

Thomas Blaschke (Hrsg.)

Umweltmonitoring und Umweltmodellierung

GIS und Fernerkundung als Werkzeuge
einer nachhaltigen Entwicklung



Thomas Blaschke (Hrsg.)

Umweltmonitoring und Umweltmodellierung

**GIS und Fernerkundung als Werkzeuge
einer nachhaltigen Entwicklung**

 H. Wichmann Verlag · Heidelberg

Ökosystem-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern – Spezielle Aspekte des räumlichen und zeitlichen Erhebungs-Designs

Hannes HAUSHERR und Michael JUNGMEIER

1 Einleitung

Im Nationalpark Hohe Tauern wird ein vegetationsökologisches Monitoringprogramm konzipiert. Im Rahmen einer Grundlagenstudie (JUNGMEIER et al. 1998) im Auftrag des Nationalparkrates und des Bundesministeriums für Umwelt wurden folgende Punkte erarbeitet:

- Theoretische Grundlagen
- Konzeptionelle Struktur
- Methodisches Design

Das Monitoringprogramm ist modular aufgebaut: Es läßt an vordefinierten Schnittstellen eine Erweiterung um abiotische und zoologische Beobachtungsreihen zu. Das Monitoringprogramm ist hierarchisch aufgebaut und soll für unterschiedliche Beobachtungsebenen Ergebnisse liefern. Die vernetzt geführte Dokumentation von (Teil-)Landschaftsraum, Biozönose und Population (in Ausnahmefällen: Individuum) verlangt die Synthese unterschiedlicher Methoden-Sets, insbesondere von vegetationsökologischen Verfahren und Fernerkundungstechniken. Vor allem für die raum-zeitliche Dimension des Erhebungsdesigns mußte methodisch-konzeptionelle Grundlagenarbeit geleistet werden.

Mit dem Dauerbeobachtungsprogramm sollen Naturprozesse erfaßt werden, die für den Hochgebirgsnationalpark besonders repräsentativ sind bzw. aus der Sicht des Nationalparkmanagements (JUNGMEIER 1997) von Relevanz sind: Die ausgewählten „Leitprozesse“ sind primäre und sekundäre Sukzessionen, das Oszillieren von Klimaxökosystemen sowie die Entwicklung von hochturbulenten Störungsökosystemen (z.B. Lawinenbahnen).

Eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung eines Monitoringkonzeptes ist eine genaue Zieldefinition (vergl. E.C.O. 1998 und TRAXLER 1997). Aufbauend auf die Zieldefinition wird das räumliche und zeitliche Erhebungsdesign entwickelt. Dabei ist auffallend, daß eine beachtliche Anzahl von Arbeiten und Studien über die räumliche Dimension von Monitoringprogrammen vorliegt (vgl. z.B. TRAXLER 1997). Die zeitliche Dimension und damit die *wesentliche* Komponente derartiger Projekte ist jedoch kaum Gegenstand der Diskussion.

2 Kriterien für die Methodenauswahl

Die Auswahl von Dokumentationsverfahren in einem Dauerbeobachtungsprogramm ist ein weitreichender Schritt. Für die Methodenauswahl werden folgende Kriterien herangezogen:

- **Objektivierbarkeit:** Eine weitestgehende Unabhängigkeit vom Bearbeiter ist im Hinblick auf den Bearbeitungszeitraum unabdingbar. Die Bandbreite möglicher Methodenfehler (oder methodisch bedingter Unschärfen) ist ein weiterer entscheidender Faktor der Objektivierbarkeit.
- **Aufwand:** Der Aufwand für Arbeit und Material multipliziert sich mit Wiederholungszahl der Untersuchungen und muß so gering als irgend möglich und vertretbar gehalten werden. Von FISCHER (1992) wird dies auf den Punkt gebracht: „*proper but simple*“. Neben dem zeitlichen Aufwand ist hier insbesondere auch die Anforderung an den Bearbeiter von großer (in der Praxis: kostenmäßiger) Bedeutung (Praktikant, Fachmann, Spezialist).
- **Praktikabilität im alpinen Gelände:** Der Naturraum der Hohen Tauern (insbesondere Wetter und Erreichbarkeit) schließt etliche Methoden weitgehend aus und verbindet andere mit erheblichem Aufwand.
- **„Verknüpfbarkeit“ mit Ergebnissen anderer Daueruntersuchungen:** Im Hinblick auf den „modularen Aufbau“ des Monitoringprogrammes wird Methoden, die „Schnittstellen“ zu anderen Daueruntersuchungen erlauben, der Vorzug gegeben (qualitativer Aufbau, vertikale Struktur und räumliche Verteilung).
- **Datenqualität:** Im Hinblick auf die Auswerteverfahren und die Verknüpfbarkeit mit anderen Untersuchungen (s.o.) ist die Qualität der erhobenen Daten von Bedeutung (nominale - metrische - ordinale).
- **Internationale Gebräuchlichkeit, langfristige Verwendbarkeit und das Fortentwicklungspotential:** Die „Üblichkeit“ eines Verfahrens erlaubt keinen zwingenden Schluß auf die Qualität des Verfahrens, erlaubt und ermöglicht jedoch erst einen Vergleich bzw. eine Einbettung in andere Untersuchungsergebnisse.

