

Rolf Holderegger / Gernot Segelbacher (Hrsg.)

Naturschutz- genetik

Ein Handbuch
für die Praxis



■ Haupt

Rolf Holderegger (Hrsg.)
Gernot Segelbacher (Hrsg.)

Naturschutzgenetik

Naturschutzgenetik

Ein Handbuch für die Praxis

Rolf Holderegger (Hrsg.)

Gernot Segelbacher (Hrsg.)

Niko Balkenhol

Iris Biebach

Janine Bolliger

Felix Gugerli

Axel Hochkirch

Lukas Keller

Alex Widmer

Frank Zachos

Haupt Verlag



Die Drucklegung des Buches wurde unterstützt durch die
WSL Eidgenössische Forschungsanstalt, Birmensdorf, Schweiz

Umschlagabbildungen

Vorne: Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*)

Hinten: Wildkatze (*Felis sylvestris*)

Gestaltungskonzept: René Tschirren, Haupt Verlag

Satz: Die Werkstatt Medien Produktion, D-Göttingen

1. Auflage: 2016

ISBN 978-3-258-07929-5 (Buch)

ISBN 978-3-258-47929-3 (E-Book)

Alle Rechte vorbehalten.

Copyright © 2016 Haupt Bern

Jede Art der Vervielfältigung ohne Genehmigung des Verlages ist unzulässig.

www.haupt.ch

Inhalt

Vorwort	11
1 Warum Genetik im Naturschutz	13
1.1 Genetik im Naturschutz	15
1.2 Themen der Naturschutzgenetik	16
1.3 Vielfalt und Ablauf naturschutzgenetischer Untersuchungen	21
1.4. Zukunft der Naturschutzgenetik	23
2 Genetische Vielfalt	25
2.1 Biologische Vielfalt	27
2.2 Bedeutung genetischer Vielfalt	27
2.3 Das Problem kleiner Populationen	30
2.4 Wie bestimmt man Allele?	33
2.4.1 Neutrale genetische Marker: Mikrosatelliten	34
2.4.2 Adaptive genetische Marker: DNA-Sequenzen von Genen und SNPs	35
2.5 Kennwerte genetischer Vielfalt	36
2.5.1 Anzahl Allele und allelische Vielfalt	37
2.5.2 Heterozygotie	38
2.5.3 Genetische Differenzierung	39
2.6 Historische genetische Vielfalt	39
2.7 Wie viel genetische Vielfalt ist notwendig?	40
2.8 Genetische Vielfalt ist wichtig!	41
Kasten 2.1 Bedeutung genetischer Vielfalt	29
Kasten 2.2 Genetische Drift am Beispiel des Gründereffekts	32
Kasten 2.3 Verwendung historischer Proben in der Naturschutzgenetik	40
3 Anpassung und Anpassungsfähigkeit	43
3.1 Anpassung und Anpassungsvermögen als zentrale Ziele im Naturschutz	45
3.2 Wie lässt sich Anpassung untersuchen? Die traditionelle Methode	47

3.3	Wie lässt sich Anpassung untersuchen? Genetische Methoden	50
3.3.1	Untersuchung bekannter Gene	50
3.3.2	Suche nach anpassungsrelevanten Stellen im Genom	51
3.4	Wie bestimmt man adaptive genetische Vielfalt in der Naturschutzgenetik?	54
3.5	Erhaltung der Anpassungsfähigkeit	56
Kasten 3.1	Anpassung durch natürliche Selektion	46
Kasten 3.2	Kreuzweise Verpflanzungsexperimente	48
Kasten 3.3	Anpassungsgene bei einer Alpenpflanze	53
Kasten 3.4	Adaptive und neutrale genetische Vielfalt beim Drachenkopf	55
4	Populationsgröße und Raumnutzung	59
4.1	Wie viele Individuen braucht es zum Überleben?	61
4.2	Wie bestimmt man die Populationsgröße?	61
4.3	Effektive Populationsgröße	68
4.4	Wer war es?	69
Kasten 4.1	Erfassung der Populationsgröße beim Auerhuhn	62
Kasten 4.2	Pilotstudien	64
5	Inzucht	71
5.1	Wie entsteht Inzucht?	73
5.2.	Warum ist die Berücksichtigung von Inzucht im Naturschutz wichtig?	74
5.3	Wie wird Inzucht und Inzuchtdepression erfasst?	77
5.4	Welche Resultate sind von der Erfassung der Inzucht und Inzuchtdepression zu erwarten?	84
5.5	Maßnahmen zur Reduzierung der Inzucht	86
Kasten 5.1	Wiedereinführung des Steinbocks in den Alpen	78
Kasten 5.2	Rückkehr des Bartgeiers	82
6	Geografische Strukturen	89
6.1	Warum gibt es geografische Strukturen	91
6.2	Bedeutung von Ausbreitungsfähigkeit und Distanz	94
6.3	Bedeutung von Barrieren	95

