



Bernhard Kegel
**Die Natur
der Zukunft**

Tier- und Pflanzenwelt in
Zeiten des Klimawandels

DELMONT

Bernhard Kegel

**Die Natur
der Zukunft**

Bernhard Kegel

Die Natur der Zukunft

Tier- und Pflanzenwelt in
Zeiten des Klimawandels

DUMONT

Inhalt

Einleitung 9

1

In Bewegung 19

Atem 19

Wanderer 22

In Meeren und Ozeanen 33

Gewinner und Verlierer 38

Humboldts *Tableau Physique* 42

Feinschmecker 44

2

Neue Tiere, neue Pflanzen 49

Neozoen, Neophyten, Neobiota 49

Invasionen und Klima 54

3

Eine hungrige Welt – Was die Vergangenheit
uns über die Zukunft erzählt 75

Proxies und Klimawandel 75

PETM 82

Hyperthermals 93

Pleistozän 98

Die Geschwindigkeit wandernder Bäume 102

Holozän 106

Damals, heute, morgen 111

4

Mismatch 115

Phänologien 115

Bottom-up – Lake Washington 117

Die Jahreszeiten in Bayern 121
Die *match/mismatch*-Hypothese 123
Vögel 127
Blüten und Bestäuber 133

5

Zu warm – Kanarienvögel des Klimawandels 135

Individuen 135
Der thermale Sicherheitsabstand 138
Hitzeschock- und andere Proteine 143
Plastizität und Evolution 149

6

Regime shifts – Wirkungen auf Ökosysteme 159

Klimahüllen 159
Der Breitenbach 162
Regimewechsel 167
Barro Colorado, Panama 171

7

Pandoras Eisschrank – Arktis und Antarktis 181

Netflix und der Fall der Walrosse 182
Uggianaqtuq – Die Arktis 187
Der Arktische Ozean 190
Die Antarktis 193
Pinguine 198
An Land 202
Permafrost 204

8

The Blob 211

Der Tod der Gelbschopflunde 211
Ein *Blob* 213
Marine Hitzewellen und *MMEs* 219

Totzonen 225
Feuerwalzen 231
Seewespen und andere Medusen 234

9

Waldsterben 2.0 245
Der deutsche Wald 245
Der Wald der Zukunft 255

10

Heißere Dürren und die Macht der Extreme 261

Selten, aber heftig 261
Wandel durch Extreme 265
Experimente 269

11

Schwarze Elefanten 281
Parasiten 281
Krankheit und Bewegung 285
EID – Emerging Infectious Diseases 287
Zeitbomben 300

12

»Wir verlieren die Vielfalt des Lebens« 307

Defaunation 309
Aussterben und Klimawandel 314
Korallenriffe 320
Die Natur der Zukunft 333

Anmerkungen 337

Literatur 359

Index 375

Einleitung

Endlich wieder Schnee, viel Schnee. Ein Winter wie früher, wie er sein sollte. Auf dem Gletschereis im Schweizer Skigebiet Glacier 3000 der Waadtländer Alpen liegt im Frühjahr 2018 eine dicke Schicht der weißen Pracht, dicht und kompakt, das Ergebnis eines Winters mit weit überdurchschnittlichen Schneefällen. Für den schrumpfenden Gletscher kommt das einer Frischzellenkur gleich. 50 Prozent mehr Schnee als in normalen Jahren – das ist Wasser für einen Verdurstenden. Vielleicht kommt es doch nicht so schlimm wie befürchtet. Ein paar Winter wie dieser und man könnte fast wieder Hoffnung schöpfen.

Die allgemeine Euphorie steckt sogar Matthias Huss und seine Mitarbeiter an. Der Experte von der ETH Zürich ist Leiter des Schweizer Gletschermessnetzes. Regelmäßig besucht er die jahrtausendealten alpinen Eismassen, führt Messungen durch, und eigentlich kommt ihm für das, was er dort seit Jahren tut und erlebt, nur noch ein Wort in den Sinn: »Sterbebegleitung«. Da ist ein Winter wie dieser natürlich eine erfreuliche Abwechslung, sogar für Glaziologen.

So wird ein Fernsehteam des SWR, das Huss und seine Kollegen begleitet, am 25. April 2018 Zeuge einer Messung, wie es schon lange keine gegeben hat. Mehr als fünf Meter tief muss die Sonde durch die Schneedecke getrieben werden, bis sie auf hartes Eis trifft. Es könnte ein gutes Jahr für die Alpengletscher werden, zumindest für diesen, denn nicht überall ist so viel Schnee gefallen.

Fünf Monate später statten Matthias Huss und seine Mitarbeiter dem Gletscher im Glacier-3000-Gebiet einen zwei-

ten Besuch ab. Mitte September gilt es nun Bilanz zu ziehen, die Sommerbilanz des Jahres 2018. Schon auf dem Weg zur Messstelle wird deutlich, dass sie nicht gut ausfallen wird, trotz der imposanten Schneedecke, die das Eis eigentlich hätte schützen müssen. Die Euphorie war verfrüht. Von den Schneemassen des letzten Winters ist nichts übrig geblieben.

Was die Gletscherforscher zu diesem Zeitpunkt noch nicht wissen: In der Schweiz, in Österreich und in Deutschland wird 2018 als das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen vor mehr als 130 Jahren in die Statistik eingehen, global gesehen wird es Rang vier einnehmen, nach 2016, 2015 und 2017. Die Jahre 2019 und 2020 werden weltweit noch wärmer und schieben sich zwischen 2016 und 2015.

»Wenn man sich das vorstellt«, sagt Huss in die Fernsehkamera. »Fünf Meter Schnee auf dreitausend Meter Höhe . . . Dass das in einem Sommer wegschmelzen kann, hätten wir nicht für möglich gehalten.«

Nicht nur der Schnee ist verschwunden, auch der Gletscher ist weiter geschrumpft. Die Eisschicht ist um 1,30 Meter dünner geworden. Die enormen Schneemassen des Winters 2017/18 haben nicht einmal für eine Atempause gesorgt. Das sogenannte *Peak Water*, der Wendepunkt, von dem ab die durch das Schmelzen des Eises abfließende Wassermenge wegen des Volumenverlusts der Gletscher nur noch abnimmt, sei hier wohl erreicht, vermutet Matthias Huss.¹

Der Schwund der Alpengletscher geht weiter. Allein in den Jahren 2000 bis 2014 ist ein Sechstel des Eisvolumens in den Alpen abgetaut. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts wird es wohl nur noch in einigen Hochlagen Gletscher geben.²

Die lokalen Folgen für Mensch und Natur werden dramatisch sein. Im globalen Vergleich sind die alpinen Gletscher allerdings Zwerge: Viel größere Eismassen gibt es in Alaska, in Patagonien und an den Polen. Zusammen mit Kollegen aus Frankreich, Norwegen, Kanada und Russland hat Matthias Huss kürzlich

eine umfassende, auf Satellitendaten basierende Analyse von 19 000 Gletschern auf der ganzen Welt vorgelegt. Danach hat sich deren Eisverlust in den letzten 30 Jahren beschleunigt und liegt nun bei 335 Milliarden Tonnen pro Jahr. Das entspricht etwa dem Dreifachen des gegenwärtig noch vorhandenen Gletschervolumens in den Alpen. Allein dadurch ist der Meeresspiegel seit 1960 um 27 Millimeter angestiegen.³

Dies ist kein Buch über die Frage, ob es einen Klimawandel gibt oder nicht. Diese Frage ist längst beantwortet, und man brauchte dazu weder leistungsfähige Großrechner noch Klimamodelle. Ein Blick auf die schwindenden Eismassen in den Gebirgen und an den Polen genügt; die seit Jahrzehnten steigenden Temperaturen sind eine unabweisbare Tatsache. Streit entzündet sich an der Frage, ob und wie sehr wir Menschen an dieser Entwicklung mitgewirkt haben und wie sich dieses verändernde Klima in den verschiedenen Weltgegenden auswirken wird.

Ich bin kein Klimaforscher und daher, was die Zuverlässigkeit dieser Zukunftsprognosen angeht, genauso auf die Arbeit der Experten angewiesen wie Sie, liebe LeserInnen. Ich habe allerdings keine Zweifel, dass die überwältigende Mehrzahl der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler engagiert und mit größter Gewissenhaftigkeit ihre Arbeit verrichtet. Die Frage nach den Ursachen des Klimawandels wird in diesem Buch nicht deshalb ausgeklammert, weil ich sie für ungeklärt halte. Das Gegenteil ist der Fall. Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), der sogenannte »Weltklimarat«, der die weltweit durchgeführte Klimaforschung zusammenträgt, bündelt und in Form von umfangreichen Berichten veröffentlicht, erklärte in seinem fünften Sachstandsbericht, der Einfluss des Menschen sei »äußerst wahrscheinlich« (d. h. mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 95 Prozent) die Hauptursache für die seit Mitte des 20. Jahrhunderts zu beobachtende Erwärmung.⁴ Viel mehr kann eine Wissenschaft, die sich mit einem so komplexen Phä-

nomen wie dem globalen Klima beschäftigt, kaum erreichen. Ich habe deshalb keine Veranlassung, an den, je nach Szenario, mehr oder weniger dramatischen Modellprojektionen zu zweifeln, die die Klimaforscher erarbeiten, auch wenn sie eine alles andere als erfreuliche Zukunft in Aussicht stellen. Außerdem entspricht die Entwicklung bislang ziemlich genau den Vorhersagen. Fast alle Prognosen, sogar die, die bereits vor 50 Jahren abgegeben wurden, haben die Entwicklung bis zum Jahr 2020 zutreffend beschrieben.⁵ Und die heutigen Modelle sind noch besser geworden, weil die Forscher aus früheren Fehlern und Fehleinschätzungen gelernt haben.

Auch wenn man, aus welchen Gründen auch immer, nicht an einen weitgehend menschengemachten Klimawandel glaubt – wir wissen, dass die meisten globalen Massenaussterbeereignisse der Erdgeschichte mit steigenden beziehungsweise hohen CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre einhergegangen sind.⁶ Es wäre demnach, unabhängig von der Frage nach der Ursache, in keinem Fall eine gute Idee, diese für die Menschheit bedrohliche Entwicklung noch zu befeuern, indem wir weiterhin zusätzlich tonnenweise Treibhausgase in die Atmosphäre ausstoßen, Gase, die dort für Tausende von Jahren verbleiben werden. Wir tun es bislang in einer nie da gewesenen Geschwindigkeit, denn die Hälfte des insgesamt durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre gelangten Kohlendioxids, etwa 890 Milliarden Tonnen, wurde in den letzten 30 Jahren ausgestoßen, von einer einzigen Menschengeneration, von uns.⁷ Schon deshalb gilt es, alles in unserer Macht Stehende zu tun, um den Schaden und die für große Teile der Menschheit existenzbedrohenden Probleme, die auf uns zukommen, zu begrenzen und uns, so gut es geht, auf die neuen Gegebenheiten vorzubereiten – eine Herkulesaufgabe, deren Erfolg keineswegs garantiert ist.

