

# Anwendung von GIS und Statistik für ein Umweltbeobachtungssystem in Deutschland

Gerlinde Knetsch<sup>1</sup>, Winfried Schröder<sup>2</sup>

## 1. Einführung

Umweltbeobachtung zielt darauf, Ergebnisse aus Beobachtungsprogrammen und Messnetzen fachlich und methodisch aufzubereiten, je nach Fragestellungen medienübergreifend zu verknüpfen und zu bewerten, um für umweltpolitische Entscheidungen notwendige Informationen bereitzustellen. Statistische Verfahren und Simulationsmodelle sind für die Aufbereitung und Verknüpfung unverzichtbare Werkzeuge. Sie ermöglichen, Daten aus der Umweltbeobachtung räumlich und/oder zeitlich zu vernetzen.

Zu diesem Zweck werden mit einem multivariat-statistischen Verfahren Flächendaten über Klima, Boden, Orographie und potenziell natürliche Vegetation zu einer landschaftsökologischen Raumgliederung berechnet. Die Flächendaten und das Berechnungsergebnis werden in einem GIS verwaltet. Diese landschaftsökologische Gliederung dient als Basis der Darstellung, Zusammenschau und Bewertung verschiedener Umweltbeobachtungsmessnetze. Sie kann für die Bestimmung der raumstrukturellen Landschaftsrepräsentanz und als räumliche Bezugsbasis für Messdaten dienen, nachdem deren Extrapolierbarkeit vom Messpunkt in die Umgebungsflächen geostatistisch geprüft wurde. Aufbauend auf dieser geostatistischen Analyse der *Messdaten*repräsentanz und der mit der Raumgliederung bestimmten landschaftsstrukturellen *Messstellen*repräsentanz können Vorschläge für die Optimierung von Beobachtungsmessnetzen abgeleitet werden.

Erst der detaillierte Überblick zu Messnetzen und Erhebungen auf Bundes- und Länderebene erlaubt in einem weiteren Schritt die synoptische Betrachtung der Daten, um damit zu einem Gesamtbild der Umweltsituation zu gelangen.

---

<sup>1</sup> Umweltbundesamt, Postfach 330022, 14191 Berlin

email: [gerlinde.knetsch@uba.de](mailto:gerlinde.knetsch@uba.de), Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

<sup>2</sup> Hochschule Vechta, Institut für Umweltwissenschaften, Postfach 53 53, 49364 Vechta

email: [winfried.schroeder@ispa.uni-vechta.de](mailto:winfried.schroeder@ispa.uni-vechta.de), Internet : <http://www.iuw.uni-vechta.de/personal/oekologie>

## 2. Methoden und Instrumente

Voraussetzung für eine medienübergreifende Betrachtung und Verknüpfung vorhandener Beobachtungsprogramme und Messnetze sind detaillierte Aussagen zu den Programmen selbst. Notwendige Metadaten beschränken sich hierbei nicht nur auf den fachlichen, zeitlichen und räumlichen Bezug, sondern auch auf methodischen Angaben der erhobenen Parameter (Probenahme- und analytische Verfahren), um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Messstellengenaue Angaben zum Beobachtungsdesign mit den entsprechenden räumlichen Koordinaten sind durch die Verbindung mit einer Datenbank unter GIS zu verwalten, zu visualisieren und durch den Einsatz von multivariat-statistischen Verfahren auszuwerten. In dem Vorhaben des Umweltbundesamtes wurde ein Fachinformationssystem „GIS Umweltbeobachtung“ unter Arc View entwickelt, welches diese Informationen verwaltet, aufbereitet und recherchierbar macht. Des weiteren werden Geobasisdaten und Geofachdaten in das System integriert, die wiederum Basis für die Aus- und Bewertung der verschiedenen Mess- und Beobachtungsprogramme sind.