6.4	Masse der genetischen Differenzierung und Herkunftsbestimmung	97
6.5	Management-Einheiten	103
Kasten 6.1	Der komplizierte Fall der Mauereidechse und die naturschutzrechtlichen Folgen	98
Kasten 6.2	Der Waschbär – genetische Struktur eines Einwanderers	100
7	Genfluss und Landschaftszerschneidung	107
7.1	Genfluss	109
7.2	Methoden zur Erfassung von Genfluss	111
7.2.1	Indirekte Bestimmung von Genfluss	112
7.2.2	Direkte Bestimmung von Genfluss	113
7.3	Ausbreitung und Genfluss in der Landschaft	117
7.4	Bedarfsanalysen und Erfolgskontrollen	124
Kasten 7.1	Einfluss der Landschaft auf Genfluss und Ausbreitung	114
Kasten 7.2	Erfassung von Genfluss bei zerstreut vorkommenden Gehölzarten	116
Kasten 7.3	Analyse des Landschaftswiderstands für das Auerhuhn im Schwarzwald	121
Kasten 7.4	Erfolgskontrolle Trittsteine am Beispiel des Laubfroschs	126
8	Hybridisierung	129
8.1	Was sind Hybride?	131
8.2	Folgen der Hybridisierung	132
8.3	Natürliche Hybridzonen	133
8.4	Hybridisierung zwischen einheimischen und nicht einheimischen Arten	135
8.5	Hybridisierung zwischen wilden Arten und Haus- oder Nutztieren und Kulturpflanzen	138
8.6	Hybridisierung in menschlicher Obhut	139
8.7	Einfluss des Menschen auf natürliche Hybridzonen	142
8.8	«Hybridrettung» als Naturschutzstrategie	142
Kasten 8.1	Wie der Mensch die Entstehung einer neuen Art bewirkt – das Salz-Schlickgras	133
Kasten 8.2	Wie Arten aufgrund von Hybridisierung aussterben können – genetische Überflutung (genetic swamping)	136

	Kasten 8.3 Hybridisierung mit domestizierten Arten – der Fall von Wild- und Hauskatze	140
	Kasten 8.4 Wie erkennt man Hybride?	145
9	Taxonomie und Artbestimmung	147
	9.1 Arten, Naturschutzeinheiten und Barcoding – ein Überblick	149
	9.2 Taxonomie und Naturschutz	151
	9.3 Genetische Artbestimmung: Barcoding	156
	9.4 Metagenomik und Umwelt-DNA	160
	9.5 Grenzen und Schwierigkeiten des Barcoding	161
	9.6 Zuordnung von einzelnen Individuen	162
	Kasten 9.1 Taxonomie und Naturschutz am Beispiel des Rothirsches	150
	Kasten 9.2 Barcoding zur Aufdeckung von Wilderei	158
10	Genetisches Monitoring	165
	10.1 Genetische Vielfalt in Biodiversitätsstrategien	167
	10.2 Welche Ziele verfolgt genetisches Monitoring	170
	10.3 Leitlinien für ein genetisches Monitoring	172
	10.3.1 Aufbau	172
	10.3.2 Lagerung der Proben	175
	10.3.3 Genetische Marker	176
	10.3.4 Indikatoren	177
	10.4 Genetisches Monitoring jetzt!	181
	Kasten 10.1 Genetische Vielfalt in Biodiversitätsstrategien und Aktionsplänen	169
	Kasten 10.2 Checkliste zum genetischen Monitoring	180
11	Genetische Methoden	183
	11.1 Vom Feld ins Labor	185
	11.2 Von der DNA zu den genetischen Markern	186
	11.2.1 Aufbereitung der DNA	189
	11.2.2 Vervielfältigung der DNA und genetische Marker	190
	11.2.3 Eigenschaften und Einsatz häufig verwendeter genetischer Marker	191
	11.3 Von Einzeldaten zu Kennwerten	195
	11.4 Von der Fragestellung zu den Kosten	199

Kasten 11.1 Polymerase Kettenreaktion (PCR)	186
Kasten 11.2 Zuordnungstests	197
12 Überblick	203
12.1 Naturschutzgenetik als Werkzeug im Naturschutz	205
12.2 Schutz der genetischen Vielfalt	212
Kasten 12.1 Umsiedlung, Ansiedlung, Wiederansiedlung und Translokationen	205
Kasten 12.2 Häufige Fragestellungen und wie sie die Naturschutzgenetik beantwortet	208
Anhang	
Literatur	214
Glossar	223
Dank	233
Bildnachweis	234
Adressen der Autorinnen und Autoren	236
Stichwortverzeichnis	239



Vorwort

Weltweit sterben mehr und mehr Arten aus: Die biologische Vielfalt ist bedroht. NaturschützerInnen versuchen, diesen Artenschwund zu stoppen. Leider gibt es zwischen den Erkenntnissen der wissenschaftlichen Forschung und der praktischen und politischen Umsetzung noch immer Lücken. Dieses Buch zur Naturschutzgenetik bildet einen wichtigen Baustein zum Brückenschlag zwischen Forschung und ihrer Anwendung im praktischen Naturschutz. Genetische Methoden werden heute von vielen Forschenden im Bereich des Naturschutzes bereits routinemäßig angewendet und doch wird das Potenzial genetischer Methoden für den Schutz der biologischen Vielfalt erst langsam wahrgenommen. Das Buch liefert nötiges Hintergrundwissen und bietet Fallbeispiele für Naturschutzorganisationen, Behörden und Entscheidungsträger in Politik und Gesellschaft.

