

**Zeitschrift:** Botanica Helvetica  
**Herausgeber:** Schweizerische Botanische Gesellschaft  
**Band:** 100 (1990)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Der subalpine Schutzwald im Urserental : ein inelastisches Ökosystem  
**Autor:** Küttel, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-69718>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 20.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Der subalpine Schutzwald im Urserental – ein inelastisches Ökosystem

**M. Küttel**

Amtsstelle für Natur- und Heimatschutz des Kantons Luzern, Murbacherstr. 23,  
CH-6002 Luzern, Schweiz

Manuskript angenommen am 13. Juni 1990

## Abstract

Küttel M. 1990. The subalpine protective forest at Urserental – an inelastic ecosystem. Bot. Helv. 100: 183–197.

A model of an inelastic ecosystem is presented based on the development and destruction of the subalpine forest at Urserental. The model shows that there are ecosystems which are stable under present day conditions, but could not arise under these, prevailing conditions. These ecosystems formed under different conditions in the past, when they were able to spread. They persist because they have built up inner dynamic relationships which can damp influences from outside. If the ecosystems were destroyed, they would not be able to regenerate under present day conditions. They can be considered to be inelastic systems unable to cope with certain stress situations.

## 1. Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist darzustellen, daß für ein volles Verständnis von Ökosystemen deren historische Entwicklung mitberücksichtigt werden muß. Wege, wie zu derartigen Informationen gelangt werden kann, werden aufgezeigt. Eine bloße Analyse der heute ablaufenden Prozesse reicht nicht aus. Insbesondere gilt das etwa für die Eigenschaft „Beharrungsvermögen“, die ein Wesensmerkmal vieler natürlicher Ökosysteme ist und auch als ökologische Stabilität bezeichnet wird. Gigon hat sich mit diesem Problemkreis ausführlich auseinandergesetzt (Gigon 1983, 1984; Gigon & Bolzern 1988). Die folgenden einleitenden Ausführungen basieren vorwiegend auf diesen Arbeiten.

Mit ökologischer Stabilität wird die Eigenschaft eines Ökosystems bezeichnet, mittelfristig in der Ausgangslage bestehen zu bleiben bzw. dahin zurückzukehren. Dies gilt unabhängig davon, ob ein Stör- oder Belastungsfaktor eingewirkt hat (Resistenz bzw. Elastizität) oder nicht (Konstanz bzw. Zyklizität). Sowohl Stör- als auch Belastungsfaktoren sind Fremdfaktoren. Sie gehören nicht zum normalen Haushalt des betreffenden Ökosystems. Der Störfaktor ist natürlichen Ursprungs, der Belastungsfaktor hingegen anthropogen.

Der Stabilität gegenüber steht die Instabilität. Diese bedeutet, daß ein System bei Störung, Belastung oder aus eigenem Antrieb (endogen) sich dergestalt verändert, daß

es mittelfristig nicht in die Ausgangslage zurückkehrt. Ausgangslage und Endlage sind bezüglich ökologischer Merkmale wie Lebensformen-Struktur, Artenspektrum usw. verschieden. Das System hat sich verändert oder ist verändert worden.

Als Inelastizität wird hier die Eigenschaft bezeichnet, nach Einwirken eines Störfaktors oder eines Belastungsfaktors nicht mehr in die Ausgangslage zurückkehren zu können. Die Inelastizität kann also natürlich oder durch den Menschen bedingt zum tragen kommen. Ein vorangegangenes Gleichgewicht wird gekippt und durch ein neues Gleichgewicht ersetzt. Welche Eigenschaften das neue Gleichgewicht besitzt, kann teilweise und unter bestimmten Umständen vorausgesagt werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Faktor, der das System zum Umkippen gebracht hat, bekannt ist. Aus einem inelastisch reagierenden System kann ein elastisches entstehen. Es ist nicht zum vorneherein auszumachen, wie ein System auf Fremdfaktoren reagieren wird.

Zwischen Stabilität und Instabilität steht die Labilität. Sie bezeichnet die Disposition eines bestehenden ökologischen Systems, irreversibel verändert zu werden.

Ökosystem wird hier im Sinne von Ellenberg (1973) verstanden. Im Falle heutiger Systeme ist die Untersuchung ihrer Komponenten zwar zeitraubend, aber bei entsprechendem Aufwand immerhin möglich. Anders verhält es sich bei der Rekonstruktion vergangener Systeme. Im Normalfall hat man ein Abbild der Phytozönosen in Form von Pollen-Sporen-Spektren, die wiederum ein gefiltertes Integral der verschiedenen Pflanzengesellschaften eines Ökosystems darstellen. Die Filterung ist nur teilweise bekannt. Überdies ist die Tradierung aber auch die Determinierung der einzelnen Taxa unterschiedlich.

Ein besonderes Problem ergibt sich bei den Rekonstruktionen im Gebirge durch die Vermischung des Pollens aus den verschiedenen Höhenstufen. Man hat eigentlich ein unscharfes, facettiertes Bild vor sich, wobei die einzelnen Facetten ungleich unscharf sind. Von den Zoozönosen ist, limnische oder telmatische ausgenommen, im allgemeinen wenig bis gar nichts überliefert oder wird nicht untersucht. Die dritte Komponente, nämlich die abiotische Umwelt, ist zumindest teilweise leichter zugänglich (z. B. Gesteinsunterlage, Morphologie), teilweise (z. B. klimatische Faktoren) aber nur indirekt.

Die Palynologen pflegen ihre Pollendiagramme in Bereiche einheitlicher pollen-sporen-floristischer Zusammensetzung zu gliedern, d. h. in Pollenzonen (genereller: Biozonen). Diese Zonen nun entsprechen nicht einem Ökosystem, sondern dem phytozönotischen Abbild von einem oder mehreren Systemen, die in der Mehrzahl der Fälle wohl benachbart sind. Da die Phytozönosen aber die primär produktive Grundlage der Ökosysteme darstellen, ist es gerechtfertigt, den Charakter der Ökosysteme aus den Biozonen, zwar nicht mit der wünschbaren, aber doch mit der erforderlichen Genauigkeit zu erschließen, um auch Änderungen diskutieren zu können.

