1
1.3. Arbeitsansatz	2
2. GRUNDLAGEN.....	3
2.1. Geographische Informationssysteme.....	3
2.1.1. Definition	3
2.1.2. Elemente eines GIS	4
2.1.3. Funktionalität eines GIS am Beispiel ARC/INFO	5
2.1.4. GIS-Anwendungen	8
2.2. Bewertungstheorie	9
2.2.1. Einleitung.....	9
2.2.2. Grundlagen der Bewertungstheorie.....	9
2.2.3. Übersicht zu ökologischen Bewertungsverfahren.....	12
2.2.3.1. Ökologische Eignungsbewertungsverfahren	12
2.2.3.2. Ökologische Wertanalysen	13
2.2.3.3. Ökologische Belastungsbewertungsverfahren.....	14
2.2.3.4. Ökologische Verflechtungsmatrix	15
2.2.4. Nutzwertanalyse.....	18
2.3. Erkenntnisse aus der Theoriediskussion.....	21
3. FALLSTUDIE: ÖKOLOGISCHE WERTANALYSE MIT HILFE EINES GEOGRAPHISCHEN INFORMATIONSSYSTEMS.....	23
3.1. Einführung	23
3.2. Aufbau der Fallstudie.....	26
3.2.1. Untersuchungsgebiet	26
3.2.2. Daten.....	28
3.2.3. Dateneingabe.....	32
3.2.4. Verwendete Soft- und Hardware.....	34
3.3. Bewertung	35
3.3.1. Ziel und Struktur der ökologischen Wertanalyse	35
3.3.2. Bewertungsansatz.....	37
3.3.3. Einfache Bewertung.....	38
3.3.3.1. Kriterienwahl der einfachen Bewertung.....	38
3.3.3.2. Zielerfüllungsgrad der Kriterien.....	43
3.3.3.3. Gewichtung der Kriterien.....	49
3.3.3.4. Kombination der Kriterien	53

3.3.4. Umfangreiche Bewertung.....	53
3.3.4.1. Kriterienwahl der umfangreichen Bewertung.....	53
3.3.4.2. Zielerfüllungsgrad der Kriterien.....	56
3.3.4.3. Gewichtung der Kriterien.....	57
3.3.4.4. Kombination der Kriterien	60
3.4. Resultate der Fallstudie.....	61
3.4.1. Übersicht.....	61
3.4.2. Darstellungsmöglichkeiten und -problematik	61
3.4.2.1. ARC/INFO-Darstellungsmacro	61
3.4.2.2. Klassierungsverfahren	62
3.4.3. Beurteilung der Qualität der beiden Bewertungsansätze.....	66
3.4.3.1. Ausgangslage.....	66
3.4.3.2. Methode der Qualitätsbeurteilung.....	68
3.4.3.3. Beurteilungsergebnisse für die einfache Bewertung.....	69
3.4.3.4. Beurteilungsergebnisse für die umfangreiche Bewertung.....	71
3.4.3.5. Qualität der ökologischen Wertanalyse	71
3.4.3.6. Vergleich einfache Bewertung – umfangreiche Bewertung.....	72
3.4.4. Beurteilung des ökologischen Wertes und der Indikatorwerte.....	75
 4. BEURTEILUNG UND AUSBLICK	 81
4.1. Beurteilung des Bewertungsverfahrens.....	81
4.2. Beurteilung des GIS-Einsatzes.....	82
4.3. Ausblick.....	84
 Literaturverzeichnis	 87
 Anhang A.....	 93
Anhang B.....	94

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Thematische Gliederung der Daten in einem GIS.....	3
Abb. 2: GIS als Werkzeuge zur Informationsverarbeitung	4
Abb. 3: Polygon-Arc Topologie	6
Abb. 4: Auszug aus der Teilmatrix 1 "Geomorphologie – Verkehr".....	16
Abb. 5: Auszug aus der Teilmatrix 2 "Industrielle Produktion – Reale Vegetation"	16
Abb. 6: Auszug aus der Teilmatrix 3 "Abfallbeseitigung – Nutzung für Freizeit und Erholung"	17
Abb. 7: Auszug aus der Teilmatrix 4 "Nutzung für Freizeit und Erholung – Agrarnutzung"	17
Abb. 8: Beispiel einer logischen Kombination mit 2 : 1 Gewichtung des Kriteriums A gegenüber Kriterium B.....	21
Abb. 9: Die Lage des Untersuchungsgebietes Sihlwald.....	26
Abb. 10: SW – NO-Profil durch das Untersuchungsgebiet.....	27
Abb. 11: Ausschnitt aus der digitalen Bestandeskarte Sihlwald.....	31
Abb. 12: Ausschnitt aus der digitalen Standortkarte Sihlwald	31
Abb. 13: Zielsystem der ökologischen Wertanalyse nach Ammer & Utschick.....	36
Abb. 14: Zielsystem für den Indikator Naturnähe nach Ammer & Utschick.....	39
Abb. 15: Zielsystem für den Indikator Naturnähe der einfachen Bewertung.....	39
Abb. 16: Zielsystem für den Indikator Seltenheit nach Ammer & Utschick.....	40
Abb. 17: Zielsystem für den Indikator Seltenheit der einfachen Bewertung.....	41
Abb. 18: Zielsystem für den Indikator Strukturvielfalt nach Ammer & Utschick	42
Abb. 19: Zielsystem für den Indikator Strukturvielfalt der einfachen Bewertung	43
Abb. 20: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Natürlichkeit der Hauptbaumart.	45
Abb. 21: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Seltenheit des Vegetationstyps.....	46
Abb. 22: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Flächengrösse der Waldgesellschaft.....	46
Abb. 23: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Punkthäufigkeit	47
Abb. 24: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium innerer Waldrand.....	48
Abb. 25: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Sihltalstrassennähe	48
Abb. 26: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Gewässernähe	48
Abb. 27: Eingabeform und Gewichtung des einfachen Bewertungsansatzes.....	52
Abb. 28: Zielsystem für den Indikator Naturnähe der umfangreichen Bewertung.....	55
Abb. 29: Zielsystem für den Indikator Strukturvielfalt der umfangreichen Bewertung	55
Abb. 30: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Nadelholzanteil der Oberschicht.....	56
Abb. 31: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Artenzahl der Oberschicht.....	57
Abb. 32: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Artenzahl der Mittelschicht.....	58
Abb. 33: Eingabeform und Gewichtung des umfangreichen Bewertungsansatzes.....	60
Abb. 34: Beispiel der klassierten Bildschirmdarstellung.....	63
Abb. 35: Verteilung der Klassendifferenzen beider Klassierungsverfahren.....	64
Abb. 36: Klassengrenzen und Differenzbereiche beider Klassierungsverfahren.....	65
Abb. 37: Entwicklungstyp nach Voloscuk.....	67
Abb. 38: Tabellarische Ergebnisse des Kartenvergleichs	70
Abb. 39: Ökologischer Wert nach einfachem Bewertungsansatz.....	73
Abb. 40: Ökologischer Wert nach umfangreichem Bewertungsansatz.....	74
Abb. 41: Naturnähe der umfangreichen Bewertung	76
Abb. 42: Seltenheit der umfangreichen Bewertung	77
Abb. 43: Strukturvielfalt der umfangreichen Bewertung.....	79

1. EINLEITUNG

1.1. Einführung

Die vom Menschen durch seinen sorglosen Umgang mit der Natur verursachten Umweltprobleme beschäftigen heute breite Kreise der Bevölkerung. Zur Lösung dieser Probleme existieren verschiedenste, oft widersprüchliche Vorschläge mit stets ungewissen Ergebnissen. Einfacher als die Bewältigung der Umweltkonflikte ist deren präventive Vermeidung durch Planungsmassnahmen. Die dazu notwendigen Kenntnisse über die Wirkungen anthropogener Nutzungen auf den Naturhaushalt und die daraus resultierenden Rückwirkungen auf die Gesellschaft sind Gegenstand ökologischer Untersuchungen. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sollten zur umweltgerechteren Landschaftsplanung in die Entscheidungsfindung einfließen.

Im Rahmen der Landschaftsplanung ist ein gleichartiger Schutz für alle Arten und Lebensgemeinschaften weder notwendig noch durchsetzbar. "Daher sind, abgeleitet von der Schutzbedürftigkeit der Objekte, Handlungsprioritäten festzulegen, wozu es ökologischer Standortgliederungen und -bewertungen bedarf." (Blab 1986, S. 412).

Die Schutzbedürftigkeit der betrachteten Objekte ist allerdings nicht allgemein definiert, sondern von der unterschiedlichen Ausprägung der natürlichen Faktoren in Ökosystemen und von der Art des Eingriffes abhängig. Aus diesem Grund wurde eine Vielzahl von ökologischen Bewertungsverfahren für verschiedene anthropogene Nutzungsformen und Naturräume entwickelt.

Die abschliessende Urteilsbildung in einem Bewertungsfall wird den Entscheidungsträgern durch die Verwendung transparenter Verfahren erleichtert. Die Transparenz der Resultatermittlung könnte durch den Einsatz moderner Werkzeuge – wie z.B. eines Geographischen Informationssystems (GIS) – erhöht werden. Diese Geographischen Informationssysteme bieten Werkzeuge zur Verarbeitung von Umweltdaten. Sie werden heute in der Privatwirtschaft und der Verwaltung zur Bearbeitung vieler Fragen verwendet. Burrough (1986) möchte Geographische Informationssysteme nicht nur als Instrumente zur Verwaltung von Daten mit Raumbezug betrachten, sondern als Experimentiersysteme für Modelle, Trendanalysen und zur Abschätzung der Resultate von Planungsvorhaben.

Experimentelle Anwendungen von Geographischen Informationssystemen sind aus der Ökosystemforschung im Zusammenhang mit dem MAB-Projekt Berchtesgaden bekannt (MAB 1983, 1984). Ebenfalls anwendungsorientiert ist der GIS-Einsatz in dieser Diplomarbeit.

1.2. Problemstellung

Dank der raschen Entwicklung auf dem Informatiksektor können heute einige Hersteller von Geographischen Informationssystemen praxiserprobte Standardwerkzeuge zur räumlichen Analyse und Modellierung von grossen Datenmengen anbieten. Trotzdem werden solche Systeme zur Bearbeitung von ökologischen Bewertungen bisher noch wenig eingesetzt. Aus der Sicht der Landschaftsplanung wäre die Weiterentwicklung von

Methoden zur ökologischen Bewertung interessant. Aus diesem Grund führe ich in dieser Arbeit ein ökologisches Bewertungsverfahren – die ökologische Wertanalyse – mit Unterstützung eines GIS durch. Von besonderem Interesse ist dabei die Beantwortung folgender Fragen:

- 1a. Welche Möglichkeiten bietet der Einsatz eines Geographischen Informationssystems zur Bearbeitung ökologischer Bewertungsverfahren?
- 1b. Welche Auswirkungen hat der GIS-Einsatz auf die Qualität, Transparenz und Akzeptanz der Resultate?
2. Ist die vereinfachte Berechnung einer ökologischen Wertanalyse aufgrund einiger weniger Kriterien im "Sparverfahren" nach Ammer & Utschick (1988, S. 38) vertretbar?

Auf den aktuellen Anlass, der zur Wahl der ökologischen Wertanalyse als Untersuchungsgegenstand führte, gehe ich in der Einführung zur Fallstudie näher ein. An dieser Stelle möchte ich den experimentellen Charakter der geplanten GIS-Anwendung betonen. Keineswegs beabsichtige ich, durch diese Problemstellung den Ökologen ins Handwerk zu pfuschen, sondern ihnen ein mögliches neues Werkzeug aufzuzeigen.

1.3. Arbeitsansatz

Nach diesem ersten Einleitungsteil beschreibe ich im zweiten Kapitel die Grundlagen zur vorliegenden Arbeit, indem ich mit einer Übersicht zum Konzept von Geographischen Informationssystemen beginne. Ihre bisherigen Hauptanwendungsbereiche und der Stand der Forschung werden erwähnt. In der anschliessenden Bewertungstheorie wird der Versuch unternommen, den Begriff "Bewertungsverfahren" zu konkretisieren. Daraus resultieren Überlegungen zu Anforderungen, bei deren Erfüllung ein solches Verfahren als brauchbar bezeichnet werden kann. Im weiteren gebe ich eine Übersicht zu einigen ökologischen Bewertungsverfahren. Abschliessend stelle ich die Nutzwertanalyse als wichtigsten methodischen Ansatz zu Bewertungsverfahren kurz dar und erarbeite deren wichtigste Vor- und Nachteile.

Das dritte Kapitel beschreibt die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Fallstudie einer ökologischen Wertanalyse mittels GIS. In der Einführung finden sich die Hintergründe zur Wahl des Untersuchungsgebietes Sihlwald, eine Beschreibung der verwendeten Soft- und Hardware sowie der Herkunft der Datengrundlagen und deren digitalen Aufnahme. Im darauffolgenden Abschnitt beschreibe ich den Arbeitsansatz und die praktische Durchführung. Die Resultate der Feldstudie beenden dieses Kapitel und leiten zur abschliessenden Methodenkritik und zum Ausblick auf zukünftige Entwicklungen über.

2. GRUNDLAGEN

2.1. Geographische Informationssysteme

2.1.1. Definition

Ein geographisches Informationssystem (GIS) ist definiert als:

"An organized collection of computer hardware, software, geographic data, and personnel designed to efficiently capture, store, update, manipulate, analyze, and display all forms of geographically referenced information." (ESRI 1990, S. 1 - 2)

Auf die Elemente eines GIS, seine Funktionalität und Hauptanwendungsgebiete, gehe ich etwas später ein. Zuerst möchte ich das Grundkonzept von Geographischen Informationssystemen und den Begriff "geographically referenced information" oder "geographische Daten" klären.

Als "geographische Daten" bezeichnet man die Summe von räumlichen und thematischen Variablen für die Beschreibung von Objekten. Die räumlichen Variablen dieser Objekte befassen sich mit deren Lage und den Beziehungen zu ihren Nachbarn (Topologie). Die Sachdaten (Merkmale oder Attribute) beziehen sich auf die nicht-räumlichen Eigenschaften der betrachteten Objekte. Sie beschreiben unterschiedliche Eigenschaften desselben Ortes der Erdoberfläche. Die Speicherung dieser geographischen Daten in einem GIS kann man sich, nach der Thematik ihrer Sachdaten geordnet, folgendermassen vorstellen:

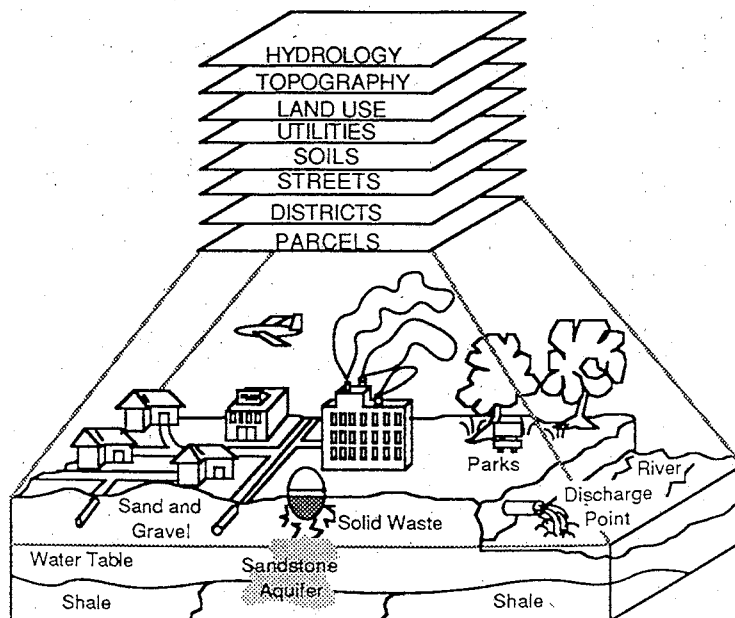


Abb. 1: Thematische Gliederung der Daten in einem GIS. Quelle: ESRI (1990)

Ein GIS ermöglicht nun dank räumlich analytischer Operationen die Verbindung dieser Daten. Ein typisches Beispiel ist die Flächenverschneidung, welche Beziehungen zwischen Flächen in verschiedenen Dateien aufbaut. Die ebenfalls verschnittenen Sachdaten ermöglichen nun eine kombinierte Flächenauswahl aus den Ausgangsdateien. Durch eine

solche Datenkombination können mehr Fragen beantwortet werden als mit separat zur Verfügung stehenden Daten. Natürlich sind nicht alle diese Kombinations- und Abfragemöglichkeiten sinnvoll. Trotzdem erhöht die Möglichkeit der Datenkombination im GIS den Wert einer Datenbank.

Das GIS stellt also Werkzeuge und Methoden bereit, um die reale Welt in Form von raumbezogenen Daten darzustellen. Beim Anwender liegt die Verantwortung für deren Einsatz.

Eine vereinfachte Sicht der GIS-Umgebung zeigt die untenstehende Skizze:

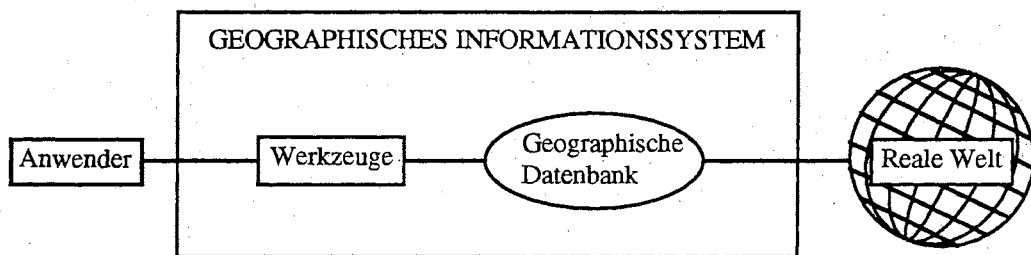


Abb. 2: GIS als Werkzeuge zur Informationsverarbeitung. Quelle: Ashdown & Schaller (1990)

Geographische Informationssysteme haben eine Anzahl Funktionen, durch welche sie sich von den Computersystemen ihrer Nachbardisziplinen unterscheiden. So wird zum Beispiel bei Computergrafiksystemen wenig Wert auf Sachdaten gelegt, die im GIS für Datenanalysen verwendet werden können. Gemeinsamkeiten haben GIS mit einigen computer-aided design Systemen (CAD). Beide betrachten Objekte in Bezug auf ein geometrisches Referenzsystem, bearbeiten Sachdaten und beschreiben Nachbarschaften. GIS verarbeiten jedoch eine viel grössere Datenmenge mit speziellen räumlichen Analysemethoden. Diese Möglichkeit räumlich analytischer Operationen wird oft als Schlüsselement in der Definition eines GIS betrachtet (Goodchild 1990).

2.1.2. Elemente eines GIS

GIS bestehen aus vier Elementen: Hardware, Software, Daten und organisatorischer Kontext (Burrough 1986).

- Die wichtigsten Hardwarekomponenten sind ein Computer, der damit verbundene Datenspeicher und einige periphere Geräte zur Dateneingabe (Digitalisiertisch, Scanner) und Datenausgabe (Plotter, Magnetbandstation).
- Die Software eines GIS unterstützt die Datenaufnahme und -speicherung, den Datenunterhalt, die Datenanalyse, Datenausgabe und -präsentation sowie die Interaktion mit dem Benutzer.

- Die Daten bilden, trotz grossen Anstrengungen bei der Erfassung durch die Vermessung, Fernerkundung und der Entwicklung von automatischen Digitalisierungssystemen durch die Computerindustrie, ein limitierendes Element in GIS-Anwendungen.
- Für einen effizienten GIS-Einsatz ist eine gute Integration dieses Werkzeugs in den Arbeitsprozess notwendig. Ausserdem sollten alle Komponenten dieses Systems in ausgewogener Qualität vorhanden sein.

2.1.3. Funktionalität eines GIS am Beispiel ARC/INFO

Die Hauptfunktionen Geographischer Informationssysteme möchte ich am Beispiel des heute weltweit führenden Geographischen Informationssystems ARC/INFO vorstellen¹, das mir in der Fallstudie als Werkzeug zur Bearbeitung der ökologischen Wertanalyse dienen wird.

ARC/INFO ist ein Produkt der amerikanischen Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute) mit Sitz in Redlands, California. ESRI beschäftigt sich schon seit über 20 Jahren mit der Entwicklung von geographischen Informationssystemen. Als früheres Produkt lässt sich GRID erwähnen, das ab 1982 durch ARC/INFO abgelöst wurde, welches seinerseits laufend weiterentwickelt wird.

Die ARC/INFO-Software ist auf einer breiten Hardwarepalette vom PC bis zum Grossrechner verfügbar. Sie kann deshalb auf einem Einzelrechner, im Netzwerk mit Workstations und im Multiuserbetrieb eines Grossrechners eingesetzt werden. Ausserdem verfügt ARC/INFO über zahlreiche Standardschnittstellen zur Übernahme und Übergabe von Geometrie- und Sachdaten aus Datenformaten anderer Softwareprodukte.

Die Benutzerführung erfolgt hauptsächlich über Kommandoeingabe, kann jedoch auch menugesteuert mit Pulldown-, Sidebar-, Matrix-, Eingabe-, und Displaymenus funktionieren. Englische on-line Hilfen stehen zur Verfügung.

Datenmodell

ARC/INFO basiert auf einem topologisch-relationalen Datenmodell, das geometrische Elemente wie Punkte, Linien, Flächen und codierte Netzwerke mit ihren Sachdaten (Attribute) verknüpft. Die Lage und die Ortsbeziehungen der geometrischen Elemente sind im topologischen Modell beschrieben.

Die Topologie beinhaltet im ARC/INFO-Datenmodell die drei Bausteine Flächendefinition, Verbindung und Nachbarschaft.

- **Flächendefinition:** Flächen werden durch die begrenzenden Linien definiert. Im Beispiel der untenstehenden Abbildung ist die schattierte Fläche durch die Linien 1, 3, 4, 5 und die Innengrenze 2 begrenzt. Die zu dieser Fläche gehörende topologische Definition ist im Computer als einfache Liste aller Grenzlinien gespeichert.

¹ Alle Angaben beziehen sich auf die ARC/INFO-Version 5.0.1.

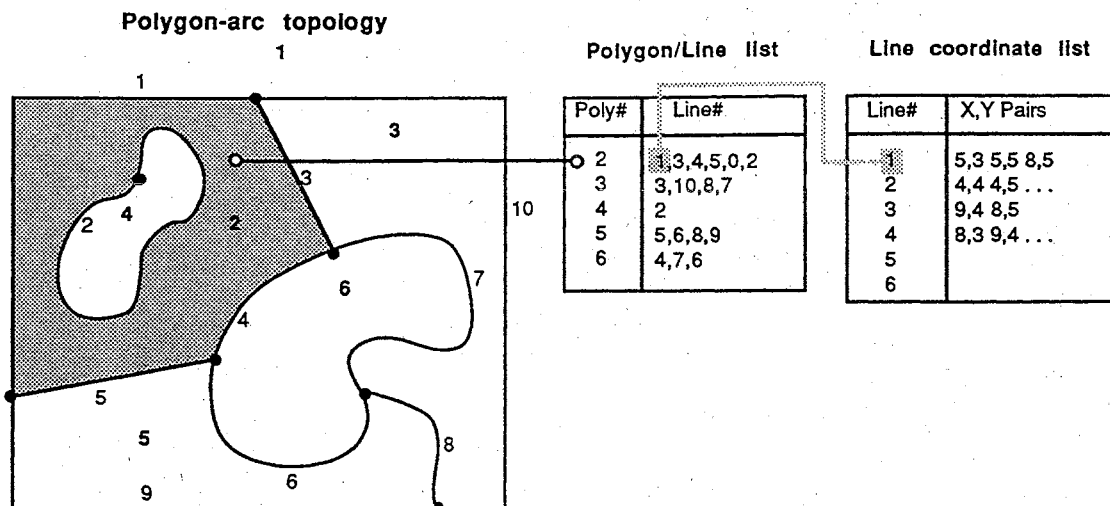


Abb. 3: Polygon-Arc Topologie. Quelle: ESRI (1989)

- **Verbindung:** Für jede Linie werden in der Geometriedatei der Anfangs- und Endpunkt (Knoten) sowie die dazwischenliegenden Stützpunkte gespeichert. Linien sind demzufolge gerichtete Vektoren, mit Verbindungen durch gemeinsame Knoten.
- **Nachbarschaft:** Eine weitere räumliche Beziehung, die durch die Topologie beschrieben wird, ist die Nachbarschaft zweier Flächen. Diese Beziehung wird über die Trennlinie zwischen zwei Flächen erstellt, welche als Attribute die Nummer des linken und des rechten Polygons aufweisen.

Die Speicherung der Sachdaten erfolgt im relationalen Datenbanksystem INFO der Firma HENCO SOFTWARE Inc. Zusätzlich können über eine Datenbankschnittstelle externe Datenbanksysteme (z.B. ORACLE, INGRES) relational angebunden werden.

Hauptfunktionen

Den Kern des ARC/INFO-Systems bilden Module zur Datenerfassung (ARCEDIT), Datenverwaltung, geographischen Manipulation und Analyse (ARC) sowie zur graphischen Darstellung (ARCPLOT). Um diese Module gruppieren sich verschiedene Ergänzungsbausteine, welche die Funktionalität des Systems erweitern (COGO, TIN, NETWORK).

ARCEDIT

Der graphische Editor ARCEDIT umfasst folgende Hauptfunktionen:

- Koordinateneingabe über Digitalisierisch, Maus oder Tastatur. Die Koordinaten können wahlweise in einfacher oder doppelter Genauigkeit² gespeichert werden.
- Anzeige von Digitalisierfehlern (Über-, Unterschüsse usw.).
- Selektion von Elementen über graphische oder mathematische Operatoren.

² Einfache Genauigkeit entspricht 7-stelliger Koordinatengenauigkeit. Koordinaten doppelter Genauigkeit hingegen sind 15-stellig gespeichert.

- geometrische Operationen zur Veränderung von Objekten (Verschieben, Kopieren usw.).
- geometrische Verzerrungskorrektur über "Rubbersheeting".
- Hintergrunddarstellung von Vektor- oder Rasterinformation (nicht auf allen Plattformen möglich).
- Hintergrundsnapping auf Bezugskordinaten.

ARC

Im ARC Modul, dem Zentrum des Systems, wird die topologisch-relationale Datenstruktur mit Polygonbildung, Längen- und Flächenberechnung und Definition der Nachbarschaftsbeziehungen automatisch aufgebaut. Geographische Manipulationen wie Generalisierung, Koordinatentransformation und -projektion in praktisch jedes Bezugssystem sind unterstützt.

Zur geographischen Analyse bietet ARC/INFO automatische Verschneidungen (Bool'sche Operationen auf Flächen in Flächen, Linien in Flächen, Punkte in Flächen). Sie erfolgen unter vollständiger Kombination der Eingangsdaten und selbständigem Aufbau der topologisch-relationalen Ergebnisdatei. Zudem können Flächen-, Linien- und Punktelemente mit Pufferbereichen versehen werden.

ARC PLOT

Mit dem Modul ARC PLOT stellt ARC/INFO Funktionen zur graphischen Darstellung von thematischen Karten und von Auswertungsergebnissen zur Verfügung. Das Kartenlayout kann interaktiv am Bildschirm oder über die Definition von Standardroutinen (AML) erstellt werden. Dabei stehen für die Darstellung von Punkt-, Linien-, Flächen- und Textelementen beschränkt Standardsymbole zur Verfügung. Verschiedene thematische Ebenen oder Teile davon lassen sich graphisch überlagern.

AML

Die ARC Macro Language (AML) ist eine ARC/INFO-spezifische Programmier- und Datenabfragesprache mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. So dient sie zur Definition von Standardroutinen (Verarbeitungsprozesse, Auswertungsroutinen, Standarddarstellungen usw.), zur Integration von externen Programmen und zur Entwicklung menugesteuerter Anwendungen. Neben der Möglichkeit, ARC/INFO-Befehle zur Stapelverarbeitung zusammenzufassen, verfügt die AML über Programmierfunktionen (Variablendefinition, Programmsteuerung, mathematische Funktionen usw.).

TIN

Das Modul TIN (Triangulierte Irreguläre Netzwerke) umfasst Funktionen zur Erstellung digitaler Oberflächenmodelle und damit verbundener Analysen (Neigung, Exposition, Profilschnitte usw.)

Im weiteren umfasst ARC/INFO die im Rahmen dieser Arbeit nicht verwendeten Module NETWORK (Verarbeitung codierter Netzwerke), COGO (Ergänzung zu ARCEDIT für Aufgaben der Konstruktion und Vermessung) und LIBRARIAN (Kartenbibliothek).

2.1.4. GIS-Anwendungen

Geographische Informationssysteme entstanden in den sechziger Jahren aus Konzepten und Ideen von Leuten verschiedener Fachrichtungen wie Kartographie, Informatik, Geographie, Vermessung, Fernerkundung, Wirtschaft, Mathematik und Statistik. Den multidisziplinären Charakter dieser Systeme bekundet die Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten in der Verwaltung, zum Infrastrukturunterhalt, in der Raumplanung, zur Inventur und Planung natürlicher Ressourcen, insbesondere in Land- und Forstwirtschaft, im Umweltschutz, zur industriellen Standortwahl, bei der Armee usw. Dabei läuft die Entwicklung der Anwendungen vom ursprünglichen Inventarisieren vermehrt Richtung Datenanalyse und -modellierung und damit zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen.

Der schnelle Durchbruch von Geographischen Informationssystemen in Forschung und Praxis und die damit verbundenen hohen Investitionen führten zu grossen Erwartungen, die bis jetzt nicht alle erfüllt werden konnten. Denn die räumliche Analyse, das wissenschaftliche Ziel der GIS-Entwicklung, hat nicht so rasche Fortschritte gemacht wie Hardware, Software und Informationssysteme (Aangenbrug 1991). Eine ähnliche Aussage macht Goodchild (1987, S. 334): "In reality, most contemporary GIS place far more emphasis on efficient data input and retrieval than on sophisticated analysis." Diese Tatsache kann im Zusammenhang mit dem Problem von oft fehlenden geographischen Theorien oder Hypothesen zu GIS-Anwendungen gesehen werden. Im Schlusswort einer Studie zur Industriestandortwahl – einem Fachgebiet, in dem meines Erachtens bereits einiges an Theorie besteht – schreiben Cowen & Shirley (1991, S. 308): "It also demonstrates, that planning use of GIS cannot simply be 'data crouching': industrial and other location theories must be used to inform economic development planning if the latter is to be successful."

Der Einsatz von Geographischen Informationssystemen in Entscheidungsprozessen kann eine Überbewertung von quantitativen gegenüber qualitativen Ausgangsdaten bewirken, da quantitative Daten oft Rechenoperationen ermöglichen, welche mit qualitativen Daten nicht sinnvoll sind. Diesem Problem der GIS-Anwendung ist durch eine angemessene Diskussion der erarbeiteten Ergebnisse Rechnung zu tragen.

Zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten für Geographische Informationssysteme sieht Aangenbrug (1991) in der räumlichen Analyse (z.B. räumliche Autokorrelation, multivariate räumliche Statistik, Interpolationen), vereinfachten Benutzerschnittstellen, Zeitreihenanalysen und Datenqualitätsangaben.

2.2. Bewertungstheorie

2.2.1. Einleitung

In den letzten Jahren haben sich im Zuge der Umweltforschung und Landschaftsplanung die Bemühungen verstärkt, geeignete Verfahren zur Bewertung der Landschaft zu entwickeln. Das Ziel der Bewertung liegt darin, begründete Aussagen darüber zu treffen, wie das natürliche Landschaftspotential einer geeigneten Nutzung und Pflege zugeführt werden kann (Marks 1979). Die Notwendigkeit der Bewertung entsteht aus den sich verschärfenden Nutzungskonflikten und Umweltproblemen. Nutzungskonflikte bestehen oft zwischen den Nutzungsformen der Land-, Forst-, und Wasserwirtschaft sowie den Freizeit-, Erholungs- und Siedlungsansprüchen der Gesellschaft.

Versuche zur Landschaftsbewertung sind nicht neu, so wurde z.B. schon 1934 bei der "Reichsbodenschätzung" in Deutschland der Geofaktor Boden hinsichtlich seiner landwirtschaftlichen Eignung zum Zwecke einer gerechten Besteuerung bewertet. Seit Beginn der sechziger Jahre befinden sich Landschaftsbewertungsverfahren in Erarbeitung, die nicht nur einzelne Nutzungsansprüche berücksichtigen, sondern versuchen, unter Berücksichtigung der landschaftlichen Systemzusammenhänge einen Raum hinsichtlich mehrerer Nutzungsansprüche zu beurteilen (Marks 1979).

Der nächste Abschnitt 2.2.2. befasst sich mit den Grundlagen und Definitionen zur Bewertungstheorie. Einen Überblick über einige ökologische Bewertungsverfahren findet sich im darauffolgenden Abschnitt 2.2.3. Einige der in den Grundlagen angedeuteten Probleme sind im letzten Teil (Abschnitt 2.2.4.) dieser Bewertungstheorie anhand der Nutzwertanalyse ausführlich diskutiert.

2.2.2. Grundlagen der Bewertungstheorie

Vorab sind die im Verlauf der Untersuchung häufig auftauchenden Begriffe "Bewertung", "Bewertungsverfahren", "ökologische Bewertungsverfahren" und "ökologische Wertanalyse" zu definieren.

Bewertung

Überall, wo wir entscheiden und handeln, werten wir mehr oder weniger offen. Eine Bewertung stellt die Form der Beziehung zwischen dem Bewerter und dem Wertträger her. Nach Kraft (1951) enthält jede Wertung eine Stellungnahme. Die Stellungnahme wird jedoch erst zur Wertung, wenn der Bewerter sein Wertbewusstsein artikuliert. Die bei einer Bewertung resultierenden Wertungen lassen sich grob in zwei Klassen einteilen:

- Individualistische Wertungen: Sie bezeichnen Werthaltungen, die ein Individuum zu einer bestimmten Zeit einem bestimmten Wertträger gegenüber einnimmt, ohne Allgemeingültigkeit zu beanspruchen.

- Intersubjektive Wertungen: Werturteile, die allgemeine Gültigkeit beanspruchen.

Die Frage nach der Geltungsbasis von Werturteilen ist nicht einfach zu beantworten. Bechmann (1977 b, S. 171) schreibt zum Gültigkeitsaspekt: "Keiner der Versuche, die Geltung von Werturteilen zu fundieren, führt auf ein absolutes oder denknotwendiges Gültigkeitskriterium für Werturteile. Ein solches Kriterium – das ja letztlich nichts anderes wäre als ein ausserhalb der Gesellschaft und der sozialen Konflikte existenter Massstab – kann von uns nicht denkend erkannt und damit Fundament wissenschaftlicher Argumentation werden. Die Bildung und Herausbildung von Werten, die sich in realen sichtbaren Prozessen vollzieht, kann jedoch wissenschaftlich erfasst und diskutiert werden."

Das Ziel einer Bewertung ist demzufolge ein Werturteil, dessen Entstehung sichtbar und damit diskutierbar gemacht wird.

Bewertungsverfahren

"Bewertungsverfahren sind Verfahren, die Bewertungsvorgänge sowohl formal als auch inhaltlich strukturieren und reglementieren." (Bechmann 1977 b, S. 171)

Bewertungsverfahren dienen der Entscheidungsfindung in einem Planungsprozess, bei dem eine Handlungsalternative bzw. Projektvariante aus einer Anzahl möglicher Alternativen gewählt werden soll. Die durch das Bewertungsverfahren zu beurteilenden Alternativen sind in der Regel von komplexer Struktur. Daher spalten die Bewertungsverfahren den Bewertungsvorgang in eine Reihe von Teilbewertungen auf, welche nach einem vorher bestimmten Vorgehen zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst werden.

Die Entwicklung und Anwendung von Bewertungsverfahren wird von Fischer (1983) begründet mit den Zielen:

- einer besseren Strukturierung des Bewertungsvorganges;
- der Verbesserung des Planungsergebnisses, da alle Alternativen demselben Bewertungsvorgang unterzogen werden;
- der Verbesserung der Transparenz des Planungsprozesses, vor allem, um dadurch die Akzeptanz der Planungsergebnisse bei anderen Stellen zu verbessern.

Um diese Ziele zu erreichen, sollte ein Bewertungsverfahren folgende Anforderungen erfüllen:

- auf genauen Zielvorstellungen und Sachkenntnissen aufbauen;
- gemäss der verfügbaren Informationsbasis alle wesentlichen Faktoren berücksichtigen;
- Flexibilität bezüglich der Aufnahme weiterer Kriterien, ev. sogar alternativer Zielvorstellungen zeigen;
- den Eigenschaften der bewerteten Objekte und den dem Bewertungsverfahren zugrundeliegenden Zielen entsprechen; d.h. die Präferenzen des Bewerbers gemäss den Zielvorstellungen unter Berücksichtigung von Substitutionalität, Komplementarität, Rückkoppelungseffekten usw. inhaltlich richtig abbilden;

- die Auswirkungen der Verknüpfungen überschaubar darstellen;
- unter Rangbildung der Alternativen eine eindeutige Aussage erlauben, d.h. den Ausschluss von Projektvarianten ermöglichen.

Die Berücksichtigung dieser Punkte vermag den Einwand abzuschwächen, dass Bewertungsverfahren oft über eine Verfahrensrationalität statt der gewünschten Sachrationalität verfügen. Trotzdem widersprechen sich natürlich gewisse Anforderungen, so wird z.B. ein überschaubares Bewertungsverfahren geringer Komplexität kaum alle wesentlichen Faktoren und Zusammenhänge des zu bewertenden Objektes umfassen. Im Normalfall kann der Bewerter den Wertträger ohnehin nicht in allen seinen Sacheigenschaften erfassen. Er wird sich die im Hinblick auf das Bewertungsanliegen wichtigsten Eigenschaften herausgreifen, d.h. er bildet den Wertträger problembezogen ab. Der Bewerter legt also seiner Bewertung genau genommen nicht den realen Wertträger, sondern ein Modell³ des Wertträgers zugrunde. Bei dieser Modellbildung besteht die Gefahr, dass in Bewertungsverfahren "weiche", qualitative Kriterien zugunsten von quantitativen Kriterien vernachlässigt werden.

Ökologische Bewertungsverfahren

Als "ökologische" Bewertungsverfahren werden häufig alle Bewertungsverfahren bezeichnet, welche zur Beurteilung natürlicher Faktoren im Rahmen der Landschaftsplanung eingesetzt werden (Bechmann 1977 b). Eine allgemeingültige Definition dieser vielfältigen Bewertungsansätze gibt es nicht. Als wichtiges Kennzeichen für ökologische Bewertungsverfahren könnte der Verzicht auf eine Monetarisierung der Auswirkungen von Massnahmen (Wirkungsanalyse) angeführt werden. Begründet wird diese Haltung damit, dass die verfügbaren Informationen eine quantitative Wirkungsanalyse nicht zulassen würden. In diesem Punkt grenzen sich ökologische Bewertungsverfahren deutlich von ökonomischen Ansätzen ab (Fischer 1983).

Ein spezielles Problem ökologischer Bewertungsverfahren besteht in den häufig unbekannten Beziehungen zwischen dem auslösenden Störfaktor und dem Verhalten von Ökosystemen. Des öfteren weisen sie Langzeitwirkungen, Grenzübergänge, Rückkopplungen und andere nichtlineare Wirkungen höherer Ordnung auf. Diese komplexen Ökosystemzusammenhänge sind durch eine auf linearen Ursache-Wirkung-Beziehungen aufbauende Modellbildung nicht erfassbar. Demzufolge können die Ergebnisse einer solchen Bewertung nur zufällig richtig sein (Vester 1978).