Die Autoren und Autorinnen dieses Buches präsentieren die häufigsten Naturschutzprobleme, bei denen genetische Methoden eine entscheidende Hilfe bieten können, und illustrieren anhand zahlreicher Beispiele, vor allem aus Europa, konkrete Lösungsmöglichkeiten. Wer sich überlegt, ob die Anwendung genetischer Ansätze in seinen eigenen Schutzprojekten Sinn macht, findet hier nötige Hintergrundinformationen für die Planung eines solchen Projekts. Vor- und Nachteile sowie konkrete Handlungsempfehlungen werden aufgezeigt. Wir hoffen daher, dass dieses Buch einen wichtigen Beitrag für den angewandten Naturschutz und für den Schutz der biologischen Vielfalt liefert.

Die IUCN (International Union for Conservation of Nature) ist die weltweit größte und älteste Naturschutzorganisation. Ihr Ziel ist es, pragmatische Lösungen für die wichtigsten Umweltprobleme zu finden. Dabei konzentriert sich die IUCN auf den Erhalt und Schutz der Natur, stellt sicher, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig und gerecht genutzt werden, und bietet Lösungen für die weltweiten Herausforderungen des Klimawandels, der Bevölkerungsentwicklung und der Nahrungsversorgung. Die IUCN fördert wissenschaftliche Forschung, organisiert praktische Projekte auf der ganzen Welt und bringt Regierungen und Verbände, die Vereinten Nationen und Firmen zusammen, um gemeinsam die besten politischen Lösungen und Handlungsempfehlungen zu finden.

Im Jahr 2014 hat die IUCN Species Survival Commission eine eigene Gruppe zur Naturschutzgenetik eingesetzt, welche die IUCN bei all den-

jenigen Fragen des globalen Naturschutzes berät, die genetische Inhalte umfassen. Die Bildung dieser Gruppe zeigt deutlich, dass die Anwendung genetischer Methoden im Naturschutz im IUCN zunehmend an Bedeutung gewinnt. Die IUCN hofft deshalb, dass dieses Buch viele LeserInnen finden wird und dazu beiträgt, Wissenschaft und Praxis miteinander zu vernetzen.

