

Puzzle statt Schach

Eine naturräumliche Mosaikkarte der Schweiz und Liechtensteins in digitaler Form

Edwin Urmi & Norbert Schnyder, Zürich

Zusammenfassung

Die Autoren stellen ein digitalisiertes Naturraumnetz der Schweiz und Liechtensteins vor, das sie erarbeitet haben, um Verbreitungsdaten von Moosen kartographisch darzustellen. Bei der Herstellung dieser Karte wurde darauf geachtet, dass die einzelnen Flächeneinheiten in bezug auf Untergrund und Klima möglichst homogen und in der Grösse untereinander vergleichbar sind. Das Produkt ist im Hinblick auf Verwendung mit ARC/INFO® zusammen konzipiert, doch ist es auch in andere geographische Informationssysteme übertragbar. Es umschreibt für die Schweiz 413 naturräumliche Einheiten mit einer mittleren Fläche von genau 100 km², für Liechtenstein 2 etwas kleinere. Das System hat sich für den ursprünglich vorgesehenen Zweck bewährt, kann aber mit oder ohne Modifizierung auch für die Verarbeitung und Darstellung anderer geographischer Daten Verwendung finden.

A digital system of physiographic surface units in Switzerland and in Liechtenstein

The authors propose a digitalized system of physiographic units allowing to produce automatically bryophyte distribution maps. The units were generated to be comparable in size and to be as homogeneous as possible regarding geology and climate. The system was designed for ARC/INFO® but it can be applied together with other geographical information systems. It consists of 413 physiographic units of Switzerland with an average surface of exactly 100 km² and of 2 smaller units of Liechtenstein. It proved useful for the purpose for which it was originally assigned. With or without modifications, it is expected to facilitate the processing and the presentation of other geographical data, too.

1 EINLEITUNG

Das Verstehen und die Weiterverwendung thematischer Karten sind wesentlich leichter, wenn die zugrundegelegten Daten adäquat dargestellt sind. Die kartographische Tradition in der Schweiz erlaubt die Orientierung an vielen guten Vorbildern (IMHOF, 1966, 1972; STAMMHERR, 1965).

Die Verbreitung von Objekten oder Gelände-Eigenschaften kann mit Hilfe von Signaturen, deren jede das Vorkommen in einer Flächeneinheit des bearbeiteten Gebietes anzeigt, dargestellt werden. Solche Karten eignen sich gut zur Darstellung der Verbreitung von Organismen und werden daher häufig für biogeographische Zwecke gebraucht. Sie haben ganz allgemein den Vorteil, dass ohne Interpolation eine optische Flächenwirkung erzielt werden kann, auch wenn die zugrunde gelegten Daten eine geringe Dichte aufweisen. Dies setzt allerdings die Wahl geeignet grosser Signaturen voraus.

Als Flächeneinheiten werden meist Quadrate verwendet, die sich von einem Kilometer-Koordinatennetz ableiten, z. B. 50 x 50 km im UTM-Netz (JALAS & SUOMINEN, 1972). Verbreitungskarten, die auf einem Quadratnetz beruhen, werden Rasterkarten genannt. Sie können durch einfache Umwandlung der Fundortskordinaten mit einem gewöhnlichen Kartenzeichnungsprogramm hergestellt werden.

Die Zahl der Rasterflächen kann unabhängig vom Massstab variiert werden. Bei genügender Dichte der Daten kann diese Zahl so gross werden, dass sich eine Rasterkarte einer Karte mit Flächensignatur stark annähert. Man vergleiche z.B. die Karte 1 aus dem Schweizerischen Landesforstinventar (EIDG. ANST. FORSTL. VERSUCHSW., 1988) mit Karte 54 aus dem Atlas der Schweiz (INST. F. FORSTL. BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE, 1966). Eine kleine Zahl von Einheitsflächen (z. B. < 100) ist nur dann sinnvoll, wenn die Flächen natur- oder kulturräumliche oder politische Einheiten sind (SPIESS,

1975) und nicht zufällig über die Landschaft gelegte Quadrate. Der Informationsgehalt von Rasterkarten mit wenigen Rasterflächen ist gegenüber demjenigen der zugrundegelegten Daten stark vermindert, und die graphischen Vorteile der Rasterkarte wiegen dieses Missverhältnis nicht auf.

Den Karten anstelle der Quadrate unregelmässige naturräumliche Flächeneinheiten zugrunde zu legen, ist weniger üblich. Das Zeichnen von Verbreitungskarten ist dann nur noch in spezialisierten Informationssystemen möglich. Alle Fundorte, die in einer der Flächeneinheiten liegen, müssen als zugehörig erkannt und zu einer einzigen Signatur zusammengefasst werden. Wie im folgenden gezeigt wird, kann es von Vorteil sein, mit Polygonen naturräumlicher Art zu arbeiten.

Die Kartierungskommission der Schweizerischen Vereinigung für Bryologie und Lichenologie¹ (SVBL) suchte für das «Naturräumliche Inventar der Schweizer Moosflora» (NISM) nach einer geeigneten Art, die Ergebnisse kartographisch darzustellen. Die Verbreitungskarten der einzelnen Moosarten sollten einheitlich gestaltet und leicht lesbar sein, aber auch eine differenzierte Darstellung verschiedener Parameter erlauben. Die Kommission entschied sich für eine naturräumliche Karte nach dem Vorbild des «Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz» (WELTEN & SUTTER, 1982). Aufbauend auf den Erfahrungen mit den Karten dieses Atlanten erarbeiteten die Autoren ein neues Netz und digitalisierten es anschliessend. Das konkrete Ziel war dabei, das bearbeitete Gebiet in möglichst einheitliche Teilgebiete vergleichbarer Grösse und geeigneter Anzahl zu gliedern.