Wichtige Komponenten zur Charakterisierung eines Ökosystems sind sicher die Biozönosen und die anorganische Umwelt. Das mag in manchen Fällen zum Verständnis des betreffenden Systems ausreichen, in vielen aber nicht. Folgende modellartige Vorstellung ist nämlich denkbar. Zustand A1: Unter bestimmten Rahmenbedingungen, z. B. bestimmte klimatische Parameter, wie Temperatursumme während der Vegetationsperiode, Dauer der Vegetationsperiode, Winterschneemengen usw., stellt sich ein bestimmtes Ökosystem ein, mit einem inneren Gleichgewicht, insbesondere mit einem ausgeprägten Bestandesklima. Dieses System ist im Gleichgewicht mit äußeren Faktoren, d. h. es kann sie abpuffern. Nun ändern sich die äußeren Rahmenbedingungen (Zustand A2). Dank den Eigenschaften der Systemkomponenten verfügt dieses über ein Beharrungsvermögen. Obwohl es sich unter den neuen Rahmenbedingungen nicht mehr installieren könnte, bleibt es erhalten, weil es schon da ist. Dieses Modell kann nun durch die

Einwirkung eines anthropogenen Störfaktors, also eines Belastungsfaktors ergänzt werden. Wir lassen diesen derart eingreifen, daß er das System aus dem Gleichgewicht bringt. Das System reagiert gegenüber dem Störfaktor inelastisch, wird verändert und kann sich nicht mehr regenerieren, weil die Ursache für das Beharrungsvermögen, nämlich das Schon-Dasein, fehlt. Da es nicht elastisch reagiert, wird sich ein neues Gleichgewicht einstellen (Zustand B).

Die obigen Überlegungen zeigen, daß nicht allein der momentane Zustand eines Systems für sein Verständnis von Bedeutung ist. Es kommt eine weitere Dimension hinzu, nämlich die Zeit. Damit ist gemeint, daß auch die historische Entwicklung, die Geschichte des betreffenden Systems bei seiner Analyse für ein volles Verständnis berücksichtigt werden muß. Trifft nämlich zu, daß frühere Rahmenbedingungen die Installation eines Systems ermöglichten, die heutigen dies aber verhindern würden, bedeutet das, daß es inelastisch reagieren muß, daß eine natürliche Restauration nicht mehr möglich ist. Es muß einmal mehr erwähnt werden, was Remmert (1988) mehrfach betont, nämlich daß wir über die Geschichte von Ökosystemen, über deren Langzeitverhalten, recht wenig wissen.

Im folgenden soll ein Beispiel vorgestellt werden, welches meiner Meinung nach zeigt, daß das oben vorgestellte Denkmodell auch unter mitteleuropäischen Bedingungen zutreffen kann. Es handelt sich um den subalpinen Schutzwald im Urserental, dessen Geschichte anhand des Pollendiagramms vom Höhenbiel aufgeklärt wurde.

## 2. Untersuchungsobjekt Höhenbiel

### 2.1 Lage des Höhenbiel

Der Höhenbiel (Koordinaten 681 000/158 150, 1970 m ü. M.) befindet sich im Witenwasserental, einem orographisch rechten Seitental des Urserentals (Abb. 1). Er ist ein glazial geprägter Rundhöcker, der die Umgebung klar überragt. Auf seiner Kuppe trägt er eine Mulde, in der sich nach dem Rückzug des Eises des Witenwasserengletschers ein kleiner See gebildet hat, der später verlandete (s. Tab. 3). Der Höhenbiel liegt nach Renner (1982) innerhalb des Standes Ebnen, regional als Garschenstadium bezeichnet. Dieses wird Egesen zugerechnet (Barsch et al. 1973).

### 2.2 Klimatische Verhältnisse

Über die klimatischen Verhältnisse im Urserental und Gotthardgebiet orientiert die Abbildung 2 in Küttel & Lotter (1982). Dort sind die Daten der Klimastationen Andermatt (1442 m) und St. Gotthard (2096 m) aufgezeichnet. Daraus wurden die Angaben für die Tab. 1 entnommen.

### 2.3 Die heutige Vegetation des Urserentals und des Moores auf dem Höhenbiel

Die Vegetationsverhältnisse des Urserentals hat Oechslin (1927) beschrieben (s. auch Oechslin 1978 u. Lienert 1978). Wenn bedacht wird, daß der Talboden Urserens in der subalpinen Stufe liegt (Urnerloch bei Andermatt 1430 m, Realp 1540 m), so ist die geringe Bewaldung auffallend. Der eigentliche Wald besteht nur noch in Form von Lawinenschutzwäldern aus 4 voneinander getrennten Reststücken (s. Abb. 1). Es sind der Chilchwald oberhalb der Kaserne Andermatt, der Urserenwald direkt südlich von



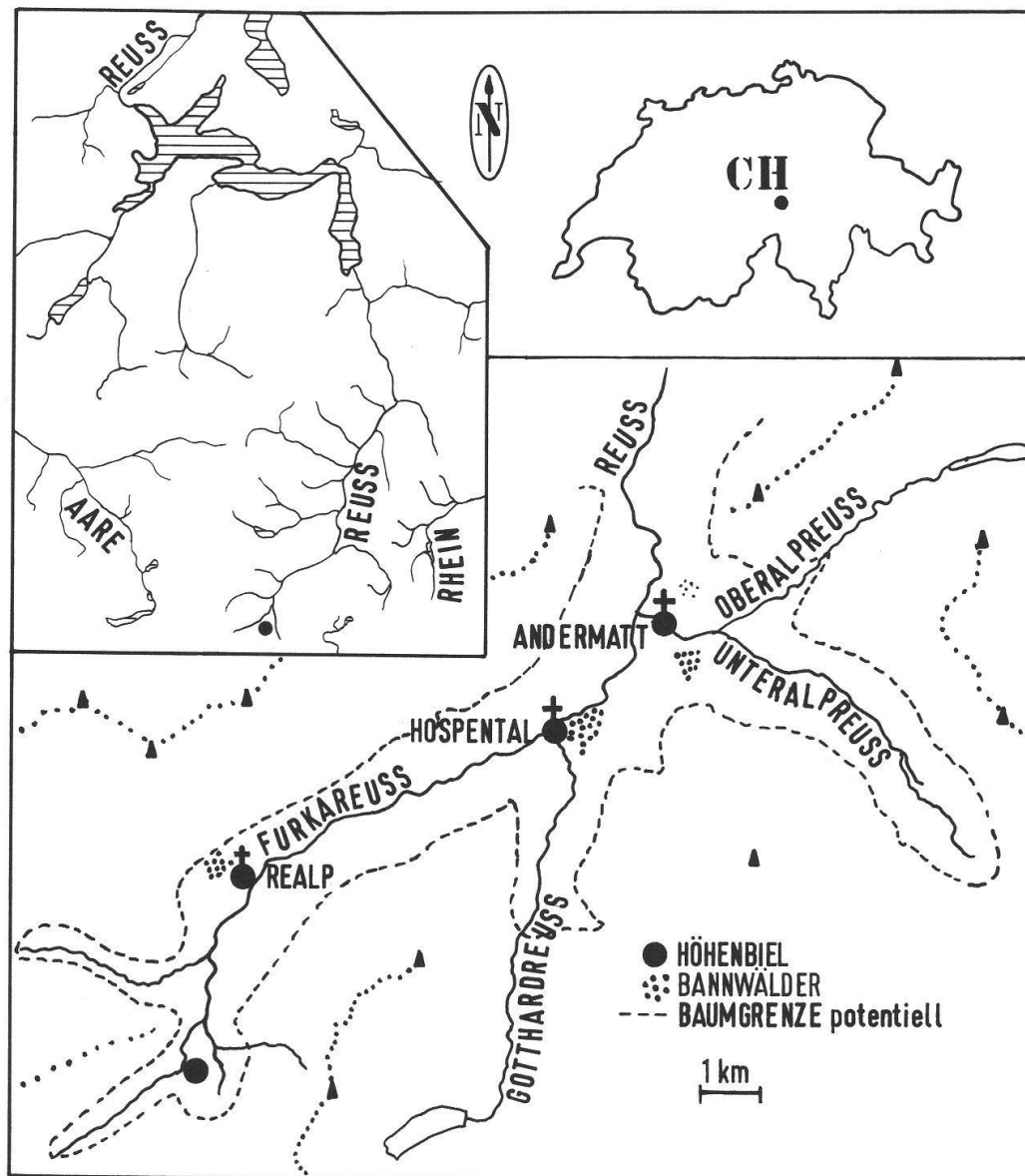


Abb. 1. Geographische Übersicht.

