ETH zürich

ETH Library

# Conservation biology of the flora of erratic boulders

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**
Hepenstrick, Daniel

**Publication date:**
2021

**Permanent link:**
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000516403

**Rights / license:**
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETH No. 27631

# CONSERVATION BIOLOGY OF THE FLORA OF ERRATIC BOULDERS

A dissertation submitted to
ETH ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
DANIEL HEPENSTRICK
MSc Biology, ETH Zürich
born November 17, 1983
citizen of Zürich (ZH)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr Rolf Holderegger (examiner)
Prof. Dr Alex Widmer (co-examiner)
Dr Ariel Bergamini (co-examiner)
Prof. Dr Gregor Kozlowski (co-examiner)

2021

# Summary

Pleistocene erratic boulders are rocks that have been relocated, often across hundreds of kilometres, by glaciers during the Ice Ages. When they differ in their geology from the surrounding landscape (e.g. calcareous vs. non-calcareous), erratic boulders form habitat islands for regionally rare rock-dwelling cryptogams (bryophytes, ferns and lichens), which are specialists for the specific rock composition of erratic boulders. In this way, erratic boulders contribute to the biodiversity at the landscape level. The insular bryophyte communities on erratic boulders played an important role in the historical discourse that led to the present-day understanding of the glacial history of species and vegetation. Further, erratic boulders can serve as terrestrial model systems for island biogeography. In many places, however, the cryptogam communities of erratic boulders are threatened because boulders have been destroyed, as a result of land-use changes around boulders, the use of large boulders for sport climbing, and a lack of knowledge on the part of stakeholders regarding the special biodiversity on erratic boulders. Because the conservation biology of erratic boulders had not yet been considered in a comprehensive way, with this thesis I aimed to create an evidence-based foundation for the conservation of insular cryptogam communities on erratic boulders.

In Chapter I, I investigated the factors determining the conservation value of bryophyte communities on insular erratic boulders in Switzerland. I analysed the species richness and the environmental conditions of 160 siliceous erratic boulders in the calcareous Swiss Plateau and Jura Mountains. On these boulders, I identified 138 bryophyte species, 19 of which were specialists of siliceous erratic boulders. The boulder specialists showed a steeper species–area curve than the total species richness, which was in agreement with island biogeographical expectations. Large boulders were more likely to harbour numerous boulder specialists, but at the landscape level the small boulders together contributed more specialist species than large boulders did. Analyses of environmental variables revealed that erratic boulders near buildings were less likely to harbour boulder specialists and that communities in open land host different and more specialist species than boulders within forests.

In Chapter II, I addressed the question of whether populations on erratic boulders are genetically connected. I analysed the regionally critically endangered fern *Asplenium septentrionale* and the moss *Hedwigia ciliata* using double digest restriction associated DNA sequencing (ddRAD). In *A. septentrionale*, frequent identical multilocus genotypes within populations suggested prevalent intragametophytic selfing in this species, and six

out of eight boulder populations consisted of a single multilocus genotype each. This indicated single spore founder events of *A. septentrionale* populations on erratic boulders. In *H. ciliata*, I identified four different genetic lineages, and found that populations consisting of a single multilocus genotype were less common than in *A. septentrionale*. In both taxa, multilocus genotype diversity on boulders was lower than in populations sampled in their "mainland" in siliceous mountains (Alps, Black Forest, Vosges). The absence of a common genetic cluster for boulder populations and the absence of isolation by distance patterns suggested that, for both *A. septentrionale* and *H. ciliata*, populations on erratic boulders are not connected and were colonised through independent long-distance dispersal events out of the species distribution areas. Hence, the survival of a boulder specialist population does not seem to depend on its connectivity to populations on other boulders.