Unter den Begriff ökologische Bewertungsverfahren fallen Verfahren mit unterschiedlichen Zielsetzungen. Der nächste Abschnitt 2.2.3. gibt eine Übersicht dazu. Definition und Ansätze zur ökologischen Wertanalyse, die in der Fallstudie verwendet wird, finden sich im Abschnitt 2.2.3.2. Ökologische Bewertungsverfahren stützen sich methodisch

³ Unter einem Modell versteht man ein Objekt, "das auf der Grundlage einer Struktur-, Funktions- oder Verhaltensanalogie zu einem entsprechenden Original von einem Subjekt eingesetzt und genutzt wird, um eine bestimmte Aufgabe zu lösen, deren Durchführung am Original zunächst oder überhaupt nicht möglich bzw. unter gegebenen Bedingungen zu aufwendig ist." (Klaus & Buhr 1972, S. 729)

oftmals auf einen nutzwertanalytischen Ansatz. Deshalb möchte ich das Konzept der Nutzwertanalyse im Abschnitt 2.2.4. vorstellen.

2.2.3. Übersicht zu ökologischen Bewertungsverfahren

Beim Versuch, die Vielfalt der ökologischen Bewertungsverfahren zu gliedern, fällt auf, dass die Autoren verschiedene Zielsetzungen verfolgen. Vielfach verwenden die Verfasser nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische und landschaftsgestalterische Beurteilungskriterien. In dieser Arbeit werden nur Verfahren besprochen, deren Schwerpunkt auf der Bewertung des Naturhaushaltes liegt.

Die folgende Übersicht über einige ökologische Bewertungsverfahren erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da diese Verfahren von unterschiedlichen räumlichen Bezugsgrößen (z.B. ökologische Raumeinheiten, Raster, Parzelle) ausgehen und bezüglich der inhaltlichen Fragestellung, der Stellung im Planungsprozess, der verwendeten Kriterien oder des methodischen Ansatzes zur Ermittlung der Prioritätsreihung sehr heterogen sind. Ausserdem wurden viele Verfahren im Hinblick auf spezielle planerische Bewertungsprobleme entwickelt und demnach nur einmal benutzt.

Der in der Folge vorgestellte Ansatz zur Klassifikation ökologischer Bewertungsverfahren nach deren inhaltlichen Gesichtspunkten lehnt sich stark an denjenigen von Marks (1979) an.

2.2.3.1. Ökologische Eignungsbewertungsverfahren

"Das Ziel eines ökologischen Eignungsbewertungsverfahrens ist die Bestimmung des auf natürlichen Faktoren beruhenden Wertes, den ein Raum im Hinblick auf bestimmte Nutzungsansprüche innehat." (Marks 1979, S.20).

a) Ökologische Eignungsbewertungsverfahren für einzelne Nutzungsansprüche

Die Bewertungsverfahren dieser Gruppe haben die Wertung eines Raumes bezüglich eines einzelnen Nutzungsanspruches zum Ziel. Vielfach handelt es sich um Bewertungen der landwirtschaftlichen Fruchtbarkeit des Bodens. Das älteste und bekannteste Beispiel im deutschen Raum ist die Bodenschätzung nach dem "Gesetz zur Bewertung des Kulturbodens vom 16. 10. 1934". Ein neueres Eignungsbewertungsverfahren für die Landwirtschaft wurde von Scharps (1975) entwickelt. Es berücksichtigt sowohl natürliche Bodeneigenschaften als auch technische Gesichtspunkte. Ausserdem fallen in diese Gruppe Eignungsbewertungsverfahren für die Forstwirtschaft (Jahr 1959) und den Naturschutz (Sukopp 1970) sowie eine grosse Anzahl zum Komplex Freizeit und Erholung (z.B. Vielfältigkeitswert von Kiemstedt 1969).

b) Ökologische Eignungsbewertungsverfahren für mehrere Nutzungsansprüche

Zu dieser Gruppe werden diejenigen Verfahren gezählt, die mindestens die Eignung zweier Nutzungsansprüche oder Nutzungsalternativen bewerten. Hierzu gehören die von Hummel et al. (1974) entwickelten "ökologischen Standortkarten". Sie enthalten die Eignungen für Acker-, Grünland- und Baugrundnutzung mittels Grundlagendaten aus phänologischen Karten.

Seibert (1975) bewertet die Nutzungsformen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, naturnahe und intensive Erholung im Hinblick auf die drei Funktionsgruppen Nutzfunktionen, Schutzfunktionen und Erholungsfunktionen. Angestrebt wird eine der jeweiligen ökologischen Raumeinheit angepasste Optimierung der verschiedenen konkurrierenden Funktionen anhand der Vegetation als Superindikator.

2.2.3.2. Ökologische Wertanalysen

Bauer (1973, 1977) bezeichnet als "ökologische Wertanalyse" ein von ihm entwickeltes Bewertungsverfahren, für das er den Anspruch erhebt, "qualitative ökologische Werte der Landschaft für eine quantitative Gesamtbewertung aufzubereiten und damit zugleich auch eine quantitativ begründete Eignungsbewertung für verschiedene Nutzungsmöglichkeiten durchzuführen" (Bauer 1977, S. 31).

Er beschreibt sein Verfahren als kontrollierbare und nachvollziehbare Arbeitsmethode für eine auf ökologischer Grundlage basierende Landschaftsplanung, die in der Auseinandersetzung mit den konkurrierenden ökonomischen Nutzungsansprüchen ökologisch begründete Ansprüche stellen will.

Verschiedene Autoren befassen sich mit der Frage, ob Bauer mit dem vorgestellten Verfahren seine hochgesteckten Ziele erreicht. Sporbeck & Marks (1977) kritisieren, dass die globale Zieldefinition keine Rückschlüsse zulässt, was Bauer eigentlich bewerten will.

Bei der Durchführung der ökologischen Wertanalyse wäre die Objektivität der gewonnenen Ergebnisse glaubhafter, wenn Bauer die Mess- und Skalierungsvorschriften angeben würde. Zudem stellt sich ein Gewichtungproblem, denn wenn eine bestimmte ökologische Leistungsfähigkeit in Ökosystemen zu erhalten ist, kann bei verschiedenartigen Ökosystemen eine unterschiedliche Komplexitätsminderung in Kauf genommen werden.

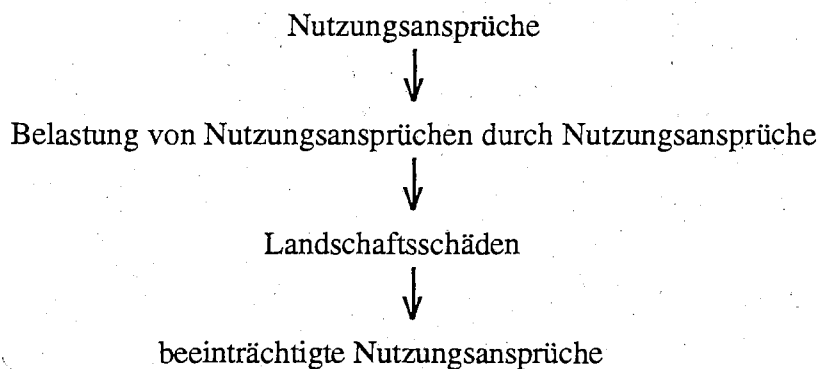
Ammer & Utschick (1984) verwenden eine modifizierte Form der ökologischen Wertanalyse als Hilfsmittel für die weitere Entwicklungsplanung im Nationalpark Bayerischer Wald.

Die Hauptaufgabe dieser ökologischen Wertanalyse bestand darin, "... Informationen über Ausmass und flächige Verteilung des vorhandenen Naturpotentials ... zur Verfügung zu stellen, ... Zielkonflikte aufzudecken und deutlich zu machen und ... Vorgaben für die Entwicklung von Konzepten vor allem für Waldpflege-, Erholungs-, und Forschungsplanung zu liefern." (Ammer & Utschick 1984, S. 10).

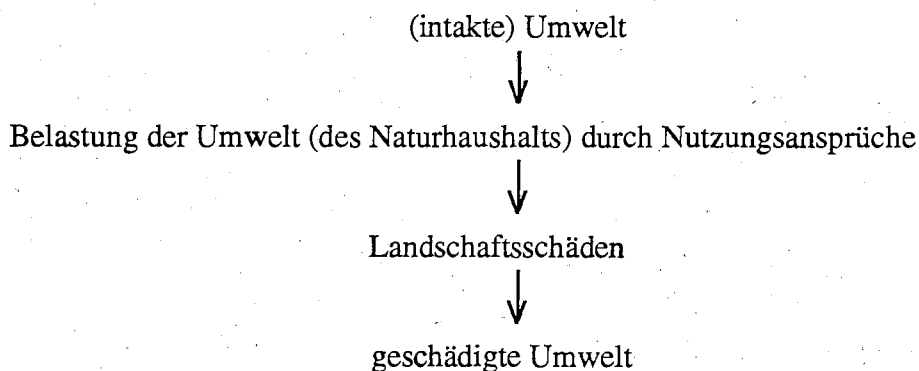
Beurteilt wird die ökologische Bedeutung⁴ einer jeden Raumeinheit auf der Grundlage der Indikatoren Seltenheit, Naturnähe, und Strukturvielfalt. Zusätzlich wurden die ökologisch interessanten Kleinstrukturen (Felspartien, Moosstellen, Moore etc.) erfasst und, zusammen mit faunistischen Elementen, in die Bewertung einbezogen.

2.2.3.3. Ökologische Belastungsbewertungsverfahren

Ökologische Belastungsbewertungsverfahren setzen sich mit der Belastung bzw. Belastbarkeit des Naturhaushaltes auseinander. In der Literatur existieren unterschiedliche Meinungen zum Inhalt des Begriffs Belastung. So definiert Schemel (1976, S.61) Belastung als den "Grad der Beeinträchtigung, der durch die Realisierung eines bestimmten ... Nutzungsanspruches für andere Nutzungsansprüche hervorgerufen wird". Sein Verständnis hinsichtlich des Belastungsbegriffes bringt die folgende schematische Darstellung zum Ausdruck:



Im Gegensatz zu dieser anthropozentrischen Definition ist bei G. Bauer (1973) nicht der menschliche Nutzungsanspruch, sondern die Umwelt primärer Betrachtungsgegenstand. Ihr Verständnis des Belastungsbegriffes kann durch das folgende Schema verdeutlicht werden:



⁴ Ammer & Utschick (1988, S. 37) bezeichnen Flächen, die naturschutzfachlich von besonderem Wert sind als "ökologisch wertvoll". "Hierbei ist jedoch keine Klassifizierung etwa im Sinne der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen impliziert. Die Bewertung schliesst alle im Naturschutz üblichen Wertkriterien ein."

Marks (1979, S.29) schliesslich geht davon aus, dass in Mitteleuropa eine Belastung oder Zerstörung von Ökosystemen stets direkt oder indirekt durch den Menschen verursacht wird und definiert deshalb Belastung als "Grad der Beeinträchtigung menschlicher Nutzungsformen und/oder des Naturhaushalts durch menschliche Nutzungsansprüche im Hinblick auf die Erhaltung vielfältiger und funktionsfähiger Ökosysteme". Belastbarkeit definiert er als "Toleranzbereich, innerhalb dessen bei menschlichen Eingriffen in den Naturhaushalt noch keine dauerhafte Schädigung des Ökosystems bzw. eine dauerhafte Beeinträchtigung menschlicher Nutzungsformen erfolgt. Der Toleranzbereich ist abhängig vom Pufferungs- und Regenerationsvermögen eines Ökosystems".

Ein transparentes Belastungsbewertungsverfahren ist das "Umweltbelastungsmodell Dortmund (BELADO)" (Werner et al. 1975). Die Autoren beschränken sich auf die Faktoren Luftverschmutzung, Lärm sowie den Faktor fehlende Naherholungsmöglichkeiten. Das methodische Gerüst bildet die Standardform der Nutzwertanalyse.

Weiter zu den Belastungsbewertungsverfahren werden auch die Umweltverträglichkeitsprüfungen gerechnet. Ein methodisch ähnliches Verfahren liegt bei der "ökologischen Risikoanalyse" (Bachfischer et al. 1977) vor, mit deren Hilfe das ökologische Risiko festgestellt werden soll, dem ein Gebiet bei gegebenen Belastungsfaktoren ausgesetzt ist. Der durch das Verfahren ermittelte Risikograd hängt einerseits von der Art der Belastungswirkung und andererseits von der Empfindlichkeit ab, welche eine natürliche Ressource gegenüber den Belastungseinwirkungen aufweist.

2.2.3.4. Ökologische Verflechtungsmatrix

Unter einer ökologischen Verflechtungsmatrix versteht man eine Matrix, die Beziehungen zwischen dem Naturhaushalt und den menschlichen Nutzungsformen darstellt. Die ökologische Verflechtungsmatrix soll es ermöglichen, die Empfindlichkeit einer Landschaft gegenüber menschlichen Eingriffen abzuschätzen. Ihre Methodik kann kurz am von Krause et al. (1977) entwickelten Modell aufgezeigt werden.

Die verwendete Matrix besteht aus vier Teilmatrizen, zu deren Verdeutlichung die folgenden Beispiele dienen (Abb. 4, 5, 6, und 7):

- Die erste Teilmatrix enthält die Eignung der natürlichen Landschaftsfaktoren für anthropogene Nutzungen (Abb. 4).
- Die zweite Teilmatrix stellt die Auswirkungen dieser Nutzungen auf die Landschaftsfaktoren dar (Abb. 5).
- Die dritte Teilmatrix zeigt die aus den Wechselwirkungen von Nutzungsformen resultierenden Nutzungskonflikte im Untersuchungsgebiet auf (Abb. 6).
- Die vierte Teilmatrix schliesslich bewertet die Folgeerscheinungen anthropogener Nutzungen auf andere Nutzungsformen (Abb. 7).

<div> <div>VERKEHR</div> <div>GEOMORPHOLOGIE</div> </div>		
	Bau von Verkehrs- anlagen (Strasse und Schiene)	Flugverkehr (einschl. Flugplatz)
Tiefebene	1 bis 2	2 bis 3
Uferzone naturnah	0	0
Marsch	1	0 bis 1

0 = ungeeignet, 1 = geeignet, 2 = gut geeignet, 3 = sich bedingend

Abb. 4: Auszug aus der Teilmatrix 1 "Geomorphologie – Verkehr". Quelle: Krause et al. (1977)

<div> <div>INDUSTRIELLE PRODUKTION</div> <div>REALE VEGETATION</div> </div>		
	Abgase	Stäube
Laubmischwälder	-4 bis -5	0 bis -4
Zwergstrauchheiden	-4 bis -5	0 bis -4

0 = keine Auswirkung, -4 = belastend, -5 = stark belastend

Abb. 5: Auszug aus der Teilmatrix 2 "Industrielle Produktion – Reale Vegetation" Quelle: Krause et al. (1977)

<div> NUTZUNG FÜR FREIZEIT UND ERHOLUNG </div> <div> ABFALL- BESEITIGUNG </div>		
	Abgase	Stäube
Deponien	-8	-8
Kompostierungsanlagen	-6 bis -7	-8

-6 = konkurrierend, -7 = stark konkurrierend, -8 = sich ausschliessend

Abb. 6: Auszug aus der Teilmatrix 3 "Abfallbeseitigung – Nutzung für Freizeit und Erholung" Quelle: Krause et al. (1977)

<div> NUTZUNG FÜR FREIZEIT UND ERHOLUNG </div> <div> AGRARNUTZUNG </div>		
	Wildes Campieren	Waldrandbebauung
Ackerbau	0 bis -4	/
Weinbau	-4	/

0 = keine Auswirkungen, -4 = belastend, / = ohne Beziehung

Abb. 7: Auszug aus der Teilmatrix 4 "Nutzung für Freizeit und Erholung – Agrarnutzung" Quelle: Krause et al. (1977)

Den grundsätzlichen Vorteil der ökologischen Verflechtungsmatrix sieht Marks (1979, S. 35) darin, dass "... das Beziehungsfeld Naturpotential – menschliche Nutzungsformen im Zusammenhang dargestellt wird. Informationen werden nicht nur über Eignungen, sondern auch über Folgewirkungen, wie sie durch Nutzungen hervorgerufen werden können, gegeben. Gerade das letztere ist von wesentlicher Bedeutung, da bei Planungsvorhaben den möglichen ökologischen Auswirkungen von Nutzungsformen meist nicht genügend Beachtung geschenkt wird."

2.2.4. Nutzwertanalyse

Wie bereits erwähnt, bildet die Nutzwertanalyse (NWA) die methodische Grundlage für viele ökologische Bewertungsverfahren. Die NWA ist eine aus der Systemtechnik entlehnte, praxisorientierte Methode der Wertfindung und -darstellung. 1970 hat Zangemeister die NWA als universal anwendbares, nach logischem Muster aufgebautes Bewertungsverfahren populär gemacht und ihr in den Planungsdisziplinen zum Durchbruch verholfen. Diese Standardversion soll zuerst einmal vorgestellt werden.

Eine "Nutzwertanalyse ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend der Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen" (Zangemeister 1970, S.20).

Eine NWA umfasst die folgenden Arbeitsschritte:

- 1) Der Bewerter formuliert das Problem, welches er mit der NWA behandeln möchte und erarbeitet sich die notwendige Sachkenntnis zur Bewertung.
- 2) Das Ziel einer NWA ist die Bestimmung der besten Projektvariante bzw. Alternative aus einer Anzahl von Varianten. Um diese Auswahl zu treffen, braucht der Bewerter genaue Zielvorstellungen, die zu Beginn der Bewertung festgelegt werden müssen.
- 3) In einem weiteren Schritt sind die Bewertungsobjekte anzugeben (z.B. Art der Bewertungseinheiten).
- 4) Die zu bewertenden Varianten können bezüglich den Bewertungsobjekten nicht direkt bewertet werden, sind also durch eine Anzahl Bewertungskriterien zu beschreiben. Diese Bewertungskriterien sind im folgenden als Zielsystem bezeichnet.
- 5) Für jedes Bewertungskriterium erfolgt nun die Datenaufnahme in realen Grössen (Zielerträge) und deshalb in unterschiedlichen Einheiten.
- 6) Um die Bewertungskriterien vergleichen zu können, ist es notwendig, die Zielerträge in eine gemeinsame Dimension abzubilden. Dies geschieht, indem man jedem Zielertrag einen Wert (Zielerfüllungsgrad) zuordnet. Diese Zielerfüllungsgrade drücken für jedes Bewertungskriterium aus, wie gut es ein bestimmtes Ziel aus der Sicht des Bewerters erreicht, d.h. sie sind Nutzengrössen. Zielerfüllungsgrade werden in einer NWA häufig durch eine 10-Punkte-Skala ausgedrückt.
- 7) Nun werden die Bewertungskriterien entsprechend ihrer relativen Bedeutung in bezug auf die Zielvorstellungen gewichtet, indem der Bewerter für alle Bewertungskriterien einen Gewichtungsfaktor festlegt.
- 8) Für jedes Bewertungskriterium lässt sich nun ein Teilnutzwert bestimmen, der durch Multiplikation des Gewichtungsfaktors mit dem betreffenden Zielerfüllungsgrad entsteht.
- 9) Der Nutzwert einer Variante entsteht schliesslich durch Addition aller Teilnutzwerte dieser Variante.
- 10) Den letzten Schritt einer NWA bildet die Rangierung der Varianten aufgrund der Nutzwerte.

Obwohl für Nutzwertanalysen stets ein bestimmter Ablauf vorgegeben ist, ist damit noch keineswegs sichergestellt, dass dieser Ablauf zu einem inhaltlich sinnvollen Ergebnis führt. Die Ursache liegt in der Subjektivität der inhaltlichen Absicherung der einzelnen Bewertungsschritte. Eine Mindestanforderung an eine NWA ist die intersubjektive Begründbarkeit der einzelnen Arbeitsschritte. Dies bedingt, dass der Bewerter über jeden Bewertungsschritt nachdenkt und ermöglicht nicht an der Bewertung beteiligten Personen den Bewertungsvorgang sowohl formal als auch inhaltlich nachzuvollziehen.

Die Schwachstellen der NWA liegen im Zusammenspiel von Form und Inhalt. Folgende Problembereiche können unterschieden werden:

- *Bestimmung der Bewertungskriterien:* Die Kriterienwahl ist abhängig von den Zielvorstellungen des Bewerters und von der Verfügbarkeit von Daten auf der Massstabsebene der Bewertungseinheit. Erfahrungsgemäss werden Bewertungsverfahren aufgrund dieser Datenabhängigkeit den verfügbaren Ressourcen (Zeit, Geld, Personal usw.) angepasst. Zwangsläufig verzichten Bewerter auf schwer bestimmbare qualitative und schwer in die NWA integrierbare quantitative Kriterien. Trotzdem soll die Kriterienwahl intersubjektiv begründbar sein.
- *Bestimmung der Zielerfüllungsgrade:* Um die Messwerte der Kriterien, die in unterschiedlichen Masseinheiten erhoben werden, vergleichbar zu machen, müssen sie auf eine gemeinsame Skala transformiert werden. Diese Zuordnung der Zielerfüllungsgrade zu Zielerträgen wird durch den Bewerter ausgeführt und begründet. In der Literatur ist dieser methodisch wichtige Schritt eines Bewertungsverfahrens kaum diskutiert, obwohl auf dieser Stufe eine das Endresultat der Bewertung vorentscheidende Wahl fällt.
- *Festlegung der Kriteriengewichte:* Die Gewichtung der Kriterien ist zwangsläufig subjektiv, da Gewichtungen von Kenntnisstand und Wunschvorstellungen des Bewerters abhängig sind, Modeströmungen unterliegen und im Grunde nicht Vergleichbares verglichen werden soll. Bei Fragen wie "Wieviele Baumarten entsprechen einer Vertikalstruktur von drei Baumschichten?" sind Gewichtungen bzw. Einschätzungen durch einen einzelnen Bewerter nicht mehr sinnvoll und müssen durch Meinungsumfragen ersetzt werden. Dieser Versuch, durch Diskussion das Zustandekommen der Gewichtung nachvollziehbar zu machen, kann in der Regel auf zweierlei Weise erfolgen: über die Zusammenstellung der Gewichtungen anderer Autoren oder mittels einer Delphi-Studie. Dabei werden verschiedene Flächen des Untersuchungsgebietes von Experten begangen und unabhängig voneinander nach dem vorher festgelegten Zielsystem bewertet. Eine anschliessende Diskussion der Resultate ergibt die mittlere Gewichtung der Kriterien.
- *Verknüpfung der Kriterien (Aggregation):* Durch die Kombination der Kriterien sollen alle bisher bestimmten Teilbewertungen zu einem Ganzen, dem Nutzwert, zusammengefasst werden. Der mit einer solchen Aggregation verbundene Informationsverlust wird im allgemeinen dank der übersichtlicheren Darstellung der Resultate

in einem einzigen Ergebniswert wettgemacht (Volk 1988). Für die Standardversion der NWA werden die Zielerfüllungsgrade der Kriterien mittels konstanten Gewichtungsfaktoren multipliziert und anschliessend zum Nutzwert aufsummiert. In neueren Varianten der NWA kommen andere Aggregationsmethoden zum Einsatz. Dabei ist zu berücksichtigen, dass formalmethodisch auf bestimmten Skalentypen nur gewisse Rechenoperationen erlaubt sind.

Ordinalskalen legen zum Beispiel eine Rangordnung fest, die Abstände zwischen zwei Werten auf der Skala haben jedoch keine Bedeutung. Daher wäre die folgende Aussage sinnlos: Ein leicht kranker und ein schwer kranker Patient sind im Durchschnitt mittelmässig krank. Wenn aber eine Skala vorliegt, bei der auch die Abstände zwischen zwei Messwerten eine Bedeutung haben, so spricht man von einer Intervallskala. Falls der Nullpunkt einer Intervallskala in natürlicher Weise gegeben ist, spricht man von einer Verhältnisskala (z.B. Gewicht, Temperatur in Kelvin). Intervall- und Verhältnisskala sind nur für quantitative Merkmale möglich und werden oft Kardinalskalen genannt. Kardinalskalen legen eine Reihenfolge fest und erlauben ausserdem die Ausführung aller Rechenoperationen.

In gewissen Fällen kann die Zuordnung eines Merkmals zu einer bestimmten Skala diskutabel sein. Zu welcher Skala gehören zum Beispiel Schulnoten? Sie bilden sicher eine Ordinalskala. Ob sie auch eine Kardinalskala bilden, hängt von der Situation ab. So wird die Stilnote in einem Aufsatz zu einer Ordinalskala gehören, die Orthographienote dagegen zu einer Intervallskala, sofern sie sich direkt auf die Anzahl der gemachten Fehler bezieht.

Aufgrund dieser Überlegungen stehen zur Kriterienverknüpfung je nach Skalentyp verschiedene Methoden – wie das gewichtete arithmetische Mittel (Kardinalskalen), die logische Kombination oder das Zuschlagsverfahren (Ordinalskalen) – zur Verfügung.

- Bei der logischen Kombination erfolgt die Verknüpfung der Kriterien durch eine systematische Bearbeitung des Zielsystems, indem mittels Wertmatrizen immer zwei Kriterien zusammengefügt werden (Abb. 8).

Diese aufwendige Aggregationsmethode bedingt die Betrachtung aller möglichen Wertkombinationen zweier Kriterien. Wegen der Schwierigkeit, Kardinalität in allen Fällen zu garantieren, aber auch wegen der grösseren Flexibilität und der Möglichkeit, gegenseitige Beeinflussungen einzelner Kriterien zu berücksichtigen, findet in modifizierten NWA (z.B. Bechmann 1977 a) oft die logische Kombination Verwendung. Durch diese Neuerungen verliert das Verfahrens jedoch an Überschaubarkeit und Verständlichkeit.

- Falls der Informationsgehalt der Ausgangsdaten nicht für eine Einteilung in die vorgesehene Anzahl Zielerfüllungsgrade ausreicht, müssen solche Kriterien im Zuschlagsverfahren berücksichtigt werden. Das Zuschlagsverfahren wird also für Bewertungsobjekte mit besonderen Merkmalen verwendet (z.B. Zuschlag für ein Baumdenkmal).

Resultierender Wert		Werte des Kriteriums A										
Werte des Kriteriums B	0	0	1	2	2	3	3	4	5	5	6	
	1	0	1	2	2	3	4	4	5	6	6	
	2	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7	
	3	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	
	4	2	2	3	3	4	5	5	6	7	7	
	5	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8	
	6	3	3	3	4	5	5	6	7	7	8	
	7	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	
	8	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	
	9	4	4	4	5	6	6	7	8	8	9	

Abb. 8: Beispiel einer logischen Kombination mit 2 : 1 Gewichtung des Kriteriums A gegenüber Kriterium B. Quelle: BSU (1989)

2.3. Erkenntnisse aus der Theoriediskussion

Ökologische Bewertungsverfahren

Ökologische Bewertungsverfahren existieren in vielen Formen und Komplexitätsstufen. Sie bewerten einen Raum hinsichtlich aktueller oder geplanter anthropogener Nutzungen. Vereinzelt versuchen sie, Eingriffe in den Naturhaushalt und deren Auswirkungen zu berücksichtigen, obwohl diese Veränderungen des Naturhaushaltes nicht genau erfassbar sind. Die Modelle der Ökosystemlehre könnten in Zukunft zu wirklichkeitsnäheren Zielsystemen in Bewertungsverfahren dienen.

Am Beispiel der Nutzwertanalyse habe ich darauf hingewiesen, dass die Verwendung eines formalisierten Bewertungsverfahrens nicht automatisch zu befriedigenden Resultaten führt. Die Ursache liegt in der Subjektivität der Inhalte einzelner Bewertungsschritte. Am Bewerter liegt es, die getroffenen Annahmen – wie die Formulierung der Zielvorstellungen, Kriterienwahl, Zielerfüllungsgrade, Kriteriengewichtung und -aggregation – zu begründen. Alle diese Problembereiche sollten vom Bewerter diskutiert werden, um die angestrebte Transparenz des Bewertungsvorganges zu erreichen. Schemel (1977, S.140) bemerkt in diesem Zusammenhang, dass bei der Anwendung der Nutzwertanalyse die präzise Formulierung eines Zielsystems eine Schlüsselrolle spielt. Denn "hinter jedem Zielsystem steckt seinem Wesen nach eine subjektiv-politische Werthaltung, die sich natürlich nicht objektiv beweisen, sondern nur offenlegen lässt."

GIS und Ökologische Bewertungsverfahren

Die Verwendung von Computern, insbesondere Geographischen Informationssystemen, zur Ausführung eines ökologischen Bewertungsverfahrens soll das methodische Vorgehen nicht beeinflussen. Inhaltliche Konsequenzen des GIS-Einsatzes, wie sie in der Frage 1b der Problemstellung dieser Arbeit formuliert wurden, sind erst nach der Durchführung einer Fallstudie abschätzbar.

Zu diesem Zeitpunkt sind als Resultat der Theoriediskussion die folgenden *Möglichkeiten* der GIS-Unterstützung im Rahmen eines Bewertungsverfahrens denkbar⁵:

- Statistische Abhängigkeiten in den Ausgangsdaten können erkannt und bei der Verwendung dieser Daten im Bewertungsverfahren berücksichtigt werden.
- Zwischenresultate sollten sich ohne grossen Zusatzaufwand ermitteln, graphisch darstellen, auf Fehler prüfen und zur Diskussion stellen lassen.
- Die Durchführung von Varianten eines Bewertungsverfahrens mit unterschiedlicher Wahl der Kriterien, Bestimmung der Zielerfüllungsgrade, Kriteriengewichtung und -verknüpfung sollte mit geringerem Aufwand als bisher möglich sein.
- Aus den Ausgangsdaten können mehrere Bewertungsverfahren mit unterschiedlichen Zielvorstellungen entwickelt werden.

Der zusätzliche Ressourcenaufwand eines GIS-Einsatzes zur Bearbeitung ökologischer Bewertungsverfahren wird vor allem in Verfahren, die mit analytischen Kombinationen verschiedener thematischer Daten arbeiten, gerechtfertigt sein. Wiederholt gleiche Abläufe oder häufig aktualisierte Ausgangsdaten sprechen ebenfalls für einen Computereinsatz.

Probleme, die sowohl bei GIS-Anwendungen als auch bei der Verwendung von ökologischen Bewertungsverfahren angesprochen wurden, sind:

- die Gefahr der Vernachlässigung von qualitativen gegenüber quantitativen Daten.
- die Subjektivität der erarbeiteten Ergebnisse.

Da GIS und Bewertungsverfahren Werkzeuge zur Entscheidungsfindung sind, sollten ihre Methoden hinterfragt, sowohl formal als auch inhaltlich offengelegt und nicht als "black box" verwendet werden.

Im folgenden dritten Kapitel greife ich einige dieser Punkte am Beispiel einer ökologischen Wertanalyse mittels GIS wieder auf.

⁵ s. Frage 1a der Problemstellung im Abschnitt 1.2.

3. FALLSTUDIE: ÖKOLOGISCHE WERTANALYSE MIT HILFE EINES GEOGRAPHISCHEN INFORMATIONSSYSTEMS

3.1. Einführung

Aus der Problemstellung im ersten Kapitel ist bekannt, dass ich in dieser Fallstudie ein ökologisches Bewertungsverfahren mit Unterstützung eines GIS durchführen möchte. Auf die Wahl des Untersuchungsgebietes und des geeigneten ökologischen Bewertungsverfahrens gilt es zunächst einzugehen. Dabei berücksichtige ich die folgenden Rahmenbedingungen:

- Ein analytischer GIS-Einsatz ist sinnvoll in Bewertungsverfahren, die auf verschiedenen thematischen Datenebenen aufbauen.
- Ausreichendes Datenmaterial zum Untersuchungsgebiet soll vorhanden sein, da eigene Felddaufnahmen den Rahmen der Fallstudie sprengen würden. Diesem Punkt unterliegen viele GIS-Projekte mit beschränkten Ressourcen.

Die Wahl des Untersuchungsgebietes hat aufgrund dieser Voraussetzungen erste Priorität.

Wahl des Untersuchungsgebietes

Durch den Kontakt, den ich als Teilzeitmitarbeiter beim Horgener Büro für Landschaftspflege gewonnen hatte, erhielt ich ein interessantes Studienobjekt, da das Forstamt der Stadt Zürich im Sommer 1990 den Auftrag vergab, eine forstliche Bestandeskarte des Sihlwaldes zu erstellen. Das berufene Büro für Landschaftspflege entschloss sich zu deren digitalen Bearbeitung im Hinblick auf eine spätere computerunterstützte Waldbewirtschaftung durch das Forstamt. Ich war mit den Digitalisierungsarbeiten für diese Bestandeskarte beschäftigt und wurde in diesem Zusammenhang auch auf das parallel laufende Projekt "Naturlandschaft Sihlwald" aufmerksam, für das die Grundlagendaten erhältlich sind, welche in den Jahren 1987/88 erhoben wurden.

An dieser Stelle möchte ich kurz die Ziele und den Ablauf dieses 1986 durch das Stadtforstamt lancierten Projektes beschreiben.

Ziele:

- Das Hauptziel des Projektes ist die Entlassung des Sihlwaldes aus der forstlichen Nutzung. Schrittweise soll ein Naturwald entstehen, in dem jedes direkte Eingreifen des Menschen unterbleibt.
- Gleichzeitig soll die Schaffung von konkreten Umweltbildungsmöglichkeiten, wie beispielsweise der im Mai 1986 eröffneten Sihlwaldschule, ein besseres Verständnis für Naturzusammenhänge bewirken.

- Als weiteres Ziel soll den Menschen der Agglomeration und der Stadt Zürich die wohlthuende und bereichernde Kontrastwirkung einer Naturlandschaft als Gegensatz zur übrigen zivilisatorisch vollständig umgestalteten Landschaft vermittelt werden.

Projektablauf:

Die damalige forstwirtschaftliche Nutzung des Sihlwaldes konnte nicht schlagartig aufgegeben werden. Deshalb hatten die Mitarbeiter des Büros für Siedlungs- und Umweltplanung (BSU) 1989 eine ökologische Bewertung des Projektgebietes zu erstellen, anhand dessen die nächsten forstwirtschaftlichen Schritte nach folgenden Gesichtspunkten geplant werden sollten:

- In Gebieten mit hohem ökologischem Wert sollen menschliche Eingriffe in Zukunft unerwünscht sein.
- Flächen geringer ökologischer Wertigkeit können weiter genutzt und durch geeignete Eingriffe in einen naturnäheren Zustand überführt werden.

Aufgrund der Zielsetzungen des Projektes "Naturlandschaft Sihlwald" verfolgte das BSU den von Ammer & Utschick (1984) publizierten und im Theorieteil dieser Arbeit⁶ kurz vorgestellten Ansatz einer ökologischen Wertanalyse. Die aus den Grundlagenstudien zur Verfügung stehenden Daten im Bereich der Vegetation und Avifauna entsprachen aber nur teilweise den Anforderungen einer ökologischen Wertanalyse nach Ammer & Utschick. Das Zielsystem des Bewertungsverfahrens wurde daher den Rahmenbedingungen angepasst. Die Resultate dieser Untersuchung bildeten die Grundlagen des ersten Massnahmenplanes.

Die digitale Bestandskarte und die im selben Zusammenhang erhobene Bestandesbeschreibung erweiterten die zur ökologischen Bewertung verwendbaren Daten aus dem Projekt "Naturlandschaft Sihlwald". Damit stand das Untersuchungsgebiet meiner Fallstudie fest.

Wahl des Bewertungsverfahrens

Die im nächsten Schritt zu treffende Wahl eines ökologischen Bewertungsverfahrens ist im allgemeinen von den Zielvorstellungen des Bearbeiters abhängig. Dem Ziel dieser Diplomarbeit wird nur ein Verfahren mit der Notwendigkeit einer thematischen Datenkombination gerecht. Durch die spezielle, forstliche Datenbasis im Untersuchungsgebiet habe ich mich weiter eingeschränkt.

Das bekannteste Bewertungsverfahren zur Wertbestimmung im Wald ist die ökologische Wertanalyse nach Ammer & Utschick. Der in diesem Verfahren vorgesehene Vergleich realer und potentieller Zustände spricht für einen GIS-Einsatz. Interessant im Hinblick auf die Beschränkungen dieser Fallstudie ist der Hinweis, dass zur Datenaufnahme für dieses Bewertungsverfahren grundsätzlich zwei Wege gangbar sind (Ammer & Utschick 1988):

⁶ s. Abschnitt 2.2.3.2.

- eine flächendeckende Kartierung, bei der jeder Bestand begangen und nach seiner ökologischen Qualität eingeschätzt wird;
- eine Kartierung aufgrund vorhandener Unterlagen ("Sparverfahren").

Die exaktere Methode einer flächendeckenden Kartierung bietet sich vor allem für Sonderfälle an, so z. B. für Umweltverträglichkeitsprüfungen und Bewertungen von Wäldern in Nationalparks bzw. Naturschutzgebieten oder dort, wo die Durchführung einer ökologischen Wertanalyse im Zusammenhang mit der Forsteinrichtung oder der vegetationskundlichen Standortkartierung vorgenommen werden kann. Das ist möglich, da die Erhebung der notwendigen Information ohne grossen zusätzlichen Aufwand bei der ohnehin erforderlichen Begehung der Bestände erfolgen kann.

Beim "Sparverfahren" werden alle Unterlagen zusammengetragen, die Aussagen zum ökologischen Zustand von Waldbeständen enthalten, z.B. Forsteinrichtungswerke, vegetationskundliche Standortskarten, Luftbilder usw. Aus diesen Daten ist aufgrund geeigneter Kriterien eine Bewertung möglich, die anschliessend in einer Begehung stichprobenmässig überprüft und gegebenenfalls modifiziert wird. Dieser Ansatz entspricht den Voraussetzungen für die Fallstudie.

Trotz der ähnlichen Ausgangslage und dem gleichen Bewertungsverfahren bzw. derselben Zielsetzung beabsichtige ich mit meiner Arbeit keine digitale Überarbeitung der ökologischen Wertanalyse des BSU, zu der ich folgende Unterschiede im Bewertungsansatz sehe:

- ***Raumeinheiten:*** Da zum damaligen Zeitpunkt noch keine Bestandeskarte zur Verfügung stand, wurden die Raumeinheiten der ökologischen Wertanalyse hauptsächlich nach pflanzensoziologischen Gesichtspunkten gebildet. Alle waldbaulichen Massnahmen finden jedoch auf Bestandesebene statt, weshalb eine Bewertung der Bestände sinnvoller ist.
- ***Datensatz:*** Dank den zusätzlichen Daten der Bestandeskarte und der Bestandesbeschreibung sind nicht nur homogenere Bewertungseinheiten definiert, auch inhaltlich stehen heute bessere Informationen als 1989 zur Verfügung.
- ***Kriterienwahl:*** Aus den unterschiedlichen Ausgangsdaten ergeben sich verschiedene Zielsysteme.
- ***Methodik:*** In meiner Arbeit versuche ich methodische Schwerpunkte zu setzen, indem ich die verwendete Bewertungsmethode und die Konsequenzen des GIS-Einsatzes im Fallbeispiel beurteilen sowie eine Vereinfachung des Verfahrens vorschlagen möchte.

3.2. Aufbau der Fallstudie

Beginnen möchte ich diese Fallstudie mit einer Beschreibung des Untersuchungsgebietes, der verwendeten Soft- und Hardware, der zur Verfügung stehenden Daten und deren Aufnahme ins GIS. Den genauen Bewertungsablauf beschreibe ich im Abschnitt 3.3. Daran anschliessend gibt der Abschnitt 3.4. Auskunft über die Resultate der ökologischen Wertanalyse.