Das Fürstentum Liechtenstein wurde in dieses Projekt einbezogen, weil einer der Mitarbeiter dort wohnt und viele Daten gesammelt hat. Dieses Land wurde immer separat behandelt, aber in der gleichen Weise in naturräumliche Einheiten gegliedert wie die Fläche der Schweiz.

2 HERSTELLUNG DER KARTE

2.1 Grundlagen und Kriterien für die Abgrenzung der naturräumlichen Einheiten

Als wichtigste Grundlage diente die «Naturräumliche Gliederung» der Schweiz von GUTERSOHN (1973). Seine Naturräume erster und zweiter Ordnung wurden zunächst mittels der Kontinentalwasserscheiden weiter unterteilt und nicht zusammenhängende Teile separat bezeichnet. Dies ergab für

die Schweiz 29 Naturräume zweiter Ordnung mit unterschiedlicher Grösse (Abb. 1; Tab. 1). Bei der weiteren Unterteilung waren, wie in Gutersohns Naturraumkarte, hauptsächlich *geomorphologische Kriterien* massgebend. Drei Einheiten sind nicht eigentliche Naturräume, weil sie nach ihrer Homogenität in bezug auf andere als natürliche Faktoren festgelegt wurden. Bei den beiden, die den Schweizerischen Nationalpark abdecken, geht es um die spezielle Nutzung als Reservat, und bei der Fläche «Zürich» ist die dichte Bebauung und der hohe Anteil der versiegelten Fläche (Stadtzentrum, Flughafen) ausschlaggebend. Im übrigen kamen die folgenden Kriterien zur Anwendung.

- Grösse und Form der Flächeneinheiten betreffend:

Bei einer Richtgrösse von 100 km² ergibt sich für die Schweiz die sinnvolle Anzahl von etwas mehr als 400 naturräumlichen Einheiten.

- I Die *Fläche* dieser Einheiten soll zwischen 50 und 150 km² liegen (einzige Ausnahme: Mendrisiotto mit ca. 36 km², weil eigener Naturraum 1. Ordnung).
- II Die 29 Naturräume der Schweiz sind so zu unterteilen, dass in jedem von ihnen die *mittlere Flächengrösse* möglichst nahe bei 100 km² liegt.
- III Die Einheiten sollen *zusammenhängende Flächen* sein (3 Ausnahmen, nur an der Landesgrenze: Rodersdorfer Zipfel zur Fläche «Basel», Riehener Zipfel zur Fläche «Pratteln», Punt dal Gall zur Fläche «Val Mora»).
- IV Die Flächeneinheiten sollen nicht mehr als 25 km *maximale Ausdehnung* haben (eine Ausnahme: Zürichsee).
- V Die *Breite* der Flächen soll 1 km nicht wesentlich unterschreiten (zwei Ausnahmen: schmale Korridore der Flächen «Cholfirst» bei Biberen SH und «Vierwaldstättersee West» zum Alpnacher See).

- Die Homogenität betreffend:

- VI Grössere einheitliche und ganz oder streckenweise scharf begrenzte Gebiete werden als eigene Flächen abgegrenzt und gegebenenfalls unterteilt. Es handelt sich um die fünf *Seen Lac Léman, Bodensee, Lac de Neuchâtel, Vierwaldstättersee und Zürichsee* sowie um die beiden grössten *Firn- und Gletschergebiete*, nämlich die oberen Teile des Aletschgletschers und des Gornergletschers im weiteren Sinn. Dabei sind Inseln und Nunataker, kleineren Gewässern in Landflächen entsprechend, eingeschlossen.
- VII *Geologischer Untergrund*: Soweit überhaupt möglich, wurden einige Einheitsflächen ganz in weitgehend reine Silikatgebiete (Sustenhorn, Göschenen, Handegg, Val Strem, Dischma, Pischahorn, Silvrettahorn, Aiguilles d'Argentières, Pigne d'Arolla, Randa, Wannenhorn,

¹ Moos- und Flechtenkunde.

Bietschhorn, Val Verzasca, Biasca, Monte Lema, Camoghè, Piz Vadret) oder Kalkgebiete (Courtemaiche, Clos du Doubs, Napf, Bödmeren, Melchsee-Frutt) gelegt. Dazu wurde die geologische Karte 1:500 000 von SPICHER (1972) verwendet.

VIII *Grossklima*: Durch die Forderung, dass die Höhenamplitude der Einheiten 2000 m nicht übersteigen darf (Tiefe der Seen nicht mitgerechnet), wird vermieden, dass sehr grosse Unterschiede der Jahresmitteltemperaturen innerhalb der einzelnen Flächen vorkommen. Dabei gibt es eine einzige Ausnahme mit 2060 m maximaler Höhendifferenz (Cornettes de Bise). Ausserdem sind Haupttäler und -bergzüge mit Ost-West-Ausrichtung längs geteilt, während Nord-Süd gerichtete eher quer geteilt wurden. Dadurch kommen grössere südexponierte Hänge nicht in die gleichen Einheiten zu liegen wie entsprechende Nordflanken. Zusätzlich wurde auf die Jahres-Niederschlagssummen geachtet, so dass gegensätzliche Extrema immer verschiedenen Flächen zugeordnet sind. Die hierfür verwendeten Karten stammen von SCHÜEPP & ZINGG (1965) für Temperatur und von ÜTTINGER (1967) für Niederschlag.

Anders als in flachen Ländern ist die resultierende Homogenität eine relative. Dies ist eine Folge der grossen geologischen Diversität auf kleinem Raum und der häufig steilen Klimagradienten im topographisch stark gegliederten Alpenraum.