Erratic boulders are increasingly used by rock climbers for bouldering (ropeless climbing at low height), which poses a threat to their special flora. The impact of climbers has mainly been attributed to mechanical disturbances by climbers. However, the chemical impact of widely used climbing chalk powder (magnesium hydroxide carbonate) had never been assessed. Therefore, in Chapter III, I explored the potential effects of climbing chalk by determining its distribution along bouldering routes and assessing its impact on fern and moss species in a climate chamber experiment. The field measurements revealed elevated climbing chalk levels along bouldering routes, even at sampling points without visual traces of climbing chalk. The experiment showed significant negative, though varied, effects of elevated climbing chalk concentrations on the germination and survival of both ferns and mosses. These findings thus suggest that elevated climbing chalk concentrations along climbing routes can occur even where no chalk traces are visible, and that climbing chalk can have negative impacts on rock-dwelling organisms.

Practical conservation of cryptogam communities on insular erratic boulders in Switzerland should prioritise boulders located in the open land outside settlements, because, despite their relative rarity, they contribute many boulder specialist species to the landscape. The flora of both large and small boulders merits protection, but conservation measures for large boulders are logistically more efficient. Conservation measures on individual erratic boulders should have the aims of preventing disturbances on and around boulders and maintaining the light conditions to which the resident specialist species are adapted. In order to raise awareness of the special flora of erratic boulders in the public and amongst conservation practitioners, I complemented this thesis with various outreach activities.

# Zusammenfassung

Findlinge sind Felsblöcke, die während den Eiszeiten von Gletschern, oft über hunderte von Kilometern, verfrachtet wurden. Wenn sich das Grundgestein der umgebenden Landschaft vom Gestein der Findlinge unterscheidet (z.B. kalkfrei gegenüber kalkhaltig), dann bilden Findlinge Lebensrauminseln für regional seltene felsbewohnende Kryptogamen (Moose, Farne und Flechten), die auf das Gestein der Findlinge spezialisiert sind. So tragen Findlinge zur Biodiversität in einer Landschaft bei. Die inselartig verbreiteten Moosgesellschaften auf den Findlingen spielten eine wichtige Rolle in der historischen wissenschaftlichen Diskussion, die zum heutigen Verständnis der eiszeitlichen Vegetationsgeschichte führte. Zudem können Findlinge als inselbiogeographisches Modellsystem dienen. Doch vielerorts sind die speziellen Kryptogamengesellschaften der Findlinge bedroht. Dies weil viele Findlinge zerstört wurden, wegen Landnutzungsänderungen in der Umgebung von Findlingen, aufgrund zunehmender Nutzung von grossen Findlingen zum Sportklettern und auch wegen mangelndem Wissen um die Lebensraumfunktion von Findlingen für seltene Arten. Trotzdem ist zur Naturschutzbiologie der Flora von Findlingen bislang kaum etwas bekannt. Das Ziel dieser Dissertation war es deshalb, evidenzbasierte Grundlagen für den Erhalt der speziellen Flora von Findlingen zu schaffen.

Im ersten Kapitel dieser Dissertation untersuchte ich, welche Faktoren den Naturschutzwert der Moosgesellschaften auf silikatischen Findlingen in der Schweiz beeinflussen. Dazu analysierte ich die Moosartenzahl und -zusammensetzung in Abhängigkeit verschiedener Umweltparametern auf 160 silikatischen Findlingen im kalkhaltigen Schweizer Mittelland und im Jura. Dabei fand ich insgesamt 138 Moosarten, von denen 19 auf Silikatfindlinge spezialisierte Arten waren. Diese Findlingsspezialisten zeigten im Vergleich zur Gesamtartenzahl eine steilere Art-Areal-Kurve, was inselbiogeographische Voraussagen bestätigte: je grösser ein Findling war, umso mehr Findlingsspezialisten beherbergte er. Allerdings trugen auf Landschaftsebene die kleinen Findlinge zusammen mehr verschiedene spezialisierte Arten bei als die grossen Blöcke. Die Analyse von Umweltparametern zeigte, dass auf Findlingen in der Nähe von Gebäuden weniger Findlingsspezialisten wachsen und dass Moosgesellschaften von Findlingen im Offenland andere und zahlreichere Findlingsspezialisten beherbergen als Findlinge im Wald.