3 Räumliches Erhebungs-Design

Die Flächen sind in drei hierarchische Ebenen gegliedert, wobei die Dokumentation des gesamten Nationalparks anhand regelmäßiger Bildflüge im folgenden nicht berücksichtigt ist:

- **Monitop (Untersuchungsgebiet):** Das Untersuchungsgebiet wird im Zuge der vorliegenden Studie nach den erarbeiteten Kriterien ausgewählt (subjektive Entnahme in Straten). Die Auswahlkriterien sind gegliedert in inhaltliche (Höhe, Exposition, Vegetationstypen, etc.) und praktische (Erreichbarkeit, vorliegende Unterlagen, gesetzte Maßnahmen). Die Größe des Untersuchungsgebietes ist variabel und liegt bei etwa 2-5 ha. Die Dauerversuchsflächen sollen einen Mindestabstand von 40 m haben, dadurch ist eine Mindestgröße des Untersuchungsgebietes vorgegeben.
- **Dauerversuchsfläche:** Pro Untersuchungsgebiet werden max. drei Dauerversuchsflächen eingerichtet. Diese haben eine Größe 40 x 40 m. Die Festlegung der Dauerversuchsflächen erfolgt durch subjektive Entnahme im Gelände. Die Lage der Dauerversuchsflächen folgt dem bestimmenden ökologischen Gradienten. Mit einer Gesamtgröße von 1600 m²; können sämtliche Vegetationstypen des Untersuchungsgebietes (inkl. Wald) dargestellt werden.
- **Dauerprobefläche (Plot):** Die Plots bestehen aus drei Transekten innerhalb der Dauerversuchsfläche sowie mehreren separat ausgewiesenen Flächen. Die Transekten werden anhand von Subplots dokumentiert (s.u.). Die separat ausgewiesenen Flächen

sind Gegenstand von jeweils einer detaillierten Vegetationsaufnahme, die jedoch zur präziseren Bearbeitung in Schätzflächen unterteilt ist. Die Größe der Vegetationsaufnahmeflächen wird in Abhängigkeit vom Vegetationstyp festgelegt (Minimum-Arealanalyse).

- **Teilprobefläche/Schätzfläche (Subplot):** Die Dauerprobefläche ist in 1 x 1 m große Subplots untergliedert. Diese sind in Gradienten angelegt. Die Subplots werden in einem Gradienten systematisch entnommen (insgesamt zehn, alle vier Meter). In einem weiteren Gradienten werden ebenfalls zehn zufällig entnommene, wiederholt beprobte Subplots eingerichtet. In einem dritten Gradienten werden zehn weitere Subplots beprobt, die in jedem Untersuchungsdurchgang erneut zufällig entnommen werden (Autokorrelation!). Die Gradienten sind so angelegt, daß die einzelnen Subplots erreicht werden können, ohne die Subplots betreten zu müssen (Pufferzone für Bearbeitung). Für spezielle Fragestellungen (die über das vorliegende Konzept hinausgehen, aber in dieses eingefügt werden können, besteht die Möglichkeit, die Subplots noch weiter zu unterteilen).