Steigt die Lufttemperatur von 28 auf 29 Grad oder von 5 auf 6 Grad Celsius, bemerken wir in unserer Umwelt in der Regel

keine oder nur minimale Veränderungen. Steigt sie aber von -1 auf 0 Grad Celsius oder gar darüber, sind die Konsequenzen unmittelbar und dramatisch. Deshalb ist im Zusammenhang mit dem Klimawandel so oft von Gletschern, polaren Lebensräumen und Permafrostböden die Rede. Weil Wasser in seinem festen Aggregatzustand eben bei null Grad Celsius zu schmelzen beginnt und wir diesen für die meisten Menschen immer noch sehr abstrakten Klimawandel dort, wo es Eis gibt, tatsächlich sehen können. Wer, in welcher Form auch immer, auf dieses Eis angewiesen ist, wird große Schwierigkeiten bekommen.

Doch auch wenn es nicht sofort ins Auge sticht: Ein sich veränderndes Klima hat überall auf der Erde Konsequenzen. Es bedeutet nicht nur höhere Temperaturen, schmelzende Gletscher, mehr extreme Wetterereignisse und einen steigenden Meeresspiegel. Es bedeutet auch und vor allem, dass die natürlichen Lebensgemeinschaften in der Verteilung und Zusammensetzung, wie wir sie kennen, keinen Bestand haben werden. Natur wird bleiben, aber es wird eine andere Natur sein. Sollten wir eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur um vier oder fünf Grad erleben, wären große Teile der Welt aus heutiger Sicht kaum wiederzuerkennen. Fünf Grad – das klingt nach wenig, entspricht aber dem Temperaturunterschied zwischen der letzten Kaltzeit, in der Kanada, das nördliche Europa und ein großer Teil Großbritanniens mit kilometerdicken Eisschichten überzogen waren, und der heutigen Warmzeit.⁸

Für viele Menschen ist der Klimawandel etwas, das noch in der Zukunft liegt, dabei steht außer Frage, dass wir bereits mittendrin stecken, und gerade die Biologie liefert dafür überzeugende Beweise. »Der Klimawandel kommt sehr schnell, innerhalb einer Baumgeneration«, stellt Manfred Forstreuter fest, Pflanzenökologe an der FU Berlin, der sich schon 1984 in seiner Diplomarbeit mit dem Klimawandel beschäftigte. Damals musste er dafür in die USA gehen, weil es in Deutschland niemanden gab, der an diesem Thema arbeitete.⁹

Trotz aller Konferenzen und Verträge hat der globale Ausstoß von CO₂ auch in 2018 und 2019 weiter zugenommen. Erst 2020 sorgte die Corona-Pandemie für einen deutlichen Rückgang. Die Entwicklung schreitet also unaufhaltsam voran, wo möglich – dafür gibt es beunruhigende Hinweise – schneller, als wir das angenommen haben. »Das Problem ist die Geschwindigkeit«, sagt auch Manfred Forstreuter. »In einer Generation passiert das, was sonst in 10 000 Jahren geschehen ist.«¹⁰

Einige Fachleute haben bereits vor *tipping points* gewarnt, vor »Kipp-Punkten«, die, wenn sie einmal erreicht und überschritten sind, keine Umkehr mehr ermöglichen.¹¹

Nur zwei extrem trockene und warme Jahre, 2018 und 2019, haben gereicht, um den deutschen Wald, der zu großen Teilen im 19. Jahrhundert gepflanzt wurde, schwer zu schädigen. Die Sprecherin der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände nannte es eine »Jahrhundertkatastrophe«, sogar Bundeskanzlerin Merkel machte sich Sorgen und sprach von »sehr, sehr großen Waldschäden«.

Für Peter Berthold, langjähriger Direktor am Max-Planck-Institut für Ornithologie in Seewiesen, steht fest: »Die Klimaerwärmung wird nicht nur gewisse marginale Verschiebungen in Ökosystemen bewirken. Vielmehr wird sie wohl alle Systeme, die sich bei uns seit der letzten Eiszeit vor 10 000 Jahren entwickelt haben, kontinentweit umwandeln – allerdings unter hohem »Reibungsverlust« an Artenvielfalt.«¹² Und zu diesen Systemen gehört eben auch der mitteleuropäische Wald.

Um diese Umwandlung soll es im Folgenden gehen, um eine Tier- und Pflanzenwelt, der die Veränderungen ihrer Lebensumstände bereits anzusehen sind und die längst begonnen hat, darauf zu reagieren. *Global* oder *Climate Change Biology* heißt die neue Wissenschaft, die diese Prozesse untersucht. Wenn dabei die aktuellen Vorgänge in einem Atemzug mit vergangenen aus vormenschlicher Zeit behandelt werden, ist das keinesfalls als Relativierung im Sinne derjenigen zu verstehen, die

einen menschengemachten Klimawandel leugnen und sich auf den Standpunkt zurückziehen, Klimaveränderungen habe es schon immer gegeben.

In der Biologie des Klimawandels steht nicht die Frage nach den Ursachen im Vordergrund, sondern die nach den Folgen für die Lebewesen und Ökosysteme unseres Planeten. Diese müssen und werden reagieren, so wie sie immer reagiert haben. Und sie tun es bereits jetzt, ob der Wandel nun von uns Menschen verursacht wurde oder nicht. Biologen studieren diese Phänomene seit mindestens 20 Jahren.¹³ Auch wer nicht an eine durch den Ausstoß von Treibhausgasen verursachte Erwärmung glaubt, muss sich wohl oder übel mit der Frage auseinandersetzen, wie mit diesen Veränderungen in aller Welt umzugehen ist, denn dass sie geschehen, steht unbezweifelbar fest.

Das Buch bildet damit eine Art Gegenstück oder Ergänzung zu David Wallace-Wells' alarmierendem Klimareport *The Uninhabitable Earth* von 2019, der unter dem Titel *Die unbewohnbare Erde* auch auf Deutsch erschienen ist.¹⁴ Wallace-Wells schildert darin die katastrophalen Folgen des Klimawandels für die Menschheit, klammert ökologische und biologische Konsequenzen aber fast völlig aus. Ich fürchte, er hat recht, wenn er gleich zu Beginn seines Buches schreibt: »Es ist schlimmer, viel schlimmer, als Sie denken. Das langsame Voranschreiten des Klimawandels ist ein Märchen, das vielleicht ebenso viel Schaden anrichtet wie die Behauptung, es gäbe ihn gar nicht.«¹⁵ Doch im Gegensatz zu David Wallace-Wells, der – vermutlich weil er glaubt, seine Ausführungen würden dadurch überzeugender klingen – Wert auf die Feststellung legt, er sei kein Umweltschützer und noch nie campen gewesen, bin ich Biologe und definitiv ein Naturliebhaber, der das Zelten unter freiem Himmel schätzt, auch wenn ich wie er fast mein gesamtes Leben in Städten verbracht habe. Deshalb interessiert mich nicht nur die Frage, was der Klimawandel für uns Menschen bedeutet, sondern auch die, wie es den anderen Lebewesen ergehen

wird, die diesen Planeten mit uns zusammen bewohnen. Beides ist ohnehin kaum voneinander zu trennen. Ich möchte versuchen zu verstehen, was da draußen, in Wald und Flur, in Gebirgen und Ozeanen, vor sich geht.

Was verraten uns die Erkenntnisse der *Climate Change Biology* über die Natur der Zukunft? In welche Richtung werden sich die Lebensgemeinschaften unseres Planeten entwickeln? Was geschieht schon jetzt? Die jungen Menschen, die überall auf der Welt lautstark protestieren, werden in dieser Umwelt leben. Wie wird die Natur beschaffen sein, die wir unseren Kindern und Kindeskindern hinterlassen?

Der US-Amerikaner John W. Williams, ein weltweit führender Experte für die Vegetation vergangener Jahrtausende, hat die Möglichkeiten, die Lebewesen in einem sich verändernden Klima bleiben, mit fünf knappen Worten umrissen: »*move, adapt, persist, or die*« – »bewege dich, passe dich an, halte durch oder stirb«. ¹⁶ Die *Climate Change Biology* liefert Beispiele für alle diese Optionen.

Wenn wir uns im Detail dafür interessieren, wie Tiere und Pflanzen auf eine sich aufheizende Welt reagieren, ist ein ausführlicher Blick in die Vergangenheit unserer Erde unabdingbar. Denn eines ist klar: Stillstand hat es auf ihm nie gegeben. Natur ist ein permanenter Prozess, der mitunter aus unterschiedlichen Gründen rasant Fahrt aufnimmt. Deshalb sind Gegenwart und Zukunft nur zu verstehen, wenn man weiß und berücksichtigt, was gewesen ist. Der Begriff »Naturgeschichte«, der im Zeitalter der Laborbiologie hoffnungslos altmodisch klingt, hat dieser Tatsache Rechnung getragen. In seiner *Kurzen Naturgeschichte des letzten Jahrtausends* von 2007 hat Josef H. Reichholf eindrucksvoll gezeigt, wie groß die Turbulenzen allein während der vergangenen 1000 Jahre waren – eine erdgeschichtlich kurze Zeitspanne, und doch fanden darin das Mittelalterliche Klimaoptimum (ca. 900 bis 1400 n. Chr.) und anschließend eine Kleine Eiszeit Platz. ¹⁷ Blickt man noch wei-

ter zurück, werden die Ausschläge immer heftiger. Vor 120 000 Jahren lebten Flusspferde in Themse und Rhein, um schließlich kilometerhohen Eismassen zu weichen, die in fast ganz Europa für arktische Verhältnisse sorgten.

Klima und Natur sind immer in Veränderung begriffen, längere Phasen relativer Stabilität, wie wir sie seit etwa 10 000 Jahren erleben dürfen, eingeschlossen. Diese fast schon banale Feststellung lässt allerdings nicht ansatzweise erahnen, wie dramatisch sich diese Umbrüche auf die jeweils betroffenen Lebewesen auswirkten. Seit jeher war der Klimawandel ein Motor der Evolution (und der Geschichte). Und je nach Ausmaß der Veränderungen geriet die Biosphäre dabei in mehr oder weniger große Turbulenzen. Das wird diesmal nicht anders sein.

Wir neigen manchmal dazu, uns die Erdgeschichte als spannenden Abenteuerroman zu erzählen, als eine Art Langzeitsportveranstaltung oder Gladiatorenkampf, mit Verlierern, die es nicht gepackt haben, und Siegern, zu denen zweifellos bislang der *Homo sapiens* gehört, und wir vergessen dabei, wie viel Leid damit verbunden war, wie viel Blut vergossen wurde, wie verzweifelt und aussichtslos für viele der Kampf ums Überleben war, den der Wandel ihnen aufzwang. Tausende und Abertausende von Pflanzen- und Tierarten blieben dabei auf der Strecke. Ansätze zu vergleichbar dramatischen Vorgängen sind auch jetzt schon zu erleben, vor allem in den arktischen Lebensräumen (s. Kap. 7). Und dabei wird es nicht bleiben.