Inger Andersen

Director General IUCN

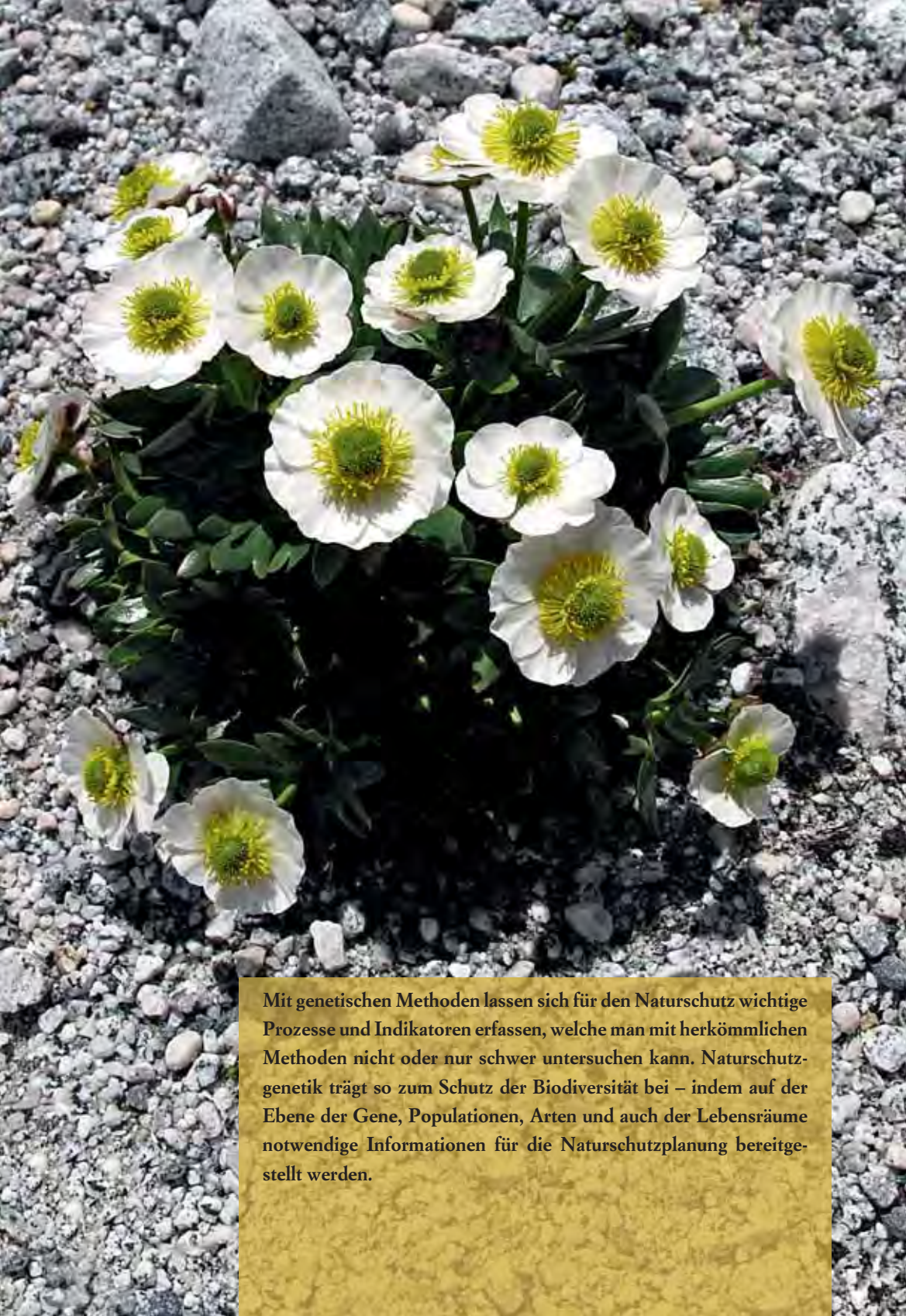
Simon N. Stuart

Chair IUCN Species Survival Commission

1

Warum Genetik im Naturschutz?

Rolf Holderegger, Gernot Segelbacher



Mit genetischen Methoden lassen sich für den Naturschutz wichtige Prozesse und Indikatoren erfassen, welche man mit herkömmlichen Methoden nicht oder nur schwer untersuchen kann. Naturschutzgenetik trägt so zum Schutz der Biodiversität bei – indem auf der Ebene der Gene, Populationen, Arten und auch der Lebensräume notwendige Informationen für die Naturschutzplanung bereitgestellt werden.

1.1 Genetik im Naturschutz

Was bis vor Kurzem nicht möglich war, der Nachweis des Vorkommens einer seltenen Molchart, ohne je ein Tier gesehen zu haben, oder die Erfassung der Zerschneidung der Landschaft durch Autobahnen beim Hirsch, ist heute mit Genetik möglich. Mit genetischer Information können Monitorings einfacher ausgeführt und Grünbrücken besser geplant werden. Genetik kann so zum Schutz der biologischen Vielfalt eingesetzt werden.

Genetik ist ein aktuelles Thema. Als technische Methode und theoretisches Denkgebäude ist Genetik aus vielen Aspekten des heutigen Lebens nicht mehr wegzudenken, so etwa in der Medizin oder der Lebensmittelproduktion. Die rasche methodische Entwicklung in der Genetik bietet einerseits große Möglichkeiten und weckt Erwartungen, stößt aber andererseits auf Unverständnis und führt zu Verunsicherung. Dies gilt auch für den Einsatz von genetischen Methoden im Naturschutz, der sogenannten Naturschutzgenetik. Genetik ist aber nur eine unter vielen Methoden, die im Naturschutz angewendet werden: Für manche Fragestellungen sind genetische Methoden besonders gut geeignet, für andere ergänzen sie herkömmliche Untersuchungen, manchmal sind sie ungeeignet.

Wann sollen im praktischen Naturschutz genetische Methoden verwendet werden? Welche Prozesse lassen sich mit Genetik untersuchen und welche Indikatoren bestimmen? Welche Schritte beinhaltet eine naturschutzgenetische Untersuchung und wo bekomme ich als NaturschutzpraktikerIn kompetente Hilfe? Was kostet eine naturschutzgenetische Untersuchung? Genau diesen Fragen widmet sich das vorliegende Buch. Es soll ein Handbuch für PraktikerInnen sein, mit dem Ziel, dass diese notwendige Information zur Anwendung genetischer Methoden im Naturschutz erhalten. Die theoretischen Grundlagen der Genetik muss man dabei nicht verstehen, das meiste ist mit gesundem Menschenverstand nachvollziehbar. Es ist ein Ziel dieses Buches, das «mulmige» Gefühl vieler PraktikerInnen gegenüber genetischen Methoden im Naturschutz abzubauen. Was die Fachwörter betrifft, so werden diejenigen eingeführt und erklärt, denen man über kurz oder lang in der Praxis begegnen wird. Am Ende des Buches befindet sich außerdem ein Glossar, das die Fachwörter zusätzlich erläutert. Das Buch kann also auch als Nachschlagewerk benutzt werden. Es richtet sich an alle am Naturschutz

Abbildung 1.1:
Der Gletscherhahnen-
fuß (*Ranunculus*
glacialis) wächst am
Rande des pflanz-
lichen Lebens in den
Alpen.

beteiligten Ämter, Planungsbüros, Naturschutzorganisationen und weiteren interessierten Personen.

Die Bedeutung der Genetik im Naturschutz wird in Zukunft weiter zunehmen: Schon heute werden gewisse Methoden in der Praxis routinemäßig eingesetzt (z. B. Barcoding; Kapitel 1.2), Zeitungen, Zeitschriften, Rundfunk und Fernsehen berichten oft über naturschutzgenetische Themen und die wissenschaftliche Forschung zur Naturschutzgenetik ist in den letzten Jahren in Mitteleuropa ausgebaut worden (Abb. 1.2). Höchste Zeit also, um sich mit den Möglichkeiten und Grenzen von Naturschutzgenetik vertraut zu machen.