3.2.1. Untersuchungsgebiet

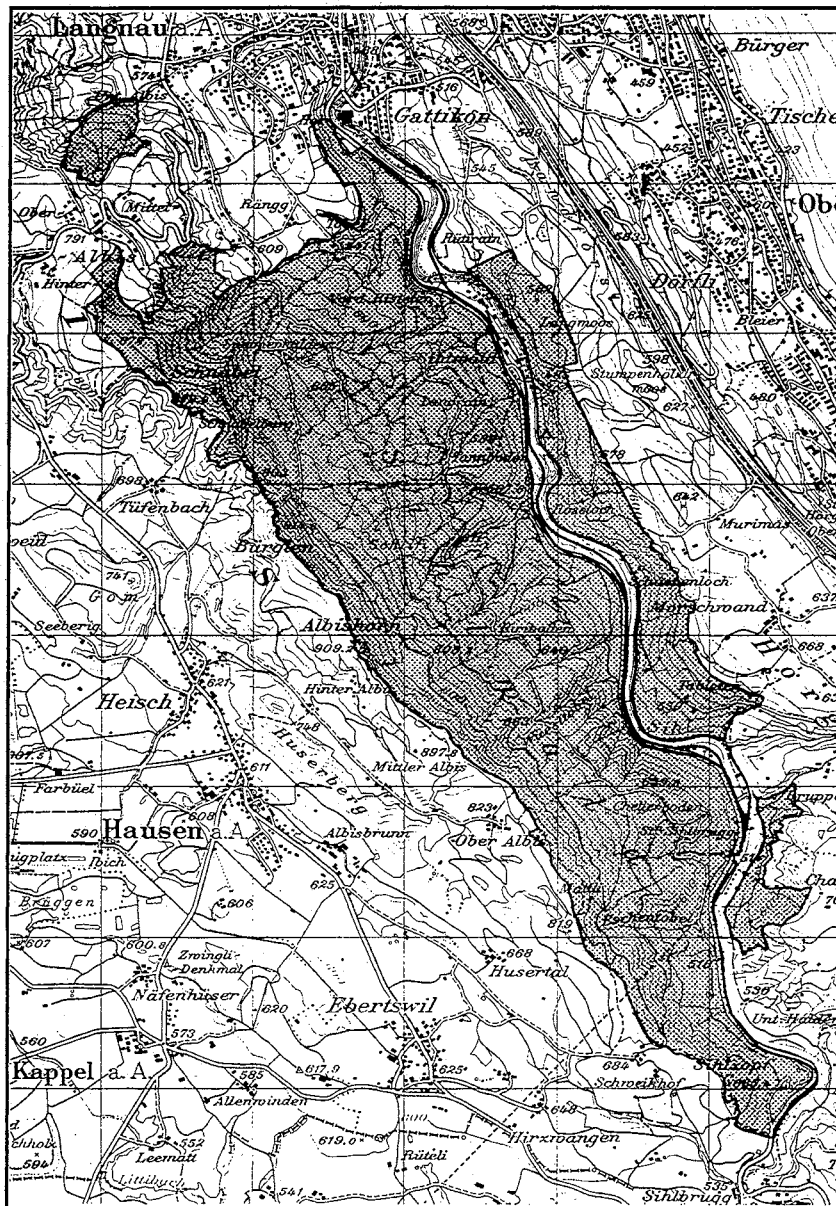


Abb. 9: Die Lage des Untersuchungsgebietes Sihlwald

(Ausschnitt der Landeskarte 1:50000, Blatt 225 "Zürich" reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 30.4.1992.)

Lage

Der Sihlwald liegt 10 - 18 km südlich des Stadtzentrums von Zürich im mittleren Sihltal, zwischen der Albis- und Zimmerbergkette. Nördlich begrenzt die Ortschaft Langnau am Albis, südlich der Verkehrsknoten Sihlbrugg das ca. 10 km² grosse Waldareal.

Topographische Gestaltung

Die Sihl und die Reppisch fliessen von SE nach NW in engen Talrinnen, wobei sie durch ihre nacheiszeitliche Erosionstätigkeit die dazwischen liegende Albiskette überhöhten. Diese markante Gliederung der Albiskette (Albishorn 909 m.ü.M., Bürglen 914 m.ü.M.) mit der parallel zum Zürichsee vorgelagerten, niedrigeren Zimmerbergkette (max. 700 m.ü.M.) geben dem Sihltal sein Gepräge.

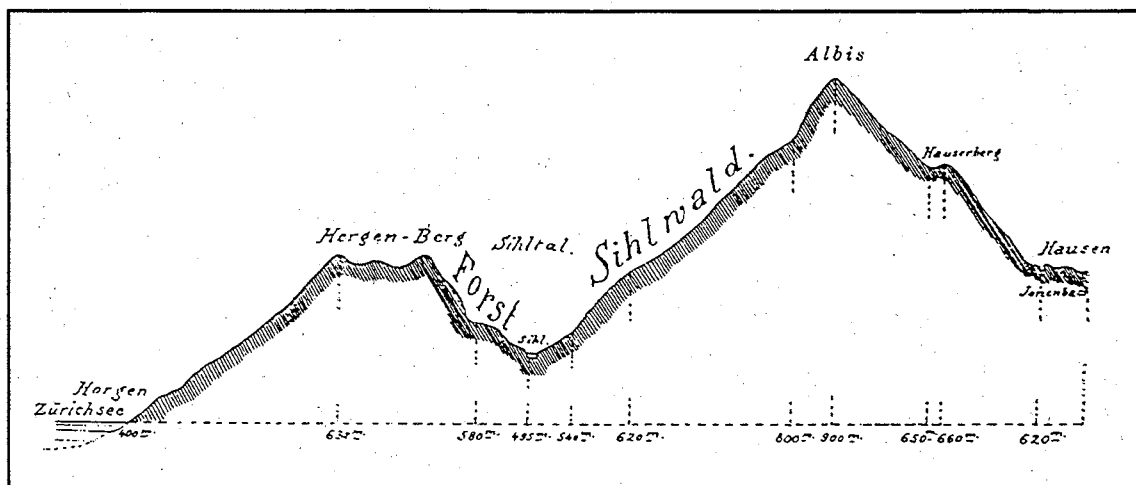


Abb. 10: SW – NO-Profil durch das Untersuchungsgebiet. Quelle: Meister (1903)

Die Sihltalsole liegt auf rund 500 m.ü.M. Die unterste Erosionsstufe beidseits der Sihl zeigt verhältnismässig steile Neigungsverhältnisse. Ab ca. 600 m.ü.M. beginnen Plateaulagen, denen an der Albiskette im Süden ab 650 m.ü.M. und im Norden ab 750 m.ü.M. der steile Anstieg zu den Kammlagen folgt. Zahlreiche Wasserläufe durchbrechen die linksufrige Talflanke, so dass das Feinrelief stark variiert.

Geologie

Die ältesten Gesteinsschichten bestehen aus Molasse. Die Obere Süsswasser-Molasse mit meist kalkhaltigem Gestein tritt an allen Steilhängen auf. Auf dem Albisgrat liegen als Überreste der älteren Eiszeiten Deckenschotter und Riss-Moränen. Die Würm-Moränen der letzten Eiszeit an der Zimmerbergkette werden aus vorwiegend sauren Gesteinen des Linthgletschers gebildet. Die jüngsten Gesteine, die Sackungen und Rutschungen, sind aus Molassematerial.

Klima

Das Lokalklima des Sihlwaldes ist durch etwas höhere Niederschläge als die Stadt Zürich (ca. 1350 mm) und ein westwindgeschütztes, mildes und föhnbeeinflusstes Klima charakterisiert.

Vegetation

Seit der pflanzlichen Wiederbesiedlung nach der Eiszeit dürften grössere Teile dieses Waldkomplexes immer bestockt gewesen sein. Der potentiellen natürlichen Vegetation entsprechen auf dem Gebiet des Sihlwaldes mehrheitlich Buchenwaldgesellschaften, die an frischen bis feuchten Lagen in einen Ahorn-Eschenwald übergehen. Vor allem in den Senken unter dem Steilhang des Albishorns bis Bürglen werden versumpfte Erlenbrüche ausgewiesen.

Nutzungsgeschichte

Der Sihlwald diente den Stadtzürcher Bürgern schon seit dem 14. Jahrhundert zur täglichen Versorgung mit Brenn- und Bauholz. Auf der Sihl konnte das zugerüstete Holz direkt in die Stadt geschwemmt werden, was bei den damaligen beschränkten Transportmöglichkeiten wichtig war. Aufgrund der schwierigen Transportverhältnisse resultierte eine Kahlschlagwirtschaft, die im 18. und 19. Jh. zu starken Übernutzungen führte. So mussten die Wälder des Zimmerbergs u. a. riesige Mengen an Rebstickeln und Holzzäunen liefern. Daher ist das rechte Sihlufer heute mehrheitlich von Nadelhölzern beherrscht. Eine weitgehend natürliche Laubholzbestockung weist das ausgedehntere linksufrige Sihlwaldgebiet auf. Die vorwiegende Brennholznutzung, schwierige Abfuhrverhältnisse sowie die Vitalität des Laubholzes dürften einige der Gründe dafür sein.

Die bis 1920 übernutzten Waldungen werden seit 1925 im klassischen Femelschlag, mit regelmässigen Pflege- und Durchforstungseingriffen, bewirtschaftet. Gemäss gültigem Wirtschaftsplan beträgt die mittlere Umtriebszeit 120 Jahre, wobei ein Massenverhältnis von 50 : 50 zwischen Nadel- und Laubholz angestrebt wird. Der im Sihlwald hohe Laubholzanteil und die Berücksichtigung seiner Funktion als stadtnaher Erholungsraum sind Zielsetzungen, die sich produktionsmässig eher negativ ausgewirkt haben. Trotzdem löste die Idee "Naturlandschaft Sihlwald" in Forstwirtschaftskreisen Kontroversen aus und gab Anstoss zu einem Prozess des Umdenkens in bezug auf unser gegenwärtiges Verhältnis zu Natur und Landschaft.

3.2.2. Daten

Bei vielen GIS-Projekten gilt die verfügbare Datenbasis als limitierender Faktor. Im besten Fall kann man auf vorhandene digitale Daten mit bekannter Qualität zugreifen. Demgegenüber bergen digitale Daten ohne Angaben über den Erhebungsmassstab und Verarbeitungsprozess versteckte Fehlerquellen und verleiten zu Fehlinterpretationen. Die digitalen Daten im GIS-Bereich basieren meist auf analogen Daten in Form von Karten. Diese sind immer kartographisch generalisiert und bilden daher einen Kompromiss zwischen Detailgenauigkeit und graphischer Darstellbarkeit.

Die Daten, welche dieser Arbeit als Grundlage dienten, lagen alle als Karten und Tabellen in analoger Form vor. Vielfach beruht die Abgrenzung der Raumeinheiten auf naturräumlichen Gliederungen, weshalb die Genauigkeit dieser Ausgangsdaten im Massstab 1:5000 sicher genügt. Dank der Hilfe des Büros für Landschaftspflege standen mir die aktuellsten Daten zum Sihlwald zur Verfügung. Es sind dies die forstliche Bestandes-

karte mit Bestandesbeschreibung, die vegetationskundliche Standortskarte sowie der Übersichtsplan. Diese sind im folgenden genauer beschrieben.

Bestandeskarte

Durch die Forstämter wird zu jedem Betriebsplan eine das gesamte Forstgebiet umfassende Bestandeskarte im Massstab 1:5000 erstellt. Die Bestände⁷ werden nach Entwicklungsstufe und Baumartenzusammensetzung kartiert. Diese Kartierung kann sowohl terrestrisch als auch mittels Luftbildern oder auf Orthophotos erfolgen. Alle Luftbild- und Orthophotointerpretationen sind anschliessend im Gelände zu verifizieren.

Eine Bestandeskarte enthält die Bestandesgrenzen, Abteilungs- und Bestandesnummern und den dreistelligen Bestandescode. Dieser beschreibt in der:

1. Ziffer die Entwicklungsstufe:

0	stufige, ungleichaltrige Bestände	
1	Jungwuchs/Dickung	0-20 Jahre
2	Stangenholz	20-40 Jahre
3	schwaches Baumholz	40-60 Jahre
4	mittleres Baumholz	60-80 Jahre
5	Altholz 1	80-100 Jahre
6	Altholz 2	100 -120 Jahre
7	Altholz 3	über 120 Jahre

2. Ziffer die Mischungsverhältnisse im Bestand:

1	Nadelholz	90-100 % (Vorratsprozente)
2	Nadelholz	50-90 % (Vorratsprozente)
3	Laubholz	50-90 % (Vorratsprozente)
4	Laubholz	90-100 % (Vorratsprozente)

3. Ziffer die Hauptbaumart:

0	Rottanne
1	Weisstanne
2	Föhre
3	Lärche
4	übriges Nadelholz
5	Buche
6	Eiche
7	Esche
8	Ahorn
9	übriges Laubholz

⁷ Betriebswirtschaftlich kleinste Einheit im Forstgebiet, eingeteilt nach Bäumen mit mindestens einer gemeinsamen Eigenschaft wie Alter oder Baumart und/oder einer Fläche von mindestens 50 Aren. Bestände werden für kleinmassstäbliche Betrachtungen zu Abteilungen zusammengefasst.

Bestandeskarten existierten 1989 für 64% des öffentlichen Waldes und für 24% der Privatwälder der Schweiz (Bachmann & Bernasconi 1990). Der Informationsgehalt und die Darstellungskonzepte sind kantonale verschieden (Abb. 11). Zur Bestandeskarte wird oft eine Bestandesbeschreibung erstellt.

Bestandesbeschreibung

Die sehr detaillierte waldbauliche Planung für den Sihlwald enthält Begehungsergebnisse (Ansprachen) für jeden Bestand. Die folgenden Variablen wurden ins GIS aufgenommen:

- Baumartenanteile der Ober-, Mittel- und Unterschicht (geschätzt auf 5%);
- Deckungsgrad der Ober-, Mittel- und Unterschicht (geschätzt auf 5%);
- im Massnahmenplan "Naturlandschaft Sihlwald" als Reservat vorgesehen (ja/nein);
 - Begründung durch: Struktur, Baumarten, Verteilung;
- forstlicher Eingriff in der Periode 1991-2001 (ja/nein);
 - Massnahmen: Eingriffsstärke (Durchforstungsprozent);
geschätzter Holzanfall (m^3/ha);
Dauer des Überführungszeitraums;
Dringlichkeit;
- forstlicher Eingriff in der Periode 2001-2011 (ja/nein);
 - Begründung durch: Struktur, Baumarten, Verteilung;

Vegetationskundliche Standortskarte

In der vegetationskundlichen Standortskarte, im folgenden der Einfachheit halber Standortskarte genannt, wird die potentiell natürliche Vegetation wiedergegeben (Burnand 1990). Es ist also nicht die gegenwärtige Vegetation dargestellt, sondern diejenige, welche von Natur aus ohne den Einfluss des Menschen vorkommen würde.

Die potentiell natürliche Vegetation ist Ausdruck der Standortseigenschaften. Als Standort bezeichnen die Förster die Wachstumsbedingungen (Gross- und Kleinklima, Geländeform, Gesteinsunterlage, Boden und Lebewesen) an einem Ort. Anstatt die Standortsfaktoren einzeln zu messen, wird die potentiell natürliche Vegetation durch das Auftreten ausgewählter Pflanzen, der Zeigerpflanzen, bestimmt. Diese gedeihen nur in eng begrenztem Milieu (Licht, Wärme, Bodeneigenschaften usw.) und vermögen sich dort gegenüber anderen Pflanzen durchzusetzen.

Die Waldvegetation darf man sich ohnehin nicht als ewig gleichbleibend vorstellen. Ihre Struktur ändert sich über längere Zeiträume hinweg zyklisch. Ausgehend vom jungen Pionierwald auf bereits reifen Böden wird über verschiedene Etappen der Schlusswald erreicht, der nach einer lokalen Zerfallsphase erneut von Pionierpflanzen abgelöst wird. Jeder Waldstandort beherbergt während dieser Etappen eine bestimmte Baum-, Strauch-, Kraut- und Moosvegetation. Weil diese in einer Lebensgemeinschaft zusammenleben, nennt man sie Waldgesellschaften. Genaugenommen ist auf der Standortskarte die potentiell natürliche Schlussgesellschaft dargestellt.

Zur Erstellung einer Standortskarte werden also die Beziehungen zwischen dem Standort, Zeigerpflanzen und potentiell natürlicher Vegetation benutzt.

Zusätzlich zur Standortkarte gibt eine Beschreibung der einzelnen Waldgesellschaften Hinweise zu Pflanzenzusammensetzung, Standort und Vorkommen für den Naturwald sowie Bestockungsziel, Variationsspielraum, Befahrbarkeit und ertragskundliche Kennwerte für den Waldbau im Wirtschaftswald (BGU 1988).

Die in den Jahren 1987/88 erstellte Standortkarte des Sihlwaldes im Massstab 1:5000 enthält 46 Waldgesellschaften oder Vegetationstypen (Abb. 12).

Übersichtsplan

Der Übersichtsplan 1:5000 diene als Basiskarte für die weiteren Grundlagen wie Weg- und Strassenverbindungen und das Gewässernetz.

3.2.3. Dateneingabe

Die Dateneingabe in ein GIS kann sowohl manuell am Digitalisierertisch als auch automatisch mittels optischem Abtaster (Scanner) erfolgen. Ich hatte die Gelegenheit, beide Methoden anzuwenden. Das zur manuellen Digitalisierung konzipierte ARC/INFO-Modul ARCEDIT unterstützt die Aufnahme von Geometrie- und Sachdaten. Alle Linien müssen in ARCEDIT im Punktmodus digitalisiert werden. Das bedeutet, dass für jeden aufzunehmenden Punkt einer Linie ein Knopf auf dem Digitalisiergerät gedrückt wird. So kann zwar eine hohe Genauigkeit im Bereich der üblichen Digitalisierfehler (Originalverzug, Generalisierungsprozess etc.) erreicht werden, für den Bearbeiter ist dieses dauernde Knöpfchendrücken aber mühsam und konzentrationsmässig zermürbend. Einige Vorteile der manuellen Methode sind die genaue Kontrolle über die Punktdichte pro Linie, die kostengünstigere Apparatur und die geringen Anforderungen an die graphische Qualität der Digitalisiervorlage. So können auch nicht zu digitalisierende Elemente oder Objekte schlechter Linienqualität vorhanden sein. Demgegenüber sollte für eine effektive Arbeitserleichterung beim automatischen Digitalisieren ein grossformatiger, teurer Scanner und eine saubere Vorlage ohne zusätzliche Elemente verwendet werden. Diese Voraussetzungen waren für meine Versuche erfüllt, denn sowohl mit Tusche gezeichnete Vorlagen als auch der Optronics Rasterscanner und Spezialistenbetreuung am Institut für Kartographie der ETH Zürich standen mir zur Verfügung.

Die Arbeitsweise eines Rasterscanners und die Verarbeitung der entstehenden Rasterdaten möchte ich kurz beschreiben. Vor dem Scanvorgang wird die Vorlage auf der Scannertrommel befestigt. Eine Vakuumpumpe sorgt für eine plane Lage und Spezialklebstreifen gewähren einen guten Halt, da die Trommel während dem optischen Abtasten mit bis zu 1000 U/min rotiert. Nach dem Start des Scanners wird die Abtastvorrichtung auf einer Achse parallel zur rotierenden Trommel verschoben, so dass die gesamte Vorlage erfasst wird. Diese Abtastvorrichtung besteht aus einer Xenon-Lampe und einer hochauflösenden Kamera, die für jeden Punkt auf der Vorlage die Farbe bzw. den Grauton erfasst. Die Auflösung des Scanners (Grösse eines Bildelementes oder Pixels) kann in mehreren Stufen von 12.5 μm (2032 dpi) bis 200 μm (127 dpi) gewählt werden.

Die entstandenen Rasterdaten habe ich ebenfalls am Institut für Kartographie auf dem Intergraphsystem editiert und vektorisiert. Zur Entfernung von miterfasstem Schmutz auf der Vorlage diente der Rastereditor I/RASB. Die anschliessende Vektorisierung wird durch das Modul I/VEC unterstützt. Beim Vektorisieren wird die Pixelrepräsentation einer Linie ausgedünnt und anschliessend in Vektorpunkte umgewandelt. Dieser Prozess ist aufwendig und braucht einige Erfahrung, um die Anzahl Fehlinterpretationen klein zu halten. Fehler entstehen durch unvollständige Vorlagen (Unterbrüche) und durch das Zusammenfallen von nahe beieinanderliegenden Linien. Diese Fehlinterpretationen werden während dem Vektorisieren erkannt und können später interaktiv bearbeitet werden.

Die bereinigte Geometrie der Grundlagenkarten konnte ich über das DXF Datenformat problemlos vom Intergraph- auf das ARC/INFO-System übertragen. In ARC/INFO habe ich die Kartenblätter zusammengesetzt, die Topologie erstellt und die Sachinformationen zugewiesen.

Für die Methode der digitalen Datenerfassung eignen sich nach meinen Erfahrungen grössere Projekte mit graphisch exakt aufgearbeiteten Vorlagen. Für die Datenerfassung der Grundlagen dieser Arbeit ging ich folgendermassen vor:

Bestandeskarte

Die Bestandeskarte habe ich direkt aufgrund eines Orthophotos im Massstab 1:5000 manuell digitalisiert. Im automatischen Vorgang wären die mit Filzstift eingezeichneten Grenzlinien der Bestände nicht erkennbar gewesen. Das Hochzeichnen der Linien auf eine Folie und deren automatische Verarbeitung schien für die rund 800 Flächen zu aufwendig. In einem zweiten Schritt wies ich den Bestandesflächen ihren Bestandscode zu.

Standortskarte

Im Gegensatz zur Bestandeskarte habe ich die Standortskarte automatisch digitalisiert, da sie eine wesentlich feinere Flächeneinteilung aufweist als die Bestandeskarte. Die Scanvorlage mit den Flächengrenzen wurde mit Tusche auf Folie hochgezeichnet, ohne vorhergehenden Versuch, das Original, das auch gestrichelte, für den Computer schwer interpretierbare Linien und Sachdaten (Text) enthält, direkt zu bearbeiten. So konnte ich mit kleinem Editieraufwand rasch eine fehlerfreie Geometrie erstellen. Die Sachdaten gab ich anschliessend am Bildschirm ein.

Basiskarte

Die Strassen, Wege und Fusswege habe ich manuell aus dem Orthophoto digitalisiert. An den unübersichtlichen Stellen übernahm ich Ergänzungen aus dem weniger aktuellen Übersichtsplan. Ebenfalls aus dem Übersichtsplan digitalisierte ich das Gewässernetz.

3.2.4. Verwendete Soft- und Hardware

Software

Der grösste Teil der thematischen Arbeit entstand mit dem Geographischen Informationssystem ARC/INFO. Zur Datenaufnahme verwendete ich zusätzlich Intergraph-Software des Instituts für Kartographie der ETH Zürich. Die im nächsten Kapitel beschriebene statistische Auswertung der Ausgangsdaten erfolgte mittels SAS auf einem Grossrechner und mit dem Statistikpaket SPSS auf dem Macintosh. Für die Visualisierung dieser SPSS-Daten benutzte ich das Graphikprogramm Delta Graph, das sich durch die Fähigkeit, verschiedenste Datenformate zu bearbeiten, bewährt hat. Die im Resultatteil dieser Arbeit enthaltenen Karten basieren auf ARC/INFO-Dateien, die mit dem Adobe Illustrator-Programm dargestellt wurden. Diese Softwarekombination erlaubte mir, im Vergleich mit den ARCPLOT-Möglichkeiten, eine graphisch ansprechendere Kartengestaltung.

Hardware

Von der am Geographischen Institut und der am Institut für Kartographie installierten Hardware fanden im Rahmen dieser Arbeit die folgenden Geräte Verwendung:

Computer:

- SUN SPARCstation 1+ (Workstation)
- SUN SPARCserver 490 (Server)
- NAS/XL V60 (Grossrechner)
- verschiedene Macintosh (Mikrocomputer)

Graphische Ausgabegeräte:

- Calcomp Artisan Plus 1025 (Stiftplotter)
- Apple Laserwriter
- QMS ColorScript 100 (Farblaser)

Inputmedien:

- Tektronix 4958 (Digitalisiertisch)
- Optronics 5040 (Scanner/Laserplotter)

Die leistungsstarken SUN-Workstations bilden mit dem Server ein Netzwerk. Auf diesem Netzwerk läuft die ARC/INFO-Software nach dem Client/Server-Prinzip. Direkt mit einer der fünf Workstations ist der Digitalisiertisch verbunden. Der Calcomp Stiftplotter dient dem Ausdruck von ersten Entwürfen. Er ist von jeder Workstation aus direkt ansteuerbar. Über den Macintosh wird die verbesserte graphische Ausgabe auf den Laserwriter bzw. den QMS-Farblaser ermöglicht. Die Vernetzung aller Hardware gewährleistet den Datenaustausch vom GIS zur Statistik-, Graphik- und Textverarbeitungssoftware.

3.3. Bewertung

3.3.1. Ziel und Struktur der ökologischen Wertanalyse

Die ökologische Wertanalyse soll das Naturpotential bzw. den "ökologischen Wert" von Waldbeständen bestimmen⁸. Unter "ökologischem Wert" verstehen Ammer & Utschick (1984, 1985, 1988) eine Kombination der im Naturschutz üblichen Wertkriterien Naturnähe, Seltenheit und Strukturvielfalt, die im folgenden Indikatoren genannt werden. "Der Wert einer ökologischen Wertanalyse im Wald muss ... im wesentlichen in den Möglichkeiten gesehen werden, ökologische Kenntnisse in die forstlichen Planungen einfließen zu lassen, die ja durch ihren Nachhaltigkeitsgrundsatz seit eh und je eine ökologische Ausrichtung haben." (Ammer & Utschick 1988, S. 38).

Die Bestimmung des ökologischen Wertes eines Forstgebietes gibt also Hinweise für eine zukünftige, ökologisch verträglichere Nutzungsplanung. Damit kann beispielsweise abgeklärt werden, wo das aus ökonomischen bzw. arbeitstechnischen Gründen notwendige Holz geschlagen werden kann, ohne die Entwicklung des Waldes zu einem naturnäheren Ökosystem zu gefährden. Ausserdem kann eine Aussage gemacht werden, wo aus ökologischen Gründen zukünftig Holz entnommen werden sollte, um diese Entwicklung zusätzlich zu fördern.

In der Grundstruktur baut eine ökologische Wertanalyse auf den Indikatoren Naturnähe, Seltenheit und Strukturvielfalt auf, die ich im folgenden kurz erläutern möchte:

- *Naturnähe* bedeutet geringen menschlichen Einfluss auf die betrachteten Raumeinheiten. In unserer intensiv genutzten Landschaft sind die noch vorhandenen Reste an naturnahen Systemen zur Erhaltung von Vielfalt und Stabilität von entscheidender Bedeutung.
- *Seltenheit* kann das Ergebnis langfristig ablaufender evolutionärer Prozesse sein. Häufig ist sie heute jedoch eine Folge anthropogener Eingriffe (Jagd, Konkurrenzverschiebung, Biotopzerstörung etc.) in die Ökosysteme. In diesem Fall dienen die selten gewordenen Ökosystemkomponenten als wertvolle Genressourcen und Zellen für Regenerationsprozesse.
- *Strukturvielfalt* (vertikale Schichtung, horizontale Differenzierung, Artenvielfalt) wird im klassischen Naturschutz oft als Indikator für ökologische Stabilität angesehen, obwohl dies nicht immer zutrifft. Jedes natürliche System wird sich vielmehr aufgrund der vorhandenen Störgrößen und -intensitäten zu jener Strukturvielfalt entwickeln, bei der es die höchstmögliche Stabilität erreicht. Zutreffend ist, dass anthropogene Eingriffe in die Natur häufig zu Strukturverarmungen führen.

Diese Indikatoren bilden die Struktur der ökologischen Wertanalyse. Sie können nicht direkt angesprochen werden. Deshalb ist jeder Indikator weiter in Kriterien und Unterkriterien gegliedert, wie das die Abbildung 13 zum Ausdruck bringt:

⁸ vergl. Abschnitt 2.2.3.2.

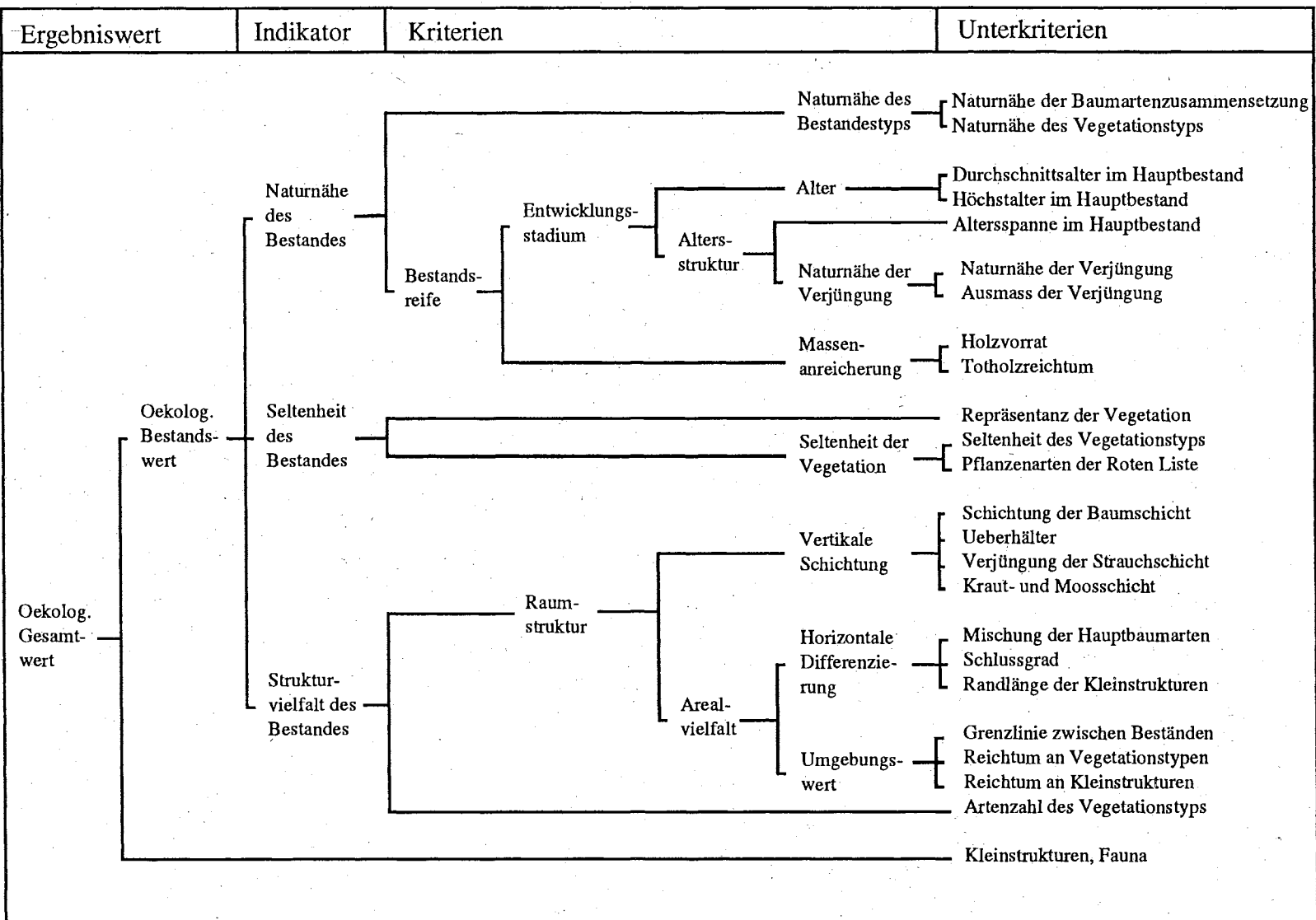


Abb. 13: Zielsystem der ökologischen Wertanalyse nach Ammer & Utschick. Quelle: Ammer & Utschick (1988, S. 40)

Definition und Erfassungsart dieser Kriterien bespreche ich im Abschnitt 3.3.3., sofern sie für meine Arbeit relevant sind.

3.3.2. Bewertungsansatz

In der Einführung zur Fallstudie habe ich die drei wichtigsten Entscheide zur Durchführung des praktischen Teils dieser Arbeit gefällt. So stehen mit ARC/INFO das Instrument, mit dem Sihlwald das Bewertungsobjekt und mit der ökologischen Wertanalyse nach Ammer & Utschick das Bewertungsverfahren fest.

Im Gegensatz zur ökologischen Wertanalyse des Bayerischen Waldes (Ammer & Utschick 1984), für die aufgrund der Zielvorstellungen ein komplexes Bewertungsverfahren entwickelt und dann mittels Feldkartierung umfangreiches Datenmaterial erhoben wurde, soll man im "Sparverfahren" der ökologischen Wertanalyse mit den bereits vorhandenen Daten auskommen.

Die im Abschnitt 3.2.2. vorgestellten Ausgangsdaten für den Sihlwald können den Bewertungsansatz, welcher für den Bayerischen Wald entwickelt wurde, nicht erfüllen. Dieser Ansatz beruht, wie im Abschnitt 2.2.3.2. beschrieben, im wesentlichen auf der Beurteilung der forstlichen Bestände, der im Wald liegenden Kleinstrukturen (wie Felspartien, Moore, Trockenstandorte usw.) und auf faunistischen Informationen. Zu den Kleinstrukturen im Sihlwald sind keine Daten erhältlich. Faunistische Informationen liegen im Form einer Kartierung der Avifauna vor. Diese Daten sind aber aufgrund der kleinen Anzahl Teilflächen (29) und der damit verbundenen geringen Aussagekraft wenig repräsentativ, so dass ich auf ihre Verwendung verzichtete. Somit bleiben noch die forstlichen Bestände, für die zwar Daten vorhanden sind, aber leider auch nicht so detailliert wie für den Bayerischen Wald. Daher ist eine Anpassung des Zielsystems der ökologischen Wertanalyse (Abb. 13) an die verfügbaren Daten unumgänglich.

Die damit verbundene neue Kriterienwahl ist für alle im "Sparverfahren" zu erstellenden ökologischen Wertanalysen notwendig und liegt im Ermessen des Bearbeiters. In der Literatur finden sich keine Hinweise über den Mindestumfang eines Zielsystems. So wird man normalerweise versuchen alle verfügbaren Daten zu verwenden.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob mit einem vereinfachten Verfahren, beruhend auf wenigen Ausgangsdaten, nicht ebenso brauchbare Resultate möglich sind. Daher verfolge ich in dieser Fallstudie zwei Bewertungsvarianten:

- 1) Eine einfache Bewertung, die auf Daten aufbaut, welche im wesentlichen aus der Bestandes- und Standortkarte erhältlich sind.
- 2) Eine umfangreiche Bewertung, welche alle für den Sihlwald erhobenen und im Rahmen einer ökologischen Wertanalyse verwendbaren Daten berücksichtigt. Zusätzlich zur Bestandes- und Standortkarte findet somit die Bestandesbeschreibung Verwendung.

Die einfache Bewertung kann, falls gute Ergebnisse resultieren, überall angewendet werden, wo Bestandes- und Standortkarten existieren und Forstämter diese ökologische Information in die Planung einfließen lassen wollen. Der Vergleich mit dem umfangreicheren Verfahren soll einen Anhaltspunkt für die Qualität dieser Vereinfachung geben. Zur weiteren Qualitätsabschätzung dienen die bisher für den Sihlwald erstellten Bewer-

tungen. Es sind dies die bereits erwähnte ökologische Wertanalyse des BSU⁹ sowie eine Beurteilung des Entwicklungstyps aller Bestände durch Voloscuk (1990). Diese Bewertung entstand im Rahmen der Massnahmenplanung für das Projekt "Naturlandschaft Sihlwald", aufbauend auf den Ergebnissen der BSU-Studie und aufgrund einer umfangreichen Waldbegehung.

Um die beiden zu erstellenden Bewertungsvarianten trotz der Veränderungen als ökologische Wertanalyse bezeichnen zu können, sollten zumindest das im vorangehenden Kapitel erläuterte Ziel und die Grundstruktur erhalten bleiben.

3.3.3. Einfache Bewertung

Die einfache Bewertung soll im wesentlichen auf den Daten der Bestandes- und der Standortskarte basieren.

- Die Bestandeskarte nennt für jeden Bestand die Entwicklungsstufe, das Mischungsverhältnis Nadelholz/Laubholz und die Hauptbaumart.
- Aus der Gesellschaftsbeschreibung im Begleitbuch zur Standortskarte (BGU 1988) lässt sich die potentiell natürliche Hauptbaumart der Waldgesellschaften bestimmen. Zum Mischungsverhältnis Nadelholz/Laubholz im Naturwald macht diese Beschreibung leider keine Angaben. Diese Tatsache erschwert den Vergleich zwischen realer und potentiell natürlicher Bestockung.
- Zusätzlich zu den kartierten Daten benutze ich berechnete Masse, welche durch den GIS-Einsatz anfallen.

Im Vergleich zur ökologischen Wertanalyse von Ammer & Utschick können nur teilweise dieselben Kriterien verwendet werden, da die Ausgangsdaten zu verschieden sind. So muss die Kriterienwahl zur Operationalisierung der Indikatoren Naturnähe, Seltenheit und Strukturvielfalt neu erfolgen.

3.3.3.1. Kriterienwahl der einfachen Bewertung

Naturnähe

Die ökologische Wertanalyse nach Ammer & Utschick bewertet die Naturnähe eines Bestandes durch Bewertungen der Naturnähe des Bestandestyps und der Bestandesreife. Die Naturnähe des Bestandestyps wird aus derjenigen der Baumartenzusammensetzung und derjenigen der Bodenvegetation ermittelt. Aus der Abbildung 14 sind diese und alle weiteren Kriterien zur Naturnähe mit ihren Verknüpfungen ersichtlich.

Die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung kann mit den Daten zum Sihlwald in ähnlicher Weise bewertet werden. Da keine Angaben zur aktuellen Bodenvegetation vorhanden sind, ist die Naturnähe der Bodenvegetation nicht erfassbar. Die Bestandes-

⁹ s. Abschnitt 3.1.

reife, bei Ammer & Utschick definiert durch eine Vielzahl weiterer Kriterien (Abb. 14), erlaubt meines Erachtens Aussagen zur Struktur der einzelnen Bestände und findet daher bei der Strukturvielfalt Verwendung.

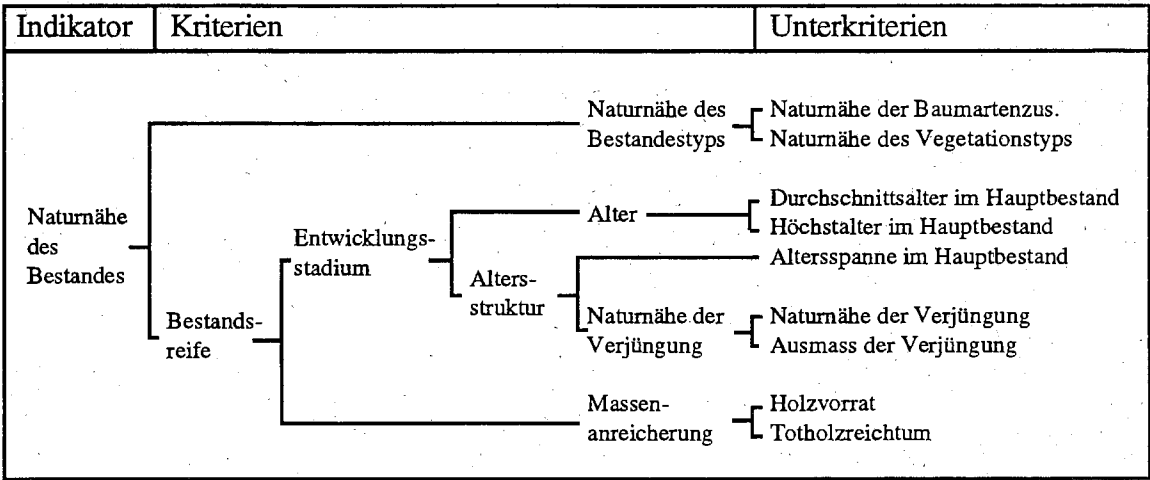


Abb. 14: Zielsystem für den Indikator Naturnähe nach Ammer & Utschick (Ausschnitt aus Abb. 13)

Die Bewertung der Naturnähe der Baumartenzusammensetzung erfolgt durch den Vergleich von realer und potentiell natürlicher Waldgesellschaft. Aus der Bestandeskarte Sihlwald kennt man für jeden Bestand die reale Hauptbaumart. Dieselbe Information liefert die nach pflanzensoziologischen Gesichtspunkten gegliederte Standortkarte für die potentiell natürliche Waldgesellschaft. Durch eine Flächenverschneidung der beiden geometrisch unterschiedlichen Karten im GIS ist ein direkter Vergleich zwischen realer und potentieller Waldgesellschaft möglich.

