

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 159 (2008)

**Heft:** 11

**Artikel:** Quantitative Analyse der Verwandlung von Felsflühen im Nordwestschweizer Jura

**Autor:** Müller, Stefan W. / Rusterholz, Hans-Peter / Zieschang, Olaf

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097907>

### **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:** 02.05.2026

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

# Quantitative Analyse der Verwaldung von Felsflühen im Nordwestschweizer Jura

Stefan W. Müller Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz (NLU), Universität Basel (CH)\*  
Hans-Peter Rusterholz Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz (NLU), Universität Basel (CH)  
Olaf Zieschang Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz (NLU), Universität Basel (CH)  
Christian Ginzler Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)  
Bruno Baur Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz (NLU), Universität Basel (CH)

## Quantitative analysis of overgrowing forest around cliffs in the northwestern Swiss Jura mountains

The limestone cliffs of the Jura mountains in northwestern Switzerland harbour a diverse flora with several relic populations of arctic-alpine and Mediterranean plant species. Overgrowing forests increasingly threaten rare, relic plant species with high light demands on cliffs, because traditional forms of forest use, including the collection of firewood and grazing by goats, were abandoned. We examined the temporal and spatial patterns of overgrowing forest at six cliffs in the northwestern Swiss Jura mountains by analysing tree cover on time-series air photographs made between 1951 and 2000. Overall tree cover increased from 60% to 85% at the six cliffs examined between 1951 and 1964 and then levelled off. The increase in tree cover showed distinct spatial patterns. The cover increased significantly in the talus and on the cliff face, but not on the plateau (at the top of the cliffs). Our results confirm the assumption that the cliff forests became denser during the last decades. Forestry practices such as selective thinning or controlled grazing by goats are suggested as a method of promoting the threatened relic plant species.

**Keywords:** air photographs, cliff ecology, light conditions, time-series, ERDAS  
**doi:** 10.3188/szf.2008.0389

\* St. Johanns-Vorstadt 10, CH-4056 Basel, E-Mail stefan.mueller@unibas.ch

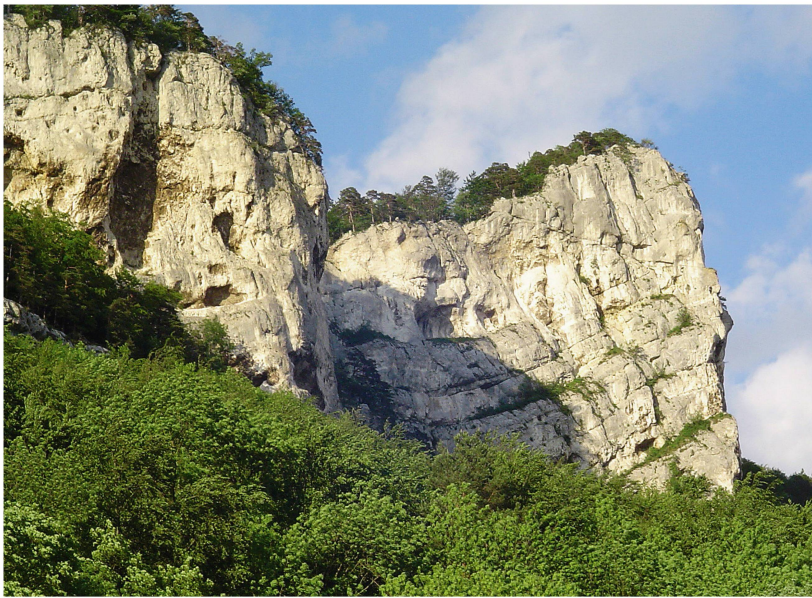
**K**alkfelswände mit ihren vielfältigen Strukturen stellen einzigartige Habitate für spezialisierte Organismen dar (Abbildung 1). Diese durch Trockenheit, ausgeprägte Temperaturschwankungen, Nährstoffarmut und hohe Sonneneinstrahlung charakterisierten Habitate bilden die Lebensgrundlage für eine Gruppe hoch spezialisierter Pflanzen- und Tierarten (Larson et al 2000). Das Zusammenspiel von Trockenheit, geringer Verfügbarkeit von Nährstoffen und extremen Lichtverhältnissen schränkt zudem das Pflanzenwachstum stark ein (Coates & Kirkpatrick 1992).

Die hohe Strukturvielfalt der Felswände bewirkt grosse mikroklimatische und edaphische Unterschiede auf kleinstem Raum. Exponierte Stellen sind allgemein wärmer und trockener als geschützte, Risse sind kühler und feuchter als Simse, und Überhänge beschatten die darunter liegenden Flächen (Ashton & Webb 1977). Zusätzlich sind die am Fuss der Felswände gelegenen Lebensräume durch ihre Dynamik und Instabilität sowie durch extreme mikroklimatische Effekte wie Kaltluftabflüsse und die Sonnenexposition gekennzeichnet. Alle diese Einflüsse führen zu einem vielfältigen Mosaik von Mikrohabitaten, die den Lebensraum spezialisierter

Moos-, Farn- und Gefäßpflanzenarten darstellen (Larson et al 2000).