Machen wir uns nichts vor: Was uns erwartet, ist in der Geschichte der Menschheit ohne Parallele. Diesmal sind wir mitdendrin im Geschehen. Denn sogar ein Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um »nur« zwei Grad Celsius bis zum Ende dieses Jahrhunderts – ein Ziel, das für uns nur noch unter größten Anstrengungen zu erreichen sein wird – bedeutet: Im Jahr 2100 werden auf der Erde Bedingungen herrschen wie vor etwa zwei Millionen Jahren. Zu Lebzeiten des *Homo sapiens sapiens* und seiner unmittelbaren Vorläufer hat es das noch

nie gegeben. Und der Weg wird weitergehen, weit über das Jahr 2100 hinaus. Im Vergleich zur vorindustriellen Zeit ist die Temperatur (bis zum Jahr 2019) bereits um 1,1 Grad gestiegen. So warm war es zuletzt am Ende des Eem-Interglazials (auch als »Riß/Würm-Interglazial« bekannt) vor 115 000 Jahren. Damals waren Neandertaler die einzigen Menschen in Europa.

Der moderne *Homo sapiens* verließ seine afrikanische Heimat nach heutigem Kenntnisstand vor etwa 60 000 Jahren. Dass sich unsere Spezies, wie schon der *Homo erectus* viele Hunderttausend Jahre vor ihr, überhaupt auf den Weg machte, ja dass unsere Vorfahren als aufrecht gehende Zweibeiner vor Jahrmillionen aus kletternden Affenaffen hervorgingen und ein großes Gehirn entwickelten, auch das war vermutlich eine Folge klimatischer Veränderungen. »Wie alle Arten sind auch wir ein Produkt unserer Umwelt«, schreibt der Astrobiologe und Wissenschaftskommunikator Lewis Dartnell in seinem Buch *Ursprünge*. Wir seien »eine Primatenart, die ihre Entstehung dem Klimawandel und der Tektonik Ostafrikas« verdanke.¹⁸

Unsere Spezies entstammt einem extrem vielgestaltigen und abwechslungsreichen Lebensraum, der noch dazu in der Zeit vor 2,7 bis 0,9 Millionen Jahren mehrfach von Phasen klimatischer Instabilität mit einem raschen Wechsel von Feucht- und Trockenzeiten heimgesucht wurde. Das hätte auch schiefgehen können. Doch es kam anders. »Intelligenz«, so Dartnell, »ist die evolutionäre Lösung für das Problem, dass sich ein Lebensraum schneller verändert, als die natürliche Selektion den Körper ummodellieren kann.«¹⁹

Hat er recht? Das wären dann ja gar nicht die schlechtesten Aussichten . . . In jedem Fall bieten der Klimawandel und seine Folgen Gelegenheiten im Überfluss, diese unsere Intelligenz unter Beweis zu stellen. Nur schnell muss es gehen. Allzu viel Zeit bleibt uns nicht mehr.

1

In Bewegung

Atem

Die Atmosphäre ist eine Schicht aus verschiedenen Gasen, die unseren Planeten einhüllt wie die Schale einer Orange das fruchtige Innere. Sie ist allerdings nur etwa 100 Kilometer dick, was nicht einmal einem Hundertstel des Erddurchmessers entspricht. Als Modell für die Erde taugen Zitrusfrüchte deshalb nur bedingt, denn im Verhältnis gesehen sind ihre Schalen viel zu dick. Die irdische Lufthülle entspricht eher der Pelle einer dicken Salami oder der Schale eines kleinen Apfels. Kein Wunder also, dass sie aus dem Weltall erschreckend dünn und verletzlich wirkt. Und doch war und ist sie der Garant für alles Leben, was sich je auf diesem außergewöhnlichen Himmelskörper entwickelt hat.

Atmosphäre, Klima und Lebewesen sind auf vielfältige und engste Weise miteinander verbunden. Es waren winzige Einzeller, fotosynthetisch aktive Cyanobakterien, die die Atmosphäre über Hunderte von Millionen Jahren mit Sauerstoff anreicherten und damit erst die Voraussetzung für die Entstehung höherer Lebensformen schafften.

Organismen veratmen diesen Sauerstoff, nutzen ihn zur Energiegewinnung und stoßen Kohlendioxid aus, ein Gas, das nicht nur, aber eben auch von Lebewesen erzeugt wird und eine bemerkenswerte Eigenschaft besitzt: Es absorbiert langwellige Anteile der Sonnenstrahlung, die von der Erdoberfläche reflektiert werden, verhindert, dass sie in den Weltraum entweichen,

und schickt sie zur Erdoberfläche zurück. Die Atmosphäre erwärmt sich. Dieser sogenannte Treibhauseffekt ist heute zu trauriger Berühmtheit gelangt, dabei ist es diese Fähigkeit des Kohlendioxids und einiger anderer Gase, die auf der Erde überhaupt die für Leben, wie wir es kennen, erträglichen Bedingungen garantiert. Ohne diesen Treibhauseffekt würde unser Planet ähnlich dem Mars als Eisball durch die Leere des Weltraums rasen (wie in der Erdgeschichte in Gestalt der sogenannten Schneeball-Erde mehrfach geschehen) und bestenfalls einige robuste Mikroben beherbergen. Wie warm es auf der Erde ist, hängt von vielen Faktoren ab, von der Sonnenaktivität, von der Lage der Kontinente, von kosmischen Phänomenen wie periodischen Schwankungen von Erdachse und Erdumlaufbahn, und nicht zuletzt von der Menge der Treibhausgase, die sich in der Atmosphäre befinden. Sie werden von Lebewesen produziert, aber in großen Mengen auch von Vulkanen ausgestoßen und dann durch biologische und geochemische Prozesse über lange Zeiträume hinweg wieder aus der Atmosphäre entfernt. Warmzeiten waren daher stets mit hohen Konzentrationen an CO_2 verbunden; herrschten eiszeitliche Verhältnisse, lag der Kohlendioxid-Gehalt deutlich niedriger.

Seit etwa 250 Jahren ist auch der Mensch ein zunehmend bedeutender Produzent von Kohlendioxid. Im Grunde hat der aktuelle Klimawandel begonnen, als Menschen durch die Verbrennung von Kohle die ersten Kohlendioxidmoleküle in die Atmosphäre entließen, die ohne sie nicht dorthin gelangt wären; über die Lagerfeuer unserer fernen Vorfahren sehen wir einmal großzügig hinweg. Das Verbrennen von Holz setzt Kohlenstoff frei, der in der Regel erst wenige Jahre zuvor, maximal vor einigen Jahrhunderten, von Pflanzen aus der Luft gefischt wurde. Doch mit jedem einzelnen CO_2 -Molekül, das mit der Verbrennung von Kohle oder Erdöl in die Atmosphäre gelangt, wird etwas wieder in das globale System eingespeist, das ihm für viele Jahrmillionen entzogen war. Heute freigesetzt, beginnt

jedes dieser Moleküle sofort, Wärmestrahlung zurückzuhalten, die sonst ins All entwichen wäre ...

Weil er also mit dem ersten von uns durch Verbrennung fossiler Energieträger erzeugten CO₂-Molekül begann, gab es diesen, sozusagen ›unseren‹ Klimawandel auch schon vor 50 oder gar 100 Jahren. Das zeigt zum Beispiel das Schicksal der Eismassen am Mount Kenia, nach dem Kilimandscharo mit 5199 Metern das zweithöchste Bergmassiv Afrikas und einer der wenigen Orte auf der Welt, an dem in unmittelbarer Nähe des Äquators immer Schnee liegt. Im Jahr 1900 gab es dort 18 Gletscher, bis 1986 waren jedoch 75 Prozent der gesamten Eismasse des Massivs verschwunden und nur noch 11 geschrumpfte Gletscher übrig.¹

Seit Beginn der Industrialisierung vor etwa 200 Jahren ist der Gehalt an CO₂ von 280 ppm auf über 400 ppm gestiegen, also auf mehr als 400 Millionstel Volumenanteile. Auf dem Gipfel der Zugspitze wurden im März 2020 genau 417,838 ppm gemessen. Und natürlich bedeutete diese Zunahme, wie zu allen Zeiten, dass es auf der Erde wärmer wurde. Weil das Klimasystem mit einer gewissen Trägheit reagiert, würden die Temperaturen selbst dann noch weiter steigen, wenn wir jetzt, in diesem Moment, damit aufhören würden, Kohlendioxid und andere Treibhausgase zu emittieren.

Während die Atmosphäre ihre Zusammensetzung also nicht zuletzt der Aktivität von Lebewesen verdankt, determiniert sie umgekehrt über das Klimasystem und die damit verbundene Verteilung von Feuchtigkeit, wo Organismen leben können. Jedes Lebewesen richtet sich in diesem klimabedingten Kontinuum ein, wie es seinen Fähigkeiten entspricht. Da das Klima keine Konstante, sondern natürlichen Schwankungen unterworfen ist, hat die Evolution dafür gesorgt, dass Tier- und Pflanzenarten diese Schwankungen in einem gewissen und für die jeweilige Art typischen Ausmaß tolerieren können. Die *Climate Change Biology* untersucht, wie Lebewesen und Lebensgemein-

schaften reagieren, wenn diese Toleranzgrenzen überschritten werden und das Klima sich wandelt, in der Gegenwart, in der Vergangenheit und in der Zukunft. Beginnen wir mit Ersterer.

Wanderer

Wie verhalten wir uns, wenn es uns irgendwo nicht gefällt oder wenn wir uns unwohl fühlen, aus welchen Gründen auch immer? Wird es in der Sonne zu warm, begeben wir uns in den Schatten; langweilen wir uns an einem Ort zu Tode, suchen wir woanders Zerstreuung; finden wir in der ersten Stadt keine Arbeit, ziehen wir in eine zweite um. Kurz: Die naheliegendste Reaktion auf sich verschlechternde Lebensumstände ist es, andernorts nach besseren zu suchen – ein Prinzip, dem alle Lebewesen folgen, ja folgen müssen. Tiere benutzen dazu, wenn vorhanden, ihre Bewegungsorgane: Einzeller peitschen sich mit Geißeln oder Flimmerhärchen durchs Wasser, größere Tiere besitzen Beine, Flügel, Kriechsohlen oder Flossen, um sich fortzubewegen. Korallen, Seepocken und andere Tiere, die fest mit dem Untergrund verwachsen sind, schicken ihre Jugendstadien auf die Reise. Sie können sich frei im Wasser bewegen oder werden passiv als Plankton über weite Distanzen verdriftet.

Ich weiß, das klingt banal. Es kann aber nicht schaden, sich in unserem Zusammenhang vor Augen zu führen, wie wichtig die Fähigkeit zur aktiven Bewegung ist. Sie ist eines der elementaren Merkmale des Lebens. Wie Fortpflanzung und Stoffwechsel. Was lebt, bewegt sich (oder besitzt zumindest bewegliche Teile). Warum? Klar, Lebewesen müssen sich auf Nahrungs- oder Partnersuche begeben, vor Rivalen und Fressfeinden fliehen oder sich nach der Sonne ausrichten. Natürlich ist ein Gepard nicht ein so schneller Läufer geworden, um vor einer möglichen Dürre davonzulaufen. Er hat seine überragenden läuferischen Qualitäten erworben, um auch sehr schnelle Beutetiere jagen

zu können und sich als Raubtier in Konkurrenz mit anderen Raubtieren in der Savanne zu behaupten.