Andermatt, der St. Annawald ob Hospental und der Schutzwald von Realp, der Wichel. Schon Oechslin (1927) hat darauf hingewiesen, daß dies nur die Reste eines größeren, ehemals zusammenhängenden Waldgebietes sind und daß die großen Kahlschläge nicht zur Franzosenzeit am Ende des 18. Jahrhunderts erfolgten, wie Baumann noch 1978 schreibt, sondern früher, nämlich im Zusammenhang mit der Besiedlung im Mittelalter.

In den heutigen Bannwäldern dominiert die Fichte. Nebenbaumart ist die Lärche. Weitere Arten sind mengenmäßig insgesamt ohne größere Bedeutung (vgl. Renner et al. 1982). Die Waldgrenze liegt auf etwa 1900–2000 m. Weit verbreitet ist insbesondere auf den Nordhängen, in Bachtobeln und Runsen das lawinentolerante Grünerlengebüsch.

Die Vegetation des Moores auf dem Höhenbiel ist anthropogen stark gestört. Sie wird von *Trichophorum caespitosum* dominiert. Häufig sind auch *Calluna vulgaris* und *Potentilla erecta*, sowie in Wasserlöchern *Carex rostrata*.

Tab. 1. Ausgewählte klimatische Werte der Meßstationen Andermatt und St. Gotthard.

	Andermatt	St. Gotthard
Jahresdurchschnittstemperatur	3,0 °C	−0,2 °C
Jahresniederschlag	1448 mm	2285 mm
Dauer der Vegetationsperiode definiert als Zahl der Monate mit einem Mittel von > 5 °C	5 Monate	4 Monate

### 3. Methodische Anmerkungen

Die Bohrungen auf dem Höhenbiel wurden mit einem modifizierten Livingstone Stechrohr (Merkt & Streif 1970) durchgeführt, die Proben nach den herkömmlichen Methoden aufbereitet (s. die Darstellung in Küttel & Lotter 1987). Die Chronozonen werden im Sinne von Mangerud et al. (1974) verwendet. Die Begründungen für die zeitliche Einstufung des Diagramms findet sich in Renner et al. (1982), sowie Küttel (1990). Es handelt sich um  $^{14}\text{C}$ -Datierungen am analysierten Kern HBL und Korrelationen mit dem Diagramm Plidutscha (Küttel 1989, 1990). Die Biozonen sind auf konventionell visuellem Wege ausgeschieden worden. Die Abkürzungen sind in Tabelle 2 erläutert.

Tab. 2. Verzeichnis der Abkürzungen.

HBL	Höhenbiel
LP AZ	local pollen assemblage zone (lokale Pollenzone)
BP	Baumpollen (Pollen der Bäume und der Sträucher)
NBP	Nichtbaumpollen (Pollen der Kräuter ohne Wasserpflanzen)
QM	Quercetum mixtum (Summe von <i>Quercus</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Acer</i> )
BP	before present, d. h. vor AD 1950 (konventionelle, nicht kalibrierte oder sonstwie korrigierte $^{14}\text{C}$ -Jahre)
ka	kiloannum (1000 Jahre)
YD	Jüngere Dryas (11 ka–10 ka BP)
PB	Präboreal (10 ka–9 ka BP)
BO	Boreal (9 ka–8 ka BP)
AT	Atlantikum (8 ka–5 ka BP)
SB	Subboreal (5 ka–2,5 ka BP)
SA	Subatlantikum (< 2,5 ka BP)

Die Diversität und die Evenness sind nach den Angaben in Pielou (1975), s. dazu auch Küttel (1984), berechnet worden:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \lg p_i$$

Es bedeuten:  $H'$  Diversität,  $p_i$  relativer Anteil des Pollentyps  $n_i$  an der Grundgesamtheit  $N$ ,  $\lg$  Logarithmus zur Basis 2. Die Diversität wird maximal, wenn alle Typen denselben Anteil haben. Dann gilt:

$$H_{\max} = \lg n$$

Durch das Verhältnis zwischen erreichter Diversität und maximaler Diversität wird die Evenness (Ebenmäßigkeit) ausgedrückt, also:

$$J = H'/H_{\max}$$

#### 4. Ergebnisse

##### 4.1 Stratigraphische Ergebnisse

Die stratigraphischen Ergebnisse sind in den Tab. 3 (Lithologie) und 4 (Biostratigraphie, lokale Pollenzonen) sowie in den Abb. 2 und 3 vereinfacht dargestellt (s. auch Renner et al. 1982, Küttel 1989, 1990).

Tab. 3. Schichtenfolge der Bohrung Höhenbiel HBL.

Stratum	Tiefe (cm)	Sediment
13	0– 20	zersetzter Hypnaceae-Cyperaceae-Torf
12	20– 55	<i>Sphagnum</i> -Cyperaceae-Torf
11	55– 70	Cyperaceae-Hypnaceae-Torf
10	70– 77	Hypnaceae-Cyperaceae-Torf
9	77– 79	<i>Sphagnum</i> -Hypnaceae-Torf mit Cyperaceae
8	79–102	Hypnaceae-Cyperaceae-Torf
7	102–130	Cyperaceae-Hypnaceae-Torf
6	130–168	Cyperaceae-Hypnaceae-Torf mit Grobdetritus
5	168–300	Grobdetritusgyttja
4	300–375	tonige Gytja
3	375–387	Tongyttja
2	397–402	gyttjahaltiger Ton-Silt
1	402–413	Ton-Silt

Tab. 4. Lokale Pollenzonen (local assemblage zones, LPAZ) des Pollendiagramms Höhenbiel HBL.

