



## Genetische Untersuchung der Steinbockpopulation an der Benediktenwand



Iris Biebach

Bericht der  
Universität Zürich  
Institut für Evolutionsbiologie und Umweltwissenschaften (IEU)  
Winterthurerstr. 190  
CH-8057 Zürich  
Telefon +41 44 635 49 72  
Telefax +41 44 635 68 18  
Mail: [iris.biebach@ieu.uzh.ch](mailto:iris.biebach@ieu.uzh.ch)  
[www.ieu.uzh.ch](http://www.ieu.uzh.ch)

Zürich, Mai 2012

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 PROBLEME VON WIEDERANSIEDLUNGEN</b>	<b>3</b>
<b>2 GENETIK DER SCHWEIZER STEINBOCKPOPULATIONEN</b>	<b>4</b>
<b>3 STEINBOCKPOPULATION AN DER BENEDIKTENWAND</b>	<b>4</b>
<b>4 GENETISCHE STUDIE</b>	<b>5</b>
<b>5 METHODEN</b>	<b>5</b>
<b>6 GENETISCHE VERWANDTSCHAFT</b>	<b>6</b>
<b>7 GENETISCHE VIELFALT</b>	<b>8</b>
<b>8 INZUCHT</b>	<b>9</b>
<b>9 ZUKUNFT</b>	<b>10</b>

## 1. Probleme von Wiederansiedlungen

In den letzten Jahrhunderten wurden viele Tierarten vom Menschen verdrängt. Für einige Tierarten wurden Anstrengungen unternommen, sie wieder in ihrem ursprünglichen Gebiet anzusiedeln. Für solche Wiedereinbürgerungen werden und wurden meist nur relativ wenige Tiere ausgesetzt, unter anderem deshalb, weil vor allem bei größeren Tieren der Kosten- und Zeitaufwand groß und die Anzahl der zur Verfügung stehenden Tiere begrenzt ist. Doch gerade die Anzahl der ausgesetzten Tiere kann Folgen für die Etablierung und die langfristige Gesundheit einer Population haben. Eine Studie über 44 Wiederansiedlungsprojekte von Fleischfressern konnte zeigen, dass die Zahl misslungener Aussetzungen mit zunehmender Anzahl ausgesetzter Tiere zurückging. Aber selbst wenn eine Population erfolgreich etabliert wurde, existieren noch Gefahren, die mit der Aussetzung verknüpft sind. Diese langfristigen Konsequenzen sind genetischer Natur: der Verlust von genetischer Vielfalt und die Inzucht. Das erste Problem gründet darin, dass wenige ausgesetzte Tiere nur einen kleinen Teil der genetischen Vielfalt ihrer ursprünglichen Population repräsentieren. Daher ist auch die genetische Vielfalt in der neu gegründeten Population meist geringer als in der Herkunftspopulation. Diese geringe genetische Vielfalt indes kann langfristig zu evolutionären Anpassungsproblemen führen, d.h. die neu gegründete Population weist zu wenig genetische Vielfalt auf, um sich an ändernde Umweltsituationen wie Klimaveränderungen oder neue Krankheitserreger anpassen zu können. Ist die genetische Vielfalt in einer Population hoch, ist auch die Wahrscheinlichkeit groß, dass einzelne Tiere Gene tragen, mit denen sie unter den neuen Bedingungen einer veränderten Umwelt überleben können. Das zweite genetische Problem ist die Inzucht, die Verpaarung von verwandten Individuen. Auch wenn sich bei Tierarten verwandte Individuen nur zufällig paaren, so sind in einer kleinen Population doch alle Tiere mehr oder weniger stark miteinander verwandt. Inzucht häuft sich über die Zeit an, so dass zum Beispiel Cousin–Cousinen-Verpaarungen über mehrere Generationen dann zu einem gleichen Inzuchtgrad führen wie etwa eine Vater–Tochter-Verpaarung. Die schädlichen Folgen der Inzucht, die sogenannte Inzuchtdepression, wurden bereits früh entdeckt, insbesondere bei Zuchtrassen, und sie sind auch zunehmend bei wildlebenden Populationen nachgewiesen worden. Zu den schädlichen Folgen zählen unter anderem erhöhte Anfälligkeit für Krankheiten oder reduzierter Fortpflanzungserfolg. Der Grund für die Inzuchtdepression sind genetische Defekte, die zum Vorschein kommen. Solche genetischen Defekte sind praktisch bei allen höheren Pflanzen- und Tierarten zu finden.