1.2 Themen der Naturschutzgenetik

Naturschutzgenetik umfasst zum einen den Einsatz genetischer Methoden zum Erfassen von für den Naturschutz wichtigen Indikatoren und Prozessen. Zum Beispiel kann die Anzahl der in einem Gebiet vorkommenden Individuen einer Tierart aufgrund von Kotproben genetisch bestimmt werden (Kapitel 4). Es können aber auch genetische Methoden benutzt werden, um ökologische Prozesse zu untersuchen, etwa den Austausch von Individuen zwischen den Flächen eines Biotopverbunds (Kapitel 7). Zum anderen geht es in der Naturschutzgenetik auch um grundlegende genetische Themen: die negativen Folgen enger Verwandtschaft (Inzucht) in neu angesiedelten Populationen (Kapitel 5) oder das Anpassungsvermögen von Arten an Umweltveränderungen (Kapitel 3). In den folgenden elf Kapiteln werden jene Themen des praktischen Naturschutzes vorgestellt, für welche der Einsatz von Naturschutzgenetik besonders sinnvoll ist. Diese Themen werden mit Beispielen vor allem aus Europa illustriert.

Als erstes Thema wird genetische Vielfalt behandelt (Kapitel 2). Genetische Vielfalt ist neben der Artenvielfalt und der Vielfalt der Lebensräume eine der drei grundsätzlichen Ebenen der Biodiversität (Vereinte Nationen 1992). Genetische Vielfalt wird heute in den verschiedensten Zusammenhängen verwendet und ist (fast) ein Modebegriff geworden. Aber, und dies mag erstaunen, unter genetischer Vielfalt lassen sich verschiedene Dinge mit unterschiedlicher Bedeutung verstehen. Kapitel 2 erklärt diese verschiedenen Bedeutungen und ermöglicht so einen abgestuften Zugang zum wichtigen Thema der genetischen Vielfalt.

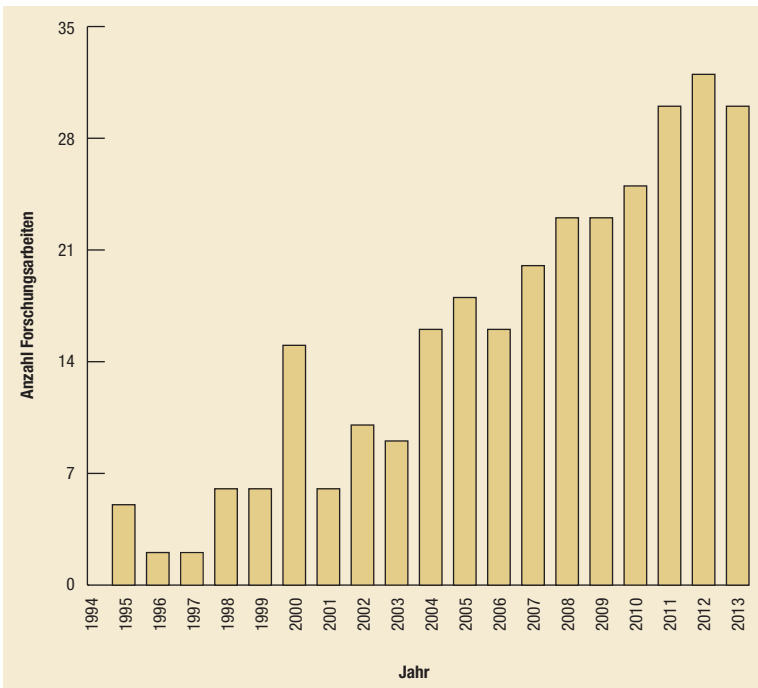


Abbildung 1.2: Nicht nur die Anzahl von Forschungsarbeiten zur Naturschutzgenetik in Mitteleuropa ist in den letzten Jahren ständig angestiegen (links), auch in Zeitungen und Zeitschriften wird vermehrt und oft prominent über naturschutzgenetische Themen berichtet (unten).

Huhn ohne Hoffnung?

Genetische Untersuchung belegt die Bedrohung der seltenen Birkhühner

Spürhunde im Teich

Mit DNA-Proben lassen sich Schutzmaßnahmen für bedrohte Arten verbessern – künftig reichen für gute Ergebnisse gar Insektenkot, Schuppen oder Larven

Tierisch gute Forensik

Um die biologische Vielfalt zu erhalten und Naturschutz sinnvoll zu gestalten, setzen Freiburger Wildtierökologen molekularbiologische Methoden ein

Rehe in Platznot: Inzucht wegen Autobahnen

Genetische Diversität in der Landschaft

Die Vernetzung von Populationen auf der Ebene des Erbmaterials untersuchen

Birmensdorf | Forschende überprüfen Projekte zur Vernetzung von Lebensräumen

Wenn Frosch und Fröschin nicht zueinander finden

Dem König der Alpen fehlt die Abwechslung

Die Steinböcke in den Schweizer Alpen leiden unter Inzucht

Kapitel 3 widmet sich dem Thema Anpassung und Anpassungsvermögen. Gerade im Zusammenhang mit den heutigen schnellen Klima- und Landnutzungsänderungen ist das Thema Anpassung wichtig. War Anpassung früher eher von wissenschaftlichem Interesse, so sind es also heute praktische Überlegungen, die das Thema für den Naturschutz wichtig machen: Wie schnell können sich Populationen oder Arten an den Klimawandel anpassen und wie gelingt es dem Naturschutz, deren Anpassungsfähigkeit langfristig zu erhalten?