Für verschiedene alpine und arktische Pflanzenarten stellen die Felsflühe Rückzugsgebiete am Rande ihrer Verbreitungsgebiete dar. Diese nach dem Rückgang der pleistozänen Gletscher entstandenen Refugien wurden von arktisch-alpinen Pflanzenarten und von xerothermen Eichenwaldgesellschaften (*Quercetalia pubescenti-petraeae*) besiedelt (Ellenberg 1986, Wassmer 1998). Durch die Ausbreitung der Buchenwälder unter den nachfolgenden, gemässigten Klimabedingungen sind diese Arten heute lediglich noch an den locker bestockten Felsstandorten zu finden. Auf den Felsköpfen kommen nun Pflanzengesellschaften vor, die an trockene und nährstoffarme Bedingungen angepasst sind (*Rhamno-Quercetum*, *Carici-Fagetum*, *Molinio-Pinetum*; Ellenberg 1986).

Eine intensive Holznutzung und die Beweidung (vorwiegend mit Ziegen) beeinflussten die Wälder um die Felsflühe über Jahrhunderte. Während des Mittelalters und bis in das 19. Jahrhundert hinein wurden die Wälder an den steilen Felsfüssen als Niederwälder für die Produktion von Feuerholz, Holzkohle und Streu und als Rohmaterial für das Handwerk genutzt, manchmal auch als Waldweide



**Abb 1** Die südlich bis südwestlich exponierten Felsen der Klus bei Balsthal.

(Stuber & Bürgi 2002a). Vor allem während des 18. und 19. Jahrhunderts wurden diese Wälder auf eine intensive Produktion von Bau- und Feuerholz ausgerichtet. Letzteres wurde für den Betrieb der Eisen- und Glashütten benötigt, welche wichtige regionale Wirtschaftszweige zu Beginn der Industrialisierung darstellten (Blöchlinger 1995). Als Folge dieser menschlichen Aktivitäten wurde das Kronendach der Wälder rund um die Kalkfelsen dauerhaft lückig gehalten, was wiederum optimale Licht- und Temperaturbedingungen für wärme- und lichtbedürftige Pflanzen- und Tierarten schuf.

Aufgrund der sehr intensiven Nutzung der Wälder wurden Waldweide und Streunutzung im 19. Jahrhundert verboten (Blöchlinger 1995, Stuber & Bürgi 2002a, b). Zudem brach Mitte des 20. Jahrhunderts die Nachfrage nach Feuerholz als Folge des Kohle- und Erdölimportes stark ein. Heute werden die Wälder an den Felsfüßen extensiv unter einem dauerwaldähnlichen Regime genutzt, oder es wird im Rahmen einer Waldreservatsvereinbarung auf

eine forstliche Nutzung verzichtet. Als Folge der weniger intensiven Bewirtschaftung wurden die Wälder älter und dichter (Schiess & Schiess-Bühler 1997, Wohlgenuth et al 2002). Die zunehmende Beschattung führte zu einer Reduktion der Grösse und der Qualität der Lebensräume für Wärme und Licht liebende Pflanzen- und Tierarten. Dies gilt insbesondere für reliktsche Pflanzenvorkommen an den Felswänden und Felsfüßen (Wassmer 1998) und für Reptilien (Jäggi & Baur 1999). Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass die zunehmende Verwaldung zu einer Reduktion der Abundanz von Pflanzenarten mit hohen Lichtansprüchen führen kann (Schiess & Schiess-Bühler 1997, Ewald 2000, Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich 2004). Die zunehmende Beschattung wird deshalb als einer der Hauptgründe für das lokale Aussterben gefährdeter und seltener Arten wie *Dianthus gratianopolitanus* (Pflingstnelke) oder *Daphne cneorum* (Seidelbast) angesehen (Wassmer 1998, Käsermann & Moser 1999).

Quantitative Analysen des Ausmasses, des zeitlichen Verlaufs und der räumlichen Verteilung der Verwaldung der Felsflühe, insbesondere auf Landschaftsniveau, existieren bis heute aber keine. In dieser Studie analysieren wir deshalb Luftaufnahmen von sechs Felsflühen im Nordwestschweizer Jura über den Zeitraum von 1951 bis 2000, um die folgenden Fragen zu beantworten: 1) Verändert sich das Ausmass der Verwaldung über diesen Zeitraum, und 2) wie entwickelte sich der Kronenschluss (Deckungsgrad der Baumschicht) entlang der Felsflühe sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung?

Während die Kenntnisse der Waldentwicklung in horizontaler Richtung (z.B. von West nach Ost) Aussagen über die Ursachen der Verwaldung zulassen, geben Veränderungen in vertikaler Richtung (vom Felsfuss zum Felskopf) Hinweise auf die Dringlichkeit von Pflegemassnahmen in den einzelnen Felspartien. Das Wissen über den Verlauf und das Ausmass der Verwaldung soll helfen, Prioritäten für das Management der artenreichen Lebensräume mit hohem Naturschutzwert zu setzen.

**Abb 2** Lage der untersuchten Felsflühe im Nordwestschweizer Jura.



## Material und Methode

### Untersuchungsgebiete

Untersucht wurde die Waldentwicklung anhand des Kronenschlusses bei sechs Felsflühen im Nordwestschweizer Jura (Kantone Solothurn, Basel-Stadt und Bern, Abbildung 2). Die Felsstandorte liegen zwischen 350 und 1150 m ü. M. (Tabelle 1). Sie bestehen hauptsächlich aus jurassischem Korallenkalk (Bitterli-Brunner 1987). Die vorherrschenden Pflanzengesellschaften der vorwiegend südexponierten Felswände gehören dem *Potentillo-Hieracietum* an (Richard 1972).