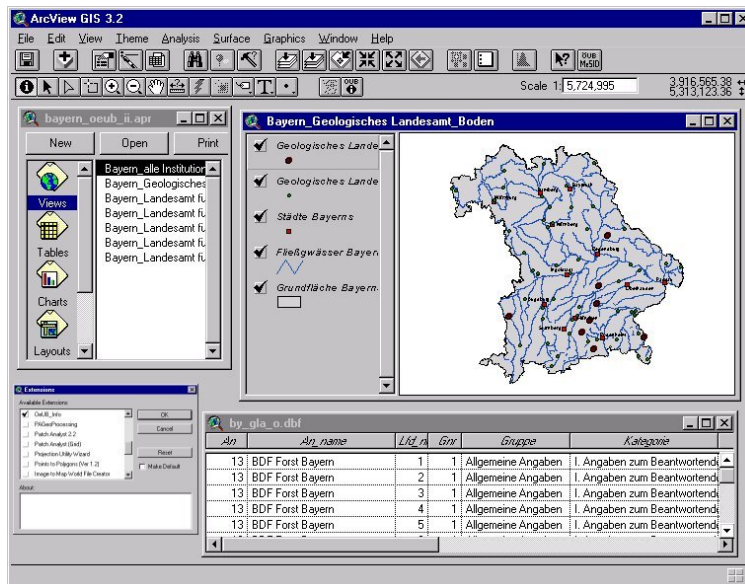


Abbildung 1: Programmoberfläche von ArcView der Fachanwendung GIS UB

Gezielte Recherchen im Umweltdatenkatalog des Bundes und der Länder (UDK) geben einen ersten Überblick zu den Beobachtungsprogrammaktivitäten und den Ansprechpartner in den Behörden. Aufbauend auf diesen Angaben werden detaillierte fachspezifische Metadaten kompartimentbezogen erfasst und in einen Fragebogen „Umweltbeobachtung“ überführt. Dieser Fragebogen enthält alle notwendigen Informationen, um die Fachanwendung „GIS UB“ mit den Metadaten zu be-

dienen. Ein eigens für die Abfrage entwickeltes Tool „MeSID2 (MetadatenSuche und Informationsdialog) ist innerhalb der verwendeten GIS-Software Arc View 3.2 entwickelt worden. Somit können nach Schlagworten die Ländermessnetze durchsucht werden und standortbezogen zu den Messstellen Ergebnisse ausgegeben werden.

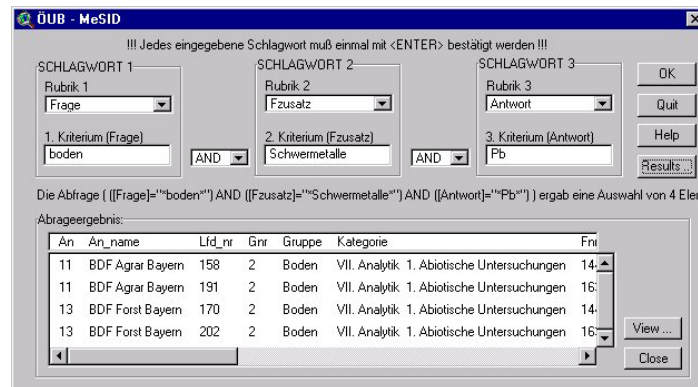


Abbildung 2: Programmoberfläche des Rechercheinstrumentes MeSID

Für die Bestimmung der Messnetze hinsichtlich ihrer raumstrukturellen Landschaftsrepräsentanz und als räumliche Bezugsbasis für die Extrapolierbarkeit von Punktdaten in die Umgebungsflächen ist eine Raumgliederung Deutschlands entwickelt worden. Mit dem multivariat-statistischen Verfahren CART (Classifikation and Regression Trees) und unter Einsatz des Geografischen Informationssystem ArcView wird Deutschland in verschiedene Raumklassen (Landschafts- bzw. Naturräume) unterteilt. Hierbei sollen zwei Kriterien erfüllt werden:

- Homogenität, das heißt, die Merkmale sollen innerhalb eines Naturraumes einander möglichst ähnlich sein und
- Trennschärfe, das heißt, die Naturräume sollen gut gegenseitig abgrenzbar sein.