Kapitel 4 zeigt, dass sich genetische Methoden auch für die Erfassung der Raumnutzung von Tieren oder für die Schätzung der Größe von Populationen einsetzen lassen. Aufgrund von Haaren, Federn oder Kot lässt sich beispielsweise bestimmen, welchen Raum ein einzelnes Individuum einer schwierig zu beobachtbaren Art nutzt. Mit genetischen Methoden wird so die Reviergröße bestimmt oder es wird erfasst, wie groß eine Population ist. Schließlich können die Fortpflanzungs- und Verwandtschaftsbeziehungen in einer Population aufgrund genetischer Daten aufgezeigt werden. Gerade bei der Überwachung von Individuen und Populationen ergänzen sich herkömmliche, ökologische Untersuchungen und genetische Methoden in idealer Weise.

Kapitel 5 diskutiert das Thema Inzucht in natürlichen Populationen. Die Vermeidung von Inzucht ist ein traditionelles Thema der Naturschutzgenetik. Es spielt insbesondere in zoologischen und botanischen Gärten eine wichtige Rolle, ist aber auch für kleine wild lebende Populationen wichtig. In Kapitel 5 wird näher auf ein prominentes Beispiel eingegangen, den Alpensteinbock (*Capra ibex*), dessen wieder angesiedelte Vorkommen in den Alpen auf wenige Gründertiere zurückgehen.

Kapitel 6 behandelt die Abgrenzung geografischer Einheiten. Solche genetisch definierten geografischen Einheiten sind für die Naturschutzpraxis von großer Bedeutung. Sie umfassen zum Beispiel Populationen oder Gruppen von Populationen, die die Eiszeiten an verschiedenen Orten überlebt oder sich verschieden an die Umwelt angepasst haben: Sie sind deshalb schützenswert. Geografische Einheiten spielen auch bei der Auswahl von Ausgangsmaterial für Wiederansiedelungen eine wichtige Rolle. Allgemein können genetische Untersuchungen wichtige geografische Einheiten für den Naturschutz aufzeigen.

Vernetzungsmaßnahmen vermindern die Zerschneidung von Landschaften und Lebensräumen. Kapitel 7 zeigt, wie auch bei diesem Thema

genetische Methoden vielfältig eingesetzt werden können. Wo Tiere, oder bei Pflanzen Samen und Pollen, wandern, da wandern auch Gene, und Letzteres lässt sich einfach nachweisen. Zum Beispiel kann die tatsächliche Zerschneidung von Landschaften aus Sicht von Tieren und Pflanzen erfasst werden: Sind räumlich voneinander getrennte Lebensräume für Tiere und Pflanzen voneinander getrennt oder kommt das nur uns Menschen so vor? Genetische Methoden können auch die langfristige Wirkung von Vernetzungsmaßnahmen wie Grünbrücken, Durchlässen oder Korridoren nachweisen: Sie sind dann Bestandteil von Erfolgskontrollen.

Kapitel 8 behandelt Hybridisierungen. Sind mitteleuropäische Wildkatzen (*Felis sylvestris*) noch reine Wildkatzen oder doch eher Mischlinge zwischen Haus- und Wildkatzen? Gefährdet die Hybridpappel die natürlichen Vorkommen der Schwarzpappel (*Populus nigra*) in Auengebieten, weil sie sich mit dieser kreuzt und so über kurz oder lang keine reinen Schwarzpappeln mehr vorhanden sind? Das Thema Hybridisierung erhält besondere Bedeutung im Hinblick auf das Kreuzen von genetisch veränderten, in der Land- oder Forstwirtschaft genutzten Pflanzen mit Wildpflanzen.

Kapitel 9 konzentriert sich auf die genetische Bestimmung von Arten oder Unterarten. Bekannt ist die Anwendung genetischer Methoden bei der Frage, ob ein Schaf von einem Wolf oder einem Hund gerissen wurde. Mittels Speichelresten wird hier genetisch die Art bestimmt. Es gibt viele weitere Anwendungen für die genetische Artbestimmung. Kommt der seltene Kammolch (*Triturus cristatus*) in einem Tümpel vor oder nicht? Dies lässt sich anhand der Kammolch-DNA in einer Wasserprobe aus einem Teich feststellen (Umwelt DNA). Kammolche müssen dabei nicht mehr gesichtet oder gefangen werden (Abb. 1.3). Genetische Methoden sind auch dann von großem Nutzen, wenn Arten aufgrund ihres Aussehens kaum unterscheidbar sind, wie dies beispielsweise bei vielen Pilzen, Flechten, Insekten oder bei Bodenorganismen allgemein der Fall ist. Hier kommt sogenanntes genetisches Barcoding zum Einsatz.