Felsfluh	Höhe über Meer (m)	Exposition	Höhe der Fluh (m)	Breite der Fluh (m)
Ravelle	490–620	SSE	80	550
Klus	500–790	SW–S–NE	140	1100
Holzfluh	500–660	S	160	900
Gerstelflüh	740–930	SSW	120	450
Mont Raimeux	800–1150	S	350	4500
Muggenberg	350–460	SE–S–NE	90	600

Tab 1 Beschreibung der untersuchten Felsflühe im Nordwestschweizer Jura.

### Luftbildanalyse

Zur quantitativen Analyse der verschiedenen Phasen der Waldentwicklung wurden überlappende Luftbildpaare der Jahre 1951, 1964, 1982 und 2000 im Masstab 1:15000 bis 1:30000 verwendet. Die Luftbilder wurden korrigiert, um aufnahmetechnische Differenzen und Unterschiede, welche sich aufgrund des örtlichen Reliefs bei verschiedenen Aufnahmeorten ergaben, auszugleichen. Insgesamt wurden 54 Fotos mit einer Auflösung von 14 µm gescannt. Daraus wurden Stereomodelle mit einer Genauigkeit (Wurzel der Varianz, root mean squared error RMS) von <3 m nach Triangulation hergestellt.

Ein Luftbildinterpret schätzte den Kronenschluss mittels einer digitalen 3-D-Fotogrammetrie-Station (Erdas Imagine Vers. 8.3) in Rasterzellen von 25 m × 25 m ab (Abbildung 3). Schematische Illustrationen der verschiedenen Kronenschlüsse (Ahrens 2001) wurden benutzt, um die Rasterzellen einer 10%-Skala zuzuordnen. Nur Rasterzellen, die zu allen untersuchten Zeitpunkten abgebildet waren, wurden in den Analysen berücksichtigt. Um eine Verzerrung durch den Beobachter zu vermeiden, wurden die Stereomodelle für die Abschätzung des Kronenschlusses ohne Bezeichnung in zufälliger Reihenfolge betrachtet.

Der Kronenschluss wurde in insgesamt 1769 Plots (25 m × 25 m), verteilt auf die sechs Felsflühe, ermittelt. In den vier verschiedenen Zeitpunkten zusammen ergab dies ein Gesamttotal von 7076 Beobachtungen.

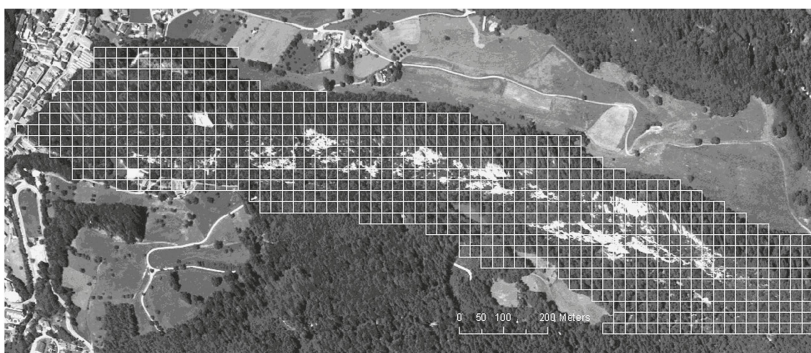


Abb 3 Luftbildaufnahme der Gerstelflüh mit Rasterzellen von 25 m × 25 m, wie sie für die Analyse über die Aufnahmen gelegt wurden (Aufnahmejahr 2000). Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (BA081592)

### Statistische Analysen

Die Entwicklung des Kronenschlusses über vier Zeitpunkte (1951, 1964, 1982 und 2000) wurde mittels Varianzanalyse untersucht. Paarweise Vergleiche erfolgten anschliessend mit dem Tukeys Test. Zur Analyse wurden transformierte Daten (log-arc-cos) benutzt. Varianzanalysen wurden ebenfalls benutzt, um Unterschiede in der Waldflächenzunahme an den Felsfüssen, Felswänden und Felsköpfen zu ermitteln. Um allfällige horizontale räumliche Muster (z.B. im Verlauf von West nach Ost) aufzeigen zu können, wurden die Rasterzellen in Distanzklassen von 250 m Länge von Westen nach Osten eingeteilt. Die Untersuchung der Waldentwicklung in horizontaler Richtung ermöglicht Rückschlüsse auf deren Ursachen (menschliche Einflüsse, Exposition) und erlaubt es insbesondere, die Muster, welche in vertikaler Richtung beobachtet wurden, quantitativ einzuordnen. Die statistischen Analysen wurden mit SAS Version 8.02 durchgeführt.

### Ergebnisse

#### Vertikale Muster des Kronenschlusses

Bei den untersuchten Felsflühen stieg der Median des Kronenschlusses von 60% (1951) auf 85% (1964) an ( $p < 0.05$ ) und blieb danach stabil (Abbildung 4). Die Entwicklung verlief an den einzelnen Felsflühen aber unterschiedlich ( $F_{5,7086} = 358.29$ ,  $p < 0.0001$ ). Der Kronenschluss nahm am stärksten bei der Ravelle zu (1951: 30%, 1964: 100%), gefolgt von der Gerstelflüh (1951: 50%, 1964: 90%) und der Klus (1951: 60%, 1964: 90%). Im Gegensatz dazu konnte in diesem Zeitraum bei der Holzflüh, beim Mont Raimeux und am Muggenberg keine signifikante Zunahme festgestellt werden (Tabelle 2).