Als erstes Kriterium zur Bewertung der Naturnähe der Bestände dient also ein Vergleich der Hauptbaumart der Bestände mit derjenigen der potentiell natürlichen Waldgesellschaft. Dazu berechne ich bestandesweise den Flächenanteil mit übereinstimmender Hauptbaumart, der den Zielertrag des Kriteriums *Naturnähe der Hauptbaumart* bildet. Die Daten zum Mischungsverhältnis Nadelholz/Laubholz enthalten eine zusätzliche Information zur Naturnähe. Wie man aus der Standortkarte entnimmt, ist der Sihlwald ein potentiell natürlicher Laubwald. Daher sind alle Nadelholzvorkommen in bezug auf die Natürlichkeit problematisch. Das Mischungsverhältnis Nadelholz/Laubholz bzw. der *Nadelholzanteil* ergibt somit den Zielertrag des zweiten Kriteriums zur Naturnähe. Die Verknüpfung der beiden Kriterien zur Naturnähe des Bestandes der einfachen Bewertung zeigt die Abbildung 15.

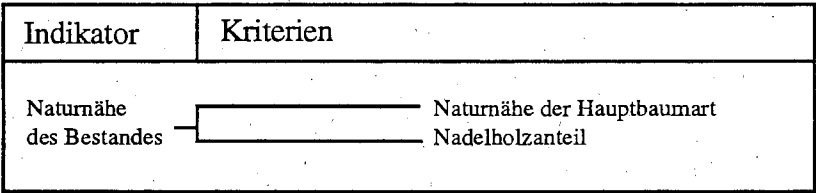


Abb. 15: Zielsystem für den Indikator Naturnähe der einfachen Bewertung

Seltenheit von Beständen

Je nach Ziel einer Bewertung wird die Seltenheit anders bestimmt, da sie nicht eindeutig definiert werden kann und viele Bezugsmöglichkeiten kennt. Ammer & Utschick verwenden die "Repräsentanz" als Wertkriterium (Abb. 16). Sie verstehen unter "Repräsentanz" einen Vergleich der Häufigkeit der realen und potentiell natürlichen Waldgesellschaften. D.h. je kleiner die Reste naturnaher Vegetation gemessen an der potentiell natürlichen Vegetation sind, umso wertvoller sind sie. Diese Definition der Seltenheit ist mit der Naturnähe gekoppelt, da im Nationalpark Bayerischer Wald Angaben zu Resten noch naturnaher Bestandesformen und Vegetationstypen interessieren.

Die Repräsentanz wäre auch für den Sihlwald ein geeignetes Seltenheitsmass. Da die Bestandeskarte nicht nach Waldgesellschaften, sondern nach forstlichen Gesichtspunkten in Bestände eingeteilt ist, kann ich diese Definition leider nicht verwenden.

Abbildung 16 stellt die bei Ammer & Utschick verwendeten Kriterien zur Seltenheit und deren Verknüpfung dar.

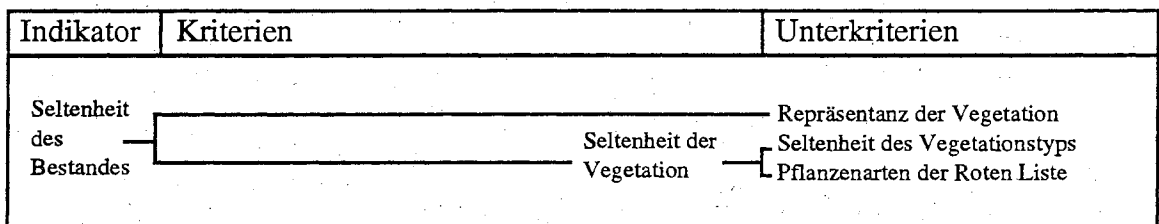


Abb. 16: Zielsystem für den Indikator Seltenheit nach Ammer & Utschick (Ausschnitt aus Abb. 13)

Die Seltenheit der heutigen anthropogen bestimmten Bestände interessiert im Sihlwald längerfristig nicht. Vielmehr sollen die Standorte mit seltenen, potentiell natürlichen Waldgesellschaften erkannt und entsprechend bewertet werden. In diesem Sinn bestimme ich die Seltenheit der potentiell natürlichen Vegetation im Sihlwald.

Das erste Kriterium zur Seltenheit bewertet die *Seltenheit des Vegetationstyps*. Dazu berechne ich zuerst die Flächensumme aller Einzelflächen einer Waldgesellschaft der Standortskarte (Vegetationstyp). Daraus lässt sich im Vergleich zur Gesamtfläche des Sihlwaldes ein Häufigkeits- bzw. Seltenheitswert für jeden Vegetationstyp ermitteln. Dieser Seltenheitswert wird nun auf jede Bestandesfläche nach flächenproportionalem Mittel umgerechnet. Das geschieht anhand der verschnittenen Bestandes- und Standortskarte, für deren Schnittflächen ich sowohl die Flächengrösse als auch den bereits berechneten Seltenheitswert des Vegetationstyps kenne. Zusätzlich weiss ich, zu welcher Bestandesfläche die Schnittfläche gehört. So kann ich den Zielertrag pro Bestandesfläche als flächenproportionales Mittel berechnen.

Der Seltenheitswert einer Bestandesfläche hängt nicht nur vom Vorkommen eines Vegetationstyps ab, sondern auch von der *Flächengrösse der einzelnen Waldgesellschaften*. Je grossflächiger eine solche Waldgesellschaft auftritt, desto wertvoller ist sie. Denn aus der Verinselung der Landschaft und der damit verbundenen Populationsgrösse

einzelner Arten resultieren verschiedene, für die Arterhaltung bedeutsame Konsequenzen.

Kleinflächige Habitatsinseln zeichnen sich durch eine hohe Zahl an Ubiquisten mit wenig spezifischen ökologischen Ansprüchen und weiter Verbreitung aus. Ein grossflächiger Lebensraum hingegen lässt eine vollständigere Lebensgemeinschaft mit spezialisierteren und selteneren Arten erwarten. Gefahren für die Arterhaltung bringt die Verinselung auch durch die Möglichkeit der Veränderung des Erbgutes. In sehr kleinen Populationen, die nicht in Kontakt mit anderen stehen, können zufällige Fehler in der Erbinformation der Individuen viel leichter zum Durchbruch in der Lebensgemeinschaft kommen, ebenso können Erbinformationen verloren gehen (Jedicke 1991). Durch den Einbezug der Fläche wird erreicht, dass nicht nur Extremstandorte hoch bewertet werden, sondern auch weniger seltene, aber grossflächig vorhandene Waldgesellschaften.

Auch dieses Kriterium ist relativ, d.h. auf das Sihlwaldgebiet bezogen, definiert. Den Zielertrag der Flächengrösse berechne ich analog zur durchschnittlichen Seltenheit des Vegetationstyps, indem ich zuerst die Flächenanteile (Seltenheit bzw. Häufigkeit) jeder Waldgesellschaft an der Gesamtfläche des Sihlwaldes berechne und diese dann flächenproportional auf jede Bestandesfläche umrechne.

Ein Kriterium, das die sehr seltenen und gefährdeten Pflanzenarten der Roten Liste berücksichtigt, wäre im Hinblick auf den Naturschutz sinnvoll, war aber aufgrund fehlender Daten zur Bodenvegetation nicht realisierbar. Demnach resultiert folgendes Zielsystem für den Indikator Seltenheit:

Indikator	Kriterien
Seltenheit des Bestandes	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 20px; margin-right: 10px;"></div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div>Seltenheit des Vegetationstyps</div> <div>Flächengrösse der Waldgesellschaft</div> </div> </div>

Abb. 17: Zielsystem für den Indikator Seltenheit der einfachen Bewertung

Strukturvielfalt

Die Strukturvielfalt wird von Ammer & Utschick durch die Kriterien vertikale Schichtung, horizontale Differenzierung und Artenvielfalt beschrieben:

- Daten zur vertikalen Schichtung der Vegetation ergeben ein erstes Kriterium zur Raumstruktur. So bietet beispielsweise vielschichtiger Hochwald dank seines grossen Lebensraumspektrums ein reichhaltiges Angebot an ökologischen Nischen.
- Die horizontale Differenzierung und der Umgebungswert berücksichtigen die Flächen-dimension als zweites Kriterium zur Raumstruktur. Zum Beispiel können starke räumliche Wechsel zwischen den Beständen durch Randeffekte zusätzliche Lebensmöglichkeiten bringen.
- Die Artenzahl der Bestände dient als drittes Kriterium zur Strukturvielfalt eines Lebensraumes, wie dies die Abbildung 18 zum Ausdruck bringt:

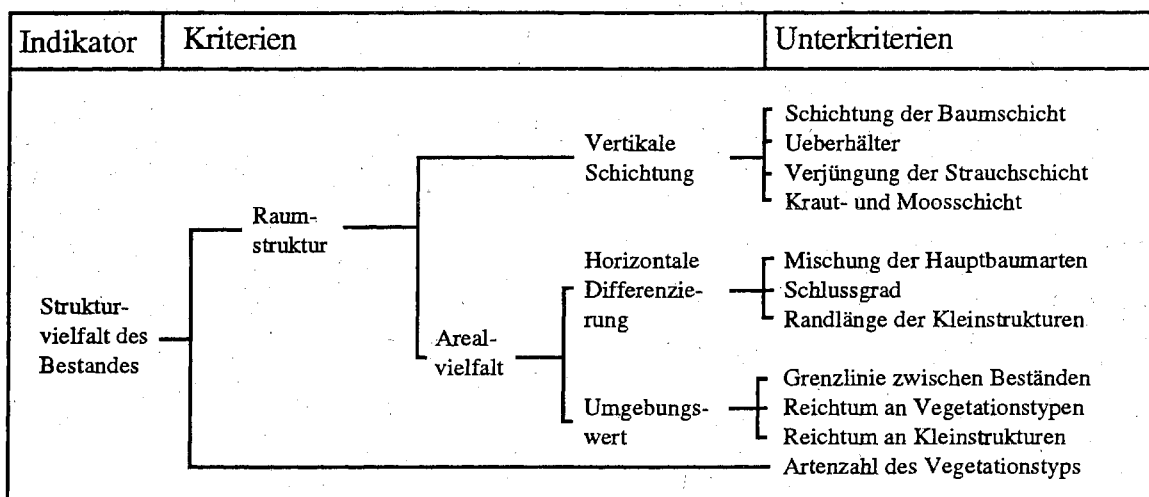


Abb. 18: Zielsystem für den Indikator Strukturvielfalt nach Ammer & Utschick (Ausschnitt aus Abb. 13)

In den vorhandenen Sihlwalddaten fehlen jegliche Angaben zur Moos-, Kraut- und Strauchschicht. Die Entwicklungsstufe eines Bestandes ermöglicht immerhin eine Abschätzung der Vertikalstruktur der Baumschicht. Die erste Ziffer des Bestandescodes bildet daher den Zielertrag des Kriteriums *Entwicklungsstand*.

Weitere GIS-Möglichkeiten als die bisher gerechnete Verschneidung zweier Karten habe ich zur Bestimmung von Kriterien zur horizontalen Differenzierung benutzt. Der im GIS berechnete *Punkthäufigkeitswert* gibt für jeden Flächenschwerpunkt eines Bestandes an, wieviele Flächenschwerpunkte anderer Bestände in einen Kreis von 250 m Radius fallen. Ein hoher Wert spricht für eine starke Diversität im Bestandesgefüge. Ausserdem kann eine erhöhte Reliefvarianz des Kronendachs angenommen werden.

Im weiteren habe ich Bestände ausgeschieden, welche *innere Waldränder* bilden und anschliessend die Länge dieser Waldränder als Zielerträge berechnet. Innere Waldränder sind Grenzlinien zwischen Waldbeständen und waldfreien Flächen im Wald (Moore, Lichtungen etc.). Diese Grenzbereiche zeichnen sich durch günstige Lichtverhältnisse aus, bieten zusätzlichen Lebensraum und erhöhen die Strukturvielfalt. Der äussere Rand des Untersuchungsgebietes ist durch die Abteilungsgrenzen gegeben und entspricht nicht immer einem tatsächlichen Waldrand. Deshalb habe ich auf eine Bewertung des äusseren Waldrandes verzichtet.

Durch eine weitere GIS-Technik, die Kombination von Pufferung und Verschneidung, habe ich die Bestände, welche an die *Sihltalstrasse* grenzen, gefunden. Für diese Bestände bedeutet die stark befahrene Verbindungsstrasse Zürich – Innerschweiz eine Belastung durch Schadstoffe und Lärm. Das Verhältnis Strassengrenzlänge zu Bestandesumfang resultiert als dritter Zielertrag zur horizontalen Differenzierung.

Ein zusätzliches Element, das den Vielfaltswert erhöht, ist die *Gewässernähe*. Bestände, welche an Gewässer grenzen oder von Bächen durchschnitten werden, bieten dank verbesserten Feuchtigkeits-, Licht- und Nährstoffverhältnissen erhöhte Strukturvielfalt. Den Zielertrag für das Unterkriterium Gewässernähe berechnete ich, indem ich das Gewässernetz mit einem Pufferbereich von 5 m Radius umgab (Sihl 15 m), diese Pufferzone mit der Bestandeskarte verschnitt, die Summe der Flächen im Gewässerpuffer pro Bestand aufsummierte und durch die Bestandesfläche dividierte. Der Radius des Puffer-

bereiches ist willkürlich gewählt, eine kleine Distanz erlaubt die exklusive Auswahl von Beständen mit direktem Gewässerbezug. Der berechnete Zielertrag ist eine Prozentangabe und somit ohne Einfluss der absoluten Bestandesgrösse.

Die Entwicklungsstufe gibt nach AFL (1984) Hinweise auf die *Artenzahlen*. Jungwüchse bieten Lebensraum für eine Vielzahl von Pionierpflanzen. Im Laufe der Entwicklung nimmt die Artenzahl konkurrenzbedingt ab. Ein relativ einförmiger, geschlossener Wald entsteht, der mit zunehmendem Alter mehrere Schichten und im Naturzustand eine stufige Struktur erreicht. Lokale Zerfallsphasen charakterisieren urwaldähnliche Wälder, wo Totholz zusätzlich wertvollen Lebensraum für Pflanzen und Tiere bietet. Im Wirtschaftswald versucht der Förster, dem Nachhaltigkeitsprinzip folgend, gezielt einige Schichten zu fördern. Sobald das wirtschaftliche Höchstalter (120 Jahre) erreicht ist, verjüngt der Förster den Bestand. Natürlicherweise erreichen Bäume aber ein viel höheres Alter. Aufgrund dieser Zusammenhänge schätze ich die Artenvielfalt aus der Entwicklungsstufe eines Bestandes.

Für die Strukturvielfalt der Bestände der einfachen Bewertung resultiert folgendes Zielsystem:

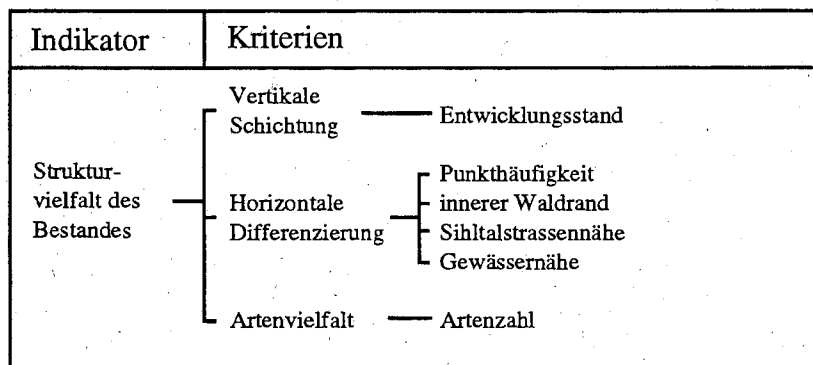


Abb 19: Zielsystem für den Indikator Strukturvielfalt der einfachen Bewertung

3.3.3.2. Zielerfüllungsgrad der Kriterien

Der letzte Abschnitt befasste sich mit der Kriterienwahl und mit der Erfassung von Zielerträgen zu jedem Kriterium. Diese Zielerträge liegen in unterschiedlichen Einheiten (z.B. Flächenanteile, Häufigkeiten usw.) vor. Um die Kriterien vergleichbar zu machen, werden ihre Zielerträge im folgenden Arbeitsschritt als Zielerfüllungsgrade bewertet¹⁰.

Für die Bewertung der Zielerträge sind vom Bewerter Überlegungen zur gewünschten Anzahl Zielerfüllungsgrade (bzw. Klassen), sowie zur Methode der Bestimmung der Zielertragsschwellenwerte zwischen den Zielerfüllungsgraden (bzw. Klassengrenzen) notwendig:

¹⁰ vergl. Schritt 6 der Nutzwertanalyse (Abschnitt 2.2.4.)

- Anzahl Zielerfüllungsgrade: Die maximale Anzahl Zielerfüllungsgrade hängt vor allem von der Grösse des Datensatzes ab. Dabei gilt, dass eine zu grosse Zahl eventuell nicht die für die Interpretation notwendige Generalisierung bringt und eine zu geringe einen grossen Informationsverlust bedeutet. Ammer & Utschick verwenden eine neunteilige Skala. Deren Klassen 7-9 beschreiben gute, 4-6 mittlere und 1-3 schlechte Verhältnisse. Die Bearbeiter der BSU (1989) begnügen sich mit fünf Klassen. Ich werde meine Zielerträge auch auf fünf Zielerfüllungsgrade abbilden, um eine bessere Vergleichbarkeit der beiden Arbeiten zu ermöglichen.
- Bestimmung der Schwellenwerte: Absolute Richtlinien zur Bestimmung der Schwellenwerte in Form eines Bewertungsrahmens, wie sie Perpeet (1991) ansatzweise zusammenstellte, sind in der übrigen Literatur zur ökologischen Wertanalyse leider nicht zu finden. Ammer & Utschick (1984, S. 18) bemerken zu diesem Thema: "Für die Abbildung von Rohdaten auf eine solche Skala sind nicht nur lineare Transformationen zulässig, sondern im Prinzip jede Abbildungsform. Massgeblich hierfür sind ausschliesslich inhaltliche, das heisst sach- und wertbezogene Gesichtspunkte." Für die Bewertung im Nationalpark Bayerischer Wald wurden für diesen Schritt der ökologischen Wertanalyse weitere Experten zugezogen, welche die Schwellenwerte anhand einer Delphi-Studie bestimmten. Obwohl diese Werte publiziert sind, bin ich gezwungen, eigene Schwellenwerte festzulegen, da die Untersuchungsgebiete starke naturräumliche Unterschiede aufweisen und die andersartigen Arbeitsansätze in verschiedenen Zielsystemen enden.
Für die in relativen Einheiten (z.B. Flächenprozente) oder absoluten Grössen gemessenen Zielerträge ist die Bestimmung der Schwellenwerte nach inhaltlichen Gesichtspunkten möglich und begründbar. Schwierig wird dieses Vorgehen bei inhaltlich schlecht verständlichen Zielertragseinheiten wie beispielsweise den Seltenheitskriterien dieser Arbeit. In diesen Fällen ist eine Klasseneinteilung legitim, welche die ursprüngliche Verteilung der Zielerträge widerspiegelt.
Bei diesem Verfahren dient oft ein Häufigkeitsdiagramm zur Bestimmung von Klassengrenzen. Im Häufigkeitsdiagramm wird normalerweise auf der Abszisse die Masszahl und auf der Ordinate die Häufigkeit der jeweils vorkommenden Fälle abgetragen. Bei räumlichen Merkmalen ist die Häufigkeit auf die Fläche zu beziehen. Daher stellt man im Häufigkeitsdiagramm die Flächensumme pro Zielertrag dar.
Stetige Zielerträge müsste man vorklassieren, um sie in Häufigkeitsdiagrammen darzustellen. Für diese Merkmale verwendet man deshalb zur Ermittlung der Klassengrenzen das Summenhäufigkeitsdiagramm (Summenkurve), in dem wie beim Häufigkeitsdiagramm auf der Abszisse der Zielertrag abgetragen wird. Auf der Ordinate befindet sich statt der Häufigkeit die kumulative Häufigkeit bzw. kumulative Flächensumme pro vorkommenden Fall. Die Einschnitte im Häufigkeitsdiagramm bzw. die Knicke im Kurvenverlauf bieten sich als Schwellenwerte an.
Häufigkeitsdiagramme und Summenkurven führen zu Klassen unterschiedlicher Klassenbreite. Diesem Weg stehen Verfahren gegenüber, welche mit regelmässigen Klassenbreiten (Intervalle) oder mit regelmässig variierenden, z.B. in geometrischer Progression grösser werdenden, Intervallen arbeiten. Dadurch können bestimmte Teile des Wertebereichs höher aufgelöst werden.

Diesen theoretischen Aspekten folgend lege ich die Klassengrenzen ausgehend vom Informationsgehalt der Zielertragseinheiten fest. Für Merkmale ohne definierte Einheiten sollen die Knickstellen in den Summenkurven die Klassengrenzen darstellen. Gleichzeitig versuche ich Klassenbreiten mit regelmässigen bzw. regelmässig variierenden Intervallen zu bilden.

Für einige Kriterien liegen die Zielerträge nur in wenigen Merkmalsausprägungen vor, welche direkt als Werte des Zielerfüllungsgrades dienen.

Naturnähe

Die beiden Kriterien zur Naturnähe (*Naturnähe der Hauptbaumart*, *Nadelholzanteil*) beruhen auf Flächenanteilen in Prozenten.

- Die Zielerträge der *Naturnähe der Hauptbaumart* können Werte zwischen 0 und 100% einnehmen. Der 50%-Zielertrag soll deshalb die Mitte der Zielerfüllungsgrad-Skala einnehmen. Die Extrema der Skala bewerte ich mit 5%-Intervallen sehr exklusiv. Für die Bestimmung der anderen Zielerfüllungsgrade benutze ich eine Intervallschachtelung symmetrisch zum 50%-Zielertrag mit den Schwellenwerten 35% und 65%.

Die aus dieser Bewertung resultierende Häufigkeitsverteilung pro Zielerfüllungsgrad kann aus der Summenkurve (Abb. 20) geschätzt werden:

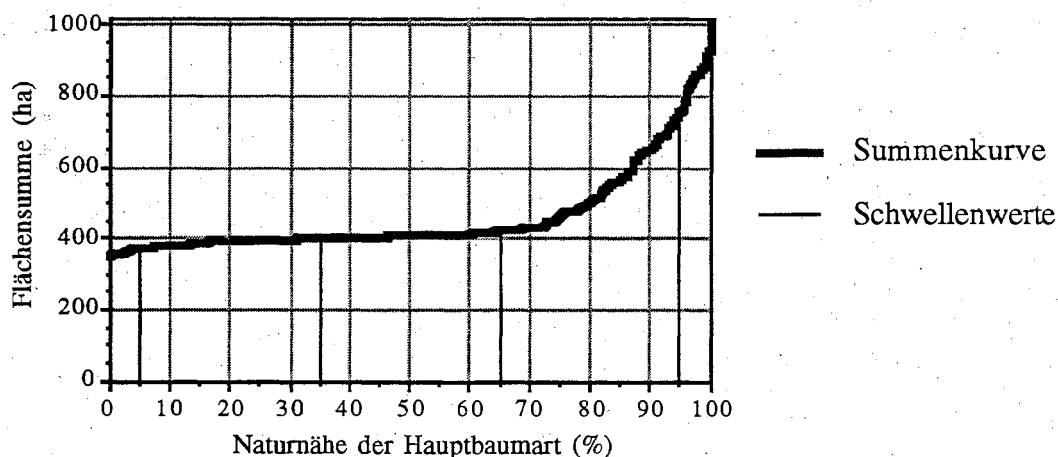


Abb. 20: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium *Natürlichkeit der Hauptbaumart*

- Der *Nadelholzanteil* wurde bereits bei der Erstellung der Bestandeskarte klassiert. Die damals bestimmten vier Klassen rechne ich linear auf den fünfteiligen Zielerfüllungsgrad um.

Seltenheit

Die beiden Seltenheitskriterien (*Seltenheit des Vegetationstyps*, *Flächengrösse der Waldgesellschaft*) ergeben Zielerträge, deren Grössen keinen direkten inhaltlichen Bezug kennen. Zur Bewertung des Zielerfüllungsgrades betrachte ich deshalb ihre Häufigkeitsverteilung. Die Summenkurven zeigen keine deutlichen Knickstellen, weshalb ich ein geometrisches (Abb. 21) bzw. regelmässiges (Abb. 22) Intervallverfahren zur Abbildung der unterschiedlichen Kurvensteigungen verwende.

Die Schwellenwerte für das Kriterium *Seltenheit des Vegetationstyps* liegen somit bei 0.15, 0.30, 0.60 und 1.20.

Für das Kriterium *Flächengrösse der Waldgesellschaft* ergeben sich folgende Klassen-
grenzen: 0.05, 0.08, 0.11 und 0.14.

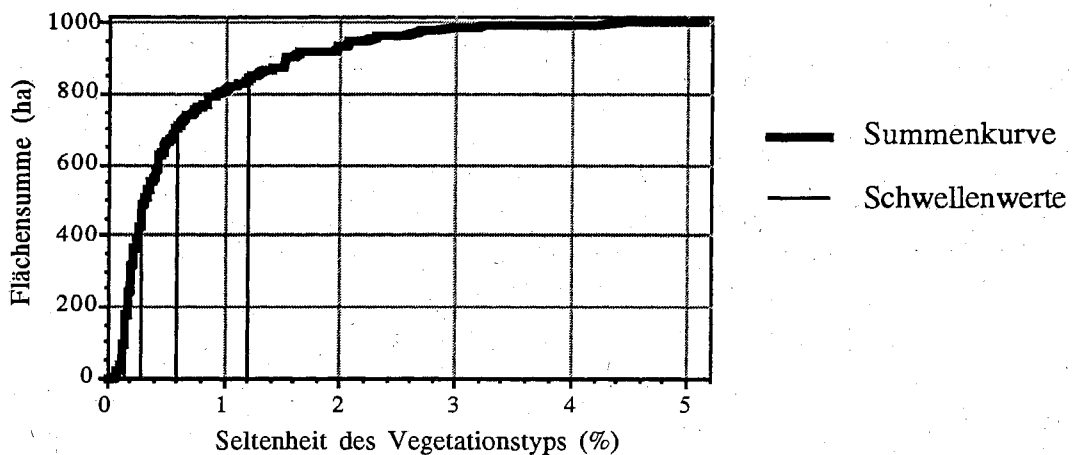


Abb. 21: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium *Seltenheit des Vegetationstyps*

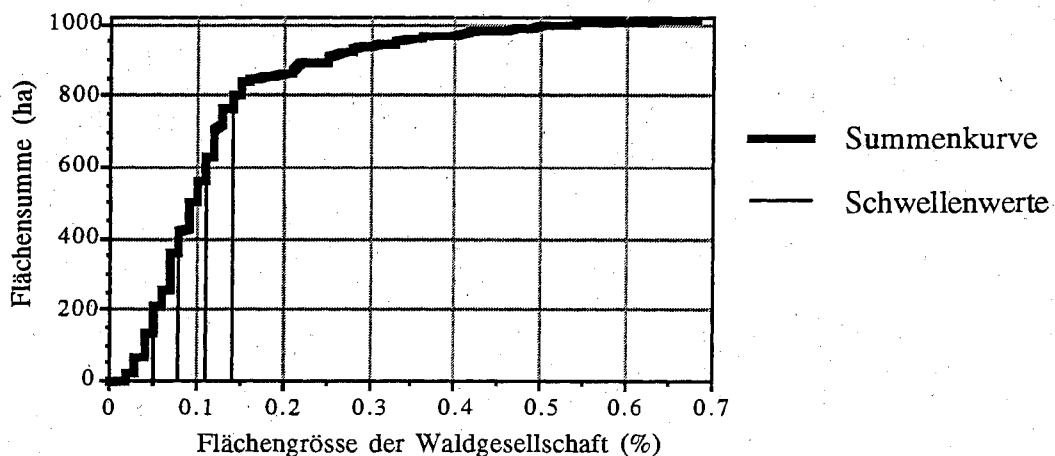


Abb. 22: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium *Flächengrösse der Waldgesellschaft*

Strukturvielfalt

Den Zielerträgen der vertikalen Schichtung und der Artenvielfalt liegt mit der Entwicklungsstufe eine diskretisierte, ordinale Skala zugrunde.

- In der Annahme, dass die Bestände mit zunehmendem *Entwicklungsstand* eine grössere vertikale Schichtung aufweisen, teile ich die Zielerfüllungsgrade zu. Als Spezialfall betrachte ich die 'stufigen, ungleichaltrigen Bestände' (Entwicklungsstufe 0), die ich zusammen mit dem 'Altholz 3' (7) als höchststrukturiert bewerte. Die Zielerfüllungsgrade 1 bis 5 umfassen demzufolge die Entwicklungsstufen 1, 2, 3+4, 5+6 und 7+0.
- Für das Kriterium *Artenzahl* bewerte ich 'stufige Bestände' (0) und 'Jungwüchse' (1) als die artenreichsten. Die übrigen Bestände im Bereich 'Altholz 3' (7) bis zum 'Stangenholz' (2) beurteile ich mit kontinuierlich abnehmender Artenvielfalt. Daher bilden die Zielerträge 2, 3+4, 5+6, 7 und 1+0 die Zielerfüllungsgrade 1 bis 5.

Die Kriterien der horizontalen Differenzierung ergeben metrische Zielerträge, die ich aber aufgrund fehlender inhaltlicher Bewertungsregeln anhand der Summenkurven bewerte.

- Die Summenkurve der *Punkthäufigkeit* (Abb. 23) lässt sich in drei Teile mit unterschiedlichen Kurvensteigungen abgrenzen. Bis Punkt A nimmt die Steigung zu, bleibt ungefähr gleich bis Punkt B und nimmt dann wieder ab.

Den mittleren Teil gleicher Steigung teile ich in drei Klassen auf. Die Intervalle ausserhalb der Punkte A und B bilden die beiden restlichen Klassen. Die Schwellenwerte liegen daher bei 7, 12, 17 und 22.

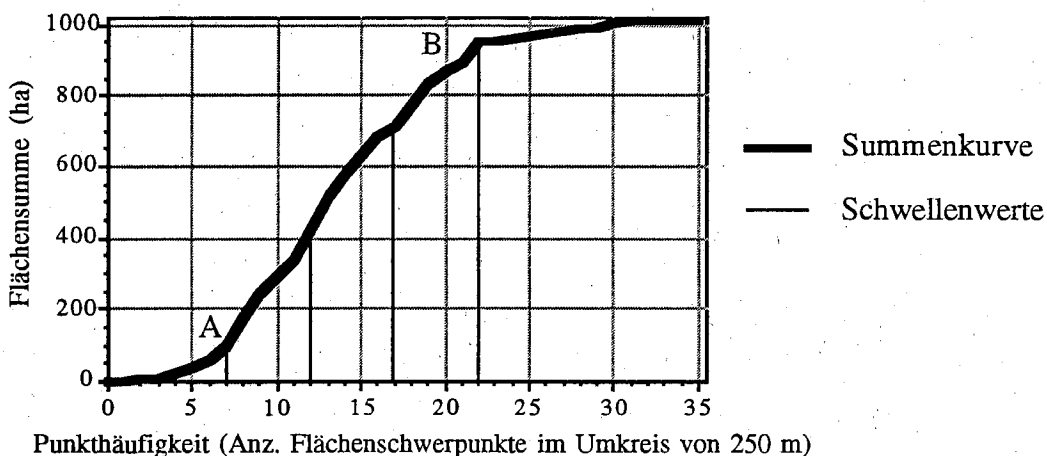


Abb. 23: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium *Punkthäufigkeit*

- Die weiteren Kriterien zur horizontalen Differenzierung (*innerer Waldrand*, *Gewässernähe*, *Sihltalstrassennähe*) betreffen nur ausgewählte Flächen. In die erste Klasse fallen deshalb Flächen, die diese Kriterien nicht erfüllen. Die restlichen Flächen verteile ich auf zwei Zielerfüllungsgrade mittlerer und guter bzw. schlechter Verhältnisse. Die Schwellenwerte für die Kriterien sind aus den drei folgenden Abbildungen (Abb. 24, 25, und 26) ersichtlich:

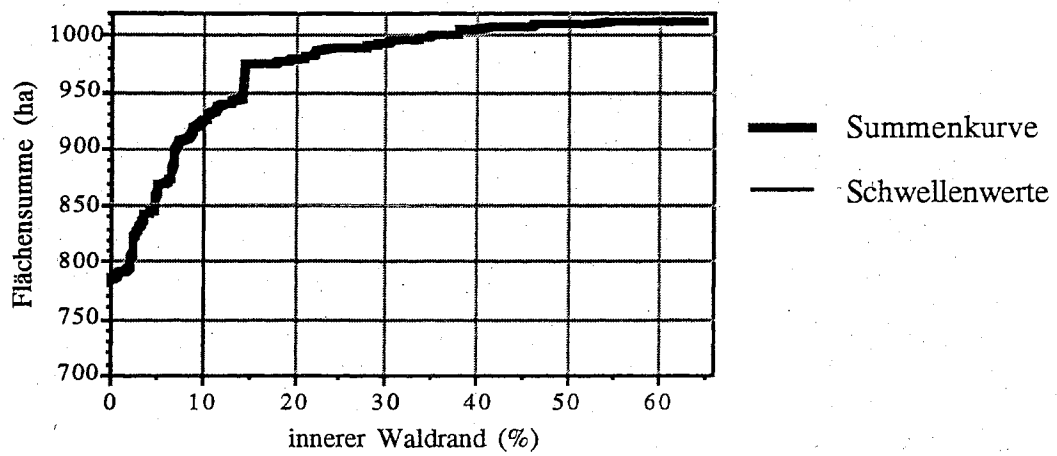


Abb. 24: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium *innerer Waldrand*

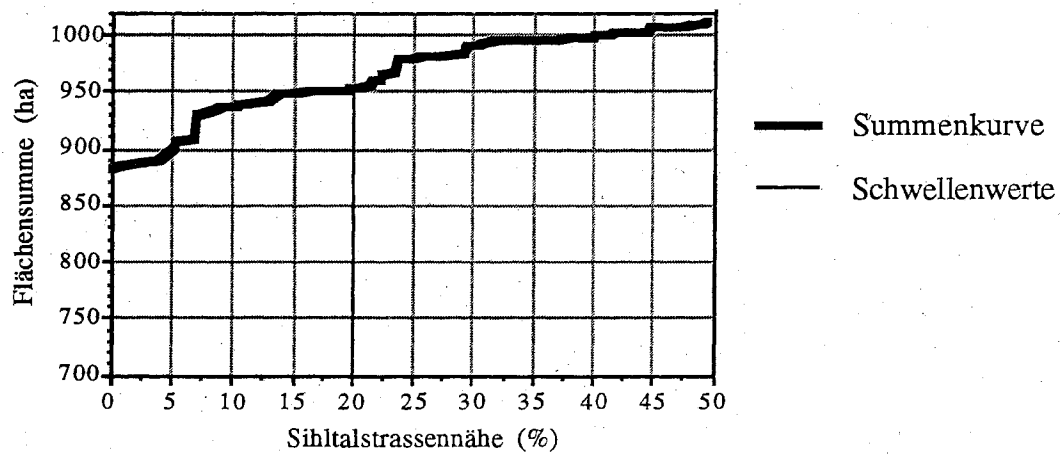


Abb. 25: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium *Sihltalstrassennähe*

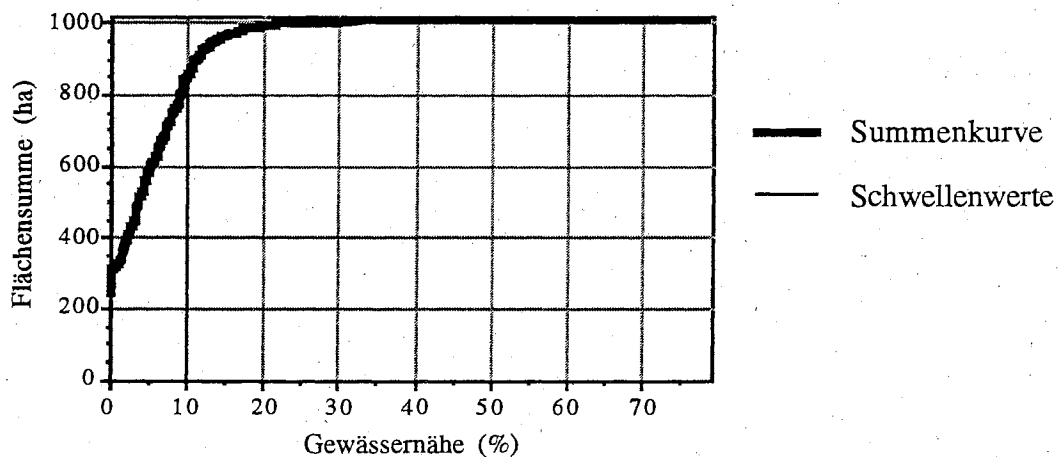


Abb. 26: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium *Gewässernähe*

3.3.3.3. Gewichtung der Kriterien

Die Zielerfüllungsgrade der Kriterien könnten nun direkt zum ökologischen Wert pro Bestand aufsummiert werden. Ein solches Vorgehen entspricht aber in den seltensten Fällen den Zielvorstellungen des Bewerter. Flexibler wird die Bewertung durch eine angemessene Gewichtung der Kriterien. Die Bestimmung der Kriteriengewichte einer ökologischen Wertanalyse birgt gewisse methodische Probleme, die im Theorieteil zur Nutzwertanalyse erläutert sind. Ein in politisch umstrittenen Bewertungen häufig begangener Weg zur Ermittlung geeigneter Gewichte, eine Delphi-Studie, würde den Rahmen der Diplomarbeit sprengen. Die Zielsetzungen der ökologischen Wertanalyse, Gespräche mit den Diplomarbeitsbetreuern, die Ergebnisse einer Korrelationsanalyse und nicht zuletzt die Gewichtungen anderer Autoren, insbesondere derjenigen des BSU, führten schliesslich zur Gewichtung dieser Variante.

Bevor ich diese Gewichtung beschreibe, gehe ich auf die speziellen Möglichkeiten ein, die durch den Ansatz mittels GIS für die Gewichtung der Kriterien zur Verfügung stehen. Es sind dies statistische Auswertungen der Zielerträge und die einfache Wiederholbarkeit der Bewertung mit unterschiedlichen Gewichtungen.

Statistische Datenauswertung

Die statistische Auswertung der Zielerträge mittels Korrelationsanalyse soll dem Bewerter eine Abschätzung der Empfindlichkeit des Zielsystems bezüglich unterschiedlicher Gewichtungen ermöglichen. Stark positiv korrelierende Kriterien werden durch die Gewichtsvergabe kaum beeinflusst. Demgegenüber wird eine differenzierte Gewichtung stark negativ korrelierender Variablen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Diese Abhängigkeiten versuche ich bei der gewichteten Kriterienverknüpfung zu berücksichtigen.

Bei der Anwendung der Korrelationsanalyse ist zu beachten, dass der Korrelationskoeffizient zunächst nur ein Mass für die Stärke eines formal-mathematischen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen ist. Ein grosser Wert von r beweist noch nicht, dass der dadurch ausgedrückte Zusammenhang auch ein ursächlicher ist. Ob ein ursächlicher Zusammenhang besteht, ist von der Sache her zu entscheiden.

Da die Zielerträge der Kriterien nicht normalverteilt sind, ist es sinnvoll, den Spearman'schen Rang-Korrelationskoeffizienten zu benutzen. Die Verwendung des Rang-Korrelationskoeffizienten setzt voraus, dass man zwei Messreihen in eine Rangordnung bringt. Nachdem die Ränge bestimmt sind, bildet man die Differenz der n Rangpaare. Man geht davon aus, dass die Korrelation zwischen den Messreihen umso grösser ist, je geringer die Differenzen zwischen den jeweils zugeordneten Rangplätzen sind. Den Rang-Korrelationskoeffizienten berechnet man dann mit der Formel:

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

n : Stichprobenumfang

d_i : Differenz der Rangpaare

Für den Rang-Korrelationskoeffizienten gilt stets $-1 \leq r \leq +1$.