Zone	Tiefe (cm)	Name
8	0– 70	<i>Alnus viridis</i> -NBP-Zone
7	70–173	<i>Alnus viridis</i> - <i>Pinus-Picea</i> -Zone
6	173–220	<i>Pinus-Alnus viridis-Picea</i> -Zone
5	220–300	<i>Pinus cembra-Larix</i> -Zone, gegliedert in die Subzonen:
5b	220–268	<i>Pinus cembra-Larix-Picea</i> -Subzone
5a	268–300	<i>Pinus cembra-Larix-Abies</i> -Subzone
4	300–377	<i>Pinus-Corylus</i> -Zone, gegliedert in die Subzonen:
4c	300–323	<i>Corylus-Pinus-Betula</i> -Subzone
4b	323–357	<i>Corylus-Pinus-QM</i> -Subzone
4a	357–377	<i>Pinus-Corylus-Betula</i> -Subzone
3	377–387	<i>Pinus-Betula</i> -Zone
2	387–399	<i>Pinus-Artemisia</i> -Zone
1	399–413	<i>Artemisia-Pinus-NBP</i> -Zone

# HÖHENBIEL HBL 1970 m

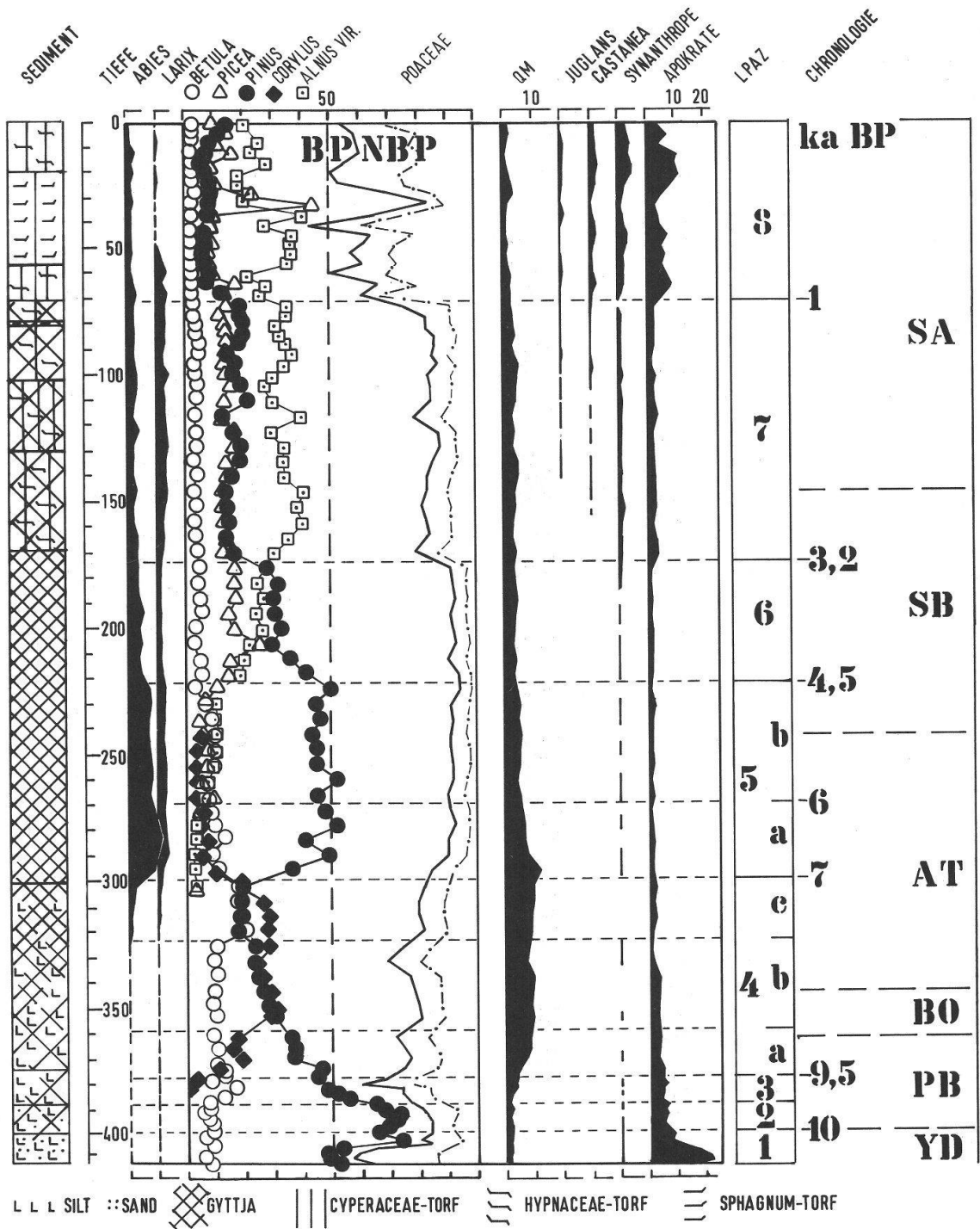


Abb. 2. Vereinfachtes Pollendiagramm der Bohrung Höhenbiel.

# HÖHENBIEL HBL 1970 m

Alter - ka BP	Pollenzone	Subzone	dominierende Vegetation im heutigen Waldgrenzbereich	Instabilitäts- phasen
1	8	Alnus viridis- NBP	Alpweiden Grünerlengebüsch	anthropogen waldfrei
3,2	7	Alnus viridis- Pinus-Picea	Grünerlengebüsch und Fichten-Lärchen-Arvenwald	ozeanisch geprägter Klimaxtyp
4,5	6	Pinus-Alnus viridis-Picea	Arven-Lärchenwald mit Fichten und Grünerlengebüsch	Übergangstyp
6	5	b Pinus cembra- Larix-Picea a Pinus cembra- Larix-Abies	Arven-Lärchenwald Lärchenwald	kontinental gepräg- ter Klimaxtyp - - - - -
7		c Corylus-Pinus-Betula	Birkenwald	Wiederbewaldung
9,5	4	Pinus-Corylus b Corylus-Pinus-QM a Pinus-Corylus-Betula	Grasfluren - - - - -	waldfrei chorologisch, edaphisch od. klimatisch bedingt
	3	Pinus-Betula		
10	2	Pinus-Artemisia	Pioniergesellschaften	
	1	Artemisia- Pinus-NBP		

Abb. 3. Höhenbiel: Synthetische Darstellung der Pollenzonen, deren zeitliche Einstufung und vegetationsgeschichtliche Deutung. Instabilitätsphasen sind abhängig von der Intensität rechts durch zunehmende Schwärzung gekennzeichnet.

## 4.2 Entwicklung des Ökosystems „Subalpiner Schutzwald“ an der Waldgrenze im Urserental

Bei der vegetationsgeschichtlichen Deutung von Pollendiagrammen kann allgemein davon ausgegangen werden (s. Welten 1950 a), daß bei einem Verhältnis 90% Baumpollen zu 10% Nichtbaumpollen die Umgebung bewaldet war. Diese Interpretation ist sicher dann nicht richtig, wenn der BP überwiegend aus einem einzigen Taxon mit ausgesprochen flugfähigen Pollenkörnern besteht und der NBP aus vor allem apokraten Sippen zusammengesetzt ist (das sind Sippen, deren wesentliche Existenzbedingung die Konkurrenzfreiheit am Standort ist). Derartige Spektren entstehen, wenn die lokale Vegetation sehr schütter und pionierartig ist und in nicht allzu großer Entfernung reich Pollen liefernde Bäume wie etwa Föhren wachsen (s. auch Markgraf 1980, Jochimsen 1986, Mathewes 1988).