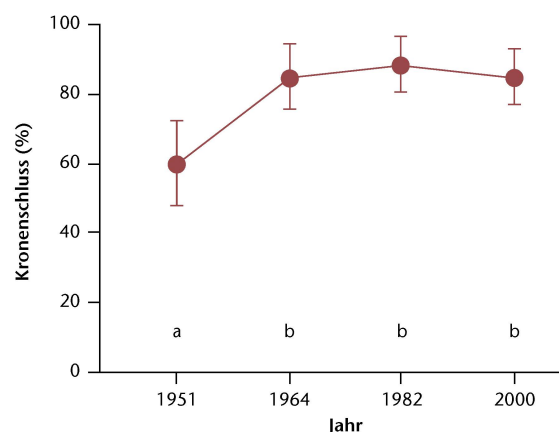


Abb 4 Kronenschluss (%) der untersuchten Felsflühe zwischen 1951 und 2000. Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardfehler der Mediane der jeweiligen Jahre. Jahre mit verschiedenen Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Tukeys Test;  $p < 0.05$ ).

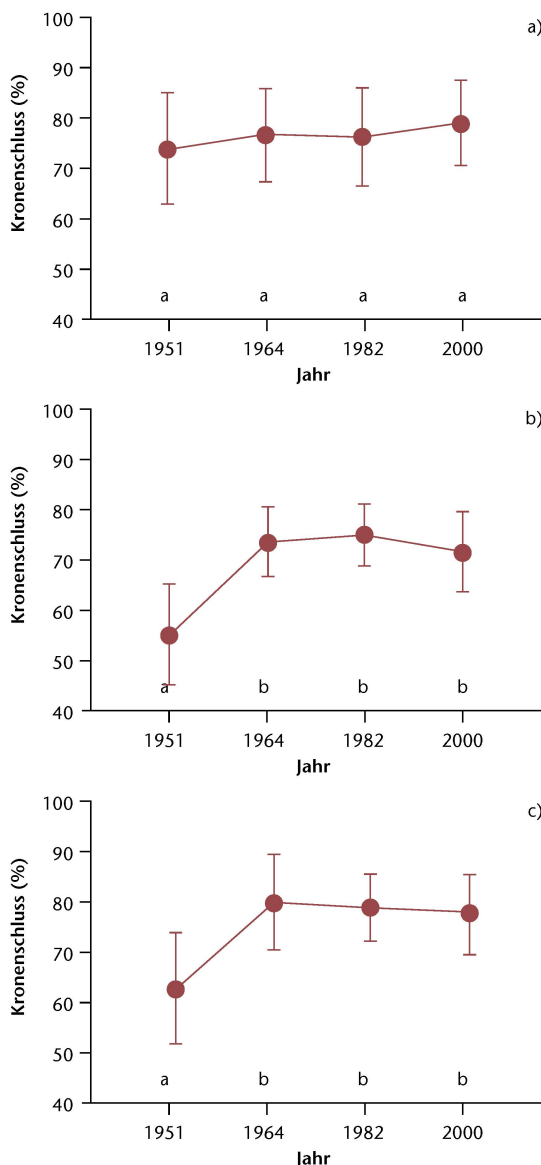
	Felsfuss				Felswand				Felskopf			
	1951	1964	1982	2000	1951	1964	1982	2000	1951	1964	1982	2000
Ravelle	40 <sup>a</sup>	100 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>	50 <sup>a</sup>	100 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>	90 <sup>b</sup>	10 <sup>a</sup>	30 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>
Klus	60 <sup>a</sup>	90 <sup>b</sup>	90 <sup>b</sup>	80 <sup>b</sup>	20 <sup>a</sup>	70 <sup>b</sup>	70 <sup>b</sup>	50 <sup>c</sup>	85 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>
Holzfluh	10 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>	40 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>	30 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>
Gerstelfluf	50 <sup>a</sup>	100 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>	90 <sup>b</sup>	30 <sup>a</sup>	90 <sup>b</sup>	90 <sup>b</sup>	60 <sup>c</sup>	100 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	70 <sup>b</sup>
Mont Raimeux	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>
Muggenberg	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	75 <sup>b</sup>	100 <sup>a</sup>

**Tab 2** Kronenschluss (%) in den untersuchten Felsflühen. Die Werte entsprechen dem Median der Rasterzellen (25 m × 25 m) pro Bereich und Aufnahmejahr. Verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren (Wilcoxon's H-Test;  $p < 0.05$ ).

Grosse Unterschiede in der Waldentwicklung wurden in den drei Abschnitten der Felsflühe gefunden (Abbildung 5). Die Durchschnittswerte der jeweiligen Mediane zeigen folgendes Bild: Im Felsfussbereich stieg der Median des Kronenschlusses von 62% (1951) auf 80% (1964) an und blieb danach stabil. Die entsprechenden Werte für den Felswandbereich betragen 55% (1951) und 72% (1964); anschliessend wurde keine weitere Zunahme des Kronenschlusses

mehr festgestellt. Auf den Felsköpfen stieg der Kronenschluss über die gesamte Beobachtungsspanne nicht signifikant an (1951: 75%, 2000: 79%).