- *Die Grenzen betreffend*:

IX Da es natürlicherweise nur wenige scharfe Grenzen gibt, konnte der genaue Verlauf der Grenze zwischen zwei naturräumlichen Einheiten meist willkürlich festgelegt werden. Daten, die zu beiden Seiten eines während der Feldarbeit zurückgelegten Weges anfallen, sollten nicht verschiedenen Einheiten zugeordnet werden müssen. Dieser Forderung entsprechend, wurden Grenzen vor allem dort gelegt, wo Sammeltätigkeit von Naturwissenschaftlern wenig wahrscheinlich ist. Wo immer möglich sind es Hauptverkehrswege wie Autobahnen, andere breite Strassen und Bahnlinien oder schlecht zugängliche Steilhänge und Felswände. Linien, die als Exkursionswege besonders geeignet sind wie Fusswege, Feld- und Waldwege, Bäche, Uferlinien grösserer Gewässer (mit Ausnahme der fünf grössten Seen), Waldränder oder begehbare Berggrate sind nur ausnahmsweise als Grenzen festgelegt. Im übrigen wurde darauf geachtet, keine gut begrenzten Landschaftselemente zu zerschneiden; z.B. sind kleinere Seen überhaupt nicht und Flüsse nie längs geteilt.

2.2 Ausführung

Der erste Schritt war die Festlegung der Grenzen der Naturräume erster und zweiter Ordnung nach GUTERSOHN (1973) auf der Landeskarte der Schweiz 1:100 000. Wenige Korrekturen waren nötig, und einige Änderungen schienen sinnvoll. Durch den Einbezug der Kontinentalwasserscheiden erhöhte sich die Zahl der Naturräume zweiter Ordnung der Schweiz auf 29 (inkl. Liechtenstein 30, Tab. 1). Die Wasserscheiden wurden vorgängig auf der Landeskarte der Schweiz 1:25 000 festgelegt und angemessen generalisiert auf 1:100 000 übertragen. Dabei wurden Gebiete ohne oberirdischen Abfluss dem Einzugsgebiet zugeschlagen, mit dem sie über die niedrigere Schwelle verbunden sind. Das Einzugsgebiet des künstlich geteilten Baches «Ri della Valletta» im Gotthardgebiet wurde seinem ursprünglichen Lauf entsprechend dem Ticino zugeteilt. Geringfügige Abweichungen der Wasserscheiden von der Landesgrenze (z. B. in der Ajoie) sind nicht berücksichtigt.

Die Unterteilung des Fürstentums Liechtenstein entspricht im wesentlichen den landesüblichen Bezeichnungen «Tal» und «Berg».

In einem zweiten Schritt wurden die Grenzen der Naturräume zweiter Ordnung auf einen Auszug der Generalkarte der Schweiz 1:300 000 übertragen. Die 30 Flächen wurden planimetriert. Danach konnten die Zahlen der auf jeden Naturraum entfallenden Einheiten festgelegt und schliesslich eine provisorische weitere Unterteilung vorgenommen werden.

Die genaue Festlegung der Grenzlinien erfolgte wieder im Massstab 1:100 000. Eine Ausnahme bilden die Seeflächen. Um eine möglichst gute Annäherung der Grenzen an die wirkliche Uferlinie zu erreichen, wurden die Uferstrecken auf der Landeskarte der Schweiz 1:25 000 festgelegt. Für eine scharfe Trennung zwischen landlebenden Organismen und eigentlichen Wasserorganismen wird es auch so noch nötig sein, bei ufernahen Funden anzugeben, ob sie aus dem Wasser stammen oder von ausserhalb. Dies gilt aber nur für die fünf grössten, als eigene Einheiten ausgeschiedenen Seen. Bei allen anderen Gewässern wurde es vermieden, Uferlinien als Grenzen zu wählen.

Alle Grenzlinien wurden in gerade Strecken unterteilt und die Streckenzüge mittels ihrer Eckpunkte auf der Karte eingetragen. Ohne die Landesgrenzen, die digital verfügbar sind, handelt es sich um 16 977 Punkte. Diese bilden mit ihren Polygonzügen ein Mosaik von 413 naturräumlichen Einheiten für die Schweiz. Zusammen mit den beiden liechtensteinischen Teilflächen ergeben sich also 415 Flächenein-

Tab. 1. Die 30 Naturräume 2. Ordnung sensu NISM mit Angabe des Fluss-Systems, in dessen Einzugsgebiet sie liegen, ihrer Zugehörigkeit zu den Naturräumen 2. Ordnung sensu GUTERSOHN (1973) und der Zahl der in ihnen enthaltenen Einheiten.

Tab. 1. The 30 physiographic regions of secondary order sensu NISM with quotation of the river basins and the physiographic regions of secondary order sensu GUTERSOHN (1973) to which they belong, and the number of units they include.

SCHWEIZ

A Oberrheinische Tiefebene

1 Basel und Umgebung Rhein . . . - 1

B Jura

2 Schaffhauser Jura (Randen) Rhein . . . Tafeljura 2

3 Basler und Aargauer Tafeljura Rhein . . . Tafeljura 7

4 Ajoie Rhône . . . Tafeljura 2

5 Chaînes du Jura dans le bassin du Rhin . . . Rhein . . . Kettenjura 23

6 Chaîne du Montgremay Rhône . . . Kettenjura 1

7 Les Montagnes Rhône . . . Kettenjura 2

8 Versant sud du Mt-Tendre Rhône . . . Kettenjura 2

9 Franches-Montagnes est Rhein . . . Plateaujura 2

10 Franches-Montagnes ouest Rhône . . . Plateaujura 2

C Mittelland

11 Région lémanique Rhône . . . Intramoränisches Mittelland 12

12 Südwestliches Aaregebiet Rhein . . . Intramoränisches Mittelland 38

13 Östliches intramoränisches Mittelland . . . Rhein . . . Intramoränisches Mittelland (emend.) 49