## **2. Genetik der Schweizer Steinbockpopulationen**

Die Rückkehr des Alpensteinbocks in große Teile des Alpenbogens gehört zu den erfolgreichsten Wiederansiedlungsprojekten von nahezu ausgerotteten Tierarten. Die heute wieder zahlreichen Steinbockpopulationen gehen alle auf eine Population in Norditalien zurück. In einem Forschungsprojekt der Universität Zürich und des Bundesamt für Umwelt der Schweiz wurden die genetischen Folgen der Aussetzungsgeschichte bei mehr als 40 Steinbockpopulationen aus der Schweiz untersucht. Die Analysen zeigen, dass sich die Schweizer Steinböcke bezüglich ihrer genetischen Struktur in drei klare Gruppen aufteilen lassen. Jede dieser Gruppen stammt von einer der früh gegründeten Wildpopulationen (Albris, Birenzer Rothorn und Pleureur) ab, die mit Nachkommen von eingeführten Tieren aus Italien gebildet wurden. Insgesamt weisen die Steinbockpopulationen eine geringe genetische Vielfalt und eine hohe Inzucht auf. Beide Masse sind stark von der Aussetzungsgeschichte und nicht von natürlichen Migrationsmustern geprägt worden. Weitere Ausführungen der Ergebnisse des Forschungsprojekts sind zu finden in Biebach und Keller (2009, 2010, 2011, 2012).

## **3. Steinbockpopulation an der Benediktenwand**

Auch die Steinbockpopulation an der Benediktenwand stammt vorwiegend von ausgesetzten Tieren ab. Ende der 1950er Jahre ist ein Bock aus der Steinbockpopulation im Bächental, die ihrerseits aus Wildfängen aus der Schweiz gegründet wurde, in das Benediktenwand Gebiet zugewandert. Der Bock hat dort mehrere Jahre alleine gelebt bis man zwischen 1967 und 1971 drei Böcke und sechs Geißen aus dem Wildpark Peter & Paul in St. Gallen, aus einem Zürcher Gehege und dem Frankfurter Zoo in das Gebiet ausgesetzt hat. Die Benediktenwand-Population stammt also maximal von 10 Tieren ab, wahrscheinlicher stammt sie nur von sechs Tieren ab, weil zwei der ausgesetzten Böcke abgewandert und die beiden Geißen aus dem Frankfurter Zoo verendet sind. Seit den letzten Aussetzungen ist die Population stetig angestiegen und in den letzten 20 Jahren lag die durchschnittliche Populationsgröße bei ca. 80 Tieren, fluktuierte jedoch zwischen 40 und 150 Individuen.

#### **4. Genetische Studie**

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene genetische Aspekte bei der Steinbockpopulation an der Benediktenwand untersucht.

Zunächst wurde die genetische Verwandtschaft der Benediktenwand-Population analysiert. Die genetische Verwandtschaft der Schweizer Steinbockpopulationen lässt sich in drei genetische Gruppen einteilen, welche die drei früh gegründeten Populationen Albris, Brienzer Rothorn und Pleureur mit ihren Abkömmlingen abbilden. Diese drei früh gegründeten Populationen stammen ihrerseits von Tieren aus den Wildparks „Peter & Paul“ und Interlaken „Harder“ ab. Fünf der vermutlichen sechs Tiere, von denen die bestehende Benediktenwand-Population abstammt, sind ebenso aus dem Wildpark „Peter & Paul“ gekommen. Der erste zugewanderte Bock hingegen kam von einer Population, die vom Albris abstammt. Ich habe untersucht wo die Benediktenwand-Population von ihrer genetischen Verwandtschaft her einzuordnen ist. Ist sie zu der genetischen Gruppe der Albris Population mit ihren Abkömmlingen einzuordnen, weil der zugewanderte Bock vom Albris abstammte oder lässt sie sich zu keiner der genetischen Schweizer Gruppen zuordnen?

Weitere interessante genetische Aspekte sind die genetische Vielfalt und die Inzucht. Nachdem die Benediktenwand-Population nur von wenigen Tieren abstammt, wird auch bei dieser Population eine geringe genetische Vielfalt und hohe Inzucht erwartet. Diese beiden Parameter wurden bei der Benediktenwand-Population bestimmt und mit denen der Schweizer Steinbockpopulationen verglichen.