Die ausgewählten ökologischen Merkmale zur multivariat-klassifizierenden Raumbeschreibung mit CART sind:

- Zielvariable: Potenzielle natürliche Vegetation
- Beschreibende Variablen: Bodenarten, orographische Höhe sowie monatlich differenzierte Klimadaten 1961 - 1990 (Lufttemperatur, Niederschlagssumme, Verdunstungsrate und Globalstrahlung).

Voraussetzung für die Erstellung einer nachvollziehbaren und geostatistisch abgesicherten Raumgliederung sind flächendeckende digitale Geobasis- und Geofachdaten zu den o.g. Parametern. Nur durch eine enge Kooperation mit anderen Bundes- und Fachbehörden war es möglich, die digitalen Datenbestände für das Vorhaben zu erhalten und bis zu neun Modellläufe durchzuführen. Das hier vorgelegte Er-

gebnis ist ein Konsens aus den derzeit verfügbaren digitalen Daten und den fachlichen Anforderungen aller beteiligter Behörden.

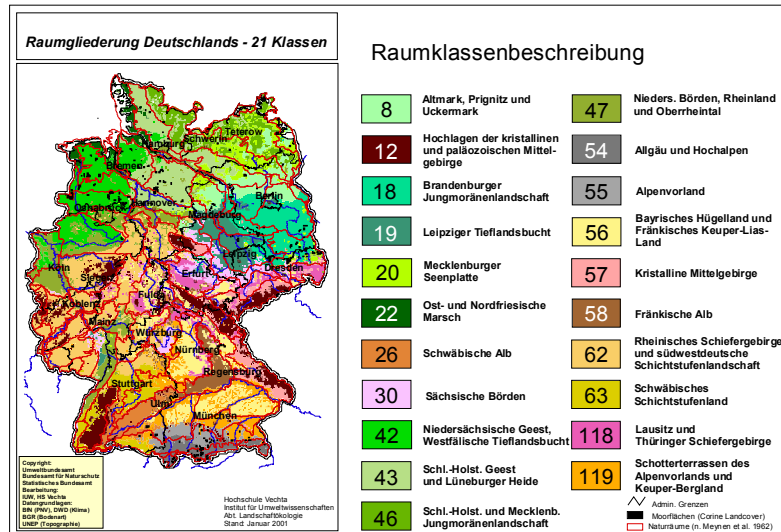


Abb. 3 Standortsökologische Raumgliederung Deutschlands

Der Partitionsalgorithmus "log-likelihood" der Splus-Version von CART berechnet für alle Ausprägungen der beschreibenden Variablen die "Unreinheiten" der sich ergebenden Untergruppen. Der Algorithmus wählt diejenige Partition mit dem günstigsten Fehlklassifikationswert aus. Er beschreibt die Beziehungen der Klassen untereinander bezüglich der Ausprägungen der Zielvariablen und der beschreibenden Merkmale. CART erstellt zunächst einen Strukturbaum mit der nach Datenlage maximal möglichen Klassenanzahl. In der hier vorgestellten Raumgliederung wurde letztendlich eine maximale Klassenanzahl von 73 erreicht. Der auf diese Weise berechnete Maximalbaum kann anschließend vom Bearbeiter anhand im einzelnen fachlich zu begründender Kriterien manuell zurückgeschnitten werden. Dadurch wird es möglich, die vom Programm berechnete Klassifikation nach inhaltlichen Überlegungen zu modifizieren. Jede Klasse wird statistisch und verbal beschrieben und durch einen Namen gekennzeichnet.