Das Design ist in der folgenden Skizze dargestellt. Dunkle Flächen sind permanente Subplots, helle Flächen sind wechselnde Subplots. Weiße Flächen werden nicht dokumentiert. Die größeren hellen Flächen sind die Flächen der Vegetationsaufnahmen. Diese dienen zur Dokumentation der Einheiten für die Vegetationskarte der gesamten Dauerversuchsfläche. Sie können nach subjektiven Kriterien in die Flächen gelegt werden. Diese sind von Untersuchungstermin zu Untersuchungstermin variabel und sollen die „typischen“ Flächen für die Darstellung der einzelnen Vegetationstypen dokumentieren.

Vorteile des gewählten Flächendesigns:

- Hierarchisches Prinzip mit guter Verknüpfbarkeit zu anderen Untersuchungen;
- Kompromiß zwischen (statischen) inhomogenen und (beweglichen) homogenen Untersuchungsflächen;
- Kombination aus subjektiver, zufälliger und systematischer Entnahme (vgl. BRYANT et al. 1983);
- Auswertungsmöglichkeit sowohl numerisch als auch soziologisch;
- innerhalb des Monitops statistische Auswertemöglichkeit bei vertretbarem Sample-Aufwand;
- gleichzeitige Dokumentationsmöglichkeit für Verschiebung von Grenzen und inneren Qualitäten (Artenzusammensetzung);
- durch Transekte hohe Diversität innerhalb der Fläche, die durch Subplots handhabbar ist;
- Ausschaltung von räumlichen und zeitlichen „Autokorrelationen“ durch zufällige Entnahme im Transekt;
- unkomplizierte Vermarkungsmöglichkeiten.

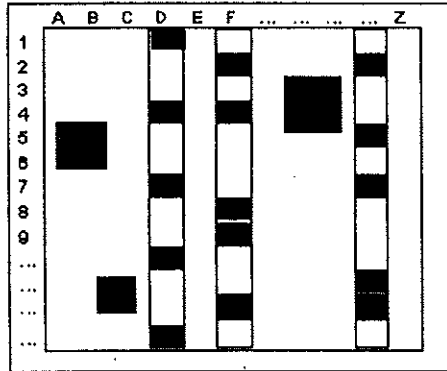


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Dauerprobefläche

Nachteile des gewählten Erhebungsdesigns:

- keine statistische Auswertmöglichkeit außerhalb des Monitops durch subjektive Festlegung der Flächen und geringe Anzahl der Flächen;
- bedingt durch die Größe sind Zugänge zu den einzelnen Untersuchungsflächen problematische (Störung). Zum Ausgleich wird ein Plan „erlaubter Wege“ in den Testflächen erstellt, für besonders empfindliche Systeme (v. a. Moore und Verlandungszonen) werden Leiterstege zur Anwendung kommen (vergl. TRAXLER 1997).
- Bearbeitungsaufwand für Monitop ermöglicht nur die Bearbeitung einer geringen Zahl von Monitopen (durch unwegsames Gelände und große Distanzen jedoch ohnehin eingeschränkt).

4 Zeitliches Erhebungs-Design

Im folgenden wird versucht, die zeitliche Entnahme mit der räumlichen zu analogisieren. Dabei ergeben sich folgenden Möglichkeiten für ein zeitliches Sample-Design:

- **Systematische Entnahme:** Die Untersuchungen werden in regelmäßigen Abständen durchgeführt. Dies ist die häufigste, wenn nicht die einzige praktizierte Methode. Regelmäßige Intervalle sind insbesondere zur Darstellung längerfristiger Trends bedeutsam. Kurzfristige Entwicklungen und Störungen können unter Umständen nicht ausreichend berücksichtigt werden. Systematische Entnahme ist die einzig sinnvolle „Anlage“ von Beprobungspunkten entlang der Zeitachse, wenn der ablaufende Prozess hinsichtlich Trend und Geschwindigkeit nicht absehbar ist.
- **Anlaßbezogene Entnahme:** Die anlaßbezogene Entnahme entspricht der „subjektiven“ Probennahme bei Flächen: Bei einem entsprechend „interessanten“ Ereignis, bzw. wenn der Bearbeiter den Zeitpunkt für „repräsentativ“ hält, wird eine Dokumentation vorgenommen. Das Verfahren konnte in der Literatur nicht explizit gefunden werden. Diese Methode wird aber implizit wiederholt angewendet. Anlaßbezogene Entnahme ist insbesondere von Bedeutung, wenn größere Ereignisse die Dauerversuchsflächen in starkem Maße beeinflussen oder wenn eine

Arbeitshypothese zu überprüfen ist. Die subjektive Entnahme setzt ein hohes Wissen über die ablaufenden Prozesse voraus.