Die gesamte Korrelationstabelle mit den berechneten Rang-Korrelationskoeffizienten führe ich im Anhang A auf. In diesem Abschnitt werde ich nur die Zusammenhänge kommentieren, welche einen Korrelationskoeffizienten $r > 0.25$ und damit ein Signifikanzniveau $\alpha = 0.0001$ ergeben:

- Die Flächengrösse der Bestände zeigt einen positiven Zusammenhang zur *Naturnähe der Hauptbaumart* ($r = 0.31$). Das erkläre ich mir damit, dass im Sihlwald die Natürlichkeit der Hauptbaumart durch die bisherige Femelschlag-Bewirtschaftung eher für kleinere als für grössere Bestände vermindert wurde. Die Bestandesgrösse korreliert ausserdem mit der geschätzten Anzahl Baumschichten ($r = 0.47$) und mit der Gewässernähe ($r = 0.31$). Auch diese Abhängigkeiten sind erklärbar, da grössere Bestände im Vergleich zu kleineren eine höhere Wahrscheinlichkeit aufweisen, mehrere Baumschichten zu besitzen bzw. in Gewässernähe zu liegen.
- Die *Naturnähe der Hauptbaumart* korreliert zum *Nadelholzanteil* negativ ($r = -0.63$). Für den, von der potentiell natürlichen Vegetation aus gesehen, fast reinen Laubwald ist diese Abhängigkeit logisch.
- Eher schwach ist der Zusammenhang zwischen der *Seltenheit des Vegetationstyps* und der *Flächengrösse der Waldgesellschaft* ($r = -0.19$). Erwartet hätte ich eine deutlichere negative Korrelation, da ein hoher Zielertrag der Seltenheit des Vegetationstyps hauptsächlich für Vegetationstypen auf kleinen Standorten resultiert und andererseits das Kriterium Fläche der Waldgesellschaft, zum Ausgleich dieser Extremfälle, hohe Zielerträge für grosse Flächen ergibt.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse für die einfache Bewertung überraschen im allgemeinen nicht. Die Höhe der Korrelationskoeffizienten bis maximal 0.63 ist etwas enttäuschend, wenn man Vergleiche mit den Beispielen in Statistiklehrbüchern anstellt. Dabei muss man jedoch berücksichtigen, dass die Lehrbuchbeispiele oft mit konstruierten Daten gerechnet werden und daher hohe Werte ergeben. Verwendet man dagegen reale Daten, ist zu berücksichtigen, dass man nur sehr wenige lineare Ursache-Wirkung-Beziehungen erwarten kann, denen ein Korrelationskoeffizient von nahezu 1 entspräche. Meistens sind die Verknüpfungen von Einflussfaktoren viel komplexer, sodass Korrelationskoeffizienten von 0.4 bis 0.6 bereits als Anzeichen für einen starken Zusammenhang gewertet werden können (Hantschel & Tharun 1980).

Interaktive Kriteriengewichtung und -kombination

Um die theoretisch einfache Neuberechnung einer Bewertung mit veränderter Gewichtung praktisch zu realisieren und diese auch einem Benutzer ohne ARC/INFO-Erfahrung zu ermöglichen, habe ich ein AML-Macro für die Gewichtung und Kombination der Kriterien und zur Präsentation der Resultate am Bildschirm geschrieben. Das Macro ist menugesteuert. Über ein Pulldownmenu lassen sich verschiedene Optionen wählen. Typischerweise wird man zu Beginn einer Neuberechnung der ökologischen Wertanalyse die Gewichtung der Kriterien in der Eingabeform wählen. Die Gewichte einer eventuell vorangegangenen Bewertung erscheinen in den Eingabefeldern. Diese Werte

können nun verändert werden. Durch Anklicken des Feldes "NEUE BERECHNUNG" verschwindet die Eingabeform und die Berechnung der neuen Nutzengrössen der ökologischen Wertanalyse beginnt.

Es sind verschiedene Gewichtungen denkbar und deren Resultate mit Hilfe des Macros einfach darzustellen. Im folgenden möchte ich eine mögliche Gewichtung beschreiben, deren Eingabeform in Abbildung 27 dargestellt ist. Die Resultate dieser einfachen Bewertungsvariante stelle ich im Abschnitt 3.4.3. vor.

Ökologischer Wert der Bestände

Der ökologische Wert wird durch die Indikatoren Naturnähe, Seltenheit und Strukturvielfalt beschrieben. Der entscheidende Indikator zur Bewertung des Naturpotentials eines Waldes ist die Naturnähe.

Daher soll ein natürlicher, standortheimischer Buchenwald als wertvoll gelten, auch wenn es sich um eine potentiell weitverbreitete Waldgesellschaft handelt. Andererseits ist ein aus standortsfremden Arten zusammengesetzter Bestand von geringem Wert, auch wenn er von vielfältiger Struktur ist und auf einer Fläche mit seltener potentieller Waldgesellschaft stockt.

Aufgrund dieser Überlegungen habe ich die Indikatoren Naturnähe, Seltenheit und Strukturvielfalt im Verhältnis 3 : 1 : 1 gewichtet.

Naturnähe

Die Naturnähe eines Bestandes wird durch die Kombination der Kriterien *Naturnähe der Hauptbaumart* und *Nadelholzanteil* berechnet. Die beiden Kriterien ergänzen sich teilweise in ihrer Aussage. Die Korrelationsanalyse bestätigt, dass bei einer guten Naturnähe der Hauptbaumart der Nadelholzanteil gering sein wird, da die potentiell natürliche Vegetation des Sihlwaldes hauptsächlich Laubwaldgesellschaften aufweist. Andererseits soll durch den Einbezug des Kriteriums *Nadelholzanteil* bei einer geringen Naturnähe eines Bestandes das Vorkommen von standortfremdem Laubholz gegenüber Nadelholz besser bewertet werden.

Gemäss diesen Überlegungen kann ein Bestand mit schlechter Naturnähe der Hauptbaumart, aber ohne Nadelholzbestockung, durch eine 1 : 1 Gewichtung der beiden Kriterien zumindest eine mittlere Wertstufe erreichen, derjenige mit Nadelholzbestockung wird eine tiefe Wertstufe erzielen.

Seltenheit

Wie bereits im Abschnitt Kriterienwahl erwähnt, ist für den Seltenheitswert einer Bestandesfläche nicht ausschliesslich das Vorkommen seltener Vegetationstypen, sondern auch die Flächengrösse der einzelnen Waldgesellschaften wichtig. Denn eine grössere Fläche wird eher eine intaktere Lebensgemeinschaft einer Waldgesellschaft aufweisen als eine kleinere Fläche.

Das Hauptgewicht soll bei der Seltenheit des Vegetationstyps liegen. Das Flächenkriterium dient zur Korrektur dieses Seltenheitswertes für grossflächig vorhandene Waldgesellschaften. Aufgrund des negativen Korrelationskoeffizienten gewichte ich die

Kriterien *Seltenheit des Vegetationstyps* und *Flächengrösse der Waldgesellschaft* nur im Verhältnis 2 : 1.

Strukturvielfalt

Die Korrelationsanalyse ergibt für die Kriterien zur Strukturvielfalt keine Zusammenhänge, deshalb sehe ich die vertikale und horizontale Komponente der Raumstruktur als gleichwertig an, d.h. ein besonders niedriger Wert einer der beiden Komponenten erniedrigt auch den anderen, bzw. umgekehrt. Die Artenvielfalt habe ich im Vergleich zur Raumstruktur mit 1 : 2 gewichtet, das heisst die Artenvielfalt wirkt sich nur halb so stark wie die Raumstruktur aus. Dies ist gerechtfertigt, da für die im Sihlwald vorkommenden, relativ artenarmen Waldgesellschaften die Raumstruktur mehr als die Artenvielfalt zur Strukturvielfalt beiträgt. Insgesamt habe ich die Kriterien vertikale Schichtung, horizontale Differenzierung und Artenvielfalt 2 : 2 : 1 gewichtet.

Die Kriterien zur horizontalen Differenzierung (*innerer Waldrand*, *Sihltalstrasse*, *Punkthäufigkeit* und *Gewässernähe*) habe ich mangels ausgezeichneten Präferenzen gleich gewichtet.

Die untenstehende Abbildung 27 gibt einen zusammenfassenden Überblick über das Zielsystem und die Gewichte des einfachen Bewertungsansatzes.

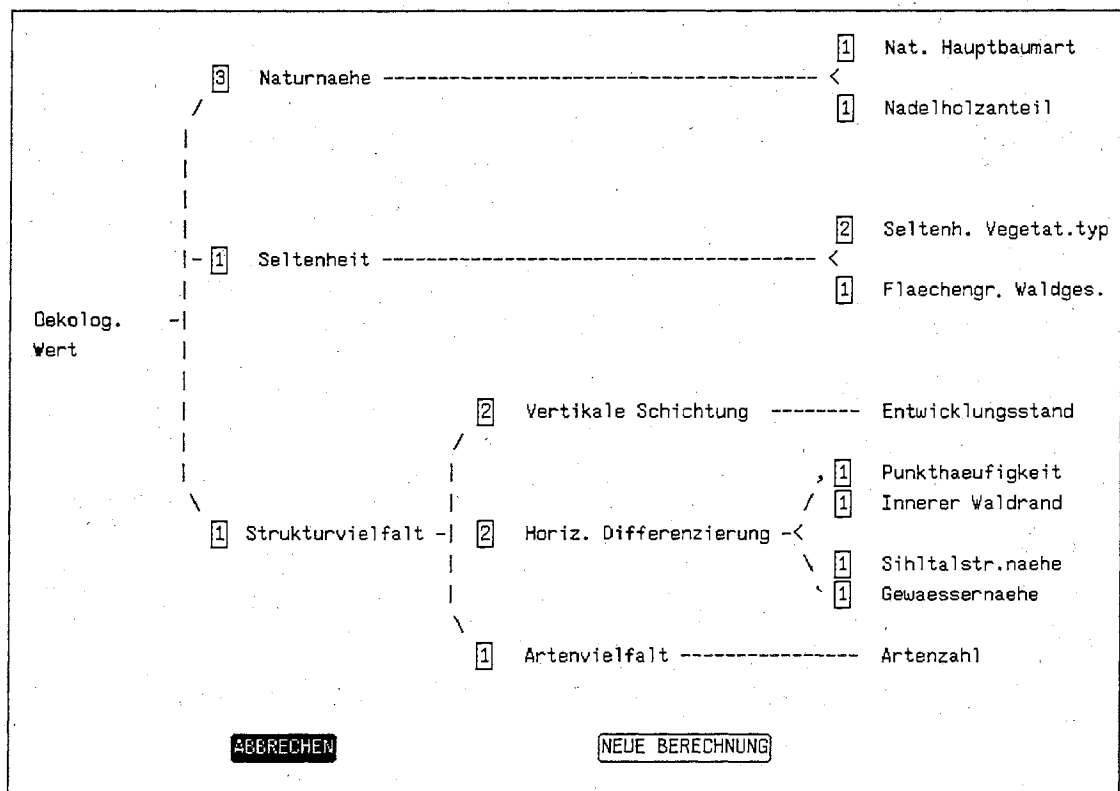


Abb. 27: Eingabeform und Gewichtung des einfachen Bewertungsansatzes

3.3.3.4. Kombination der Kriterien

Nach der Kriteriengewichtung stellt sich mit der Wahl der Kombinationsmethode für diese Kriterien ein weiteres Problem, das bei allen Bewertungsverfahren auftritt. Ammer & Utschick (1984) verwenden die aufwendige Methode der logischen Kombination in Verbindung mit dem Zuschlagsverfahren. Die Verknüpfungsmethode der logischen Kombination genügt den methodischen Anforderungen für Operationen auf ordinalen Skalen. Ausserdem bietet sie eine grosse Flexibilität zur Berücksichtigung von Expertenwissen. Bei Aggregationen auf mehreren Ebenen wird die Übersicht allerdings zunehmend schwieriger, weil mehrere Verknüpfungen auf derselben Ebene in verschiedenen Schritten erfolgen müssen, da nur zwei Kriterien gleichzeitig kombiniert werden können.

Zur Kriterienverknüpfung berechne ich die gewichteten arithmetischen Mittel. Das ist genaugenommen verboten, weil Rechenoperationen auf den zum Teil ordinalen Skalen nicht erlaubt sind. Trotzdem wage ich diese Vereinfachung, da die Zielsetzung dieser Arbeit nicht die Erstellung der bestmöglichen ökologischen Wertanalyse des Sihlwaldes beinhaltet und mein bisheriges ökologisches Fachwissen den Möglichkeiten einer logischen Kombination nicht gerecht wird. Ausserdem wird bei Bewertungen neueren Datums auf unteren Bewertungsebenen oft das gewichtete arithmetische Mittel berechnet. Auf höheren Ebenen kommt eher die logische Kombination zum Einsatz.

Bevor ich die Resultate dieses ersten einfachen Bewertungsansatzes präsentiere, möchte ich im nächsten Kapitel in ähnlicher Weise den Bewertungsansatz der umfangreichen Bewertung vorstellen.

3.3.4. Umfangreiche Bewertung

In der zweiten Bewertungsvariante dieser Fallstudie nutze ich alle für den Sihlwald erhobenen Daten. Zusätzlich zu den Informationen der Bestandes- und der Standortskarte verwende ich nun die Daten der Bestandesbeschreibung.

Trotz der erweiterten Ausgangsdaten, welche für die Indikatoren Naturnähe und Strukturvielfalt detailliertere Angaben ermöglichen, stellt die umfangreichere Variante eine Vereinfachung gegenüber dem Original von Ammer & Utschick dar.

3.3.4.1. Kriterienwahl der umfangreichen Bewertung

Naturnähe

Der Indikator Naturnähe profitiert von den zusätzlichen Daten der Bestandesbeschreibung, weil sich dank der exakten Aufnahme der Baumartenzusammensetzung die

Haupt- und Nebenbaumarten pro Schicht und Bestand bestimmen lassen. Daraus ergeben sich aber neue Probleme, da:

- es für die potentiell natürliche Vegetation der Standortskarte schwierig ist, eine genaue Aussage zur Baumartenverteilung im Naturwald zu machen, weil die Vielfalt der vorkommenden Arten stark von Standort- und Konkurrenzeinflüssen abhängig ist. Anhand des Begleitbuches zur Standortskarte (BGU 1988) und Klötzli (1990) bestimmte ich trotzdem für jeden Vegetationstyp zwei Nebenbaumarten.
- für den direkten Vergleich der potentiell natürlichen Baumartenverteilung mit der realen Baumartenzusammensetzung aus der Bestandesbeschreibung eine Abschätzung der Anteile dieser potentiell natürlichen Baumarten pro Vegetationstyp nützlich gewesen wäre. Infolge von Konkurrenzeinflüssen im Entwicklungsverlauf war ein solches Vorgehen unmöglich.

Daher habe ich die *Naturnähe der Hauptbaumart* gleich berechnet wie bei der einfachen Bewertung. Ich wählte, unabhängig von den tatsächlichen Flächenanteilen, die Flächen mit übereinstimmender Hauptbaumart auf der Bestandes- und auf der Standortskarte. Diese Flächen habe ich bestandesweise aufsummiert und dann den Anteil mit übereinstimmender Hauptbaumart pro Bestandesfläche bestimmt.

Die Berechnung der *Naturnähe der Nebenbaumarten* ist etwas aufwendiger. Eine Unterscheidung in erste, zweite etc. Nebenbaumart ist aus den oben genannten Gründen nicht sinnvoll. Einfachheitshalber und da im Sihlwald selten mehr als drei Baumarten bestandesbildend sind, betrachte ich nur zwei Nebenbaumarten. Diese bilden ein Kriterium, werden also gleichzeitig bewertet. Folgende Fälle der Übereinstimmung sind möglich: keine, eine oder beide Nebenbaumarten sind in der Bestandesbeschreibung und auf der Standortskarte gleich. Bei einer übereinstimmenden Baumart erfolgt die Berechnung der Masszahl zur Naturnähe der Nebenbaumarten analog zur Berechnung für die Hauptbaumart. Im Fall zweier gleicher Nebenbaumarten auf derselben Fläche der Bestandeskarte und der Standortskarte zähle ich die Fläche doppelt, d.h. die Masszahl zur Naturnähe der Nebenbaumarten kann im besten Fall 200% erreichen.

Das Kriterium *Nadelholzanteil* kann ich dank der Bestandesbeschreibung differenzierter betrachten als bei der einfachen Bewertung. Es stimmt zwar, dass Nadelhölzer im Sihlwald generell problematische Baumarten sind. Auf sauren, vernässten Standorten und in höheren Lagen treten aber oft Mischwaldgesellschaften mit Tanne und Föhre als Nebenbaumarten auf. Diese beiden Nadelhölzer werden im Sihlwald nicht als problematisch angesehen. Alle anderen Nadelhölzer treten im Untersuchungsgebiet natürlicherweise nicht bestandesbildend auf. Daher habe ich deren Anteil pro Bestand und Schicht berechnet und bewertet.

Die untenstehende Abbildung 28 zeigt das resultierende Zielsystem für die Naturnähe.

Seltenheit

Für die Seltenheit liegen keine zusätzlichen Daten vor. Deshalb verwende ich dieselben Kriterien wie bei der einfachen Bewertung. Es sind dies die durchschnittliche *Seltenheit des Vegetationstyps* und die mittlere *Flächengrösse der Waldgesellschaften* eines Bestandes.

Indikator	Kriterien		
Naturnähe des Bestandes	Naturnähe der Oberschicht	Naturnähe der Baumarten OS	Naturnähe der Hauptbaumart OS
			Naturnähe der Nebenbaumarten OS
			Nadelholzanteil der OS
	Naturnähe der Mittelschicht	Naturnähe der Baumarten MS	Naturnähe der Hauptbaumart MS
			Naturnähe der Nebenbaumarten MS
			Nadelholzanteil der MS
	Naturnähe der Unterschicht	Naturnähe der Baumarten US	Naturnähe der Hauptbaumart US
			Naturnähe der Nebenbaumarten US
			Nadelholzanteil der US

Abb. 28: Zielsystem für den Indikator Naturnähe der umfangreichen Bewertung

Strukturvielfalt

Die detaillierte Bestandesbeschreibung ermöglicht auch für die Strukturvielfalt die Wahl zusätzlicher Kriterien. So können die bisherigen Abschätzungen zur vertikalen Schichtung und zur Artenvielfalt durch genauere Daten ergänzt werden.

Die horizontale Differenzierung bleibt mit den Zielerträgen der Kriterien *Punkthäufigkeit*, *innerer Waldrand*, *Sihltalstrassennähe* und *Gewässernähe* im Vergleich zur einfachen Bewertung unverändert.

Zur Operationalisierung der vertikalen Schichtung dient bei der einfachen Variante die Entwicklungsstufe. Das daraus abgeleitete Kriterium *Entwicklungsstand* verwende ich auch bei der umfangreichen Bewertung. Die Bestandesbeschreibung unterteilt die Baumschicht in drei Schichten. Diese Einteilung kann als weiteres Kriterium für die Vertikalstruktur dienen. Dabei berücksichtige ich nur diejenigen Schichten, die mit einem Deckungsgrad von mehr als 20% deutlich erkennbar auftreten.

Die Entwicklungsstufe gibt zwar Hinweise auf die Artenvielfalt, durch die Erfassung der Baumartenzusammensetzung lassen sich jetzt aber die Artenzahlen pro Baumschicht direkt bestimmen. Diese *Artenzahlen* bilden die neuen Kriterien zur Artenvielfalt (Abb. 29).

Indikator	Kriterien		
Strukturvielfalt des Bestandes	Vertikale Schichtung		Anzahl Baumschichten
			Entwicklungsstand
	Horizontale Differenzierung		Punkthäufigkeit
			innerer Waldrand
			Sihltalstrassennähe
	Artenvielfalt		Gewässernähe
			Artenzahl der Oberschicht
			Artenzahl der Mittelschicht
			Artenzahl der Unterschicht

Abb. 29: Zielsystem für den Indikator Strukturvielfalt der umfangreichen Bewertung

3.3.4.2. Zielerfüllungsgrad der Kriterien

Die Abbildung der berechneten Kriterienmasse auf eine gemeinsame Skala erfolgt nach derselben Methodik wie bei der einfachen Bewertung, indem ich für alle Kriterien, ausgehend vom Informationsgehalt der Messskalen, fünf Klassen bestimme.

Zur optimalen Vergleichbarkeit der beiden Bewertungsvarianten bewerte ich Zielerträge, die aus der einfachen Bewertung stammen, mit den damals verwendeten Zielerfüllungsgraden. Das betrifft die Kriterien zur Seltenheit, zur horizontalen Differenzierung sowie den Entwicklungsstand als Kriterium zur vertikalen Schichtung.

Naturnähe

Speziell ist die Situation für die *Naturnähe der Hauptbaumart* der drei Schichten, da die Zielerträge zwar gleich berechnet wurden, aber von anderen Daten stammen als beim einfachen Ansatz. Trotzdem bewerte ich deren Zielerfüllungsgrade mit den gleichen Schwellenwerten (5%, 35%, 65% und 95%).

Die drei Kriterienmasse zur Naturnähe der Nebenbaumarten berechnete ich auf dieselbe Weise wie diejenigen zur Hauptbaumart. Sie können aber dank der Berücksichtigung von zwei Baumarten, Zielerträge von 0 bis 200% annehmen. Unter Beachtung dieser ähnlichen Entstehungsweise und inhaltlichen Aussagekraft wähle ich zur Skalierung der Nebenbaumartskriterien den doppelten Wert der Klassengrenzen der Hauptbaumartskriterien.

Keine Gemeinsamkeiten zur einfachen Bewertung weisen die Zielerträge der *Nadelholzanteile* der Baumschichten auf. Bei der Bewertung des Zielerfüllungsgrades berücksichtige ich den potentiell natürlichen Laubholzcharakter des Sihlwaldes. In dieser Umgebung müssen bereits geringe Nadelholzanteile kritisch betrachtet werden. Mit Schwellenwerten in Form einer geometrischen Reihe habe ich die Bestände ohne Nadelholzanteil absichtlich exklusiv bewertet. Deshalb erzielen schon relativ geringe Nadelholzanteile kleine Zielerfüllungsgrade (Abb 30).

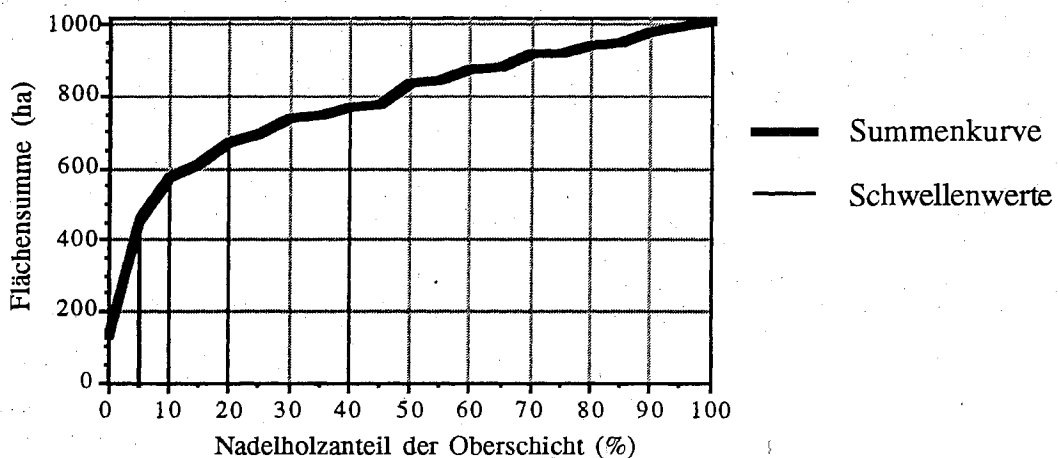


Abb. 30: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium *Nadelholzanteil der Oberschicht*

Die resultierenden Klassen umfassen die folgenden, in die Summenkurve der Häufigkeitsverteilung eingetragenen, Werte: 0%, 5%, 10-15%, 20-35%, 40-100%.

Zur besseren Vergleichbarkeit übernehme ich für die beiden Kriterien *Nadelholzanteil der Mittel- und Unterschicht* die Klassengrenzen des Nadelholzanteiles der Oberschicht.

Strukturvielfalt

Die *Baumartenzahlen* als Kriterien zur Artenvielfalt bilden diskrete Merkmale. In der Oberschicht treten maximal sieben Nennungen auf. Dabei sind die Flächen mit einer bzw. sieben Arten sehr schwach vertreten, weshalb ich sie mit ihren Nachbarmerkmalen zu einer Klasse zusammenfasse. Die übrigen Merkmale bilden eigene Klassen, so dass die Zielerfüllungsgrade 1 bis 5 folgende Zielerträge umfassen: 1+2, 3, 4, 5, 6+7 (Abb.31).

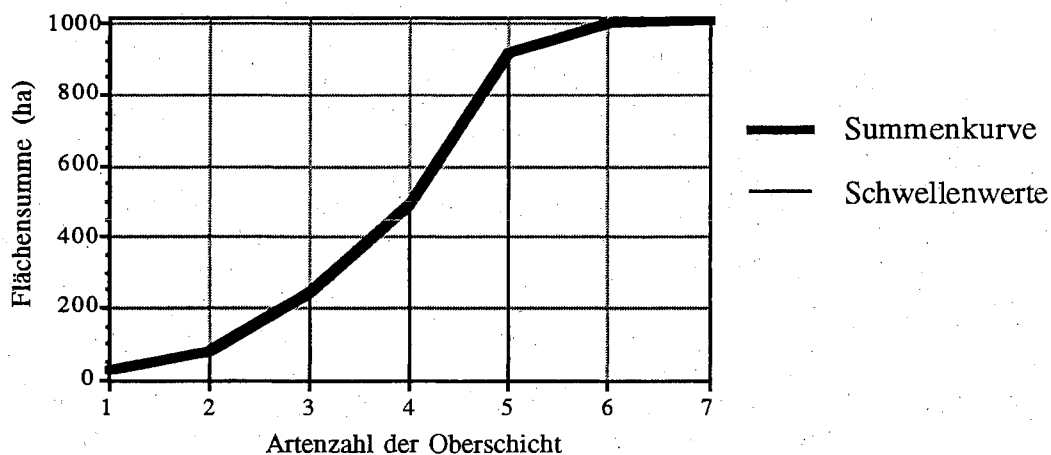


Abb. 31: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium *Artenzahl der Oberschicht*

Die Mittel- und Unterschicht weisen weniger Baumarten auf, weshalb die gleiche Klassenbildung wie bei der Oberschicht nicht den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen würde. Daher wähle ich die Artenzahlen 1, 2, 3 und 4 als Schwellenwerte der Zielerfüllungsgrade (Abb. 32).

3.3.4.3. Gewichtung der Kriterien

Auch bei der umfangreichen Bewertung soll die Wertanalyse durch die Gewichtung der Kriterien den Verhältnissen im Sihlwald und den Zielsetzungen der Feldstudie angepasst werden. Dabei verwende ich zur Erleichterung eines späteren Vergleichs der beiden Bewertungsvarianten für die gleichen Kriterien dieselben Gewichtungen wie beim einfachen Ansatz.

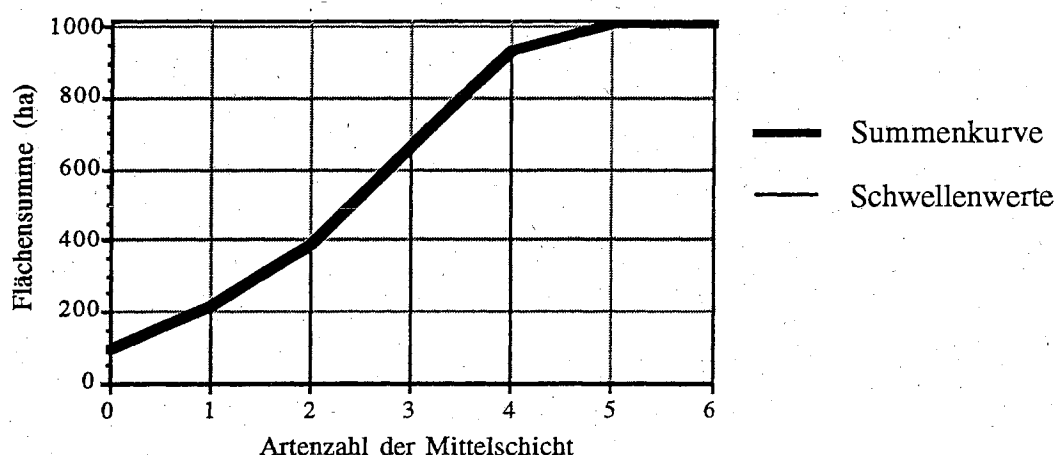


Abb. 32: Summenkurve des Zielertrags für das Kriterium Artenzahl der Mittelschicht

Für die direkt aus der einfachen Variante übernommenen Kriterien zur Seltenheit ergeben sich keine Veränderungen.

Die Daten der Bestandesbeschreibung erleichtern die Gewichtung der ergänzenden Teilbewertungen zur Naturnähe und zur Artenvielfalt. Der Deckungsgrad der einzelnen Baumschichten gibt zum Beispiel eine wertvolle Information zu deren Ausprägungsstärke. Diese geschätzte Grösse kann ich direkt als Gewichte zur Relativierung der Kriterienwerte der Ober-, Mittel- und Unterschicht verwenden. Dadurch wird die Naturnähe und die Artenzahl für jeden Bestand individuell, nach den realen Gegebenheiten gewichtet.

Für die Gewichtung der Baumartenzusammensetzungen stehen mir deren Anteile zur Verfügung. Damit kann ich die Naturnähekriterien der Haupt- und Nebenbaumarten pro Schicht und Bestand einzeln gewichten, indem ich den Anteil der Hauptbaumart und entsprechend die Summe der Nebenbaumartenanteile als Gewichte verwende.

Somit verbleiben nur noch die beiden Kriterien zur vertikalen Schichtung ohne direkt gegebene bzw. früher festgesetzte Gewichte. Ein Blick in die Auswertung der Korrelationsanalyse des umfangreichen Ansatzes soll als Vergleich und Kontrolle der bisherigen Annahmen dienen.

Durch die genaueren Daten resultieren für die neuen breiter abgesicherten Kriterien zum Teil starke Abhängigkeiten. Aus diesem Grund beschreibe ich die berechneten Korrelationskoeffizienten in generalisierender Form. Die gesamte Tabelle befindet sich im Anhang B.

- Die *Flächengrösse* der Bestände korreliert mit Rang-Korrelationskoeffizienten zwischen $r = 0.30$ und $r = 0.45$ positiv zur Naturnähe der Baumartenzusammensetzungen aller Schichten. Grosse Bestandesflächen sprechen also für eine höhere Natürlichkeit als kleine, was von der Art der bisherigen Bewirtschaftungsweise abhängig sein könnte.

Weitere statistische Zusammenhänge zur Bestandesfläche ergeben die Kriterien der vertikalen Schichtung (*Anzahl Baumschichten*: $r = 0.33$, *Entwicklungsstand*: $r = 0.47$) und diejenigen zur Artenvielfalt (*Artenzahl der Oberschicht*: $r = 0.58$, *Artenzahl der*

Mittelschicht: $r = 0.48$, *Artenzahl der Unterschicht*: $r = 0.48$). Diese teilweise starken Korrelationen führe ich auf die absoluten Ausgangsdaten, die ich zur Berechnung der beiden Kriteriensätze verwendete, zurück. Eine Relativierung dieser Flächenabhängigkeit in Form einer Quotientenbildung der Daten mit der Flächengrösse (z.B. Artenzahl pro ha) ist nicht sinnvoll, da für kleine Flächen utopisch hohe Werte resultieren würden.

- Die *Naturnähe der Haupt- und Nebenbaumarten* der drei Schichten erzielt Korrelationskoeffizienten zwischen $r = 0.20$ und $r = 0.51$. Die durchwegs positiven Korrelationswerte deuten auf gemeinsame Natürlichkeitsverhältnisse in den Schichten hin. Etwas differenzierter fallen die Ergebnisse der *Naturnähekriterien* in bezug auf die *Nadelholzanteile* aus. So korreliert der *Nadelholzanteil der Oberschicht* mit $r = -0.20$ bis $r = -0.52$ im erwarteten Rahmen. Denn grosse Naturnähe und hoher Nadelholzanteil schliessen sich im Sihlwald, wie bereits erwähnt, aus. Der *Nadelholzanteil der Mittelschicht* dagegen weist schwach positive Korrelationskoeffizienten zur Naturnähe auf. Auch der *Nadelholzanteil der Unterschicht* widerlegt die Erwartung mit Werten zwischen $r = 0.14$ und $r = 0.35$. Diese Zusammenhänge sind statistischer Natur, da die meisten Bestände in der Mittel- und Unterschicht gar keine oder sehr kleine Nadelholzvorkommen aufweisen. Das heisst, dass Nadelhölzer in diesen Schichten eher in grossen, naturnahen Beständen vorkommen. Zwischen *Naturnähe* und *Artenzahlen* ergeben sich durchwegs positive Korrelationen mit Werten zwischen $r = 0.25$ und $r = 0.75$. Diese Ergebnisse sind einerseits durch die beidseitige Abhängigkeit von der Flächengrösse, andererseits auch inhaltlich begründbar, da auf naturnahen Beständen auch eine hohe Artenzahl erwartet werden kann.
- Die Kriterien der vertikalen Schichtung korrelieren untereinander mit $r = 0.42$. Das deutet auf eine gelungene Abschätzung der Vertikalstruktur durch den *Entwicklungsstand* hin. Aufgrund fehlender eindeutiger Präferenzen gewichte ich die *Anzahl Baumschichten* zum *Entwicklungsstand* 1 : 1.
- Die *Artenzahlen* der drei Schichten zeigen mit Korrelationskoeffizienten von $r = 0.53$ bis $r = 0.64$ die erwarteten starken Zusammenhänge. Diese hohen Werte müssen relativiert werden, da sie durch die Bestandesgrösse beeinflusst sind.

Trotz allen Begründungsversuchen stellt diese Kriteriengewichtung nur eine von vielen Bewertungsmöglichkeiten dar. Mit Hilfe der bereits beschriebenen ARC/INFO-Macro¹¹ können alternative Gewichtungen auf einfachste Weise berechnet und dargestellt werden. Abbildung 33 zeigt als Zusammenfassung die ARC/INFO-Eingabeform mit dem Zielsystem und den gewählten Gewichten der umfangreichen Bewertungsvariante.

¹¹ s. Abschnitt 3.3.3.3.

		<input type="checkbox"/> Nat. Baumarten OS <		Nat. Hauptbaumart OS Nat. Nebenbaumart OS Nadelholzanteil OS
		Nat. OS <		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> Nat. Baumarten MS <		Nat. Hauptbaumart MS Nat. Nebenbaumart MS Nadelholzanteil MS
		Nat. MS <		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> Nat. Baumarten US <		Nat. Hauptbaumart US Nat. Nebenbaumart US Nadelholzanteil US
		Nat. US <		<input type="checkbox"/>
Ökolog. Wert	<input type="checkbox"/> Naturnähe			
	<input type="checkbox"/> Seltenheit	<input type="checkbox"/> Seltenh. Vegetat.typ <input type="checkbox"/> Flächengr. Waldges.		
	<input type="checkbox"/> Strukturvielfalt	<input type="checkbox"/> Vertikale Schichtung	<input type="checkbox"/> Anzahl Schichten <input type="checkbox"/> Entwicklungsstand	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Horizont. Differenzierung	<input type="checkbox"/> Punkthaufigkeit <input type="checkbox"/> Innerer Waldrand <input type="checkbox"/> Sihtalstr.nähe <input type="checkbox"/> Gewässernähe	
	<input type="checkbox"/> Artenvielfalt	<input type="checkbox"/> Artenzahl der OS <input type="checkbox"/> Artenzahl der MS <input type="checkbox"/> Artenzahl der US		
<input type="button" value="ABBRECHEN"/>		<input type="button" value="NEUE BERECHNUNG"/>		

Abb. 33: Eingabeform und Gewichtung des umfangreichen Bewertungsansatzes

3.3.4.4. Kombination der Kriterien

Durch die Kriterienkombination sollen alle bisher bestimmten Teilbewertungen zusammengefasst werden. Dazu berechne ich, in Anlehnung an die Begründung bei der einfachen Bewertungsvariante, das gewichtete arithmetische Mittel aus den Kriterienwerten.

Die Resultate des einfachen und dieses umfangreichen Bewertungsansatzes stelle ich im Rahmen des folgenden Abschnittes vor.

3.4. Resultate der Fallstudie

3.4.1. Übersicht

Das primäre Ziel der Fallstudie war die Ausführung einer ökologischen Wertanalyse zur Beurteilung der Möglichkeiten und Auswirkungen eines GIS-Einsatzes in ökologischen Bewertungsverfahren.

Die erste Frage nach den Möglichkeiten, die eine GIS-Unterstützung in der Anwendung eines ökologischen Bewertungsverfahrens bringen kann, habe ich bereits im Anschluss an den Theorieteil zu beantworten versucht¹². Auf diesen Punkt komme ich im vierten Kapitel zurück, in dem ich ebenfalls die inhaltlichen Konsequenzen aus dem GIS-Einsatz beurteilen werde.

An dieser Stelle der Fallstudie gehe ich vorerst auf die Möglichkeiten und Probleme der Resultatsausgabe in ARC/INFO ein. Der Abschnitt 3.4.3. gibt anschliessend eine Beurteilung der Qualität der Ergebnisse des einfachen und umfangreichen Bewertungsansatzes. Auf das Gesamtergebnis der ökologischen Wertanalyse und die Zwischenergebnisse der Indikatorwerte werde ich im Abschnitt 3.4.4. eingehen.

3.4.2. Darstellungsmöglichkeiten und -problematik

3.4.2.1. ARC/INFO-Darstellungsmacro

Die im Abschnitt 3.3.3.3. beschriebene AML zur Gewichtung und Aggregation der Kriterien kann die berechneten ökologischen Werte und die Indikatorwerte auch in Form von Karten am Bildschirm darstellen. Dazu wählt der Benutzer über das Pulldownmenu "ERGEBNIS" eine der vier Möglichkeiten ökologischer Wert, Naturnähe, Seltenheit oder Strukturvielfalt. Auf das Grafikfenster wird damit eine Karte des ökologischen Gesamtwertes bzw. der Indikatorwerte im Massstab 1: 30000 gezeichnet.

Zusätzlich zur Karte des ökologischen Wertes erscheint eine einfache Statistik, die die Anzahl Bestände und deren Flächensumme pro Wertklasse angibt. Dadurch können Veränderungen bei der Kriteriengewichtung nicht nur graphisch, sondern auch quantitativ erfasst werden. Alle Karten können über ein Sidebarmenu verändert werden. Mit den Optionen "ZOOM IN" und "ZOOM OUT" wird der Massstab der Karte geändert. Durch die Massstabsänderung wechselt auch der Informationsgehalt der Basiskarte. Für Massstäbe zwischen 1:20000 und 1:7500 werden ausser der Sihl die Bäche des Übersichtsplans gezeichnet. Alle Massstäbe grösser als 1:7500 enthalten zusätzlich zum Gewässernetz die Wege und Strassen im Untersuchungsgebiet und den unklassierten Wert der Bestände. Zur besseren Orientierung wird der aktuelle Massstab der Karte bei diesen Zoomfunktionen laufend nachgeführt. Über das "DEFAULT"-Feld kann zum Ausgangsmassstab zurückgekehrt werden. Durch das Anklicken der "INFO"-Option wird dem Benutzer ermöglicht, die Polygon-Attribut-Tabelle eines Bestandes an-

¹² s. Abschnitt 2.3.

zuschauen, die auf einem neuen Fenster erscheint. So können die Fläche, der Umfang, der Bestandscode, alle Kriterienwerte usw. abgefragt werden. Das nächste Feld "VERWENDETE GEWICHTE" zeigt die Gewichtung, die zur gezeichneten Karte führte. Diese Möglichkeit ist nützlich bei einer Resultatbetrachtung ohne vorausgehende neue Berechnung. Über die Option "ZU ARCPLOT" kann schliesslich das Menu temporär verlassen werden, um spezielle ARCPLOT-Befehle oder Abfragen zu ermöglichen. Um zum Hauptmenu zurückzukehren, wählt man das Feld "BEENDEN". Von dieser Umgebung ausgehend, können die übrigen Resultate betrachtet oder neue Gewichtungen berechnet werden (vergl. Abb. 34).