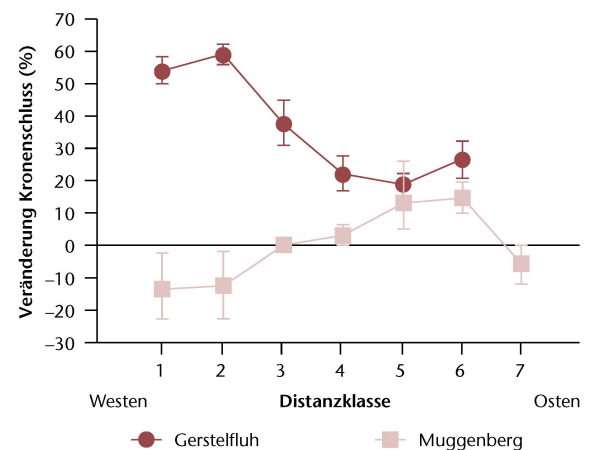
Werden die Felsflühe einzeln betrachtet, so ist im Felsfussbereich der Ravelle ein Anstieg des Medians von 40% (1951) auf 100% (1964) zu beobachten. An der Gerstelfluf stieg der Wert von 50% (1951) auf 100% (1964). Im gleichen Zeitraum wurden am Muggenberg und Mont Raimeux keine Zunahmen gemessen (Tabelle 2). Im Felswandbereich nahm der Kronenschluss an der Gerstelfluf ebenfalls zu (1951: 30%, 1964: 90%), unverändert blieb er am Mont Raimeux und am Muggenberg. Im Felskopfbereich wurden sowohl Zunahmen (Ravelle) als auch Abnahmen (Holzfluf, Gerstelfluf, Muggenberg) des Kronenschlusses festgestellt.



**Abb 5** Veränderung des Kronenschlusses zwischen 1951 und 2000, dargestellt für die Bereiche Felskopf (a), Felswand (b) und Felsfuss (c). Angegeben sind die Mittelwerte und Standardfehler der Mediane der jeweiligen Jahre. Jahre mit verschiedenen Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Tukeys Test;  $p < 0.05$ ).

#### Horizontale Muster des Kronenschlusses

Zwei der sechs Felsflühe zeigten zwischen 1951 und 1964 ein horizontales Muster im Median des Kronenschlusses (Abbildung 6). Bei der Gerstelfluf war die Zunahme des Kronenschlusses im westlichen Teil grösser als im östlichen Teil ( $p < 0.0001$ ).



**Abb 6** Horizontale Muster des Kronenschlusses im Felsfussbereich von Gerstelfluf und Muggenberg. Die Rasterzellen wurden zu Distanzklassen von 250 m Länge, beginnend im Westen der Fluf, zusammengefasst. Dargestellt sind die Mittelwerte der Veränderungen im Median der Jahre 1951 und 1964 in den jeweiligen Distanzklassen.



**Abb 7** Felsfussbereich mit hohem Kronenschluss an der Klus bei Balsthal.

Am Muggenberg nahm der Kronenschluss nur im mittleren, südwestlich orientierten Wandabschnitt zu. Diese Felswand weist eine V-Form auf. Der Abschnitt, bei welchem die Zunahme festgestellt wurde, liegt am nächsten beim Siedlungsgebiet und weist zudem die grösste Sonneneinstrahlung auf.

## Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass die Wälder an den Felsflühen im Nordwestschweizer Jura zwischen 1951 und 2000 dichter geworden sind (Abbildung 7). Sie bestätigen damit eine bisherige Vermutung (Schiess & Schiess-Bühler 1997, Wohlgenuth et al 2002). Die Zunahme des Kronenschlusses während der ersten Jahrzehnte nach dem Zweiten Weltkrieg ist eine direkte Folge der Aufgabe der Waldweidenutzung und der Extensivierung oder Aufgabe der Waldnutzung. Mit dem Wirtschaftsaufschwung in den 1950er-Jahren wurde das Feuerholz in der Schweiz weitgehend durch das Erdöl abgelöst. Als Beispiel kann auf die Wälder im Schöntal bei Langenbruck (BL), welche sich unweit der untersuchten Gerstelfluh befinden, verwiesen werden. Dort erreichte die Nachfrage nach Feuerholz im Jahr 1946 einen Höhepunkt und nahm danach stark ab. Ab 1960 wurde in diesem Gebiet kein Feuerholz mehr geerntet. Der Holzvorrat an vergleichbaren Standorten stieg deshalb von 100 bis 120 m<sup>3</sup>/ha im Jahr 1948 auf 300 bis 420 m<sup>3</sup>/ha im Jahr 1995 an (Burnand & Hasspacher 1999).

Verschiedene Studien belegen, dass die Aufgabe der traditionellen Waldnutzung wie Beweidung, Streuentnahme und Feuerholzgewinnung zu einer Verminderung in der Abundanz und Artenzahl von Pflanzen und wirbellosen Tieren führt (Keller & Hartmann 1986, Egloff 1991, Schiess & Schiess-

Bühler 1997). Egloff (1991) verglich die heutige Flora der Lägern mit jener vor 100 Jahren und fand, dass während dieses Zeitraums 74 Pflanzenarten lokal ausgestorben sind. Keller und Hartmann (1986) nennen Aussterberaten zwischen 4% und 8% bei Pflanzen in verschiedenen Wäldern in der Nordschweiz. Alle diese Studien vermuteten eine Zunahme des Kronenschlusses als Hauptfaktor für den beobachteten Artenschwund.