- **Zufällige Entnahme:** Die Beobachtungszeitpunkte werden zufällig entnommen. Eine zufällige Probennahme konnte in der Literatur nicht gefunden werden. Die zufällige Entnahme kann zum „Aufspüren“ von nicht erwarteten oder vorhergesehenen Entwicklungen beitragen. Rein zufällige Entnahmen in Zeitreihen sind jedoch schwer zu extrapolieren bzw. zu interpretieren. Zufällige Entnahme verlangt ohne Zweifel nach einer deutlich höheren Anzahl von Beprobungszeitpunkten.
- **„Stratifizierte“ Entnahme:** Die Beobachtungszeitpunkte werden auf der Grundlage einer Vorauswahl zufällig entnommen. Die zu dokumentierenden Entwicklungen werden in ihrer zeitlichen Erstreckung erfaßt und in weiterer Folge zufällig beprobt. Dies setzt ein detailliertes Wissen über den Naturprozeß und seine Geschwindigkeit voraus. Das Verfahren entspricht einer Stratifikation bei der räumlichen Probennahme. Stratifikation in der Zeit ist eher eine theoretische Möglichkeit. Auch in der Literatur konnten keine Anhaltspunkte gefunden werden.

In der folgenden Grafik sind die denkbaren Entnahmeformen am Beispiel eines (idealierten) störungsgeprägten Ökosystems mit asymptotischer Entwicklung in Richtung Klimax dargestellt. Dieser komplexe Entwicklungstyp wurde ausgewählt, um die zeitlichen Entnahmemöglichkeiten zu vergleichen (Der Entwicklungstyp entspricht dem eines charakteristischen störungsgeprägten alpinen Ökosystems, z.B. einer Lawinenrunse). Es zeigt sich, daß auch die unregelmäßige Entwicklung durch ein regelmäßiges Erhebungsdesign am besten abgebildet werden kann, wenn die Intervalle kurz genug sind. Anlaßbezogene Entnahme wird nicht separat dargestellt, sie würde jeweils am (deutlich sichtbaren) „Tiefpunkt“ der Entwicklung einsetzen. Für das Langzeitmonitoring im Nationalpark Hohe Tauern wird daher eine regelmäßige Probennahme vorgeschlagen. Diese soll anlaßbezogen durch zusätzliche Erhebungszeitpunkte ergänzt werden können. Zufällige Entnahme von zusätzlichen Erhebungszeitpunkten ist nicht als sinnvolle Variante anzusehen. Der immer wiederkehrende Beobachtungszeitpunkt muß naturgemäß möglichst gleich gewählt werden. Als Bezugspunkt dient die Phänologie. Die Dokumentation erfolgt zum phänologisch gleichen Zeitpunkt! Als Idealzeit für die Erhebungen wird die Zeit zwischen Mitte Juli und Mitte August angesehen. Die relativ weite Entwicklung der Vegetation läßt keine weitreichenden Veränderungen in Artengefüge und Dominanzverhältnissen erwarten. Der Anteil von Pflanzen mit allen bestimmungstauglichen Merkmalen ist in dieser Höhenstufe am ehesten gegeben. Die Wettersituation ist (relativ) stabil. Speziell eingeschobene phänologische Untersuchungen (die über das Grundmonitoring hinausreichen) umfassen naturgemäß einen größeren Zeitraum. Damit verbunden sind einige „praktische“ Probleme:

- Die Vegetationsperiode ist kurz. Die Befliegung, die Auswertung der Befliegung und die Geländedokumentation müssen innerhalb weniger Wochen erfolgen. Dies erfordert den gut koordinierten Einsatz von mehreren Mitarbeitern.
- Für die Befliegung ist ein relativ später Zeitpunkt im Jahr gut und sinnvoll, wenn unterschiedliche Färbungen die Grenzen der Vegetationstypen stärker hervortreten lassen. Für die Geländeaufnahmen ist ein früherer Zeitpunkt „praktisch“, wenn eine gute Entwicklung der generativen Organe eine Bestimmung der Arten erleichtert bzw. ermöglicht. Dadurch wird die Zeitspanne einer Bearbeitung zusätzlich verkürzt. (Eine Befliegung im Spätsommer und eine Dokumentation im darauffolgenden Sommer ist denkbar, jedoch insbesondere in hochturbulenten Lebensräumen problematisch).