3.4.2.2. Klassierungsverfahren

Bedingt durch die gerechneten arithmetischen Mittel nehmen die zu kartierenden Werte verschiedenste reale Zahlen zwischen 1 und 5 ein. Eine klassenlose Darstellung dieser Resultatwerte sollte heute dank der praktisch unendlich vielen Bildschirmfarben moderner Computergraphik-Software möglich sein (Kilchenmann 1991). Die leider noch immer aktuelle ARC/INFO-Version 5.0.1 erweist sich demgegenüber als "farbenblind". Nur gerade 5 Intensitätsstufen derselben Farbe sind zum jetzigen Zeitpunkt darstellbar. Da eine Änderung der Farbe in Kartenlegenden qualitative Unterschiede impliziert (Bertin 1967), ist eine Klasseneinteilung der Resultatwerte zur kartographischen Darstellung am Bildschirm unumgänglich.

Zur Bestimmung der Klassengrenzen einer Klassierung existiert eine Vielzahl von statistischen Verfahren, die von Jenks & Coulson (1963), Scripter (1970) und Krebs et al. (1977) ausführlich beschrieben wurden. Als Beispiele nenne ich:

- Die Aufteilung der Spannweite zwischen den Extremwerten des darzustellenden Attributes in Klassen gleicher Breite (äquidistante Klassen).
- Die Bildung von Klassen der Breite einer Standardabweichung symmetrisch vom Mittelwert des Attributs.
- Klassenbreiten, die eine arithmetische, geometrische oder radizierende Folge bilden.
- Das Bestimmen von Klassengrenzen durch Bildung von N-tilen (gleich stark besetzte Klassen).
- Die Klasseneinteilung durch Schachtelung der arithmetischen Mittelwerte (nested means).

Diese statistischen Verfahren der Klassenbildung sind in vielen Anwendungen sinnvoll. Sie werden mit Ausnahme der Bildung von N-tilen und Intervallen in der ARC/INFO-Version 5.0.1 nicht durch Standardroutinen unterstützt.

Zur Vereinfachung der Resultatübersicht am Bildschirm wähle ich für alle Wertvariablen die gleichen Klassengrenzen. Dabei berücksichtige ich die folgenden Punkte zur ursprünglichen Wertverteilung:

- Durch die Berechnung gewichteter arithmetischer Mittel sind die Extremwerte um 1 und gegen 5 sehr selten. Eine reine Intervallskala wäre deshalb nicht sinnvoll, da praktisch nur drei Klassen entstehen würden;
- Der mittlere Wert 3 soll die Mitte der dritten Klasse bilden.

Mit einer Intervall-Schachtelung um den Wert 3 kann ich diese Voraussetzungen befolgen. Damit lege ich Klassengrenzen bei den Werten 2.25, 2.75, 3.25 und 3.75 fest (Abb. 34).

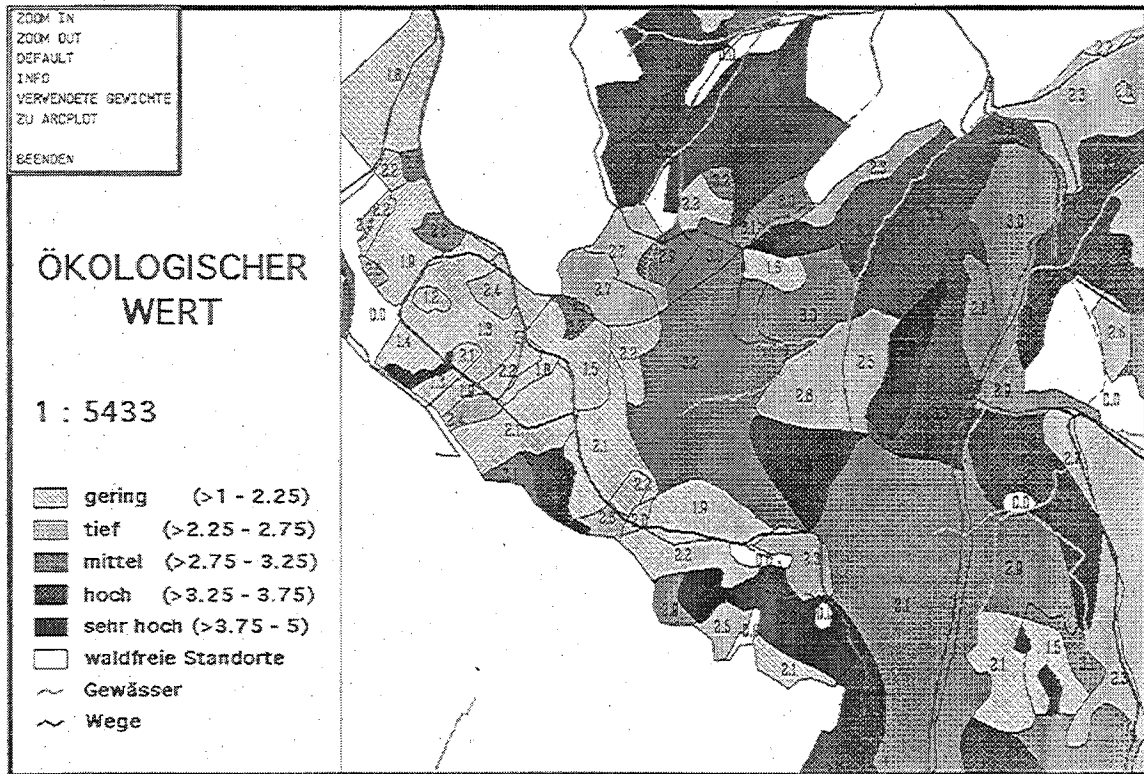


Abb. 34: Beispiel der klassierten Bildschirmdarstellung (ca. 2.5-fache Verkleinerung)

Klassierungsproblematik

Das Problem der Klassierung von Skalen möchte ich anhand eines realen Beispiels nochmals aufgreifen. Anstatt der Intervall-Schachtelung hätte ich ein anderes Verfahren zur Klasseneinteilung verwenden können, zum Beispiel die Bildung gleich stark besetzter Klassen (N-tile). Im Fall von fünf Klassen gleicher Häufigkeit spricht man von Quintilen. Mit diesem Verfahren werden von der Summenkurve der Werte ausgehend Klassen unterschiedlicher Breite erzeugt. Die Klassengrenzen verändern sich daher nicht nach einer Zahlenfolge für die erzeugende Regeln angegeben werden können.

In die Summenkurve des ökologischen Wertes der umfangreichen Bewertung habe ich die Klassengrenzen nach beiden Klassierungsmethoden eingezeichnet (Abb. 36). Man sieht, dass diese Veränderung des Klassierungsverfahrens grosse Auswirkungen auf die Klassengrenzen und die Flächensummen pro Klasse hat. Die Klassendifferenz pro Bestand beträgt in diesem Fall maximal eine Klasse.

Die räumliche Verteilung des Streubereiches der beiden Skalen kann ich anhand einer Karte (Abb. 35) visualisieren. Darin nehmen die uneinheitlich zugewiesenen, dunkleren Flächen 51% des Untersuchungsgebietes ein.

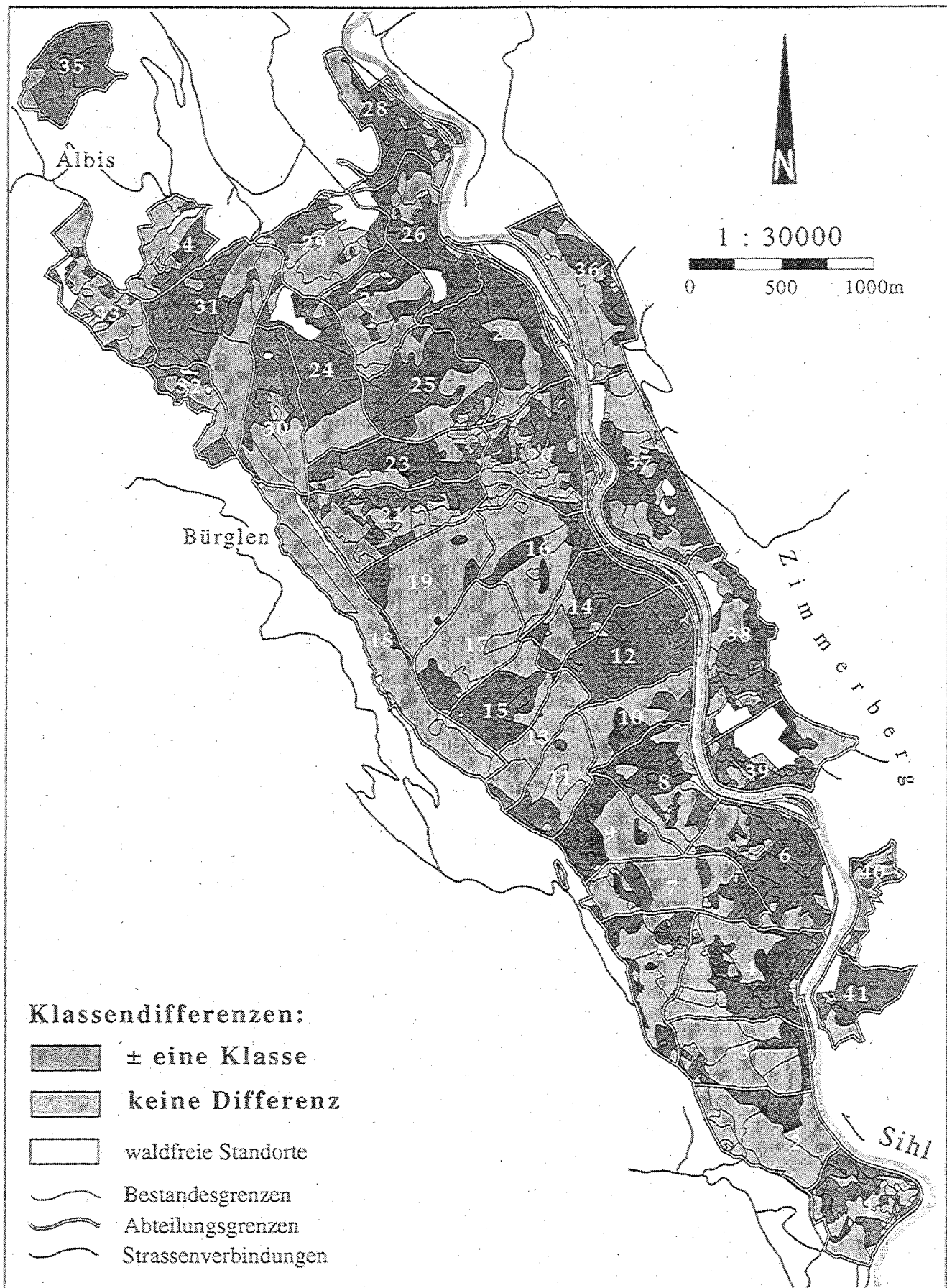


Abb. 35: Verteilung der Klassendifferenzen beider Klassierungsverfahren

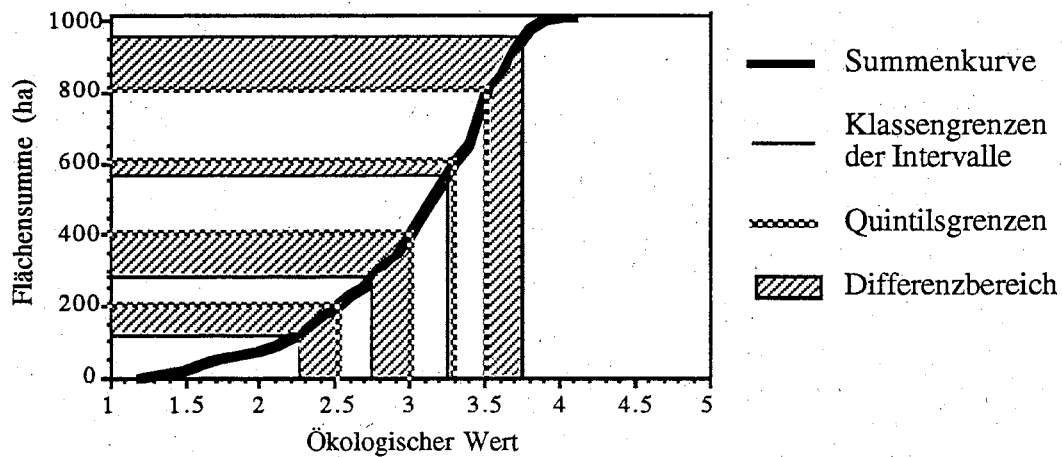


Abb. 36: Klassengrenzen und Differenzbereiche beider Klassierungsverfahren

Durch die unterschiedliche Wahl der Klassengrenzen ergeben sich also verschiedene räumliche Verteilungen der Ergebniswerte. Ein solcher Unterschied ist an und für sich nicht relevant, da die dargestellten Werte ein ordinales Mass (Reihenfolge) beschreiben. Trotzdem kann die Präsentation der Bewertungsergebnisse nur bedingt über die klassierten Bildschirmkarten erfolgen, da der Informationsverlust durch die Klasseneinteilung ziemlich gross wird und gewisse Fehlinterpretationen nicht auszuschliessen sind.

Die Alternative zum farbigen Bildschirm bilden am Geographischen Institut Stiftplotterkarten und S/W-Laserplotterkarten mit wesentlich besserer Qualität. Einige Beispiele solcher Karten gibt der nächste Abschnitt.

3.4.3. Beurteilung der Qualität der beiden Bewertungsansätze

3.4.3.1. Ausgangslage

Die Beurteilung des Ergebnisses, einer im Sparverfahren erstellten ökologischen Wertanalyse, soll nach Ammer & Utschick (1988) anhand von Stichproben erfolgen. In der praktischen Anwendung eines solchen Evaluationsverfahrens stellt sich die Frage nach der Grösse einer repräsentativen Stichprobe und der Transparenz des Verfahrens. Dank der Wahl des Sihlwaldes als Untersuchungsgebiet kann ich diese Probleme umgehen, indem ich auf bereits erstellte Bewertungen zurückgreife. Diese ermöglichen eine umfassendere und allgemein besser nachvollziehbare Ergebniskontrolle als das Stichprobenverfahren.

Zur Analyse der Qualität der Ergebnisse beider Bewertungsvarianten dienen mir:

- die "ökologische Wertanalyse Naturlandschaft Sihlwald" des BSU (1989), deren Ergebnis in Form einer nicht reproduzierbaren Karte des resultierenden ökologischen Wertes pro Raumeinheit und eines Berichts vorliegen.
- die Feldstudie Voloscuk (1990), deren Resultat als Merkmal "Entwicklungstyp" für jeden Bestand in die Bestandesbeschreibung aufgenommen wurde (Abb. 37). Sein Vorschlag für die Definition von Entwicklungstypen im Massnahmenplan "Naturlandschaft Sihlwald" ergibt folgende Einteilung:
 1. Freie Waldentwicklung bereits seit langer Zeit im Gang und fortan uneingeschränkt und dauernd zugelassen.
 2. Freie Waldentwicklung frisch eingeleitet und fortan uneingeschränkt und dauernd zugelassen.
 3. Freie Waldentwicklung nun während mindestens 10 bis 20 Jahren uneingeschränkt zugelassen; vor der dauernden Zulassung der freien Waldentwicklung wird die Notwendigkeit von Lenkungshieben nochmals überprüft.
 4. Gelenkte Waldentwicklung mit zurückhaltenden Eingriffen im Hinblick auf spätere Zulassung freier Waldentwicklung.
 5. Gelenkte Waldentwicklung mit tiefgreifenden Eingriffen im Hinblick auf spätere Zulassung von freier Waldentwicklung.
 6. Experimentelle Waldentwicklung mit besonderen Zielen (Versuchsflächen)
 7. Nachahmung historischer Formen.

In diesem Massnahmenplan steckt also eine zeitliche Dimension, die aber aufgrund der Zielsetzung für das Projekt Naturlandschaft Sihlwald, den heutigen ökologischen Zustand der Bestände widerspiegelt.

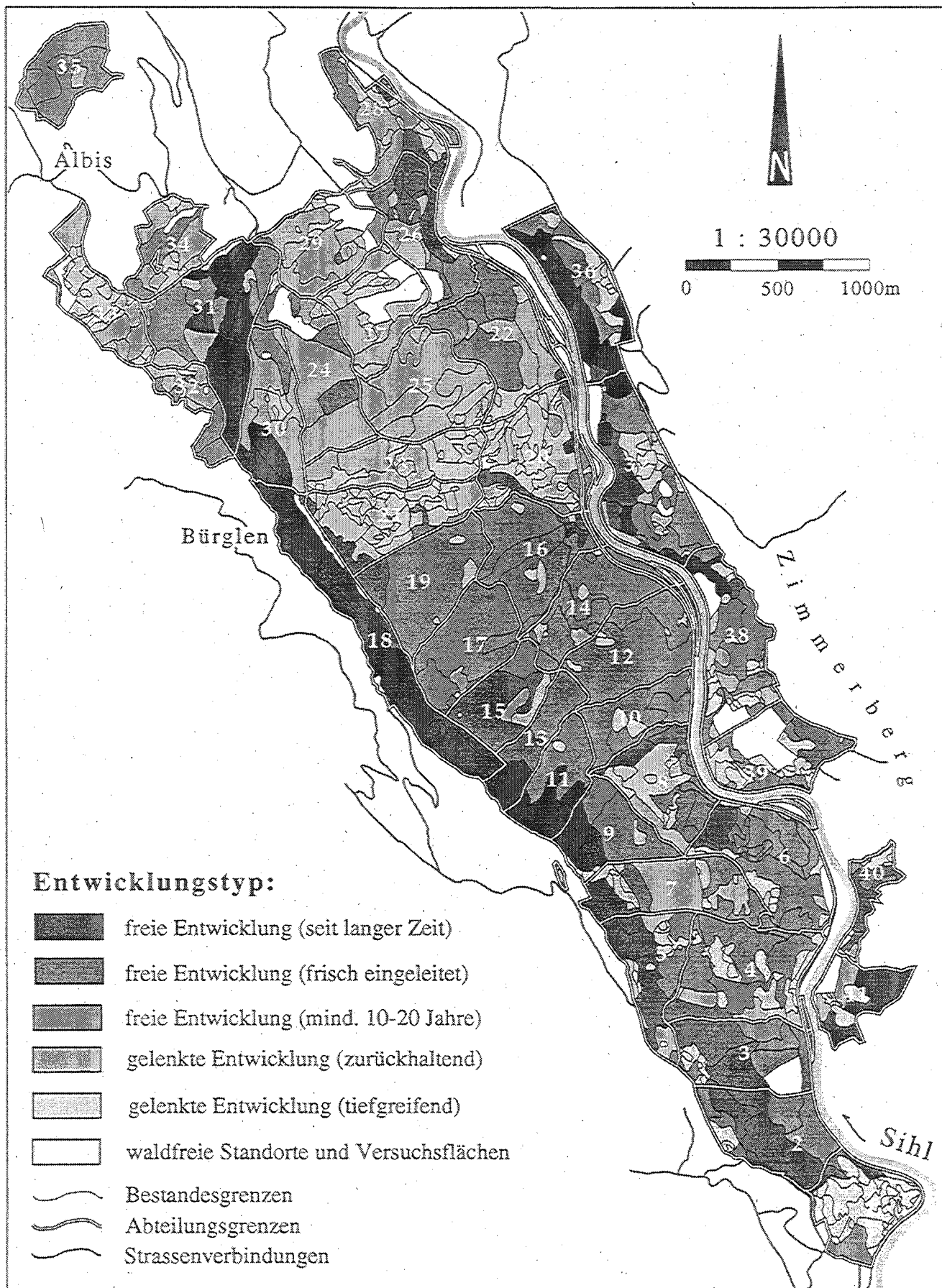


Abb. 37: Entwicklungstyp nach Voloscuk

Diese beiden Arbeiten entstanden im Vergleich zu meinen Bewertungsansätzen mit anderen Methoden. Dank dem gemeinsamen Ziel aller Untersuchungen können die BSU- und die Voloscuk-Bewertung trotzdem als Referenz zur Ergebnisverifikation dienen. Dabei gilt es, die folgenden Punkte zu beachten:

- Die "ökologische Wertanalyse Naturlandschaft Sihlwald" des BSU liegt in analoger Form vor. Diese Tatsache verhindert eine vollständig quantitative Variantenbeurteilung.
- Gegen ein quantitatives Vorgehen spricht ausserdem die Aggregation der Kriterien durch gewichtete arithmetische Mittel. Aus dieser Kombinationsmethode entsteht, abhängig von der Anzahl Kombinationsschritte und damit von der Kriterienzahl, eine Konzentration der Resultatwerte auf dem mittleren Skalenbereich. Ein Vergleich der absoluten Werte der beiden Bewertungsansätze könnte aufgrund der unterschiedlichen Anzahl Kombinationsschritte zu Fehlinterpretationen führen. Ein statistischer Variantenvergleich sollte deshalb nur auf ordinalem Niveau (Rangierung) erfolgen.
- Ausser der BSU-Bewertung sind alle zu vergleichenden Bewertungsergebnisse im GIS gespeichert. Sie können nach Bedarf als Karten ausgegeben werden.

Aufgrund dieser Überlegungen wähle ich den analogen Kartenvergleich als Verfahren der Qualitätsbeurteilung meiner Bewertungen. Ich verzichte also, unter Berücksichtigung der Aggregations- und Klassierungsproblematik, auf die im GIS verlockend einfach realisierbare Berechnung von Differenzkarten zwischen den digital vorhandenen Ergebnissen.

3.4.3.2. Methode der Qualitätsbeurteilung

Beim Betrachten der unklassierten Resultatkarten meiner Bewertungen (Abb. 39 und 40) fällt die ungleichmässige, stark variierende Verteilung der Grautöne auf. Diese Inhomogenität der Wertverteilung erschwert den visuellen Vergleich. Da eine generalisierende Betrachtung bei 761 bewerteten Beständen unumgänglich ist, verwende ich als Vergleichsflächen die nächsthöhere Einteilung im Forstgebiet, die Abteilungen. Innerhalb der Abteilungen scheide ich nach Bedarf Gebiete homogener Wertverteilung aus, die ich anhand von Flurnamen der Landeskarte (1:25000, Blatt 1111 "Albis") benenne.

Den ökologischen Wert dieser Gebiete beurteile ich für beide Bewertungsansätze und Vergleichsstudien relativ zum gesamten Bewertungsumfang der betreffenden Untersuchung als gering (-), mittel (0) oder hoch (+).

Die resultierenden Abweichungen der Bewertungsansätze zu den Vergleichsstudien und zueinander finden sich in der Abbildung 38, in den Spalten:

E-V: Vergleich einfache Bewertung zu Voloscuk

E-B: Vergleich einfache Bewertung zu BSU

U-V: Vergleich umfangreiche Bewertung zu Voloscuk

U-B: Vergleich umfangreiche Bewertung zu BSU
V-B: Vergleich Voloscuk zu BSU
E-U: Vergleich einfache zu umfangreiche Bewertung

Dabei verwende ich die Symbole:

+ + viel höher bewertet
+ höher bewertet
0 keine Abweichung
- tiefer bewertet
- - viel tiefer bewertet

3.4.3.3. Beurteilungsergebnisse für die einfache Bewertung

Vergleich zu Voloscuk:

- Im Vergleich zum Entwicklungstyp ergibt sich für keines der 56 Gebiete eine grosse Abweichung (+ + oder - -). Der Durchschnitt meiner Bewertung liegt eher etwas höher als bei Voloscuk, wobei ich für mehr als die Hälfte der ausgeschiedenen Gebiete (33) denselben ökologischen Wert erhalte.
Besonders gut stimmen die Bewertungen der nördlichsten Abteilungen links der Sihl und aller Abteilungen rechts der Sihl überein.
- Die Rang-Korrelation auf Bestandesebene ergibt mit dem Korrelationskoeffizienten $r = -0.53$ und dem Signifikanzwert $\alpha = 0.0001$ einen deutlichen Zusammenhang. Das negative Vorzeichen ist auf die inverse Skalendefinition zurückzuführen.

Vergleich zur BSU-Studie:

- Zur BSU-Bewertung ergibt die einfache Variante in 8 Fällen grosse Abweichungen. Betroffen sind die Abteilungen 7, 9, 12, 16, 22 und 24. Diese befinden sich alle im mittleren Teil der linken Talseite des Untersuchungsgebietes. Für die restlichen Gebiete erhalte ich ähnliche Bewertungsunterschiede wie zum Entwicklungstyp.
- 23 Vergleichsgebiete wurden in beiden Bewertungen der gleichen Wertstufe zugeteilt. Die übrigen 25 Gebiete sind gleichmässig auf positive und negative Abweichungen (13+ : 12-) verteilt.

Insgesamt erhalte ich für den einfachen Bewertungsansatz eine deutlich bessere Übereinstimmung zum Entwicklungstyp nach Voloscuk als zur BSU-Bewertung.

Interessant sind die Gebiete mit übereinstimmenden Abweichungen zu beiden Vergleichsbewertungen. Diese "eindeutig falsch" bewerteten Gebiete liegen auf der linken Talseite, hauptsächlich auf den mittleren Teil des Untersuchungsgebietes (Abteilungen 9 bis 17) konzentriert, den ich mit Ausnahme des "Schröterbodens" und des "Eglibodens" höher bewerte.

Abt.	Gebiet	E	U	V	B	E-V	E-B	U-V	U-B	V-B	E-U
1		-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
2		+	+	+	+	0	0	0	0	0	0
3		+	0	+	+	0	0	-	-	0	+
4		+	+	0	0	+	+	+	+	0	0
5		+	+	+	0	0	+	0	+	+	0
6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Streu-/Chellerb.	-	-	-	+	0	--	0	--	--	0
	Ober Albis	+	0	0	0	+	+	0	0	0	+
8		+	0	0	+	+	0	0	-	-	+
9	Egliboden	-	-	0	+	-	--	-	--	-	0
	Ober Albis	+	+	+	0	0	+	0	+	+	0
10		+	+	0	0	+	+	+	+	0	0
11	Chatzenruggen	+	0	0	0	+	+	0	0	0	+
	Mittlerer Albis	+	0	+	+	0	0	-	-	0	+
12	Schröterboden	-	0	0	+	-	--	0	-	-	-
	übrige Abt.	+	+	0	-	+	++	+	++	+	0
13		+	+	+	0	0	+	0	+	+	0
14	Schröterboden	-	0	0	0	-	-	0	0	0	-
	übrige Abt.	0	+	0	0	0	0	+	+	0	-
15		+	+	+	0	0	+	0	+	+	0
16		+	+	0	-	+	++	+	++	+	0
17		+	+	0	0	+	+	+	+	0	0
18		+	+	+	+	0	0	0	0	0	0
19		+	+	0	+	+	0	+	0	-	0
20	Tannboden	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
	übrige Abt.	0	0	-	+	+	-	+	-	--	0
21		0	0	-	+	+	-	+	-	--	0
22	Langrain	+	0	0	-	+	++	0	+	+	+
	übrige Abt.	-	-	-	+	0	--	0	--	--	0
23		0	0	-	0	+	0	+	0	-	0
24	Weid	-	-	-	+	0	--	0	--	--	0
	übrige Abt.	0	0	-	+	+	-	+	-	--	0
25		0	0	-	0	+	0	+	0	-	0
26	Risleten	+	0	+	0	0	+	-	0	+	+
	übrige Abt.	0	0	0	-	0	+	0	+	+	0
27		0	-	-	+	+	-	0	--	--	+
28	Ragnau	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
	übrige Abt.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29		-	-	-	0	0	-	0	-	-	0
30		0	0	0	+	0	-	0	-	-	0
31		+	0	+	+	0	0	-	-	0	+
32		+	+	0	+	+	0	+	0	-	0
33		-	-	-	0	0	-	0	-	-	0
34		0	+	-	+	+	-	++	0	--	-
35		+	+	0	0	+	+	+	+	0	0
36	Langmoos	-	0	-	0	0	-	+	0	-	-
	Hasenrain	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0
37	Erlenmoos	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
	übrige Abt.	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0
38		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	Ob Tableten	+	+	+	0	0	+	0	+	+	0
	übrige Abt.	-	0	-	0	0	-	+	0	-	-
40	Steinchratten	-	-	0	-	-	0	-	0	+	0
	übrige Abt.	+	0	+	+	0	0	-	-	0	+
41	Steinmatt	-	0	-	0	0	-	+	0	-	-
	Pfefferberg	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0
Total											
	++					0	3	1	2	0	0
	+					19	13	17	12	11	10
	0					33	23	31	25	24	39
	-					4	12	7	12	13	7
	--					0	5	0	5	8	0
Variantentotal											
	++						3		3		
	+						32		29		
	0						56		56		
	-						16		19		
	--						5		5		

Abb. 38: Tabellarische Ergebnisse des Kartenvergleichs

3.4.3.4. Beurteilungsergebnisse für die umfangreiche Bewertung

Vergleich zu Voloscuk:

- Im Vergleich zur Bewertung durch Voloscuk erhalte ich ein Gebiet mit grosser Abweichung (Abteilung 34). Die Vergleichsflächen mit einer Wertstufe Unterschied sind über das ganze Untersuchungsgebiet verteilt. Mit 17 höher bewerteten zu 7 tiefer bewerteten Einheiten stuft meine Variante den Sihlwald generell höherwertig ein als Voloscuk's Entwicklungstyp. 31 Gebiete fallen in beiden Bewertungen in denselben Wertebereich.
- Die statistische Auswertung der bewerteten Bestandesflächen ergibt einen Rang-Korrelationskoeffizienten $r = -0.55$ mit der Signifikanz $\alpha = 0.0001$.

Vergleich zur BSU-Studie:

- Für die BSU-Bewertung erhalte ich im Vergleich zum umfangreichen Bewertungsansatz 7 Gebiete mit grossen Abweichungen. Diese betreffen mit Ausnahme der zusätzlich zugewiesenen Abteilung 27 die gleichen Abteilungen wie bei der einfachen Bewertung.
- 24 Vergleichsgebiete weisen nur eine Stufe positiver oder negativer Abweichung auf. Der Anteil zu hoch und zu tief bewerteter Gebiete ist mit 12 : 12 gleichmässig verteilt.
- Die restlichen 25 Gebiete erhalten in beiden Bewertungen die gleiche Wertstufe.

Wie beim Vergleich mit dem einfachen Bewertungsansatz erhalte ich für die Gebiete rechts der Sihl die besten Übereinstimmungen.

Das Ergebnis des umfangreichen Bewertungsansatzes liegt laut diesem Kartenvergleich deutlich näher bei der Voloscuk-Bewertung als bei der BSU-Studie.

Spezielle Betrachtung erfordern wiederum die Gebiete mit gleichgerichteten Abweichungen zu beiden Vergleichsarbeiten. Solche einheitlich unterschiedlich bewerteten Flächen findet man hauptsächlich links der Sihl, im südlichen und mittleren Sihlwaldgebiet. Es sind dies die Abteilungen 3 und 4, sowie Teile der Abteilungen 9 bis 17. Diese Gebiete weisen meistens einen vergleichsweise zu hohen Wert auf.

3.4.3.5. Qualität der ökologischen Wertanalyse

Die Beurteilungsergebnisse aus dem Kartenvergleich der vorangehenden Kapitel ergibt im Vergleich zum Entwicklungstyp von Voloscuk gute Übereinstimmungen. Mit einem einzigen konträr bewerteten Gebiet (grosse Abweichung) auf Abteilungsebene, und Rang-Korrelationen absolut grösser als $r = 0.50$ auf Bestandesebene, kann die Qualität der Ergebnisse beider Bewertungsansätze in bezug auf die Voloscuk-Studie positiv bewertet werden.

Im Vergleich zur BSU-Arbeit, die allerdings auch faunistische Elemente beinhaltet, sind die Abweichungen in der Bewertung erheblich grösser. Eine genauere Analyse der BSU-Studie zeigt, dass die Gebiete mit grossen Abweichungen (vor allem die Abteilungen 9 bis 17) hauptsächlich in bezug auf die Naturnähe verschieden bewertet wurden, was sich aufgrund der starken Gewichtung dieses Indikators im Beurteilungsergebnis deutlich niederschlägt.

Insgesamt sind die Abweichungen meiner Bewertungsansätze durchaus im Rahmen der Differenzen der Voloscuk-Studie zur ökologischen Wertanalyse des BSU und somit im Bereich der Subjektivitätseinfüsse, die in allen Bewertungen unvermeidbar sind.

3.4.3.6. Vergleich einfache Bewertung – umfangreiche Bewertung

Erwähnenswerte Abweichungen der Bewertungsergebnisse der beiden Bewertungsansätze, deren Resultate in den Abbildungen 39 und 40 dargestellt sind, stelle ich im Kartenvergleich nur für die Abteilungen 11, 12 und 26, 27 im mittleren und nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes fest. In den übrigen Gebieten ergeben sich kaum Unterschiede:

- Mit 39 Gebieten ohne Abweichung sind sich diese Varianten am ähnlichsten und auf dieser generalisierten Ebene der Abteilungen quasi identisch. Beide Varianten erzielen total 8 grosse Abweichungen zu den Vergleichsarbeiten.
- Die Anzahl "eindeutig falsch" bewerteter Gebiete ist mit je 12 ebenfalls gleich. Die umfangreiche Bewertung ist allerdings mit 3 : 5 grossen Abweichungen innerhalb dieser Gebiete etwas ausgeglichener.
- Aus dieser guten Übereinstimmung im Kartenvergleich kann eine hohe Rang-Korrelation auf Bestandesebene erwartet werden. Der berechnete Korrelationskoeffizient $r = 0.88$ steht sogar für einen sehr hohen statistischen Zusammenhang der Bewertungsergebnisse.

Die erstaunlich geringen Unterschiede der beiden Bewertungsansätze sprechen entweder für die Qualität der einfachen Bewertungsvariante oder ganz allgemein gegen die Ausführung der ökologischen Wertanalyse im Sparverfahren. Durch das gute Vergleichsergebnis mit den bestehenden Arbeiten wird die zweite Möglichkeit ausgeschlossen. Somit kann ich den einfachen Bewertungsansatz für eine auf vorhandenen Unterlagen aufbauende, ökologische Wertanalyse in Anbetracht des geringeren Arbeitsaufwandes zur Datenerhebung und -bearbeitung empfehlen.

Durch die höhere Anzahl Kriterien und Aggregationsebenen wird das Resultat des umfangreichen Bewertungsansatzes nur unwesentlich verbessert. Trotzdem werde ich in der weiterführenden Resultatpräsentation im nächsten Kapitel nur auf diese Ergebnisse eingehen.

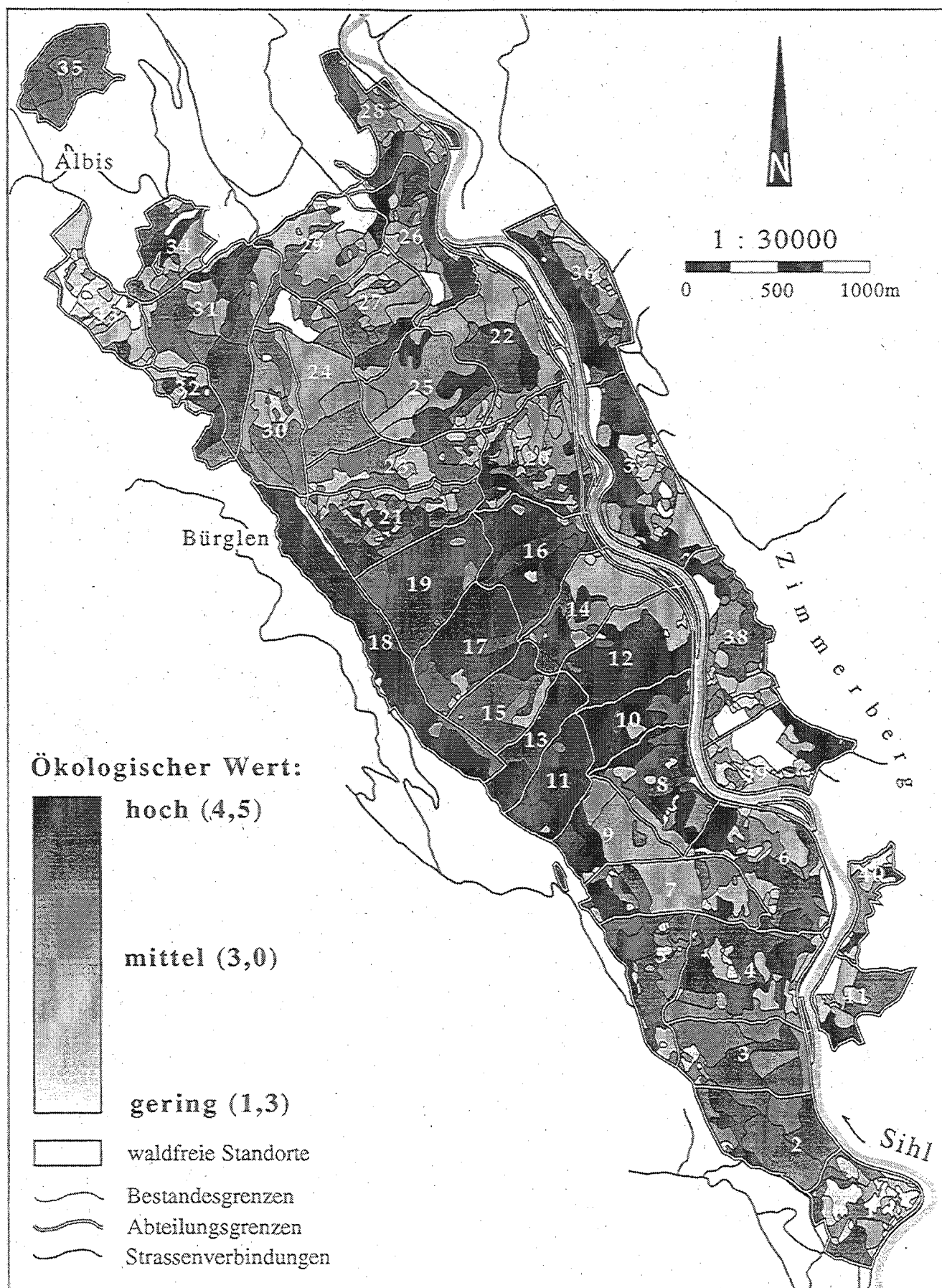


Abb. 39: Ökologischer Wert nach einfachem Bewertungsansatz

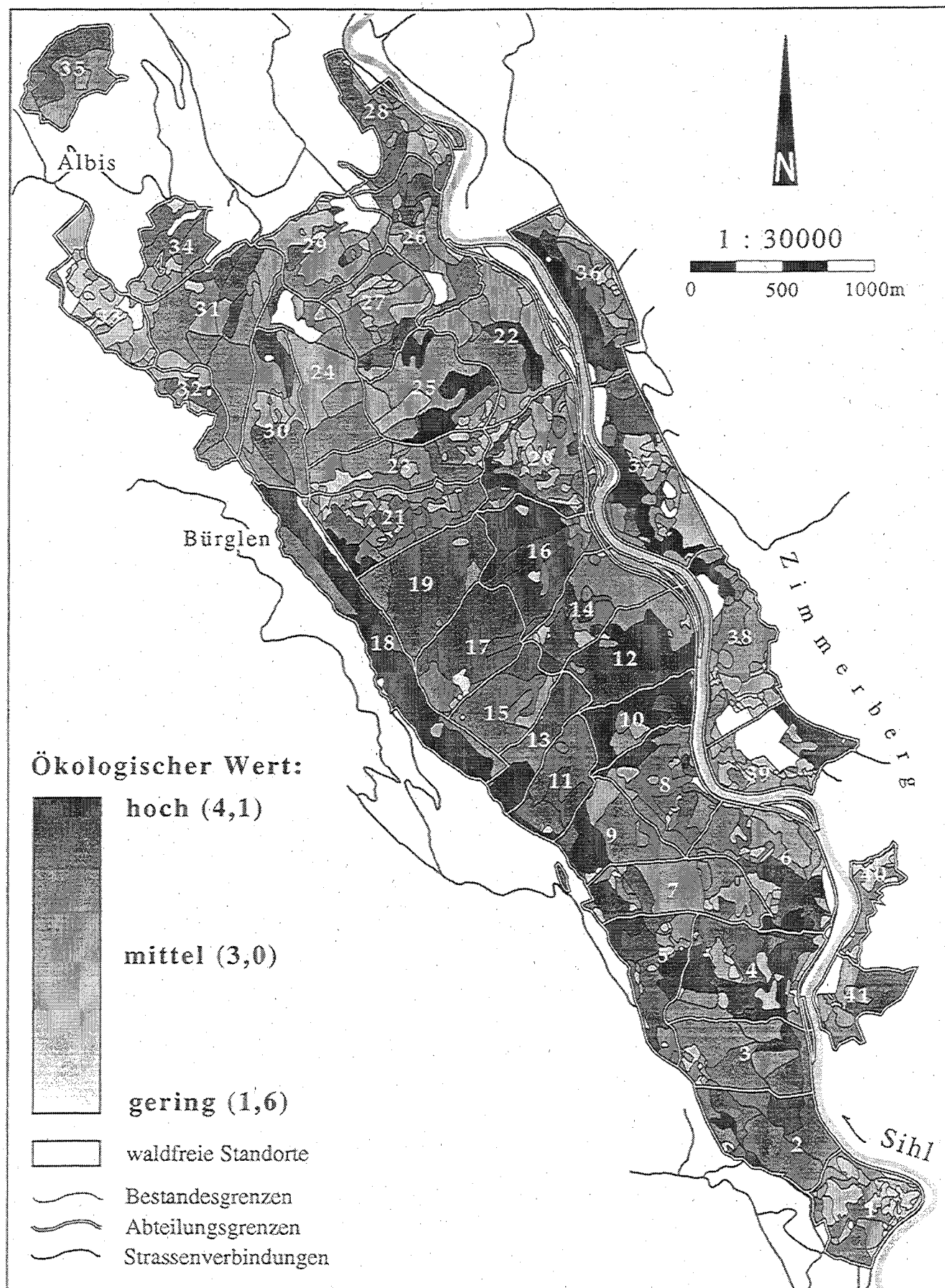


Abb. 40: Ökologischer Wert nach umfangreichem Bewertungsansatz

3.4.4. Beurteilung des ökologischen Wertes und der Indikatorwerte

In diesem letzten Abschnitt der Fallstudie präsentiere und kommentiere ich mein Bewertungsergebnis für den ökologischen Wert des Sihlwaldes. Dabei werde ich keinen weiteren Bezug auf die bisherigen Studien nehmen, die im vorhergehenden Abschnitt 3.4.3. auf den Einheitsflächen der Abteilungen eine generelle Akzeptanz des erarbeiteten Bewertungsverfahrens ergaben. Interessanter sind zu diesem Zeitpunkt die Zwischenergebnisse der Indikatoren Natürlichkeit, Seltenheit und Strukturvielfalt, welche im Verhältnis 3 : 1 : 1 am Endergebnis beteiligt sind.