14 Schwarzenburgerland Rhein . . . Extramoränisches Bergland 1

15 Napfbergland Rhein . . . Extramoränisches Bergland 12

16 Hörnlibergland Rhein . . . Extramoränisches Bergland 3

17 Irchel Rhein . . . Extramoränisches Bergland 1

18 Unteres Aare-Rhein-Gebiet Rhein . . . Extramorän. Hügel- und Schotterareale 9

D Alpen

19 Nordalpen im Einzugsgebiet des Rheins . . . Rhein . . . Alpen-Nordflanke (emend.) 88

20 Chablais suisse Rhône . . . Alpen-Nordflanke 10

21 Valais Rhône . . . Inneralpine Gebiete 45

22 Nord- und Mittelbünden Rhein . . . Inneralpine Gebiete 42

23 Engiadina En . . . Inneralpine Gebiete 18

24 Val Müstair Rom . . . Alpen-Südflanke 1

25 Val Poschiavo Po . . . Alpen-Südflanke 3

26 Val Bregaglia Po . . . Alpen-Südflanke 2

27 Alpi Ticinesi Po . . . Alpen-Südflanke 31

28 Simplon-Südseite Po . . . Alpen-Südflanke 3

E Hügelland am Nordrand der Po-Ebene

29 Mendrisiotto Po . . . - 1

FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

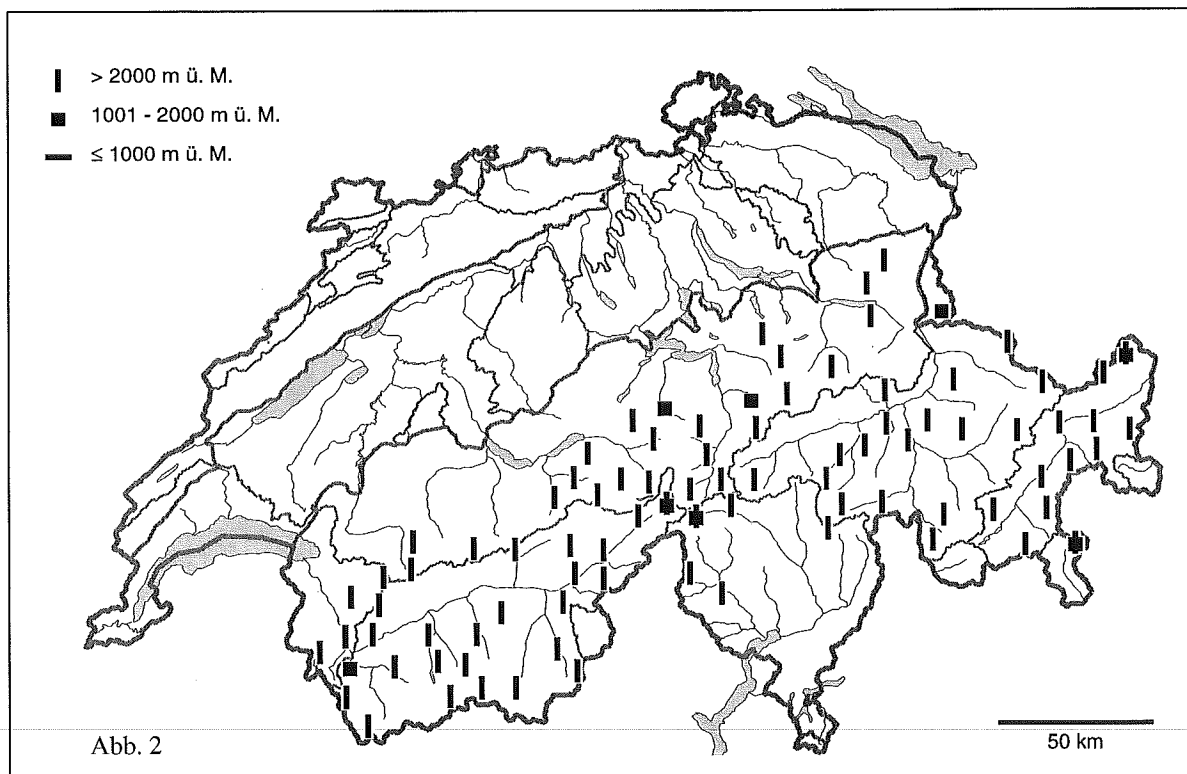
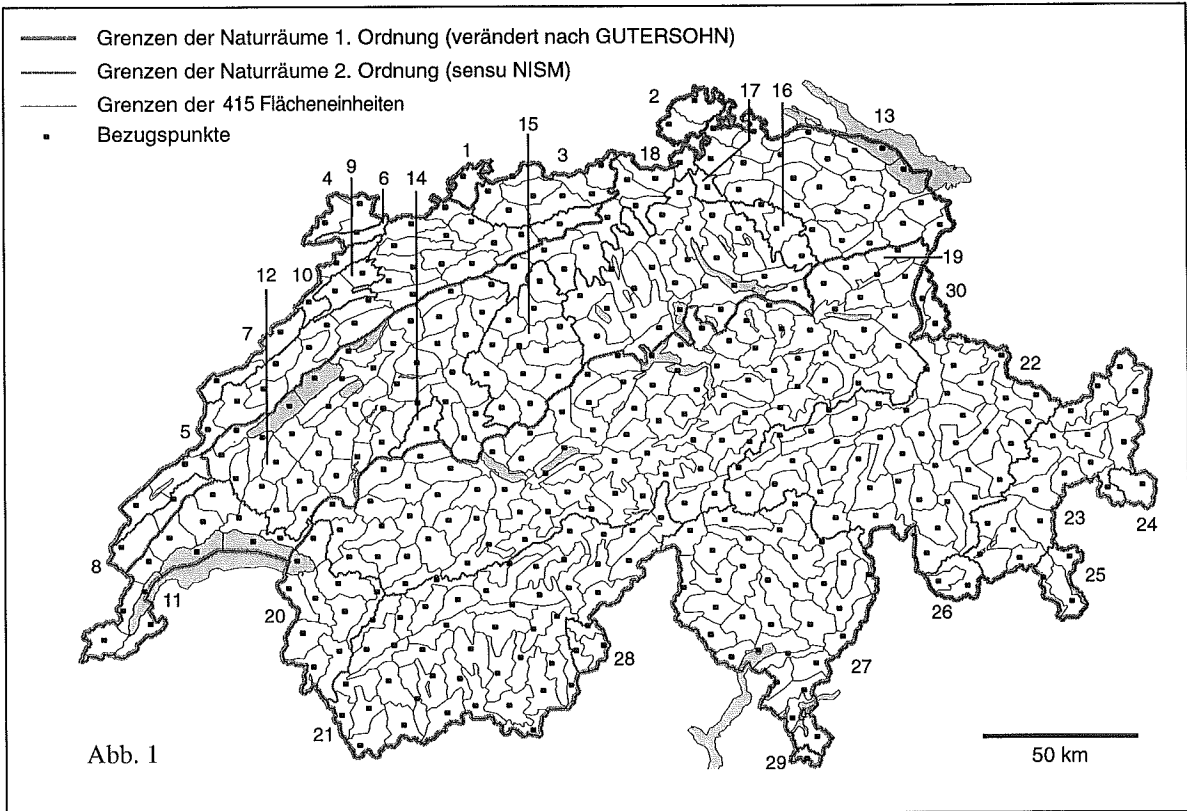
30 Liechtenstein Rhein . . . - 2