#### **5. Methoden**

In den Jahren 2008-2010 wurden Proben von der Steinbockpopulation an der Benediktenwand für die genetische Untersuchung genommen. 7 Gewebeproben konnten im Jahr 2006 und eine Probe im Jahr 2008 von Hegeabschüssen entnommen werden. Weitere 9 Gewebeproben wurden 2010 mit einem Biopsiegewehr entnommen. Dabei wird ein kleiner Pfeil auf das Tier geschossen, der durch den Rückstoß beim Aufprall sogleich wieder vom Tierkörper abfällt und ein kleines Stück Haut enthält. Aufgrund des Alters und dem Erscheinungsbild der Tiere, insbesondere der Hörner, wurde versucht kein Tier doppelt mit einem Biopsiepfeil zu beproben. Zudem wurden auch 7 Losungsproben gesammelt. Aus den gesammelten Proben wurde dann jeweils die DNS (Erbgut) extrahiert. Mit Hilfe von labortechnischen Methoden konnten wir 40

genetische Marker auf der DNS jedes Tieres millionenfach vervielfältigen und deren Gen-Ausprägung bestimmen. Dieser genetische Fingerabdruck der Steinböcke bildete die Grundlage für die genetischen Analysen der vorliegenden Studie.

Von den Losungsproben konnte nur ein Teil der genetischen Marker zuverlässig bestimmt werden, da DNS aus Losungsproben schlechtere Qualität aufweist als DNS von Gewebeproben. Daher beruhen die Auswertungen auf den 17 Gewebeproben von Hegeabschüssen und der Biopsieentnahme. Das ist für die Analysen dieser Studie eine ausreichende Anzahl Proben. Die Proben setzen sich aus 15 Böcken und zwei Geißen zusammen. Ein Identitätstest konnte bestätigen, dass alle Proben von verschiedenen Individuen stammen. Bei der Biopsieprobeentnahme wurde also kein Tier doppelt beprobt.

## **6. Genetische Verwandtschaft**

Die untersuchten Gene sollten über die Verwandtschaft der Benediktenwand-Steinbockpopulation relativ zu den Schweizer Steinbockpopulationen Aufschluss geben. Die Steinböcke an der Benediktenwand sind genetisch relativ weit entfernt von den Schweizer Steinböcken (Abbildung 1) - keine andere untersuchte Population ist so weit genetisch entfernt.

Die genetische Verwandtschaft der Schweizer Steinbockpopulationen spiegelt primär die Aussetzungsgeschichte wider, bei der vorwiegend drei der früh gegründeten Wildpopulationen (Albris, Briener Rothorn und Pleureur) Steinböcke für weitere Aussetzungen lieferten. Jede der drei früh gegründeten Wildpopulationen bildet zusammen mit ihren Abkömmlingen eine genetische Gruppe. Die Benediktenwand-Population gehört zu der Albris-Gruppe, ist aber dennoch genetisch weit entfernt von den anderen Populationen in dieser Gruppe. Die Zuordnung der Benediktenwand-Population spiegelt auch die Geschichte der Population wider. Der erste zugewanderte Bock stammte von der Albris Population ab und daher ist die Benediktenwand-Population näher mit der Albris-Gruppe als mit den anderen beiden genetischen Gruppen verwandt. Die Gene der Gründertiere aus dem Wildpark „Peter & Paul“ führen dazu, dass die Benediktenwand-Population weiter entfernt ist von den anderen Steinbockpopulationen in der Albris-Gruppe. Für die große genetische Entfernung zu den anderen Steinbockpopulationen ist aber auch die kleine Gründergruppe und die geringe Populationsgröße der Benediktenwand-Population verantwortlich. Der Grund ist, dass sich in kleinen Populationen die Zusammensetzung der

Genausprägungen schneller als in großen Populationen ändert, genauso wie der Verlust der genetischen Vielfalt in kleinen Populationen höher ist.