Die starke Verminderung der Holznutzung während der vergangenen Jahrzehnte hatte nicht nur eine Zunahme der Biomasse, sondern auch eine Anreicherung der Nährstoffe im Boden zur Folge. Diese wiederum fördert das Pflanzenwachstum und erlaubt insbesondere im Felsfussbereich die Präsenz von Pflanzenarten mit höheren Ansprüchen an die Nährstoffverfügbarkeit. Exemplarisch sichtbar ist die Extensivierung resp. Aufgabe der Waldnutzung an der Gerstelfluh. Dort hat der Kronenschluss zwischen 1951 und 1964 im westlichen Teil, welcher vom Städtchen Waldenburg aus leicht erreichbar ist, stärker zugenommen als im östlichen Teil.

Die Tatsache, dass bei drei Felsflühen keine signifikante Zunahme des Kronenschlusses zwischen 1951 und 1964 festgestellt wurde (Tabelle 2), verlangt eine genauere Betrachtung. Aufgrund der relativ abgechiedenen Lage und des geringen Buchenanteils waren die Felsflühe beim Muggenberg und am Mont Raimeux vermutlich weniger für die Brennholzgewinnung oder für die Waldweidenutzung geeignet. Im Gegensatz dazu liegt die Holzfluh nahe am Siedlungsgebiet und gleicht den anderen Felsflühen bezüglich Mikroklima, Bodenverhältnissen und Baumbestand. Aufgrund der Steilheit des Geländes um die Holzfluh ist dieses Gebiet aber eher ungeeignet für das Ernten oder Sammeln von Feuerholz.

Nach 1964 konnte bei keiner der Felsflühe eine Zunahme im Kronenschluss beobachtet werden. Das könnte auf die Selbstaussdünnung in den dicht gewordenen Waldbeständen zurückzuführen sein. Auch lassen sich mit der von uns benutzten Untersuchungsmethode (ordinale Skala mit 10%-Schritten) geringe Veränderungen nicht messen.

Grosse Unterschiede in der Zunahme des Kronenschlusses waren in unserer Studie auch innerhalb einzelner Felsflühe sichtbar. Das Ergebnis, dass die Verdichtung im Felsfussbereich am stärksten und im Felskopfbereich vergleichsweise gering war, dürfte neben der besseren Erreichbarkeit der Felsfussbereiche teilweise in den unterschiedlichen klimatischen und edaphischen Bedingungen der jeweiligen Bereiche begründet liegen. Hohe Sonneneinstrahlung sowie der Wasser- und Nährstoffeintrag aus den oberhalb liegenden Bereichen erlauben ein vergleichsweise gutes Pflanzenwachstum am Felsfuss. Im Gegensatz dazu ist das Pflanzenwachstum auf Felsköpfen aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen – bedingt

durch die Porosität des Kalkfelsens – stark eingeschränkt. Die beobachtete Zunahme der Baumvegetation im Felswandbereich ist entweder auf einen Zuwachs der Bäume in der Felswand zurückzuführen oder sie kann eine Folge des Aufwachsens der Bäume vom Felsfuss her sein. Die erste Erklärung scheint allerdings wegen des sehr langsamen Wachstums der an felsige Lebensräume angepassten Bäume und Sträucher (Larson et al 1999) eher unwahrscheinlich zu sein.

In horizontaler Richtung war ein diffuses Bild in der Entwicklung des Kronenschlusses zu sehen. Die beiden beobachteten, signifikanten Veränderungen an der Gerstelflüh sowie am Muggenberg sind aufgrund ihrer Lage der unterschiedlich intensiven forstwirtschaftlichen Nutzung in der Vergangenheit zuzuschreiben. In Fällen wie der Gerstelflüh, bei welchen der Nutzungsdruck in der Vergangenheit sehr unterschiedlich war, ist also bei der Ausarbeitung von Pflegekonzepten auf diese speziellen Gegebenheiten Rücksicht zu nehmen und beispielsweise die Pflege dort zu intensivieren, wo auch in Vergangenheit ein lichter Baumbestand vorhanden war.

Das stärkere Zuwachsen der Felsfussbereiche führt zu einer stärkeren Beschattung der unteren Felspartien. Zusammen mit der Übergangszone zum Felskopf stellt dieser Bereich den Lebensraum für verschiedene reliktsche Pflanzenvorkommen dar (Morisset 1971, Wassmer 1998). Um diese Vorkommen zu erhalten, sollten weiterhin gute Lichtbedingungen angeboten werden. Selektive forstliche Eingriffe am Felsfuss führen zu relativ grossen Flächen mit guten Lichtverhältnissen und fördern dadurch die seltenen Pflanzenarten mit hohen Lichtansprüchen (Schütz 1999, Müller et al 2005). Eine andere Möglichkeit, um die Felsfussabschnitte offen zu halten, stellt die zeitlich und räumlich beschränkte Beweidung mit Ziegen dar. Unabhängig von der Art und Weise des Eingriffs ist ein Monitoring der bearbeiteten Gebiete unabdingbar, zumal die erforderlichen Intervalle und Intensitäten der Folgeeingriffe je nach edaphischen und mikroklimatischen Bedingungen der Standorte stark variieren können. Je nach Vorhandensein von Stockausschlägen (insbesondere von Bergahorn und Hasel) und dem Aufkommen eines starken Nebenbestandes kann bereits nach wenigen Jahren ein Folgeeingriff nötig werden. An den trockensten und humusärmsten (und dadurch für die seltenen Tier- und Pflanzenarten an sich geeignetsten) Standorten wird sich ein erneutes Zurückschneiden vermutlich aber erst nach Jahrzehnten aufdrängen. Die Kosten der Eingriffe sind erfahrungsgemäss stark abhängig von der Zugänglichkeit und vom Umgang mit dem anfallenden Astmaterial. Holzerntemaschinen können kaum eingesetzt werden. Die Arbeiten müssen daher mit der Motorsäge ausgeführt werden. Für die Entfernung des Nebenbestandes und das Fällen und Entasten