Abb. 1. Die 415 Flächeneinheiten mit ihren Bezugspunkten und ihrer Zugehörigkeit zu Naturräumen zweiter Ordnung (Nrn. s. Tab. 1).

Fig. 1. The 415 units with their reference points, and their combination into physiographic regions of secondary order (nrs. Tab. 1).

Abb. 2. Bekannte Verbreitung des Lebermooses *Anthelia julacea* (L.) Dum. subsp. *juratzkana* (Limpr.) Meyl. in der Schweiz und in Liechtenstein. Die Karte zeigt zudem, dass diese Sippe unterhalb 1000 m ü. M. nicht vorkommt.

Fig. 2. Known distribution of the liverwort *Anthelia julacea* (L.) Dum. subsp. *juratzkana* (Limpr.) Meyl. in Switzerland and in Liechtenstein.



heiten, die im folgenden oft kurz «Einheiten» genannt werden.

Nachträgliche Korrekturen ergaben sich hauptsächlich aus der Beschränkung der Höhenamplitude und der Flächengrösse. In allen die Höhe betreffenden Zweifelsfällen wurde zur Entscheidung die Landeskarte der Schweiz 1:25 000 herangezogen.

Für die digitale Umsetzung der Naturraumgrenzen und die Herstellung der Karten wird das geographische Informationssystem ARC/INFO® von ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.), zuerst auf VAX/VMS und später auf SUN/UNIX verwendet. Es besteht aus zwei miteinander verbundenen Teilen, dem Graphikprogramm ARC und der Datenbank INFO, in der alle Koordinaten und weiteren Informationen gespeichert werden.

Die Grenzen der naturräumlichen Einheiten wurden auf einem Digitalisierbrett (Tektronix) mit dem «ARC Digitizing System» (ADS) aus der Landeskarte der Schweiz im Massstab 1:100 000 in kurzen Stücken eingegeben. Die digitalisierten Netze der einzelnen Kartenblätter wurden anschliessend mit Hilfe der Befehle «edgematch» und «append» zu einem Netz für die ganze Schweiz zusammengesetzt.

Dieses Liniennetz kann noch nicht für Zuordnungen verwendet werden. Dafür musste zuerst die Polygon-Topologie aufgebaut werden (Befehl «build»), damit die von den Polygonen umschriebenen Flächen als solche definiert sind. Dies ist wichtig, um darinliegende Fundorts-Punkte den naturräumlichen Einheiten zuordnen zu können, indem die Fundorts-Punktkarte mit der naturräumlichen Polygonkarte überlagert wird («identity» oder «intersect»). Beim Aufbau der Topologie wird vom Programm auch die Flächengrösse und der Umfang berechnet. Damit ist die grundlegende Ebene der Polygone aller definierten naturräumlichen Einheiten fertiggestellt; sie wird im ARC/INFO als «Coverage» bezeichnet.

Jeder Einheit wurde sodann ein Name und eine vierstellige Nummer zur eindeutigen Identifikation zugewiesen. Die erste Ziffer der Nummer bezeichnet die Zugehörigkeit zum Naturraum erster Ordnung, die zweite (und gegebenenfalls dritte) diejenige zu den genannten 30 Naturräumen zweiter Ordnung und im Normalfall die beiden letzten eine eindeutige Numerierung innerhalb dieser. Aufgrund dieser hierarchischen Numerierung kann so jederzeit auf übergeordnete Naturräume zugegriffen werden. Aus der ursprünglichen Karte kann so leicht eine Karte der Naturräume erster bzw. zweiter Ordnung erzeugt werden, indem die Grenze zwischen den zugehörigen Polygonen aufgelöst wird («eliminate»).