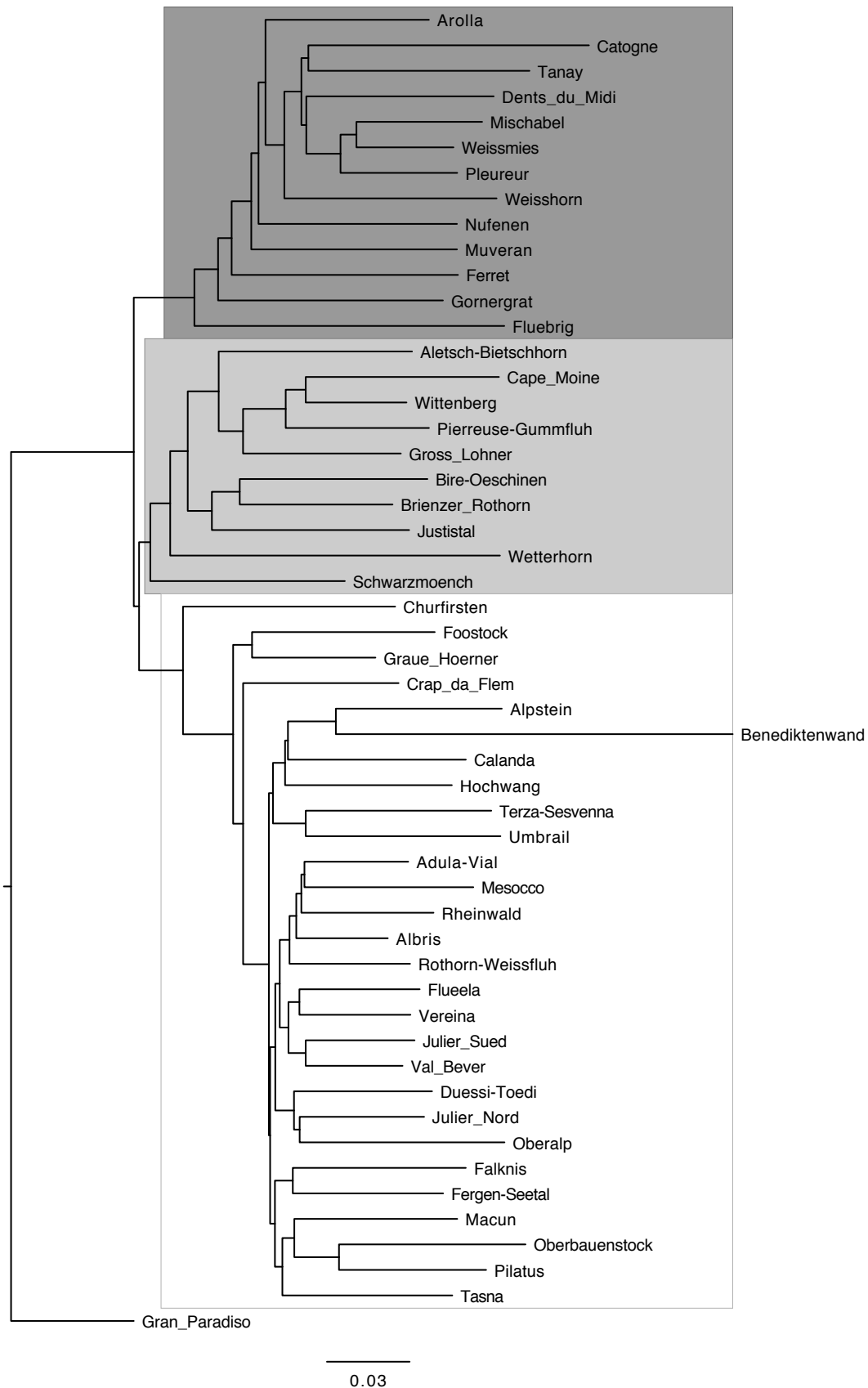


Abbildung 1: Genetischer Stammbaum von 52 Steinbockpopulationen. Je kürzer die Horizontaldistanz zwischen zwei Populationen desto näher verwandt sind die beiden Populationen. Die ursprüngliche Gran Paradiso Population wurde als Outgroup definiert. Die drei genetischen Gruppen, die auf die früh gegründeten Populationen mit ihren Abkömmlingen zurückgehen sind dunkelgrau (Pleureur-Gruppe), hellgrau (Brienzer Rothorn-Gruppe) und weiß (Albris-Gruppe) gefärbt.