Doch es geht hier nicht um solche speziellen Fähigkeiten, sondern um Grundsätzliches. Sogar Pflanzen und Pilze, die sich wie sesshafte Tiere nicht von der Stelle bewegen können, produzieren Samen, Früchte oder Sporen, die ihre feste Bindung an einen Standort aufheben und mithilfe von Wind, Wasser oder Tieren große Entfernungen überwinden. Was ist so wichtig daran, dass offenbar keine Pflanze und kein Tier darauf verzichten kann? Es gibt nur wenige Ausnahmen, etwa Gewächse, die sich im Normalfall nur über Wurzelausläufer vermehren; auch sie können sich aber, wenn es sein muss, geschlechtlich fortpflanzen und Samen produzieren.

Der Grund kann nur darin bestehen, dass Lebewesen jederzeit in der Lage sein müssen, neue Lebensräume zu besiedeln, denn in der Natur bleiben die Verhältnisse auf mittlere und lange Sicht selten so, wie sie einmal waren. Seen und Teiche trocknen aus, Ufer und Küsten werden überschwemmt, Wälder und Savannen gehen in Flammen auf, Berghänge rutschen zu Tal, Feinde und Konkurrenten entwickeln Fähigkeiten, die die eigene Existenz bedrohen, Vulkanausbrüche und kosmische Katastrophen sorgen für großflächige, mitunter globale Verwüstungen. Die Liste ließe sich endlos fortsetzen. Es gilt also auch, die guten Zeiten zu nutzen, um an möglichst vielen Orten gleichzeitig präsent zu sein, damit die Art im Katastrophenfall die Auslöschung einzelner Teilpopulationen überlebt. Oder rechtzeitig die Flucht zu ergreifen, um andernorts einen Neustart zu versuchen. Was lebt, bewegt sich – und besitzt deshalb die Fähigkeit, sich Orte und Umstände zu suchen, die bessere Lebensbedingungen bieten. Der sprichwörtliche Stein, den der stete Tropfen höhlt, besitzt diese Fähigkeit nicht. Und wird deshalb über kurz oder lang vergehen.

Kein Wunder, dass Lebewesen ein feines Sensorium entwickelt haben, um Veränderungen ihrer Umwelt zu erkennen. In

einer kurzen Szene in Roland Emmerichs Klimakatastrophenthriller *The Day After Tomorrow* (2004) staunen die Filmhelden über riesige Schwärme großer und kleiner Vögel, die alle in der gleichen Richtung den New Yorker Central Park überfliegen. Im Film sagt keine der Personen etwas. Man sieht nur, wie sie stauen, und hört die Schreie der Vögel. Die Zuschauer aber, die mehr wissen als die Protagonisten, ahnen: Diese Vögel fliehen vor einem aus dem Norden herannahenden Schneesturmmonstrum, das die Stadt und alles, was in ihr lebt, zu schockfrosten droht. Bei Emmerich vollzieht sich eine Klimakatastrophe innerhalb von Tagen.

Glücklicherweise bleibt uns ein wenig mehr Zeit, und dass Vögel unterschiedlichster Art derart kollektiv die Flucht ergreifen würden, ist wohl auch zu bezweifeln. Doch einen wahren Kern enthält diese Szene schon.

Frühzeitig reagieren zu können, entscheidet über Leben und Tod, über die Fortexistenz einer Art oder ihr unwiderrufliches Aussterben. In erdgeschichtlichen Zeiträumen betrachtet ist der Wandel, also auch der Klimawandel, die Normalität, etwas, das jederzeit hereinbrechen kann, im Kleinen wie im Großen. Und jeder Wandel, jede Katastrophe bietet ja auch neue Chancen, die rasch genutzt werden müssen, bevor andere zur Stelle sind.

Soweit das in ihrer Macht steht, sind Lebewesen also vorbereitet. Sie sitzen gewissermaßen auf gepackten Koffern, sind immer auf dem Sprung. Was sie aus eigener Kraft tun können, um sich den Veränderungen anzupassen, das werden sie tun. (Ob es reichen wird, um zu überleben, ist eine andere Frage.) Überall dort, wo Umweltbedingungen sich über einen längeren Zeitraum ändern, sollte das deshalb zu einer auffälligen Dynamik führen, die über das normale Maß hinausgeht. Und natürlich gilt auch das Umgekehrte: Wenn aufmerksame Beobachter Migrationsbewegungen und Verschiebungen der Verbreitungsgrenzen in ungewöhnlichem Ausmaß registrieren, können sie

daraus Rückschlüsse auf gravierende Veränderungen in den ursprünglichen Lebensräumen ziehen.

Genau diese Situation erleben wir gegenwärtig. Die Tatsache, dass die Verbreitungsareale von Pflanzen- und Tierarten weltweit in Bewegung geraten sind, ist neben den Messdaten der Meteorologen der überzeugendste Beweis dafür, dass die Erde einen globalen Klimawandel erlebt. Der Zusatz »global« ist dabei sehr wichtig, denn der Umstand, dass diese Vorgänge überall in der Welt beobachtet werden, unterscheidet das, was wir gegenwärtig erleben, von nur lokal oder regional wirksamen Phänomenen wie der Kleinen Eiszeit, die sich erst im pazifischen Raum und von etwa 1400 bis 1800 n. Chr. vor allem in Europa bemerkbar machte und dort für eisige Winter und verregnete Sommer sorgte.²

Nicht selten werden Forscherinnen und Forscher, die draußen im Freiland ihrer Arbeit nachgehen, überrascht, weil sie Tieren begegnen, mit denen sie nicht gerechnet haben. Glücklicherweise sind diese Begegnungen nicht immer so gefährlich wie auf Cooper Island, einer Insel vor der Nordküste Alaskas, wo mehr als zwei Dutzend hungrige Eisbären, die früher nur vereinzelt in der Ferne zu sehen gewesen waren, vier Nächte lang die Zelte eines Wissenschaftlercamps belagerten, weil das Eis ringsum geschmolzen war. Heute kann man sich auf der Insel nur noch mit einem geladenen Gewehr bewegen.³

Robert Curry, ein Biologe von der Villanova University in Pennsylvania, untersuchte zwei amerikanische Meisenarten, eine südliche und eine nördliche, deren Verbreitungsgebiete in einem mehrere Kilometer breiten Streifen quer durch die Vereinigten Staaten überlappen. Ihn interessierte, warum und mit welchen Konsequenzen die beiden Arten dort hybridisieren. Zu diesem Zweck hatte er 1998 Untersuchungsareale ausgewählt, von denen einige in der Überlappungszone, andere in den von nur einer der beiden Arten bewohnten Gebieten lagen. Alles ging seinen Gang, bis den Forschern fünf Jahre später plötzlich

im Norden der Gesang einer Meise entgegenschallte, die eindeutig aus dem Süden stammte. Hatte sich das Tier verirrt?

Die nördliche Verbreitungsgrenze der südlichen Carolina-Meise wird durch niedrige Wintertemperaturen gesetzt. Die kalte Jahreszeit war aber seit Jahren ungewöhnlich mild ausgefallen. Durch einen Vergleich mit historischen Daten ermittelten die Forscher, dass sich das Zentrum der Überlappungszone innerhalb eines Jahrzehnts um mehr als elf Kilometer nach Norden verschoben hatte.⁴

Currys Versuchsdesign war damit hinfällig. Um sicher in einem Gebiet mit reinen Beständen der nördlichen Art arbeiten zu können, mussten die Untersuchungsflächen um 24 Kilometer verlegt werden. Für die Forscher bedeutete das in erster Linie, dass sie mehr Zeit aufwenden mussten, denn ihre Fahrzeiten verlängerten sich erheblich. Robert Curry rechnete aus, dass die Nordverschiebung der Hybridzone ihnen pro Jahr 160 Stunden an zusätzlicher Freilandarbeit aufhalste.⁵

Auch die Arbeit des britischen Ökologen Chris Thomas von der University of York ist durch den Klimawandel komplexer geworden – und teurer. Thomas forscht über den Komma-Dickkopffalter (*Hesperia comma*), ein 1982, als sein Forschungsprojekt begann, recht wälderischer Schmetterling, der in Großbritannien nur an wärmebegünstigten Südhängen zu finden war. Das änderte sich Ende der 1990er-Jahre, als der stattliche Falter plötzlich an West- und Osthängen auftauchte, wo es schattiger ist und die Vegetation üppiger. Mittlerweile fühlt er sich sogar an einigen Nordhängen wohl, und Thomas braucht statt einem nun zwölf Mitarbeiter, um das ganze Gebiet zu überwachen, Leute, die natürlich bezahlt werden müssen. Ein Kollege hilft ihm, die Temperaturverteilung in seinem Untersuchungsgebiet zu modellieren. »Der eigentliche Wert solcher Untersuchungen besteht darin, sie immer weiterlaufen zu lassen, um diese langfristigen Veränderungen zu verstehen«, sagt Thomas. Also macht er weiter – solange ihm niemand den Geldhahn zudreht.⁶

Natürlich spielen sich ähnliche Phänomene auch unter ‚normalen‘, nur mäßig schwankenden klimatischen Bedingungen ab. Wärmere Jahre erlauben kälteempfindlichen Arten ein Vordringen nach Norden, kalte Jahre führen zum Rückzug, sodass das ganze Verbreitungsgebiet, könnte man es über Jahre und Jahrzehnte im Zeitraffer betrachten, pulsieren würde, ohne seinen geografischen Schwerpunkt zu verlagern. Weisen die Veränderungen aber über längere Zeit einen eindeutigen Trend auf, dann können die Grenzen sich verschieben.

Doch obwohl die Temperatur zweifellos großen Einfluss auf Tier- und Pflanzenarten hat, ist sie nicht der einzige Faktor, der über ihre Verteilung entscheidet. Die Feuchtigkeit spielt eine Rolle. Konkurrenten, Parasiten, Fressfeinde und das Fehlen wichtiger Nahrungspflanzen könnten eine weitere Ausbreitung erschweren und vieles andere mehr.

Es ist das Kernproblem der *Climate Change Biology*: Sie untersucht den Einfluss eines hochkomplexen Geschehens, des Klimas, auf hochkomplexe Tier- und Pflanzengemeinschaften. Und die sind natürlich einer Vielzahl von Einflussfaktoren ausgesetzt. Die Frage, die die Forscher beantworten wollen und die von der Öffentlichkeit mit zunehmender Dringlichkeit gestellt wird, lautet aber: Wie groß ist der Anteil des Klimawandels an einem konkreten Ereignis, an einer konkreten Entwicklung?

Für einige extreme Wetterkapriolen konnte diese Frage schon beantwortet werden. Die Attributionswissenschaft, die Wetterereignisse dem Klimawandel ‚zuzuordnen‘ versucht, hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht und in einigen Fällen, etwa bei Hitzewellen wie jüngst in Sibirien, bereits wenige Tage nach dem Ereignis Resultate geliefert. Meist – aber durchaus nicht immer – kam heraus, dass der Klimawandel die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses deutlich erhöht hat. Eine der wichtigsten Vertreterinnen dieser jungen Wissenschaft ist die an der Universität Oxford arbeitende Klimatologin Friederike Otto, eine geborene Kielerin.