Kapitel 10 gibt einen Überblick zum aktuellen Thema des genetischen Monitorings. In vielen Ländern, so auch in Deutschland, Österreich und der Schweiz, wurden und werden nationale Biodiversitätsstrategien und Aktionspläne erarbeitet. Diese zeigen auf, wie die biologische Vielfalt dieser Länder erhalten werden soll. Die Strategien erwähnen, dass neben der Vielfalt der Arten und Lebensräume auch die genetische Vielfalt erfasst

Abbildung 1.3:
Der gefährdete
Kammolch (*Triturus
cristatus*) ist in her-
kömmlichen Feld-
untersuchungen nur
schwer und mit
erheblichem Zeitauf-
wand festzustellen.
Mittels genetischer
Methoden (Barcoding)
lässt sich aber DNA
des Kammolchs in
Wasserproben und
damit auch sein
Vorkommen in einem
Gewässer einfach
nachweisen.



werden muss. Nur wie kann ein großflächiges Monitoring der genetischen Vielfalt über viele Arten und einen ganzen Staat hinweg aussehen? Was ist zurzeit mithilfe neuer genetischer Methoden möglich und machbar? Dieses Kapitel zeigt mögliche Leitlinien, aber auch offene Fragen auf.

Kapitel 11 wendet sich an jene LeserInnen, die Genaueres zu genetischen Methoden (z. B. DNA-Sequenzen), genetischen Markern (z. B. Mikrosatelliten), genetischen Indikatoren (z. B. allelische Vielfalt), möglichen Untersuchungsanordnungen (z. B. nicht invasives Sammeln) oder den Kosten einer naturschutzgenetischen Untersuchung wissen wollen. Das Kapitel behandelt also technische Themen und bietet interessierten Lesern und Leserinnen vertiefte Erklärungen. Diese sind aber für das Verständnis der Themenkapitel 2 bis 10 und 12 dieses Buches nicht unbedingt nötig.

Abschließend gibt Kapitel 12 einen kurzen Überblick zur Verwendung von genetischen Methoden im Naturschutz. In diesem Kapitel findet sich eine Liste, welche die verschiedenen Anwendungen der Genetik im Naturschutz in knapper Weise zusammenfasst und auf konkrete Beispiele, die im Buch vorgestellt werden, verweist.

1.3 Vielfalt und Ablauf naturschutzgenetischer Untersuchungen

In der Naturschutzgenetik wird eine große Vielfalt von Arten aus verschiedensten Organismengruppen untersucht. Diese Vielfalt reicht von Pilzen, Flechten, Moosen und Gefäßpflanzen bis zu Fadenwürmern, Insekten und den verschiedenen Gruppen der Wirbeltiere wie Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere (Abb. 1.4). Im Prinzip kann jede Art genetisch untersucht werden. Die Arten müssen nicht unbedingt selten oder gefährdet sein: Moderner Naturschutz versucht oft, anstelle von Einzelarten grundlegende Prozesse zu fördern, auf die viele Arten, seltene und häufige, ansprechen. Ein Beispiel hierfür ist Vernetzung, wo die allgemeine Durchlässigkeit der Landschaft mit vielfältigen Maßnahmen erhöht wird.

Abbildung 1.4: Die Naturschutzgenetik untersucht eine große Vielfalt an Organismengruppen, welche von Pilzen (Kräuterseitling, *Pleurotus eryngii*), Flechten (Lungenflechte, *Lobaria pulmonaria*) und Pflanzen (Rudolphi's Trompetenmoos, *Tayloria rudolphiana*, und Frauenschuh, *Cypripedium calceolus*) über Bodenmikroorganismen (Fadenwurm, *Bursaphelenchus* sp.), Wirbellose (Wolfspinne, *Alopecosa striatipes*, und Alpenbockkäfer, *Rosalia alpina*), Fische (Seeforelle, *Salmo trutta*), Amphibien (Kreuzkröte, *Bufo calamita*), Reptilien (Zauneidechse, *Lacerta agilis*), Vögel (Mittelspecht, *Dendrocopos medius*) bis zu Säugetieren (Reh, *Capreolus capreolus*) reicht.



Ausgangspunkt jeder Untersuchung ist ein praktisches Problem im Naturschutz. Es geht zum Beispiel darum abzuschätzen, ob Populationen durch eine Straße voneinander getrennt sind. Einer der wichtigsten Punkte jeder Untersuchung, der über Erfolg oder Misserfolg wesentlich entscheidet, ist die Planung der Untersuchung. Wie viele Individuen werden an wie vielen Orten gesammelt? Welches Material kann gesammelt werden, braucht es beispielsweise Mundabstriche bei Amphibien oder einzelne Blätter bei Pflanzen (Kapitel 2 und 11)? Mit welchen genetischen Methoden werden die Proben später im Labor analysiert? Welche statistischen Auswertungen werden durchgeführt, sodass die Resultate den Naturschutz bei der Lösung des Problems am besten unterstützen?