Im zweiten Kapitel ging ich der Frage nach, ob Populationen auf Findlingen genetisch miteinander vernetzt sind. Dies untersuchte ich für den regional vom Aussterben bedrohten

Farn *Asplenium septentrionale* und für das typische Findlingsmoos *Hedwigia ciliata* mit «double digest restriction associated DNA sequencing» (ddRAD). Innerhalb von Populationen von *A. septentrionale* fand ich häufig Individuen mit identischen Multilocusgenotypen, was zeigt, dass in *A. septentrionale* intragametophytische Selbstbefruchtung häufig vorkommt. Sechs von acht Populationen auf Findlingen enthielten je nur einen einzigen Multilocus-Genotypen, was darauf hinweist, dass diese Populationen je von einer einzelnen Spore gegründet wurden. Innerhalb von *H. ciliata* stellte ich vier separate genetische Linien fest und Populationen, die aus einem einzigen Multilocusgenotypen bestanden, waren weniger häufig als bei *A. septentrionale*. In beiden Taxa war die Diversität der Multilocusgenotypen auf Findlingen geringer als in Vergleichspopulationen aus dem Hauptverbreitungsgebiet der Arten in Silikatgebirgen (Alpen, Schwarzwald, Vogesen). In den genetischen Daten von *A. septentrionale* und *H. ciliata* waren weder gemeinsame genetische Gruppen für die Findlingspopulationen noch ein Zusammenhang zwischen räumlicher und genetischer Distanz festzustellen, was nahelegt, dass die untersuchten Findlingspopulationen nicht miteinander vernetzt sind und dass die Findlinge über weite Distanzen von Sporen aus dem Hauptverbreitungsgebiet der beiden Arten unabhängig besiedelt wurden.

Zunehmend werden Findlinge zum Bouldern (Sportklettern ohne Seil in geringer Höhe) genutzt, was eine Bedrohung für deren spezielle Flora darstellen kann. Der negative Einfluss des Klettersports auf Felsvegetation wurde bisher hauptsächlich mit der mechanischen Störung durch Kletternde erklärt, während mögliche chemische Auswirkungen des im Klettersport viel verwendeten Magnesiapulvers (Magnesiumhydroxidcarbonat) ausser Acht gelassen wurden. Deshalb untersuchte ich im dritten Kapitel, wie Magnesia an Boulderblöcken räumlich verteilt ist und in einem Klimakammerexperiment, wie sich unterschiedliche Magnesiakonzentrationen auf die Keimung und das Überleben von felsbewohnenden Farn- und Moosarten auswirken. Die Messungen an Boulderblöcken zeigten erhöhte Magnesiamengen auch an Stellen, wo keine Magnesiaspuren sichtbar waren. Im Experiment zeigten sich signifikant negative Auswirkungen von erhöhten Magensiakonzentrationen auf die Keimung und das Überleben von verschiedenen Farn- und Moosarten. Diese Ergebnisse zeigen, dass entlang von Kletterrouten erhöhte Magnesiakonzentrationen auch an Stellen vorkommen können, wo kein Magnesiapulver sichtbar ist, und dass Magnesia negative Auswirkungen auf felsbewohnende Organismen haben kann.

Für den Erhalt der speziellen Findlingsflora im Schweizer Mittelland und Jura sollten Findlinge im Offenland ausserhalb von Siedlungen prioritär beachtet werden, weil diese

Findlinge trotz ihrer geringen Anzahl besonders viele seltene Arten beherbergen. Sowohl grosse als auf kleine Findlinge tragen wesentlich zum Artenpool in einer Landschaft bei, aber Massnahmen zugunsten grosser Findlinge sind einfacher umzusetzen. Schutzmassnahmen an einzelnen Findlingen sollten darauf abzielen, Störungen an Findlingen zu vermeiden und die Lichtverhältnisse zu erhalten, an welche die auf den Findlingen vorhandenen schützenswerten Arten angepasst sind. Dabei scheint das Überleben der auf Findlinge spezialisierten Arten nicht von der Vernetzung zu anderen Findlingen abhängig zu sein. Um in der Öffentlichkeit und in der Naturschutzpraxis das Bewusstsein für die besondere Flora von Findlingen zu fördern, habe ich diese Dissertation mit Öffentlichkeitsarbeit begleitet.