- Der jeweilige phänologische Zustand kann erst im Gelände ermittelt werden. Es ist notwendig, sich an leicht erkennbaren Indikatoren zu orientieren (z.B. Blühpflanzen auffallender Arten).
- Untersuchungsgebiet umfaßt eine Höhenamplitude von etwa 1500 bis 2000 Höhenmetern die dadurch bedingten unterschiedlichen Stadien der Vegetationsentwicklung bereiten nur beispielsweise bei der Interpretation von IR-Luftbildern große Schwierigkeiten, sie sind auch für das Monitoringprogramm zu beachten. Bei der Festlegung der Dauerversuchsflächen hat daher die Einengung der Höhenamplitude eine große Bedeutung.

Das Beobachtungsintervall wird mit vier Jahren angesetzt. Abgesehen von den hochturbulenten Entwicklungen durch Naturkräfte sind diese Intervalle als durchaus ausreichend anzusehen. In ausgewählten Bereichen bzw. für ausgewählte Zeiträume können die Erhebungen in erhöhter Frequenz (zweijährig oder jährlich) durchgeführt werden. Im Zuge von Kontrollgängen werden die Flächen jedes Jahr hinsichtlich Vermarktung und auffälliger Erscheinungen dokumentiert (fotografisch).

In den ersten vier Jahre wird jedoch eine jährliche Durchführung der Erhebungen als notwendig angesehen. Die erhöhte Frequenz in der Anfangsphase des Monitoring ist in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung bzw. notwendig:

- Das methodische „Grundrauschen“ kann auf diese Art ermittelt werden. Auch bei maximaler Genauigkeit bzw. dem hier gewählten, vom Bearbeiter möglichst unabhängigen Methoden-Set, ist die exakte Reproduzierbarkeit bei der Bearbeitung nicht gegeben. Insbesondere bei langsameren Entwicklungen ist das so entstehende „Grundrauschen“ unter Umständen sogar größer als die Veränderung selbst. Durch die Ermittlung dieses „Grundrauschens“ in der Anfangsphase des Monitorings können die Methoden für die einzelnen Daueruntersuchungsflächen „kalibriert“ werden.
- Zusätzlich können nach dieser vierjährigen Testphase noch Änderungen bzw. Adaptierungen der Methodik vorgenommen werden.

Die regelmäßig durchgeführten Untersuchungen sollten mindestens nach jeder fünften Erhebung einer „Zwischenauswertung“ zugeführt werden.

Vorteil des ausgearbeiteten zeitlichen Sample-Designs:

- Hochfrequente Untersuchungen in der Anfangsphase ermöglichen die Ermittlung von methoden-, daten- und systembedingtem „Grundrauschen“;
- Vierjährige Untersuchungsintervalle können für Detailuntersuchungen nach unten „halbiert“ werden, Erhebungen können also unter Beibehaltung des vorgegebenen Gesamtrhythmus jährlich bzw. zweijährlich eingefügt werden, dies ergibt die Möglichkeit eines auch in der Zeitachse „hierarchischen“ Monitorings;
- Vierjährige Untersuchungsintervalle können vor dem Hintergrund der grundsätzlich ausdauernden alpinen Lebensformen als ausreichend betrachtet werden, ein- oder zweijährige Pflanzen treten kaum auf bzw. sind in den seltensten Fällen bestandbildend.

Nachteil des vorgeschlagenen zeitlichen Sample-Design:

- Unter Umständen gleichbleibend hoher Dokumentationsaufwand auch in Zeitintervallen mit sehr geringer Veränderung im System;
- Hoher Aufwand und Ressourceneinsatz in der Anfangsphase.