Für jede Fläche musste sodann die Lage des Bezugspunktes, an dem die gewünschte Signatur gezeichnet werden soll,

von Hand so festgelegt werden, dass bei der Verwendung der Karte eine möglichst gleichmässige Verteilung der Signaturen ohne Überschneidungen und ohne grössere Lücken resultiert.

3 DAS PRODUKT «NISM-PUZZLE»

Die Karte der Abb. 1 zeigt die Grundkarte mit dem Netz der Naturraumgrenzen und einem Bezugspunkt in jeder Einheit. Die Zusammenfassung der Einheiten zu übergeordneten Naturräumen ist durch dickere Grenzlinien angedeutet. Die Karte beruht auf der schiefachsigen Zylinderprojektion der Landeskarten der Schweiz.

Das bearbeitete Gebiet umfasst die Hoheitsgebiete der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein. Die Enklaven Büsingen und Campione bleiben unbearbeitet. Die Grenze konnte in digitaler Form vom Geographischen Institut der Universität Zürich übernommen werden, ebenso die Umriss der kleineren Seen. Wo die Staatsgrenze nicht definiert ist (Bodensee und Untersee), wurde sie nach Gutdünken etwa in der Mitte der Seen festgelegt.

Die Schweiz ist in 413 naturräumliche Einheiten mit einer mittleren Flächengrösse von 100,0 km² unterteilt, Liechtenstein in 2 mit einem Mittel von 80,7 km².

In den Verbreitungskarten (Abb. 2) bedeutet jede Signatur, dass die betreffende Moosart in der betreffenden Flächeneinheit wenigstens einmal festgestellt wurde. Über ihre Häufigkeit und ihre Verteilung innerhalb der Einheit ist damit noch nichts ausgesagt. Die Häufigkeit kann durch geeignete Differenzierung der Signaturen angegeben werden. Für die Darstellung der Verteilung müssen die einzelnen Vorkommen lagetreu dargestellt werden. Dies ist im vorliegenden Projekt für die überwiegende Zahl der Daten leicht möglich, weil sie mit Koordinaten versehen sind.

Die bisher festgestellten *Nachteile* des Systems seien zuerst behandelt:

a) Der Arbeitsaufwand war erheblich. Er ist aber gerechtfertigt, weil allein für die Moose mehr als tausend Verbreitungskarten erstellt werden sollen, und ausserdem durch die breite Verwendbarkeit der digitalen Grundkarte für andere Zwecke. Die vorliegende Version kann mit relativ geringem Aufwand modifiziert werden.

b) Der Aufwand an Rechenzeit wird wettgemacht durch die zeitsparende automatische Zuordnung der Daten (sofern sie mit Koordinaten verfügbar sind). Ausserdem fallen so ein Übertragungsschritt und mit ihm die unvermeidlichen Übertragungsfehler weg.

c) Die unterschiedliche Grösse der Flächeneinheiten kann die statistische Auswertung erschweren. Das gleiche Problem stellt sich in verstärkter Form entlang der Landesgrenze aber auch bei einem Quadratraster. Die Erfahrung lehrt ausserdem, dass sich die Zahl der festgestellten Arten mit zunehmender Flächengrösse nur langsam ändert (WOHLGEMUTH, 1993). Inwieweit sich die Schwankungen von $\pm 50\%$ auswirken, kann erst nach Abschluss der Arbeiten geprüft werden. Es wird ohnehin nicht der gleiche Aufwand getrieben für die Bearbeitung jeder Einheit. Die standardisierten Aufnahmen zur Datengewinnung (URMI et al., 1990) sind, obwohl gleichmässig über das ganze Bearbeitungsgebiet, ungleich auf die naturräumlichen Einheiten verteilt. Dies bedeutet eine Diskriminierung einzelner Flächen. Wo sich dies störend auswirkt, kann man aber leicht auf ein Quadratraster ausweichen.

Demgegenüber sind folgende *Vorteile* zu nennen:

a) Darüber, ob eine Anordnung der Signaturen in Zeilen und Kolonnen graphisch weniger ansprechend ist als eine unregelmässige Anordnung bei gleichmässiger Verteilung, kann man lange streiten. Wir werten letztere als einen Vorteil (WELTEN, 1971).

b) Jedenfalls gibt es bei naturräumlicher Einteilung viel weniger und keine sehr kleinen Flächeneinheiten (415 vs. 506).

c) Alte ungenaue Fundortsangaben können häufiger einem Naturraum zugeordnet werden als einem Koordinatenquadrat, weil die verwendeten Namen oft einen Naturraum bezeichnen (z. B. «Rigi»).

d) Wegen der Kriterien für die Grenzziehung kommen benachbarte Funde im Naturraumnetz weniger häufig in verschiedene Flächen zu liegen als im Quadratraster.

e) Im naturräumlichen Netz können die Bezugspunkte so platziert werden, dass keine Signaturen auf Naturraumgrenzen tiefer Ordnung zu liegen kommen. Bei Arten, die auf bestimmte grössere Naturräume beschränkt sind, wird dadurch diese Tatsache sofort deutlich. Bei zu geringer Datendichte bzw. bei lückiger Bearbeitung kann sich das positiv auswirken, indem die Lücken zur Interpretation der Karte mit grösserer Sicherheit gedanklich ausgefüllt werden können.

f) Im allgemeinen kann man davon ausgehen, dass Organismen mehr oder weniger stark an bestimmte Lebensbedingungen gebunden sind. Die hier vorgestellten naturräumlichen Einheiten sind im Hinblick auf mehrere Parameter, die für Pflanzen relevant sind, erheblich homogener als streng geometrische Flächen. Es ist also zu erwarten, dass die Verbreitungsgrenzen von Arten häufiger mit Naturraumgrenzen übereinstimmen als mit der Begrenzung von Rasterquadra-

ten. In naturräumlicher Darstellung eines bestimmten Datensets müsste daher eine geringere Zahl von Flächeneinheiten mit Vorkommen resultieren als in einer Quadrat-Rasterkarte der Verbreitung. Dies ist zwar nicht in jedem geprüften Fall so; der Effekt lässt sich aber nachweisen. In einem Vergleich der beiden Kartentypen bei 31 gut untersuchten Arten über eine Fläche von 10 000 km² mit Anteil an den drei grossen Hauptnaturräumen der Schweiz ergab sich eine Verringerung der Anzahl der Signaturen, die im Mittel ziemlich genau 10% beträgt.