## 7. Genetische Vielfalt

Die genetische Vielfalt ist ein wichtiges Mass in der Populationsgenetik. Je mehr genetische Vielfalt eine Population besitzt, umso eher kann sie sich an ändernde Umweltbedingungen anpassen. Die genetische Vielfalt der Benediktenwand-Population ist mit durchschnittlichen 1.7 verschiedenen Genvarianten an den genetischen Markern sehr gering (Abbildung 2). Im Vergleich zu den Schweizer Populationen hat die Benediktenwand-Population 15% weniger genetische Vielfalt. Dabei ist die genetische Vielfalt der Schweizer Steinbockpopulationen auch schon sehr klein - sie weisen nur  $\frac{1}{4}$  der genetischen Vielfalt verwandter Hausziegen auf. Die genetische Vielfalt einer Population wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Man erwartet eine grössere genetische Vielfalt, wenn mehr Tiere und Tiere aus verschiedenen Populationen ausgesetzt wurden. Die Steinbockpopulation an der Benediktenwand stammt wahrscheinlich von nur sechs Tieren ab und diese kleine Gründergruppe ist vermutlich der Hauptgrund für die geringe genetische Vielfalt der Benediktenwand-Population.

Es wurden keine Genausprägungen gefunden, die nur in der Benediktenwand-Population vorkommen und sonst in keiner freilebenden Population. Das bedeutet dass alle Genausprägungen, die mit den Tieren vom Wildpark Peter & Paul in die Benediktenwand-Population gebracht wurden, auch schon in andere Populationen gebracht wurden und dort fortbestehen konnten.

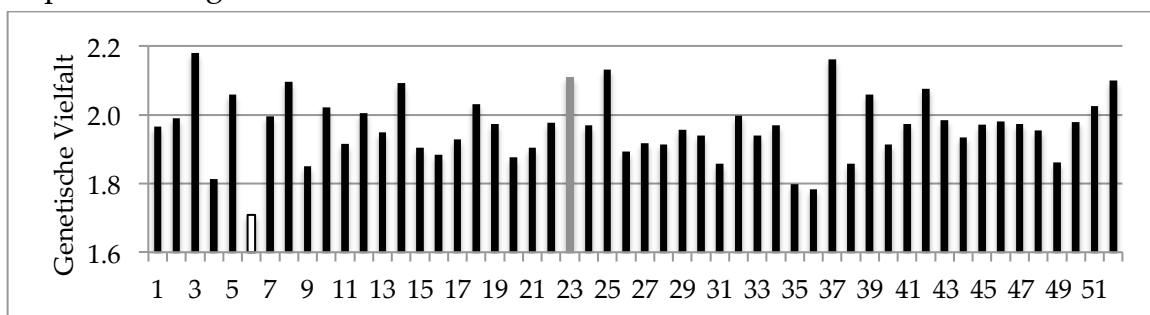


Abbildung 2: Genetische Vielfalt von 52 Steinbockpopulationen. Die weiss gefärbte Säule zeigt die genetische Vielfalt der Benediktenwand-Population. Die grau gefärbte Säule zeigt die genetische Vielfalt der ursprünglichen Gran Paradiso Population. Die schwarz gefärbten Säulen zeigen die genetische Vielfalt der Schweizer Steinbockpopulationen.

Populationen: 1: Adula-Vial, 2: Albris, 3: Aletsch-Bietschhorn, 4: Alpstein, 5: Arolla, 6: Benediktenwand, 7: Bire-Oeschinen, 8: Brienzer Rothorn, 9: Calanda, 10: Cape Moine, 11: Catogne,



12: Churfürsten, 13: Crap da Flem, 14: Dents du Midi, 15: Duessi-Toedi, 16: Falknis, 17: Fergen-  
Seetal, 18: Ferret, 19: Fluebrig, 20: Flueela, 21: Foostock, 22: Gornergrat, 23: Gran Paradiso, 24:  
Graue Hoerner, 25: Gross Lohner, 26: Hochwang, 27: Julier Nord, 28: Julier Sued, 29: Justistal, 30:  
Macun, 31: Mesocco, 32: Mischabel, 33: Muveran, 34: Nufenen, 35: Oberalp, 36: Oberbauenstock, 37:  
Pierreuse Gummfluh, 38: Pilatus, 39: Pleureur, 40: Rheinwald, 41: Rothorn-Weissfluh, 42:  
Schwarzmoench, 43: Tanay, 44: Tasna, 45: Terza-Sesvenna, 46: Umbrail, 47: Val Bever, 48: Vereina,  
49: Weisshorn, 50: Weissmies, 51: Wetterhorn, 52: Wittenberg