Ist die Planung der Untersuchung abgeschlossen, werden die Proben auf den Untersuchungsflächen gesammelt. Dass dabei die einschlägigen Naturschutz- und Tierschutzgesetze und -richtlinien eingehalten werden, versteht sich von selbst. Im Labor erfolgt dann die Aufbereitung der Proben, deren genetische Analyse und die statistische Auswertung. Die vorliegenden Ergebnisse werden anschließend interpretiert und entsprechende Schlussfolgerungen gezogen. Aus diesen Schlussfolgerungen werden schließlich konkrete Handlungsempfehlungen für die Praxis abgeleitet. An diesen Schritten sind sowohl NaturschutzpraktikerInnen als auch Spezialisten und Spezialistinnen aus der Naturschutzgenetik beteiligt. Vor allem bei den genetischen Analysen im Labor und den statistischen Auswertungen gibt es zahlreiche Schritte, die von den Praktikern und Praktikerinnen weder durchgeführt noch im Detail genau verstanden werden müssen. Wichtig ist, dass gleich zu Beginn der Planung einer Untersuchung ein enger Austausch zwischen Naturschützern und -schützerinnen und Naturschutzgenetikern und -genetikerinnen gegeben ist. Die Interpretation der Ergebnisse, das Treffen von Schlussfolgerungen und die Empfehlungen für praktische Maßnahmen müssen dann wieder gemeinsam durchgeführt werden. So können die bestmöglichen Ergebnisse für die Praxis gewährleistet werden. Abbildung 1.5 zeigt, was man als NaturschutzpraktikerIn verstehen muss, wo man sich in den Untersuchungsablauf einbringen muss und welche Schritte man den genetischen Spezialisten und Spezialistinnen überlassen kann.

Arbeitsablauf	Beteiligung	Beispiel
Fragestellung / Problem ↓	■	Sind zwei Populationen voneinander getrennt?
Untersuchungsplanung ↓	■ ■	Wo, was, wie viel wird gesammelt? Genetische Marker?
Probenaufsammlung ↓	■ ■	Je 20 Proben pro Population
Genetische Laboranalysen ↓	■	20 Mikrosatelliten
Statistische Auswertung ↓	■	Berechnung des Individuenaustauschs
Interpretation ↓	■	Kaum Austausch zwischen Populationen
Schlussfolgerung ↓	■ ■	Populationen sind voneinander getrennt
Empfehlungen an die Praxis	■ ■	Vernetzung mit Durchlässen notwendig

■ NaturschützerIn ■ GenetikerIn

Abbildung 1.5: Ablauf einer naturschutzgenetischen Untersuchung. Personen aus dem Naturschutz und aus der Genetik sind nicht an allen Schritten beteiligt.

1.4 Zukunft der Naturschutzgenetik

Die Erfassung genetischer Vielfalt erlebt zurzeit eine schnelle technische Entwicklung. Was vor zehn Jahren nicht denkbar war, ist heute bereits Realität: Man kann für Hunderte von Individuen innert kurzer Zeit das vollständige Erbgut bestimmen (Next Generation Sequencing; Kapitel 11). Die technische Entwicklung wird weiterhin rasch ablaufen. Dabei können für immer mehr Proben immer größere genetische Datensätze mit noch mehr Details für immer tiefere Kosten gewonnen werden. Waren bislang Mikrosatelliten die in der Naturschutzgenetik am häufigsten verwendeten genetischen Marker, so sind heute sogenannte SNPs (Single Nucleotide Polymorphisms) der Datentyp der Stunde (Kapitel 2 und 11). Diese schnelle technische Entwicklung bietet viele neue Möglichkeiten für den Einsatz von genetischen Methoden im Naturschutz. So fallen die größten Kosten einer naturschutzgenetischen Untersuchung kaum mehr im Labor, sondern beim Sammeln der Proben im Feld an. Allerdings ist die Analyse der neuen, teilweise riesigen genetischen Datensätze aufwendig. Für NaturschutzpraktikerInnen ist es daher wichtig, die Zusammenarbeit mit genetischen Spezialisten und Spezialistinnen von Universitäten, Forschungsinstituten, Museen oder privaten Unternehmen frühzeitig zu suchen.

Über diesem technischen Fortschritt darf nicht vergessen werden, um was es in der Naturschutzgenetik eigentlich geht. Die Autoren des wichtigsten englischsprachigen Lehrbuchs zur Naturschutzgenetik haben das so formuliert: «Naturschutzgenetik ist die Anwendung genetischer Theorie und genetischer Methoden, um das Risiko des Aussterbens gefährdeter Arten zu reduzieren. Das längerfristige Ziel ist es, Arten als dynamische Einheiten zu erhalten, welche sich an Umweltänderungen anpassen können» (Frankham et al. 2010). Wir unterstützen diese Definition und möchten noch hinzufügen, dass es in der Naturschutzgenetik um den Schutz der ganzen biologischen Vielfalt geht, von der Stufe der Gene über Arten bis zu Prozessen in Lebensräumen. Wie das geht, zeigen die folgenden elf Kapitel dieses Buches.