einzelner Stämme ist mit Kosten von mindestens CHF 100.– pro Are zu rechnen. Idealerweise sollte das angefallene Astmaterial zu Haufen geschichtet oder aus dem Gebiet entfernt werden. Beides ist aber mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Angesichts der beobachteten Auswirkungen einer extensivierten forstwirtschaftlichen Nutzung auf Flora und Fauna von Felsflühen stellt sich die Frage, welchen Einfluss die in jüngerer Zeit wieder steigende Nachfrage nach Holz auf den Kronenschluss entlang der Felsflühe haben wird. Die Felsflühe im Jura dürften von einer Intensivierung der forstwirtschaftlichen Nutzung nur beschränkt betroffen sein. Abgesehen von einzelnen gut erschlossenen und leicht zugänglichen Felsfussgebieten wird es deshalb auch zukünftig (unter gestiegenen Rohstoffpreisen) nötig sein, mit Geldern aus dem Naturschutzbereich gezielte Eingriffe durchzuführen. In jenen Felsfussbereichen, welche wieder in die forstliche Nutzungsplanung einbezogen werden, ist bei der Bewirtschaftung darauf zu achten, dass Nährstoffeintrag und Bodenbedeckung durch Astmaterial möglichst gering gehalten werden. Andere menschliche Aktivitäten in den Felsgebieten, welche die sensible Felsvegetation beeinflussen, wie beispielsweise das Sportklettern, sollten vermieden werden (Müller et al 2004, Rusterholz et al 2004). ■

*Eingereicht: 23. Dezember 2007, akzeptiert (mit Review): 15. Mai 2008*

## Dank

Wir danken Anette Baur und Peter Stoll für die konstruktiven Kommentare zum Manuskript. Die Studie wurde finanziell durch den Schnyder-Steimer-Fonds (Zürich) unterstützt.

## Literatur

- AHRENS W (2001) Analyse der Waldentwicklung in Naturwaldreservaten auf Basis digitaler Orthobilder. Freiburg: Univ Freiburg, PhD thesis. 143 p.
- ASHTON DH, WEBB RN (1977) The ecology of granite outcrops at Wilson's Promontory, Victoria. *Aust J Ecol* 2: 269–296.
- BITTERLI-BRUNNER P (1987) Geologischer Führer der Region Basel. Basel: Birkhäuser. 232 p.
- BLOECHLINGER A (1995) Forstgeschichte des Kantons Solothurn, von ihren Anfängen bis 1931. Solothurn: Kant Drucksachenverwaltung. 423 p.
- BURNAND J, HASSPACHER B (1999) Waldstandorte beider Basel. Liestal: Verlag Kanton Basel-Landschaft. 266 p.
- COATES F, KIRKPATRICK JB (1992) Environmental relations and ecological responses of some higher plant species on rock cliffs in northern Tasmania. *Aust J Ecol* 17: 441–449.
- EGLOFF FG (1991) Dauer und Wandel der Lägerflora. *Vierteljahrsschr Nat.forsch Ges Zür* 136: 207–270.