Man braucht für diese Analysen allerdings große meteorologische Datensätze, Aufzeichnungen, die für die betroffenen Gebiete Jahrzehnte zurückreichen. In der Biologie ist so etwas selten. »In der natürlichen Welt ist die Zuordnung kein leichtes Unterfangen«, schreibt Camille Parmesan, eine der führenden Forscherinnen auf dem Gebiet der *Climate Change Biology*. »Der Übergang von der Korrelation hin zur kausalen Begründung ist besonders schwer zu erreichen.«⁷

Um die Aussagekraft ihrer Ergebnisse zu erhöhen, wird auf möglichst vielen Ebenen nach Belegen gesucht. Das reicht von paläontologischen Befunden über Laborstudien bis hin zu direkten Beobachtungen. Je mehr Indizien auf diese Weise zusammenkommen, desto sicherer können die Forscher sein, dass ihre Interpretation zutrifft. Hundertprozentige Beweise sind in der Biologie ohnehin eher selten.

Was Forscher über den Zusammenhang von steigenden Temperaturen und Verbreitungsmustern in Erfahrung gebracht haben, kommt einem Beweis schon nahe. Denn im Wesentlichen kennen die beobachteten Veränderungen nur zwei Richtungen: polwärts und bergauf – und folgen damit den in gleicher Richtung verschobenen Isothermen. Dies war zum Beispiel der Fall bei 275 von fast 330 untersuchten Tierarten in Großbritannien: So unterschiedliche Wesen wie Säugetiere, Vögel, Schmetterlinge, Fische, Tausendfüßer, Spinnen und Libellen haben ihre Verbreitungsgebiete dort im Verlauf von wenigen Jahrzehnten um bis zu 60 Kilometer nach Norden verschoben, mit einer Geschwindigkeit von 14 bis etwa 25 Kilometer pro Dekade. Das sind beträchtliche Verschiebungen innerhalb nur weniger Generationen.⁸ Vergleicht man verschiedene geografische Regionen, sind die beobachteten Veränderungen umso ausgeprägter, je stärker die Temperaturen in den ursprünglichen Verbreitungsgebieten gestiegen sind.⁹

In bergigem Gelände kommen viele dieser Arten nun auch in größerer Höhe vor, allerdings ist Großbritannien kein Gebirgs-

land. In der Schweiz sind die Temperaturen seit 1959 in Berg und Tal um 0,35 Grad gestiegen, fast doppelt so stark wie im Durchschnitt der nördlichen Hemisphäre.¹⁰ Und auch hier bewegen sich Pflanzen, Vögel und Schmetterlinge die Berghänge hinauf. Untersuchungen in Chile und in tropischen Lebensräumen wie Hongkong und Borneo zeigen das gleiche Phänomen.¹¹

Mittlerweile existieren mehrere umfangreiche Studien, in die Hunderte von Einzeluntersuchungen eingeflossen sind.¹² Sie belegen, dass sich diese Wanderungsbewegungen auf der ganzen Welt abspielen. Von einigen Tausend Arten, für die über viele Jahre Daten vorliegen, hat sich etwa die Hälfte während der vergangenen Jahrzehnte polwärts und/oder bergauf bewegt, darunter wiederum die unterschiedlichsten Lebewesen von der Bergblume bis zum Seeigel. Diese Gleichförmigkeit der Reaktionen, ob in Großbritannien, im tropischen Nebelwald oder im offenen Ozean, überraschte selbst die Fachleute. Der Einfluss des Klimawandels sei so stark, stellt Camille Parmesan fest, dass »ihn die sichtbareren Aspekte des menschlichen Einflusses auf die Artenverteilung, wie der Verlust von Lebensräumen, nicht überlagern«. ¹³ In einem Interview mit dem britischen *Guardian* zeigte sie sich schockiert über »die Allgegenwärtigkeit des Klimawandels. Wir sehen überall Veränderungen, in jedem Land und in jedem Ozean. Wir hätten erwartet, dass wir einige Regionen oder Organismengruppen finden würden, die stabil sind, aber wir finden keine. Wir sehen Veränderungen, die viel schneller vonstattengehen, als ich es noch vor zehn Jahren vermutet habe.«¹⁴

Allerdings scheinen sich viele Organismen nicht so weit zu bewegen, wie sie es müssten, um weiterhin in ihrem gewohnten Temperaturbereich leben zu können.¹⁵ Haben sie zu spät reagiert und hinken den Veränderungen nun hinterher? Vielleicht bestand für manche Arten keine Notwendigkeit, ihr Siedlungsgebiet zu verschieben, etwa weil sie die Veränderungen tolerierten.

Oder weil sie etwas daran hinderte. Im Gebirge können Tier- und Pflanzenarten nicht beliebig weit in die Höhe ausweichen, da sie irgendwann auf nackten Fels oder den Gipfel stoßen. Sie befinden sich in einer Sackgasse. Und der Weg zum nächsten Berg ist weit und für Bergbewohner nicht selten unüberbrückbar.

Nahe der Baumgrenze haben Schweizer Forscher auch den gegenteiligen Effekt beobachtet.¹⁶ Statt weiter bergauf zu wandern, haben einige Pflanzenarten die entgegengesetzte Richtung eingeschlagen. Für sie ist das Mikroklima an ihrem Wuchs-ortentscheidend, und das kann erheblich von der Lufttemperatur abweichen. Aufgrund der abwechslungsreichen Topografie im Hochgebirge findet sich für die kleinen hochalpinen Gewächse meist schon in wenigen Metern Entfernung ein neues geeignetes Habitat: im Schatten eines Felsens, in Spalten und Rissen. Deshalb müssen sie keine großen Entfernungen überbrücken. Ob das bei weiter steigenden Temperaturen auch in Zukunft so sein wird, bleibt allerdings abzuwarten. Vielleicht sind sie in größerer Höhe auch auf starke Konkurrenz durch andere Pflanzen gestoßen. Die Wanderer dringen ja nicht in leere Räume vor. In der Regel sind viele der Standorte, die für sie geeignet wären, schon besetzt.

Auch im Flachland können Tiere und Pflanzen, die den steigenden Temperaturen polwärts ausweichen, auf Grenzen und Barrieren stoßen, die für sie unüberwindlich sind. Die Erde des 20. und 21. Jahrhunderts hat ein vollkommen anderes Aussehen als zu Zeiten früherer Klimaveränderungen. 50 bis 70 Prozent des Festlands sind durch menschliche Aktivitäten mehr oder weniger stark verändert worden, ein Großteil davon trägt keine natürliche Vegetation mehr.¹⁷ Die Möglichkeit, sich ungehindert in jede Richtung zu bewegen, ist deshalb für viele Lebewesen nicht mehr gegeben. Natürlich stellten Gebirgszüge schon immer ein massives Ausbreitungshindernis dar, etwa die Alpen, die Tieren und Pflanzen im Wege waren, die während der Eis-

zeiten vor den anrückenden Gletschern aus Mitteleuropa nach Süden strebten. Nach dem Abtauen der Eismassen behinderten sie auch deren Vorstoß Richtung Norden. Gebirge, Wüsten, Ströme, Seen, dichte Wälder und Moore – für so manche Art, die sich nicht in die Luft erheben konnte, um Hindernisse und für sie unwirtliche Lebensräume zu überfliegen, gab es auch in Zeiten ohne menschlichen Fußabdruck mitunter kein Weiterkommen.

Doch heute stoßen Lebewesen auf ihrer Suche nach neuen Lebensräumen zusätzlich auf riesige mit Bioziden behandelte Ackerflächen oder Plantagen, wo, so weit man blicken kann, nur eine einzige Pflanzenart gedeiht. Sie treffen auf versiegelte, von rasend schnellen Maschinen befahrene Straßen, die die Landschaft durchschneiden, und auf urbane Ballungszentren, die immer gewaltigere Ausmaße annehmen. Eine Metropole wie Moskau ist größer als der Harz, auch das viel kleinere Berlin hat in Ost-West-Richtung eine Ausdehnung von 45 Kilometern. Naturnahe Gebiete sind heute in großen Teilen der Welt nur noch Inseln in einer vom Menschen überprägten Landschaft.

Wie diese Fragmentierung sich auf das Migrationsverhalten von Wildtieren auswirkt, kann man für die meisten Arten nur erraten. Dass eine so beschaffene Welt dem Bewegungsdrang engere Grenzen setzt, scheint offenkundig; es gab jedoch kaum Untersuchungen, die diese Vermutung mit harten Fakten stützen. Fast 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt haben kürzlich versucht, diese in Zeiten des Klimawandels sehr unbefriedigende Situation zu beenden.¹⁸ Mithilfe des *Global Positioning System (GPS)* wurden in bestimmten Zeitintervallen die Aufenthaltsorte markierter Säugetiere bestimmt und daraus die Distanzen ermittelt, die diese Tiere zurückgelegt hatten; dies wiederum wurde in Beziehung zum Grad der menschlichen Beeinflussung des jeweiligen Lebensraumes gesetzt. Das Spektrum der »ausspionierten« 57 Tierarten war enorm, es reichte von afrikanischen Zebras und Giraffen

über amerikanische Schakale und Grizzlybären bis hin zu asiatischen Taiga-Antilopen und europäischen Feldhasen, von Riesen wie den Afrikanischen Elefanten bis zu Zwergen wie den Kleinwühlmäusen, von Löwen bis zu Wildkatzen.

Betrachteten die Forscher längere Zeitintervalle, in denen die Tiere entsprechend größere Entfernungen überbrückt haben, waren die Ergebnisse eindeutig: Je massiver der menschliche Einfluss, desto kleiner der Aktionsradius. In ungestörten Lebensräumen legten die Tiere das Zwei- bis Dreifache an Strecke zurück. Innerhalb kürzerer Zeitintervalle ergab sich kein signifikanter Unterschied. Offenbar stört der die Landschaft prägende Einfluss des Menschen vor allem die Wanderungsbewegungen über größere Distanzen, also genau das Verhalten, das als Reaktion auf klimatische Veränderungen erforderlich wäre.

Natürlich kann es viele Gründe geben, warum ein Tier sich weniger oder mehr bewegt. Die Fragmentierung und Veränderung der Landschaft wirkt sich in erster Linie als Hindernis aus, aber es gibt auch den gegenteiligen Effekt: Manche Tiere laufen keine weiten Wege, weil Nahrung im Überfluss existiert und sie nicht lange danach suchen müssen. Paradoxiereise gilt das auch und gerade für einige, die in besonders stark gestörten Gebieten leben, den Städten. Man denke nur an Füchse und Amsele, die in urbaner Umgebung viel kleinere Reviere beanspruchen als ihre Verwandten auf dem Land und trotzdem mehr Nachkommen erzeugen. Sie leben in einem menschengemachten Schlaraffenland.¹⁹

Für die meisten Wildtierarten gilt das jedoch nicht. Ihr Lebensraum verwandelt sich mehr und mehr in eine Art Freilandgefängnis, das von für sie lebensfeindlichen und unpassierbaren Gebieten umgeben ist und dessen Fläche immer weiter zusammenschrumpft. Dabei geht es nicht nur um das Überleben der Individuen oder einzelner Arten. »Tierbewegungen sind essenziell für das Funktionieren von Ökosystemen, denn sie fungieren als mobile Verbindungsglieder«, resümieren die Forscher.