Unter Berücksichtigung dieser Vorbemerkung kann zur Vegetationsgeschichte der Umgebung des Höhenbiels folgendes gerafft ausgeführt werden (s. dazu auch die synthetische Darstellung in der Abb. 3 und Küttel 1990).



Im Profil Höhenbiel finden sich zwei Bereiche mit sehr hohem BP-Anteil. Es sind die Biozonen 2, 5 und 6. Im Falle der Zone 2 besteht der NBP-Anteil wesentlich aus apokraten Pollentypen. Hier trifft die oben gemachte Einschränkung zu; d. h. die untersten Biozonen (1, 2, 3) repräsentieren Pioniergesellschaften, wobei aber gleichzeitig Änderungen der Vegetation tieferer Lagen (obere Leventina Zoller 1960, Küttel 1977 und Urserental, Küttel 1990) mitabgebildet sind. Die Biozonen 4a und 4b widerspiegeln Grasfluren. Im Urserental ist also die Höhenlage um 1900 m weiterhin nicht bewaldet.

Eine bedeutende Umgestaltung ist ab der Biozone 4c zu erkennen. Zuerst stellt sich ein Birkenwald (vielleicht vielmehr Birkengebüsch?) ein. Gleichzeitig breitet sich die Lärche aus, von der ja bekannt ist, daß ihr Pollen schlecht überliefert wird, d. h. geringe Pollenprozentage weisen schon auf einen sehr hohen Anteil im Bestand hin. Dann ersetzt die Lärche die Birke und ein zweiter *Pinus*-Anstieg ist zu beobachten, der auf die Arve zurückgeht. Insgesamt heißt das also, daß erst im frühen Atlantikum sich hier im heutigen theoretischen Waldgrenzbereich der Wald zu installieren begonnen hat. Das ist im Vergleich zu andern Gebirgsregionen der Schweiz spät (s. die Übersicht von Zoller 1987). Von einem potentiell natürlichen Waldgrenzbereich kann hier nicht gesprochen werden, denn es ist fraglich, ob sich der Wald heute nach Aufhören der menschlichen Aktivitäten großflächig wieder einstellen würde (s. unten).

In der Mitte des Atlantikums entstanden Waldgesellschaften mit Lärchen und Arven als dominierenden Baumarten (kontinental geprägter Klimaxtyp). Sie überdauerten etwa 2500 <sup>14</sup>C-Jahre. Dieser Zustand veränderte sich erst um 4,5 ka BP, als ein neues Element hinzukam, nämlich die Fichte, im übrigen gleichzeitig mit der Grünerle und beides unabhängig von einem menschlichen Eingriff (s. die Diskussion Markgraf 1970, Tallantire 1973). Es entstand ein anderer Waldtyp, der über rund 1300 <sup>14</sup>C-Jahre vorherrschte.

Um 3,2 ka BP ist eine erneute Umschichtung zu beobachten. Die Arve geht zurück und die Grünerle verbreitet sich noch stärker. Die Fichte bleibt auf ungefähr dem gleichen Niveau wie in der Zone 6. Konstant vermehrter Nichtbaumpollen deutet im Vergleich zu der Zone davor auf etwas offenere Verhältnisse hin. Die entstandenen Waldgesellschaften können als stärker ozeanisch geprägt charakterisiert werden. Nach dem Pollendiagramm zu beurteilen, ist auch der neue Zustand wieder über längere Zeit stabil, nämlich rund 2200 <sup>14</sup>C-Jahre. Dann tritt die entscheidendste Umgestaltung seit der Installierung des Waldes ein. Der Wald wird nämlich weitgehend vernichtet. Doch auch der neue Zustand (nordseitig die weit verbreiteten Grünerlengebüsche) ist bis jetzt rund 1000 Jahre als waldlose Formation stabil. Ob es sich dabei um eine anthropogene oder um eine natürliche Stabilität handelt, wird im Kapitel 5 diskutiert werden. Beim kurzfristig stark erhöhten Fichtenwert in rund 30 cm Tiefe handelt es sich wahrscheinlich um ein singuläres Zufallsereignis ohne größere Bedeutung, welches sich auf Grund der Berechnungsweise natürlich auch auf die andern Pollentypen auswirkt.

#### 4.3 Ursachen der Bestandesänderungen

Seit der Wiederbewaldung und der anschließenden Bestockung mit Koniferen sind somit drei wichtige Einschnitte festzustellen, nämlich 1. um 4,5 ka BP (Ausbreitung von Grünerle und Fichte), 2. um 3,2 ka BP (verstärkte Ausbreitung der Grünerle, Zunahme des NBP) und um 1,0 ka BP (Entwaldung). Die Frage, die nun gestellt und beantwortet werden soll, ist, welches sind die dahinter liegenden Hauptursachen? Sind die Faktoren biotischer, abiotischer oder anthropogener Natur?

Die anthropogenen Veränderungen sind am leichtesten auszumachen, denn sie gehen in Mitteleuropa im allgemeinen mit einer Zunahme synanthroper Pollentypen einher.

Dazu gehören etwa *Chenopodiaceae*, *Plantagines* oder gar *Cerealia* (s. auch Welten 1950 b, Zoller 1960). Dies ist eindeutig bei der letzten Umgestaltung um 1000 BP der Fall. Hier handelt es sich um die walserische, d. h. alemannische Landnahme, die stattfinden konnte, weil die vorangegangene Besiedlung durch die Romanen anscheinend äußerst spärlich war. Die Auffassung von Oechsli (1927) über die Entwaldung des Urserentals (s. Kap. 2.3) wird somit durch die Pollenanalysen bestätigt.

Was die beiden vorangegangenen Vegetationsveränderungen betrifft, so kann für die ersten um 4,5 ka BP eine anthropogene Ursache ausgeschlossen werden, denn bei der Summenkurve der Synanthropen (s. Abb. 2) ändert sich nichts.