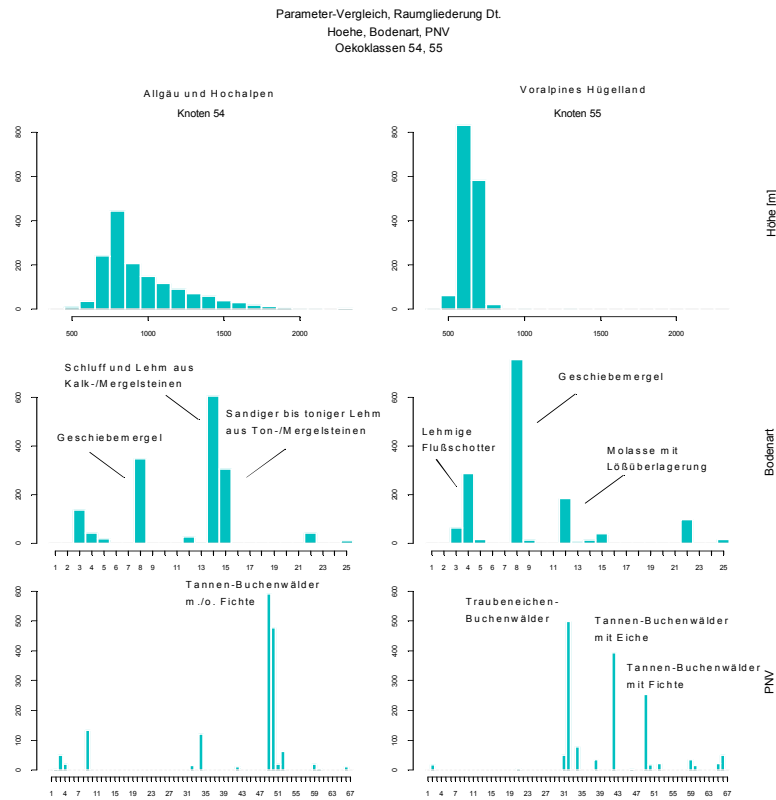


Abb. 4: Ökologische Merkmale der Raumklassen 54 und 55

### 3. Ergebnisdarstellung

Mit den in Abschnitt 2 beschriebenen Verfahren werden auf einer nachvollziehbaren Grundlage die Metadaten der Umweltbeobachtungsprogramme für eine integrierende und medienübergreifende Auswertung aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Erst der detaillierte Überblick zu den Messnetz- und Beobachtungsprogrammen auf Bundes- und Länderebene erlaubt in einem weiteren Schritt die Zusammenführung dieser Programme auf der Basis einer räumlicher Bezugseinheit. Die Messnetzdicke kann für jede der ökologischen Raumklassen berechnet werden. Hierauf aufbauend lässt sich die raumstrukturelle Landschaftsrepräsentanz prüfen: Zum einen kann man berechnen, ob sich die Messstellen proportional zur Fläche der ökologischen Raumklassen verteilen. Zum anderen ermöglicht ein nachbarschaftsanalytisches Verfahren die großräumige Messstellenumgebung in die Repräsentanzbetrachtung einzubeziehen. Verknüpft man die Raumgliederung mit - nach Möglichkeit flächenhaft verallgemeinerten - Messdaten der Umweltbeobachtung, so lassen sich die Messdaten anhand der in den Raumklassen zusammengefassten ö-

kologischen Merkmale interpretieren. Schließlich lassen sich durch die Verknüpfung von Metadaten und Messnetzgeometrien Aussagen zu räumlichen, zeitlichen und inhaltlichen Merkmalen der Messnetze gewinnen (Aufzeigen von räumlichen Redundanzen oder Lücken, möglicher Bedarf an Harmonisierung).

Mit dem Verfahren und der hier beschriebenen Raumgliederung wird die auf Expertenwissen gestützte naturräumliche Gliederung nach Meynen und Schmidthüsen von 1962 validiert.