Sie sorgen für den Austausch von Genen zwischen Teilpopulationen und »sind entscheidend für Schlüsselprozesse wie die Verbreitung von Pflanzensamen und die Dynamik von Nahrungsnetzen«. Ziel müsse es daher sein, durch Grünkorridore und die Vernetzung von Schutzgebieten »die Durchlässigkeit der Landschaft zu erhalten«. ²⁰

In Meeren und Ozeanen

Unter Wasser gibt es derartige Hindernisse nicht. Da die Küstengewässer heute sauberer sind als noch vor 20 oder 30 Jahren, hat sich die Situation sogar verbessert. Fische und andere Meerestiere können mehr oder weniger schwimmen, wohin sie wollen oder wohin die Strömung sie treibt.

Für Fische, die am Meeresboden leben, gilt das allerdings nur bedingt. Während bergbewohnende Lebewesen auf der Suche nach kühleren Temperaturen in die Höhe streben, zieht es bodenlebende Fische in die Tiefe. Britische, kanadische und norwegische Wissenschaftler ermittelten 2008, dass die Bodentemperaturen in der winterlichen Nordsee seit 1980 um 1,6 Grad Celsius gestiegen sind. In der gleichen Zeit hat sich die gesamte Gemeinschaft der bodenlebenden Fische in tiefere Gewässer zurückgezogen, mit einer Geschwindigkeit von 3,6 Metern pro Jahrzehnt. ²¹

Doch wie die meisten Tiere im Hochgebirge an Grenzen stoßen, so ergeht es auch den bodenlebenden Fischarten im Meer: Irgendwann können sie nicht in noch größere Tiefen ausweichen, weil der Druck zu groß wird. Oder weil es diese Tiefen mit für sie erträglichen Wassertemperaturen in weitem Umkreis gar nicht gibt. Die Nordsee, um nur ein Beispiel zu nennen, ist ein Schelfmeer und nirgendwo tiefer als 200 Meter (abgesehen von der Norwegischen Rinne im Skagerrak). Am Kontinentalrand fällt der Meeresboden dann relativ steil gleich um

mehrere Hundert Meter ab. Wenn die Tiere sich physiologisch nicht an die höheren Wassertemperaturen anpassen, könnte es für einige in Zukunft problematisch werden.

Besonders empfindlich sind Eier und Jungfische. Sie tolerieren nur einen relativ engen Temperaturbereich und dürften die kritischen Entwicklungsstadien sein, die über Wohl und Wehe einer Fischart entscheiden – neben der Befischung durch die Trawlerflotten der Menschen natürlich. Noch liegen die Laichgründe des Kabeljaus in Meeresgebieten, in denen die Temperaturen sich nah am Optimum für die Embryonalentwicklung halten. Computermodelle sagen jedoch voraus, dass der Atlantische Kabeljau weiter nach Norden wandern und bei fortdauernder Erwärmung südlich des Polarkreises nicht mehr laichen wird. Doch hoch im Norden wäre er nicht allein, denn dort liegt das Reich des Polardorschs, eines nahen Verwandten, und die beiden werden zunehmend in Konkurrenz geraten. Dem kleineren Polardorsch droht also weitere Unbill. Als spezialisierte Kaltwasserart hat er schon mit dem Verschwinden der Eisdecke zu kämpfen, die seinem Nachwuchs Schutz bietet, und leidet besonders unter steigenden Wassertemperaturen. Liegen diese oberhalb von nur drei Grad Celsius, beginnen seine Eier zu sterben. Ein Abwandern oder Rückgang dieser nördlichen Dorscharten hätte nicht nur gravierende sozioökonomische Konsequenzen für die Menschen. Gerade der Polardorsch und seine Jugendstadien sind auch eine wichtige Nahrungsquelle für Seevögel und Säugetiere. Die Folgen wären durch die gesamte Nahrungskette spürbar.²²

Generell wirkt sich die Erwärmung der Atmosphäre jedoch vor allem in der Oberflächenschicht des Wassers und in Meeresgebieten geringer Tiefe aus. Deshalb bewegen sich viele der dort lebenden Organismen wie der Kabeljau polwärts in kühlere Gewässer. Die dabei in den Ozeanen überbrückten Distanzen sind mit im Mittel 72 Kilometern pro Dekade deutlich größer als an Land, was auf den ersten Blick überrascht, denn das Meerwasser

erwärmt sich langsamer als das Festland. Da der Temperaturgradient aber flacher verläuft, »muss sich ein Fisch viel weiter polwärts bewegen, um dieselbe Umgebungstemperatur zu erhalten, als ein kleines Säugetier an der nahe gelegenen Küste (bei gleicher geografischer Breite)«, erläutert Camille Parmesan.²³

Im gesamten Nordostatlantik, den manche Ozeanografen scherzhaft »Brühkessel« nennen²⁴, weil er sich deutlich stärker erwärmt hat als der globale Durchschnitt der Weltmeere, führt diese Wanderungsbewegung zu drastischen Veränderungen der Fauna. Immer wieder gab es Meldungen über exotische Fischarten, die im kalten Nordatlantik plötzlich in den Netzen erstaunter Fischer zappelten. Britische Wissenschaftler starteten deshalb eine groß angelegte Studie²⁵, um diese sporadischen Berichte mit wissenschaftlichen Daten zu unterfüttern. Ihre Analyse umfasste ein riesiges Gebiet des europäischen Kontinentalschelfs, rund 1,2 Millionen Quadratkilometer, und stützte sich nicht auf die Fänge der kommerziellen Fischerei, sondern auf über 25 500 Probennahmen mit dem Bodenschleppnetz, die man im Verlauf von fast 30 Jahren zur Überwachung und Erforschung der Fischbestände durchgeführt hatte. In die Berechnungen gingen mehr als 100 Millionen Fische aus 177 Arten ein. Davon zeigten 72 Prozent eine deutliche Reaktion auf die steigenden Wassertemperaturen: Viele Arten verlagerten ihren geografischen Schwerpunkt. In der Nordsee und vor der Südwestküste Norwegens werden nun immer mehr Fischarten gefangen, die früher nur in wärmeren Gewässern vor der Küste Portugals und im Golf von Biskaya zu Hause waren.

Deutlich wurde dabei auch, dass eine Betrachtung der Wanderungsbewegungen allein nicht die ganze Dynamik der Veränderungen in den Ozeanen erfasst. Die innere Struktur der Lebensgemeinschaften wandelt sich. Arten, die früher selten oder nur sporadisch gefangen wurden, füllen nun in immer größerer Zahl die Netze der Fischer. Vor der nordfriesischen Küste ist die Zahl der jungen Sardellen regelrecht explodiert. Sie un-

terscheiden sich genetisch von den Biskaya-Sardellen, stammen also vermutlich von einer kleinen Nordseepopulation ab, die sich unter den jetzt günstigeren Bedingungen stark vermehrt hat. Ehemals typische Arten wie Glattrochen, Dornhai und Schellfisch gehen dagegen zurück.²⁶

Fischereiwirtschaft und Verbraucher werden sich umstellen müssen, denn bisher hat man angesichts der neuen exotischen Fischgestalten eher das Gesicht verzogen. »Unbekannt macht eben unbeliebt«, kommentierte der *Spiegel* lakonisch. Der Rote Knurrhahn, ein Fisch von spektakulärem, aber gewöhnungsbedürftigem Äußeren, wurde für Cent-Beträge verschleudert, weil niemand ihn haben wollte. Aber das ändert sich. »Meistens landeten die Fische als Köder in den Hummerfallen«, berichtete der *Spiegel*. »Jetzt ist ihr Marktwert schon auf das Zehnfache gestiegen.« Für Stephen Simpson, den Leiter der britischen Studie, steht fest: »Die Erweiterung unseres Geschmacks wird beim Umgang mit dem Wandel eine wichtige Rolle spielen.«²⁷

Die Lebensgemeinschaften in der Nordsee und angrenzenden Meeresgebieten ändern sich fundamental, für die Fischereiwirtschaft muss diese Entwicklung aber nicht grundsätzlich von Nachteil sein. Einige größere Arten, die bislang die Netze gefüllt haben, werden wohl aus der Nordsee verschwinden oder seltener werden, dafür kommen aber neue, meist kleinere Arten dazu, und unter diesen sind einige echte Delikatessen – der Wolfsbarsch zum Beispiel, auch unter dem Namen *Loup de Mer* bekannt, früher ein seltener Sommergast. Auch Nordsee-Sardinen, -Sardellen, -Doraden und -Meeräschen könnten den Speisezettel bereichern.²⁸ Für die vermehrt in der Nordsee auftauchenden Seepferdchen gilt das eher nicht.

Die vielleicht ungewöhnlichsten Zuwanderer in der Nordsee sind die Tintenfische. Sie nehmen überall in der Welt stark zu, vermutlich weil der kommerzielle Fischfang ihre Feinde und Konkurrenten dezimiert hat.²⁹ Wärmeres Wasser scheint ihre Ausbreitung zusätzlich zu begünstigen. Tintenfische, die sel-

ten länger als zwei oder drei Jahre leben, wachsen ohnehin sehr schnell; nun legen sie noch schneller zu, weil die höheren Temperaturen ihren Stoffwechsel ankurbeln. Ähnlich wird im Übrigen auch der deutliche Zuwachs an Quallen begründet, die von manchen als »Leuchtfeuer des Klimawandels« bezeichnet werden, weil sie besonders sensibel auf Veränderungen der Umwelt reagieren.³⁰ Wir werden darauf noch zurückkommen.

Nun sind es also auch in der Nordsee die Tintenfische, die viele der Kleintiere fressen, darunter nicht zuletzt die Nachkommen ihrer eigenen Feinde, der größeren Raubfische – ein Teufelskreis, der den Veränderungsprozess weiter vorantreiben wird. Obwohl schon immer einige Tintenfischarten, vor allem die zehnmarmigen pfeilförmigen Kalmare der Gattung *Loligo*, in der Nordsee lebten, waren sie noch in den 1980er- und 1990er-Jahren kaum mehr als ein lokal auftretender unbedeutender Beifang in den Netzen der Trawler. Das hat sich geändert. Heute sind sie nahezu flächendeckend in der gesamten Nordsee verbreitet; neue Arten, wie der zu den Fliegenden Kalmaren gehörende *Illex coindettii*, sind dazugekommen, und ihre Zahl ist, bei starken Schwankungen, so groß geworden, dass sich in den Niederlanden die ersten Fischer bereits auf den Fang von Tintenfischen spezialisiert haben.³¹

Es handelt sich nicht mehr nur um Zuwanderer. *Illex coindettii* zumindest, bisher aus dem Mittelmeer und von beiden Atlantikküsten bis hinauf nach Galizien bekannt, pflanzt sich in der Nordsee fort. Kürzlich wurden erstmals Weibchen gefangen, die befruchtet waren und Eier gelegt hatten. Ob sich tatsächlich schon ein eigener Nordsee-Bestand etabliert hat, ist unklar.³²

Durch Kattegat und Skagerrak umschwimmen die neuen Nordseefischarten Jütland, sodass Sardellen, Sardinen, Doraden, Meerbarben und Meeräschen mittlerweile auch in der Ostsee auftauchen, die historisch gesehen erst südlich der dänischen Inseln beginnt. Im Sommer sieht man Schwärme von Dicklip-

pigen Meeräschen (*Chelon labrosus*), die in den Ostseehäfen den Algenbewuchs der Hafengebungen abweiden. Angler und Forschungsschiffe zogen sogar schon einige Kalmare aus dem brackigen Ostseewasser, was vor allem bei Ersteren für große Verwunderung sorgte.