Beim Wechsel um 3,2 ka BP ist zwar bemerkenswert, daß die Kurve der Synanthropen zusammenhängend wird. Dies ist vor allem zurückzuführen auf die regelmäßigen Funde von *Urtica*, also auf einen Pollentyp, der vom Wind leicht vertragen wird. Ebenso bemerkenswert ist aber, daß die erreichten Werte nur in einer Probe 1% übersteigen. Fern- oder Regionalflug dürfte dafür die zutreffende Erklärung sein, denn bei Amsteg (Zwing Uri) ist eine Besiedlung um 1500 v. Chr. nachgewiesen (Meyer 1982), und auch für die obere Leventina ist eine eisenzeitliche Landnahme gefunden worden (Zoller 1960): die Geschichte von Bellinzona reicht gesichert sogar 6000 Jahre zurück (Donati 1986). Im Urserental aber ist eine Landnahme nicht erkennbar. Das bedeutet, daß auch um 3,2 ka BP die Vegetationsveränderungen nicht anthropogen sind. Ebenso wenig wahrscheinlich ist, daß etwa Baumwanderungen die Veränderungen verursacht haben, denn sowohl Fichte als auch Grünerle waren schon vorher da. Festzustellen sind im wesentlichen Dominanzänderungen. Naheliegend sind dann hier im Bereich der Waldgrenze klimatische Ursachen, denn sowohl um 4,5 ka BP als auch um 3,2 ka BP waren Klimaschwankungen, die zu Gletscherhochstandsperioden führten (Rotmoos 2 und Piora resp. Löbben), die sich aber auch in verminderter Spätholzdichte von im Gebiet wachsenden Bäumen äußerten (Renner 1982). Denkbar ist, daß diese klimatischen Änderungen (kürzere Vegetationsperioden, verminderte Temperatursumme während derselben, eventuell auch verstärkte Spät-Wintersneefälle) dazu geführt haben, daß die Rahmenbedingungen der konkurrierenden Bäume und Sträucher sich zu Gunsten der Lärche und vor allem der Grünerle und zu Ungunsten der Arve verändert haben.

## **5. Charakterisierung des Ökosystems subalpiner Schutzwald im Urserental bezüglich Stabilität/Instabilität in Abhängigkeit von der Zeit**

Zweifellos entsprechen die Zonen 1 bis 3 sehr instabilen Phasen (Abb. 3). Dies äußert sich auch in signifikant niedrigeren Evenness-Mittelwerten (Abb. 4) gegenüber den folgenden Zonen. Instabil ist ebenso die Zone 4 und der Beginn der Zone 5, wobei sich aber die Evenness-Mittelwerte der Zonen 4, 5 und 6 untereinander auf dem 5%-Niveau statistisch nicht mehr gesichert unterscheiden. Betrachtet man die Frage der Stabilität auf der Ebene der Formation, so sind diesbezüglich die Verhältnisse eigentlich trotzdem stabil, denn die Pollenzonen 1–4b reflektieren, wie erwähnt, zwar vegetationsmäßig unterschiedliche, jedoch stets waldlose Verhältnisse.

Hinsichtlich der Entwicklung nach der Installierung des Lärchen-Arvenwaldes bis heute wurde dargelegt, daß klimatische Faktoren und die Tätigkeiten des Menschen zu den charakteristischen Vegetationsveränderungen führten. Ökosystemar betrachtet heißt das, im bestehenden Ökosystem der Subzone 5b hat ein Störfaktor eingegriffen; es könnten auch mehrere zusammenwirkende gewesen sein. Jedenfalls hat der Eingriff dazu geführt, daß das System verändert wurde und nicht mehr in die Ausgangslage zurück-

## HÖHENBIEL

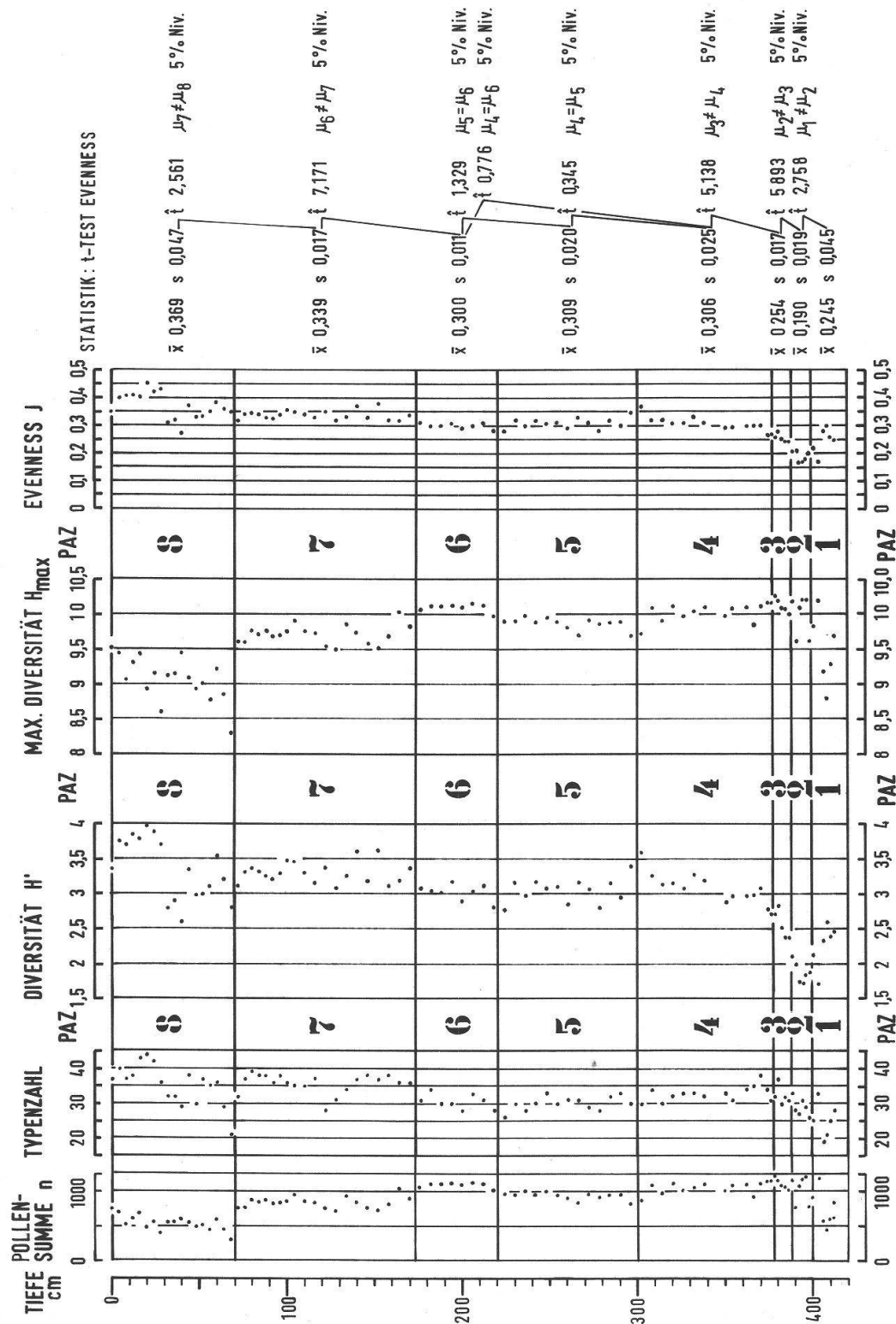


Abb. 4. Paläoökologische Parameter berechnet am Pollendiagramm Höhenbiel. Erläuterungen im Text.

kehrte. Wir haben also bereits hier bezüglich desjenigen Störfaktors, der die Veränderungen zustande gebracht hat, ein inelastisches Ökosystem vor uns. Allerdings, wiederum auf der Formationsebene betrachtet (Formation Wald – Formation Gebüsch), war das System insofern noch elastisch, als der Wald erhalten blieb.