4 ANWENDUNG

4.1 Ein Beispiel

Im folgenden soll die Eignung der Karte am Beispiel des Inventars, für das sie zunächst konzipiert war, aufgezeigt werden.

Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgt nicht aufgrund der naturräumlichen Flächeneinheiten, sondern nach quadratischen Bearbeitungsflächen in einem 10x10-km-Raster auf der Grundlage des Schweizer Kilometerkoordinaten-Netzes. Eine detaillierte Beschreibung der Erhebungsmethode befindet sich bei URMI et al. (1990).

Die Fundorts-Koordinaten der berücksichtigten Belege werden meist mit 4 Ziffern auf 100 m genau erfasst. Von den nachgeprüften älteren Herbarbelegen werden die Koordinaten nach der Lokalisierung des Fundortes auf der Karte geschätzt (meist auf 1 km genau). Bei weniger genauen Fundortsangaben wird versucht, die Belege wenigstens einer 10x10-km-Bearbeitungsfläche zuzuordnen oder noch besser, einer naturräumlichen Einheit.

Jeder Beleg wird mit den genauen Fundortsangaben, sowie weiteren Informationen zur Ökologie in einer «Oracle»®-Datenbank auf dem Hauptcomputer (IBM AIX / 6000) der Universität Zürich gespeichert.

Datenselektion

Da die Datenbank und das geographische Informationssystem nicht auf der gleichen Maschine installiert sind, mussten die Daten zuerst im Oracle selektioniert werden, dann zum ARC/INFO transferiert und dort zu einer Verbreitungskarte weiterverarbeitet werden. Bei der aktuellen ARC/INFO-Version ist die Datenselektion auch direkt aus externen Datenbanken möglich. Dazu werden zwei getrennte Abfragen für das ausgewählte Taxon durchgeführt: das erste Datenfile

enthält nur die Koordinaten der gespeicherten Fundorte sowie zur Identifizierung die eindeutige Nummer des gespeicherten Beleges, denn ARC/INFO kann nur so eine neue Punkt-Coverage generieren. Alle weiteren Informationen zu den ausgewählten Fundorten müssen in ein zweites Datenfile gelesen und so in die INFO-Datenbank transferiert werden. Es enthält wiederum die eindeutige Belegnummer, damit die Informationen den richtigen Koordinaten zugeordnet werden können, sodann Angaben über die Höhenlage des Fundortes, die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Aufnahme, das Funddatum und Codezeichen für den Standortstyp und die Substratklasse. Gleichzeitig wird die Datenbank auf das Vorkommen weiterer Funde (meist von alten Herbarbelegen) des gleichen Taxons überprüft, die nur ungenaue Fundortsangaben wie z. B. «Rigi» aufweisen, denen keine Koordinaten zugewiesen und die somit bei den obigen Abfragen nicht berücksichtigt werden konnten. Sind solche vorhanden, gelingt es oft, diese Fundangaben auf der Landeskarte der zugehörigen naturräumlichen Einheit zuzuordnen (Beispiel: 4027, Rigi) und so trotzdem zu verwenden.

Verarbeitung der Daten

Die aus der Datenbank herausgelesenen Koordinaten werden im ARC/INFO zu einer Punkt-Ebene aufgebaut («generate»), während die Attribut-Daten in eine INFO-Tabelle kopiert werden. Diese Punkt-Coverage wird nun mit der Polygon-Coverage verschnitten, woraus eine neue Punktebene hervorgeht, welche die gleiche Anzahl Punkte beibehält, zusätzlich aber für jeden Punkt die Information enthält, in welcher Polygonfläche er liegt. Neben die Datentabelle dieser Coverage wird nun die Attribut-Tabelle kopiert, damit zu jedem Punkt die zusätzlichen Informationen verfügbar sind. Mit Hilfe der «Statistics»-Funktion wird die Tabelle bezüglich der einzelnen Flächeneinheiten aufsummiert; daraus entsteht eine neue Tabelle mit all jenen Flächen, in denen mindestens ein Fundort liegt. Für jede Fläche wird die Anzahl der Fundorte angegeben, aufgeschlüsselt nach Höhen- und Zeitklasse, Zugehörigkeit zu einem bestimmten Typ von Aufnahmen u. a.

Zeichnen thematischer Karten

Mit dem Zeichenprogramm «arcplot» wird die Verbreitungskarte gezeichnet. Es werden einerseits Kartengrundlagen – wie im vorliegenden Beispiel die Naturraumflächen zweiter Ordnung und die Seen – gezeichnet; andererseits werden, mit einem Bezug auf die erwähnte Datentabelle, diejenigen Einheits-Polygone ausgewählt, in denen Fundorte der gewünschten Art liegen, und dann die ausgewählte Signatur am

vordefinierten Bezugspunkt des Polygons gezeichnet. Dieser Vorgang wird für jeden einzelnen der differenzierenden Parameter (z. B. Höhenlage oder Sammelperiode) oder Kombinationen von solchen getrennt wiederholt, damit je die entsprechende Signatur gezeichnet wird. Schliesslich wird die Karte als Druckfile abgespeichert. Die vorliegenden Beispiele wurden in ADOBE ILLUSTRATOR® eingelesen und dort zum endgültigen Aussehen weiterverarbeitet.