Als relativ flaches Binnenmeer, das nur in begrenztem Maße Wasser aus der Nordsee erhält, wird sich die Ostsee stärker erwärmen als die großen Wassermassen im Westen. Sie böte wärmebedürftigen Fischarten also ein potenzielles Zuhause, wäre da nicht ihr geringer Salzgehalt. Klimaforscher erwarten, dass über den angrenzenden Festlandsmassen in Zukunft mehr Regen niedergehen wird, sodass der Salzgehalt des Ostseewassers noch weiter sinken wird. Ob und welche Meeresfischarten unter diesen Bedingungen dauerhaft in der Ostsee leben können, bleibt abzuwarten. Tintenfische werden wahrscheinlich nicht dazugehören.

Gewinner und Verlierer

Auch an Land gilt, dass die klimabedingten Veränderungen, die uns bevorstehen, für Lebewesen nicht in jedem Fall nur von Nachteil sein müssen, schon gar nicht in unseren gemäßigten Breiten. Josef H. Reichholf hat deshalb sowohl in seinem Buch über die Klimageschichte des letzten Jahrtausends als auch in mehreren ausführlichen Interviews darauf hingewiesen, dass es »die Kaltzeiten [waren], in denen wir und andere Teile der Welt von den großen Katastrophen heimgesucht wurden. Nicht die Warmzeiten.«³³ Sicher hat er damit bei nicht wenigen Lesern angesichts der apokalyptischen Prognosen, die auf uns einprasseln, Verwunderung ausgelöst.

Das Land Nordrhein-Westfalen hat durch das Institut für Landschaftsökologie in Münster eine Studie³⁴ erstellen lassen, in der die zu erwartenden Folgen des Klimawandels für die Tier-

und Pflanzenwelt der Region untersucht wurden. Das Ergebnis: Während knapp die Hälfte der Tierarten gar nicht tangiert werden dürfte, wird jeweils etwa ein Viertel in negativer oder positiver Weise davon betroffen sein. Besonders die wärmeliebenden Reptilien werden profitieren, desgleichen Rastvögel, Heuschrecken und Libellen. Bei den Pflanzen hingegen übertrifft die Zahl der Profiteure (20 %) die der Leidtragenden (12 %) deutlich, für zwei Drittel der Pflanzenarten erwarten die Forscher keinen Einfluss.

Unter dem Strich ist in unseren Breiten und den kommenden Jahrzehnten also eher mit einer Erhöhung der Artenvielfalt zu rechnen. Tatsächlich haben Biologinnen und Biologen einen Anstieg lokaler Biodiversität besonders im nördlichen und östlichen Europa nachgewiesen, wobei von Organismengruppe zu Organismengruppe große Unterschiede bestehen. Sie erklären diesen Befund mit den durch den Klimawandel ausgelösten polwärtsigen Verschiebungen der Verbreitungsgebiete.³⁵

Für große Teile unseres Planeten gilt diese vergleichsweise optimistische Einschätzung sicher nicht. Und natürlich wird es auch bei uns Verlierer geben, die Amphibien zum Beispiel. Viele sind auf kleine Gewässer angewiesen, die bei Trockenheit rasch verschwinden. Nach Auskunft des Landesumweltamtes sind die Bestände in Brandenburg durch die Dürre der Jahre 2018 bis 2020 »regional differenziert« schon um bis zu 80 Prozent zurückgegangen. Thomas Frey, der Sprecher des Amtes, bezeichnete diese Einbrüche bei den Amphibien zum Teil als »irreversibel«. Auch viele Muscheln, Schnecken, Fische und Säugetiere werden Probleme bekommen.

Außerdem ist der Zeithorizont zu beachten: Wie viele andere Prognosen dieser Art betrachtet die nordrhein-westfälische Studie nur die Entwicklung bis 2050, blickte also zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung im Jahr 2009 nur 40 Jahre in die Zukunft – aus heutiger Sicht ist diese Zukunft nur noch eine Menschengeneration entfernt. Die Studie beschreibt, was in

den kommenden Jahren zu erwarten ist. Aus pragmatischer Sicht mag das sinnvoll sein; was die Folgen des Klimawandels angeht, ist es jedoch viel zu kurz gedacht. Die Temperaturen werden noch lange nach 2050 weiter ansteigen, deshalb kann der in der NRW-Studie prognostizierte Zustand nicht von Dauer sein. Er beschreibt bestenfalls ein Stadium des Übergangs, und wer in dieser Phase vorübergehend profitiert, muss nicht unbedingt auch auf längere Sicht die Nase vorn haben.

Bleiben wir noch für einen Moment beim Positiven. Wenn sich (auf der Nordhalbkugel) die nördliche Verbreitungsgrenze einer Tier- oder Pflanzenart polwärts verschiebt, die Südgrenze jedoch nicht oder nur in geringerem Maße, dann vergrößert sich das von ihr bewohnte Areal. Die Art profitiert also vom Klimawandel, sie gehört zu den Gewinnern.

Forscherinnen und Forscher des British Trust for Ornithology haben sich die heutigen Vorkommen von 80 britischen Brutvogelarten unter diesem Gesichtspunkt genau angesehen. Und tatsächlich: Da ihre südlichen Grenzen mehr oder weniger geblieben sind, wo sie waren, haben sich die Verbreitungsgebiete (im Mittel aller Arten) seit 1994 vergrößert. Die Vogelkundler werten dies allerdings als kurzfristige Reaktion der Tiere, als Momentaufnahme eines Prozesses, der noch lange nicht zum Abschluss gekommen ist. Während im Norden primär die Temperatur eine weitere Ausbreitung der Vögel begrenzt, spielen am Südrand andere Faktoren die Hauptrolle, vor allem eine veränderte Interaktion der Arten untereinander, die sich erst mit Verzögerung auswirkt.³⁶

Was das konkret bedeutet, illustrieren die kleinen Säugetierarten des berühmten Yosemite National Park im Westen der USA. Craig Moritz von der University of California in Berkeley und seine Kollegen wiederholten dort eine Untersuchung, die bereits 100 Jahre zuvor von dem bekannten Zoologen Joseph Grinnell durchgeführt worden war.³⁷ Vom Tiefland bis hinauf

zu einer Höhe von 3300 Metern hatten Grinnell und Kollegen in einem festgelegten Areal, dem sogenannten »*Yosemite Transsect*«, Mäuse und andere kleine Säugetiere gefangen, um deren Verteilung im Höhenprofil zu ermitteln. Ihre damals wegweisende Arbeit führte zum Konzept der »ökologischen Nische« und lieferte wichtige Erkenntnisse über den Einfluss der Temperatur auf die Verteilung von Lebewesen.

28 Arten, darunter Rotzahnspeitzmäuse, Feld- und Hirschmäuse, Pfeifhasen, Taschenratten und Streifenhörnchen, haben die Ost- und Westhänge des Gebirges auf einer Strecke von 140 Kilometern unter sich aufgeteilt – damals wie heute. Doch während die Artenvielfalt insgesamt weitgehend unverändert blieb, hat sich erheblich verändert, wer im Höhengradienten wo anzutreffen ist. Nach allem, was wir gehört haben, ist es keine Überraschung, dass viele Arten heute in größerer Höhe leben als vor 100 Jahren. Die Arten, die damals eher am Fuß der Berge zu finden waren, haben ihre Verbreitungsgebiete im Durchschnitt um 500 Höhenmeter bergauf ausgedehnt. Auch für sie ist die zunehmende Erwärmung also mit einem Zugewinn an Lebensraum verbunden, auf Kosten der früher dort vorkommenden Hochgebirgsarten. Die konnten nicht weiter hinauf und wurden von unten durch neue Konkurrenten bedrängt, mitunter von nahen Verwandten der gleichen Gattung. Da sie sich aus diesen Gebieten zurückgezogen haben, ist ihr Verbreitungsgebiet erheblich geschrumpft. Ein Hörnchen und eine Amerikanische Buschratte sind schon fast verschwunden. Bei weiter steigenden Temperaturen könnten über kurz oder lang noch mehr Gebirgsarten in Schwierigkeiten geraten.

Die Untersuchungen von Joseph Grinnell sind mit mehr als 4000 Tierpräparaten, zahllosen Aufzeichnungen und Hunderten von Fotografien bestens dokumentiert, sodass das Team um Craig Moritz, das zum Teil an den gleichen Standorten arbeiten konnte wie ihre Kollegen 100 Jahre zuvor, optimale Vergleichsmöglichkeiten hatte – ein seltener Glücksfall.

Humboldts *Tableau Physique*

Historische Daten sind jedoch nicht immer so zuverlässig und bedürfen, wenn möglich, sorgfältiger und kritischer Kontrolle. Ein interessantes Beispiel liefert ausgerechnet eine der deutschen Lichtgestalten des 18. und 19. Jahrhunderts, der Naturforscher und Weltreisende Alexander von Humboldt.

Zu den vielen Werken, die er hinterlassen hat, gehört das *Tableau Physique* (1807), ein Bild des über 6300 Meter hohen Vulkans Chimborazo in Ecuador, das zu den berühmtesten und einflussreichsten Darstellungen der Naturgeschichte gehört. Die Grafik zeigt die genaue Abfolge der Vegetationszonen an den Hängen des Vulkans und gibt gleichzeitig an, wo im Höhenprofil welche Pflanzenart zu finden ist. Bis auf den Gipfel hatten es Humboldt und sein französischer Begleiter Aimé Bonpland nicht geschafft; sie notierten aber ihre Beobachtungen, sammelten unterwegs viele Pflanzen und führten an den Fundorten Höhenmessungen durch. Das *Tableau Physique*, das die beiden drei Jahre nach ihrer Rückkehr als Teil eines Essays über die Geografie der Pflanzen publizierten, wurde, so Pierre Moret von der Universität Toulouse, »zu einem ikonischen Meilenstein, fast einem Gründungsmythos in der Geschichte der Ökologie und Biogeografie«. ³⁸

Der modernen *Climate Change Biology* lieferten die 200 Jahre alten detaillierten Angaben von Humboldt und Bonpland eine hochwillkommene Forschungsgrundlage, denn sie boten die Möglichkeit, die damalige Verteilung von Pflanzenarten am Chimborazo mit dem heutigen Zustand zu vergleichen. Das im Jahr 2015 veröffentlichte Ergebnis ³⁹: Um nicht weniger als 500 Höhenmeter hatten sich deren Vorkommen Richtung Gipfel verschoben, ein drastischer Effekt der weltweit gestiegenen Temperaturen.

In Vergessenheit geraten war dabei, dass das *Tableau Physique* nach Humboldts eigenen Angaben nicht nur die Situation

am Chimborazo, sondern die der gesamten Region der äquatorialen Anden repräsentieren sollte, von zehn Grad nördlicher bis zehn Grad südlicher Breite, und dass Humboldt selbst für spätere Veröffentlichungen an der dargestellten Verteilung der Pflanzenarten erhebliche Korrekturen vornahm. Warum?