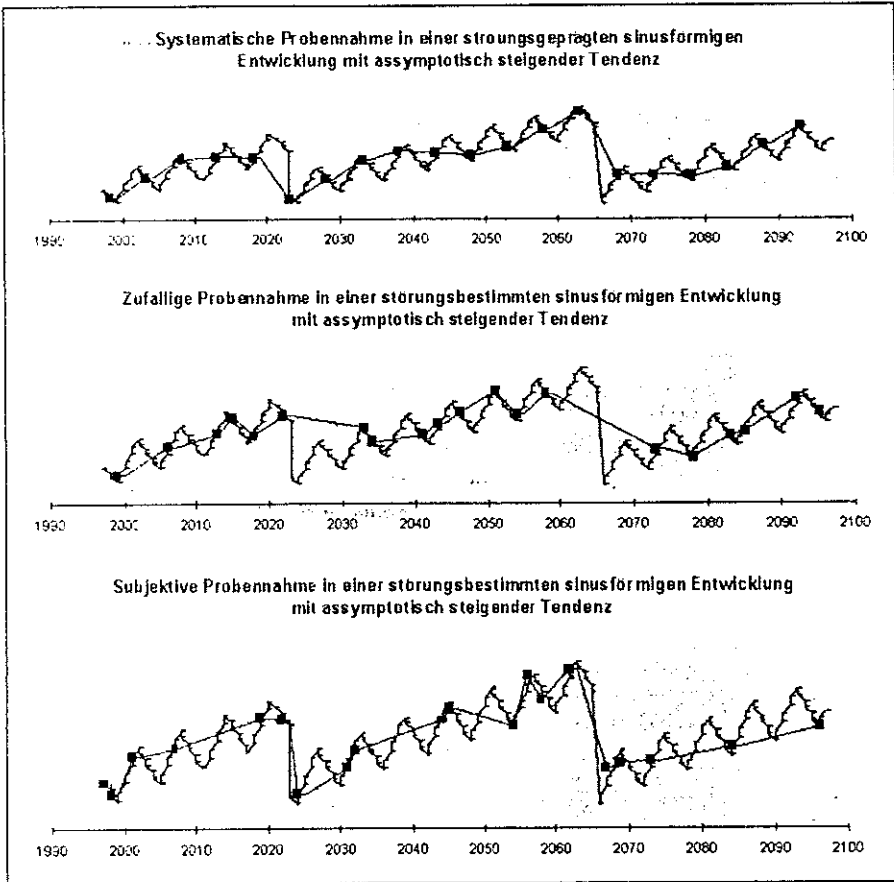


Abb. 2: Schematische Darstellung verschieden möglicher Entnahmeformen

5 Ausblick

Das Monitoringkonzept für den Nationalpark Hohe Tauern ist mit Hilfe und Unterstützung einer Vielzahl von Fachexperten entwickelt worden. Es wurde vor allem auch der Kontakt zu und der Informationsaustausch mit möglichst vielen Fachdisziplinen gesucht, um einen interdisziplinären Ansatz zu gewährleisten. Das Konzept wurde im Zeitraum von 1996 bis 1998 entwickelt und soll zu Beginn des nächsten Jahrtausends umgesetzt werden.

6 Literatur

- BRYANT, C.R. & L.H. RUSSWURM (1983): *Area Sampling Strategies in Relation to Land Use Monitoring Needs and Objectives*. Working Paper, 24, S.78, Lands Directorate Environment Canada, Univ. of Waterloo.
- E.C.O. (1998): *Monitoring- und Forschungskonzept für den Nationalpark Donau-Auen*. Studie im Auftrag der Nationalpark Donau-Auen GesmbH, Klagenfurt.
- FISCHER, A. (1992): *Long Term Vegetation Development in Bavarian Mountain Forest Ecosystem Following Natural Destruction*. *Vegetatio*, 103, S.93-104.
- GOLDSMITH, B. (1991): *Monitoring for Conservation and Ecology*. Chapman & Hall, London, 275 S.
- JUNGMEIER, M. (1997): *Ecosystem Monitoring in Conservation Management - Selected Results of an International Survey of 152 National Parks*. Proceedings of the Symposium on „Research, Conservation, Management“ in Aggtelek National Park. 1-5 May 1997, S. 139-151.
- JUNGMEIER, M. (Ltg.), HAUSHERR H. & G. EGGER (1998): *Langzeitmonitoring Nationalpark Hohe Tauern*. Studie im Auftrag des Nationalparkrates und des Bundesministeriums für Umwelt, Klagenfurt, in prep.
- TRAXLER A. (1997): *Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings*. UBA-Monografien, Bd 89A, Wien, 397.