Vergleichbar sind die Verhältnisse um 3,2 ka BP. Wieder ist der Störfaktor (oder die Störfaktoren) so stark, daß ein vorher bestehendes ökologisches Gleichgewicht derart gestört wird, daß das System nicht elastisch reagiert; es puffert die Störung nicht ab, ist instabil und verändert sich. Doch auch hier kann von einer höheren Dimension aus betrachtet trotzdem von einer Elastizität gesprochen werden, denn das System bleibt als Wald-Ökosystem weitgehend erhalten. Es hat sich zudem ein System entwickelt, das wiederum über eine längere Periode stabil war, zumindest gegenüber den einwirkenden Faktoren. Die Evenness-Werte sind signifikant höher als in den vorangegangenen Abschnitten.

Anders ist es um 1,0 ka BP, wo nicht ein Störfaktor, sondern ein Belastungsfaktor, d. h. der Mensch, eingreift. Diesen Eingriff verkraftet das Ökosystem Wald nicht mehr und zwar auch dann, wenn das Einwirken des Menschen aufhörte (s. unten). Der Zustand des Systems vor der Landnahme war also bezüglich des Belastungsfaktors Weiderodung inelastisch.

Diese Ausführungen zeigen vor allem zweierlei. Erstens ist die Stabilität von der Bezugsgröße abhängig. Ein Nadelwaldökosystem (für Wiesen gilt ähnliches) kann nach Einwirken von Störfaktoren artenmäßig anders zusammengesetzt sein (inelastische Reaktion bezüglich des Arteninventars, d. h. auch auf pflanzensoziologischer Ebene), aber trotzdem als Nadelwaldökosystem erhalten bleiben (elastische Reaktion auf Formations-, d. h. auf pflanzengeographischer Ebene). Zweitens kann bei Paläoökosystemen vor allem etwas über die Störfaktoren ausgesagt werden, die Veränderungen zustande gebracht haben.

Heute kommt eine natürliche Bewaldung im Urserental nicht mehr auf. Dies zeigen die mühevollen Aufforstungen auch im Schutz von Lawinenverbauungen (s. Oechslin 1978, Renner et al. 1982). Da stellt sich die Frage, wieso war eine natürliche Bewaldung, auch im heutigen theoretischen Waldgrenzbereich, im frühen Atlantikum möglich, resp. wieso ist das jetzt nicht mehr möglich. Wichtige Ergebnisse zur Beantwortung der aufgeworfenen Frage hat Föhn (1979) beigetragen. Er untersuchte vergleichend die Frequenz von Katastrophenlawinen, d. h. waldzerstörenden Lawinen auf Grund vorhandener Lawinenstatistiken im Schiatobel, Davos, und im Urserental. Daraus hat er ein Simulationsmodell entwickelt. Die Quintessenz dieses Modells ist, daß die Häufigkeit der Katastrophenlawinen zu groß ist, als daß im Urserental natürlicher Wald aufkommen könnte. Bei Simulationen über 800 Jahre hinweg zeigen sich kaum Ruheperioden von 40 und mehr Jahren. Sie sind im allgemeinen wesentlich kürzer. Ihre Dauer muß zudem dem minimalen Baumalter bei genügender Bestandesdichte gegenüber gestellt werden, die notwendig ist, um ein Auslösen von Lawinen zu verhindern. Gefordert ist eine Baumhöhe, die der 1–2-fachen Schneehöhe entspricht. Das entsprechende Baumalter liegt in der Größenordnung von 20–50 Jahren (vgl. Frey 1977).

Von Interesse ist in diesem Zusammenhang das Schadenereignis vom April 1975 (In der Gand 1976), wo große Teile einer ungefähr vierzigjährigen Aufforstung des Chilchwaldes bei Andermatt im Schutz von Lawinenverbauungen durch eine Lawine zerstört wurden, die oberhalb der Aufforstungen seitlich neben Verbauungen abriß. Hier reichten also nicht einmal 40 Jahre Waldentwicklung aus, um die Schutzfunktion voll übernehmen zu können.



Der weitergehenden Hypothese von Föhn (1979), nämlich daß die Lawinenfrequenz die Ursache für eine Entwaldung des Urserentals gewesen sei, kann auf Grund der vorliegenden Pollenanalysen nicht gefolgt werden. Es ist ja nicht nur die zeitliche Koinzidenz mit der walserischen Landnahme, die einen ursächlichen Zusammenhang vermuten läßt, sondern auch die Schnelligkeit des Rückganges und die Zunahme der synanthropen Pollentypen.

Die Arbeit von Föhn (1979) liefert aber eine wichtige Begründung, wieso der Wald nicht mehr aufkommen kann. Sie führt gleichzeitig zum Schluß, daß zu der Zeit, als der Wald aufgekommen war, also im frühen Atlantikum, die klimatischen Rahmenbedingungen anders gewesen sein müssen; denn sonst hätte sich bereits damals der Wald nicht einstellen können. Es sei denn, die Vorstellung von Föhn ist falsch. Allerdings sprechen die Tatsachen, d. h. die vorhandenen Schwierigkeiten und Rückschläge bei der Aufforstung, für die Richtigkeit seiner These.

Außer der Frequenz der katastrophalen, d. h. waldzerstörenden Lawinen kommen noch weitere Faktoren hinzu, die sich für eine natürliche Wiederbewaldung nicht gerade günstig auswirken. Als Ersatzgesellschaften sind nordseitig nämlich vor allem Hochstaudenfluren und hochstaudenreiche Grünerlengesellschaften entstanden. Diese sind einerseits lawinentolerant und fördern das Schneegleiten (s. Frey 1977). Dazu verhindern oder verzögern sie andererseits das Aufkommen waldbildender Bäume. Im frühen Atlantikum war das insofern nicht der Fall, als sowohl Grünerlen und auch Hochstauden nicht sehr verbreitet waren, was wiederum mit den damaligen klimatischen Gegebenheiten zusammenhängen könnte.

Im Urserental war anscheinend wirklich ein inelastisches Waldökosystem vorhanden, das sich unter andern als den heutigen klimatischen Parametern installieren konnte. In der Folge hat es sich zwar verändert. Aber es blieb zumindest als Waldökosystem erhalten und das auch unter vergleichbaren klimatischen Bedingungen wie heute (Vergleich frühes Mittelalter – heute). Als es dann zerstört wurde, konnte es sich nicht mehr regenerieren; nicht wegen veränderter äußerer Bedingungen, sondern wegen veränderter innerer. Zu dieser Erkenntnis zu gelangen, war nur möglich, nachdem die Geschichte des subalpinen Schutzwaldes im Urserental mittels palynologischer Untersuchungen einigermaßen aufgeklärt war.