## 8. Inzucht

In kleinen Populationen geht mit jeder Generation genetische Vielfalt verloren. Dieselben Faktoren, die zum Verlust von genetischer Vielfalt führen, erhöhen in kleinen Populationen auch den Grad der Inzucht. Inzucht kann, abhängig von der herangezogenen Definition, auf verschiedene Weise gemessen werden. Dabei unterscheiden sich die Inzuchtdefinitionen hauptsächlich darin, dass sie sich auf verschiedene Referenzpopulationen beziehen, in denen es per Definition keine Inzucht gibt. Das heisst, der Grad an Inzucht wird immer relativ zu einer Population betrachtet, bei der man davon ausgeht, dass es noch keine Inzucht gab. Die Inzucht, die wir für die Steinböcke berechnet haben, bezieht sich auf die erste Schweizer Wildparkpopulation. Wir haben also im Grunde die durchschnittliche Inzucht geschätzt, die sich in den Populationen seit dem frühen 20. Jahrhundert ansammeln konnte.

Es zeigte sich, dass die Benediktenwand-Population einen Inzuchtgrad von 0.33 (Abbildung 3) aufweist, während der durchschnittliche Inzuchtgrad der Schweizer Populationen nur 0.11 ist. Der Inzuchtgrad der Benediktenwand-Population ist sehr hoch und höher als der Inzuchtgrad von Nachkommen einer Geschwisterverpaarung oder einer Vater-Tochter Verpaarung (Inzuchtgrad = 0.25). Das bedeutet aber nicht unbedingt, dass sich bei den Steinböcken Geschwister oder Vater-Tochter tatsächlich paaren. Man weiss sogar, dass manche Huftiere sich gerade nicht mit eng verwandten Tieren fortpflanzen. Doch in einer Population, die nur mit wenigen Tieren gegründet wurde, haben die Tiere keine andere Wahl, als sich auch mit Verwandten zu paaren. Kommt hinzu, dass sich Inzucht über mehrere Generationen anhäuft. Der Inzuchtgrad von 0.33 hat sich also über rund 12 Steinbockgenerationen hinweg angesammelt. Ein derart hoher Inzuchtgrad hat bei einigen anderen wildlebenden Arten nachweislich zu Inzuchtdepression geführt. Beispielsweise ist die Überlebenschance von Rothirschkalbern auf der Insel Rum in Schottland umso geringer, je stärker sie von Inzucht betroffen sind.

Wie auch bei der genetischen Vielfalt sind die Gründe für die hohe Inzucht die geringe Anzahl Gründertiere. Es gibt aber noch eine Reihe anderer Faktoren, die den Inzuchtgrad einer Population bestimmen, wie zum Beispiel das Geschlechterverhältnis, Unterschiede zwischen den Tieren bezüglich ihrer Fortpflanzungsrate und die Populationsgrösse und deren Schwankungen. Der Steinbock hat ein Fortpflanzungssystem, bei dem sich die Vaterschaft einer Kitzgeneration auf nur wenige dominante Böcke verteilt – alle anderen Böcke kommen gar nicht erst zur Fortpflanzung. Dieser ungleiche Fortpflanzungserfolg unter den Böcken führt dazu, dass sich die Inzucht noch weiter erhöht. Zudem ist die Populationsgrösse der Benediktenwand-Steinböcke relativ klein und trägt daher zu einer höheren Inzucht im Vergleich zu den Schweizer Steinbockpopulationen bei.