- EWALD J (2000)** Long-term impact of forest pasture on the understorey of mountain forests in the Tegernsee Alps (Bavaria). *Z Ökol Nat.schutz* 9: 161–170.
- ELLENBERG H (1986)** Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Stuttgart: Ulmer. 1096 p.
- FACHSTELLE NATURSCHUTZ KANTON ZÜRICH (2004)** Aktionsplan flaumiger Seidelbast (*Daphne cneorum* L.). Zürich: Fachstelle Naturschutz. 22 p.
- JÄGGI C, BAUR B (1999)** Overgrowing forest as a possible cause for the local extinction of *Vipera aspis* in the northern Swiss Jura mountains. *Amphibia-Reptilia* 20: 25–34.
- KÄSERMANN C, MOSER DM (1999)** Merkblätter Artenschutz – Blütenpflanzen und Farne. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Vollzug Umwelt. 344 p.
- KELLER H, HARTMANN J (1986)** Ausgestorbene, gefährdete und seltene Farn- und Blütenpflanzen im Kanton Aargau: Rote Liste Aargau. *Mitt Aargau nat.forsch Ges* 31: 189–216.
- LARSON DW ET AL (1999)** Ancient stunted trees on cliffs. *Nature* 398: 382–383.
- LARSON DW, MATTHES U, KELLY PE (2000)** Cliff Ecology: Pattern and process in cliff ecosystems. Cambridge: Cambridge Univ Press. 340 p.
- MORISSET P (1971)** Endemism in the vascular plants of the Gulf of St. Lawrence region. *Nat Can* 98: 167–177.
- MÜLLER SW, RUSTERHOLZ HP, BAUR B (2004)** Rock climbing alters the vegetation of limestone cliffs in the northern Swiss Jura Mountains. *Can J Bot* 82: 862–870.
- MÜLLER SW, RUSTERHOLZ HP, BAUR B (2006)** Effects of forestry practices on relict plant species on limestone cliffs in the northern Swiss Jura mountains. *For Ecol Manage* 237: 227–236.
- RICHARD JL (1972)** La végétation des crêtes rocheuses du Jura. *Ber Schweiz bot Ges* 82: 68–112.
- RUSTERHOLZ HP, MÜLLER SW, BAUR B (2004)** Effects of rock climbing on plant communities on exposed limestone cliffs in the Swiss Jura Mountains. *Appl Veg Sci* 7: 35–40.
- SCHIESS H, SCHIESS-BÜHLER C (1997)** Dominanzminderung als ökologisches Prinzip: eine Neubewertung der ursprünglichen Waldnutzungen für den Arten- und Biotopschutz am Beispiel der Tagfalterfauna eines Auenwaldes in der Nordschweiz. *Mitt Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch* 72: 3–127.
- SCHÜTZ JP (1999)** Close-to-nature silviculture: is this concept compatible with species diversity? *Forestry* 72: 359–366.
- STUBER M, BÜRGI M (2002A)** Agrarische Waldnutzungen in der Schweiz 1800–1950. Nadel- und Laubstreue. *Schweiz Z Forstwes* 152: 397–410. doi: 10.3188/szf.2002.0397
- STUBER M, BÜRGI M (2002B)** Agrarische Waldnutzungen in der Schweiz 1800–1950. Waldweide, Waldheu, Nadel- und Laubfutter. *Schweiz Z Forstwes* 152: 490–508. doi: 10.3188/szf.2002.0490
- WASSMER A (1998)** Zur Felsenflora des östlichen Kettenjuras. Aarau: Baudepartement, Sektion Natur Landschaft, Grundlagen Berichte Naturschutz 17. 106 p.
- WOHLGEMUTH T, BÜRGI M, SCHEIDEGGER C, SCHÜTZ M (2002)** Dominance reduction of species through disturbance – a proposed management principle for central European forests. *For Ecol Manage* 166: 1–15.

## Quantitative Analyse der Verwaldung von Felsflühen im Nordwestschweizer Jura

Die Kalkfelsflühe im Nordwestschweizer Jura beherbergen eine artenreiche Flora mit verschiedenen reliktschen Populationen arktisch-alpiner und mediterraner Pflanzenarten. Da diese hohe Ansprüche an die Lichtverhältnisse stellen, sind sie durch Verbuschung und Verwaldung in ihrem Bestand gefährdet. Die Ursache der zunehmenden Verwaldung liegt in der Extensivierung der Holznutzung und in der Aufgabe der traditionellen Waldnutzung wie des Sammelns von Brennholz und der Waldweide.

In der vorliegenden Studie wurde das zeitliche und räumliche Muster der Verwaldung anhand der Veränderung des Kronenschlusses bei sechs Felsflühen der Nordwestschweiz mittels Luftbildern der Jahre 1951 bis 2000 untersucht. Der Median des Kronenschlusses nahm bei den untersuchten Felsflühen zwischen den Jahren 1951 und 1964 von 60% auf 85% zu und blieb danach stabil. Die Entwicklung des Kronenschlusses zeigte verschiedene räumliche Muster: Signifikante Zunahmen gab es im Bereich der Felsfüsse und Felswände, jedoch nicht im Felskopfbereich. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die bisherige Vermutung, dass Felsgebiete in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend verwaldet sind. Gezielte forstliche Eingriffe oder eine kontrollierte Beweidung durch Ziegen könnten zu einem lichten Baumbestand beitragen, welcher zur Erhaltung der reliktschen Pflanzenvorkommen notwendig ist.

## Analyse quantitative du boisement des parois de rocher du Nord-Ouest du Jura suisse

Les bancs de roche calcaire du Nord-Ouest du Jura suisse hébergent une flore diversifiée avec quelques populations reliques d'espèces arctiques alpines et méditerranéennes. Comme ces plantes sont très exigeantes en lumière, elles sont menacées par l'embroussaillage et par la progression de la forêt. L'extension constante de la forêt découle de l'abandon des utilisations traditionnelles, comme la récolte de bois de feu et la pâture en forêt.

La présente étude examine le développement dans le temps et dans l'espace forestier sur la base de l'évolution du degré de recouvrement de la strate arborescente sur six parois de rocher du Nord-Ouest de la Suisse, au moyen de photos aériennes des années 1951 à 2000. Le degré de recouvrement moyen a passé de 60 à 85% entre 1951 et 1964, puis est resté stable. L'évolution du degré de recouvrement présente différents exemples d'extension spatiale: les pieds des rochers et les parois ont montré des augmentations significatives, alors que ce n'est pas le cas sur les sommets. Les présents résultats confirment l'hypothèse antérieure, selon laquelle les zones rocheuses se sont boisées de plus en plus au cours des dernières décennies. Des interventions forestières ciblées ou une pâture contrôlée par des chèvres pourraient contribuer à maintenir un boisement clair, tel qu'il est nécessaire pour préserver les populations de plantes reliques.