Neben der Messdatenanalyse und den Metadaten ist die Raumgliederung ein Modul eines Umweltbeobachtungssystems für Deutschland. Da die Zielvariable „Potenziell natürlichen Vegetation“ das ökologische Standortpotential eines Raumes beschreibt, welches unter den gegenwärtigen klimatischen, orografischen und pedologischen Randbedingungen unter Ausschluss menschlicher Einflüsse zu erwarten wäre, kennzeichnet die Raumgliederung einen Referenzzustand, der im Umweltschutz unter Vorsorgegesichtspunkten wichtig ist. Dies könnte für das Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen interessant sein.

Weitere Informationen und Ergebnisse zu Anwendungsszenarien sind unter folgender Web-Adresse zugänglich:

[http://www.iuw.uni-vechta.de/personal/oekologie/schroeder/ub\\_uba/start.htm](http://www.iuw.uni-vechta.de/personal/oekologie/schroeder/ub_uba/start.htm)

## 5. Ausblick

Aus den Ergebnissen des Vorhabens zur Umweltbeobachtung sind weitere Aktivitäten hinsichtlich der Optimierung der Metadatenbereitstellung zu Umweltbeobachtungsprogrammen unerlässlich. Hierbei wird eine Chance in der Weiterentwicklung des Umweltdatenkatalogs und des Instruments GEIN gesehen. Die fachlichen Anforderungen an Metadaten können aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeiten spezifiziert werden, Anwendungsgebiete an Beispielen einer integrierten und medienübergreifenden Auswertung belegt werden. Die beschriebene Methodik der Raumgliederung kann unter der Voraussetzung der Verfügbarkeit von digitalen Geofachdaten auf die Zielvariable Wassereinzugsgebiete angewendet werden. Damit würde eine räumliche Bezugsbasis geschaffen werden, die für die Erfassung von Stoffflüssen (Stoffeintrags- und Stoffaustragspfade) innerhalb von Ökosystemen und über deren Grenzen essentiell sind.

### References:

1. Breimann et al. (1984): Classification and regression trees (CART). - Monterey, Wadsworth, Inc.

2. Knetsch, G. (2000): Raumbezug in der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder, UWSF 12 (4) S. 235
3. Knetsch, G. (2001): Integrating environmental data across disciplines against the background of the Aarhus Convention, In: Sustainability in the Information Society, Metropolis Verlag, Marburg 2001, Band 30, S. 265 - 270
4. Kothe, P., Schmidt, R. (1994): Nachbarschaftsanalytische Ausweisung repräsentativer Bodendauerbeobachtungsflächen. In: Schröder, W. et al. (Hrsg.) Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie. - Braunschweig, Wiesbaden, S. 95 - 101
5. Mertens et al. (2002): GIS-based regionalization of soil profiles with Classification and Regression Trees (CART). In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science, Vol. 165 (1), pp. 39 - 43
6. Meynen, E. et al. (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschland. - Bad Godesberg
7. Schröder, W. et al. (1998): Organisation und Methodik des Bodenmonitoring. - Berlin (UBA-Texte 21 / 98)
8. Schröder, W. et al. (2001): Konkretisierung des Umweltbeobachtungsprogramms im Rahmen eines Stufenkonzeptes der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. - Berlin (UFOPLAN 2000, FKZ 299 82 212/01 und 02)
9. Schröder, W.; Schmidt, G. (2001): Defining ecoregions as framework for the assessment of ecological monitoring networks in Germany by means of GIS and classification and regression trees (CART). In: Gate to EHS 2001, pp. 1 - 9
10. Schröder, W. et al. (2002): Harmonisierung der Umweltbeobachtung. Instrumente zur Prüfung methodischer Vergleichbarkeit und räumlicher Repräsentanz. In: Fränze, O. et al. (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. - Landsberg am Lech, Kap. V-1.3 (8. Erg.Lfg.)
11. Vetter, L., Maass, R. (1994): Nachbarschaftsanalytische Verfahren. In: Schröder, W. et al. (Hrsg.) Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie. - Braunschweig, Wiesbaden, S. 225 - 237