Naturnähe

Die Bewertungskarte für die Naturnähe der Bestände (Abb. 41) weist deutlich abgrenzbare Gebiete hoher bzw. geringer Wertigkeit auf:

- Die Bestände hoher Naturnähe liegen mehrheitlich links der Sihl und umfassen im südlichen Teil die Abteilungen 2 bis 5, Teile von 6 und den Albiskamm. Im mittleren Sihlwald weisen die meisten Bestände der Abteilungen 10 bis 19 hohe Werte auf. Die Jungwuchszone der Abteilungen 20 und 21 ist sehr heterogen. Ebenfalls eine hohe Naturnähe erzielen im Norden des Untersuchungsgebietes Teile der Abteilungen 28, 31, 32, 34 und die gesamte Abteilung 35. Auf der rechten Talseite liegen mehrere Bestände hoher Naturnähe am "Hasenrain" (Abteilung 36), in der Abteilung 37 und am "Pfefferberg" (Abteilung 41).
- Die Bestände niedriger Naturnähe befinden sich auf der linken Talseite hauptsächlich nördlich der Jungwuchszone, im Gebiet "Egliboden" und am "Sihlzopf". Rechts der Sihl sind die meisten Bestände der Abteilungen 37, 38 und 39 von geringer Naturnähe.

Die Naturnähe der Bestände steht in starkem Zusammenhang mit der bisherigen forstwirtschaftlichen Nutzung, die rechts der Sihl und im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes links der Sihl intensiver war als in den weiter südlich gelegenen Abteilungen. An steilen Hängen und in stark von Bächen zerfurchten Gebieten wurde das Forstgebiet schon früher in naturnahem Zustand belassen.

Seltenheit

Dem Betrachter der räumlichen Verteilung der Seltenheitswerte (Abb.42) zeigt sich folgende Situation:

- Eine hohe Seltenheit erreichen vor allem Bestände mit hohen Anteilen der Waldgesellschaften 12 (Zahnwurz-Buchenwald), 17 (Eiben-Buchenwald) und 27 (Bacheschenwald). Diese befinden sich in den Abteilungen 18, 21, 25, 31, 36, 37 und 38.
- Von geringerer Seltenheit sind die weniger spezialisierten Waldmeister- und Waldhirse-Buchenwälder des übrigen Untersuchungsgebietes.

Der Seltenheitswert eines Bestandes hängt somit stark vom Standort ab, steile Hänge und Bachtobel stellen die topographisch bedingten ökologischen Nischen im Sihlwald dar.

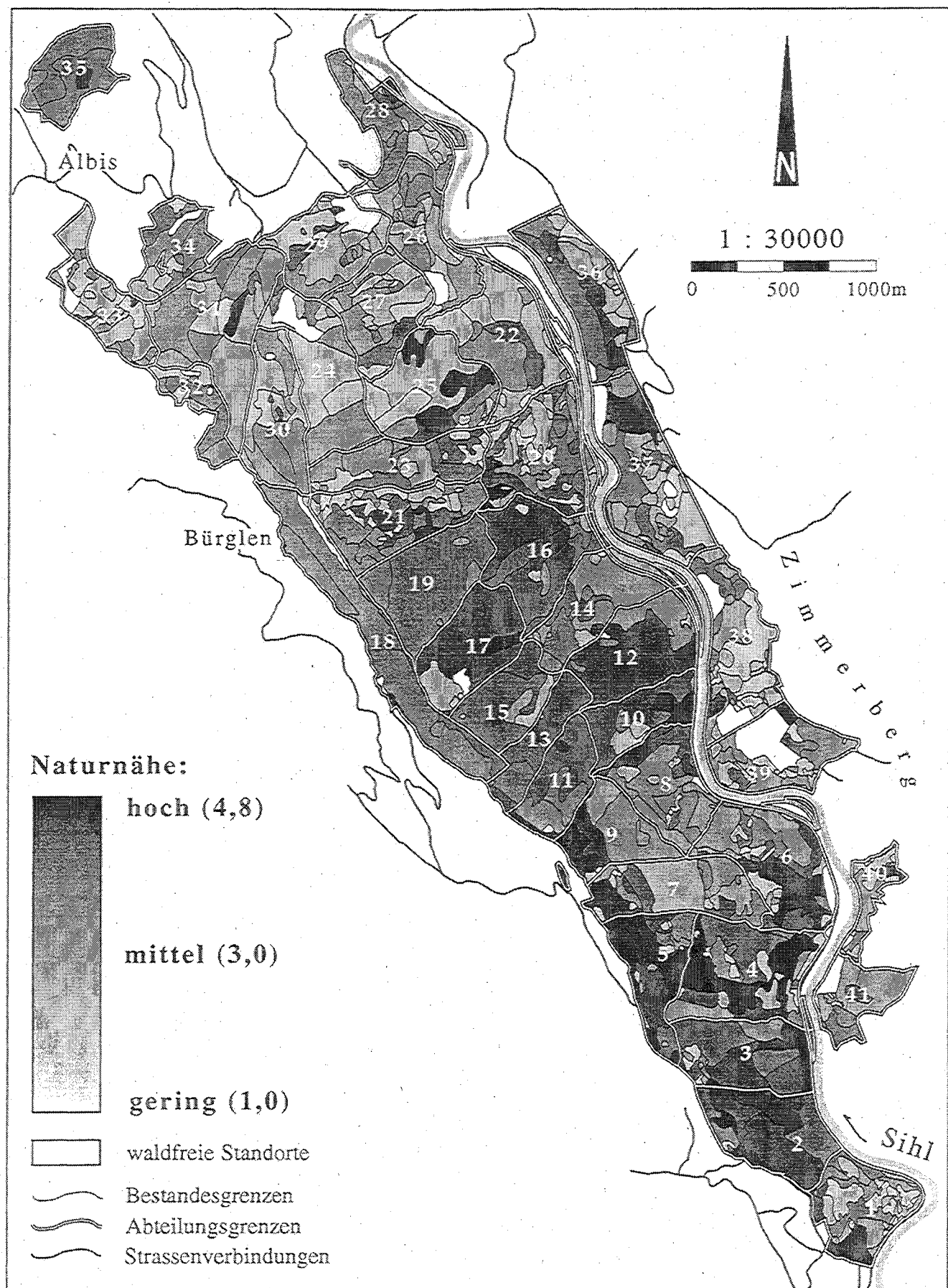


Abb. 41: Naturnähe der umfangreichen Bewertung

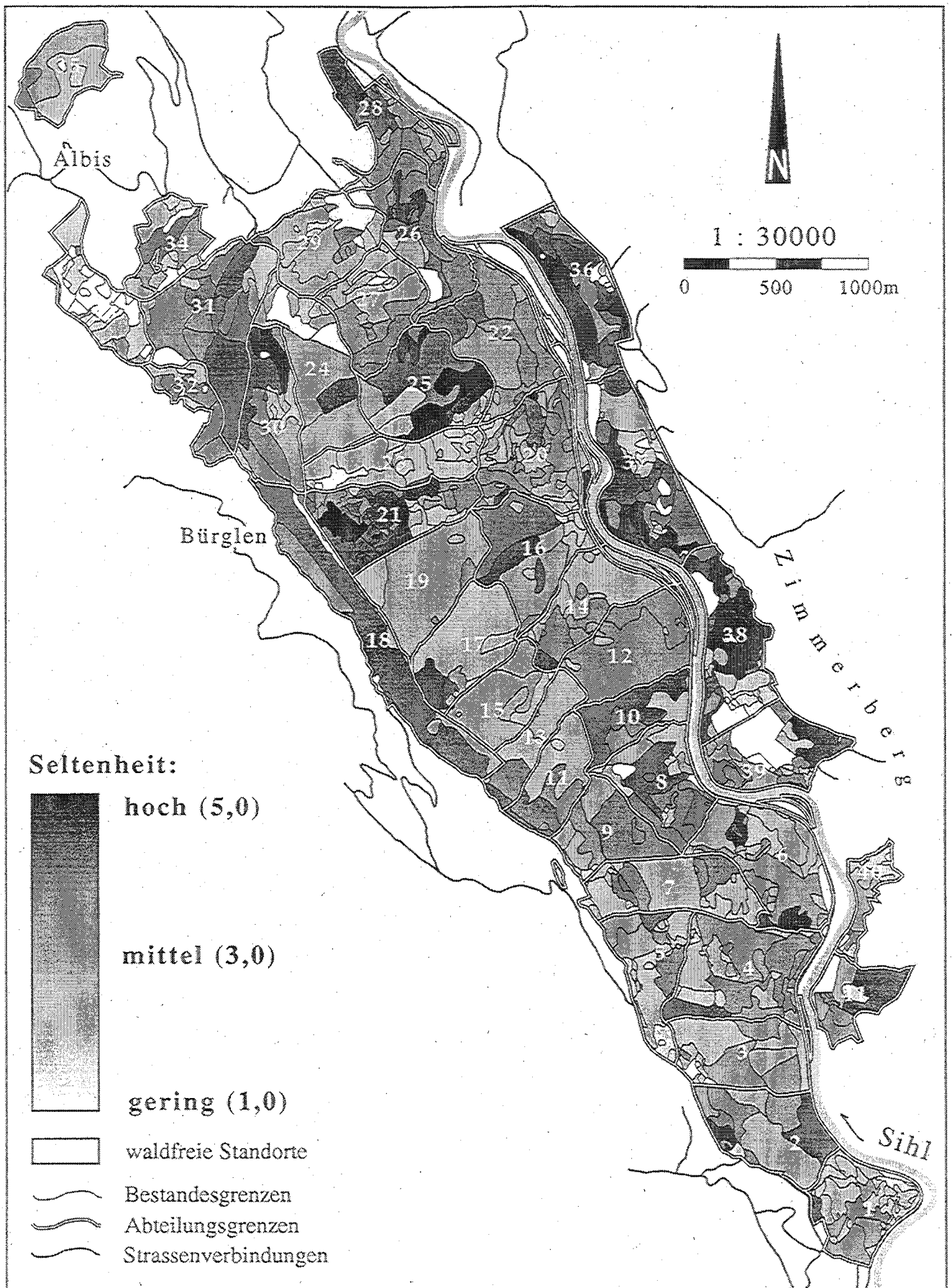


Abb. 42: Seltenheit der umfangreichen Bewertung

Strukturvielfalt

Die Karte der Strukturbewertung der Sihlwaldbestände (Abb. 43) lässt sich gut in Regionen hoher bzw. tiefer Werte einteilen:

- Beste Strukturvielfalt erhalten die Bestände am Albiskamm, Teile der Abteilungen 27 und 28 sowie die Abteilungen 24, 31, 34 und 35. Rechts der Sihl zieht sich ein Band gut strukturierter Bestände durch alle Abteilungen.
- Geringe Strukturvielfalt weisen demgegenüber die Abteilungen 1, 2, und 3, grosse Teile der Abteilungen 4 bis 8, die Jungwuchsbestände 20 und 21 sowie die Abteilung 33 auf.

Im allgemeinen scheint die Strukturvielfalt gegenläufig zur Naturnähe verteilt zu sein. Diese Abhängigkeit hängt mit den speziellen Verhältnissen im Sihlwald zusammen, da die auf diesem Standort sehr wüchsigen Buchen eine Tendenz zur Bildung eines "kahlen" Hallenbuchenwaldes aufweisen. Durch die forstwirtschaftliche Tätigkeit wurde diese Strukturarmut zusätzlich gefördert. Demgegenüber weisen die mit Nadelhölzern durchsetzten Bestände des nördlichen Sihlwaldes eine grosse Arten- und Schichtvielfalt auf. Die Kriterien der horizontalen Differenzierung vermögen diese Unterschiede im Untersuchungsgebiet nicht auszugleichen.

Ökologischer Wert

Den ökologischen Wert als Endergebnis der ökologischen Wertanalyse habe ich im vorhergehenden Kapitel zur Variantenevaluation bereits eingehend betrachtet. Deshalb werde ich an dieser Stelle näher auf dessen Entstehung aus der Kombination der Indikatorwerte eingehen. Durch die stärkere Gewichtung der Naturnähe gegenüber der Seltenheit und Strukturvielfalt hat die Karte des ökologischen Wertes (Abb. 40) ein ähnliches Verteilungsmuster an hoch- und tiefbewerteten Beständen wie das Bewertungsergebnis für die Naturnähe. Durch die Kombination der Indikatorwerte erhält man:

- Bestände hoher Naturnähe, die durch eine tiefe Bewertung der Seltenheit und der Strukturvielfalt auf einen mittleren ökologischen Wert zurückgestuft werden. Deutlich wird dies für die Abteilungen 2, 3 und Teile von Abteilung 5.
- Bestände hoher Seltenheit und Strukturvielfalt, die durch eine geringe Naturnähe nur einen mittleren ökologischen Wert erreichen. Dieser Fall tritt im Sihlwald sehr selten auf. Besonders auffällig sind diesbezüglich die südlichsten Bestände der Abteilung 17 sowie einige Bestände der Abteilungen 37 und 38.

Bei der Betrachtung dieser Zwischen- und Endresultate erhalte ich den Eindruck, dass ich die Seltenheit zugunsten der Strukturvielfalt etwas tiefer zu bewerten hätte, da die Vorkommen potentiell natürlicher Waldgesellschaften durch die im Sihlwald weiterhin geplanten sanften Eingriffe nicht gefährdet sein sollten. Durch eine derart veränderte Gewichtung könnte ich den aktuellen Zustand der Baumschicht besser darstellen.

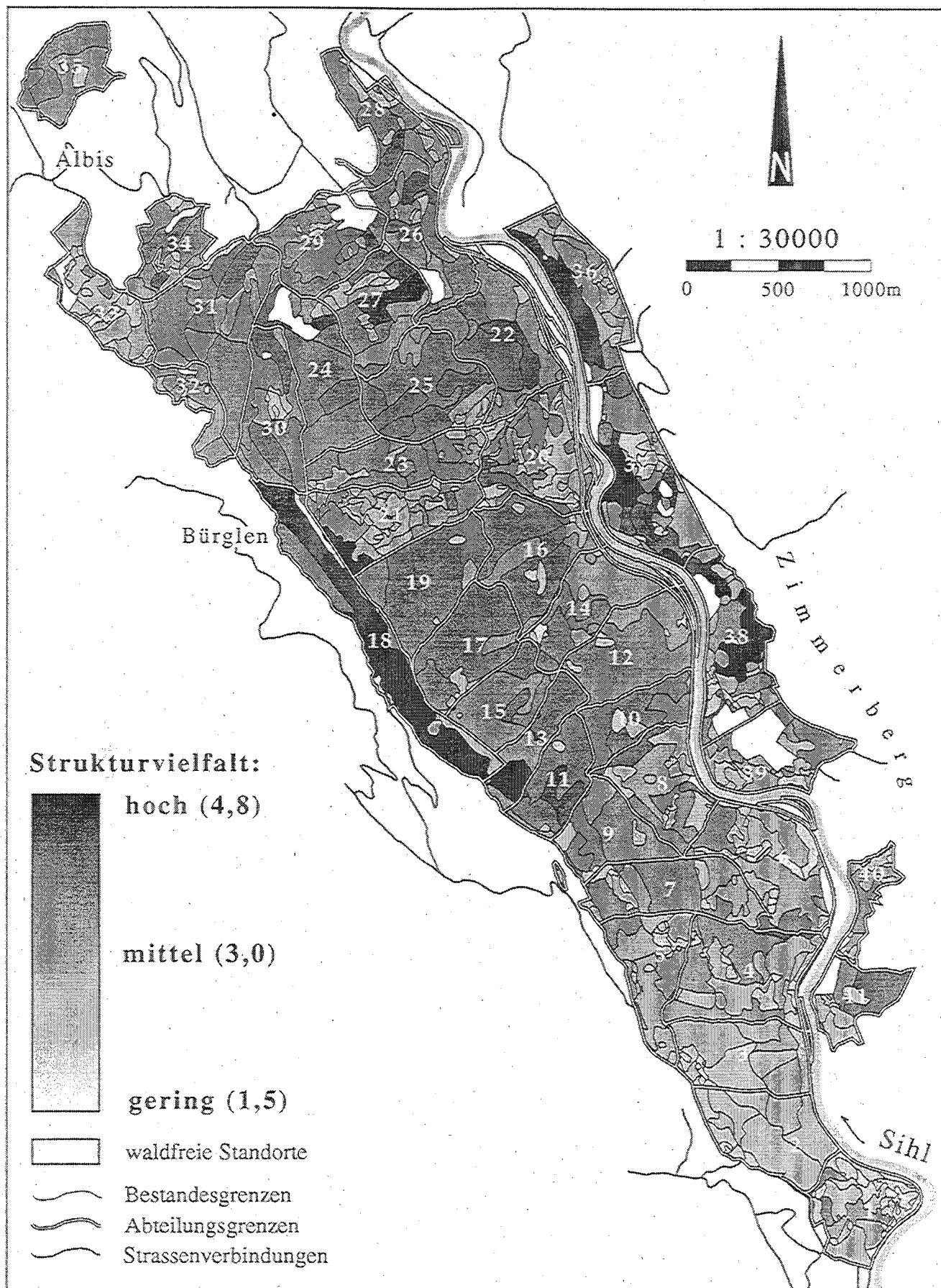


Abb. 43: Strukturvielfalt der umfangreichen Bewertung

4. BEURTEILUNG UND AUSBLICK

4.1. Beurteilung des Bewertungsverfahrens

Zur abschliessenden Beurteilung der Anwendung des Sparverfahrens einer ökologischen Wertanalyse nach Ammer & Utschick möchte ich auf einige methodische Probleme zurückkommen, mit denen ich mich im Laufe der Untersuchung befasste:

- *Kriterienwahl*: Die Auswahl der Indikatoren und Kriterien der ökologischen Wertanalyse ergibt sich indirekt aus den Kriterien für den Arten- und Flächenschutz nach dem Deutschen Bundesnaturschutzgesetz (§ 22 Abs. 1): 1. Seltenheit und Bestandesgefährdung; 2. Wissenschaftliche, naturgeschichtliche und landeskundliche Gründe; 3. Nutzen oder Bedeutung für den Naturhaushalt; 4. Erhaltung von Vielfalt, Eigenart oder Schönheit von Natur und Landschaft (Erz 1978).

Durch ein derartiges rationales, quantifizierendes Zielsystem sind wesentliche Werte der Natur nicht fassbar. Gigon & Gigon (1985, S.142) geben in ihrem Artikel "Vom Wert eines Vogels oder einer Blumenwiese" einen anregenden Einblick in diese Problematik und folgern: "Der springende Punkt ist der Unterschied zwischen äusserem Beschreiben und Argumentieren und persönlichem, innerem Erleben." Einen Schritt weiter geht Bierhals (1984, S.119) indem er sagt, "dass die Argumente, mit denen wir für den Schutz der Natur eintreten, in Wirklichkeit gar nicht diejenigen sind, weshalb Natur uns selbst wichtig ist. ... Wie können wir eigentlich erwarten, erfolgreich für die Natur einzutreten, wenn wir gar nicht – oder höchstens wenn wir ausser Dienst sind – sagen, warum sie uns in Wirklichkeit wertvoll ist?"

In den seelischen Werten unterscheiden sich die Menschen stark voneinander. Diese ethischen Gesichtspunkte fehlen der ökologischen Wertanalyse. Ihre Resultate bilden daher quantitativ erfassbare Zwischenergebnisse auf dem Weg zu einer ganzheitlicheren Erfassung der Natur.

Die Fallstudie zeigt, dass eine Bewertung aufgrund vorhandener Daten die Kriterienwahl erschwert. Der darauffolgende Versuch mit den unterschiedlich komplexen Bewertungsansätzen führt zu vergleichbaren Ergebnissen. Die Beschränkung der Fallstudie auf ein Untersuchungsgebiet lässt keine allgemeinen Aussagen zur Art und Anzahl der Kriterien zu. Im Hinblick auf Vergleiche mit anderen Gebieten wären meines Erachtens Grundsätze zur Kriterienwahl seitens der Verfechter der ökologischen Wertanalyse sinnvoll.

- *Bestimmung der Zielerfüllungsgrade*: Einige Probleme ergaben sich bei der Bewertung der Zielerträge, da dieser grundlegende Bewertungsschritt selten publiziert wird. Durch die Ausarbeitung von Richtlinien in Form eines Bewertungsrahmens für verschiedene Ökosysteme könnten Bewertungsergebnisse verbessert und vergleichbar gemacht werden. Damit wären für einige Kriterien "globale" Wertzuweisungen vermeidbar. Zum Beispiel sollte die Baumartenzahl pro Schicht abhängig von der zu erwartenden Artenzahl der potentiell natürlichen Waldgesellschaft am Standort bewertet werden.

- *Kriteriengewichtung*: Durch eine nach Ammerschem Muster frei wählbare Kriterien-gewichtung kann die Bewertung den lokalen Verhältnissen angepasst werden. Die empfohlene Delphi-Studie ergäbe sicher angemessene Gewichte. Eine derartige Wahl der Kriteriengewichte ist sehr zeit- und arbeitsintensiv. Die in der Fallstudie verwendete Gewichtung ist nicht derart aufwendig abgesichert, kann aber über die in AML programmierte Menusteuerung leicht verändert und neuen Erkenntnissen angepasst werden.
- *Kriterienverknüpfung*: Die Flexibilität der Bewertungsvarianten könnte durch die Kriterienaggregation mittels logischer Kombination verbessert werden. Damit hätte man den zusätzlichen Vorteil einer verbesserten Vergleichbarkeit der Werte auf den verschiedenen Kombinationsebenen und bei den Zwischenresultaten der Indikatoren.
- *Zieldefinition*: Im Zusammenhang mit der Diskussion neuartiger Waldschäden würde im Rahmen eines solchen ökologischen Bewertungsverfahrens die Vitalität der Bestände interessieren. Die dazu jährlich erhobenen Daten sollten meiner Meinung nach in eine ökologische Wertanalyse einfließen. Einen kleinen Schritt in diese Richtung habe ich durch die Bewertung des Grenzraumes zur Sihlthalstrasse gemacht. Einen weiteren Ergänzungsvorschlag macht Perpeet (1991), indem er erstmals einen Biotopverbundwert in die Bewertung aufnimmt.

Insgesamt könnten die Bewertungsansätze der Fallstudie durch eine veränderte Kriterienwahl, -bewertung, -gewichtung und -verknüpfung besser an die tatsächlichen Verhältnisse im Sihlwald angepasst werden. Insbesondere eine engere Zusammenarbeit mit Forstingenieuren, Biologen und Ökologen hätte der individualistischen Wertaussage dieser Arbeit zu erhöhter Allgemeingültigkeit verholfen. Eine grössere Aufmerksamkeit wäre in diesem Fall der Bewertung lokaler ökologischer Zusammenhänge zu widmen. Trotzdem soll eine ökologische Wertanalyse nie den Anspruch auf eine ganzheitliche Erfassung der Natur erheben. Sie stellt höchstens eine synthetische Naturerfassung dar. Für eine wirklich ganzheitliche Erfassung fehlt das persönliche Erleben des Naturphänomens.

4.2. Beurteilung des GIS-Einsatzes

Die Beurteilung des Einsatzes eines Geographischen Informationssystems zur Berechnung der ökologischen Wertanalyse ergibt sowohl positive als auch negative Aspekte. Mit deren Darstellung will ich die erste Frage der Problemstellung aus den Erfahrungen mit dieser Arbeit beantworten.

Positive Aspekte:

- + Generell verspricht der GIS-Einsatz zusätzliche Auswertungsmöglichkeiten für bereits erhobene Daten.

- + Mit Hilfe der Analyseroutinen eines Geographischen Informationssystems lassen sich aus vorhandenen Daten weitere nützliche Parameter bestimmen. Zum Beispiel können aus einem digitalen Höhenmodell die Meereshöhe, Hangneigung und Exposition berechnet werden, die in einer detaillierteren ökologischen Wertanalyse benötigt würden.
- + Die Erkennung statistischer Abhängigkeiten in den Ausgangsdaten und Berücksichtigung dieser Informationen im Bewertungsverfahren bildet einen Vorteil des digitalen Werkzeuges.
- + Zwischenresultate aller Kombinationsebenen können graphisch ausgegeben und verifiziert werden.
- + Teile des Verfahrens können für gleichartige Bewertungen an anderen Orten übernommen werden.
- + Auf den Ausgangsdaten können mehrere Bewertungsverfahren mit unterschiedlichen Zielvorstellungen entwickelt werden.
- + Im Laufe der Untersuchung zeigte sich, dass der nutzwertanalytische Aufbau der ökologischen Wertanalyse dem strukturierten Vorgehen einer GIS-Anwendung gerecht wird.

Negative Aspekte:

- Der mit einer GIS-Anwendung verbundene Digitalisieraufwand ist zum Teil beträchtlich und fällt besonders im Rahmen einer Diplomarbeit negativ ins Gewicht.
- Die Vernachlässigung qualitativer gegenüber quantitativen Daten in Bewertungsverfahren wird erhöht.
- Die Möglichkeit der Manipulation einer ökologischen Wertanalyse durch das vereinfachte Berechnen von Alternativen mit unterschiedlicher Kriterienbewertung und Krite eingewichtung zur Erzielung eines gewünschten Resultates ist denkbar. Sie sollte mit der vom Bewerter verfassten Dokumentation der Arbeit ausgeschlossen werden.
- Das Risiko unsachgemäßer Anwendung von Bewertungsverfahren wird durch die Verwendung von Geographischen Informationssystemen erhöht.

Eine Zusammenfassung dieser Punkte, die zum Teil bereits die möglichen Auswirkungen eines GIS-Einsatzes zur ökologischen Bewertung beinhalten, lässt folgende Schlüsse zu:

Qualität der Resultate: Qualitativ bessere Bewertungsergebnisse sind bei der Anwendung eines klar definierten Bewertungsrahmens durch die geringere Fehlerwahrscheinlichkeit des Computers zu erwarten. Die Aktualität der Resultate hängt von den verwendeten Daten und vom Kenntnisstand des Bewerter ab. Sie ist unabhängig vom Bearbeitungswerkzeug.

Transparenz der Resultate: Durch die GIS-Unterstützung zur Berechnung der ökologischen Wertanalyse kann jeder Bewertungsschritt zu einem späteren Zeitpunkt nachvollzogen werden. Zusätzlich ermöglicht die Abspeicherung von Zwischenresultaten der Kriterienkombinationen deren vereinfachte Überprüfung und Darstellung. Der Bewertungsvorgang ist durch den GIS-Einsatz transparenter geworden.

Akzeptanz der Resultate: Die Akzeptanz der in einer GIS-Anwendung erstellten ökologischen Bewertung kann ich anhand meiner Diplomarbeits Erfahrung schlecht abschätzen. Die erhöhte Transparenz des Verfahrens sollte eigentlich eine verbesserte Akzeptanz der Resultate bewirken. Die Bedenken gegenüber Computereinsätzen in Bewertungsverfahren sind nicht unbegründet, da nur quantitative Kriterien erfasst werden. Ausserdem ist ein unreflektierter Umgang mit Standardprozeduren und graphischen Darstellungsmöglichkeiten nicht auszuschliessen.

Die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse von Bewertungsverfahren sind schliesslich wesentlich stärker vom Aufwand des Bearbeiters (z.B. für Delphi-Studien) und von der Komplexität der verwendeten Methode als vom Bearbeitungswerkzeug abhängig.

Übertragbarkeit auf andere Gebiete: Die ökologische Wertanalyse nach Ammer & Utschick ist prinzipiell auf verschiedene Gebiete anwendbar, da sie durch eine gebiets-spezifische Wahl des Zielsystems und eine entsprechende Kriterienbewertung an das Untersuchungsgebiet angepasst wird.

Absolute Resultatvergleiche verschiedener Untersuchungsgebiete sind für die in dieser Arbeit betrachteten Sparverfahren aufgrund des verwendeten Aggregationsverfahrens und durch die Subjektivität bei der Bestimmung der Zielerfüllungsgrade nicht sinnvoll. Die digitale Bearbeitungsmethode bringt gegenüber Analogverfahren die Möglichkeit, gewisse Routineabläufe, wie z.B. Bewertungs- und Darstellungskonzepte ohne weiteren Arbeitsaufwand auf andere Gebiete zu übertragen.

4.3. Ausblick

Aus der Beurteilung der Bewertungsansätze der Fallstudie kann die zukünftige Entwicklung von ökologischen Bewertungsverfahren in besser dokumentierte und ökosystem-angepasste Methoden erhofft werden. Die Resultate dieser Bewertungen werden zwangsläufig subjektiv bleiben und auf einem quantitativen Wertsystem beruhen. Ob ökologische Bewertungen dieser Art langfristig eine gesellschaftlich erwünschte Ausprägung des Naturhaushaltes, insbesondere im Verhältnis zu ökonomischen Interessen, zu sichern oder zu erreichen vermögen, bleibt eine offene Frage. Gigon & Gigon (1985, S.143) zeigen einen anderen Weg zum Erkennen der wesentlichen Werte der Natur auf. Ihrer Ansicht nach ist es wenig sinnvoll bis kontraproduktiv, den Wert von zu schützenden Arten oder Lebensgemeinschaften in das System der quantifizierbaren, ökonomischen, materialistisch-utilitaristischen Werte einzupassen. "Vielmehr geht es darum, positiv dazu zu stehen, dass diese Werte vorwiegend auf einer anderen, nicht quantifizierbaren Ebene liegen. Diese kann vielleicht zum Erlebnis gebracht werden anhand ihrer Beziehungen zu anderen quantitativ nicht fassbaren, aber trotzdem unbestrittenen Werten, wie den ... kulturellen und seelischen Werten."

Die Frage nach dem geeignetsten Werkzeug zur Bearbeitung eines ökologischen Bewertungsverfahrens kann diese Diplomarbeit nicht beantworten. Im Hinblick auf das rasche Wachstum im Sektor der Geographischen Informationssysteme und in Erwartung der angekündigten Entwicklungen im Bereich der räumlichen Analyse, insbesondere zur Interpolation und Statistik, könnten Geographische Informationssysteme in Zukunft

zum Standardwerkzeug solcher Bewertungen werden. Die technischen Grenzen der GIS-Anwendung liegen einerseits beim erheblichen ökonomischen Aufwand und dort, wo keine Messungen bzw. keine Quantifizierbarkeit des Untersuchungsgegenstandes möglich sind.

Literaturverzeichnis

- Aangenbrug, R. T. (1991): A critique of GIS, in: Maguire, D. J. et al., *Geographical Information Systems: principles and applications*, Vol. 1, London 1991, pp. 101-107.
- AFL, Arbeitskreis Forstliche Landespflege in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (1984): *Biotop-Pflege im Wald - ein Leitfaden für die forstliche Praxis*, Greven.
- Ammer, U. & H. Utschick (1984): *Gutachten zur Waldpflegeplanung im Nationalpark Bayerischer Wald auf der Grundlage einer ökologischen Wertanalyse*, Schriftenreihe Bayer. Staatsmin. für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft 10.
- Ammer, U. & H. Utschick (1985): *Ökologische Wertanalyse der Gräflich Bernadotte'schen Waldungen (Mainauwald) mit Entwicklung ökologischer Pflegekonzepte*, Dokumentation Univ. München.
- Ammer, U. & H. Utschick (1988): Zur ökologischen Wertanalyse im Wald, *Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Umweltschutz*, Heft 84, München, S. 37-50.
- Ammer, U. et al. (1990): *Projekt Tuxertal: Landeskulturelle Leistungen der alpinen Land- und Forstwirtschaft*, Manuskript AGL München.
- Ashdown, M. & J. Schaller (1990): Geographische Informationssysteme und ihre Anwendung in MAB-Projekten, Ökosystemforschung und Umweltbeobachtung, Hrsg: *Deutsches Nationalkomitee für das UNESCO-Programm "Man and the Biosphere (MAB)"*, MAB-Mitteilungen 34, Bonn.
- Bachfischer, R. (1978): *Die ökologische Risikoanalyse, Eine Methode zur Integration natürlicher Umweltfaktoren in die Raumplanung*, Diss. Lehrstuhl für Raumforschung, Raumordnung und Landesplanung, Technische Universität München.
- Bachfischer, R. et al. (1977): Die ökologische Risikoanalyse als regionalplanerisches Entscheidungsinstrument in der Industrieregion Mittelfranken, *Landschaft + Stadt* 2, S. 145-161.
- Bachmann, P. & A. Bernasconi (1990): Stand und Entwicklung der Forsteinrichtungen in den Kantonen, in: *Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen*, Nr. 12, S. 973-987.
- Barteleme, N. (1989): *GIS Technologie, Geoinformationssysteme, Landinformationssysteme und ihre Grundlagen*, Berlin.
- Bauer, G. (1973): Die Belastbarkeit der Landschaft durch Freizeiteinrichtungen, *Seminare 1973 der Landesstelle für Naturschutz und Landschaftspflege in NW*, Düsseldorf, S. 9-16.
- Bauer, H.-J. (1977): Zur Methode der ökologischen Wertanalyse, *Landschaft + Stadt* 2, S. 31-43.
- Bauer, H. J. (1973): Die ökologische Wertanalyse - methodisch dargestellt am Beispiel des Wiehengebirges, *Natur u. Landschaft* 48, (11), S. 306-311.

- Bauer, H. J. (1977): Zur Methodik der ökologischen Wertanalyse, *Landschaft + Stadt* 2 (1), S. 31-43.
- Bechet, G. H. (1976): *Der Biotopwert ein Beitrag zur Quantifizierung der ökologischen Vielfalt im Rahmen der Landschafts- und Flächenplanung*, Diss. Fachbereich Forstwissenschaft der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Bechmann, A. (1977): *Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung*, Beiträge zur Wirtschaftspolitik, Bd. 29, Bern/Stuttgart.
- Bechmann, A. (1977): Ökologische Bewertungsverfahren und Landschaftsplanung, *Landschaft und Stadt* 2 (4), S. 170-182.
- Bertin, J. (1967): *Sémiologie graphique*, Paris.
- BGU, Beratungsgemeinschaft für Umweltfragen (1988): *Kommentar zur Vegetationskundlichen Kartierung der Wälder im Kanton Zürich*, Forstkreis 1, Zürich.
- Bierhals, E. (1984): Die falschen Argumente? - Naturschutz-Argumente und Naturbeziehung, *Landschaft + Stadt* 16, S. 117-126.
- Bierhals, E. et al. (1974): Aufgaben und Instrumentarium ökologischer Landschaftsplanung, *Raumforschung und Raumordnung*, Nr. 2, S. 76-88.
- Blab J. (1986): *Grundlagen des Biotopschutzes für Tiere*, Ein Leitfaden zum praktischen Schutz der Lebensräume unserer Tiere, Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 24, Bonn-Bad Godesberg.
- BSU, Büro für Siedlungs- und Umweltplanung (1989): *Ökologische Wertanalyse Naturlandschaft Sihlwald*, Zürich.
- Burnand, J. et al. (1990): *Waldgesellschaften und Waldstandorte im Kanton Basel-Landschaft*, Kommentar zur vegetationskundlichen Standortskartierung der Wälder, Liestal.
- Burrough, P. A. (1986): *Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment*, Oxford.
- Cowen, D. J. & W. L. Shirley (1991): Integrated Planning Information Systems, in: Maguire, D. J. et al., *Geographical Information Systems: principles and applications*, Vol. 2, London, pp. 297-310.
- Ellenberg, H. & F. Klötzli (1972): Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz, *Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Mitteilungen*, Bd. 48, Heft 4, Zürich.
- Ellenberg, H. (1986): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*, Stuttgart.
- Erz, W. (1978): Kriterien für den Arten- und Flächenschutz, in: Olschowy, G., *Natur- und Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland*, Hamburg/Berlin. S. 750-760.

- ESRI, Environmental Systems Research Institute (1989): *Users Guide: ARC/INFO, Volume 1/2*, Command References, Redlands.
- ESRI, Environmental Systems Research Institute (1990): *Understanding GIS*, The ARC/INFO Method, Redlands.
- Felmer, B. (1988): *Das MAB Projekt 6 - Ökosystemforschung Berchtesgaden*, Eine sinnvolle Grundlage zur Weiterentwicklung des Instrumentariums der ökologischen Planung?, Werkstattberichte des Institutes für Landschaftsökonomie der TU Berlin, Heft 25, Berlin.
- Fischer, B. (1983): Bewertungsansätze für ökologische Belange in der räumlichen Planung, *Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung Universität Stuttgart, IREUS Schriftenreihe Bd. 7*, Stuttgart.
- Gigon, A. & M. Gigon (1985): Vom Wert eines Vogels oder einer Blumenwiese. *Natur und Landschaft* 60, Nr. 4, S. 140-143.
- Goodchild, M. F. (1987): A spatial analytical perspective in geographical information systems, in: *International Journal of Geographical Information Systems* 1 (4), pp. 327-334.
- Goodchild, M. F. (1990): Spatial information science, in: *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling*, Zürich, pp. 3-12.
- Gunter, A. (1988): *Zur Biotopwertbestimmung des Waldes mit Hilfe bestehender Grundlagen*, St. Gallen.
- Hantschel, R. & E. Tharun (1980): *Anthropogeographische Arbeitsweisen*, Das Geographische Seminar, Braunschweig.
- Hummel, P. et al. (1974): *Ökologische Standorteignungskarten als Beispiele der natürlichen Eignung für die Flächenbenutzung*, Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft u. Umwelt Baden-Württemberg, Stuttgart.
- Jahr, G. W. (1959): Zur Bewertung des Waldbodens im Flurbereinigungsverfahren, *Der Forst u. Holzwirt* 14, S. 73-76.
- Jedicke, E. (1990): *Biotopverbund*, Grundlagen und Massnahmen einer neuen Naturschutzstrategie, Stuttgart.
- Jedicke, E. (1991): Biotopverbund im Forst, Aufgaben, Ziele und Vorschläge für einen wirkungsvollen Naturschutz, *AFZ* 14, S. 703-706.
- Jenks, G. F. & M. R. Coulson (1963): Class Intervals for Statistical Maps, in: *International Yearbook of Cartography*, No. 3, pp. 119-134.
- Kaule, G. (1986): *Arten- und Biotopschutz*, Stuttgart.
- Kiemstedt, H. (1969): Bewertungsverfahren als Planungsgrundlage in der Landschaftspflege, *Landschaft + Stadt* 1, S. 154-158.