## **Zusammenfassung**

Anhand der Entwicklung des Waldes im Urserental und seiner Vernichtung wird ein Modell vorgestellt. Dieses Modell zeigt, daß es auch in Mitteleuropa Ökosysteme gibt, die zwar unter den heutigen Rahmenbedingungen weiter existieren, obwohl sie jetzt nicht mehr entstehen könnten. Ihre Existenz beruht darauf, daß sie sich unter anderen Rahmenbedingungen haben entfalten können. Sie können persistieren, weil sie eine innere Dynamik aufgebaut haben, die bestimmte Außeneinflüsse abpuffert. Werden sie aber zerstört, können sie sich unter den heutigen Rahmenbedingungen nicht mehr von sich aus regenerieren. Es handelt sich um inelastische Systeme, die bestimmten Belastungsfaktoren nicht gewachsen sind.

Ich danke Frau Prof. Dr. B. Ammann, Bern, für die Durchsicht einer früheren Version dieser Arbeit.



## Literatur

- Barsch D., Zoller H. und Mullenders W. 1973. Spätglaziale und holozäne Gletscherstände von Tiefengletscher und Sidelengletscher, Kanton Uri. Materialien zur Exkursionstagung der Schweiz. Geomorph. Ges. 17.–23.9.73, Manuskript.
- Baumann W. 1978. Ursern, das Hochtal am Gotthard. In: Ursern. Das imposante Hochtal zwischen Gotthard, Furka und Oberalp in Wort und Bild, Ott, Thun, S. 113–117.
- Donati P. 1986. Bellinzona a Castel Grande – 6000 anni di storia. Archäol. der Schweiz 9: 94–104.
- Föhn P. M. B. 1979. Avalanche frequency and risk estimation in forest site. Proc. IUFRO Seminar Mountain Forests and Avalanches, Davos 1978. S. 241–254.
- Frey W. 1977. Wechselseitige Beziehungen zwischen Schnee und Pflanze – Eine Zusammenstellung anhand von Literatur. Mitt. Eidg. Inst. für Schnee- und Lawinenforschung 34: 1–223.
- Gand H. In der 1976. Waldschäden der Lawinenkatastrophe April 1975 in den Schweizer Alpen. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien 115: 127–148.
- Gigon A. 1983. Über das biologische Gleichgewicht und seine Beziehungen zur ökologischen Stabilität. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 50: 149–177.
- Gigon A. 1984. Typologie und Erfassung der ökologischen Stabilität und Instabilität mit Beispielen aus Gebirgsökosystemen. Verhandl. Ges. Ökol. 12: 13–29.
- Gigon A. und Bolzern H. 1988. Was ist das biologische Gleichgewicht. Überlegungen zur Erfassung eines Phänomens, das es strenggenommen gar nicht gibt. Aus Forschung und Medizin 3.1: 18–28.
- Hess H. E., Landolt E. und Hirzel R. 1967. Flora der Schweiz. Bd. I. Birkhäuser, Basel, 858 S.
- Jochimsen M. 1986. Zum Problem des Pollenfluges in den Hochalpen. Diss. Bot. 90: 1–241.
- Küttel M. 1977. Pollenanalytische und geochronologische Untersuchungen zur Piottino-Schwankung (Jüngere Dryas). Boreas 6: 259–274.
- Küttel M. 1984. Veränderung von Diversität und Evenness der Tundra, aufgezeichnet im Pollendiagramm des Vuolep Allakasjaure. Bot. Helv. 94: 279–283.
- Küttel M. 1989. Züge der jungpleistozänen Vegetations- und Landschaftsgeschichte der Zentralschweiz. Revue Paléobiol. 8: 525–614.
- Küttel M. 1990. Zur Vegetationsgeschichte des Gotthardgebietes. Mitt. Natf. Ges. Luzern 31: 99–111.
- Küttel M. und Lotter A. 1987. Vegetation und Landschaft der Zentralschweiz im Jungpleistozän. Mitt. Natf. Ges. Luzern 29 (Sonderband Eiszeitforschung): 251–272.
- Lienert L. 1978. Pflanzen- und Tierwelt des Urserentales. In: Ursern. Das imposante Hochtal zwischen Gotthard, Furka und Oberalp in Wort und Bild. Ott, Thun, S. 119–122.
- Mangerud J., Andersen S. T., Berglund B. E. and Donner J. J. 1974. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. Boreas 3: 109–128.
- Markgraf V. 1970. Palaeohistory of the spruce in Switzerland. Nature 228: 249–251.
- Markgraf V. 1980. Pollen dispersal in a mountain area. Grana 19: 127–146.
- Mathewes R. W. 1988. Pollen spectra from lake surface sediments in the Swiss Alps. Arctic and Alpine Research 20: 310–324.
- Merkt J. und Streif J. 1970. Stechrohr-Bohrgeräte für limnische und marine Lockersedimente. Geol. Jb. 88: 137–148.
- Meyer W. 1982. Zwing Uri bei Amsteg UR. Archäol. der Schweiz 5: 166–168.
- Oechslin K. 1978. Der Wald und Lawinenverbau. In: Ursern. Das imposante Hochtal zwischen Gotthard, Furka und Oberalp in Wort und Bild. Ott, Thun, S. 43–50.
- Oechslin M. 1927. Die Wald- und Wirtschaftsverhältnisse im Kanton Uri. Beitr. Geobot. Landes-aufn. Schweiz 14: 1–209.
- Pielou E. C. 1975. Ecological diversity. Wiley & Sons, New York, 165 pp.
- Remmert H. 1988. Naturschutz. Springer, Berlin, 202 S.
- Renner F. 1982. Beiträge zur Gletschergeschichte des Gotthardgebietes und dendroklimatologische Untersuchungen an fossilen Hölzern. Phys. Geogr. 8: 1–183.

- Renner F., Küttel M. und Oechslin K. 1982. Gletscher-, Vegetations- und Klimageschichte im Raume Urserental-Furkapass. *Phys. Geogr.* 7: 8–27.
- Tallantire P. A. 1973. Apropos the post-glacial spread of spruce in Switzerland. *Grana* 13: 79–84.
- Welten M. 1950 a. Beobachtungen über den rezenten Pollenniederschlag in alpiner Vegetation. *Ber. Geobot. Forschungsinst. Rübel Zürich* 1949: 48–57.
- Welten M. 1950 b. Die Alpweiderodung im Pollendiagramm. *Ber. Geobot. Forschungsinst. Rübel Zürich* 1949: 57–67.
- Zoller H. 1960. Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der insubrischen Schweiz. *Denkschr. Schweiz. Natf. Ges.* 83: 45–156.
- Zoller H. 1987. Zur Geschichte der Vegetation im Spätglazial und Holozän der Schweiz. *Mitt. Natf. Ges. Luzern* 29 (Sonderband Eiszeitforschung): 123–149.