Die Daten von Humboldt und Bonpland waren nie wirklich kritisch überprüft worden, und als Pierre Moret und seine Kollegen vor Ort eigene Untersuchungen anstellten und sich die historischen Dokumente, die Aufzeichnungen und Herbarblätter der beiden Entdecker genau ansahen, fielen ihnen zahlreiche Widersprüche auf. Nach einer geradezu kriminalistischen Spurensuche schälte sich schließlich folgendes Bild⁴⁰ heraus: Die berühmte Abbildung stellt nicht die Verhältnisse am Chimborazo dar, wo Humboldt und Bonpland oberhalb von 3625 Metern gar keine Pflanzen gesammelt hatten. Starker Schneefall hatte bei ihrem Aufstieg alles zugedeckt, und nachdem sie sich nur wenige Stunden lang über 4000 Metern aufgehalten hatten, mussten sie wieder absteigen. Die meisten Arten, die im *Tableau Physique* für diese Höhen angegeben werden, stammten von anderen Berggipfeln, vor allem vom Antisana, einem etwa 5700 Meter hohen Vulkangipfel, der in den Ostkordillern liegt, ziemlich genau einen Breitengrad weiter nördlich.

Natürlich ähneln sich die Vegetationszonen der tropischen Andengipfel, aber sie sind eben nicht genau gleich. Im *Tableau Physique* stellten Humboldt und Bonpland Erkenntnisse dar, die sie hauptsächlich am Antisana gewonnen hatten. Für die grafische Darstellung wählten sie aber, wohl aus ästhetischen Gründen, den Chimborazo, einen charismatischen Berg, der gewissermaßen als idealtypischer tropischer Andengipfel fungierte. Deshalb nahm Humboldt am *Tableau* immer wieder Änderungen vor, denn um ein solches Diagramm zu erstellen, »muss man zwei widerstreitende Interessen berücksichtigen«, schrieb er, »Erscheinungsbild und Exaktheit«. ⁴¹ Und gerade um Letztere zu erreichen, besserte er immer wieder nach, wahrscheinlich des-

halb, weil viele der von ihm und Bonpland gesammelten Pflanzen damals noch unbekannt und zunächst namenlos waren.

Die Wissenschaftler, die sich das *Tableau Physique* zunutze machen wollten, um klimabedingte Veränderungen festzustellen, hatten am falschen Berg geforscht. Nicht den Chimborazo, sondern den Antisana hätten sie untersuchen müssen. Pierre Moret und seine Kollegen holten dies nun nach und korrigierten die erst wenige Jahre zuvor ermittelten Verschiebungen nach unten. Die Pflanzen waren innerhalb von 215 Jahren tatsächlich den Berg hinaufgeklettert, allerdings nicht um 500, sondern um 216 bis 266 Höhenmeter – ein Wert, der ziemlich genau den 10 bis 12 Metern pro Jahrzehnt entsprach, die man für diese Aufwärtsbewegung in anderen Weltgegenden ermittelt hat.

Feinschmecker

Was unter der Wasseroberfläche vor sich geht, geschieht im Verborgenen. Von den Veränderungen, die sich dort abspielen, bekommen nur wenige Menschen in eigener Anschauung etwas mit. Für alle anderen sind sie nur anhand von abstrakten Zahlen, Kurven und Buchstaben ersichtlich – und irgendwann in einer veränderten Auslage der Verkaufstheken, die Fische und Meeresfrüchte anbieten.

Das ist an Land anders. Viele der neuen Tier- und Pflanzenarten, die uns der Klimawandel beschert, werden für die Menschen zu sehen und zu hören sein – oder sind es sogar schon heute. Gleichzeitig verschieben sich die Gewichte innerhalb der Alteingesessenen. Arten, die mit dem veränderten Klima besser zurechtkommen, werden häufiger, andere gehen zurück. Um das wahrzunehmen, wird man allerdings mit offenen Augen und Ohren durch die Landschaft gehen müssen. Die Natur reagiert mit erstaunlicher Geschwindigkeit. Kundige Botaniker haben in den Niederlanden seit 1980 eine starke Zunahme wär-

meliebender Pflanzen festgestellt. Zwischen 1930 und 1980 hatte ihre Bedeutung noch abgenommen.⁴² Dem durchschnittlichen Wochenendausflügler aus Amsterdam oder Groningen dürfte weder das eine noch das andere aufgefallen sein.

Kaum Beachtung gefunden hat sicher auch die Fliege *Chrysomya albiceps*. Ihr Beispiel zeigt aber, welche überraschenden Effekte mit tierischen Zuwanderern verbunden sein können. Eine ordinäre Schmeißfliege, könnte man denken: Große Exemplare messen knapp einen Zentimeter, die Augen sind rot, Brust und Hinterleib glänzen grün-metallisch, ein kleiner Brummer. Ursprünglich eine Art der Tropen und Subtropen, hat sie sich seit der Jahrtausendwende stark ausgebreitet, das gesamte Mittelmeergebiet besiedelt und dringt nun mit den steigenden Temperaturen immer weiter nach Norden vor. Die Alpen sind für sie ein unüberquerbares Bollwerk, also hat sie sich Wege links und rechts davon gesucht, tauchte von Südwesten kommend in Paris und Zürich bis hinauf nach Belgien auf, aus Südosten ist sie bis nach Bayern und Tschechien vorgedrungen und 2008 auch in Polen angekommen.⁴³

Vermutlich hätten diese Vorgänge außerhalb fliegenkundlicher Kreise kaum Beachtung gefunden, wenn *Chrysomya albiceps* nicht in der forensischen Entomologie von Bedeutung wäre. Ihre Larven entwickeln sich nämlich, wie die vieler anderer Schmeißfliegen, in toten Körpern, auch in menschlichen. Zum Beispiel in dem einer 56-jährigen Frau: Die Leiche fand man im Jahr 2001 in ihrer Wiener Wohnung unter einem Wäschestapel, sie war bereits im Zustand starker Verwesung. Die Autopsie ergab: Die Frau war erstochen worden.

Mithilfe von Tierkadavern haben Forensiker mittlerweile genau ermittelt, wann eine Leiche von welchen Fliegenarten besiedelt wird und wie lange deren Entwicklung bei verschiedenen Temperaturen dauert, sodass aus der Artenzusammensetzung und dem Alter der im Körper gefundenen Maden ein ungefährer Todeszeitpunkt ermittelt werden kann.

Chrysomya albiceps ist eine Pionierin: Sie ist eine der ersten Fliegenarten, die sich auf leblosen Körpern einfindet, um dort ihre Eier abzulegen. Im Körper der erstochenen Wienerin fanden sich neben anderen Fliegenlarven *Chrysomya*-Puppen, aus denen im Labor schon am nächsten Tag zwei grün glänzende Fliegen schlüpften. Drei Wochen lang hatten in Wien Temperaturen von 23 bis 25 Grad geherrscht, der Tod musste demnach, das ließ sich aufgrund der Tierversuche errechnen, 13 bis 19 Tage zuvor, also zwischen dem 17. und dem 23. Juli eingetreten sein. Und tatsächlich: Der Mörder, der sich nur einen Tag nach der Autopsie der Polizei stellte, gab an, die Frau nach einem heftigen Streit am 18. Juli getötet zu haben.

Werden in einer Leiche die Larven einer Fliegenart gefunden, die, sagen wir, nur in Nordafrika vorkommt, können Forensiker sogar den Ort des Todes ermitteln oder zumindest das infrage kommende Gebiet eingrenzen. Das kann entscheidende Hinweise liefern, wenn das Opfer eines Gewaltverbrechens nach dem Tod an einen anderen Ort verbracht wurde.

Noch vor zwei oder drei Jahrzehnten hätte auch ein Nachweis von *Chrysomya albiceps* derartige Informationen liefern können. Heute ist sie diesbezüglich keine Hilfe mehr, dazu hat sie sich zu sehr verbreitet.

Was für die forensische Entomologie aber noch viel schwerer wiegt: *Chrysomya albiceps* im zweiten und dritten Larvenstadium ernährt sich nicht vom Gewebe des Kadavers, sondern von anderen Fliegenmaden, die mit ihr den gleichen Körper bewohnen, auch von Artgenossen. Die älteren Maden sind Räuber und Kannibalen. Mit ihrem Auftreten in Mitteleuropa besteht die Gefahr, dass forensisch-entomologische Informationen, die der Fliegenbefall einer Leiche liefern könnte, vernichtet werden, bevor sie gesammelt werden können.⁴⁴

Nicht nur in Deutschland und generell in Europa, sondern überall in der Welt werden sich die Menschen an neue Tier- und

Pflanzenarten gewöhnen müssen. Bei manchen wie der Feuerlibelle und dem Bienenfresser (*Merops apiaster*), einem poppig bunten Vogel, wird uns das leichtfallen, weil wir sie als Bereicherung empfinden; bei anderen müssen wir vielleicht schlucken. Arachnophobiker könnten zum Beispiel mit der harmlosen, aber für mitteleuropäische Verhältnisse sehr großen Zebra- oder Wespenpinne (*Argiope bruennichi*) so ihre Schwierigkeiten haben. Aus dem Süden kommend sind diese Arten schon in Deutschland heimisch geworden und werden sich weiter ausbreiten, ohne dass dabei Probleme zu erwarten wären. Andere, zum Beispiel Krankheitsüberträger wie Mücken, könnten sich zu einer echten Bedrohung entwickeln.

Wie genau die Natur der Zukunft zusammengesetzt sein wird, kann heute kein Mensch mit Sicherheit vorhersagen, aber klar ist, dass es sich um eine Mischung aus alteingesessenen und neu zugewanderten Arten handeln wird, wobei letztere umso größere Bedeutung erlangen werden, je höher die Temperaturen steigen. Fauna und Flora sind infolge des Klimawandels weltweit in Bewegung geraten, und jede Art ist auf der Suche nach ihrem Platz, ihrer Nische in einer sich schnell verändernden Welt – wenn nicht schon jetzt, dann in baldiger Zukunft.

Zu dieser Mischung gesellt sich aber noch eine weitere Gruppe von Lebewesen: Arten, die eigentlich in völlig anderen Weltgegenden zu Hause sind und trotzdem keine weiten Wege mehr zurücklegen müssen. Sie sind längst da, und das gilt nicht nur für Hotspots wie Australien, Neuseeland, Galapagos oder Hawaii, es gilt für fast jeden Ort auf dieser Welt, natürlich auch für Europa. Manche sind gerade erst eingetroffen, andere leben seit Jahrzehnten hier, nicht wenige seit Jahrhunderten. In der Regel stammen sie nicht aus Europa und hätten natürlicherweise nie eine Chance gehabt, hierher zu gelangen. Trotzdem leben sie mitten unter uns. Um sie geht es im folgenden Kapitel.



Erste Auflage 2021

© 2021 DuMont Buchverlag, Köln

Alle Rechte vorbehalten

Umschlaggestaltung: Lübbecke Naumann Thoben, Köln

Wald: © Tithi Luadthong/Alamy Stock Photo

Eidechse: © YAY Media AS/Alamy Stock Photo

Kolibri: © Christina Rollo/Alamy Stock Photo

Lektorat: Kerstin Thorwarth

Satz: Fagott, Ffm

Gesetzt aus der DTL Documenta und der Gotham

Druck und Verarbeitung: CPI books GmbH, Leck

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8321-8138-3

www.dumont-buchverlag.de