- Kilchenmann, A. (1991): Klassifikation, Datenanalyse und Informationsverarbeitung in der Geographie und Geoökologie, *Karlsruher Manuskripte zur Mathematischen und Theoretischen Wirtschafts- und Sozialgeographie*, Heft 98.
- Klaus, G. & M. Buhr (1972): *Marxistisch-leninistisches Wörterbuch der Philosophie*, Hamburg.
- Klötzli, F. (1990): Persönliche Kommunikation.
- Kraft, V. (1951): *Die Grundlage einer wissenschaftlichen Wertlehre*. Wien.
- Krause, C. L. et al. (1977): Ökologische Grundlagen der Planung, *Schriftenr. f. Landschaftspflege u. Naturschutz* 14.
- Krebs, J. et al. (1977): *Das Problem der numerischen Klassenbildung bei geographischen Arbeiten*, Institut für Geographie und Wirtschaftsgeographie an der Universität Hamburg, Hamburg.
- Luder, R. (1982): Zur ökologischen Bewertung von Landschaftsteilen auf der Grundlage von ornithologischen Daten, *Fachbeitr. Schweiz. MAB-Information Nr. 12*, Bern.
- MAB-Mitteilungen 16 (1983): Ziele, Fragestellungen, Methoden, Ökosystemforschung Berchtesgaden, Hrsg: *Deutsches Nationalkomitee für das UNESCO-Programm "Man and the Biosphere (MAB)"*, Bonn.
- MAB-Mitteilungen 17 (1984): Szenarien und Auswertungsbeispiele aus dem Testgebiet Jenner, Ökosystemforschung Berchtesgaden, Hrsg: *Deutsches Nationalkomitee für das UNESCO-Programm "Man and the Biosphere (MAB)"*, Bonn.
- Marks, R. (1979): *Ökologische Landschaftsanalyse und Landschaftsbewertung als Aufgaben der Angewandten Physischen Geographie*, Dargestellt am Beispiel der Räume Zwiesel/Falkenstein (Bayerischer Wald) und Nettetal (Niederrhein), Materialien zur Raumordnung, Bd. 21, Ruhr-Universität Bochum, Bochum.
- Meister, U. (1903): *Die Stadtwaldungen von Zürich*, Zürich.
- Olschowy, G. et al. (1977): Bewertung von Landschaftsschäden mit Hilfe der Nutzwertanalyse. in: *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, Heft 16, Bonn-Bad Godesberg.
- Otto U. et al. (1990): Digitale ökologische Karten, in: *Landschaft + Stadt*, (1), S. 17-21.
- Perpeet, M. (1991): Ein vereinfachtes Verfahren zur ökologischen Wertermittlung bei der Waldbiotopkartierung, in: *Forst und Holz*, Nr. 5, S. 113-117.
- Scharps, W. G. (1975): Bodenwertklassen auf der Grundlage der Bodenkarte 1:5000 des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen, Ein Beitrag zur Diskussion über die moderne Bodenbewertung, *Zeitschrift f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung* 16, S. 152-159.
- Schemel, H. J. (1976): Ökologische Belastung durch intensive Freizeitnutzung: Die Nutzwertanalyse als Entscheidungsvorbereitung, in: *Schriftenreihe des Alpeninstitutes*, H. G., München, S. 105-114.

- Schemel, H. J. (1976): Zur Präzisierung des Begriffs der "ökologischen Belastung", *Struktur* 10, S. 60-62.
- Schemel, H. J.: Anmerkungen zu H. J. Bauer (1977): Zur Methodik der ökologischen Wertanalyse, *Landschaft + Stadt*, 2 (3), S. 140-142.
- Schilcher, M. & D. Fritsch (1989): *Geo-Informationssysteme, Anwendungen - Neue Entwicklungen*, Internationales Anwenderforum, Duisburg.
- Schuster, H.-J. (1980): Analyse und Bewertung von Pflanzengesellschaften im Nördlichen Frankenjura, Ein Beitrag zum Problem der Quantifizierung unterschiedlicher anthropogen beeinflusster Ökosysteme, *Dissertationes Botanicae* Bd. 33, Vaduz.
- Scripter, M. W. (1970): Nested-means, Classes on Statistical Maps, *AAAG* 60 (2), pp. 385-393.
- Seibert, P. (1975): Versuch einer synoptischen Eignungsbewertung von Ökosystemen und Landschaftseinheiten, *Forstarchiv* 46, S. 89-97.
- Sporbeck, O. & R. Marks (1977): Anmerkungen zu H. J. Bauer: Zur Methodik der ökologischen Wertanalyse, *Landschaft + Stadt*, 2 (3), S. 138-140.
- Stillger, H. (1979): *EDV als Hilfsmittel bei der Landschaftsplanung und Landschaftsbewertung*, Diss. TU Hannover.
- Strobel, J (1988): *Digitale Forstkarte und Forsteinrichtung, Anwendung von GIS-Technologie (pc ARC/INFO) in der forstlichen Praxis*, Salzburg.
- Sukopp, H. (1970): Charakteristik und Bewertung der Naturschutzgebiete in Berlin (West), *Natur u. Landschaft* 45, S. 133-139.
- Vester, F. (1978): Eingriffe in vernetzte Systeme und ihre integrale Bedeutung, in: Olschowy G., *Natur- und Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland*, Hamburg/Berlin.
- Volk, H. & T. Haas (1990): Waldbiotopkartierung und Waldbiotopbewertung - allgemeine Grundlagen und Ergebnisse, *Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg*, Heft 153, Abteilung Landespflege, Nr. 14, Freiburg im Breisgau.
- Volk, H. (1988): Die Waldbiotopkartierung, Ein Ansatz zur Erfassung des Naturschutzwertes der Wälder, *AFZ*, Heft 4, S. 55-62.
- Voloscuk, J. (1990): *La proposition pour classer les forêts du Sihlwald en point de vue transformé en réserve naturelle*, Unveröffentlichtes Manuskript, Zürich.
- Werner, G. et al. (1975): Umweltbelastungsmodell einer Grossstadtregion, dargestellt am Beispiel der Stadt Dortmund (BELADO), *Beitr. z. Umweltgestaltung*, H. B 10, Berlin.
- Wildermuth, H. (1978): *Natur als Aufgabe*, Leitfaden für die Naturschutzpraxis in der Gemeinde, Basel.

Zangemeister, C. (1970): *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, eine Methode zur multi-dimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*, München.

Korrelations- koeffizient / Prob > R Ho: Rho=0	Bestandes- fläche										
Bestandes- fläche	1.00000 0.0	Nat. d Haupt- baumart									
Nat. d Haupt- baumart	0.30568 0.0001	1.00000 0.0	Nadelholz- anteil								
Nadelholz- anteil	0.23421 0.0001	0.63180 0.0001	1.00000 0.0	Seltenh. d Veg.typs							
Seltenh. d Veg.typs	0.24930 0.0001	0.06520 0.0722	0.05791 0.1104	1.00000 0.0	Flächengr d Waldges.						
Flächengr d Waldges.	0.12861 0.0004	0.07421 0.0407	0.01065 0.7692	-0.19481 0.0001	1.00000 0.0	Entwick- lungsstand					
Entwick- lungsstand	0.47452 0.0001	0.26558 0.0001	0.09842 0.0066	0.14310 0.0001	-0.01299 0.7204	1.00000 0.0	Punkthäu- figkeit				
Punkthäu- figkeit	-0.11923 0.0010	-0.08635 0.0172	-0.12840 0.0004	-0.02543 0.4836	-0.00691 0.8491	-0.10609 0.0034	1.00000 0.0	innerer Waldrand			
innerer Waldrand	0.05608 0.1222	-0.07003 0.0535	-0.00589 0.8712	0.07169 0.0480	-0.11928 0.0010	0.15181 0.0001	0.03347 0.3565	1.00000 0.0	Sihltalstras- sennähe		
Sihltalstras- sennähe	0.04041 0.2655	0.04984 0.1696	0.06796 0.0610	-0.12188 0.0008	0.21237 0.0001	0.06869 0.0582	-0.01475 0.6845	-0.05146 0.1562	1.00000 0.0	Gewässer- nähe	
Gewässer- nähe	0.31327 0.0001	0.17619 0.0001	0.16523 0.0001	0.21564 0.0001	0.04732 0.1922	0.23745 0.0001	-0.05921 0.1026	0.02100 0.5629	0.04490 0.2161	1.00000 0.0	Artenzahl
Artenzahl	-0.04701 0.1952	0.08997 0.0130	0.16121 0.0001	0.10957 0.0025	0.08349 0.0212	-0.13915 0.0001	-0.02871 0.4291	-0.02666 0.4628	-0.00988 0.7855	0.06887 0.0576	1.00000 0.0

Spearman'sche Rang-Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveaus der Kriterien des einfachen Bewertungsansatzes

Korrelations- koeffizient / Prob > r Ho: Rho=0	Bestandes- fläche										
Bestandes- fläche	1.00000 0.0	Nat. d. Haupt- baumart OS									
Nat. d. Haupt- baumart OS	0.30242 0.0001	1.00000 0.0	Nat d. Neben- baumart OS								
Nat d. Neben- baumart OS	0.37745 0.0001	0.41889 0.0001	1.00000 0.0	Nadelholz- anteil OS							
Nadelholz- anteil OS	-0.12594 0.0005	-0.52974 0.0001	-0.34353 0.0001	1.00000 0.0	Nat. d. Haupt- baumart MS						
Nat. d. Haupt- baumart MS	0.31457 0.0001	0.38787 0.0001	0.26754 0.0001	-0.26976 0.0001	1.00000 0.0	Nat d. Neben- baumart MS					
Nat d. Neben- baumart MS	0.37534 0.0001	0.20234 0.0001	0.33746 0.0001	-0.19888 0.0001	0.39784 0.0001	1.00000 0.0	Nadelholz- anteil MS				
Nadelholz- anteil MS	0.23798 0.0001	0.01011 0.7806	0.08212 0.0235	0.22067 0.0001	0.10565 0.0035	0.14429 0.0001	1.00000 0.0	Nat. d. Haupt- baumart US			
Nat. d. Haupt- baumart US	0.36239 0.0001	0.38058 0.0001	0.27262 0.0001	-0.19709 0.0001	0.40930 0.0001	0.23658 0.0001	0.03163 0.3835	1.00000 0.0	Nat d. Neben- baumart US		
Nat d. Neben- baumart US	0.45152 0.0001	0.28892 0.0001	0.38385 0.0001	-0.21524 0.0001	0.33692 0.0001	0.42345 0.0001	0.15631 0.0001	0.51066 0.0001	1.00000 0.0	Nadelholz- anteil US	
Nadelholz- anteil US	0.26308 0.0001	0.21384 0.0001	0.14258 0.0001	-0.10043 0.0056	0.17100 0.0001	0.24088 0.0001	0.38337 0.0001	0.25537 0.0001	0.35209 0.0001	1.00000 0.0	
Seltenh. d. Veg.typs	0.24930 0.0001	0.07315 0.0437	0.05225 0.1498	-0.04889 0.1779	-0.02444 0.5009	0.14427 0.0001	0.12790 0.0004	0.03643 0.3155	0.11156 0.0021	0.12834 0.0004	
Flächengr. d. Waldges.	0.12861 0.0004	0.07958 0.0281	0.16866 0.0001	-0.01115 0.7588	0.11652 0.0013	0.14911 0.0001	0.06522 0.0722	0.07124 0.0495	0.14024 0.0001	0.00629 0.8625	
Anzahl Baumsch.	0.33469 0.0001	0.30845 0.0001	0.24155 0.0001	-0.29538 0.0001	0.31570 0.0001	0.35769 0.0001	0.05593 0.1231	0.43956 0.0001	0.45861 0.0001	0.26713 0.0001	
Entwick- lungsstand	0.47452 0.0001	0.25374 0.0001	0.21018 0.0001	-0.00109 0.9760	0.26650 0.0001	0.24843 0.0001	0.16680 0.0001	0.46844 0.0001	0.37861 0.0001	0.21562 0.0001	
Punkthäu- figkeit	-0.11923 0.0010	-0.07237 0.0460	-0.06706 0.0645	0.07349 0.0427	-0.03084 0.3955	-0.05231 0.1494	0.05249 0.1480	-0.11255 0.0019	-0.13299 0.0002	-0.04943 0.1731	
innerer Waldrand	0.05608 0.1222	-0.08119 0.0251	0.01892 0.6022	0.01799 0.6203	-0.03913 0.2810	0.03252 0.3703	-0.02454 0.4991	-0.01217 0.7375	0.08721 0.0161	0.07172 0.0479	
Sihltalstras- sennähe	0.04041 0.2655	0.04036 0.2662	0.06543 0.0712	-0.04747 0.1908	0.05186 0.1529	0.10859 0.0027	-0.01681 0.6433	0.03300 0.3633	0.06397 0.0778	-0.06787 0.0613	
Gewässer- nähe	0.31327 0.0001	0.17759 0.0001	0.22812 0.0001	-0.0990 0.0063	0.09558 0.0083	0.21889 0.0001	0.19961 0.0001	0.18033 0.0001	0.31106 0.0001	0.23413 0.0001	
Artenzahl OS	0.57821 0.0001	0.28160 0.0001	0.42735 0.0001	-0.16071 0.0001	0.39465 0.0001	0.40167 0.0001	0.38997 0.0001	0.29722 0.0001	0.42570 0.0001	0.40988 0.0001	
Artenzahl MS	0.47510 0.0001	0.24880 0.0001	0.30644 0.0001	-0.14976 0.0001	0.48611 0.0001	0.66603 0.0001	0.57449 0.0001	0.29736 0.0001	0.45797 0.0001	0.44130 0.0001	
Artenzahl US	0.47624 0.0001	0.31883 0.0001	0.32516 0.0001	-0.23203 0.0001	0.37403 0.0001	0.41135 0.0001	0.30536 0.0001	0.54237 0.0001	0.75019 0.0001	0.69518 0.0001	

Spearman'sche Rang-Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveaus
der Kriterien des umfangreichen Bewertungsansatzes

Korrelations- koeffizient / Prob > R Ho: Rho=0	Seltenh. d. Veg.typs	Flächengr. d. Waldges.	Anzahl Baumsch.	Entwick- lungsstand	Punkthäu- figkeit	innerer Waldrand	Sihltalstras- sennähe	Gewässer- nähe	Artenzahl OS	Artenzahl MS	Artenzahl US
Seltenh. d. Veg.typs	1.00000 0.0										
Flächengr. d. Waldges.	-0.19481 0.0001	1.00000 0.0									
Anzahl Baumsch.	0.11169 0.0020	0.01418 0.6961	1.00000 0.0								
Entwick- lungsstand	0.14310 0.0001	-0.01299 0.7204	0.25374 0.0001	1.00000 0.0							
Punkthäu- figkeit	-0.02543 0.4836	-0.00691 0.8491	-0.07237 0.0460	-0.10609 0.0034	1.00000 0.0						
innerer Waldrand	0.07169 0.0480	-0.11929 0.0010	-0.08119 0.0251	0.15181 0.0001	0.03347 0.3565	1.00000 0.0					
Sihltalstras- sennähe	-0.12188 0.0008	0.21237 0.0001	0.04036 0.2662	0.06869 0.0582	-0.01475 0.6845	-0.05146 0.1562	1.00000 0.0				
Gewässer- nähe	0.21564 0.0001	0.04732 0.1922	0.17759 0.0001	0.23745 0.0001	-0.05921 0.1026	0.02100 0.5629	0.04490 0.2161	1.00000 0.0			
Artenzahl OS	0.20439 0.0001	0.06346 0.0802	0.28160 0.0001	0.41648 0.0001	-0.03637 0.3164	0.07920 0.0289	0.05333 0.1416	0.32300 0.0001	1.00000 0.0		
Artenzahl MS	0.21599 0.0001	0.10992 0.0024	0.24880 0.0001	0.42425 0.0001	-0.02476 0.4952	0.01488 0.6820	0.04333 0.2326	0.30208 0.0001	0.64271 0.0001	1.00000 0.0	
Artenzahl US	0.13386 0.0002	0.05811 0.1092	0.31883 0.0001	0.42272 0.0001	-0.06801 0.0608	0.12966 0.0003	-0.01832 0.6138	0.34023 0.0001	0.53659 0.0001	0.56280 0.0001	1.00000 0.0

Spearman'sche Rang-Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveaus der Kriterien des umfangreichen Bewertungsansatzes

GEOPROCESSING REIHE

- Vol. 1 **H. Wanner und G. Dorigo:** Karten zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 1950-1980.
(25 pp + 25 Karten, 1983, sFr. 15.-, ISBN 3 906254 01 1)
- Vol. 2 **G. Dorigo:** VCPlot - Ein Programmpaket zur Erstellung thematischer Karten. Benützerhandbuch.
(109 pp, 1983, sFr. 10.-, ISBN 3 906254 02 X)
- Vol. 3 **A. Herzog, K. Brassel, M. Bopp und G. Dorigo:** Ein System zur Generierung von Grenzliniendateien administrativer Einheiten der Schweiz. (76 pp, 1983, sFr. 15.-, ISBN 3 906254 03 8)
- Vol. 4 **A. Kleiner:** Migration und Zentrum-Peripherie-Beziehungen im Schweizerischen Alpenraum.
(102 pp, 1985, sFr. 17.-, ISBN 3 906254 04 6)
- Vol. 5 **P. Sany:** Ein Modell zur semiautomatischen Regionalisierung der Schweiz.
(109 pp, 1985, sFr. 17.-, ISBN 3 906254 05 4)
- Vol. 6 **R. Sieber and K. Brassel (eds.):** A Selected Bibliography on Spatial Data Handling: Data Structures, Generalization, and Three-Dimensional Mapping. (78 pp, 1986, sFr. 15.-, ISBN 3 906254 06 2)
- Vol. 7 **K. Kundert:** Untersuchungen zur automatischen Klassifikation von räumlichen Einheiten.
(113 pp, 1988, sFr. 20.-, ISBN 3 906254 07 0)
- Vol. 8 **G. Dorigo und M. Bopp (Hrsg.):** Studien zur Migration und Versorgungslage in der Agglomeration Zürich. (134 pp, 1988, sFr. 20.-, ISBN 3 906254 08 9)
- Vol. 9 **A. Flury:** Experimente zur Raumkognition. (112 pp, 1988, sFr. 20.-, ISBN 3 906254 09 7)
- Vol. 10 **A. Anthamatten, H. Bickel, R. Bichsel:** Ein Atlas zur Sprachensituation in der Schweiz.
(172 pp, erscheint 1992, sFr. 30.-, ISBN 3 906254 10 0)
- Vol. 11 **M. Brändli:** Oberflächeninterpolation aus Höhenkurvendaten. (110 pp, 1991, sFr. 30.-, ISBN 3 906254 11 9)
- Vol. 12 **R. Weibel (ed.):** Contributions to Digital Terrain Modeling and Display.
(98 pp, 1989, sFr. 20.-, ISBN 3 906254 12 7)
- Vol. 13 **Ch. Gees:** Methoden zur halbautomatischen Identifizierung von Höhenlinien.
(85 pp, 1991, sFr. 25.-, ISBN 3 906254 13 5)
- Vol. 14 **H.R. Bär, M. Schuler, A. Herzog, A. Keller, K. Brassel:** Karten zur Charakterisierung der Agglomeration der Schweiz. (97 pp, 1989, sFr. 20.-, ISBN 3 906254 14 3)
- Vol. 15 **R. Weibel:** Konzepte und Experimente zur Automatisierung der Reliefgeneralisierung.
(270 pp, 1989, sFr. 35.-, ISBN 3 906254 15 1)
- Vol. 16 **M. Bopp:** Die Versorgungslage der Bevölkerung in der Agglomeration Zürich unter besonderer Berücksichtigung des Lebensmittel-Detailhandels. (325 pp, 1991, sFr. 50.-, ISBN 3 906254 16 X)
- Vol. 17 **St. Fassbind:** Konzepte und Analysen zur Einrichtung eines Immissionsmessnetzes im Kanton Thurgau.
(186 pp, 1991, sFr. 35.-, ISBN 3 906254 17 8)
- Vol. 18 **F. Bucher:** Relevanz und Wirkungsweise der Erschliessungsqualität auf die Siedlungsstrukturentwicklung: Eine empirische Untersuchung im Kanton Zürich.
(161 pp, 1992, sFr. 25.-, ISBN 3 906254 18 6)
- Vol. 19 **A. Stoffel:** GIS als Instrument zur ökologischen Wertanalyse.
(95 pp, 1992, sFr. 25.-, ISBN 3 906254 19 4)
- Vol. 20 **A. Herzog:** Die Polygonfilterung als Methode zur automatischen Generalisierung von statistischen Oberflächen.
(198 pp, erscheint 1992, sFr. 35.-, ISBN 3 906254 20 8)
- Vol. 21 **R. Boesch:** Modellierung von Niederschlagsverlagerungen im Radarbild.
(144 pp, erscheint 1992, sFr. 30.-, ISBN 3 906254 21 6)

REMOTE SENSING SERIES

- Vol. 5 **R. Schoch:** **Land-Cover Studies and Crop Acreage Estimates from Aerial Photography and Satellite Imagery - A Case Study in the Region of Ta'izz - Turbah, Yemen Arab Republic.** (246 pp, 1982, sFr. 40.-)
- Vol. 6 **E. Meier:** **Unterscheidung verschiedener Schneetypen im digitalen Multispektralscannerbild.** (96 pp, 1982, sFr. 25.-)
- Vol. 7 **D. Nüesch:** **Augmentation of Landsat MSS Data by Seasat SAR Imagery for Agricultural Inventories.** (Reprint of: NASA-Rep.IT-E2-04233), (106 pp, 1982, sFr. 30.-)
- Vol. 8 **U. Frei:** **Geometrische Korrekturen von NOAA-AVHRR - Daten.** (87 pp, 1984, sFr. 25.-)
- Vol. 9 **H. Haefner und F. Hugentobler:** **Assessment and Monitoring of Abandoned Agricultural Land in the Swiss Alps.** (21 pp, 2 maps, 1985, sFr. 20.-)
- Vol. 10 **M. Keller:** **Ausaperungskartierung mit Landsat-MSS Daten zur Erfassung ökologischer Einflussgrößen im Gebirge.** (111 pp, 1987, sFr. 36.-)
- Vol. 11 **M. Baumgartner:** **Schneeschnmelz-Abflussimulationen basierend auf Schneeflächenbestimmungen mit digitalen Landsat-MSS und NOAA/AVHRR-Daten.** (201 pp, 1987, sFr. 35.-)
- Vol. 12 **H. Maurer und E. Meier:** **Digitale Waldschadenkartierung der Nadelhölzer.** (34 pp, 1987, sFr. 20.-)
- Vol. 13 **K. Ch. Graf:** **Verwendung geodätischer Abbildungen bei der Geocodierung von Satellitenbildern.** (116 pp, 1988, sFr. 30.-)
- Vol. 14 **H. H. Schiesser:** **Fernerkundung von Hagelschäden mittels Wetterradar untersucht an Ackerkulturen.** (199 pp, 1988, sFr. 35.-)
- Vol. 15 **E. Meier:** **Geometrische Korrektur von Bildern orbitgestützter SAR-Systeme.** (137 pp, 1989, sFr. 35.-)
- Vol. 16 **P. Meyer:** **Segmentierung und symbolische Beschreibung als Grundlage zur Klassifikation landwirtschaftlicher Kulturen in einem Multispektralscanner-Datensatz.** (151 pp, 1990, sFr. 40.-)
- Vol. 17 **K. Itten, P. Meyer, T. Kellenberger, C. Affentranger, I. Leiss:** **Mapping of Swiss Forests with NOAA-AVHRR.** (62 pp, 1991, sFr. 30.-)
- Vol. 18 **K. Itten, P. Meyer, T. Kellenberger, R. Leu, St. Sandmeier, P. Bitter and K. Seidel :** **Correction of the Impact of Topography and Atmosphere on Landsat - TM Forest Mapping of Alpine Regions.** (50 pp, 1992, sFr. 40.-)
- Vol. 19 **B. Oester:** **Erfassen der Waldschaden-Entwicklung anhand von grossmassstäblichen Infrarot - Farbluftbildern.** (163 pp, 1991, sFr. 40.-)
- Vol. 20 **U.J. Burkart:** **Simulation und Prognose des Schmelzwasserabflusses sowie Bestimmung des regionalen Schneewasseräquivalents unter Zuhilfenahme von Satellitenbilddaten - dargestellt am Beispiel des Einzugsgebietes Rhein-Felsberg und Teilgebieten.** (126 pp, 1992, sFr. 40.-)
- Vol. 21 **H. Haefner, A.H. Schumann:** **Remote Sensing Applications in Hydrology and Water Resources Management.** (39 pp, 1992, sFr. 30.-)

SCHRIFTENREIHE PHYSISCHE GEOGRAPHIE

- Vol. 1 **M. Gamper (ed.):** Beiträge zur Quartärforschung in der Schweiz. (257 pp, 1982, sFr. 30.-, ISBN 3 85543 200 7)
- Vol. 2 **J. Suter:** Gletschergeschichte des Oberengadins: Untersuchung von Gletscherschwankungen in der Err-Julier-Gruppe. Vergriffen
- Vol. 3 **M. Maisch:** Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Gebiet zwischen Landwasser- und Albulatal (Kanton Graubünden, Schweiz). (217 pp, 1 Karte, 1981, sFr. 30.-, ISBN 3 260 04888 X)
- Vol. 4 **M. Gamper:** Heutige Solifluktionsträger von Erdströmen und klimamorphologische Interpretation fossiler Böden. (Separatdruck aus "Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweiz. Nationalpark" Band XV, Nr. 79, 90 pp, 1981, sFr. 25.-)
- Vol. 5 **J. Suter (ed.):** Kurzfassungen der Vorträge Hauptversammlung der Deutschen Quartärvereinigung in Zürich. (84 pp, 1982, sFr. 20.-, ISBN 3 85543 201 5)
- Vol. 6 **M. Maisch und J. Suter (ed.):** Exkursionsführer Teil A: Ostschweiz. Hauptversammlung der Deutschen Quartärvereinigung in Zürich. Vergriffen
- Vol. 7 **H. Holzhauser und J. Suter (ed.):** Exkursionsführer Teil B: Westschweiz. Hauptversammlung der Deutschen Quartärvereinigung in Zürich. (89 pp, 1982, sFr. 25.-, ISBN 3 85543 203 1)
- Vol. 8 **F. Renner:** Beiträge zur Gletschergeschichte des Gotthardgebietes und dendroklimatologische Analysen an fossilen Hölzern. Vergriffen
- Vol. 9 **W. Bircher:** Zur Gletscher- und Klimageschichte des Saastales. Glazialmorphologische und dendroklimatologische Untersuchungen. Vergriffen
- Vol. 10 **R. Vuagneux:** Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Gebiet Flüelapass (Kt. Graubünden, Schweiz). (249 pp, 1983, sFr. 30.-, ISBN 3 85543 206 6)
- Vol. 11 **W. A. Keller (ed.):** Beiträge zur angewandten physischen Geographie. (89 pp, 1983, sFr. 18.-, ISBN 3 85543 207 4)
- Vol. 12 **O. Gisler:** Die meteorologischen Beobachtungen von Schaffhausen (1794-1845) und Zürich (1767 - 1802) nebst einigen Betrachtungen über historische Niederschlagsreihen. (190 pp, 1983, sFr. 30.-, ISBN 3 85543 208 2)
- Vol. 13 **H. Holzhauser:** Zur Geschichte der Aletsch- und Fieschergletscher. (450 pp, 1983, sFr. 40.-, ISBN 3 85543 209 0)
- Vol. 14 **A. E. Vögele:** Untersuchungen zur Geomorphologie und jungquartären Talgeschichte des Dischma (Davos, Kt. Graubünden). Vergriffen
- Vol. 15 **R. Bless:** Beiträge zur spät- und postglazialen Geschichte der Gletscher im nordöstlichen Mont Blanc Gebiet. (116 pp, 1984, sFr. 25.-, ISBN 3 85543 211 2)
- Vol. 16 **Geomorphologische Forschung in der Schweiz heute:** Vorträge gehalten an der Jahresversammlung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft am 6. Oktober 1984 in Zürich. (98 pp, 1985, sFr. 15.-, ISBN 3 85543 212 0)
- Vol. 17 **M. Gamper:** Morphochronologische Untersuchungen an Solifluktionsträgern, Moränen und Schwemmkegeln in den Schweizer Alpen. (115 pp, 1985, sFr. 20.-, ISBN 3 85543 213 9)
- Vol. 18 **M. Fries:** Bodenkundliche Studien unter einem Caricetum firmae auf dem Munt La Schera im Schweizerischen Nationalpark. (212 pp, 1985, sFr. 30.-, ISBN 3 85543 214 7)
- Vol. 19 **K. Graf:** Klima und Vegetationsgeographie der Anden. Grundzüge Südamerikas und pollenanalytische Spezialuntersuchung Boliviens. (147 pp, 1986, sFr. 30.-, ISBN 3 85543 215 5)

SCHRIFTENREIHE PHYSISCHE GEOGRAPHIE

- Vol. 20 **P. Stalder:** **Glazialmorphologische Untersuchungen zwischen See- und Suhrental.** Vergriffen.
- Vol. 21 **R. A. Hipp:** **Zur Landschaftsgeschichte der Region Bischofszell. Eine glazialmorphologische Arbeit.** (125 pp, 1986, sFr. 30.-, ISBN 3 85543 217 1)
- Vol. 22 **W. Wetter:** **Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen im Mont Blanc-Gebiet: Untere Vallée de Chamonix - Val Montjoie.** (275 pp, 1987, sFr. 35.-, ISBN 3 85543 218 X)
- Vol. 23 **Beiträge zur Geomorphologie der Alpen und des Alpenvorlandes: Kurzfassung der Vorträge.**
Jahresversammlung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft und des Deutschen Arbeitskreises für Geomorphologie anlässlich der 167. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Luzern. (52 pp, 1987, sFr. 10.-, ISBN 3 85543 219 8)
- Vol. 24 **Exkursionsführer Teil A: Rhonegletscher. Hauptsymposium "Eiszeitforschung" im Rahmen der 167. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Luzern.** (73 pp, 1987, sFr. 25.-, ISBN 3 85543 220 1)
- Vol. 25 **Exkursionsführer Teil B: Mittelland. Hauptsymposium "Eiszeitforschung" im Rahmen der 167. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Luzern.** (69 pp, 1987, sFr. 20.-, ISBN 3 85543 221 X)
- Vol. 26 **W. A. Keller:** **Liste der ¹⁴C-Daten 1975-1987.** (60 pp, 1988, sFr. 20.-, ISBN 3 85543 222 8)
- Vol. 27 **O. Keller:** **Aeltere spätwürmzeitliche Gletschervorstösse und Zerfall des Eisstromnetzes in den nördlichen Rhein-Alpen (Weissbad-Stadium/Bühl-Stadium).**
(2 Bde + Profil/Karten, Bd A 250 pp, Bd B 297 pp, 1988, sFr. 50.-, ISBN 3 85543 223 6)
- Vol. 28 **F. Baumann:** **Geographische Verbreitung und Oekologie südamerikanischer Hochgebirgspflanzen. Beitrag zur Rekonstruktion der quartären Vegetationsgeschichte der Anden.** (220 pp, 1988, sFr. 35.-, ISBN 3 85543 224 4)
- Vol. 29 **P. Fitze, U. Capaul, R. Meuli, M. Achermann:** **Landschaftsökologisches Forschungsprojekt "Gubrist". Ergebnisse der Beobachtungsperiode 1983-1988.** (85 pp, 1989, sFr. 20.-, ISBN 3 85543 225 2)
- Vol. 30 **U. Capaul:** **Erfassung der atmosphärischen Metalleinträge auf Waldlichtungen des Gubrist.** (150 pp, 1989, sFr. 25.-, ISBN 3 85543 226 0)
- Vol. 31 **St. Bader:** **Die Modellierung von Nettobilanzgradienten spätglazialer Gletscher zur Herleitung der damaligen Niederschlags- und Temperaturverhältnisse - dargestellt an ausgewählten Beispielen aus den Schweizer Alpen.** (110 pp, 1990, sFr. 30.-, ISBN 3 85543 227 2)
- Vol. 32 **T. Häberle:** **Spät- und postglaziale Gletschergeschichte des Hörgárdalur-Gebietes, Tröllaskagi, Nord Island.** (210 pp, 1991, sFr. 40.-, ISBN 3 85543 228 4)
- Vol. 33 **M. Maisch:** **Die Gletscher Graubündens. Rekonstruktion und Auswertung der Gletscher und deren Veränderungen seit dem Hochstand von 1850 im Gebiet der östlichen Schweizer Alpen.** (Bündnerland und angrenzende Regionen). (Teil A: Grundlagen-Analysen-Ergebnisse 320 pp, sFr. 50.-, Teil B: Verzeichnisse-Datenkataloge-Gletscherkarten 130 pp, sFr. 30.- 1992, ISBN 3 85543 229 5)
- Vol. 34 **K. Graf:** **Pollendiagramme aus den Anden - eine Synthese zur Klimageschichte und Vegetationsentwicklung seit der letzten Eiszeit.** (120 pp, 1992, sFr. 40.-, ISBN 3 85543 230 1),
in Vorbereitung
- Vol. 35 **A. Walker:** **Grossräumige Austauschprozesse der Atmosphäre als Ursache von Starkgewittern.** Herkunft und Entwicklung von starken Unwettern in gemässigten Breiten analysiert anhand des Wasserdampfabsorptionsbandes der geostationären Satelliten METEOSAT und GOES. (166 pp, 1992, sFr. 35.-, ISBN 3 85543 231 7)

SCHRIFTENREIHE ANTHROPOGEOGRAPHIE

- Vol. 2 **H. Wanner und R. Caspar:** Der Entscheid zum Geographie-Studium. Eine Befragung von erstsemestrigen Geographie-Studierenden. (55 pp, 1984, sFr. 15.-)
- Vol. 7 **H. Wanner:** Die Entstehung neuer Wohn- und Siedlungsformen als sozialer Wandel (Am Beispiel des verdichteten Siedlungsbaues). Theoretische und Methodische Einführung in ein Forschungsprogramm. (70 pp, 1987, sFr. 20.-)
- Vol. 8 **A. Leemann:** Internal and External Factors of Socio-Cultural and Socio-Economic Dynamics in Lombok (Nusa Tenggara Barat). (94 pp, 1989, sFr. 20.-)
- Vol. 9 **J. Kuster-Langford:** Wohnbaulandpreise im Umland von Zürich. Eine empirische Untersuchung der räumlichen Preisunterschiede unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen der kommunalen Nutzungsplanung und Baulandpolitik. (164 pp, 1989, sFr. 35.-)
- Vol. 10 **S. Wälty, Th. Knecht und G. Seitz (Hrsg):** Von nachholender zu nachhaltiger Entwicklung. Beiträge zur Entwicklungsforschung. (210 pp, 1990, sFr. 35.-)
- Vol. 11 **R. Steinmetz-Winkler:** Wohnung und Mietzins. Eine empirische Untersuchung zur ortsüblichen Vergleichsmiete am Beispiel der Gemeinde Schwerzenbach (ZH). (111 pp, 1991)

SRI LANKA STUDIES

- Vol. 1 **M. Gelbert:** Chena (Shifting) Cultivation and Land Transformation in the Dry Zone of Sri Lanka (360 pp, 1988, sFr. 50.-) The supplementary map Sri Lanka: Chena Cultivation in the Dry Zone and dense natural forest, 1:500'000, 90x70 cm (incl. the study) can also be purchased separately at the price of (sFr. 7.-)
- Vol. 2 **M. Bichsel, R. Humbel, K. Itten, S.D.F.C. Nanayakkara and P. Schmid:** Sri Lanka/Swiss Remote Sensing Project, Final Report. (137 pp, 1988, sFr. 30.-)
- Vol. 3 **R. Humbel, P. Schmid, K. Itten, M. Steinmann:** Sri Lanka/Swiss Remote Sensing Project, Landuse Mapping Manual. (140 pp, 1989, sFr. 110.-)
- Vol. 4 **R. Humbel:** Tea Area Changes in Sri Lanka. Analysis of regional distribution, processes, mechanisms, and correlating factors of changes in the area cultivated with tea since 1956. (300 pp, 1991, sFr. 50.-)
- **R. Humbel:** Sri Lanka: Tea. Color map of the island of Sri Lanka, 1:500'000, 90x70 cm, showing present areas of tea cultivation as well as increases and decreases of cultivated tea since 1956. (1988, sFr. 7.-)

EXKURSIONSBERICHTE

- **USA '85:** Washington, Oregon, Idaho. (155 pp, 1986, sFr. 20.-)
- **Italien '89:** Bericht der Süditalien-Exkursion. (65 pp, 1989, sFr. 15.-)
- **DDR 1990:** Ein Land im Umbruch. (54 pp, 1990, sFr. 10.-)

SCHRIFTENREIHE WIRTSCHAFTSGEOGRAPHIE UND RAUMPLANUNG

- Vol. 6 **H. Elsasser:** **Wirtschaftsgeographie in den neunziger Jahren.**
(152 pp, 1989, sFr. 25.-)
- Vol. 7 **A. Odermatt:** **Zweitwohnungen in Städten.**
(101 pp, 1990, sFr. 25.-)
- Vol. 8 **H. Elsasser und P. Knoepfel (Hrsg.):** **Umweltbeobachtung.**
(131 pp, 1990, sFr. 25.-)
- Vol. 9 **D. Wachter:** **Externe Effekte, Umweltschutz und regionale Disparitäten Begründung und Ausgestaltungsmöglichkeiten einer umwelt bezogenen internalisierungsorientierten Regionalpolitik.**
(210 pp, 1990, sFr. 30.-)
- Vol. 10 **H. Elsasser (Hrsg.):** **Tourismus und Umwelt.**
(77 pp, 1991, sFr. 20.-)
- Vol. 11 **M. Hoenke:** **Potentialabschätzung zur Minderung des Flächenverbrauchs in der Wirtschaft.**
(96 pp, 1991, sFr. 25.-)
- Vol. 12 **St. Klötzli:** **Tourismus in der Sowjetunion. Eine Untersuchung zur Nutzung und zum Schutz natürlicher Erholungsressourcen im sowjetischen Tourismus - dargestellt am Beispiel von Gebirgserholungskomplexen im Grossen Kaukasus.**
(102 pp, 1991, sFr. 25.-)
- Vol. 13 **B. Abegg:** **Spezialisierung oder Diversifikation im Tourismus. Eine Untersuchung über die Möglichkeiten zukünftiger Tourismusentwicklung in der Region Savognin.**
(129 pp, 1991, sFr. 25.-)
- Vol. 14 **H. Elsasser und J. Maier (Hrsg.):** **Naturschutz und Regionalentwicklung**
(36 pp, 1992, sFr. 15.-)

ADRESSE

Universität Zürich-Irchel
Geographisches Institut
Winterthurerstrasse 190
CH - 8057 Zürich