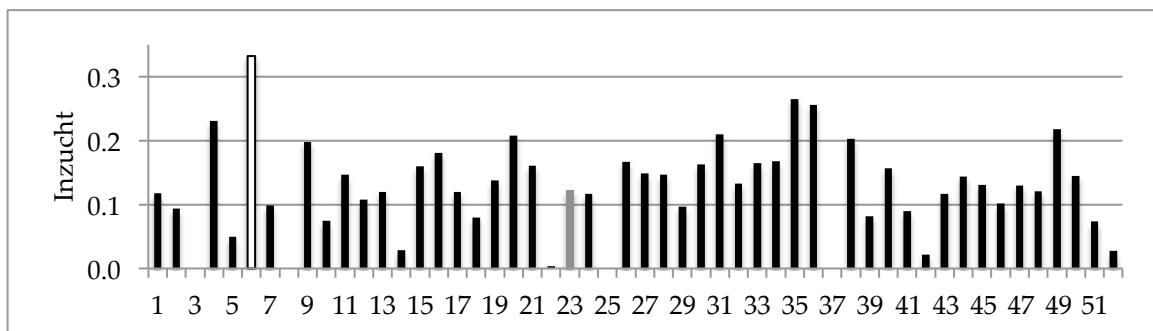


Abbildung 3: Inzuchtgrad von 52 Steinbockpopulationen. Gezeigt ist der Inzuchtgrad, der sich seit der Wiederansiedlung des Steinbocks in der Schweiz angesammelt hat. Die Färbung der Säulen und die Zuordnung der Zahlen zu den Populationen entspricht denen in Abbildung 1.

## 9. Zukunft

Der Inzuchtgrad der Benediktenwand-Population hat einen Grad erreicht, bei dem man aufgrund der Erfahrungen mit anderen Wildtierarten Inzuchtdepression erwarten würde. Eine Studie über 15 Paarhufer Arten in Zoos konnte zeigen dass die Sterberate von Jungtieren bei einem Inzuchtgrad von 0.25 durchschnittlich um 34% zunimmt. Auch wenn in der Population bisher keine erkennbaren Probleme aufgetreten sind, die man auf die Inzucht zurückführen könnte, kann das in einigen Steinbock-Generationen anders sein. Denn Inzuchtdepression zeigt sich oftmals erst nach vielen Generationen, wenn sich nämlich mehr und mehr Inzucht angesammelt hat. Beim Steinbock beträgt eine Generation rund 8 Jahre. Es kann also sein, dass man erst nach 10–30 Generationen, also in 80–240 Jahren, einen negativen Effekt der Inzucht bemerken wird. Dennoch wäre es sicher nicht falsch, vorbeugend den Inzuchtgrad in der Benediktenwand-Population zu reduzieren.

Dabei würde man gleichzeitig auch die genetische Vielfalt erhöhen und somit die Steinböcke besser für zukünftige Umweltveränderungen rüsten. Es müssten in erster Linie Tiere von genetisch weit entfernten Populationen umgesiedelt werden. Dabei sollte man beachten, dass nicht alle ausgesetzten Tiere überleben und sich reproduzieren werden. Für die Reduzierung des Inzuchtgrades zählen nämlich nur diejenigen Tiere, die sich in der neuen Population auch erfolgreich mit den ansässigen Tieren fortpflanzen. Bei einem Fortpflanzungssystem wie dem des Steinbocks, bei dem nur wenige dominante Böcke die Väter eines Steinbockjahrgangs stellen, sind derartige Erwägungen umso entscheidender, und dementsprechend sollten genügend Tiere umgesiedelt werden.

Die genetischen Studien über Steinböcke werden an der Universität Zürich fortgesetzt und wir würden die Benediktenwand-Population gerne auch in weiteren Analysen berücksichtigen. Auch wenn die 17 bestehenden Proben für die hier gezeigten Auswertungen ausreichen wären mehr Proben von Vorteil. Daher möchte ich bitten von allen tot aufgefundenen oder erlegten Tieren aus der Benediktenwand-Population eine Gewebeprobe zu entnehmen, in Alkohol zu legen und sich an mich zu wenden. Ich stehe auch gerne für weitere Fragen zur Verfügung.

## Literatur

- BIEBACH, I. AND KELLER, L. F. (2009): A strong genetic footprint of the re-introduction history of Alpine ibex (*Capra ibex ibex*). *Molecular Ecology* 18(18): 5046–5058.
- BIEBACH, I. AND KELLER, L. F. (2010): Inbreeding in reintroduced populations: the effects of early reintroduction history and contemporary processes. *Conservation Genetics* 11(2, Sp. Iss. SI): 527–538.
- BIEBACH, I. AND KELLER, L. F. (2011): Genetische Spuren der Wiederansiedlung des Alpensteinbocks. *Wildtier Schweiz Wildbiologie in der Schweiz* 6/39, 12 S.
- BIEBACH, I. AND KELLER, L.F. (2012): Genetic variation depends more on admixture than number of founders in reintroduced Alpine ibex populations. *Biological Conservation* 147 (1): 197-203