Die Signaturen wurden mit dem speziellen Editor («markeredit») selber gezeichnet und in einen Font umgewandelt («fontcreate»), damit die gewünschte, nach Höhenstufen oder anderen Kriterien differenzierte Darstellung möglich wird (Abb. 2).

4.2 Weitere Möglichkeiten der Anwendung

Am ehesten wird sich das System zur Darstellung der Verbreitung von Organismen verwenden lassen, grundsätzlich ist es aber für jede thematische Karte geeignet, bei der eine Darstellung der naturräumlichen Verteilung möglich und sinnvoll ist. Nicht nur das Vorkommen bestimmter Landschaftselemente lässt sich damit veranschaulichen, sondern auch räumlich strukturiertes Datenmaterial quantitativer Art. Der Übertragung in andere geographische Informationssysteme sollte nichts im Wege stehen. Wer den zusätzlichen Aufwand nicht scheut, kann auch durch weitere Unterteilung der Einheitsflächen höhere Auflösung erreichen.

Interessierte können das beschriebene Naturraumnetz «NISM-Puzzle» unter bestimmten Bedingungen als ARC/INFO-Coverage an der angegebenen Adresse von den Autoren beziehen.

5 DANK

Wir danken Herrn Prof. Dr. K. Brassel für die Möglichkeit zur Mitbenützung des Programmpakets ARC/INFO auf dem Computer des Geographischen Instituts der Universität Zürich und Herrn C. Gees für anfängliche Hilfe dabei. Herrn Prof. Dr. R. Weibel und Herrn Dr. G. Dorigo vom gleichen Institut verdanken wir Beratung zur kartographischen Terminologie und zur Praxis der Kartenherstellung. Der Leitung und den Mitarbeitern der Abteilung Fernerkundung der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf danken wir für Beratung und dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft für die weitgehende finanzielle Unterstützung des Projekts NISM. Besonders dankbar sind wir den ehrenamtlichen Mitarbeitern an diesem Projekt für ihre Beiträge zur Datenbank und Frau Dr. I. Bisang für hilfreichen Kommentar zum Manuskript.

6 LITERATUR

EIDGENÖSSISCHE ANSTALT FÜR DAS FORSTLICHE VERSUCHSWESSEN (Hrsg.), 1988. Schweizerisches Landesforstinventar. – Eidg. Anst. Forstl. Versuchsw. Ber., 305, 1–375, Beilagen.

GUTERSOHN, H. 1973. Naturräumliche Gliederung. In: «Atlas der Schweiz», E. IMHOF (Hrsg.), Taf. 78. – Eidg. Landestopographie, Wabern-Bern.

IMHOF, E. 1966. Bevölkerungsverteilung 1960. In: «Atlas der Schweiz», E. IMHOF (Hrsg.), Taf. 23. – Eidg. Landestopographie, Wabern-Bern.

IMHOF, E. 1972. Thematische Kartographie. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie, Bd. X. – De Gruyter, Berlin, New York, 160 pp.

INSTITUT FÜR FORSTLICHE BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE, 1966. Wald, Jagd, Fischerei, Naturschutz. In: «Atlas der Schweiz», E. IMHOF (Hrsg.), Taf. 54 und 54a. – Eidg. Landestopographie, Wabern-Bern.

JALAS, J. & SUOMINEN, J. (eds.). 1972. Atlas Florae Europaeae. – The Committee for Mapping the Flora of Europe & Societas Biologica Fennica Vanamo. Helsinki, 1972ff.

SCHÜEPP, M. & ZINGG, T. 1965. Klima und Wetter I. In: «Atlas der Schweiz», E. IMHOF (Hrsg.), Taf. 11. – Eidg. Landestopographie, Wabern-Bern.

SPICHER, A. 1972. Geologie. In: «Atlas der Schweiz», E. IMHOF (Hrsg.), Taf. 4 und 4a. – Eidg. Landestopographie, Wabern-Bern.

SPIESS, E. 1975. Hochschulen. In: «Atlas der Schweiz», E. IMHOF (Hrsg.), Taf. 77. – Eidg. Landestopographie, Wabern-Bern.

STAMMHERR, W. 1965. Erwerbsstruktur 1910 und 1960. In: «Atlas der Schweiz», E. IMHOF (Hrsg.), Taf. 31. – Eidg. Landestopographie, Wabern-Bern.

URMI, E., SCHNYDER, N. & GEISSLER, P. 1990. A new method in floristic mapping as applied to an inventory of Swiss bryophytes. In: «Vegetation and flora of temperate zones», U. BOHN & R. NEUHÄUSL (eds.), pp. 21–32. – SPB Academic Publishing, The Hague, 81 pp.

UTTINGER, H. 1967. Klima und Wetter II. In: «Atlas der Schweiz», E. IMHOF (Hrsg.), Taf. 12. – Eidg. Landestopographie, Wabern-Bern.

WELTEN, M. 1971. Die Kartierung der Schweizer Flora. – Boissiera 19, 97–105, pl. I–V.

WELTEN, M. & SUTTER, R. 1982. Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz. – Birkhäuser, Basel/Boston/Stuttgart, 716 + 698 pp., Beilagen.

WOHLGEMUTH, T. 1993. Der Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz (WELTEN & SUTTER, 1982) auf EDV: Die Artenzahlen und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. – Bot. Helvet. 103, 55–71.

Dr. E. Urmi und Dr. N. Schnyder, Institut für Systematische Botanik der Universität, Zollikerstrasse 107, CH-8008 Zürich.